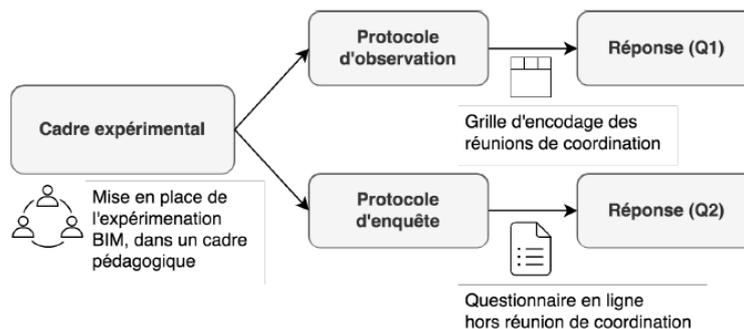


Session 1 – Situations professionnelles

Caractérisation de l'information dans une collaboration BIM

Anabelle Rahhal, Samia Ben Rajeb, Pierre Leclercq



Caractérisation de l'information dans une collaboration BIM

Anabelle Rahhal¹, Samia Ben Rajeb², Pierre Leclercq¹

¹ *LUCID Lab, Université de Liège*

² *BATir, Ecole Polytechnique de Bruxelles*

Résumé

Dans cet article, nous exposons une partie d'un travail de recherche portant sur l'étude de l'information dans un processus BIM, en particulier (1) son objet, (2) son type de support, pour permettre sa visualisation et l'échange d'informations entre collaborateurs. Nous analysons ici les échanges formels et informels entre les acteurs pour des usages BIM définis de la maquette numérique. Après avoir posé les deux questions de recherche qui concernent cet article, nous expliquons les deux protocoles de récolte de données adoptés pour y répondre, dans un cadre expérimental qui se veut proche de la réalité du terrain. Enfin, les premiers résultats sont exposés montrant que l'objet principal des échanges d'information concernent prioritairement l'organisation du travail collaboratif et que la maquette numérique n'est pas l'unique support des échanges formels et informels entre les acteurs du projet, mais que d'autres canaux de communication peuvent avoir autant d'importance pour garantir la gestion de l'information au sein d'un processus BIM.

Abstract

In this article, we expose the research work on the study of information in a BIM process, in particular (1) its object, (2) its type of support, for its visualization and its exchange. We analyze the formal and informal exchanges between the actors for well-defined BIM uses of the digital model. This article recalls the announced uses of the digital model in the construction sector, as well as the importance of the exchange of information in a BIM process. Then, we clearly ask two research questions and we explain the two adopted data collection protocols, in an experimental framework. The first results show that the exchange of information mainly concerns the organization of collaborative work and that the digital model is not the only medium for formal and informal exchanges between the actors of a BIM project.

Keywords

BIM Collaboration, uses of a digital model, data exchange, experimentation.

Mots clefs

Collaboration BIM, usages de la maquette numérique, échange d'information, expérimentation..

1. Introduction

Dans un contexte où le numérique et le BIM (Building Information Modeling & Management) prennent de plus en plus de place dans le monde de la conception et de la construction (Boton, 2018), nous avons décidé de mettre en place une expérimentation, dans un cadre pédagogique, explorant le travail collaboratif en BIM, et plus précisément la manière dont l'information est gérée. Le cadre expérimental est inspiré de nombreuses lectures dans le domaine du BIM et appuyé par divers retours d'expérience de professionnels du domaine de la construction. Cette expérimentation nous a permis d'explorer plusieurs facettes du travail collaboratif d'un projet en phase avant-projet détaillé, intégrant un processus BIM, telles que le protocole BIM, la modélisation et l'exploitation des données d'une maquette numérique pour répondre à certains usages, ainsi que l'analyse du travail collectif, à travers les aspects de coordination et de communication entre les divers acteurs du projet. Divers résultats découlent de cette première expérimentation et feront partie d'un travail doctoral plus conséquent.

Dans cet article, nous exposons uniquement le travail de recherche ciblé sur l'étude de l'échange formel et informel d'informations dans un processus BIM, à travers (1) son objet et (2) son type de support pour permettre sa visualisation et son exploitation. Nous caractérisons ainsi l'information par son « quoi » (de quelle information a-t-on besoin ?) et son « comment » (comment trouver cette information ?). Pour ce faire, nous analyserons les échanges formels entre les intervenants lors de réunions de coordination instrumentées (des réunions dont l'objet est la résolution collective des problèmes rencontrés, autour des maquettes BIM), ainsi que les échanges informels, hors réunions. L'objectif ici est d'identifier le rôle de la maquette numérique, comme support de l'information échangée, dans les réunions de coordination et lors de requêtes entre les divers acteurs du projet, pour des usages BIM définis en amont.

2. Problématique

Le travail collaboratif pluridisciplinaire est un levier essentiel pour maîtriser la complexité des projets dans le domaine de la construction (Conein (2004) et Ben Rajeb (2012)). En effet, des enjeux importants régissent le secteur de la construction, tels que la multiplication croissante des technologies numériques, la complexité grandissante des projets qui se doivent de répondre à de fortes contraintes économiques, législatives, environnementales, etc. (Skair, 2015). L'approche BIM est collaborative et elle implique l'ensemble des acteurs d'un projet de construction (architectes, ingénieurs, entrepreneurs, maîtres d'ouvrage, exploitants et usagers) dans une dynamique de coopération (Levan, 2016). S'intéresser aux processus d'échanges d'information pourra apporter des pistes futures pour l'amélioration et l'optimisation continue des processus de gestion de l'entreprise, des modes de travail et des pratiques existantes dans le domaine de la construction.

2.1 La maquette numérique comme support de l'information

La maquette numérique s'énonce être l'outil capable de transformer les processus linéaires traditionnels de conception et de construction vers des processus de construction novateurs plus intégrés et concourants (Holzer, 2016). En centralisant l'ensemble des données concernant le bâtiment dans une maquette unique, cette dernière offre de multiples perspectives de progrès dont la possibilité d'offrir une meilleure gestion des informations (Chone & al., 2016) et, par là, diminuer le risque de perte d'informations et d'améliorer la collaboration entre les nombreux acteurs du secteur de la construction. Dans un processus BIM, cette maquette numérique est donc censée constituer un référentiel unique pour les acteurs impliqués dans le projet et pour toutes les applications attendues

comme l'estimation du coût de la construction du bâtiment, la planification de la construction et l'évaluation du coût de fonctionnement du bâtiment (Kensek, 2015).

En réalité, chaque professionnel doit disposer d'informations qui varient en fonction du métier et des outils dont ils disposent, toute la littérature s'entend sur le fait que même les formats standard et courant de l'Open BIM (IFC et BCF) ne sont pas suffisants de nos jours, pour résoudre tous les problèmes d'interopérabilité rencontrés entre les acteurs d'un projet, qui maintiennent l'usage des spécificités propres à leurs métiers. Le manque d'interopérabilité est en effet un réel obstacle dans le développement du BIM (Santos et al. 2017). Néanmoins, une structuration de l'information qui conviendrait à tous les métiers est une illusion (Whyte & Hartmann, 2017), ainsi la recherche de nouvelles méthodes organisationnelles de gestion de l'information semble nécessaire, afin d'intégrer à la maquette les données pertinentes et hiérarchisées selon l'évolution du projet et le type d'acteurs impliqués, de diminuer les ressaisies et d'éviter de se retrouver avec un volume de données non gérables, dans le but de créer un modèle composé de données utiles, correspondant aux besoins des divers intervenants et aux usages BIM attendus et définis de la maquette numérique.

De plus, les usages de la maquette numérique se déclarent quasiment infinis (CSTC, 2017). Ils sont variables selon la phase du projet (pré-construction, phase d'exécution, phase d'exploitation du bâtiment) et consistent par exemple, en l'estimation des quantités et des coûts de la construction, la planification de chantier, la détection des conflits géométriques. La maquette numérique «unique» ou les différentes maquettes numériques dites «métiers» sont supposées, en théorie, être le support principal de l'information du projet à destination des professionnels, selon la phase du projet et les usages. C'est ce que nous questionnerons dans le cadre de cette article en nous intéressant autant aux échanges formels qu'informels entre les différents acteurs du projet.

2.2 La gestion de l'information au cœur du processus BIM

La gestion, le partage et la synchronisation de l'information représentent un enjeu majeur en construction et la modélisation des données numériques du bâtiment constitue l'évolution centrale et fondamentale actuelle, en voie de transformer ce secteur sur le plan international. Le Building information Management fait référence au processus de gestion et de coordination des données, dans une démarche de collaboration entre les différents acteurs d'un projet de construction (Celnik & Lebègue, 2015). En effet, le BIM est une manière intégrée de travailler qui ne se résume pas simplement à l'usage d'un outil de modélisation numérique (Shepherd, 2019), mais aussi en la mise en place d'un processus de travail et de collaboration entre intervenants d'un projet de construction, reposant sur des outils métiers particuliers qui permettent la conception et l'exploitation d'une maquette numérique, préfigurant le bâtiment tel que construit et exploité (Celnik & Lebègue, 2014). Le BIM est donc une méthode de travail permettant de recentrer les compétences de chaque intervenant au sein du projet via une approche collaborative et concourante, reposant sur une gestion de l'information relative au projet. Les retours d'expérience dans la pratique de la maquette numérique et du processus BIM mettent en évidence la nécessité, pour chaque projet, et préalablement au démarrage des études ou des travaux, d'analyser les flux d'information nécessaires aux échanges entre les acteurs pour les processus de conception et de construction, et de préciser les rôles respectifs des intervenants et les modèles de données qui vont supporter ces échanges (Delcambre, 2014).

Cette méthode de travail collaboratif comporte un processus structuré à travers lequel les informations sont échangées entre les différents acteurs impliqués dans le projet (Maestri, 2018). Notre étude se concentre sur la caractérisation des informations échangées autour de la maquette numérique dans un processus BIM, ainsi que sur le rôle de la maquette numérique comme support des échanges formels et informels, entre les nombreux acteurs d'un projet en construction. Des méthodes adaptées à la gestion

de l'information dans ce processus collaboratif particulier assisté doivent encore être repensées afin de permettre aux acteurs du projet de réaliser leurs tâches dans de meilleures conditions, en disposant d'une information pertinente et de supports adéquats à cette dernière, sans pénaliser la progression globale de l'activité du projet.

3. Question de recherche

Dans le champ disciplinaire du travail collaboratif, l'usage de la maquette numérique en tant que support d'une information échangée entre de multiples acteurs d'un projet, reste encore à explorer. Ainsi, nous adressons dans le cadre de cet article les 2 questions de recherche suivantes : (Q1) *quelles sont les principales catégories d'information lors des échanges formels (objets de l'information) autour d'une maquette numérique, dans des réunions de coordination BIM?* (Q2) *pour des usages BIM définis, est-ce que la maquette numérique constitue-t-elle un support des échanges informels lors de requêtes d'information entre les divers intervenants?*

4. Méthodologie

Le schéma de la Figure 1 illustre les 3 principales étapes de notre méthodologie pour récolter l'ensemble de données nécessaires et amener des réponses à nos questions de recherche posées dans cet article. La définition d'un cadre expérimental et l'élaboration de deux protocoles (d'observation et d'enquête) ont permis respectivement ; la mise en place de (i) l'expérimentation BIM et sa réalisation par les groupes d'étudiants, (ii) la grille d'encodage pour l'observation de réunions de coordination BIM, hebdomadaires et instrumentées, tout au long de l'expérimentation et enfin (iii) d'un questionnaire en ligne complété individuellement par les acteurs, hors cadre de réunions, pour 3 usages précis d'exploitation de la maquette numérique ; l'estimation du coût de la construction du bâtiment, l'estimation du coût et la planification de la construction du bâtiment sur chantier et l'évaluation du coût de fonctionnement du bâtiment). Le cadre expérimental et les deux protocoles de récolte de données sont approfondis dans la suite de l'article.

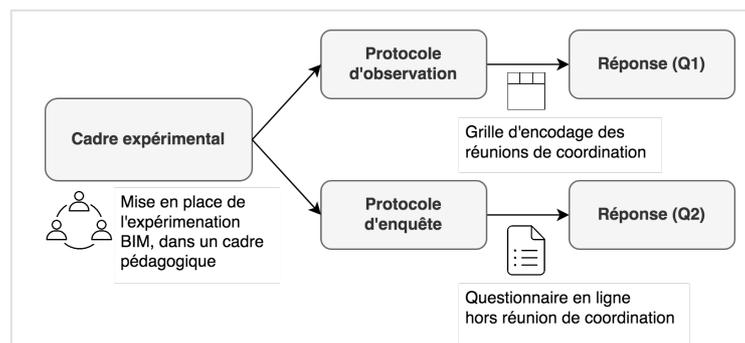


Figure 1 – Les étapes de la méthodologie de recherche.

4.1 Mise en place de l'expérimentation

4.1.1 Cadre expérimental

Contexte pédagogique

L'expérimentation est développée dans le cadre du cours intitulé « Studio Digital Collaboratif BIM » à l'Université de Liège, qui aborde la problématique de la conception collaborative instrumentée. Durant 4 mois, 17 étudiants, inscrits en Master 1 en Ingénieur Civil Architecte en Faculté des Sciences Appliquées, ont participé à cette collaboration BIM. Le but de cette expérimentation pédagogique est

de sensibiliser aux enjeux de la coopération en phase de pré-construction de projet et de donner l'opportunité d'expérimenter des dispositifs numériques innovants (outils et plateformes BIM, collecticiels, studios digitaux augmentés, etc.). Elle analyse les enjeux de la coopération pour la conception de projets d'architecture qui mobilisent des compétences et des expertises complémentaires réparties entre des responsabilités distribuées. Ce cadre pédagogique nous a permis d'explorer plusieurs facettes du BIM telles que: le protocole BIM belge (élaboré par le Centre Scientifique et Technique de la Construction en 2018), la modélisation d'une maquette numérique et l'exploitation de ses données dans le but de répondre à des usages BIM (Celnik & Lebègue, 2015), ainsi que l'analyse de la collaboration à travers les aspects de coordination et de communication entre les divers acteurs du projet.

Choix du projet

Dans le cadre de cette expérimentation BIM, un projet a été sélectionné qui est issu d'un précédent travail de conception en atelier d'architecture de l'année académique 2016-2017, menés par des étudiants en Master 1. La spécificité de cet atelier d'architecture est d'articuler composition spatiale et maîtrise d'œuvre pour la conception d'un équipement public contemporain, dans les conditions d'un réel appel à concours. Dans le cadre de cet atelier, les projets ont été conçus et détaillés techniquement par les étudiants Ingénieurs Architectes de ULiège et prédimensionnés par les étudiants Ingénieurs de l'École des Mines d'Alès (projet bâtiment). Par conséquent, le niveau de conception de ces projets est assez avancé: les projets sont entre les niveaux APD (avant-projet détaillé) et EXE (l'exécution).

Le projet illustré dans la Figure 2 et intitulé "Maison de la musique" est celui qui a été choisi dans le cadre de notre expérimentation appliquant un processus BIM. C'est un complexe dédié aux Musiques Actuelles pouvant accueillir plus de 1200 spectateurs. Dans ce projet choisi ici, l'édifice est constitué d'un bâtiment central (comportant 2 salles de concert à dimensions variables) et entouré par une rampe et des zones de circulations, puis par quatre bâtiments périphériques abritant l'ensemble des autres espaces nécessaires au fonctionnement d'un tel édifice (comme des salles de répétition, de la restauration, etc.). Le choix d'un tel projet arrivé à ce stade d'avancement est justifié par le constat que le BIM présente une valeur ajoutée avérée dans cette phase de projet (ORI, 2014).



Figure 2 – Vue 3D du projet « Maison de la musique ».

Toutes les informations utiles et nécessaires à la compréhension architecturale et spatiale de ce projet (plans, coupes, éléments de présentations), ainsi que les rapports de conception et de prédimensionnement technique (structurel, HVAC, etc.) du bâtiment sont mis à disposition des divers acteurs/étudiants participant à l'expérimentation.

4.1.2 Recherche d'alignement à la réalité du terrain

Dans le cadre de notre recherche, le protocole pédagogique a été défini de manière à anticiper les pratiques professionnelles et à s'aligner à la réalité du terrain: il présente les méthodes et outils émergents au service de la collaboration et les met en oeuvre dans un contexte technologique original. Plus concrètement, le travail collaboratif est organisé par le groupe d'acteurs/étudiants. Il se base sur une distribution de diverses tâches intégrant, entre autres, des coordinateurs BIM et des modelleurs BIM spécialisés dans différents domaines (comme l'architecture, ou la structure, ou encore les

techniques spéciales). Ce travail collaboratif est rendu possible par l'intégration des 3 éléments suivants dans notre protocole expérimental.

Spécification des demandes précises d'un maître d'ouvrage

Comme le précise G. Gronier (2019), le travail collectif repose sur une synchronisation cognitive : les acteurs doivent se mettre d'accord sur l'objectif, sur les plans d'actions, sur les méthodes employées, etc. Ainsi dans le cadre de l'expérimentation, le but du protocole pédagogique est de supporter la construction d'un référentiel commun à tous les acteurs, c'est-à-dire une représentation commune et partagée des buts à atteindre en groupe. Cela est rendu possible grâce à trois demandes claires du maître d'ouvrage: (i) l'estimation du coût de la construction du bâtiment, (ii) l'estimation du coût et la planification de la construction du bâtiment sur chantier et (iii) l'évaluation du coût de fonctionnement du bâtiment. Ces demandes constituent trois missions communes précises à accomplir par l'ensemble des acteurs de chaque groupe.

Clarification du rôle et du mode de travail de chacun, selon les normes BIM

L'activité de groupe évolue suivant les phases du projet de construction. Durant une seule et même phase du projet, plusieurs intervenants sont impliqués et ils ont des rôles propres à chacun et spécifiques (Botton & Kubicky, 2014). Afin de prendre en compte cette pluridisciplinarité des acteurs, une approche multi-rôles par acteur est mise en place afin de permettre à chaque participant de tester et d'expérimenter l'approche collaborative du BIM. Plus spécifiquement, chaque intervenant endosse au sein de son équipe au minimum deux des trois rôles bien précis : (i) un rôle de modélisateur de la maquette BIM du projet (un pour la structure, un pour l'enveloppe, un pour le partitionnement intérieur, un pour le CVC), (ii) un rôle d'exploitation des données de la maquette BIM en fonction des missions (deviseur, planificateur des travaux et facility manager) et (iii) un rôle de coordination technique et/ou organisationnelle. Des rôles supplémentaires sont également adoptés par les encadrants pédagogiques de l'expérimentation, tels que un maître d'ouvrage, un architecte concepteur du projet, et un BIM coordinateur. Afin de favoriser l'interaction entre les membres des groupes, les maquettes BIM « métiers » sont produites en mode de travail par binôme, puis elles sont assemblées dans une maquette unique, selon un workflow établi dans le protocole BIM, par chacun des binômes. Chaque binôme est responsable de sa production, vis à vis de l'ensemble du groupe. Il est en de même pour les missions d'exploitation de la maquette et de coordination technique et organisationnelle.

Planification du travail collaboratif en trois phases

Le manque de coordination efficace entre les intervenants d'un projet peut impacter la gestion de l'information (Forgues & al., 2014). Par conséquent, afin de favoriser la coordination au sein des groupes dans le cadre de notre expérimentation, le protocole pédagogique proposé ici prescrit les trois phases d'activités suivantes qui s'alignent à ce qui est fait le plus souvent dans les agences/entreprises et à ce qui est généralement préconisé dans divers guides de gestion BIM.

Phase (1) la mise en place d'un protocole BIM. Cette première phase comprend la compréhension et la mise en place de l'ensemble des rôles au sein des équipes, ainsi que la rédaction d'un protocole BIM partagé par les acteurs d'un même projet, comprenant les méthodes de travail définies par chaque groupe afin que ces acteurs puissent préparer au mieux les phases (2) et (3), avec comme modèle de base le protocole BIM Belge du CSTC (2018).

Phase (2) la modélisation collaborative de la maquette numérique constructive du bâtiment déjà conçu, en utilisant des logiciels BIM, accompagnée de réunions de coordination et de détection des conflits entre les maquettes « métiers », ainsi que la production de nombreuses présentations du projet (plans, façades, coupes et vues diverses).

Phase (3) l'exploitation des données partagées dans la maquette numérique, afin d'accomplir les trois missions communes que le maître d'ouvrage leur a prescrit ici, c'est à dire: (i) l'estimation du coût de

la construction du bâtiment, (ii) l'estimation du coût et la planification de la construction du bâtiment sur chantier et (iii) l'évaluation du coût de fonctionnement du bâtiment.

5. Méthodes de récolte de données

5.1 Observations

5.1.1 Mise en place d'un protocole d'observation

Des réunions de coordination en présentiel sont prescrites par le protocole pédagogique, dans le but de favoriser des moments d'échanges et de communication entre les acteurs. Cette dernière porte l'un des piliers de la collaboration, elle est nécessaire pour mener à bien le projet en mode BIM car elle incarne un processus de transmission et de traduction du message entre les acteurs d'un projet (K. Levan, 2016). Ces réunions de coordination BIM se déroulent de façon hebdomadaire, elles comprennent l'identification des conflits géométriques entre les 4 maquettes « métiers » du bâtiment et la discussion autour d'incohérences et de problèmes techniques et organisationnels rencontrés par le groupe, au fur et à mesure de l'avancement de l'expérimentation. Ces réunions sont animées par le coordinateur technique et organisationnel. Elles se déroulent pendant les deux phases d'activités (2) de modélisation et (3) d'exploitation de la maquette numérique. La durée moyenne de ces réunions est de 60 minutes, elles sont encadrées et supportées par des outils logistiques, pour la revue et la résolution des problèmes techniques par groupe. Au total 8 réunions de coordination BIM sont observées et analysées, 4 réunions pour chacun des groupes.



Figure 3 – Réunions de coordination BIM en présentiel des deux groupes.

Une grille d'encodage pour l'observation de ces réunions est mise en place par nos soins. Cette grille est constituée de 4 critères, comme le montre la Figure 4 : (1) le temps chronométré entre deux nouvelles informations qui apparaissent dans la conversation ; (2) chaque nouveau prédicat de la conversation (tel que définit dans la Méthode COMET), défini comme un nouvel élément dans la conversation ; (3) l'objet de l'information, défini comme le contenu de l'information échangée ; (4) le support de l'information échangée, donc tous les artefacts utilisés pour expliquer l'information échangée (maquette BIM, plan, coupes, vues extraites de la maquette, etc.). En résumé, le but de ces observations est d'analyser le contenu, le support et les outils utilisés lors des échanges d'informations, dans le cadre des réunions de coordination BIM.



Figure 4 – Les 4 critères de la grille d'observation.

Une première analyse macroscopique des notes prises à la volée pendant les réunions a permis d'affiner la grille d'observation, en identifiant, 6 types d' « Objet de l'information » (Oi), 7 types de

« Support de l'information » (Si). Ensuite, un encodage plus détaillé des données est effectué en visualisant les enregistrements vidéo des réunions. L'analyse des données récoltées par cette grille d'observation affinée permet de déterminer deux caractéristiques principales de l'information échangée, en réunion, son « Quoi ? » et son « Comment ? ».

5.1.2 Synthèse des données récoltées

Au total 425 observations sont récoltées ($N_{obs} = 425$). Celles-ci regroupent l'ensemble des prédicats (nouvel élément) dans les conversations, pour les 8 réunions de coordination BIM menées par les deux groupes. Parmi ces observations, certains prédicats portaient deux types objets d'information, d'où un nombre total d'objet d'information de 521 ($N_{obj} = 521$). Comme le montre le Tableau 1, les données récoltées nous permettent de catégoriser les informations échangées selon l'objet de l'information.

Catégories de l'information échangée (objet de l'information)	Nombre d'occurrence par rapport au N_{obj}
(Ip) Information concernant la compréhension du projet constructif	107
(Im) Information concernant la modélisation de la maquette BIM	89
(Ie) Information concernant l'exploitation de la maquette BIM	36
(Id) Information concernant la détection des conflits géométriques	111
(Ic) Information concernant l'organisation du travail collaboratif	119
(Io) Information concernant l'appropriation des outils BIM et des autres outils	59

Table 1 – Les objets d'information en réunion de coordination BIM ($N_{obj} = 521$).

Des données sont récoltées sur les supports de l'information, comme le montre les Tableaux 2 et 3, chaque information est supportée soit par la « Maquette BIM seule », soit par « Autres que la maquette BIM », soit par « Aucun support ». Les « Autres » supports que la maquette BIM sont nombreux et ils comprennent : diverses vues 2D provenant d'outil CAD, Maquette 3D non BIM, vues en perspectives provenant de la maquette BIM, tableau Blanc numérique, papier (plans, croquis, etc.), support type bureautique (schéma de workflow, tableau, texte).

Support de l'information	Nombre d'occurrences ($N_{obj} = 444$)
Maquette BIM seule	177
Autres que la Maquette BIM	100
Aucun support (discussion orale exclusive)	167

TABLE 2 – Les supports de l'information en réunion de coordination BIM (en occurrences).

Ces supports sont observés en terme d'occurrences afin d'évaluer le nombre de fois que le groupe a utilisé ces supports pendant la réunion, mais aussi en terme de durée afin d'évaluer le temps passé sur chaque support pour présenter et/ou visualiser une information et/ou résoudre un problème collectif.

Support de l'information	Durée
Maquette BIM seule	03:36:38
Autres que la Maquette BIM	2:34:52
Aucun support (discussion orale exclusive)	4:33:28

TABLE 3 – Les supports de l'information en réunion de coordination BIM (en durée).

5.2 Enquête

5.2.1 Mise en place d'un protocole d'enquête

Un protocole d'enquête sous forme de formulaire en ligne est mis en place, afin que les intervenants puissent y répondre en dehors des réunions de coordination BIM. L'objectif de l'enquête est de récolter les données relatives aux échanges d'information dans la phase d'activité (3) d'évaluation de la construction par l'exploitation des données partagées de la maquette numérique. Ainsi, 12 des 17 acteurs sont seulement concernés par cette enquête, ceux endossant les rôles d'exploitation des données de la maquette BIM en fonction des missions ; deviseur, planificateur des travaux et facility manager. Plus précisément, le formulaire concerne les requêtes d'information effectuées à distance entre les divers acteurs de chaque groupe. Une requête est définie comme une recherche (i) d'une information qui servira directement les missions d'exploitation, et/ou (ii) d'une information pouvant être récupérée directement de la maquette numérique BIM globale ou des maquettes « métiers » et/ou (iii) d'une information obtenue de l'un des collaborateurs ou autre comme internet.

Ce formulaire est complété par les 12 acteurs, pour donner un bilan global des requêtes d'information qu'ils ont estimées indispensables afin de mener à bien leurs missions d'exploitation des données de la maquette. Le formulaire comprend les 5 questions suivantes :

Question 1: Lors de cette requête, de quelles données avez-vous eu besoin?

Question 2 : Comment avez-vous formulé votre requête? et à qui/à quoi l'avez-vous formulé?

Question 3 : Sous quelle forme avez-vous reçu chaque donnée?

Question 4 : Avez-vous dû transformer une ou toutes les informations reçues?

Question 5 : Une fois les informations reçues et/ou transformées, qu'en avez-vous fait?

Afin de faciliter la compréhension des questions, résumées dans cet article, ces dernières sont accompagnées par des explications et illustrées par des exemples dans sa version en ligne. Cette enquête concerne la phase (3) d'évaluation de la construction, car son objectif est d'estimer l'importance de la maquette comme support principal lors des requêtes d'information entre les divers intervenants. Par conséquent, nous considérons comme hypothèse de départ que la phase (2) de la modélisation collaborative de la maquette numérique est déjà achevée.

5.2.2 Synthèse des données récoltées

L'enquête en ligne, menée à l'issue de la phase (3) d'évaluation de la construction, a récolté les réponses des 12 acteurs concernés (N=12). L'objet de l'information se limite au type (Ie), information concernant l'exploitation de la maquette numérique. Le type de l'information est clairement défini puisqu'il s'agit exclusivement de requêtes. Par conséquent, l'analyse se concentre sur le support de l'information. Le but est de la récolte de ces données est de pouvoir spécifier les échanges informels, hors de la réunion de coordination.

Les réponses fournies à la *Question 2* du questionnaire sont regroupées dans le Tableau 4. Plusieurs types de supports sont ainsi identifiés concernant les requêtes effectuées entre les acteurs du groupe. Chaque acteur a précisé le support de l'information qu'il a utilisé pour formuler sa requête, soit en communiquant oralement avec un collaborateur, soit en récupérant la donnée directement à partir la maquette BIM, etc. Le but d'une requête formulée par un acteur est de récolter la bonne information afin d'aboutir au mieux sa mission d'exploitation.

Support des requêtes d'information	Nombre de réponses (N=12)
Maquette BIM	2
Courrier électronique	2
Système de messagerie	2
Communication orale à un collaborateur en coprésence	4
Note déposée sur une plateforme partagée (type Cloud)	2

TABLE 4 – Le nombre de réponses pour chaque support des requêtes d'information.

Les réponses fournies à la *Question 3* du questionnaire, nous indiquent les différentes formes d'informations reçues par les acteurs. Elles sont regroupées dans la Tableau 5. Les données sont soit encodées manuellement par un collaborateur dans la maquette BIM et récupérées ensuite par un autre, soit exportées dans un fichier en format « excel » à partir de la maquette, soit consultées directement dans la maquette BIM.

Forme de l'information reçue	Nombre de réponses (N=12)
Données extraites de la maquette mais encodées manuellement par un collaborateur dans le logiciel de modélisation BIM	4
Export de données dans un fichier Excel directement générées à partir de la maquette suite à l'activité de modélisation	4
Modèle numérique en format natif ou en format IFC	4

TABLE 5 – Le nombre de réponses pour chaque forme d'information reçue.

Les réponses fournies à la *Question 4* du questionnaire sont regroupées dans le Tableau 6. Elles présentent les différentes manipulations de données qu'un acteur effectue, quand il reçoit des informations d'un autre collaborateur, ou quand il extrait des informations directement à partir de la maquette BIM. Les informations sont soit utilisées en état, donc telles qu'elles sont reçues ou extraites de la maquette BIM, soit elles sont triées et/ou remaniées et/ou complétées et/ou combinées à d'autres données et/ou exportées sous un autre format. Le but de ces transformations est principalement de formater l'information pour la rendre utilisable et pour faciliter l'aboutissement des 3 missions d'exploitation des données ; l'estimation du coût de la construction ou la planification de la construction ou l'évaluation du coût de fonctionnement du bâtiment.

Transformation de l'information reçue	Nombre de réponses (N=12)
Information triée ou remaniée ou complétée ou combinée ou exportée en format excel par acteur du projet	8
Information utilisée en état, sans transformation par un acteur du projet	4

TABLE 6 – Le nombre des informations reçues et transformées.

6. Spécificité des échanges formels

6.1.1 Nécessité de co-construction d'un référentiel commun vers une meilleure gestion du travail collaboratif

Suite aux observations des réunions de coordination, nous avons identifié plusieurs catégories d'informations échangées (cf. Table 1).

Catégorie 1, information concernant la compréhension du projet (Ip) : élément de la discussion comprenant des indications sur le projet en lui-même, sa conception, sa technique, son système constructif mais également les divers précisions demandées à l'architecte concernant le bâtiment et au maître d'ouvrage concernant ses divers demandes formulées.

Catégorie 2, information concernant la modélisation du projet (Im) : élément de la discussion reprenant les discussions autour des objets à modéliser, ils comprennent tous les composants physiques du bâtiment à modéliser (dalle, murs, cloisons, etc.) et leur connexions.

Catégorie 3, information concernant l'exploitation de la maquette numérique (Ie) : élément de la discussion se focalisant sur la réalisation concrète, sur la forme et le contenu des 3 missions d'exploitation des données de la maquette numérique dans la phase (3) de l'évaluation de la construction.

Catégorie 4, information concernant la détection des conflits géométriques (Id) : élément de la discussion concernant les problèmes de la détection des conflits entre les maquettes

Catégorie 5, information concernant l'organisation du travail collectif (Ic) : élément de la discussion qui concerne l'organisation du groupe, son planning, ses échéances, les répartitions des tâches, les prises de décisions, l'état d'avancement et des missions. Il comprend également la formulation de conseils, la détermination des procédures à suivre et de méthodes à employer en commun, entre les divers acteurs du projet.

Catégorie 6, information concernant l'appropriation des outils BIM (Io) et des autres outils : élément de la discussion portant sur les fonctionnalités de l'outil, les possibilités de réalisation de certaines activités de modélisation ou simplement des remarques générales sur l'efficacité, sur l'ergonomie ou sur la fluidité de l'outil.

A travers le tableau 1, nous pouvant d'ores et déjà constater que l'information concernant la détection des conflits géométriques entre les maquettes métiers prend une place importante, ce qui semble logique vu que le protocole pédagogique qui impose de réaliser cette détection dans le cadre de la réunion de coordination BIM. De même pour l'information concernant la modélisation de la maquette BIM, le nombre important d'informations échangées à ces sujets sont justifiables vu que la phase (2) de modélisation de la maquette numérique (qui s'est avérée la plus longue des 3 phases d'activités dans le processus BIM mise en place pour les deux groupes) et que les réunions de coordination BIM sont les lieux de vérification de la qualité et de la complétude des modèles.

Par contre, l'information concernant le travail collaboratif présente l'occurrence la plus élevée, suivie par celle concernant la compréhension du projet. Ces résultats montrent l'importance de ces deux aspects dans une collaboration BIM. Malgré le cadre pédagogique, avec un projet en stade avant-projet détaillé, pré-dimensionné techniquement et malgré des rôles précis et des missions formulées bien ciblées en terme de modélisation, d'exploitation des données des maquettes et de détection des conflits géométriques, les acteurs du projet consacrent presque la moitié de leurs discussions sur l'aspect organisationnel de leur travail et à la compréhension approfondie du projet afin de pouvoir se constituer un référentiel commun leur permettant d'avancer dans leurs missions respectives et de modéliser le projet en respectant sa réalité constructive, sa conception architecturale. Pointons également que 11.3 % (59/521) des informations concernent l'appropriation des outils BIM (Io) par les acteurs du projet. Ce pourcentage peut s'expliquer, d'un côté, par un manque de maturité dans l'usage des outils BIM (et ce pour la plupart des participants à l'expérimentation) et, d'un autre côté, par la complexité d'usage des outils pour la modélisation de certains éléments spécifiques du bâtiment.

6.1.2 Besoin d'information vs support

Comme présenté dans le tableau 2, la communication orale est en effet autosuffisante pour 37.6 % (167/444) des informations échangées, sans support physique pour les illustrer. Pour confirmer ce résultat, nous examinons le temps passé dans l'ensemble des séances sur chaque support pour expliquer l'information, comme le montre le Tableau 3. Nous remarquons que la communication orale sans support physique occupe 42.4% de la durée totale des réunions de coordination BIM, contre 33.6% seulement pour la Maquette BIM seule.

Comme le montre la Figure 5, au total il y a 212 informations supportées par la maquette BIM. Concernant l'objet d'information le plus supporté par la maquette numérique, nous retrouvons par ordre d'importance en terme d'occurrence ; l'information concernant les missions d'exploitation et de détection des conflits géométriques (Ie et Id : 42.9 % = 91/212), la modélisation des maquettes « métiers » (Im : 25% = 53/212) et la compréhension du projet (Ip : 15,6% = 33/212).

Quand à la communication orale exclusive, elle supporte au total 194 informations. Pendant la réunion de coordination, elle comprend les moments où les intervenants n'utilisent aucun support physique pour illustrer leurs propos. L'objet de ces échanges verbaux se concentre principalement sur l'organisation du travail collectif (Ic : 40.2 % = 78/194) et l'appropriation des outils BIM par les divers acteurs (Io : 17.5 % = 34/194).

Enfin, 98 informations sont présentées en réunion en utilisant d'« autres supports » que la maquette BIM, tels que les vues en plan, des perspectives, une maquette non BIM, etc. Afin d'avoir une idée comparative entre les supports, nous constatons que 57.8 % (292/504) des informations échangées ne sont pas supportées par la maquette BIM. Les informations sont supportées avec des proportions assez variables, entre la maquette BIM, l'ensemble des autres supports et la communication orale exclusive et cela en fonction des 6 types d'objets d'information.

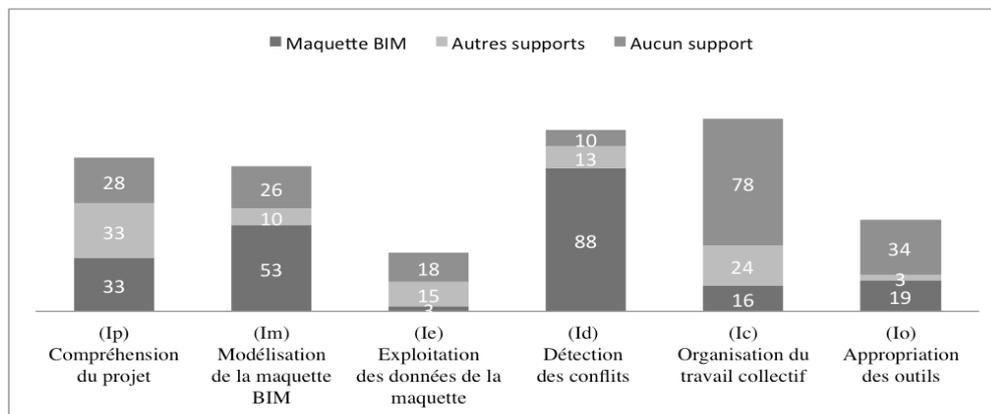


Figure 5– La part de la maquette BIM, comme support des 6 catégories de l'information échangée, par rapport à d'autres ou aucun supports.

La maquette BIM est indispensable comme support pour la détection des conflits géométriques et la vérification de la modélisation des maquettes « métiers ». Ce résultat ne vient que confirmer les travaux effectués par S.Kubicki (2019) qui montre l'importance de la maquette pour la visualisation d'un problème géométrique, son pointage et sa résolution suite à des interactions et des discussions entre les acteurs. Cependant, la maquette ne sert pas de support visuel lorsque les discussions portent sur l'évaluation de la construction et l'aboutissement des missions d'exploitation des données pas forcément géométriques de la maquette. Pour l'organisation du travail collectif, le coordinateur utilise principalement les autres supports, type bureautique, pour illustrer ses propos aux autres membres du groupe. La maquette sert également en partie à présenter certains points nécessaires à la

compréhension du projet architectural, de son système constructif et technique, au delà simplement de la détection des conflits géométrique. Le reste des échanges concernant la compréhension du projet est assuré par l'ensemble des autres supports et par les échanges verbaux, qui se montrent complémentaires à la maquette BIM.

7. Spécificité des échanges informels

7.1.1 Besoin de supports complémentaires à la maquette BIM lors des échanges informels

Suite aux données récoltées dans l'enquête (cf. Table 4), nous constatons que hors du contexte de réunions de coordination BIM, pour les 3 usages BIM en phase (3) d'exploitation des données, la maquette numérique constitue 16,7 % (2/12) de support pour les requêtes d'information entre les divers intervenants. Comme le montre le Tableau 4, nous remarquons que les acteurs préfèrent adresser leur requête en coprésence. Grâce à des interviews post-expérimentation, les acteurs ont confirmé qu'ils profitent surtout des réunions de coordination pour formuler leurs demandes en coprésence, ils estiment que la communication orale de face-à-face est plus efficace qu'à distance pour la compréhension des demandes et des problèmes à résoudre.

Ainsi, pour répondre à notre deuxième question de recherche « *pour des usages BIM définis, est-ce que la maquette numérique constitue-t-elle un support des échanges informels lors des requêtes d'information entre les divers intervenants?* », les résultats montrent que l'usage d'autres supports d'information, comme des notes textuelles déposées sur la plateforme partagée ou via un système de messagerie ou par courrier électronique, est aussi important que celui de la maquette BIM. De plus, comme le montre le Tableau 5, même quand un collaborateur reçoit des données extraites de la maquette BIM, un tiers de ces données ont été encodées manuellement par un autre collaborateur, autant que celles fournies automatiquement à partir de la maquette BIM et qui n'ont pas nécessité un encodage supplémentaire suite à l'activité de modélisation (un mètre par exemple). Par conséquent, on peut se questionner sur la valeur ajoutée de ces informations intégrées manuellement à la maquette numérique, en terme de pertinence, d'utilité et d'efficacité. Notons également qu'un tiers des informations reçues sont des données exportées depuis un logiciel de modélisation BIM de la maquette sous le format d'un fichier « Excel ». L'usage de ce format fait partie des pratiques existantes et traditionnelles.

7.1.2 Information nécessitant une variété de transformation

Suite aux réponses formulées à la *Question 5* du questionnaire, nous constatons que 67 % des informations obtenues par les acteurs leur ont permis de faire aboutir 92 % de leurs tâches avec succès, moyennant une variété de transformations de cette information; triée, remaniée, complétée, combinée et exportée, comme le montre le Tableau 6. Ceci démontre que le flux d'échange d'information nécessite pour un nombre important de requêtes, l'intervention d'un collaborateur et une manipulation conséquente des données de la maquette numérique par les acteurs du projet. De plus, malgré la réalisation, en amont de la modélisation numérique, d'un protocole BIM par groupe, définissant un workflow et un dataflow, ce dernier ne s'avère pas suffisant pour anticiper tous les problèmes d'échange d'information. Afin de permettre de répondre aux missions d'exploitation des données sans difficultés, plusieurs échanges informels se montrent nécessaires pour la compréhension et le traitement de l'information extraite de la maquette.

8. Conclusions

8.1 Contribution de l'article

À l'issue de notre expérience intégrée à un cadre pédagogique qui s'aligne à la réalité du terrain, les réponses à notre première question de recherche montrent que la maquette numérique n'est pas le seul support des échanges d'information formels et informels entre les acteurs d'un projet BIM. L'étude montre que l'organisation du travail collaboratif est au cœur de l'échange formel autour de la maquette. Contrairement à toutes les méthodes qui préconisent que la maquette BIM constitue le référentiel unique pour l'échange d'information, qu'elle diminue les échanges informels et privilégie les échanges formels, la réponse à notre deuxième question de recherche démontre de façon globale que les échanges d'information dans le cadre d'une expérimentation BIM passe par divers canaux de communication. Plusieurs types de support pour l'échange d'information sont aussi nécessaires dans une collaboration BIM. La communication orale exclusive supporte principalement l'information liée à l'organisation du travail collaboratif. Par contre, la communication à distance, autour de la maquette BIM, semble difficile à mettre en œuvre entre les acteurs du projet.

8.2 Limites et perspectives

Notre grille d'observation contient d'autres données brutes à analyser, tels que les logiciels utilisés, les acteurs concernés par les échanges, le type de modulation (assertion ou enquête), de prédicat (évaluation, interprétation, etc.), et le but de l'échange (élément de solution à un problème, prise de décision, etc.). Ces données seront utilisées dans des travaux et publications futurs, pour répondre à des questions telles que : *Comment se construit la collaboration ? Ce qui la favorise ? Ce qui la limite et comment elle impacte la résolution des problèmes en groupe ? et quelles fonctionnalités des logiciels la favorisent ?* Les protocoles développés dans cet article sont réalisés dans un cadre pédagogique, il serait utile, à ce stade, de compléter et d'affiner ces résultats en milieu professionnel. Les questions relatives aux échanges formels et informels sont mises en avant par cet article, mais l'étude n'est pas assez conséquente pour mettre en place une méthodologie de gestion de l'information BIM en entreprise. En effet, dans un contexte réel, le projet est plus complexe et évolue dans un cadre plus coercitif. Il implique diverses responsabilités, échéances et moyens à respecter par l'ensemble des acteurs du projet. Même si le protocole pédagogique tente de calquer une certaine réalité professionnelle, l'ensemble des protocoles de récolte de données doit être adapté pour être utilisé en entreprise. L'expérimentation a nécessité également un temps conséquent de préparation, vu la multitude de protocoles scientifiques mis en place.

À ce stade, notre recherche s'est concentrée sur le « Quoi » et le « Comment » pour la caractérisation de l'information échangée dans un processus BIM. Des questions telles que le « type », le « Pourquoi », le « Quand » et le « Qui » de l'information échangée dans un processus BIM restent à explorer et nos travaux de recherche actuels avancent dans cette voie.

L'étude démontre que la communication est un pilier nécessaire à l'aboutissement du travail collaboratif. Le développement d'une plateforme partagée assistant la co-construction d'un référentiel commun, avec un système de messagerie ou de notes synchronisées semble pouvoir répondre aux problèmes de communication autour de la maquette BIM ou d'organisation de réunion de coordination BIM à distance et en temps réel. C'est ce que nous tenterons de développer et évaluer dans le cadre de cette thèse et dans la suite de notre recherche appliquée au contexte réel de grandes entreprises en conception et construction.

9. Références

- Ben Rajeb, S. (2012). Modélisation de la collaboration distante dans les pratiques de conception architecturale. Thèse de doctorat à l'École supérieure d'architecture de Prais-La-Vilette.
- Boton, C. et Forgues, D. (2018). Comprendre l'impact du numérique sur la gestion de projet en construction. *Lien social et Politiques*, (81), p. 41–60.
- Boton, C. et Kubicki, S. (2014). Maturité des pratiques BIM : Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies. In *Interaction(s) des maquettes numériques: actes du 6e séminaire de conception architecturale numérique, SCAN'14 Luxembourg.*, p. 45-46. Éditions Universitaires de Lorraine.
- Celnik, O. et Lebègue, E. (2014). BIM & Maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction. Coédition Eyrolles et CSTB.
- Celnik, O et Lebègue, E. (2015). BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction (2^eédition). Coédition Eyrolles et CSTB.
- Chone, P., Colin, C., Delaplace, M., Kenel-Pierre, X. and Thome, N (2016). Révolution numérique dans le bâtiment: analyse des gains escomptés par la diffusion des outils numériques (BIM et maquette numérique) dans le secteur du bâtiment. Technical Report, ENPC and CSTB.
- Conein, B. (2004). Cognition distribuée, groupe social et technologie. *Réseaux*, 124, 53-79
- CSTC, (2017). Le numérique pour tous !
- Delcambre, B. (2014). Rapport Mission Numérique Bâtiment. Ministère du logement et de l'égalité des territoires et de la ruralité.
- Maestri, A. De, (2018). Innovation collaborative en BIM. 1.Paris : Eyrolles.
- Forgues, D., Tahrani, S., Frenette, S., Beaudoin, J., Ducharme, G. & Lavoie, A. (2014). *Construction2.0 - L'efficacité par le numérique.*
- Gronier, G. (2019). Travail collectif et collectifs de travail. Psychologie de la collaboration et de la dynamique de groupes, Luxembourg Institute of Science and Technology.
- Holzer, D. (2016). *The BIM Manager's Handbook : Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction.* John Wiley & Sons.
- Jennifer K. Whyte & Timo Hartmann, (2017). How digitizing building information transforms the built environment, *Building Research & Information*, 45:6, 591-595
- Kensek, K. (2015). *Manuel BIM – Théorie et applications* (T. Tatin, Trans.). Paris: Eyrolles. (Original work published 2014).
- Kubicki S., Guerriero A., Schwartz L., Daher E., Idris B. (2019). Assessment of synchronous interactive devices for BIM project coordination: Prospective ergonomics approach. *Automation in Construction*. Volume 101, May 2019, Pages 160-178
- Levan, S.K., (2016). *Management et collaboration BIM*, Collection Blanche BTP.
- NSCSC, N. S. (2010). *Functional Information Technology Phase 1: Detailed Analysis.* Construction Engineering and Management Group de l'Université du Nouveau Brunswick.
- ORI (2014), Directive cadre pour une coopération avec BIM, rapport de l'Organisation sectorielle des bureaux d'ingénierie et de consultance en Belgique.
- Santos R., Costa A. A. Costa et Grilo A., (2017). « Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015 ». *Automation in Construction*, vol. 80, p. 118- 136.
- Shepherd D., (2019). *The BIM Management Handbook.* Routledge.
- Skair, L. (2015). The transnational Capitalist Class and Contemporary Architecture in Globalizing, in *International Journal of Urban and Regional Research*, vol. 29.3, p. 485-500.