

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy

Université Henri Poincaré (Nancy 1)

Institut National Polytechnique de Lorraine

Mémoire de Master Design Global, spécialité
« Architecture Modélisation Environnement »

Modélisation des processus collaboratifs :
Vers une extension du formalisme pour les chartes BIM
incluant les services

Amine M'HAMED

Laboratoire d'accueil : CRP Henri TUDOR

Sous la direction de : Dr. Daniel Zignale et Dr. Sylvain Kubicki

Soutenance Septembre 2014

Remerciements

Je tiens à adresser toute ma gratitude à mes enseignants de Master AME à l'école d'architecture de Nancy.

Je suis ravi d'avoir pu bénéficier du contexte de stage offert par le CRP Henri Tudor et le CRAI.

Je remercie Mr Sylvain Kubicki, directeur de mon stage, Mr Daniel ZIGNALE, co-directeur de mon stage pour leur confiance et leur soutien.

Je remercie également Mr Gilles HALIN, professeur à l'école d'architecture de Nancy et directeur de recherche au CRAI, pour ses conseils avisés.

Je remercie tout particulièrement Mr Conrad Botton pour ses conseils et sa disponibilité.

Sommaire

I.	Introduction.....	1
1.1.	Présentation du thème	1
1.2.	Contexte de travail	3
1.3.	Projet architectural et intégration du BIM	4
1.3.1.	Exemple d'intégration du BIM : le projet LVMH.....	4
1.3.2.	Niveau d'intégration du BIM	6
1.3.3.	Enjeux des services BIM	7
II.	Problématique	10
2.1.	La variation des BIM use	10
2.2.	Formalisme des échanges de données	11
III.	Etat de l'art : charte et modélisation des processus collaboratifs.....	13
3.1.	La charte de modélisation	13
3.2.	Conception du Plan d'Exécution BIM	14
3.2.1.	Perspectives de la représentation des processus	14
3.2.2.	BPE : une référence au système d'information de l'entreprise.....	15
3.3.	Formalisme et contenu des représentations de processus	16
3.3.1.	La charte BIM avec BPMN	16
3.3.2.	Le manuel de diffusion de l'information IDM	17
3.4.	Analyse critique et bilan.....	18
IV.	Démarche.....	20
V.	Expérimentations et propositions.....	21
5.1.	Usage BIM : récolte de l'information technique en fin de projet.....	22
5.1.1.	Le référencement de l'information.....	22
5.1.2.	Modélisation des processus : expérimentation et constats	23
5.2.	Présentation de la première expérimentation.....	25
5.3.	Présentation de la deuxième expérimentation.....	32
5.4.	Limites des chartes expérimentées	40
5.5.	Propositions	41
VI.	Conclusion et perspectives.....	49
	Bibliographie.....	50
	Glossaire	52
	Table des illustrations	53

I.Introduction

1.1. Présentation du thème

La conception architecturale met en jeu différentes disciplines et corps de métier. Elle constitue une activité, de par son importance sur le plan économique, qui exige une bonne coordination des activités entre les différents acteurs de projet.

A l'ère du numérique, les échanges, la production de supports collectifs entre les acteurs de projets architecturaux sont facilités par une abolition du temps et des distances et devraient, à ce titre, gagner en efficacité.

Les échanges collaboratifs représentent donc un enjeu essentiel dans la réussite de la conduite des projets en termes de performance.

Différents outils de collaboration permettent actuellement :

- Le partage des documents numériques et numérisés tels que les plans, rapports, fiches techniques et cela via des plateformes d'échanges (tel CRTI-Web¹), des clouds de stockage (tel Dropbox²) ou des serveurs privés,
- Le partage des maquettes numériques sur lesquelles les différents acteurs des différentes disciplines peuvent intervenir, enrichir ou extraire l'information,
- Le partage des plannings, agendas ou liste de tâches programmées (tel Podio³).

Dans un tel contexte, où les informations échangées se multiplient de plus en plus, il devient indispensable de structurer les échanges (informations) afin de proposer une vision globale du contexte collaboratif des projets architecturaux qui puisse assurer une meilleure compréhension par les différents acteurs de projet.

La notion de BIM est porteuse de cette préoccupation.

La Building Information Modeling ou la Modélisation collaborative des données des bâtiments (BIM) est une technologie et des processus associés ensemble pour produire, communiquer et analyser des modèles de construction (Eastman, 2011).⁴

Elle permet de caractériser les données relatives au projet de bâtiment à partir d'un ensemble d'informations multidimensionnel.

Ces dernières représentent une description des ouvrages, des structures, des équipements, des réseaux, mais aussi des usages du bâtiment, des coûts de construction (Eastman, Teicholz, Sacks&Liston, 2011).

¹ <http://crti-web.lu/>

² <https://www.dropbox.com/>

³ <https://podio.com/>

⁴ http://fr.wikipedia.org/wiki/Building_Information_Modeling

Le BIM vient donc compléter la représentation virtuelle du bâtiment (la maquette numérique) par un ensemble d'informations connexes.

La 4D, par exemple, à travers sa quatrième dimension qu'est le temps et à travers sa capacité à offrir une visualisation de l'avancement du projet, est un exemple d'amélioration de la 3D (modèle).

Le BIM procure, grâce à la maquette numérique, des apports qualifiés de « service collectifs métiers ». Ces services métiers se définissent comme des solutions fonctionnelles proposées par des outils informatiques pour répondre à des besoins métiers (D. Zignale, et al)⁵.

Ces services, fondés sur la mise en œuvre du travail collaboratif, sont propices à la coordination, à la coopération en termes de communication et de production collective.

La conception de ces nouveaux services est étroitement liée à la bonne connaissance des attentes des usagers car il s'agit avant tout de comprendre mais aussi de transmettre (à travers une représentation) leur pratique métier (pour les professionnels du secteur de la construction) et leurs besoins en termes d'informations échangées. C'est sous cette condition que les utilisateurs pourront s'approprier les outils logiciels et leurs différentes fonctionnalités proposés par les services métiers du BIM.

L'enjeu est par la suite de pouvoir traduire en données numériques les informations échangées et de savoir comment les implémenter dans les outils informatiques (logiciels) dédiés aux professionnels de la construction. En effet, la compréhension commune par les différents métiers des processus de construction et des informations apparaît nécessaire pour l'efficacité du BIM.

Cette représentation du processus de collaboration est également obligatoire pour permettre une implémentation informatique de l'échange d'information tel l'exemple de la fonctionnalité d'export IFC dans un logiciel de conception.

L'Information Delivery Manual (IDM) vise à fournir une référence de l'échange en rassemblant et intégrant les informations et données nécessaires au processus BIM sous la forme de «processmaps».

Enfin, une dimension du BIM développée par IAI (International Alliance for Interoperability), la Building Smart, a également apporté une réponse à ces interrogations. Pour améliorer l'interopérabilité des logiciels pour la construction, un standard était nécessaire : c'est ce qui a motivé la création de BuildingSMART en 1995, association internationale à but non lucratif dont la mission est de contribuer à un meilleur partage de l'information dans la filière de la construction.

Dans cette approche, l'usage du Format IFC est une caractéristique du BIM.

C'est un format de fichier (IFC – Foundation Industry Classes) orienté objet avec un modèle de données élaboré par l'Alliance Internationale pour l'Interopérabilité IAI (International Alliance

⁵ BIM et maquette numérique : Pour l'architecture, le bâtiment et la construction ». – Collectif Eyrolles

for Interoperability)⁶, afin de faciliter le partage d'information entre les divers intervenants de l'industrie du bâtiment, et qui est utilisé couramment pour la modélisation des données du bâtiment (BIM).

Les IFC sont des informations qui permettent de décrire les objets dont on a besoin pour concevoir un bâtiment tout au long de son cycle de vie et selon différents points de vue (architecture, structure, thermique, estimatif...). Pour chaque élément du bâtiment, les IFC donnent ainsi des indications sur la forme, les caractéristiques, les relations avec les autres objets.

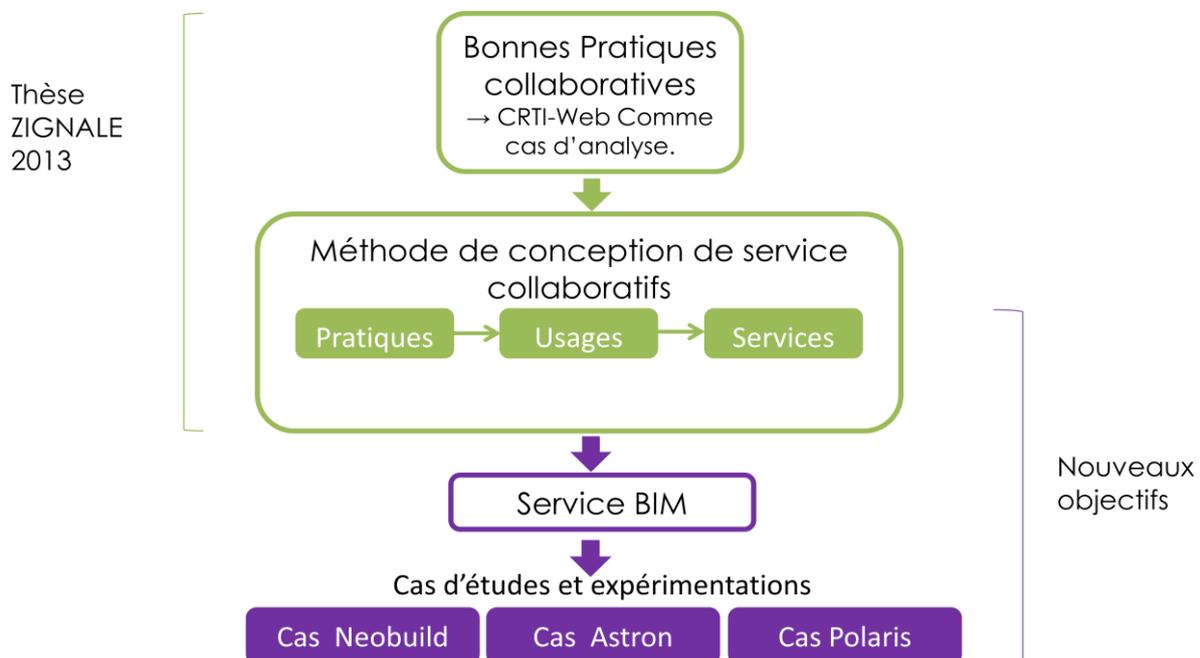
1.2. Contexte de travail

Les processus de programmation, conception et construction architecturale basés sur des maquettes numériques permettent d'améliorer la collaboration entre concepteurs.

L'enrichissement de maquettes numériques doit cependant être contrôlé, et répondre aux besoins d'information, de simulation et de prise de décision aux différentes phases de développement du projet.

Le stage propose d'expérimenter la formalisation de processus collaboratifs sur des cas d'étude en cours dans le cadre des projets du CRP Henri Tudor.

Il contribuera également à la poursuite des travaux sur la conception de services informatiques basés sur les processus métiers initiés dans la thèse de Daniel Zignale.



⁶ <http://www.batiportail.com/bim/definitions.asp>

1.3. Projet architectural et intégration du BIM

1.3.1. Exemple d'intégration du BIM : le projet LVMH

La fondation Louis Vuitton est un musée, petite icône de l'architecture, conçu en 2013 par Frank GEHRY dans un immense parc, le bois de Boulogne, à Paris (Figures 1&2).



Figure 1 .Photo d'Aladin Djebara. Fondation LVMH Paris

Elle sert d'entrée pour le jardin zoologique et le parc d'attraction pour enfants. Il accueille des expositions temporaires, des spectacles et des conférences

Ce joyau de l'architecture, non seulement artistiquement de par son allure de voilier avec des voiles en verre, a permis de développer les usages du BIM au travers d'un contexte collaboratif important :

- 15 équipes de conception (entreprises) du monde entier,
- 400 utilisateurs de modèles et collaborateurs.

Plusieurs logiciels informatiques ont été utilisés sur ce projet: Tekla, Sketch-Up, Revit, AutoCAD, Bocad, SolidWorks, ANSYS, STRAUSS, NASTRAN, SOFiSTiK, 3DVIA Composer et Solibri.

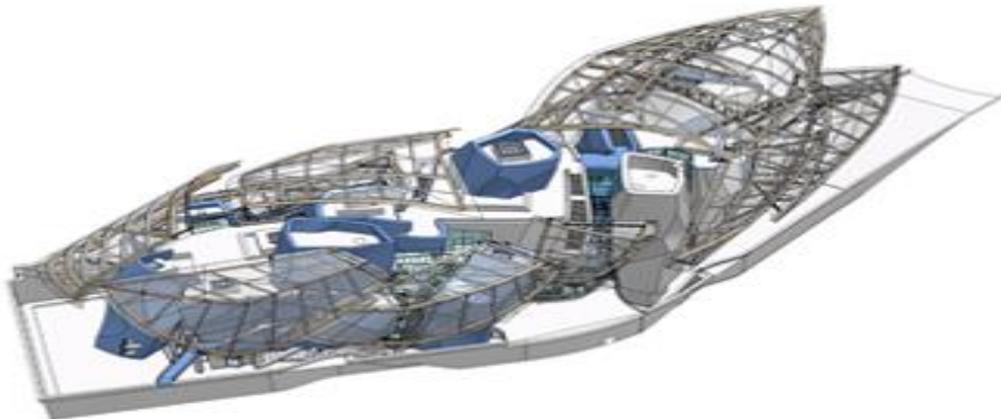


Figure 2 .Photo T/E/S/S Atelier d'ingénierie. Maquette numérique de la Fondation LVMH Paris

L'étude PUCA (Plan Urbanisme Construction Architecture), mai 2013, a publié un retour d'expérience, sur le cas LVMH, qui semble valider l'application des procédés BIM comme outil réel d'aide à la gestion de maintenance d'un patrimoine.

Cependant cette validation est restreinte car elle est étroitement liée à la spécificité de ce cadre dans lequel l'ensemble des acteurs a été familiarisé avec l'usage des maquettes numérique à travers des formations en continue et cela depuis plusieurs années. S'ajoute à cela la gestion spécifique du modèle BIM car un unique responsable BIM possède le droit d'intervenir sur les maquettes numériques.

Ce projet a mis en exergue plusieurs points positifs mais également des limites : Cette expérience a bénéficié d'un cadre favorable dans lequel l'ensemble des acteurs a été accoutumé avec l'usage des maquettes numériques grâce à des sessions continues de formation et de communication réalisés en amont, depuis plusieurs années, par le maître d'ouvrage. De plus, la présence d'un unique responsable BIM ayant le droit de modifier les maquettes a permis de prévenir le risque de croisements des données, de simplifier les échanges et de garder les maquettes «vivantes» pendant les différents cycles de vie des bâtiments.

Cependant, les limites qui ressortent de l'exemple LVMH⁷ sont essentiellement induites par la version simplifiée des maquettes numériques partagées.

Ces limites sont liées à l'approche d'usage du BIM, et donc dans ce cas (LVMH), sont les résultantes directes de l'exclusivité de gestion des maquettes numériques par le BIM Manager. Loin des idéaux du projet LVMH, le management du projet subit l'impact négatif des incompatibilités des formats et du contenu d'information échangées entre les différents acteurs du projet. Ces problèmes, récurrents dans les projets de construction, sont souvent engendrés par la variation d'outils utilisés d'un acteur à l'autre et par les différents paramétrages apportés à ces logiciels.

⁷ Etude PUCA (Plan Urbanisme Construction Architecture), mai 2013

1.3.2. Niveau d'intégration du BIM

Hartmann & Fisher disaient en 2008 que les dernières années ont été marquées par une prise de conscience considérable de la part des entrepreneurs, des maîtres d'œuvre et de des maîtres d'ouvrage concernant les contributions du BIM sur le plan économique et la coordination autour du projet.

Le BIM a énormément impacté le monde du BTP, tout comme le monde de l'aéronautique et le monde industriel globalement, en offrant une meilleure collaboration, un meilleur partage d'information et un gain considérable en temps de réalisation (Gallaher&al et Suermann&Issa.2004).

Hartmann & Fisher affirmaient que la table ronde e-Construction, tenue à la Nouvelle-Orléans en 2007, a permis une prise de conscience du potentiel du BIM concernant la gestion des projets, la baisse des coûts et du cycle de vie du projet.

Cependant l'introduction du BIM dans l'architecture, l'ingénierie et la construction (AEC) est toujours timide et reste à un stade primaire.

Aussi, malgré les divers et nombreux travaux et études, seules quelques équipes de projet parviennent à profiter pleinement de l'étendue des avantages du BIM.

En effet la mise en œuvre du BIM dépend souvent de la diversité et des spécificités de chaque acteur intervenant dans le processus de construction. Différents critères doivent être pris en compte :

- Contexte : l'adoption du BIM est fortement liée aux caractéristiques des acteurs en termes d'activité, de taille, de champ d'action et de ressources disponibles (disponibilité d'une main d'œuvre compétente, capacités financières).
- Projet : le retour sur investissement est étroitement lié à la complexité du projet. La rentabilité d'un projet BIM complexe est plus visible en termes de coûts et de gestion du risque qu'un petit projet.
- Maturité : il peut exister des écarts de maturité des outils informatiques d'un acteur à l'autre qui peuvent poser des problèmes d'interopérabilité entre les logiciels ou des écarts entre les niveaux d'adoption du BIM. Les niveaux d'expertise peuvent également varier à l'intérieur de l'équipe projet. Le réseau de partenaires a besoin d'un degré de maturité équilibré pour une collaboration efficace.
- Technique : la coordination joue un rôle essentiel. Toutes les disciplines doivent s'impliquer dans le processus de conception et contribuer au développement du modèle afin d'optimiser l'utilisation des outils BIM. Cela exige une mise à jour constante des modèles, ce qui peut constituer une difficulté pour certaines entreprises.
- Organisation : toutes les parties prenantes au projet sont concernées par le processus. Le projet BIM remet en cause les processus de travail et la structure organisationnelle internes aux entités partenaires. Il demande également de basculer d'une organisation

fragmentée en lots entre les spécialités à une gestion intégrées des flux de travaux et de données. L'adoption du BIM passe la capacité des organisations à gérer le changement.

- Gestion du projet : si le niveau d'intégration est élevé, les interdépendances entre les membres du réseau sont fortes. La réussite du projet repose la coordination des actions et sur la capacité des acteurs à communiquer et échanger les informations, elle suppose la fiabilité et la confiance entre les acteurs. Le projet engage la responsabilité légale des intervenants.

Le BIM augmente l'intégration du projet mais il entraîne un changement de paradigme dans le processus de conception et de construction⁸.

1.3.3. Enjeux des services BIM

Le constat précédent suppose de redéfinir, d'améliorer et créer des méthodes permettant une intégration plus facile des processus BIM afin d'aboutir à un meilleur usage du BIM.

L'adoption du BIM pose certains défis communs à tous les bureaux d'ingénierie ou d'architecture, quelle que soit leur taille, notamment :

- Elle oblige les employés à abandonner le confort des outils bien maîtrisés pour en apprendre des nouveaux,
- Elle entraîne un investissement financier en liaison avec le changement des plateformes de logiciels,
- Elle met les agences devant le défi d'explorer un nouveau paradigme de modélisation orientée-objet,
- Elle suppose l'établissement des nouvelles normes de production et de travail,
- Elle engendre une perte de temps donc d'argent liée au temps de mise en place du BIM dans l'entreprise (temps de formation, d'installation des nouveaux outils informatiques, de familiarisation avec les utilisations des nouvelles plateformes d'échange...)

Le défi du BIM reste donc sa généralisation tout en suivant une procédure de mise en œuvre cohérente.

Afin de garantir une bonne mise en œuvre du BIM et un meilleur profit grâce à son potentiel, il est primordial que les différents acteurs ne soient pas uniquement focalisés sur leur propres phases/tâches et qu'ils soient conscients de leur rôle primordial d'intendance dans le cycle de vie global du projet BIM.

⁸ <http://www.cefrio.qc.ca/publications/transformation-organisationnelle/ameliorer-l-efficacite-et-la-productivite-du-secteur-de-la-construction-grace-aux-technologies-de-l-information/>

A partir de cela, le défi du BIM réside dans la définition et la modélisation des informations échangées par et pour chaque acteur du projet. Il est donc primordial de définir quelles informations doivent être transmises, à qui, quand et comment ?

Certains, notamment les éditeurs, préconisent l'usage d'une suite logicielle unique entre les différentes parties du projet.

Cette proposition, qui peut paraître la plus simple, ne peut cependant pas être l'unique solution car elle est difficilement réalisable alors que les informations sont échangées entre des acteurs différents, de par leurs compétences, préférences, cultures technologiques....

En effet, contrairement à l'exemple de la fondation LVMH, évoqué précédemment et où les acteurs du projet étaient formés et familiarisés avec l'usage des maquettes numériques et des logiciels requis, dans un contexte normal, cela reste une exception.

A ce titre, les travaux de (Botom et Kubicki, 2014) visent à apprécier la maturité des pratiques de modélisation dans les entreprises du secteur de la construction. Ils distinguent trois niveaux de maturité, en fonction de la nature et du niveau d'utilisation d'outils ou supports informatiques « BIM », des capacités à modéliser les processus d'échange des informations et enfin des modes de communication entre les partenaires, notamment en matière de partage de l'information. Le dernier niveau correspond à l'intégration du mode organisationnel BIM.

Le déploiement et la généralisation des projets restent aujourd'hui encore largement subordonnés à la capacité des organisations à échanger avec des modèles numériques.

Le BIM et ses niveaux d'intégration

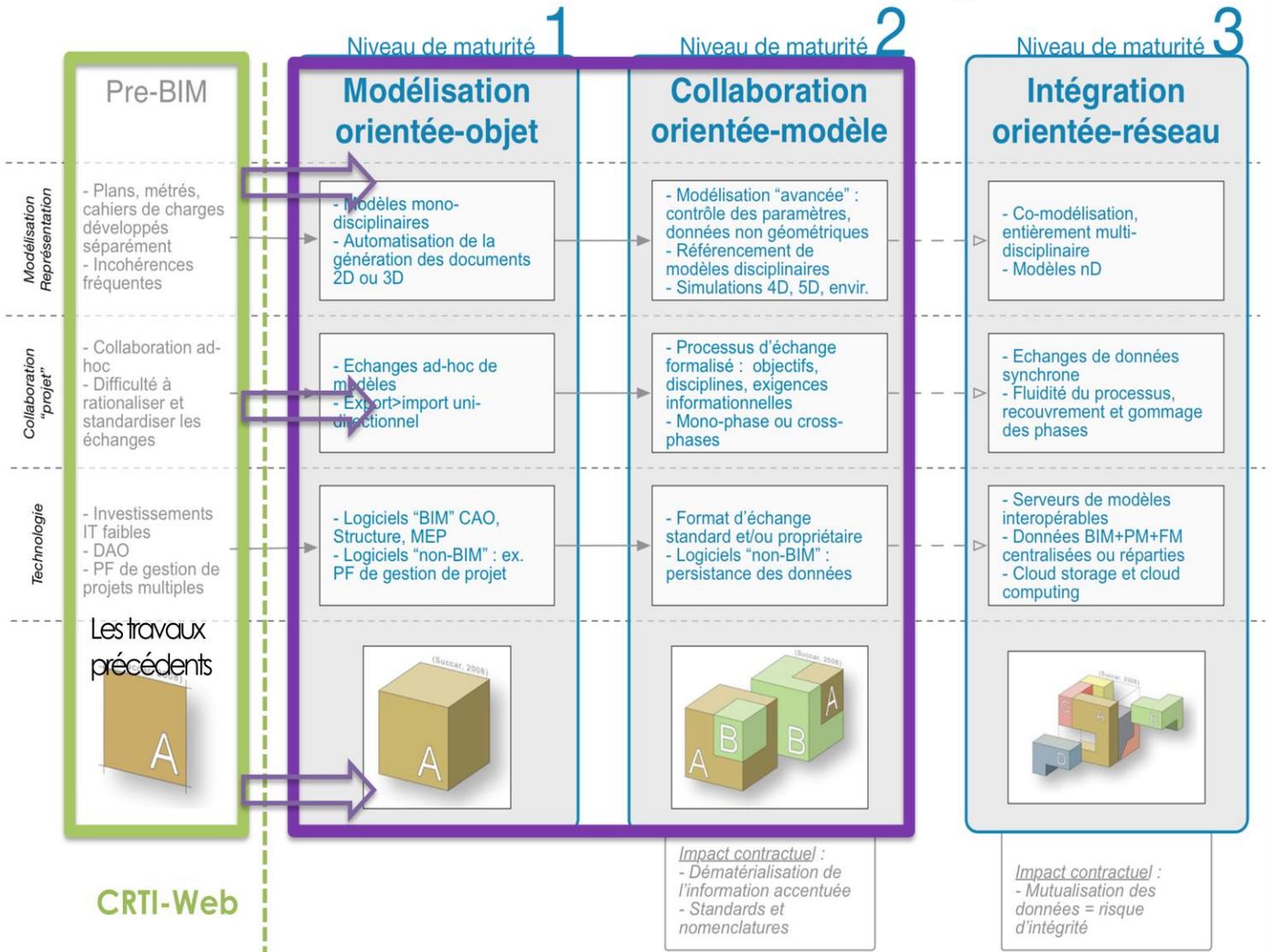


Figure 3 – Niveaux de maturité des pratiques de modélisation collaborative. Issue de (Boton et Kubicki, 2014)

II. Problématique

Même si le BIM connaît un développement spectaculaire de nos jours, des problèmes, liés principalement à un déficit dans l'organisation du partage des informations entre les différents acteurs et les différentes phases du projet, freinent la pleine exploitation de son potentiel.

Donc avant de définir les solutions technologiques à apporter, définir les échanges collaboratifs reste la priorité.

La réponse à ce problème émerge et se concrétise notamment en la procédure de planification de l'exécution du Projet BIM «BIM Project Execution Planning Procedure» (Saluja, 2009).

Pour structurer cette démarche de modélisation dans un projet concret, les approches appliquées s'accordent sur l'importance de définir une charte de modélisation BIM, nommée en anglais : BIM Project Execution Planning Procedure (BPE), Saluja, 2009).

La conception des services BIM sur la base des BPE, implique différentes hypothèses :

- L'identification des BIM use au travers des cas réels reflétant un besoin d'assistance.
- La modélisation des BIM use au travers de processus en améliorant le formalisme des chartes existantes.
- L'implémentation de ces processus sous forme d'un service adapté répondant aux besoins considérés.

2.1. La variation des BIM use

Meilleures productivité, échanges de données, documentations et gestion du bâtiment, meilleur contrôle des coûts, une réduction des temps d'exécution et de planification.... c'est un exemple de panel de but associés à des «BIM Use» afin des les atteindre (Keung, 2013).

Les «BIM Use» varient en fonction de la phase de projet dans laquelle ils seront impliqués : Les acteurs se succèdent et se relayent afin d'avancer le projet et les informations échangées s'enrichissent (du schématique au détaillé, de l'abstrait au concret) au fur et à mesure que le projet gagne en maturité.

En fonction du projet dans lequel le «BIM Use» est implanté, le déroulement de ce dernier peut radicalement changer.

2.2. Formalisme des échanges de données

Afin que les fonctions offertes par un système soient perçues comme un outil, il est impératif que les individus participent à son fonctionnement, à sa gestion ou son pilotage. Le système doit être formalisé donc représenté graphiquement. Pour que ce transfert de connaissances puisse s'opérer dans de bonnes conditions et soit effectif, il faut un partage d'une certaine représentation du monde.

Il faut que les individus disposent d'un référentiel commun, qu'ils partagent un cadre conceptuel, un formalisme, grâce auquel ils donnent le même sens aux concepts communément utilisés pour discuter à propos d'un système, tels que structure, acteur, flux, fonctionnement, événement, état, finalité, etc.

En matière d'échange des informations, l'objectif est d'organiser la coordination et la coopération, notamment par la répartition des tâches individuelles et la mutualisation de l'information qui peut être partagée grâce à un modèle numérique (Exchanges requirements) ou sur la base de documents référence (Reference information).

Les mauvais choix, les changements dans la conception, les retards, les malfaçons ont des impacts financiers considérables dans un contexte économique déjà difficile, l'erreur individuelle se répercutant sur le travail global. Il est donc de la responsabilité de chacun de mener à bien son activité.

Mais souvent la manière dont les acteurs collaborent est une source de problèmes supplémentaires : mauvaise compréhension, mauvaise transmission d'informations, absence de suivi des demandes des collaborateurs, etc. ... La gestion de ces risques issus de la collaboration est un enjeu important. (Zignale, 2013)

Le BPE est porteur de cet enjeu, il viendra assister, coordonner et surtout prévenir et encadrer.

Cette charte est capable de prévenir, d'encadrer et d'assister l'implication et la coordination des acteurs dans leur collaboration avec les autres membres du projet.

Le BPE est l'une des clés d'une bonne gestion du projet, diminuant les risques d'erreur et réduisant le temps de certaines activités de coordination.

On ambitionne de rendre cet outil modulaire et flexible, en fonction des attentes des professionnels du secteur de la construction, de l'analyse de leurs pratiques métiers et de leurs besoins en termes d'informations échangées, afin de répondre au mieux aux besoins de chaque projet.

Notre problématique se construit autour de l'analyse et la critique du concept de BEP «BIM Project Execution Planning Procedure» introduit par (Saluja, 2009) dans le but d'appréhender le concept de «la charte BIM» et de l'améliorer.

Ce contexte servira de point de départ pour la modélisation des processus collaboratifs.

Dans le secteur de la construction, les projets de par leur variabilité et leur complexité peuvent difficilement être assimilés à une théorie unique.

Nos analyses et propositions seront basées sur le profil métier et les préférences des acteurs en termes d'informations attendues et de leurs niveaux de détail, de formats et d'outils d'échanges ainsi que de productions car cela est déterminant dans la réussite des formalismes proposés.

Enfin l'enjeu, auquel nous essayerons de répondre, est alors d'assurer une bonne adéquation de ces services (BPE) afin que la réponse aux besoins soit réelle.

Aussi, peut-on concevoir des services BIM sur la base des BPE ?

Nous tenterons d'apporter une réponse à la problématique ci-dessus en développant dans un premier temps un état de l'art sur la charte de modélisation des processus collaboratifs. Ensuite, nous énoncerons la démarche suivie à partir de laquelle nous avons construit notre réflexion. Enfin, dans un dernier temps et en fonction de nos expérimentations, nous tenterons d'apporter des éléments de réponse.

III. Etat de l'art : charte et modélisation des processus collaboratifs

3.1. La charte de modélisation

Le BPE est une aide visuelle pour l'organisation des processus de travail avec des liens entre les entrées, les sorties, et les tâches⁹, elle décrit les flux d'activités dans les limites d'un contexte particulier.

L'intégration du BIM dans un projet architectural est souvent réduite à l'utilisation des outils de conception orientés objet tel Archicad ou Revit.

Les professionnels du secteur réduisent souvent la modélisation des données du bâtiment à une fabrication d'un modèle 3D (une maquette numérique).

Même si cette dernière est primordiale pour l'implantation du BIM «Building Information Modeling», il est avant tout question d'un processus de travail collaboratif global impliquant :

- Des acteurs : quelques soient leurs différentes tâches et rôles dans le projet et au-delà de leurs connaissances et savoirs faire.
- Des informations échangées : il est très important de définir les informations échangées, de définir l'expéditeur, le récepteur, le cadre temporel (à l'échelle du projet) et le contenu.
- Des objectifs visés, selon leur ordre de priorité, via l'échange d'information. Dans la littérature, la notion d'objectif «Goal» est évoqué dans la sélection et l'implantation d'échange BIM «BIM Uses» (The Computer Integrated Research Program, 2010).
- Une infrastructure technologique (format de données et logiciels) utilisée afin de servir les éléments précédents.

Il est indispensable de ne pas négliger la définition de ces quatre éléments et donc le plan ou procédure d'exécution du projet BIM (plan BIM).

Le plan BIM «BIM Project Execution Planning Procedure» doit être impérativement mis en œuvre dès le déclenchement du projet, lors de la phase de création du projet, et cela même indépendamment des différents acteurs.

Cette mise en place du BEP, en parallèle à des nombreux autres services proposés et utilisés, viendra assister la collaboration entre les différents acteurs d'un projet dans le domaine de la conception/construction architecturale.

C'est avant tout une méthode structurée pour une équipe de projet afin de concevoir la stratégie d'exécution pour le BIM sur un projet. Cette procédure comprend quatre étapes principales :

⁹ <http://www.buildingsmart.org/>

- Identification des objectifs et des utilisations BIM,
- Conception BIM processus d'exécution du projet,
- Développement des échanges d'information,
- Définition de l'infrastructure de soutien pour la mise en œuvre BIM.

3.2. Conception du Plan d'Exécution BIM

3.2.1. Perspectives de la représentation des processus

Un processus se définit comme un ensemble d'étapes partiellement ordonnées destinée à atteindre un but (Feiler et Humphrey, 1992). Ainsi, la représentation des processus est utilisée pour comprendre¹⁰ :

- Les tâches (activités) exécutées dans le cadre d'un processus,
- L'ordre dans lequel elles sont effectuées,
- Les acteurs (personnes / organisations) impliqués dans le processus,
- Les informations qui sont échangées entre les acteurs à la suite de la réalisation des activités.

La finalité de cet outil est donc la coordination des tâches entre les acteurs afin d'atteindre un objectif défini (Wix, 2007), en fonction d'entrées et de sorties spécifiques liées aux exigences, de ressources, d'un ordonnancement des tâches pour ainsi créer de la valeur.

Curtis et al. (1992) ont rapporté que de nombreuses formes de l'information doivent être intégrées pour décrire adéquatement les processus. Les informations habituellement recherchées dans un processus sont : ce qui va être fait ; qui va le faire ; quand, où et pourquoi ? D'une manière générale, le processus comporte quatre finalités :

- Fonctionnelle : il représente les éléments qui sont exécutés et le flux d'entités d'information (par exemple, des données, des produits) pertinents pour ces éléments. Dans cette perspective, les processus sont les activités qui permettent d'atteindre l'objectif. En outre, des concepts complémentaires tels que les échanges de données peuvent améliorer la représentation du processus ;
- Comportementale : il représente des éléments de traitement qui sont effectués et la façon dont ils le sont, notamment par des boucles de rétroaction, l'itération, la prise de décisions, les conditions d'entrée et de sortie critères, etc. ;
- Structurelle : l'organigramme représente où et par qui, c'est-à-dire les agents éléments du processus, les mécanismes de communication utilisés pour le transfert des entités, et les supports physiques et les lieux utilisés pour stocker des entités ;
- Informationnelle : il représente les entités d'information produites ; ces entités comprennent des données, des objets, de produits (intermédiaires et finaux) et les objets; cette perspective comprend à la fois la structure des entités d'information et les relations entre elles.

¹⁰ <http://www.buildingsmart.org/>

Dans le cadre du projet BIM, la représentation du processus doit permettre :

- L'établissement de la séquence logique des activités au sein d'un processus ;
- L'identification des entrées, c'est à dire des résultats attendus de l'information de référence et BIM qui soutiennent les activités du processus ;
- La mise en place des sorties de BIM et des échanges d'information entre les processus,
- L'identification des participants des acteurs responsables d'une tâche particulière de BIM.

3.2.2. BPE : une référence au système d'information de l'entreprise

Le «BIM Project Execution Planning Procedure» (Saluja, 2009) (BPE) est une aide visuelle pour l'organisation des processus de travail avec des liens entre les entrées, les sorties, et les tâches¹¹, elle décrit les flux d'activités dans les limites d'un contexte particulier.

Il a joué un rôle équivalent à celui des approches visant à définir un système d'information (SI) afin d'accroître l'efficacité d'une entreprise dans l'exécution de ses processus.

Le système d'information est un « ensemble d'éléments (personnel, matériel, logiciels...) permettant d'acquérir, traiter, mémoriser, communiquer des informations (JL. LeMoigne, 1973).

Ce système est construit et administré. Selon R. Reix (2002), il présente trois dimensions :

- Une dimension informationnelle qui permet de produire des représentations du réel conformes aux besoins des utilisateurs,
- Une dimension technologique liée à l'utilisation des outils numériques (matériels et logiciels),
- Une dimension organisationnelle car les moyens informationnels sont à la fois des ressources et des contraintes.

Le système d'information, en tant que fournisseur d'informations fiables et adaptées aux besoins des utilisateurs joue un rôle déterminant dans les différents processus de l'entreprise mais également dans les processus décisionnel.

Actuellement, les progiciels de gestion intégrés englobent les applications classiques de l'entreprise, comme autant de modules d'un système d'information global et cohérent, ils permettent à tous les acteurs de développer leurs activités en utilisant « un langage commun » grâce à une véritable intégration informationnelle (standardisation des données et des modes opératoires, mode unique d'administration du système) qui donne en temps réel une cohérence interactive à l'ensemble des informations échangées entre les différents services de l'entreprise.(Bressy, Konkuyt, 2008)

¹¹ <http://www.buildingsmart.org/>

3.3. Formalisme et contenu des représentations de processus

La problématique est centrée autour de la création d'un nouveau formalisme pour le plan BIM (BEP) qui facilitera le travail collaboratif et orchestrera la mise en place efficace du BIM.

Diverses «chartes BIM» existent, deux d'entre elles paraissent représentatives :

- «BIM Project Execution Planning Procedure» (Saluja, 2009)
- IDM Information Delivery Manual (Standard Building Smart)

La première approche de la représentation de la charte BIM est prescrite dans le cadre du processus d'échange d'information BIM pour un projet à réaliser (Saluja, Pennstate University). Elle s'adresse aux acteurs métiers.

La seconde approche s'appuie sur l'Information Delivery Manual (IDM) qui décrit les informations échangées dans les processus courants de projet. Elle s'adresse aux développeurs d'interfaces IFC.

Ces deux approches proposent un formalisme sensiblement différent.

3.3.1. La charte BIM avec BPMN

Une «charte BIM» intègre l'analyse des pratiques métiers dans le contexte AIC (Architecture, Ingénierie et Construction) selon une méthode de conception de services adaptés.

Cette «charte BIM» suit donc un processus en plusieurs étapes analytiques et conceptuelles. Ces étapes sont décrites par divers modèles qui formalisent l'expression de points de vue différents, relatifs aux différents intervenants dans un projet de développement de services (l'utilisateur, l'expert métier, le concepteur, le développeur).

Les processus d'échange des informations peuvent être formalisés graphiquement en fonction du langage de modélisation BPMN (Business Process Modeling Notation).

Le Business Process Model and Notation (BPMN) est une représentation graphique standardisée pour modéliser des procédures d'entreprise ou des processus métier.¹²

Le but principal de BPMN est de fournir une représentation qui soit réellement compréhensible par tous les utilisateurs de l'entreprise. Tout d'abord, des analystes métier créent les ébauches initiales des processus, puis des développeurs responsables mettent en place la technologie qui va exécuter les processus applicatifs correspondants, enfin les utilisateurs de l'entreprise vont gérer et encadrer ces processus.

BPMN améliore les possibilités des représentations traditionnelles des procédures d'entreprise en gérant par nature les concepts de procédure telle que les procédures

¹² http://fr.wikipedia.org/wiki/Business_Process_Model_and_Notation

publiques et privées, ainsi que les concepts de modélisation avancée, comme la gestion des exceptions et la compensation des transactions.¹³

L'IDM est une modélisation des processus selon un formalisme employé pour la modélisation des architectures des entreprises, à savoir BPMN (Business Process Model and Notation).

3.3.2. Le manuel de diffusion de l'information IDM

Le recours à un standard comme l'Information Delivery Manual (IDM) développé par l'association Building Smart répond à cette contrainte. Il permet une modélisation des processus d'échange d'informations avec l'utilisation d'un modèle partagé. L'échange d'information est ainsi formalisé. De plus, l'information échangée est aussi plus précise.

Ces manuels, conçus avec les concepts propres à un domaine par des experts métiers favorisent l'intelligence collective. Selon P. Levy (1994), « le projet de l'intelligence collective consiste précisément à valoriser toute la diversité des connaissances, des compétences et des idées qui se trouvent dans une collectivité, et à organiser cette diversité en un dialogue créatif et productif ». Ainsi, une meilleure compréhension des processus d'échange va faciliter les interactions entre les différentes disciplines. La modélisation des données va permettre la construction de l'information mais également son enrichissement par des interactions facilitées.

Les IDM permettent également l'implémentation des processus BIM.

Sur le plan technologique, ils participent à une meilleure définition des formats utiles aux échanges entre logiciels mais aussi à la mise en œuvre de bonnes pratiques de modélisation concourant à créer l'information utiles aux différentes disciplines.

L'approche de Building Smart préconise le couplage de l'information échangée et modélisée dans l'IDM avec des éléments du schéma IFC dans un second document nommé MVD (Model View Definition).

Le MVD IFC fournit alors un support aux développeurs pour l'implémentation des fonctionnalités qui permettront les échanges voulus grâce à ce format. Un autre MVD, le MVD COBIE, dédié à la consultation des ouvrages et l'ajout d'information lors de livraison et de la maintenance, est délivré sous forme d'un tableur Excel (East, Nisbet & Liebich, 2013).

Les protocoles ou BIM sont l'illustration des étapes ou des conditions détaillées pour atteindre un but ou pour livrer un résultat (Kassem, Succar et al., 2013)

Ils prennent la forme des documents ou des instructions en format texte ou en format graphique (par exemple des cartes de processus, organigrammes, etc), et délivré aux acteurs du projet en format papier ou en format numérique.

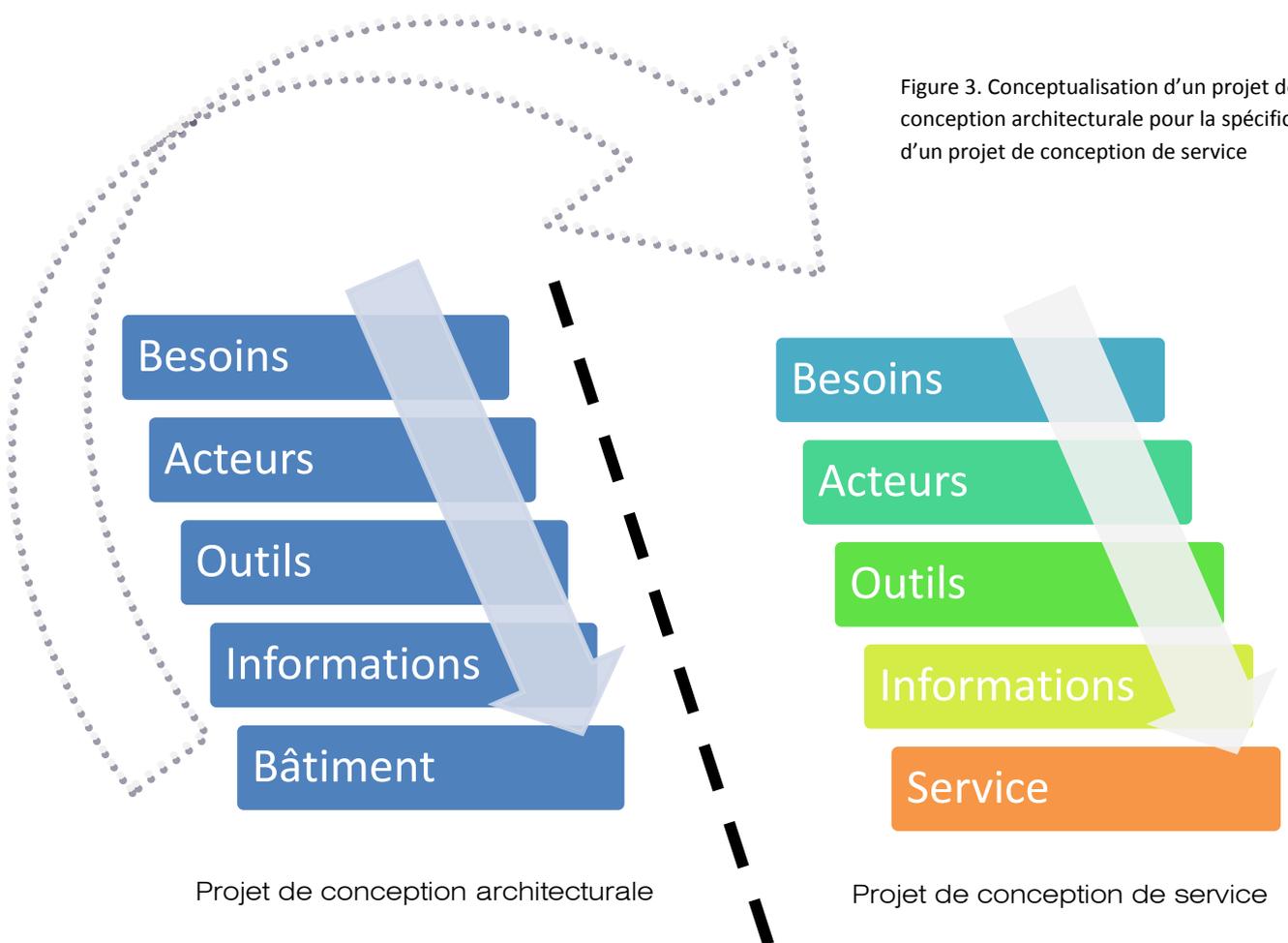
¹³ <http://www.bpmn.org/>

3.4. Analyse critique et bilan

Dans un contexte où les informations échangées se multiplient de plus en plus, il devient indispensable de structurer les échanges (informations) afin de proposer une organisation efficace des processus et tâches qui assure une meilleure compréhension par les différents acteurs de projet.

Ce qui amène à renforcer notre hypothèse énoncée plus haut : la réussite d'usage du BIM est étroitement liée à la bonne planification du processus BIM, portée par la charte BIM.

Ce travail porte essentiellement sur l'expression des besoins (ou exigences) à l'origine d'un projet de conception de services, à partir de la description d'un projet de conception architecturale, Comme le montre le schéma suivant (Figure3).



L'enrichissement du BPE avec les informations techniques requises sera la priorité du service demandé.

La classification et la structuration des informations dans la modélisation sont un vrai apport car elles offrent une meilleure lisibilité pour les différents acteurs du projet.

Le plan de la démarche adoptée, durant le stage, découle des problématiques ici mises en avant.

IV. Démarche

Nos travaux se focalisent sur la conception d'une méthode de création d'un planning BIM (BPE) avec un nouveau formalisme pour le plan BIM et une définition alternative des LOD (Level of Development) pour les IE (information exchange).

1. Une première durant laquelle une définition précise des objectifs généraux et des différents usages du BIM est dégagée.
2. Une seconde qui permettra la conception du plan BIM (Design BIM Project Execution Process).

Un nouveau formalisme doit se mettre en place afin de favoriser une meilleure lisibilité de ce document par les différents acteurs.

3. Une troisième qui se penchera sur la définition des échanges d'information. Une fois le DBPEP conçu, il faut définir les différents échanges entre les acteurs du projet puis se focaliser sur chaque information échangée et son degré de détails.

4. Une quatrième qui permettra une analyse approfondie, une identification des lacunes, une analyse des problèmes et une proposition d'un service adéquat.

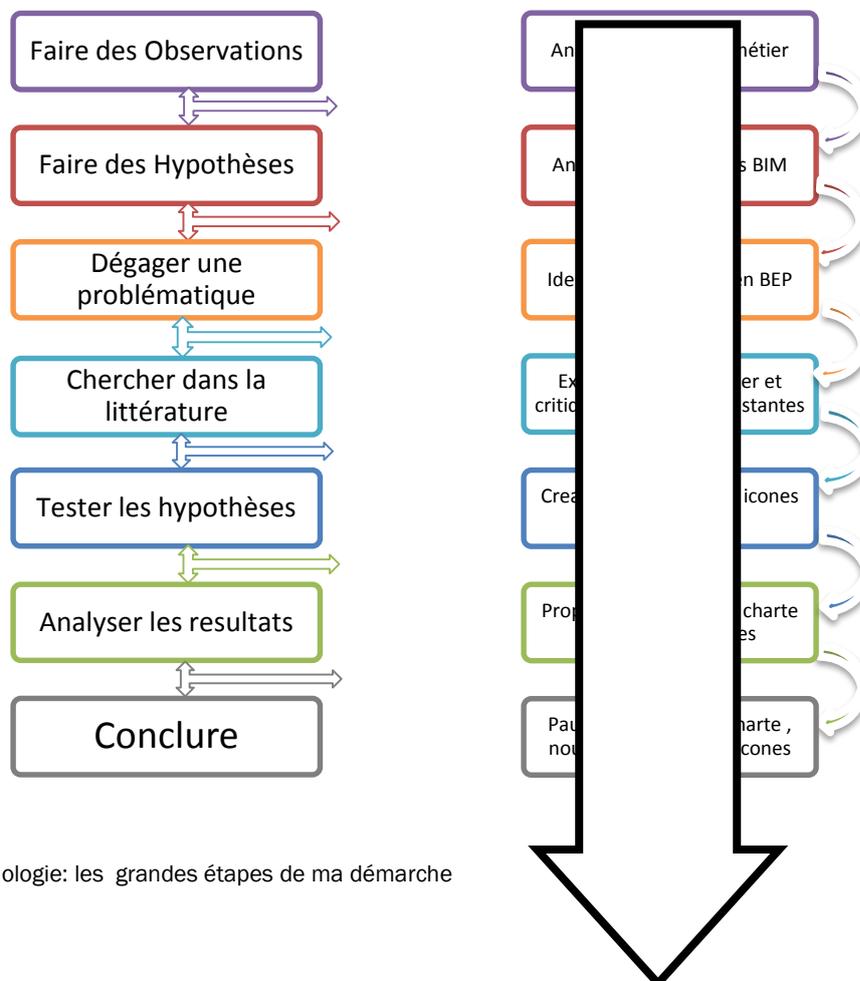


Figure 5. Méthodologie: les grandes étapes de ma démarche

V. Expérimentations et propositions

L'adoption du BIM vise à répondre aux besoins de chaque acteur métier lors des différentes phases de vie du bâtiment tout en procurant une optimisation de la faisabilité, de la conception, de la réalisation et de la gestion du projet (figure 6).



Figure 6. La démarche scientifique

La gestion numérique du patrimoine permet une gestion optimisée et adaptée de la construction en prenant en compte ses spécificités car elle implique l'exploitation dès la conception du projet.

Notre étude du BIM et plus précisément sur les «chartes BIM» font l'objet de deux expérimentations sur deux cas concrets.

Ces deux cas d'étude proposent d'expérimenter des modélisations de processus pour établir des «chartes BIM». L'usage retenu couvre les divers processus nécessaires afin de documenter les installations techniques d'un projet, en fin de la phase de construction, en vue de fournir au maître d'ouvrage l'information utile à la mise en place d'une gestion de patrimoine.

5.1. Usage BIM : récolte de l'information technique en fin de projet

5.1.1. Le référencement de l'information

L'installation des équipements dans les bâtiments, tel les équipements électriques ou les équipements de ventilation ou chauffage, fait partie intégrante des processus modélisés.

Dans nos deux cas, les équipements sont choisis conjointement par les maitres d'œuvre, le maitre d'ouvrage et les entreprises en phase amont du projet.

Par la suite des plans d'installation et un planning d'exécution sont créés respectivement par le concepteur et le coordinateur de travaux afin de servir comme supports techniques et organisationnels pour les installateurs.

En situation normale, la mise en œuvre sera conditionnée par le coordinateur après réception et validation (et archivage) des différentes informations : dates d'installation, garanties, prix, fiches techniques ce qui représente un processus à part entière.

Malgré les bénéfices indéniables apportés par le BIM (Azhar, Hein, & Sketo, 2011), ce dernier processus, soulève des discussions récurrentes : Quelle compétences requises pour l'alimentation du modèle, notamment pour les informations sur les équipements ? Les entrepreneurs doivent-ils être capables de manipuler des modèles BIM « tri-dimensionnels » pour enrichir l'information, ou des solutions alternatives sont-elles envisageables ? Pour quel coût ? Quel temps passé ?

Dans nos cas d'expérimentations, nous avons essayé de répondre à ces interrogations en intégrant un service dans nos « chartes BIM » capable d'assurer cette dernière étape :

Les fiches techniques composent actuellement la véritable base de données relative aux caractéristiques techniques d'un bâtiment.

Au cours du projet, la demande des fiches techniques et l'envoi de celles-ci se fait la plupart du temps par échange de mail. Ces échanges sont peu traçables et le stockage des fiches techniques doit être rigoureux, incluant une gestion de versions.

Nous avons pu constater que sans méthodologie de classement et de tri, la consultation de ces fiches devient vite laborieuse au fur et à mesure de leur réception. Leur gestion est donc un enjeu.

Elle permettra également de répondre à des besoins particuliers tels que la validation des fiches avant d'émettre une facture.

Dans le processus d'échange imaginé, il ne s'agit plus de remplir la nomenclature au format Excel avec toutes les caractéristiques techniques d'un équipement mais de renseigner uniquement la référence de la fiche technique ainsi que les informations supplémentaires utilisées pour leur gestion (date de pose, durée de garantie, coût... (Zignale, 2013)

Ce procédé est très répandu aux Etats-Unis et au Royaume-Uni, et connu sous le nom de COBie (Construction Operations Building Information Exchange).

Cobie a vu le jour à la fin de l'année 2006.

Tout Comme l'alliance buildingSMART, il est neutre et ouvert.

La première démonstration de Cobie dans un projet a eu lieu moins de deux ans plus tard à l'Académie nationale des sciences.

COBie s'intègre parfaitement dans les méthodes et outils BIM (Sabol, 2008).

Depuis Mars 2012 Cobie a fait partie de la National Modèle Standard Building Information États-Unis.

Son objectif est d'identifier les besoins d'information des responsables d'installation, opérateurs et gestionnaires pendant le cycle de construction.

5.1.2. Modélisation des processus : expérimentation et constats

Dans la continuité des analyses et critiques des deux principales « chartes BIM », l'objectif visé a été de modéliser les processus.

Parmi les difficultés rencontrées, il peut être noté l'absence d'un catalogue unique et global pouvant guider dans la contextualisation du processus. En effet, il a été difficile de déterminer le BIM Use exact à introduire, le BIM Goal ou le BIM Use Staffing (identification de l'équipe en charge de la tâche).

Notre repère sur la question était le travail de Saluja (2009) qui a classé le BIM Use selon la phase du projet et la nature de l'action, avec une hiérarchisation des BIM Use en « primary et secondary BIM Uses ».

Ces premières difficultés étaient essentiellement d'ordre théorique et portaient sur une définition théorique du contenu des processus à décrire et à modéliser afin de pouvoir mettre en place le BPE.

Ensuite, le manque d'information sur la nature des échanges, le scénario et le BIM Goals (Saluja, 2009) était insurmontable sans une bonne connaissance des processus métiers.

En ce qui concerne la mise en forme des processus, le problème du choix de l'outil de représentation s'est posé. Après quelques expérimentations sur un panel de logiciels, nous avons opté pour deux logiciels différents : Bonitasoft et Visio Microsoft Office.

Après avoir essayé la modélisation avec Bonitasoft, nous avons constaté un manque de template et de forme adapté au BPE. En effet, il a été compliqué d'introduire et de bien visualiser certains éléments primordiaux (Soluja, 2009) tels que :

- Le BIM Use,
- Le BIM Goals,
- Le BIM Use Saffing.

Il a fallu renoncer à ce logiciel BPMN standard et s'orienter vers un outil plus adapté, Visio, qui a été utilisé dans l'élaboration d'un des travaux les plus abouti dans le domaine de la modélisation des BIM Execution Plan.

Après avoir testé les limites d'un outil, nous nous sommes résignés à continuer à suivre les traces de la Pennstate University qui a encadré le travail de Soluja en se familiarisant avec la modélisation des processus.

Cette maîtrise de l'outil s'est réalisée en deux temps :

1. Dans un premier temps, nous avons essayé de reproduire jusqu'au moindre détail le BPE réalisé par Soluja (2009). Cela a été possible grâce au recours à des gabarits, formes et template selon un cadre schématique BPMN d'une modélisation de Pennstate.

2. La seconde phase de familiarisation était axée sur la réinterprétation du BPE selon un schéma IDM. Cela a permis de meilleure appréhension du logiciel et d'avoir un regard critique par rapport au premier formalisme comme la meilleure lisibilité pour les acteurs. Dans cette représentation, chaque acteur possède une ligne qui regroupe ses tâches dans le processus global.

5.2. Présentation de la première expérimentation

L'approche est basée sur la reprise d'un modèle existant issu d'un travail collaboratif entre le CRP «Centre de Recherche Public Henri Tudor» et Neobuild (ce partenaire du CRP, est un pôle d'innovation technologique de la construction au Luxembourg)¹⁴.

Dans ce projet, un processus de génération d'une nomenclature COBie à partir d'un modèle REVIT a permis aux installateurs de renseigner toutes les informations sur les équipements posés. Cette expérimentation, visant notamment à évaluer l'adéquation de COBie aux pratiques luxembourgeoises, a été rapportée par Zignale, D., Schwall, F. & Kubicki, S.

Cette base de travail, fournie par les encadreurs du stage, était un point de départ que ce soit pour l'analyse d'une situation réelle de travail collaboratif dans le domaine de l'architecture et construction ou que ce soit pour l'analyse et la critique du formalisme de la «charte BIM» (Saluja, 2009) utilisé dans l'expérimentation.

Afin de pouvoir mieux comparer et analyser les chartes BIM, nous proposons de modéliser le même processus selon d'autres chartes (ici selon la charte IDM) puis de tester le nouveau formalisme proposé là-dessus.

Dans ce premier cas d'expérimentation, et d'une manière assez classique, les plans d'installation d'équipements sont fournis sous forme de plan 2D (créés avec Plancal pour le HVAC).

La diffusion des documents est garantie par une plateforme d'échange, idem en ce qui concerne le partage des plannings ou encore des fiches techniques, devis et autres...

Le schéma de modélisation suivant (figure10) formalise le processus d'usages dits BIM selon la «charte BIM» (Saluja, 2009).

Les outils utilisés sont les suivants:

- Revit architecture pour la modélisation du bâtiment,
- Revit MEP pour la modélisation des équipements,
- Navisworks pour la planification et visualisation 4D,
- CObie plugging pour la génération des nomenclatures à partir de la maquette numérique,
- Microsoft Office pour l'ajout d'informations supplémentaires dans les nomenclatures au travers de feuilles Excel.

¹⁴ <http://scan14.construction.tudor.lu/index.php/programme/programme-detaille>

L'information est portée par une maquette numérique et facilement échangeable entre les différents acteurs impliqués.

Le processus décrit les tâches de chacun et l'information générée dans son environnement logiciel.

On y intègre aussi les exigences de niveau de développement (LOD= Level Of Development).

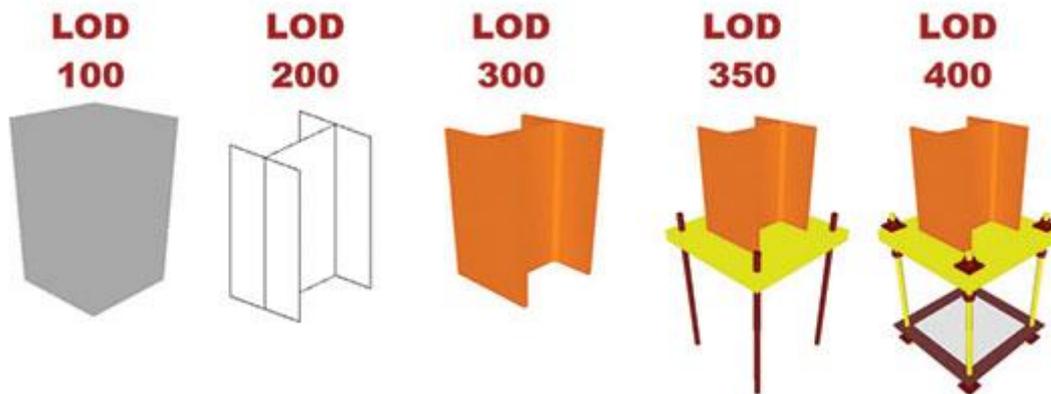


Figure 7. Exemple illustrant le niveau de développement d'un objet

Le partage des fiches sur une plateforme web d'échange de documents impose un nommage normalisé (Zignale, 2014).

Ainsi, c'est ce nom unique qui devra être rapporté dans le tableur COBie en guise de référence de la fiche, ce qui assure un lien unique et durable (figure 7).

Enfin, l'ingénieur peut récolter ces données en les important dans le modèle et régénérer une nomenclature complète qui sera utilisée pour la mise en place de la gestion du bâtiment. Elle pourra alors être plus exhaustive, décrivant par exemple pour chaque équipement installé (et non seulement chaque type) l'étage et la pièce dans laquelle il se trouve. Les prérequis pour entamer une activité de GMAO seront alors effectifs.

Au préalable, le processus a déjà été formalisé. Les données COBIE sélectionnées afin de répondre aux besoins sont les suivantes (Zignale, 2014) :

- Le fournisseur (nom et URL),
- Le numéro de série (du catalogue fournisseur),
- La référence de la fiche technique,
- La référence à un éventuel cahier des charges de montage (ou un détail d'exécution),
- Le coût au moment de l'installation,
- La durée de vie prévue,
- La date de début de garantie,
- Et enfin, le coût en cas de remplacement.

Daniel Mep Archicad - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Name	CreatedBy	CreatedOn	TypeName	Space	Description	ExtSystem	ExtObject	ExtIdentifier	SerialNumber	InstallationDate	WarrantyStartDate	TagNumber	BarCode	AssetIdentifier
23	Prise électrique simple:Prise normale:687168	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy4000ybuidx/n/a									
24	Prise électrique simple:Prise normale:687233	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy41tezm8z/n/a									
25	Prise électrique simple:Prise secourue:687332	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy413n27bn0/n/a									
26	Prise électrique simple:Prise secourue:687637	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy418ozimlu/n/a									
27	Prise électrique simple:Prise secourue:687722	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy438pne_slu/n/a									
28	Prise électrique simple:Prise normale:687821	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43ab1_p29/n/a									
29	Prise électrique simple:Prise normale:688138	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
30	Prise électrique simple:Prise secourue:689201	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
31	Prise électrique simple:Prise normale:689331	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
32	Prise électrique simple:Prise normale:689424	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
33	Prise électrique simple:Prise normale:689515	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
34	Prise électrique simple:Prise normale:689822	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
35	Prise électrique simple:Prise normale:694888	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
36	Prise électrique simple:Prise normale:694909	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		prise ^H ctArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
37	Bac glace souterrain Isocal Solaris:Solaris SE 12.703943	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		Bac Glace ArchCAD-icfbuilding08cgcpr0t/n/a									
38	Bac glace souterrain Isocal Solaris:Solaris SE 12.707041	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		Bac Glace ArchCAD-icfbuilding2kxagwv/n/a									
39	Chaudière Buderus Logatherm:logatherm wps 22:866816	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		Chaudière ArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
40	Pompe chaleur Viessmann Vitocal:Vitocal 2006 BWC 06:687704	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	Eliment/n/a		Pompe ArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
41	tube_suspendu_LED:tube_LED (typ prciser) (BK 4):306148	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	tube_LED n/a		tube_susp ArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
42	tube_suspendu_LED:tube_LED (typ prciser) (BK 4):306148	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	tube_LED n/a		tube_susp ArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
43	tube_suspendu_LED:tube_LED (typ prciser) (BK 4):306176	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	tube_LED n/a		tube_susp ArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
44	tube_suspendu_LED:tube_LED (typ prciser) (BK 4):306211	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	tube_LED n/a		tube_susp ArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									
45	tube_suspendu_LED:tube_LED (typ prciser) (BK 4):309382	PnomNko	2014-08-08-00:00:00	tube_LED n/a		tube_susp ArchCAD-icfenergy43b0cl4/n/a									

Figure 8. Nomenclature Cobie, tableur en guise de référence généré à partir du la maquette numérique

Des moyens techniques variés permettent de répartir la charge de travail relative à la mise en place de la gestion d'un bâtiment entre les différents acteurs du projet, et ce grâce à un échange structuré de l'information issue du modèle à des moments clés du projet.

Cependant, l'utilisation du COBie n'est pas une pratique répandue au Luxembourg, et encore moins l'utilisation de la maquette numérique pour générer les nomenclatures.

L'offre de services généralement proposée par les fournisseurs d'outils de GMAO est basée sur la ressaisie d'information. Il s'agit donc de tester le processus proposé avec le fournisseur du projet Neobuild.

Ceci permettra d'évaluer l'aptitude de COBie à gérer les informations dans le cadre d'un projet privé à Luxembourg, ainsi que la possibilité de démocratiser l'approche.

Le travail sera centré sur la formalisation du processus avec l'IDM «Information Delivery Manuel» puis avec la charte de Saluja (ancienne assistante chercheuse au sein de l'équipe de recherche de la Pennsylvania State University).

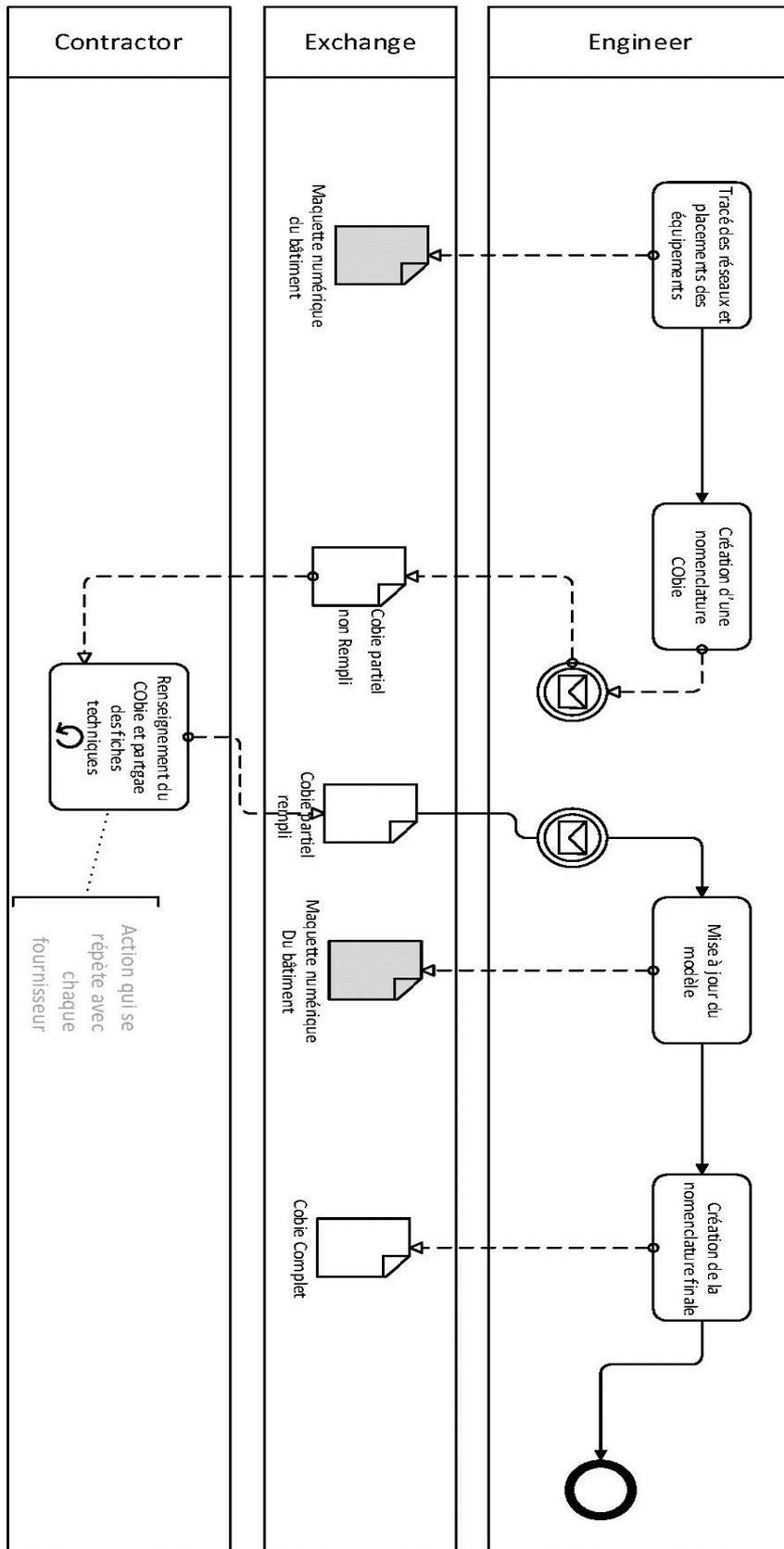


Figure 9. Le modélisation IDM des processus Neobuild renseignant sur la création d'une base pour la maintenance du patrimoine

Le processus IDM schématise les acteurs du projet, dans le cas de Neobuild, ce sont les ingénieurs et les contractuels sous-traitants, qui collaborent afin d'atteindre le même but, l'enregistrement du bâtiment afin de garantir la gestion du patrimoine du projet, ainsi que leurs «tâches métiers» respectives, ici : la création de la nomenclature finale, la création d'une nomenclature CObie, renseignement du Cobie et partage des fiches techniques, la mise à jour du modèle, traçage des réseaux et placements des équipements.(figure 8)

Cette approche IDM définit les cas d'utilisation de la maquette numérique en renseignant sur les «objets d'échange» et les «actions» de chaque acteur sur ces objets en fonctions de leurs «tâches métiers».

Processus d'alimentation d'une nomenclature COBIE pour la gestion des équipements d'un bâtiment

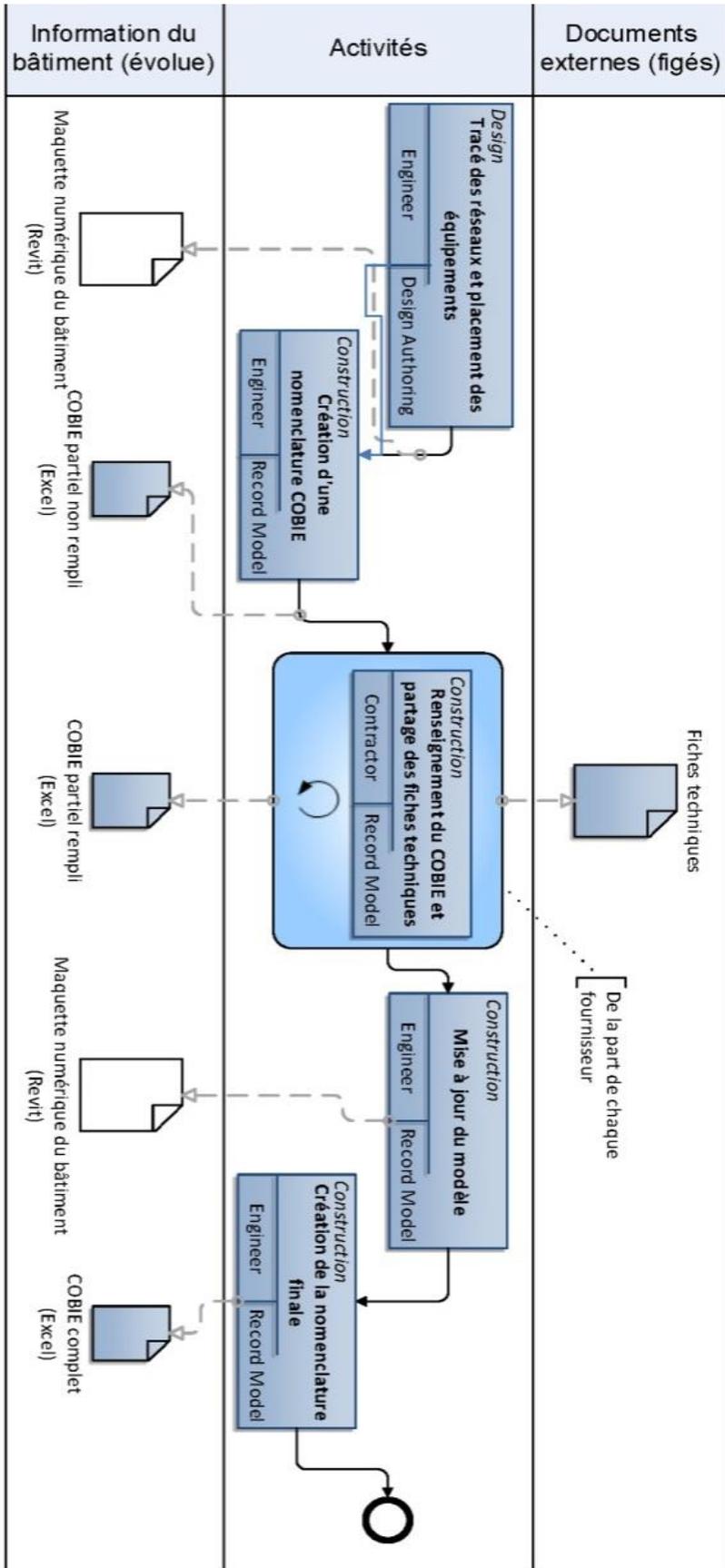


Figure 10. Le modélisation IDM des processus Neobuild renseignant sur la création d'une base pour la maintenance du patrimoine

5.3. Présentation de la deuxième expérimentation

Dans la deuxième expérimentation, nous avons recréé un scénario fictif à partir d'une œuvre architecturale déjà livrée, de petite envergure : un kiosque/caféteria (figure11).

C'est au Luxembourg, dans le Parc Central du Kirchberg, que l'agence Polaris Architects a signé cette réalisation, monolithe de béton aux lignes brisées, volume complexe ouvert sur le paysage.



Figure 11. Vue en perspective sur le Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg

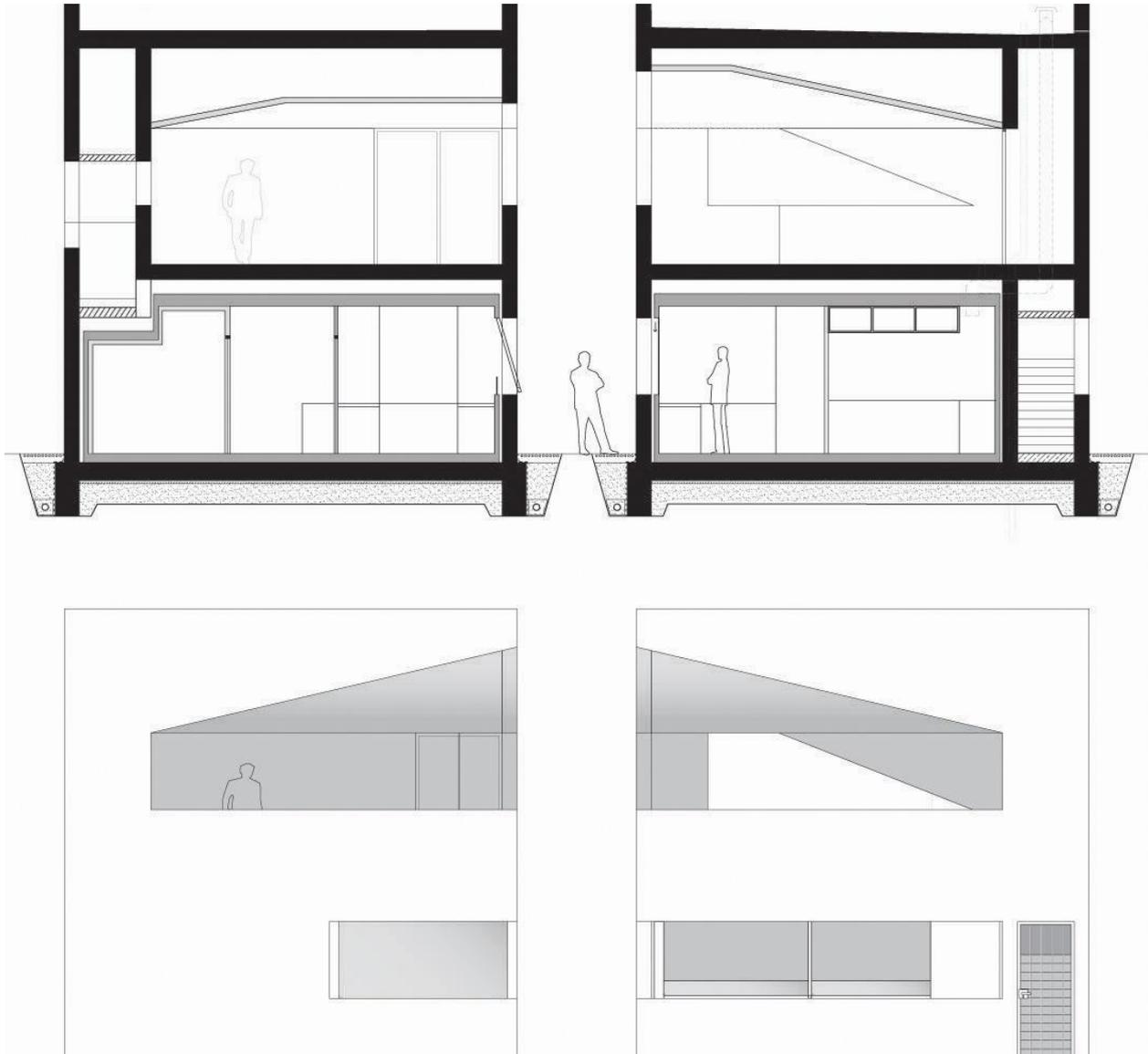


Figure 12. Coupes et façades du Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg

Dans cette expérimentation, nous ferons l'hypothèse théorique (d'une manière assez classique) que les plans d'installation d'équipements sont fournis en fin de construction sous forme de plan 2D (créés avec Autocad par exemple pour le HVAC).



Figure 13. Vue de la façade sud du Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg

Les outils utilisés sont les suivants :

- Archicad 18 pour la modélisation du bâtiment et la modélisation des équipements.
- COBie Toolkit pour la génération des nomenclatures à partir d'un export de la maquette numérique au format IFC que quelques paramétrages au niveau de la gestion de cet export dans le logiciel Archicad.
- Microsoft Office pour l'ajout d'informations supplémentaires dans les nomenclatures au travers de feuilles Excel.

L'information est portée par une maquette numérique et facilement échangeable entre les différents acteurs impliqués.

Il est préconisé la mise en place d'un processus collaboratif organisé qui n'est cependant pas essentiellement supporté par la maquette numérique.

En effet, l'objectif est de livrer cette dernière avec toutes les informations indispensables ainsi qu'une version de documentation garantissant chacune une documentation complète du projet architectural.

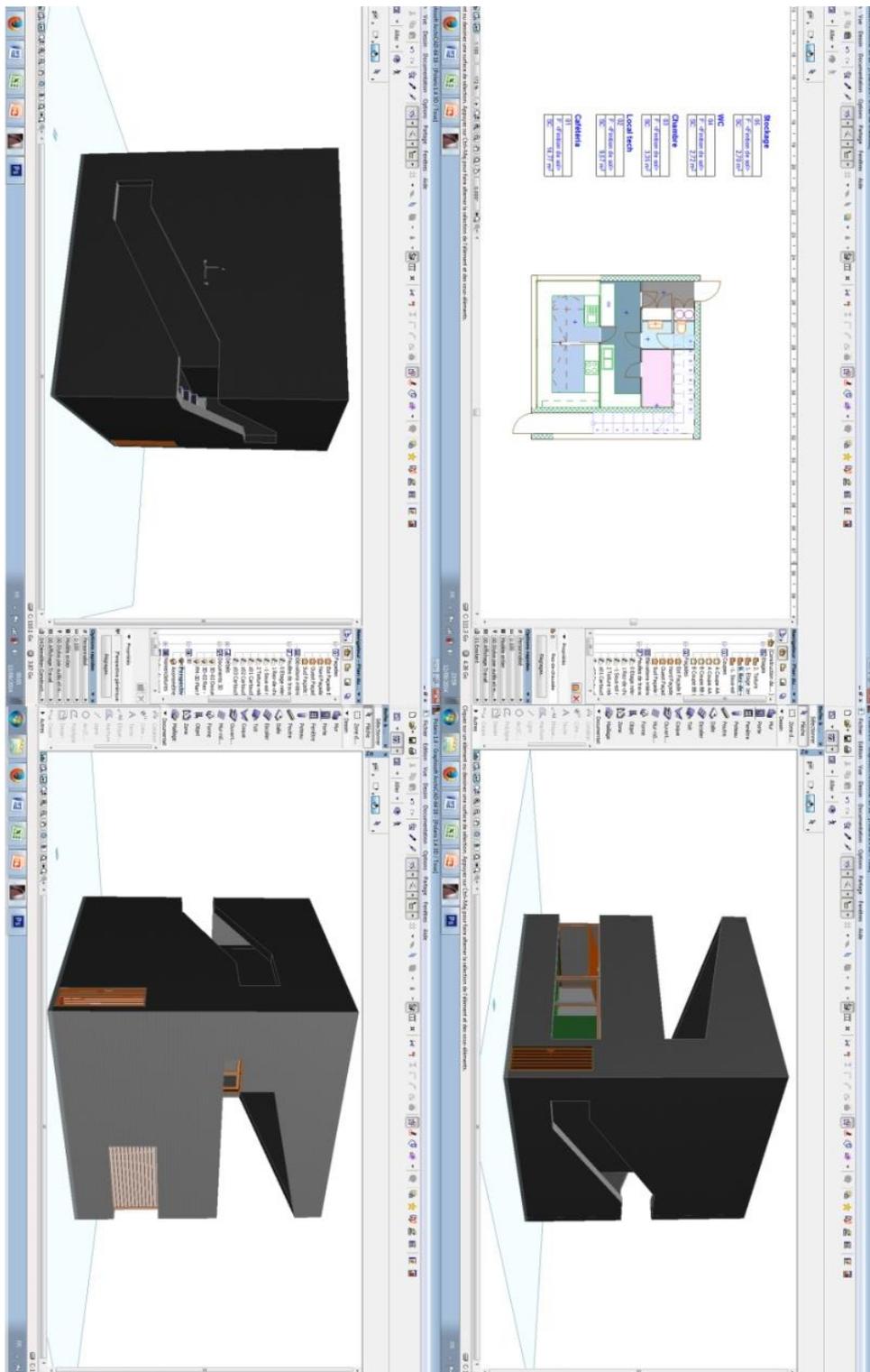


Figure 14. Saisie de la maquette numérique, à partir des documents 2D, du Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg

451 - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
	Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	Description	AssetType	Manufacturer	ModelNumber	WarrantyGuarantorParts	WarrantyDurationParts	WarrantyGuarantorLabor	WarrantyDurationLabor	WarrantyDurationUnit	ExtSystem	ExtObject	ExtIdentifier	ReplacementCost	ExpectedLife	DurationUnit	
1																				
2	h1 Renouva fluorescent lamp	CONRAD	2014-08-21/n/a		h1 Renouva/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcbuilding323kKABNK	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
3	Porte double 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte dou/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty1gE5SDSN	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
4	Porte double 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte dou/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty21kuWswi	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
5	Porte 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte 18 n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty331BH\$wi	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
6	Porte 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte 18 n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty14cnuWU	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
7	Porte 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte 18 n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty32m06cd	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
8	Porte 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte 18 n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty1X01gRk5	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
9	Chauf-eau lectrique 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Chauf-e/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty31pPUX46	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
10	Porte garage basculante 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte gara/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty0210vM78	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
11	Porte 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Porte 18 n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcdoorsty0VX2gU17	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
12	Disposition cuisine 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Dispositio/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcturnish31egcb7UJ	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
13	Machine glace 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Machine g/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcturnish059x8EPg	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
14	PLAFONIERA	CONRAD	2014-08-21/n/a		PLAFONIE/n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcbuilding255WV7im	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
15	WC 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		WC 18 n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcsanitary3159fEgH	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
16	Lavabo 18	CONRAD	2014-08-21/n/a		Lavabo 18 n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	ArchICAD- fcsanitary3ubdvh3N	n/a	n/a	n/a	n/a	Year	
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				

Prêt

Figure 15. Nomenclature CObie du Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg

Le processus IDM représente les acteurs du projet, dans le cas de Polaris sont les architectes et les contractuels sous-traitants, qui collaborent afin d'atteindre le même but, dans notre cas l'enregistrement du bâtiment afin de garantir la gestion du patrimoine du projet, ainsi que leurs «tâches métiers» respectives, ici : la création de la nomenclature finale, la création d'une nomenclature CObie, renseignement du Cobie et partage des fiches techniques, la mise à jour du modèle, traçage des réseaux et placements des équipements (figure 16).

Cette approche IDM définit les cas d'utilisation de la maquette numérique en renseignant sur les «objets d'échange» et les «actions» de chaque acteur sur ces objets en fonction de leurs «tâches métiers».

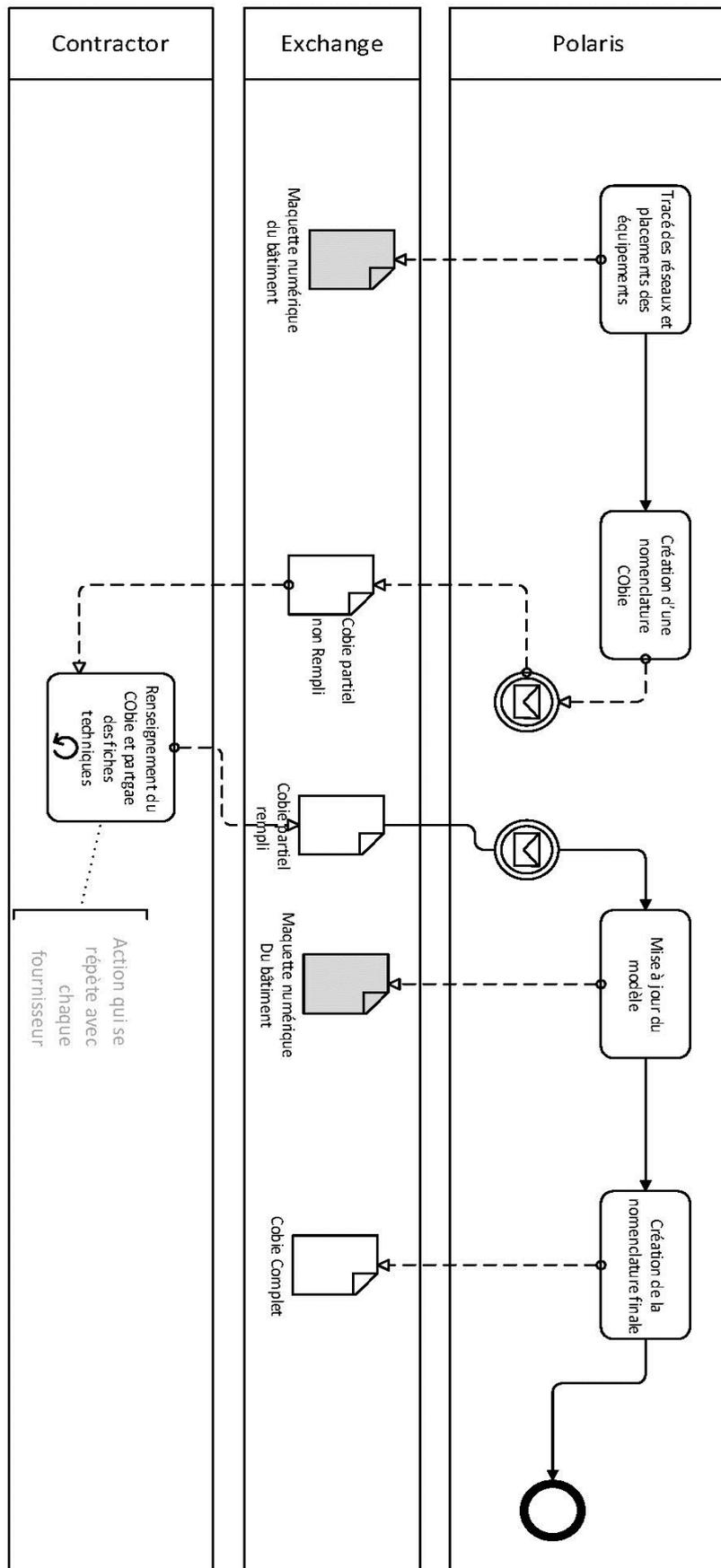


Figure 16. Le modélisation IDM des processus Polaris renseignant sur la création d'une base pour la maintenance du patrimoine

Le but de cette expérience est alors de créer une maquette numérique et une documentation de ce projet afin de faciliter son entretien.
 Le schéma de modélisation suivant (figure 17) formalise le processus d'usages dits BIM selon la «charte BIM» (Saluja, 2009).

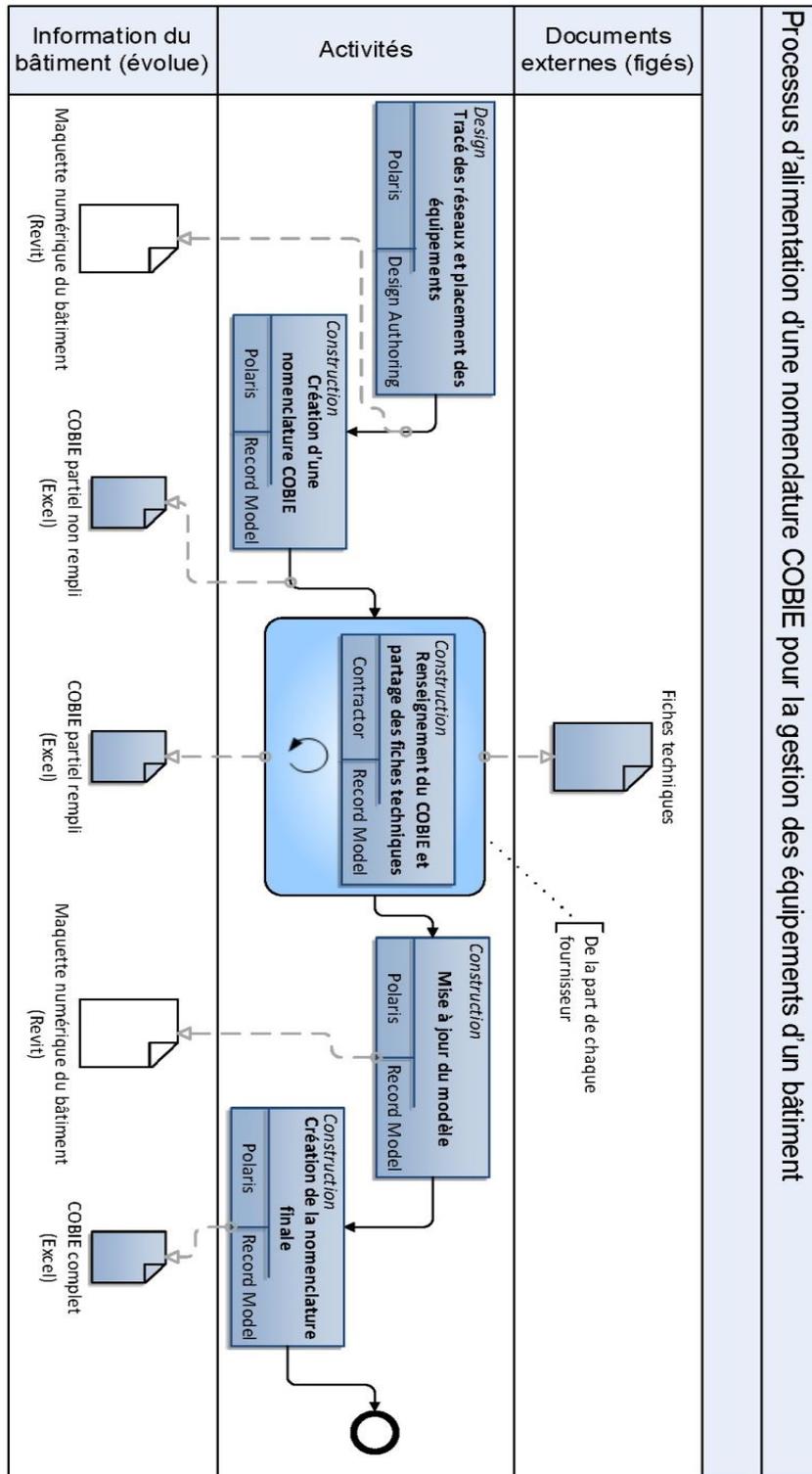


Figure 17. Le modélisation IDM des processus Neobuilt renseignant sur la création d'une base pour la maintenance du patrimoine

5.4. Limites des chartes expérimentées

L'IDM à travers le formalisme BPMN, présente les métiers sous forme de processus composés de tâches propres à chaque acteur.

La limite d'une telle approche est la réduction d'une description métier à des suites d'événements figés qui ne reflètent pas toute la complexité et la variabilité du projet de construction.

Contrairement au formalisme IDM, le formalisme de Saluja nous renseigne plus sur les spécificités des projets.

Concrètement les modélisations des processus ont permis de mettre en lumière quelques lacunes et manques de visibilité dans ces formalismes existants tels que :

- La non définition des outils des acteurs lors de la production des tâches,
- La non spécification de la version des outils,
- L'absence d'une iconographie plus parlante, d'une classification BIM Use, des informations échangées (IE) et des outils,
- Le peu de lisibilité du LOD (Level Of Development) nommé niveau de détails.
- L'absence d'une liste plus complète des BIM Use, BIM Goals, BIM Use Staffing construite sur des bases communes et globales.

5.5. Propositions

Les deux cas d'études, nous ont permis de mettre en en avant les limites citées précédemment.

En se basant sur ces lacunes nous proposons un formalisme plus complet qui permet d'ajouter des informations aux différents éléments.

Ces dernières nous offrent un renseignement essentiel tel que la description d'une pratique, des informations sur les acteurs ou encore la description des informations traitées.

Dans le cadre de l'expérimentation Neobuild et l'expérimentation Polaris, il s'agira de fournir une description précise des besoins métiers en incluant les variabilités et les complexités des projets et cela en ajoutant le contexte de chaque projet, tel les outils ou encore le matériel.

Concrètement et après l'acquisition des connaissances indispensables pour la maîtrise du logiciel Visio, nous avons tenté de peaufiner la charte BIM de Saluja (2009) en créant de nouvelles icônes selon la typologie de l'information, à l'image de l'icône de l'information échangée comportant une maquette numérique.

Nous avons tenté de mettre en place une référence pour les BIM uses qui, à leur tour, sont répertoriés grâce au système de classification de la construction, connu sous le nom de Omniclass.

Le Système de classification de la Construction OmniClass (connu sous le nom OmniClass™ ou Supplément) est un système de classification pour l'industrie de la construction.¹⁵

OmniClass est utile pour de nombreuses applications, de l'organisation du matériel de bibliothèques, de la documentation du produit et des informations de projet, pour fournir une structure de classification pour les bases de données électroniques.

L'OmniClass à travers ses 15 tables de classer les différents composants du secteur de la construction (figure 18).

Enfin, afin d'améliorer la lisibilité du BPE, nous avons opté pour une attribution par ligne pour chaque acteur : une ligne dédiée au niveau de détail, une seconde à l'information échangée, une dernière à l'information extérieure avec une séparation par colonne pour chaque phase du projet.

¹⁵ <http://www.omniclass.org/>

OmniClass consists of 15 tables, each of which represents a different facet of construction information. Each table can be used independently to classify a particular type of information, or entries on it can be combined with entries on other tables to classify more complex subjects.

The 15 inter-related *OmniClass* tables are:

- Table 11 - Construction Entities by Function
- Table 12 - Construction Entities by Form
- Table 13 - Spaces by Function
- Table 14 - Spaces by Form
- Table 21 - Elements
(includes *Designed Elements*)
- Table 22 - Work Results
- Table 23 - Products
- Table 31 - Phases
- Table 32 - Services
- Table 33 - Disciplines
- Table 34 - Organizational Roles
- Table 35 - Tools
- Table 36 - Information
- Table 41 - Materials
- Table 49 - Properties

Figure 18. Structurer l'information à l'aide de l'Omniclass: Les 15 tableaux

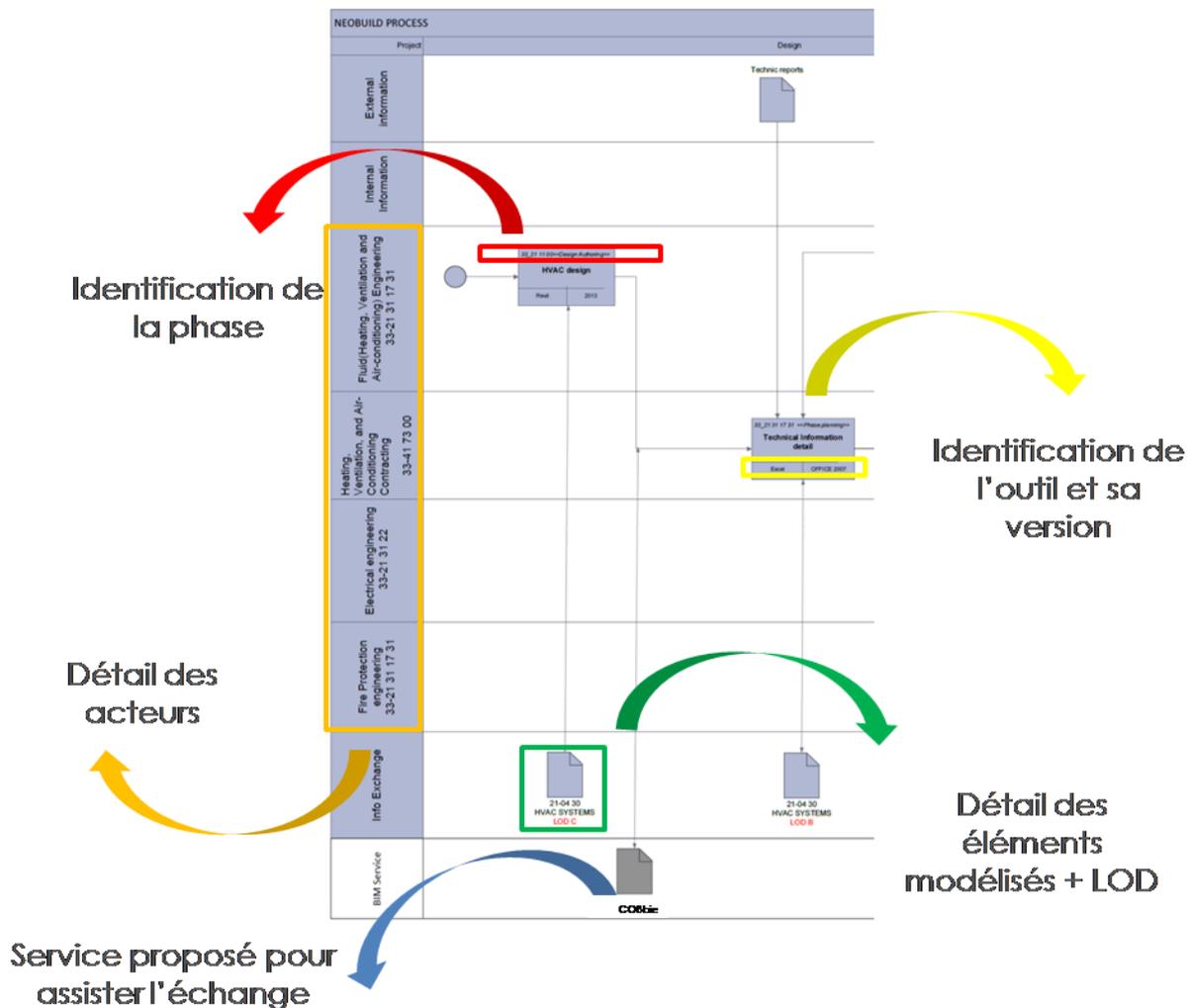
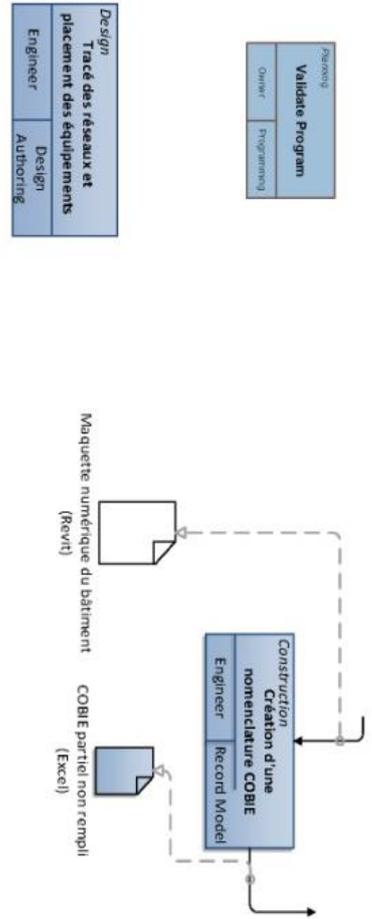


Figure 19. Principales propositions d'amélioration du formalisme de Saluja

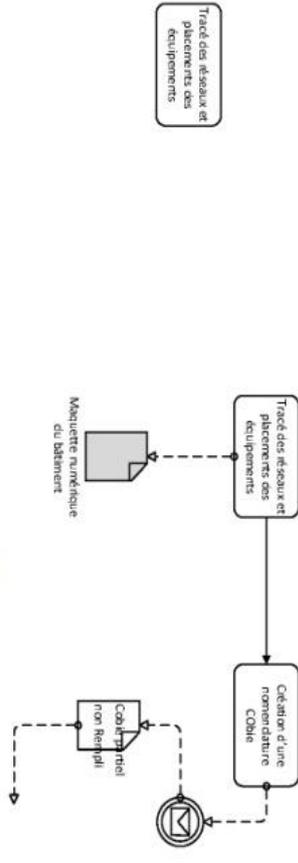
Formalisme Saluja

(Pennstate University)



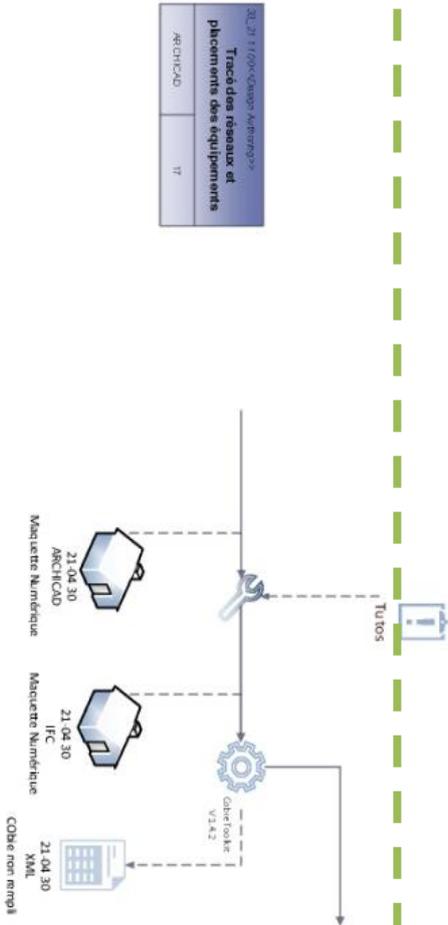
Processus d'alimentation d'une nomenclature COBIE pour la gestion des équipements d'un bâtiment	
Documents externes (figés)	
Activités	
Information du bâtiment (évolue)	

Formalisme IDM



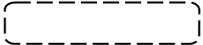
Engineer	
Exchange	
Contractor	

Notre formalisme



NEOBUILD PROCESS ©Developed by TUDOR Architecture Unit Search Design	
Project	
External information	
Néobuild	
Contractor	
MEP engineer	
Info Exchange	

Figure 20. Comparaison entre les 3 formalismes

événement	<p>Un événement est quelque chose qui "arrive" au cours d'un processus.</p> <p>Ces événements influencent le déroulement du processus et ont généralement une cause (déclencheur) et/ou un impact (résultat).</p> <p>Les événements sont des cercles de centres ouverts pour permettre aux marqueurs internes de distinguer différents déclencheurs ou des résultats.</p> <p>Il existe trois types d'événements, selon le moment où ils affectent le flux : Démarrer, intermédiaire et final.</p>	
Tâches	<p>Une activité/tâche est un terme générique pour le travail effectué par un individu ou une société.</p> <p>Les types d'activités qui font partie d'un modèle de processus sont: le processus, sous-processus, et des tâches. Tâches et sous-processus sont des rectangles.</p> <p>Les processus sont contenus dans les bassins/bac.</p>	
Décision	<p>Ce symbole représente une décision à prendre, une validation attendue. Elle peut traduire une divergence et/ou une convergence entre deux séquences /tâches du processus.</p>	
Flux	<p>La flèche représente la connexion entre les différentes séquences. Elle est utilisée pour montrer l'ordre dans lequel les activités seront exécutées dans un processus.</p>	
Association	<p>Une association est utilisée pour associer des informations de débit objets.</p> <p>Texte et graphiques non-Flow objets peuvent être associés à des flux d'objets. Une flèche indique sur l'association un sens d'écoulement (par exemple, des données), le cas échéant.</p>	
Bassins/contenant	<p>Un bassin représente un participant dans un processus. Il agit également comme un "couloir" et un conteneur graphique pour partitionner un ensemble d'activités d'autres contenant/bassin.</p>	
La voie/couloir	<p>La voie/couloir est un sous-partition dans une piscine et s'étend sur toute la longueur de la piscine, verticalement ou horizontalement.</p> <p>Les voies sont utilisées pour organiser et classer les activités.</p>	
Données/informations sur l'objet	<p>Objets de données sont considérées comme des artefacts, parce qu'ils n'ont pas d'effet direct sur le flux de séquence ou de flux de messages du processus, mais ils fournissent des informations sur les activités nécessitant d'être exécutés et / ou ce qu'ils produisent.</p>	
Regroupement	<p>Un regroupement d'activités qui relève de la même catégorie. Ce type de regroupement n'affecte pas le débit de la séquence des activités au sein du groupe.</p>	
Paramétrage	<p>C'est le paramétrage ou encore le réglage nécessaire pour l'export, l'import ou la traduction d'une information.</p> <p>Cela permet un passage d'un outil à un autre sans perte d'informations.</p> <p>Ex : l'export en IFC d'un fichier revit ou Autocad et qui garantit l'interpolarité entre ces deux derniers outils cités.</p>	
Outillage	<p>C'est le recours à un outil, généralement un outil informatique tel un plugging, extension ou un logiciel complémentaire.</p>	

Itération	C'est la répétition d'une tâche ou d'une activité avec un certain nombre d'acteurs différents.	
Nomenclature	C'est une information échangée sous format d'une nomenclature généralement un tableur Excel.	
Maquette numérique	C'est une information échangée sous format d'une maquette numérique	
Aide /tutorial/ vidéo	C'est le recours à une information extérieure à l'entreprise généralement un catalogue, un tutorial ou une vidéo... dont l'objectif est de documenter l'aspect technique (usage d'un logiciel) lié à un échange.	

Les figures 21, 22 et 23 résument les apports relatifs au nouveau formalisme dédié à la modélisation des processus collaboratifs.

L'attribution des lignes « acteurs », inspirée du formalisme IDM, et des colonnes « phases de projet » offre une meilleure lisibilité du processus global.

L'enrichissement des processus à travers l'ajout des outils et versions respectives à chaque acteur du projet contribue à mieux appréhender les conflits d'échange, donc à diminuer les problèmes d'interopérabilité.

Les graphismes des informations échangées permettent de renseigner leurs natures telles l'exemple des maquettes numériques, nomenclatures ou autres tutoriels.

L'introduction d'un nouveau formalisme pour le paramétrage et les outillages proposés en service autorise une vraie distinction entre services et processus.

L'identification à travers une classification Omniclass pour les BIM use, par exemple, est une manière de structurer l'information. Cette base de classification pourra planifier un éventuel catalogue de services.

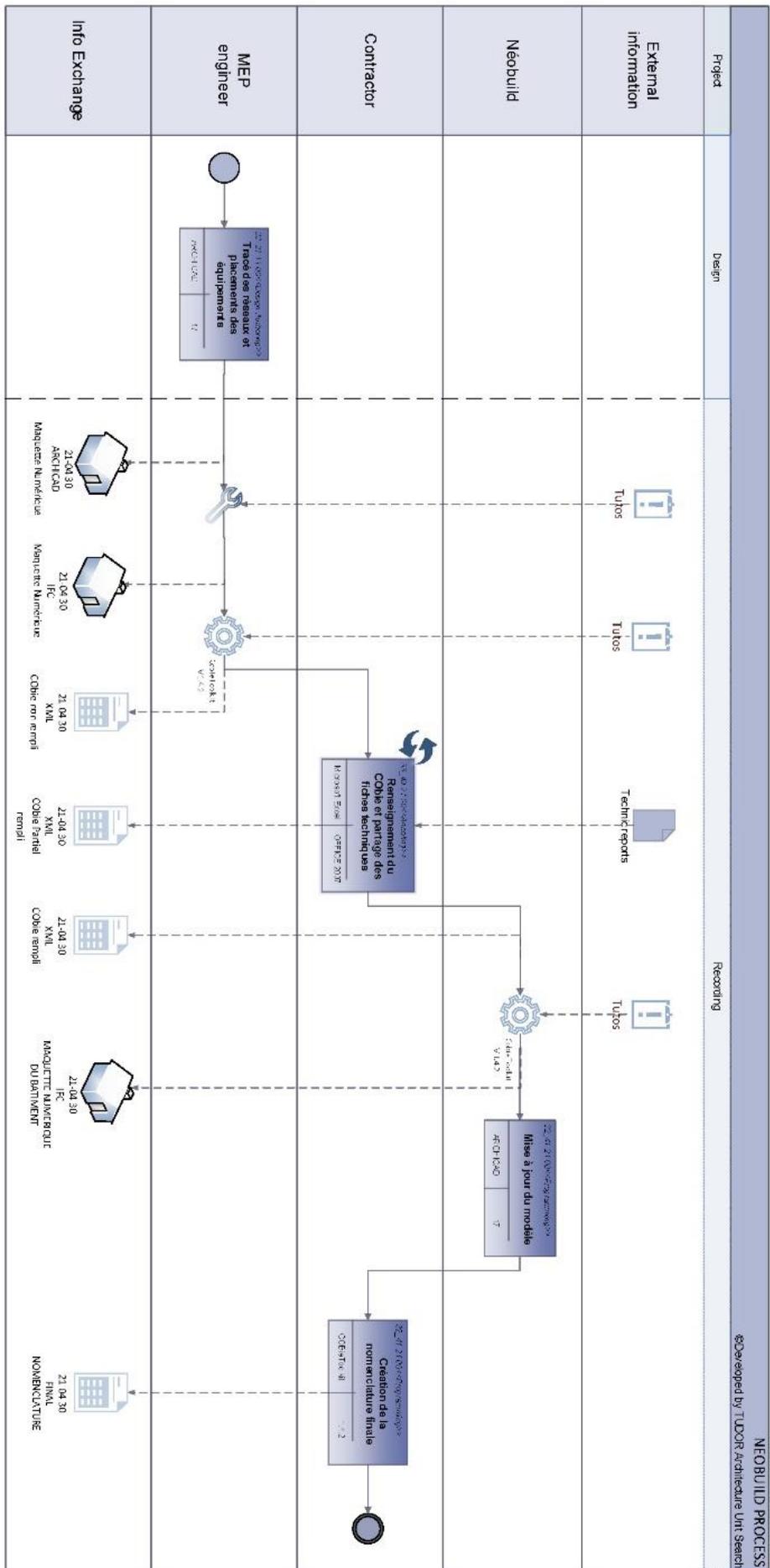


Figure 21. Notre formalisme de la modélisation des processus Neobuild renseignant sur la création d'une base pour la maintenance du patrimoine

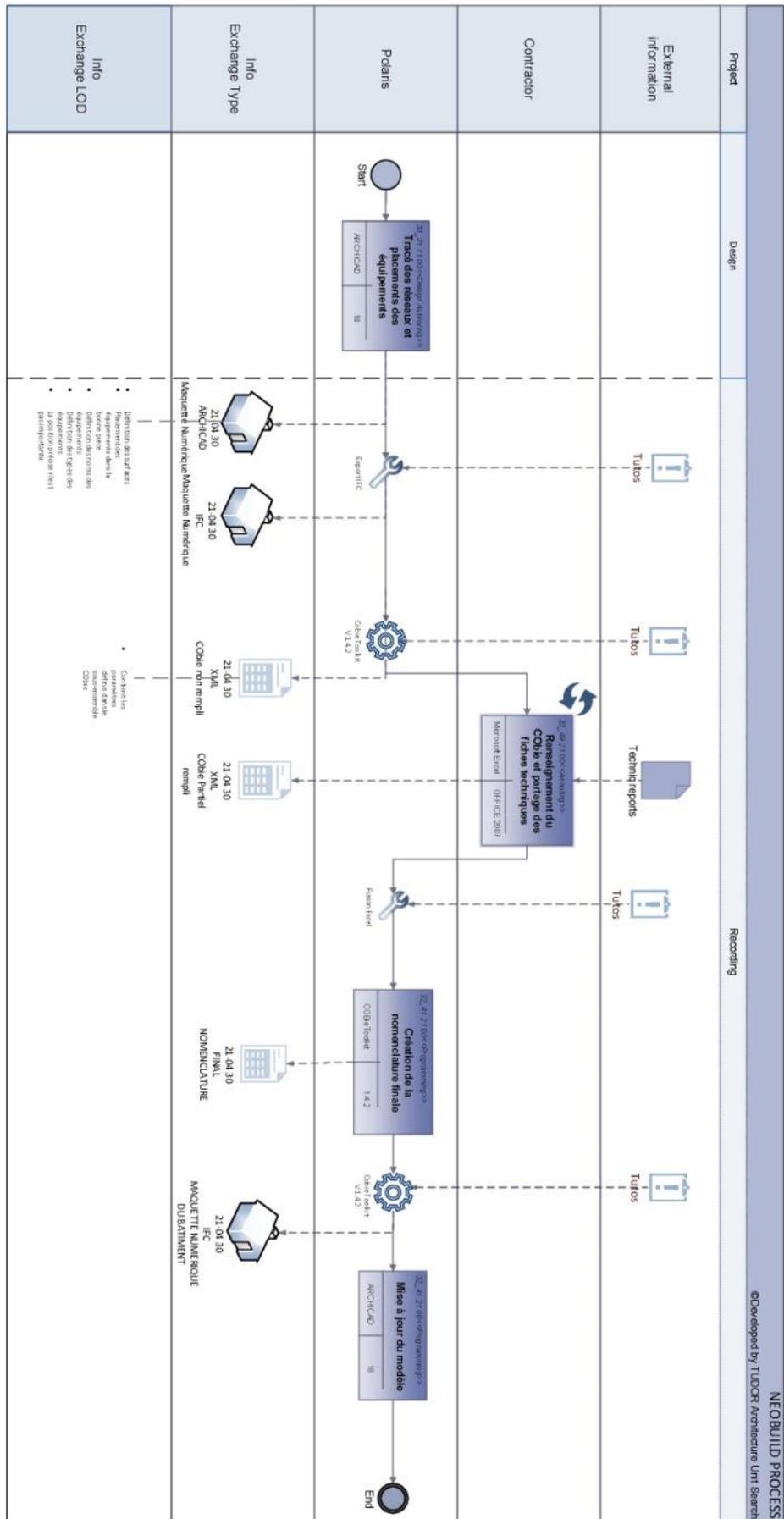


Figure 22. Notre formalisme de la modélisation des processus Polaris renseignant sur la création d'une base pour la maintenance du patrimoine (scénario 1)

VI. Conclusion et perspectives

Au terme de cette étude, nous espérons contribuer à l'amélioration de la modélisation des processus collaboratifs, voire à des propositions relatives à un nouveau formalisme.

Les propositions avancées dans ce travail sont une réponse à des besoins spécifiques au domaine de la construction.

Protocoles de BIM, les plans d'exécution de BIM, guides de planification de BIM, ou quel que soit le nom qu'ils reçoivent, peuvent être proposés sur différents supports, numériques ou non et avec différents formats.

Toutefois, ils partagent tous le même objectif : introduire les méthodes de travail BIM dans un projet.

Sur le plan de la gestion du projet, la théorie s'appuie sur une situation idéale pour proposer une organisation, des méthodes et des flux informationnels optimaux. Cependant, dans la pratique, l'appropriation par les différents acteurs métiers des chartes BIM semble encore difficile.

Pour les généraliser, les chartes BIM doivent s'appuyer sur les réalités et modes de fonctionnement des organisations. Les acteurs doivent être impliqués afin d'identifier au mieux les pratiques et méthodes de travail des partenaires réunis autour du projet.

La classification des données dans le BPE permet de caractériser les données relatives au projet de bâtiment à partir d'un ensemble d'information préalablement établies.

L'introduction d'une classification peut être un pas vers une la généralisation et l'harmonisation de solutions proposés pour répondre aux problèmes de modélisations collaboratives dans le secteur de la construction.

L'introduction d'une classification OMNIclass pourra être une option pour structurer l'information.

La piste de Générateur de protocole BIM introduite par la TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) peut être une voie intéressante.

Ce générateur de protocole de BIM identifie les méthodes de travail privilégiées des partenaires du projet et les regroupe dans une charte de projet BIM.

Cependant la complexité, les spécificités et les variabilités de chaque projet, rendent la proposition d'un tel outil efficace capable de générer des protocoles BIM difficile.

La construction d'un éventuel catalogue élaboré à partir des cas d'études peut contribuer à son amélioration.

Bibliographie

Livres

- [BRE08] BRESSY (Gilles), KONKUYT (Christian). - « Management et économie des entreprises ». - Aide-mémoire, 9^e édition. Editions Sirey, 2008. - 475 p. (Daloz)
- [CEL14] CELNIK (Olivier), LEBEGUE (Eric) avec la contribution de GUERSENDRE (Nagy). - « BIM et maquette numérique : Pour l'architecture, le bâtiment et la construction ». - Collectif Eyrolles. Editions Eyrolles, CSTB, 2014. - 624 p.
- [EAS08] EASTMAN (Chuck), TEICHOLZ (Paul), SACKS (Rafael), LISTON (Kathleen).- « BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors ». John Wiley & Sons, Inc, 2008.- 640 p.
- [GALO4] GALLAHER (Michael P.). - "Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry". U.S. Department of Commerce Technology Administration National Institute of Standards and Technology. - Office of Applied Economics Building and Fire Research Laboratory, Gaithersburg, Maryland, 2004. - 210 p.
- [LEM73] LE MOIGNE (Jean-Louis). - "Le système d'information dans les organisations". - PUF, 1973.
- [LEV97] LEVY (Pierre). - "L'intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace". - Collection Découverte Poche / Essais n°27, 1997. - 252 p.
- [REI02] REIX (Robert). - "Système d'information et management des organisations". - Vuibert Gestion, 4^e édition, 2002.- 443 p.

Revue

- [AZH11] AZHAR (Salman). - "Building information modeling (BIM), trends, benefits, risks and challenges for the AEC industry".- Leader and management in engineering. - AsceLibrary, 2011.
- [BOT14] BOTON (Conrad), KUBICKI (Sylvain). - « Maturité des pratiques BIM Dimensions de modélisation, pratiques collaboratives et technologies ». - SCAN'14, 6^{ème} Séminaire de Conception Architecturale Numérique, Luxembourg, 2014.
- [CHI09] SALUJA (Chitwan).- « A process mapping procedure for planning building information (BIM), Execution on a building construction project ». - Master of Science, Department of Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, 2009.
- [CUR92] CURTIS (Bill). - "Process modeling". Special issue on analysis and modeling in software development.- Communications of the ACM.- Volume 35, Issue 9, 09/1992, p 75 à 90.

[FEI08] FEILER (Peter), HUMPHREY (Watts). -"Software process development and enactments Concepts and definitions". - Technical Report CMU/SEI.92.TR.004, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2008.

[HAR08] HARTMANN (Tino), FISCHER (Martin).- " Applications of BIM and Hurdles for Widespread Adoption of BIM". - AISC-ACCL eConstruction Roundtable Event Report. - CIFE. - Stanford University, 2008.

[KAS14] KASSEM (Mohamed), SUCCAR (Bilal). -"Building Information Modeling : protocols for collaborative design processes". - Itcon.org, Journal of information Technology in construction, 2014.

[KEU13] KEUNG (John). -"Singapore BIM guide".- Version 2. Building and construction authority, 2013.

[SUE09] SUERMANN (Patrick), ISSA (Raja).- "Evaluating industry perceptions of building information modeling (BIM) impact on construction". - Mesner Editor, 2009.

[WIX10] WIX (Jeff). - "Information Delivery Manual : Guide to components and methods". - BuildingSMART. - International Alliance for Interoperability, 2010, p 2.

[ZIG13] ZIGNALE (Daniel). - « Concevoir des services collaboratifs adaptés à des pratiques métiers : une méthode centrée usages. Application au domaine de la construction ». - Université de Lorraine, Sciences de l'Architecture. - Soutenance 2013. - 302 p.

[ZIG14] ZIGNALE (Daniel), SCHWALL (Francis), KUBICKI (Sylvain)- « Processus de collecte d'information techniques par la maquette numérique sur le chantier Neobuild ». - Cahier scientifique, Revue technique Luxembourgeoise, 1/2014.

Glossaire

AEC - Architecture, Ingénierie et Construction

BIM - Building Information Modeling

BPE - BIM Project Execution Planning Procedure

COBie - Construction Operations Building Information Exchange

DBPEP - Design BIM Project Execution Process

IAI - International Alliance for Interoperability

IDM - Information Delivery Manual

IE - Information exchange

IFC – Foundation Industry Classes

LOD - Level of Development

MVD - Model View Definition

PUCA - Plan Urbanisme Construction Architecture

IFD International Framework Dictionary

IDM Information Delivery Manuel

iBIM integrated BIM

CPIC Construction Project Information Committee

AIM Architectural Information Model

SIM Structural Information Model

FIM Facilities Information Model

BSIM Building Services Information Model

TNO Netherlands Organisation for Applied Scientific Research

Table des illustrations

- **Figure 1** : Photo d'Aladin Djebara. Fondation LVMH Paris:
<https://www.flickr.com/photos/aladinphotos/>
- **Figure 2** : Photo T/E/S/S Atelier d'ingénierie. Maquette numérique de la Fondation LVMH Paris
http://www.tess.fr/projets-references/verrieres/fondation-louis-vuitton?lang=fr_FR.utf8%2C+fr_FR.UT
- **Figure 7**. Exemple illustrant le niveau de developpement d'un objet
<http://lanmarservices.com/2014/05/14/lod-in-scan-to-bim/>
- **Figure 11**. Vue en perspective sur le Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg
http://madeineurope.miesbcn.com/Mies/Constructions/Kiosk%20Kirchberg/Images/static_files/big_2225-14407.jpg
- **Figure 12**. Coupes&façades du Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg
http://madeineurope.miesbcn.com/Mies/Constructions/Kiosk%20Kirchberg/Images/static_files/big_2225-14407.jpg
- **Figure 13**. Vue de la façade sud du Kiosk de Kirchberg, projet de l'agence Polaris Luxembourg
<http://www.competitionline.com/fr/projets/46735>