

Vers un modèle organisationnel de la pratique du BIM basé sur l'ingénierie collaborative

To an organizational model of BIM practice based on collaborative engineering

Hana Rezgui¹, Hassan Ait Haddou², et Guy Camilleri³

¹LIFAM-IRIT ENSA Montpellier, 179 rue de l'Esperou, F-34093 Montpellier Cedex 5, France

²LIFAM-LRA ENSA Montpellier, 179 rue de l'Esperou, F-34093 Montpellier Cedex 5, France

³IRIT-SMAC Université Paul Sabatier, 118 Route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 9, France

Résumé. Depuis plusieurs décennies le numérique a révolutionné le monde de la construction, l'avènement du BIM (building information modeling) a tenté de résoudre le problème de gestion de projets entre les collaborateurs. Après une large étude bibliographique sur l'adoption du BIM nous avons pu identifier un problème majeur dans la gestion de projets de construction : manque de communication et de collaboration entre les intervenants. Dans cet article nous allons tenter de résoudre ce problème par l'application d'une méthode d'ingénierie collaborative sur un projet architectural à l'aide du BIM pour résoudre la problématique du travail collaboratif. Pour ce faire nous proposons à l'aide d'une méthode de l'ingénierie de la collaboration, des modèles pour organiser le travail des acteurs en définissant des phases et des modes d'intervention, leurs temporalités.

Mots clés. BIM, ingénierie collaborative, Travail collaboratif, Acteurs de la construction.

Abstract. For several decades digital technology has revolutionized the world of construction, the advent of BIM (building information modeling) has attempted to solve the problem of project management between collaborators. After an extensive literature review on the adoption of BIM we have identified a major problem in the management of construction projects which is the lack of communication and collaboration between stakeholders. In this

article we will try to solve this problem by applying a collaborative engineering method on an architectural project using BIM to solve the problem of collaborative work. To do this we propose, using a method of collaborative engineering, models to organize the work of actors by defining phases and modes of intervention, their temporalities.

Keywords. BIM, collaborative engineering, collaborative work, construction actors.

1 Introduction

La construction étant une composante majeure de la ville, de nombreuses recherches sont menées afin d'assurer sa gestion. Ces dernières années le BIM (Building Information Modeling/Model /Management) est de plus en plus adopté dans la construction. Le BIM est défini par Kubicki et al [1] : « La modélisation des informations du bâtiment (BIM) est à la fois une technologie et un processus qui émerge dans le secteur de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction. Elle repose sur la représentation numérique et l'échange d'informations qui facilitent l'accès à toutes les données pertinentes tout au long du cycle de vie d'un projet ».

De nombreux chercheurs se sont intéressés au BIM dans le monde entier, d'après leurs résultats plusieurs difficultés ont été rencontrées lors de son adoption par les architectes et les maîtres d'œuvres dans les différentes phases du projet de construction.

Après une large étude bibliographique, plusieurs travaux ont identifié des problèmes de communication et de flux d'informations de mauvaise qualité entre les participants du projet dans tous les niveaux hiérarchiques de la gestion du projet [2].

Selon Jupp [2], la mauvaise circulation de l'information est due à la fragmentation du travail entre les participants au projet et aux incohérences dans le transfert, le stockage, l'accessibilité et la redondance des informations.

Nicał et Wodyński [3] dans leur article *Amélioration de la gestion des installations grâce au BIM 6D* citent plusieurs défis (extraits de la littérature) de l'application du BIM du point de vue des praticiens tel que : les rôles et responsabilités sont peu clairs dans le modèle BIM; Exigences en matière de données - niveau de développement (LOD) nécessaire; Problème d'interopérabilité de l'échange et du transfert d'informations; Attitude résistante au changement.

L'étude de Gless et al dans [4] montre que le BIM n'est toujours pas correctement implémenté en France, et la France ne fait pas partie des leaders dans ce domaine [5].

La construction est un domaine considéré comme un écosystème qui prend en compte plusieurs aspects techniques, juridiques et pratiques. Dans cet article nous nous concentrons sur l'aspect pratique et plus précisément sur la pratique du BIM dans les agences en phase conception. Au travers d'une étude bibliographique, nous avons constaté la problématique de la une mauvaise communication et collaboration entre les intervenants qui constituent l'un des obstacles majeurs dans l'application du BIM dans les bureaux et les agences d'architecture [2]. De ce fait, dans ce travail nous essayons de répondre à la question suivante : « Comment l'ingénierie collaborative peut-elle contribuer à l'organisation du travail des acteurs de la construction et définir les rôles des intervenants, les accès à la maquette, leur temporalité et leurs tâches lors de la phase conception ? ».

2 La méthode d'expérimentation

Un projet de construction est composé de trois parties : la partie technique, pratique et juridique. Tout projet de construction public ou privé réunit un grand nombre d'intervenants [6]. Les intervenants de la construction sont liés par contrats aux différentes phases de projet selon le droit de la construction (droit public et droit privé) qui diffère d'un pays à l'autre.

Dans cet article, nous avons choisi de ne pas aborder le côté juridique et les types de contrats. Nous nous intéressons plutôt aux relations entre les intervenants lors de la pratique architecturale dans la première phase du projet, la phase de conception.

Pour ce faire nous nous sommes basés sur les travaux de recherche cités précédemment, et sur des retours d'expériences dans deux agences en France (Bureau d'étude + Bureau de maîtrise d'œuvre et entreprise générale de la construction) afin d'avoir un modèle général qui peut s'appliquer sur plusieurs projets et modifiable selon le type et la taille du projet.

Plusieurs chercheurs ont tenté de résoudre cette problématique en proposant des méthodes de gestion. Dans leurs travaux Gless et al [4] proposent trois pratiques agiles pour la conception architecturale dans le but d'améliorer la communication dans un groupe de travail collaboratif.

Dans cet article nous avons choisi d'utiliser la méthode de l'ingénierie de la collaboration proposée par Briggs et al [7]. Cette méthode est le résultat de 20 années de recherche et a été appliquée avec succès dans différents secteurs d'activités. L'ingénierie de collaboration (IC) est une approche qui permet de « concevoir des pratiques de travail collaboratif pour des tâches récurrentes de grande valeur et de déployer ces conceptions pour que les praticiens les exécutent eux-mêmes sans le soutien continu de facilitateurs professionnels » [7].

Nous commençons par intégrer la méthode de collaboration à sept niveaux présentée par Briggs et al. dans [8]. Ce modèle d'ingénierie de la collaboration offre un guide de modélisation des activités de collaboration. Étant applicable à notre cas (projet de construction), il simplifie la modélisation en permettant de bien détailler les phases de projets de construction, l'objectif de chaque phase et les relations entre les intervenants. Dans ce travail les trois premiers niveaux suffisent pour construire un modèle organisationnel du processus de conception architecturale.

Le tableau 1 décrit les niveaux de collaboration qui vont être appliqués à la phase de conception du projet de construction. Par exemple, considérons le premier niveau « Objectif ». Il est défini comme le résultat ou le but du travail et peut être un objectif de groupe ou individuel. Au niveau inférieur, le niveau « Produit » décrit les résultats tangibles ou intangibles produits par le travail du groupe. Le niveau des « Activités » contient les sous-tâches dont la réalisation génère les produits qui satisfont les objectifs. Les autres niveaux sont : les « Modèles de collaboration », les « Techniques », les « outils » et les « Scripts/Scénarios ».

Tableau 1. Méthode de collaboration de 7 niveaux pour les concepteurs de systèmes de collaboration de [8].

Niveaux de collaboration [8]	Description
Objectif	Un objectif est un état ou un résultat souhaité. Traite des buts de groupe, des buts privés et des buts personnels. la congruence des objectifs - le degré auquel les individus perçoivent que le fait de travailler pour les objectifs du groupe contribueront à la réalisation des objectifs privés. La collaboration est définie comme un effort conjoint vers un objectif de groupe. Aborde la motivation, la formation groupe, l'engagement, la productivité, la satisfaction et d'autres phénomènes liés aux objectifs.
Produit	Un produit est un artefact ou un résultat tangible ou intangible produit par le travail du groupe. Traite des questions de qualité, de créativité, d'efficacité, d'efficience, et d'autres phénomènes liés au produit.
Activités	Les activités sont des sous-tâches qui, une fois achevées, donnent les produits qui constituent la réalisation de l'objectif du groupe. Traite de ce que les groupes doivent faire pour atteindre leurs objectifs : séquences d'étapes qui constituent des approches de prise de décision et de résolution de problèmes.
Modèles de collaboration	Les modèles de collaboration sont des régularités observables de comportement et de résultat qui émergent au fil du temps dans le travail d'équipe. Les chercheurs se penchent sur six modèles généraux de collaboration : Générer, Réduire, Clarifier, Organiser, Évaluer, et Construire, Engagement.
Techniques	Une technique de collaboration est une procédure réutilisable permettant d'invoquer des interactions utiles entre des personnes travaillant à un objectif de groupe. Il s'agit d'invoquer des résultats utiles de manière prévisible et répétée dans un large éventail de circonstances.
Outils	Les outils de collaboration sont des artefacts ou des appareils utilisés pour effectuer une opération visant à faire avancer un groupe vers ses objectifs. Il s'agit de concevoir, développer, déployer, et l'utilisation de technologies à l'appui des efforts de groupe.
Scripts /scénario	Un script est tout ce que les membres de l'équipe se disent et font avec leurs outils pour atteindre l'objectif du groupe. Les scripts peuvent être internes ou externes, tacites ou explicites. explicitement capturés sous forme de documentation. Il s'agit de procédures tacites et explicites tacites et explicites pour le groupe. De petites variations dans les scripts structurés peuvent des variations substantielles dans la dynamique de groupe.

À partir du modèle précédent, notre travail est organisé en trois grandes étapes :

Étape 1 : Proposition de nouvelles limites des phases du projet architectural sur lesquelles les travaux seront menés. Au travers d'un travail bibliographique, il a été constaté que les limites des phases du projet architectural sont différentes selon les auteurs, nous avons donc proposé des nouvelles limites au besoin de cet article.

Étape 2 : Définition des objectifs et des tâches à effectuer dans chaque phase et sous-phase du projet avec le BIM. En définissant des objectifs, nous serons en mesure de comprendre et d'avoir la liste des parties prenantes qui interviendront dans chaque sous-phase du projet.

Étape 3 : Définition des intervenants dans chaque sous-phase et leurs rôles avec le BIM. En effet, plusieurs parties prenantes peuvent participer aux sous-phases d'un projet sans produire de résultats significatifs (documents, plans). Ils peuvent donner ou pas leur accord sur la faisabilité du projet pour anticiper les changements. Pour cela nous devons spécifier toutes les personnes impliquées et leurs rôles dans chaque phase du projet.

Étape 4 : détermination d'après les étapes précédentes les relations et les interactions entre les intervenants autour de chaque tâche afin d'établir un modèle organisationnel de chaque sous phase avec le BIM suivant le modèle de collaboration de sept niveaux de [8].

3 Application de l'ingénierie de la collaboration dans la construction

3.1 Étape 1 : définition de la phase conception

Avant de travailler sur la phase conception du projet architecturale on a commencé par la définir car on a trouvé que les sous phases du projet sont les mêmes mais la définition et les limites des phases de projets diffèrent d'un auteur à un autre, à ce titre nous avons proposé de faire un tableau de comparaison, nous avons pris pour exemple dans le Tableau 2 quatre documents :

[9] dans leur livre ils divisent le projet architectural en quatre phases ;

Dans le site de [10] les principales étapes d'un projet architectural sont divisés en cinq phases et elles sont différentes des cinq phases cité dans [11] ;

Le tableau acteurs et étapes de la conception et de la construction [12] qui divise les phases de projet architectural en deux phases.

Tableau 2. Phases du projet architectural selon plusieurs auteurs.

Fernandez et Lavigne 2009	INRS 2017	« Les étapes d'un projet RT2012 » 2012	CAUE92 2018
<p>1. La programmation (ou formulation du problème)</p> <p>2. La conception (ou formalisation de la solution)</p> <p>3. La réalisation du chantier (ou concrétisation de la solution)</p> <p>4. L'utilisation de l'équipement (ou l'appropriation de la solution).</p>	<p>1. Étape d'opportunité et faisabilité du projet</p> <p>2. Programmation</p> <p>3. Conception (esquisse, Avant-Projet Sommaire APS, Avant-projet Définitif APD, études techniques)</p> <p>4. Réalisation</p> <p>5. Mise en service</p>	<p>1. Dépôt de permis de construire</p> <p>2. Avant-projet définitif (APD)</p> <p>3. Dossier de consultation des entreprises (DCE)</p> <p>4. Réalisation des travaux</p> <p>5. Réception des travaux</p>	<p>1. Étape de conception (de l'étude préalable et programmation au dossier de consultation des entreprises)</p> <p>2. Les étapes de la construction (préparation et VRD jusqu'à la livraison)</p>

Après avoir comparé différentes sources dans le tableau 2, nous avons créé un tableau en fonction des besoins de cette étude, en adoptant les mêmes sous-phases de projet que les autres recherches, et en les divisant en trois phases. Cette proposition a été faite, en fonction des acteurs présents à chaque phase, du transfert d'informations, de leur coopération, et leurs lieux d'exercices et de leurs rôles.

La première phase est la phase de conception, où les parties travaillent sur le projet au bureau et n'ont pas besoin de se rendre sur le site, la deuxième est la phase construction/exécution qui est la phase chantier où le travail de tous les acteurs est liés au chantier et où de nouveaux acteurs interviennent (sous-traitants et entreprises de constructions), la troisième phase est la phase d'exploitation/maintenance, une phase post-construction où un grand nombre d'acteur ne va plus intervenir.

Les trois phases de projet architectural proposées et leurs sous-phases sont représentées dans le Tableau 3. Dans la phase de conception nous avons intégré les sous phases de la programmation jusqu'au dépôt du permis de construire. Dans la deuxième phase d'exécution nous avons groupé les sous phases qui nécessitent l'intervention d'un plus grand nombre d'acteurs et qui vont la plupart intervenir sur chantier à partir des plans d'exécution jusqu'à la sous phase d'Ordonnancement, Coordination et Pilotage OPC. La troisième phase est composée des sous phases qui commencent à la livraison du projet.

Tableau 3. Les phases du projet architectural.

Phases de projet	Phase de conception	Phase de construction / exécution	Phase exploitation/ Maintenance
Sous phases	Programmation et études préalables. Concours ou esquisse. Avant-Projet Sommaire APS. Avant-Projet Détaillé APD. Permis de Construire PC.	Projet (plans d'exécution) Dossier de consultation des entreprises DCE. Dossier marché, signature du marché. Direction de l'Exécution des Travaux – DET La gestion du chantier Ordonnancement, coordination et Pilotage du Chantier – OPC	Livraison du bâtiment au maître d'ouvrage. Assistance aux Opérations de Réception – AOR Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE), plan de recollement

3.2 Étape 1 : objectifs et productions des sous-phases de projet de construction

Avec la révolution numérique et l'arrivée du BIM, les agences d'architecture ont commencé à adopter une démarche BIM structurée, afin d'assurer une collaboration entre tous les acteurs. Cette démarche repose sur 4 éléments [13]:

- *Charte BIM* : un document édité par le maître d'ouvrage dans lequel il définit sa politique générale et ses valeurs. Il peut comporter plusieurs parties pour répondre aux enjeux techniques et organisationnels du projet.
- *Cahier des charges BIM* : Il définit les exigences et objectifs des intervenants successifs du projet.
- *Convention BIM* : selon l'ordre des architectes, c'est l'ensemble des procédures collaboratives, la marche à suivre de tous les intervenants pour produire, calibrer, valider et transmettre les données constitutives de la maquette.
- *Le Plan d'exécution BIM* : il traduit les exigences BIM en conformité avec la Convention BIM et le Cahier des charges BIM. Il est mis en œuvre par l'Entreprise.

Ces quatre éléments de la démarche BIM diffèrent d'une agence à une autre et d'un projet à un autre.

Objectifs et tâches de chaque sous-phase du projet avec le BIM

Dans cette partie nous déterminons les tâches et objectifs de chaque sous-phase avec le BIM. Nous nous sommes basés sur le guide du maître d’ouvrage de la mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques en France [14]. De plus, nous associons aux objectifs le niveau de détail (LOD) obtenu par la réalisation de chaque sous-phase selon le modèle conceptuel de City GML 3.0 [15].

Nous utilisons le même modèle que Lamour dans [14]. Dans le Tableau 4, pour faciliter sa lecture nous prenons la première sous phase qui est l’étude préalable. Dans cette sous phase, les éléments essentiels à sa réalisation sont le choix du projet, les données relatives : au site, au sol et aux existants (plans topographiques, plans des réseaux, plans des avoisinants...). A partir de ces éléments les intervenants peuvent réaliser une maquette numérique comprenant une analyse fonctionnelle et urbaine [si le terrain existe déjà], calculer le coût global. Le niveau de détail est donc LOD 0 ; l’objectif de cette sous phase est d’avoir une étude de faisabilité, de choisir le terrain et de définir la proposition d’un programme.

Tableau 4. Objectifs, produits et entrants de chaque sous-phase du projet avec le BIM.

Sous phases [Conception]	Objectifs, produits et entrants des sous-phases	Niveau de détails
Études préalables et Programmation	<p>Sources/entrants Choix du projet ; Données relatives au site, au sol, aux existants (plans topographiques, plans des réseaux, plans des avoisinants...).</p> <p>Réalisation de la maquette numérique comprenant : Analyse fonctionnelle, urbaine (si le terrain existe déjà). Analyse en coût global.</p> <p>Objectifs Études de faisabilité. Choix du terrain. Proposition d’un programme.</p>	<p>LOD0 : « Les objets volumétriques du monde réel (Espaces) peuvent être représentés spatialement par un seul point, par un ensemble de courbes ou par un ensemble de surfaces ».</p>

3.3 Étape 2 : intervenants de la construction avec le BIM

Intervenants de la construction à l’ère du BIM

Afin d’identifier les intervenants de la construction à l’ère du BIM nous nous basons sur le livre de [16]. Nous classons tous les acteurs qui interviennent dans la sous phase de conception (Tableau 5). Pour indiquer si un acteur intervient nous cochons **oui** dans la case correspondante avec la mention (échange des données en IFC) lorsque l’acteur agit sur la maquette numérique ou bien transfère des fichiers sous format ouvert pour les intégrer à la maquette numérique.

En plus des métiers classiques de la construction, le BIM a créé des nouveaux métiers, d'après [13]:

- *BIM Manager* : est le responsable de la création et l'application des méthodes et des processus qui permettent la création de modèles numériques du projet.
- *Coordinateur BIM* est le responsable du processus BIM et de son utilisation dans l'équipe de modélisation qui implémente la maquette numérique du projet.
- *Modeleur BIM* est la personne qui modélise avec un logiciel de modélisation BIM les différentes parties de la maquette. Il est nommé par le BIM Manager sous la supervision du coordinateur BIM.

Nb : Les acteurs et le début de leurs interventions peuvent varier selon le type et taille de projet mais nous prenons le cas général dans cette étude en intégrant tous les intervenants.

Tableau 5. Les intervenants de la construction dans un projet BIM.

Acteurs de la construction [16]	Études préalables et Programmation
Le maître d'ouvrage (publique ou privé) : L'utilisateur s'il est connu et le chargé d'opération (en cas de projet public) L'AMO BIM (l'assistant à maîtrise d'ouvrage BIM) Le responsable de maintenance ou d'exploitation	Oui (échange des données en IFC)
Le contrôleur technique	Oui
Le programmeur	Oui (échange des données en IFC)
Le géomètre	Oui (échange des données en IFC)
Le maître d'œuvre L'architecte	Oui (échange des données en IFC)
L'ingénieur de structure	Non
Le paysagiste	Oui
Le consultant en sciences humaines	Non
L'hydraulicien	Non
L'économiste	Non
L'acousticien	Non
Le thermicien	Non
Les ingénieurs en génie climatique	Non
L'ingénieur fluide, énergies, réseaux, environnement	Non
Ingénieur électricité	Non
Les entreprises de construction et industriels.	Non

3.4 Étape 3 : modèles organisationnels de la phase conception

Après avoir défini les objectifs et les intervenants de chaque sous-phase de projet, nous appliquons la méthode de l'Ingénierie de la Collaboration (IC) proposée par Briggs et al [8].

À partir de la définition des niveaux de collaboration nous proposons un modèle organisationnel qui explique le processus de travail sur la sous-phase de conception du projet. Puis nous détaillons chaque activité avec les intervenants et leurs rôles, pour déterminer leurs interventions et faciliter la gestion du projet.

Dans la première sous-phase (Étude préalable), Les acteurs qui interviennent dans cette sous-phase sont :

- Le maître d'ouvrage et son assistant BIM, le géomètre [échange en IFC] et les chefs de projet (BIM Manager, architecte [échange en IFC], Ingénieurs [échange en IFC]).

Le tableau 6 montre l'application de la méthode d'ingénierie de la collaboration de [8] sur la sous-phase de pré-étude avec le BIM.

Le premier niveau de collaboration (objectif) :

- L'objectif de cette sous-phase est d'obtenir une définition et une faisabilité du projet.

Le deuxième niveau de collaboration (produit) :

- Les produits obtenus par les acteurs sont la définition du projet au niveau fonctionnel, symbolique et urbain. De plus, le choix financier et le choix des acteurs sont réalisés. Toutes ces informations sont intégrées dans une maquette numérique de niveau zéro (partie BIM).

Le troisième niveau de collaboration (activités) :

- Le BIM Manager prépare le fichier sur lequel les acteurs vont travailler ainsi que l'accord BIM.

Les acteurs qui travaillent dans cette phase définissent la nature du projet, trouvent le terrain approprié à la nature du projet, font une estimation du projet, étudient les possibilités de financement et choisissent les acteurs des phases suivantes.

De plus, les intervenants font l'analyse et l'étude avec des logiciels utilisant des formats ouverts IFC (Industry Foundation Classes). Ils intègrent toutes les informations et les données dans la maquette numérique.

Nous avons suivi la même méthode pour la sous-phase de programmation en définissant les acteurs pour ensuite appliquer la méthode à sept niveaux de collaboration de Briggs en définissant l'objectif, les produits et les activités.

Tableau 6. L'application de la méthode IC de [8] sur la phase de l'étude préalable et la programmation.

Acteurs:	Étude préalable Maître d'ouvrage Assistant maître d'ouvrage BIM Le géomètre [échange en IFC] Les maîtres d'œuvre (BIM Manager, archi [échange en IFC], ING [échange en IFC].	Programmation Acteurs : Maître d'ouvrage Assistant maître d'ouvrage BIM La maîtrise d'œuvre (BIM Manager, archi [échange en IFC], ING [échange en IFC], programmiste, sociologue.)
Application de la méthode de 7 niveaux de l'IC		
Objectif	Mise en place du BIM+ Définition du projet + faisabilité	Définir un programme des espaces
Produit (tangibles/in tangibles résultat de travail)	Modèle LOD 0 dans lequel il faudra introduire : Définition fonctionnelle, symbolique et urbaine Choix financier et choix des acteurs.	Introduire dans le Modèle LOD 0 0 : Déterminer un programme avec les espaces et surfaces du projet.
Activités (sous-tâches)	Toutes les informations avec des données numériques : Définir la nature du projet. Trouvez le site approprié à la nature du projet.	Faire la Programmation fonctionnelle. Réaliser la Programmation technique détaillée

	Réaliser une estimation du projet. Choisir les acteurs. Étudier les possibilités de financement. +Faire l'analyse et l'étude sur les logiciels aux formats ouverts +Le BIM Manager prépare le dossier sur lequel il va travailler + la convention BIM selon la nature du projet avec les acteurs.	+ introduire toutes les informations sur un fichier numérique
--	---	---

Modèle organisationnel du travail des acteurs pendant l'étude préalable et la programmation :

Dans la figure 1, nous présentons sous forme de modèle organisationnel, le travail des acteurs du bâtiment pendant les deux premières sous-phases du projet qui est la phase d'étude préalable et la programmation selon le Tableau 4.

La sous-phase étude préalable :

Mise en place de la BIM : la maîtrise d'ouvrage écrit une charte BIM. Le chargé d'opération commence par choisir les intervenants (maître d'œuvre, entreprises, etc.) selon les besoins du projet. Il établit ensuite les contrats pour les interventions. L'assistant du maître d'ouvrage BIM rédige le cahier des charges BIM et la convention BIM pour la maîtrise d'œuvre. Le Maître d'œuvre avec le BIM Manager préparent la plateforme collaborative sur laquelle ils réaliseront la maquette numérique.

La définition de la nature du projet : les acteurs impliqués sont le maître d'ouvrage et son assistant BIM. L'échange entre les participants se fait par mail, en réunion ou par conversation téléphonique. S'ils parviennent à définir la nature du projet, ils passent à l'étape suivante. Dans le cas contraire, ils continuent à échanger jusqu'à ce qu'ils définissent la nature du projet, afin de passer à l'activité suivante.

La recherche d'un site approprié : les acteurs sont le maître d'ouvrage et son assistant BIM. La recherche se fait sur internet, dans les agences, dans leurs réseaux sociaux. Ils échangent des informations par e-mail, lors de réunions ou par téléphone. S'ils trouvent un site adéquat, ils envoient toutes les informations au géomètre. Sinon, ils poursuivent leurs recherches et leurs échanges jusqu'à ce qu'ils trouvent un site adéquat.

L'analyse du site : le géomètre analyse le terrain avec des formats ouverts et neutres pour les intégrer dans le modèle numérique. Il envoie ensuite l'analyse du terrain au chef de projet (format IFC).

Le choix des acteurs : le chef de projet définit les acteurs et leurs rôles en fonction des données et de la nature du projet. Le BIM manager rédige la convention BIM et prépare le dossier de travail numérique.

Le choix financier : le maître d'ouvrage et son assistant BIM Manager se réunissent pour déterminer les possibilités de financement du projet. S'il s'agit d'un projet important, ils peuvent se tourner vers le maître d'œuvre ou, s'ils ont besoin de son accord, passer par une banque.

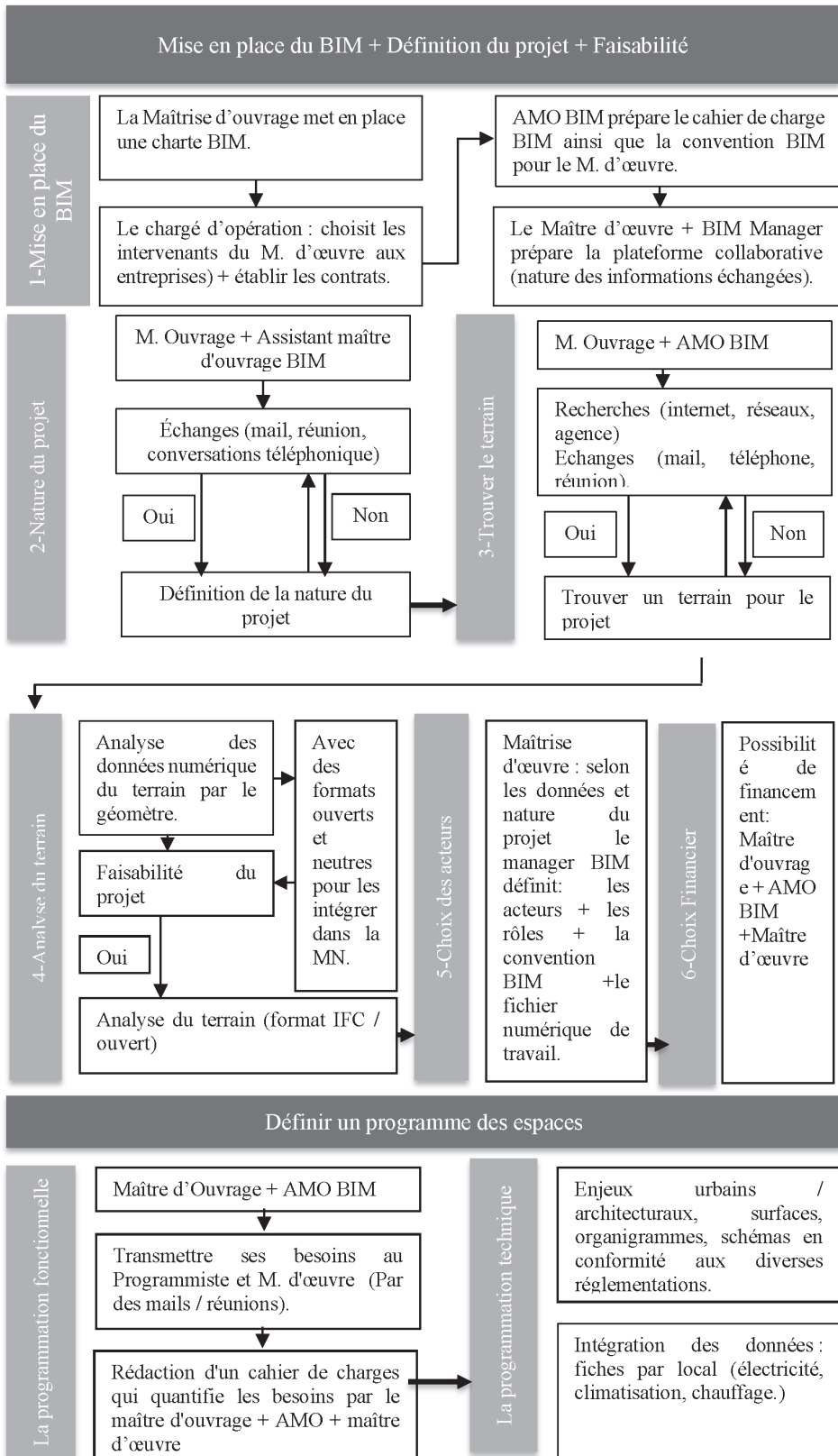
La sous-phase programmation :

La programmation fonctionnelle : le maître d'ouvrage à l'aide de son assistant BIM transmet ses besoins au maître d'œuvre par des mails ou bien lors d'une réunion dans laquelle ils rédigent un cahier de charges qui quantifie les besoins du maître d'ouvrage.

La *programmation technique* : la maîtrise d'œuvre récolte toutes les informations, les enjeux urbains et architecturaux, les surfaces et réalise des organigrammes et des schémas puis intègre toutes ces données dans un fichier de la maquette numérique.

Figure 1. Modèle organisationnel du travail des acteurs de la construction lors de la phase préalable et la programmation.

Légende : 



4 Discussion

Ce modèle organisationnel est une proposition pour répondre à la question que nous avons posé initialement dans cet article qui est « Comment l'ingénierie collaborative peut-elle contribuer à l'organisation du travail des acteurs de la construction et définir les rôles des intervenants, les accès à la maquette, leur temporalité et leurs tâches lors de la phase conception ? »

Dans cet article nous avons proposons de représenter sous forme de modèles organisationnels l'enchaînement des tâches des différents acteurs lors de la phase de conception de façon théorique et standard, en se basant sur les modèles sans le BIM + la superposition des résultats estimés avec le BIM. À l'aide d'une méthode d'ingénierie collaborative nous avons fait une superposition des objectifs et produits et activités du projet architectural sur les niveaux de collaboration de Briggs [8] nous avons réussi à construire un processus de travail avec le BIM.

Ces modèles seront utilisés pour mettre en œuvre le BIM dans les agences lors de la phase de conception. Ces modèles sont susceptibles d'évoluer (certains acteurs peuvent ne pas intervenir) en fonction : des conventions BIM, des pratiques architecturales de chaque agence, de la taille et du type de projet.

La suite du travail consistera à construire des modèles pour les autres phases du projet, et à les proposer aux agences d'architecture pour les appliquer au cas d'étude et éventuellement l'améliorer.

5 Conclusion

L'un des principaux problèmes de l'application du BIM est la collaboration et communication entre les intervenants de la construction et l'absence d'un modèle pour organiser le travail. Dans cet article, nous avons commencé à répondre à la question « Comment l'ingénierie collaborative peut-elle contribuer à l'organisation du travail des acteurs de la construction et définir les rôles des intervenants, les accès à la maquette, leur temporalité et leurs tâches lors de la phase conception ? ». Nous avons proposé un modèle d'organisation du travail des acteurs de la construction pour les deux premières sous-phases de la phase de conception : étude préalable et programmation, selon le modèle de l'ingénierie de la collaboration [7].

La suite de ce travail consistera à compléter le modèle proposé pour toutes les phases du projet de construction. Il devra être appliqué sur des cas d'étude afin d'évaluer sa pertinence.

Références

- 1 S. Kubicki, A. Guerriero, L. Schwartz, E. Daher, et B. Idris, Assessment of synchronous interactive devices for BIM project coordination: Prospective ergonomics approach. *Automation in Construction*, **101**, 160-178, 2019)
- 2 J. Jupp, 4D BIM for Environmental Planning and Management, *Procedia Engineering*, vol. 180, p. 190-201 (2017) doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.178.
- 3 A. K. Nicał et W. Wodyński, Enhancing Facility Management through BIM 6D », *Procedia Engineering*, **164**, p. 299-306 (2016) doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.623.
- 4 H.-J. Gless, G. Halin, et D. Hanser, Towards a BIM-Agile Method in Architectural Design Assessment of a Pedagogical Experiment, *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, Cham, p. 397-404 (2019) doi: 10.1007/978-3-030-00220-6_47.

- 5 E. Hochscheid et G. Halin, L'adoption du BIM dans les agences d'architecture en France », *SHS Web of Conferences*, **47**, p. 01009 (2018) doi: 10.1051/shsconf/20184701009.
- 6 F. Joss, L. Riquet et B. Domer, *Management du projet de construction: Un vadémécum d'économie, de droit et de planification pour le bâtiment* (1er édition. Lausanne: PPUR, 2017)
- 7 G.-J. de Vreede et R. Briggs, Collaboration Engineering: Reflections on 15 Years of Research & Practice, Conférence internationale d'Hawaï sur les sciences des systèmes (Etats-Unis, 2018) doi: 10.24251/HICSS.2018.054.
- 8 R. Briggs, G. Kofschoten, G.-J. de Vreede, C. Albrecht, D. Dean et S. Lukosch, A Seven-Layer Model of Collaboration: Separation of Concerns for Designers of Collaboration Systems, *ICIS 2009 Proceedings - Thirtieth International Conference on Information Systems*, p. 26, Etats-Unis, 2009)
- 9 P. Fernandez et P. Lavigne, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques: fondements & méthodes* (Paris: Moniteur, 2009)
- 10 INRS, Conception des lieux et des situations de travail. Démarche de conception et prévention - Démarches de prévention - INRS (2017) <https://www.inrs.fr/demarche/conception-lieux-situations-travail/demarche-conception-prevention.html> (consulté le 5 octobre 2021)
- 11 INEX, Les étapes d'un projet RT2012 (2012) <https://www.inex.fr/ingenierie-thermique-et-environnementale/expertise-energetique/etude-reglementaire-rt-2012/les-etapes-dun-projet-rt2012/> (consulté le 5 octobre 2021).
- 12 CAUE92, Tableau "Acteurs et étapes de la conception et de la construction" (2018) <https://www.caue92.fr/atelier-pedagogique/ressources/outils-specifiques-ecole-enchantier> (consulté le 5 octobre 2021)
- 13 M. R. de la démarche B. de la S. du G. P. – U. S. d'Information / Q. Aroichane, « CHARTE BIM DE LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS.pdf » (2017) <https://media-mediatheque.societedugrandparis.fr/medias/domain1/media559/84396-81qtc2ijro.pdf> (consulté le: 14 novembre 2021)
- 14 G. Lamour, BIM et maquette numérique: guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage ». mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques (2016) <http://www.miqcp.gouv.fr>
- 15 T. H. Kolbe, K. Tatjana, S. Carl Stephen, N. Claus, C. Roensdorf et C. Heazel, « OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard » (2020) <http://www.opengis.net/doc/IS/CityGML-1/3.0> (consulté le : 11 novembre 2021)
- 16 N. Hoyet, F. Duchene et M. de Fouquet, *BIM et architecture: programmation, conception, construction, exploitation* (Malakoff: Dunod, 2016).