

Utilisation de la gestion des exigences pour capturer les
données nécessaires à l'exploitation des bâtiments lors des
phases de conception et de construction

par

Sylvain VAUDOU

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE
AVEC MÉMOIRE EN GÉNIE DE LA CONSTRUCTION
M. Sc. A.

MONTREAL, LE 18 JUILLET 2017

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Sylvain Vaudou, 2017



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Daniel Forgues, directeur de mémoire
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Conrad Botton, président du jury
Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Ivanka Iordanova, membre du jury
Pomerleau

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 11 JUILLET 2017

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Il est certain que sans l'aide et le soutien que j'ai reçu tout au long de cette recherche, les résultats et l'intérêt de cette étude seraient bien différents.

Je remercie tout particulièrement M. Daniel Forgues pour m'avoir offert l'opportunité d'intégrer le GRIDD. C'est grâce à lui que cette étude a pu être menée en étroite collaboration avec un acteur majeur de l'industrie de la construction. Il n'a pas hésité à m'impliquer dans les discussions avec les professionnels, chance que les étudiants à la maîtrise n'ont souvent pas. Je tiens également à remercier M. Ali Motamedi, pour son soutien, ses critiques constructives et son dynamisme. Ses conseils judicieux m'ont permis de travailler avec plus de rigueur et d'efficacité. Bien sûr, je remercie l'ensemble de l'équipe du GRIDD, pour sa présence et son support.

Je remercie les principaux acteurs de cette recherche au sein de l'entreprise, pour leur accueil chaleureux et leur ouverture d'esprit. Je pense notamment à l'expert BIM-PCI qui, toujours disponible, m'a permis d'obtenir toute l'information dont j'avais besoin pour cette recherche.

Enfin, je tiens à remercier ma famille pour son soutien tout au long de mon parcours. Merci à mes parents qui m'ont fait confiance et qui ont tout fait pour m'offrir la meilleure éducation. Merci à ma conjointe pour son soutien inconditionnel.

UTILISATION DE LA GESTION DES EXIGENCES POUR CAPTURER LES DONNÉES NÉCESSAIRES À L'EXPLOITATION DES BÂTIMENTS LORS DES PHASES DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION

Sylvain VAUDOU

RÉSUMÉ

La gestion d'actifs est une discipline complexe et présente dans de nombreux secteurs. Un d'entre eux est le secteur du bâtiment avec notamment la gestion des parcs immobiliers. Gérer un actif, que l'on parle d'un bâtiment ou d'un bien quelconque, consiste à optimiser son rendement ou son fonctionnement tout en minimisant les risques associés à son utilisation. Dans le secteur de la construction, cela signifie entre autres gérer l'entretien et la maintenance des équipements présents à l'intérieur des bâtiments afin de prévenir les défauts de fonctionnement, d'optimiser leur rendement et de réduire leur coût d'opération. Cette étape du cycle de vie d'un bâtiment est très importante, car c'est la plus longue et également la plus coûteuse.

Pour mener à bien leur mission de gestion des installations, les gestionnaires d'actifs ont besoin d'information sur les équipements. Celle-ci est extraite manuellement à partir des documents papier livrés en fin de projet par les professionnels ayant construit le bâtiment, puis entrée dans un système de gestion de maintenance assistée par ordinateur. Grâce au BIM, la capture et le transfert de cette information pourraient être automatisés, ce qui permettrait de réduire le temps passé à chercher et à entrer manuellement l'information dans des systèmes de gestion de maintenance. Pourtant, la littérature indique qu'une faible portion des propriétaires de parc immobiliers utilise les modèles BIM qui leur sont livrés en fin de projet pour l'exploitation des bâtiments.

Ce mémoire aborde donc cette problématique, en commençant par exposer les raisons du retard des gestionnaires d'actifs dans l'utilisation du Building Information Modeling (BIM), puis en proposant une solution s'inspirant du concept de gestion des exigences. La méthodologie employée se veut interventionniste et implique la création d'un concept d'opération.

Les résultats montrent le potentiel et la faisabilité de l'application d'un tel concept dans le secteur de la construction, en s'appuyant sur une preuve de concept réalisée sur un projet réel.

Mots-clés : BIM, gestion d'actifs, gestion des exigences, cas d'usage, preuve de concept

USE OF REQUIREMENTS MANAGEMENT TO CAPTURE DATA NEEDED TO OPERATE BUILDINGS DURING DESIGN AND CONSTRUCTION PHASES

Sylvain VAUDOU

ABSTRACT

Asset management is a complex discipline which is present in many sectors. One of them is the construction industry, including the management of real estate. Managing an asset, such as a building or property, is about optimizing its performance or functioning while minimizing the risks associated with its use. In the construction sector it means, among others, managing the upkeep and maintenance of equipment inside buildings in order to prevent malfunctions, optimize their performance and reduce their operating costs. This stage of the life cycle of a building is very important because it is the longest and also the most expensive.

To carry out their mission of managing facilities, asset managers need information on equipment. The latter is extracted manually from the paper documents delivered at the end of the project by the professionals who built the building and then entered in a computerized maintenance management software. With BIM, capturing and transferring this information could be automated and thus reduce the time spent on manually searching and entering information into maintenance management systems. Yet the literature indicates that only a small part of real estate owners use the BIM models delivered to them at the end of the project for the operation of the buildings.

This thesis approaches this problem by first explaining the reasons for the delay of the asset managers in the use of the BIM and then proposing a solution inspired by the concept of requirements management. The methodology used is interventionist and involves the creation of a concept of operation.

The results show the potential and feasibility of applying such a concept in the construction sector based on a proof of concept realized on a real project.

Keywords: BIM, facility management, requirements management, use cases, proof of concept

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTERATURE.....	5
1.1 La gestion des installations	5
1.2 Gestion de l'information	8
1.3 Échange de données entre phases du cycle de vie	10
1.4 Gestion des exigences	16
1.5 Plateforme de gestion des exigences.....	21
1.6 Synthèse	24
CHAPITRE 2 METHODOLOGIE.....	25
2.1 Conception de la recherche	25
2.2 Contexte de l'étude	29
2.3 Étapes de la recherche.....	30
2.3.1 Analyse du contexte d'affaires.....	31
2.3.1.1 Étude des documents.....	31
2.3.1.2 Observations et cadrage du projet de recherche	32
2.3.1.3 Développement des cas d'usages	33
2.3.2 Concept d'opération.....	34
2.3.3 Preuve de concept	35
CHAPITRE 3 PRESENTATION DU CONTEXTE D'AFFAIRES.....	37
3.1 Présentation de l'organisation.....	37
3.2 Présentation du projet	38
3.3 Identification des étapes de gestion de l'information	39
3.4 Développement des cas d'usages.....	40
3.4.1 Démarrage de projet.....	40
3.4.2 Revue de conception	45
3.4.3 Mise en service et passation à la gestion immobilière	48
3.4.4 Synthèse des cas d'usage	52
3.5 Exposition des problèmes dans les pratiques actuelles.....	53
CHAPITRE 4 DÉVELOPPEMENT DU CONCEPT D'OPERATION	57
4.1 Proposition de solution	57
4.2 Impact de la solution sur les pratiques actuelles.....	61
4.2.1 Analyse immobilière	61
4.2.2 Revue de conception	64
4.2.3 Passation d'information	66
4.3 Synthèse	69

CHAPITRE 5	PREUVE DE CONCEPT	71
5.1	But et critères de succès	71
5.2	Choix du logiciel	72
5.3	Parallèle entre le PFT et les modules du logiciel	72
5.4	Vue générale de l'utilisation de la plateforme de gestion des exigences	74
5.5	Exposition des résultats des modifications des pratiques actuelles	76
5.5.1	Analyse immobilière	76
5.5.1.1	Création de locaux	76
5.5.1.2	Création de gabarits et de groupes	78
5.5.1.3	Création d'items et de vues	81
5.5.2	Revue de conception	84
5.5.2.1	Définition de la configuration des attributs	84
5.5.2.2	Liaison des pièces	86
5.5.2.3	Capture des informations sur les équipements : liaison des familles	88
5.5.2.4	Contrôle de l'atteinte des exigences	89
5.5.3	Passation d'information	93
5.6	Validation	95
5.7	Discussion	96
CONCLUSION	99
ANNEXE I	Flux de contrôle et de planification détaillé	101
ANNEXE II	Flux simplifié pour cas d'usages	105
ANNEXE III	Comparaison PFT / dRofus	109
ANNEXE IV	Utilisation de la plateforme de gestion des exigences	111
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	113

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 2.1	Similitudes entre la recherche-action et la science de la conception28
Tableau 3.1	Problèmes dans les pratiques actuelles53
Tableau 5.1	Résumé des solutions proposées par rapport aux problèmes observés dans la littérature.....97

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Cycle de vie de la gestion d'actifs6
Figure 1.2	Processus d'évaluation de performance d'un bâtiment.....8
Figure 1.3	Schéma d'interopérabilité entre entreprises11
Figure 1.4	Exemple de table COBie.....13
Figure 1.5	BIM Workflow.....15
Figure 1.6	Les trois dimensions de la gestion des exigences18
Figure 1.7	Exemple de traçabilité.....19
Figure 1.8	Concept de porte décisionnelle20
Figure 1.9	Prise en compte des exigences tout au long du projet22
Figure 1.10	Processus itératif et dynamique de gestion des exigences23
Figure 2.1	Le processus cyclique de la recherche-action26
Figure 2.2	Les éléments de la recherche constructive.....26
Figure 2.3	Similitudes entre la recherche constructive et la science de la conception27
Figure 3.1	Organigramme simplifié de l'organisation37
Figure 3.2	Cas d'usage n°1 : Démarrage de l'analyse immobilière.....41
Figure 3.3	Cas d'usage n°2 : Montage du dossier d'opportunité lors de l'analyse immobilière.....42
Figure 3.4	Cas d'usage n°3 : Revue de conception.....46
Figure 3.5	Cas d'usage n°4 : Réception du bâtiment et des documents TQC.....49
Figure 3.6	Cas d'usage n°5 : Extraction et import de l'information dans GuideTI ...50
Figure 3.7	Cercle vicieux menant au manque de fiabilité de l'information dans le système de GMAO55

Figure 4.1	Utilisation de la plateforme de gestion des exigences	58
Figure 4.2	Rappel des actions impactées par le concept d'opération pour l'analyse immobilière.....	62
Figure 4.3	Rappel des actions impactées par le concept d'opération pour la revue de conception	65
Figure 4.4	Rappel des actions impactées par le concept d'opération pour la passation mise en service	67
Figure 5.1	Utilisation détaillée de la plateforme de gestion des exigences.....	75
Figure 5.2	Interface « Pièces » de la plateforme de gestion des exigences.....	77
Figure 5.3	Groupes et gabarits de pièces.....	78
Figure 5.4	Exemple de pièce créée avec l'utilisation des gabarits et des groupes	80
Figure 5.5	Exemple de liste d'items présents dans une pièce	83
Figure 5.6	Configuration des échanges de données	86
Figure 5.7	Liaison des pièces à la plateforme de gestion des exigences.....	87
Figure 5.8	Informations disponibles sur une pièce après sa liaison à l'environnement de production	88
Figure 5.9	Comparaison de quantités entre items prévus et items dans le modèle	90
Figure 5.10	Contrôle de quantité global (ici sur un niveau entier).....	91
Figure 5.11	Extrait de plan Revit® mettant en avant le système de ventilation de deux bureaux	92
Figure 5.12	Capture des systèmes de Revit®.....	93
Figure 5.13	Export personnalisé des items contenus dans la plateforme	94

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

2D	2 dimensions
3D	3 dimensions
4D	4 dimensions (3D + temps)
7D	BIM pour l'exploitation (4D + coûts + simulation énergétique + données d'exploitation)
BIM	Building Information Modeling
CAFM	Computer-Aided Facility Management
CMMS	Computerized Maintenance Management Software
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
ConOps	Concept d'Opération
EDM	Entity Data Model
FM	Facility Management
GMAO	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
IFC	Industry Foundation Classes
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MEP	Mécanique Électricité Plomberie
O&M	Opération et Maintenance
PCI	Processus de Conception Intégrée
PFT	Programme Fonctionnel et Technique
PGB	Plan de Gestion BIM
TEI	Technicien en Exploitation d'Immeubles

XVIII

TI Technologies de l'Information

TQC Tel que construit

INTRODUCTION

La gestion d'actifs consiste à optimiser la valeur d'un actif sur son cycle de vie. Pour cela, il faut collecter des données sur les actifs en question, établir des niveaux de service et développer une stratégie de gestion sur le long terme permettant de prendre des décisions. Il est aussi important de suivre l'état des actifs. Dans le domaine de la construction, la gestion des actifs représente près de 85% du cycle de vie de l'ouvrage (Gallaher et al., 2004), où l'on effectue notamment son opération et sa maintenance (O&M). Bien que prépondérante, cette étape du cycle de vie est encore aujourd'hui mal appréhendée et peu intégrée dans les prises de décisions faites lors de la conception et de la construction. Cela entraîne des livraisons de chantier pauvres en information exploitable par les équipes de gestion d'actifs. Teicholz (2013) met en avant la difficulté d'accès à l'information, souvent au format papier et dans le meilleur des cas "as-constructed". Il faut donc ensuite effectuer un travail de collecte et de mise à jour des informations afin de construire une base de données exploitable, rendant le processus lent, inexact et coûteux.

L'ère du numérique a simplifié la création et le stockage des données, mais ne règle pas ce problème de transfert et de mise à jour pour autant. Un propriétaire ou un exploitant reçoit à la fin de la construction tous types de documents et de fichiers sous de multiples formats. Le manque de standardisation et l'utilisation par les parties prenantes de différents logiciels propriétaires ne communiquant pas entre eux provoquent un manque d'interopérabilité. Cela rend l'intégration de ces données dans un système de gestion d'actifs complexe, en exigeant des entrées d'informations manuelles, des vérifications, etc. (Jawadekar, 2012). Un rapport du National Institute of Standards and Technology (Gallaher et al., 2004) met en avant le coût que cela engendre sur la gestion de leur parc immobilier, avec une perte de près de 15 824 M\$US dont 57% survenant pendant la phase d'opération et maintenance.

Selon certains auteurs (Codinhotto et Kiviniemi, 2014; Love et al., 2014), le Building Information Modeling (BIM) pourrait aider à pallier ces problèmes, en tant que système de gestion de données sur le bâtiment. En effet, en intervenant sur chaque étape du "LifeCycle

Workflow" typique d'un projet BIM (Love et al., 2014), l'information disponible pour l'O&M serait plus complète et à jour. L'apparition de protocoles d'échange tels que COBie (Construction Operations Building Information Exchange) et les exigences des exploitants publics accélèrent cette dynamique d'utilisation du BIM pour l'opération et la maintenance des ouvrages. Pourtant, un rapport de Dodge Data&Analytics (Buckley et al., 2015) précise que seulement 17% des exploitants recevant un modèle BIM à la fin de la construction l'utilisent pour l'O&M. D'après Cavka (2015), le problème vient du manque d'informations servant à l'O&M dans le modèle BIM, du manque d'interopérabilité avec les systèmes de gestion immobilière et de la complexité des systèmes présents dans les bâtiments.

Le problème peut être considéré comme plus important qu'un simple transfert de données de la construction vers la gestion d'actifs. Bien que le BIM soit convenablement implanté dans la conception et la construction, le manque d'interopérabilité survient dès ces phases du cycle de vie, puisqu'il est impossible de développer un même modèle pour tous les secteurs d'un bâtiment (Ibrahim, 2013). Le réel correctif à apporter doit donc se focaliser sur la vision globale du projet. Le cycle de vie du bâtiment ne doit pas être considéré linéairement et par étapes, mais comme une progression parallèle et itérative où les requis du propriétaire et de l'utilisateur sont pris en compte dès le début du projet (Kiviniemi et Fischer, 2005). La gestion des données devient essentielle, puisque des allers-retours d'informations vont être constamment effectués entre les exigences et les propositions de solutions en conception, en construction, puis en maintenance. Comme l'indique Whyte (2016), ces données seront réutilisées pour toute la durée de vie de l'ouvrage, sous la forme appropriée à chacun et à chaque étape du cycle de vie.

Des solutions allant dans cette direction existent. GSA (2011) opte pour le protocole COBie et propose des modèles de transfert à suivre pour implémenter une base de données d'un petit projet. COBie mise sur le lien des actifs avec leurs situations spatiales et leurs fonctions et permet de récupérer les informations nécessaires à la gestion d'actifs dès les phases de conception et de construction. Les Norvégiens se sont inspirés de la rigueur et des modèles de configurations de l'aéronautique avec une base de données EDM munie d'une interface web, dRofus®, capable de gérer les exigences. Dans son livre, Teicholz (2013) évoque également

la possibilité de choisir des logiciels propriétaires faisant le lien entre le BIM et les applications de gestion d'actifs comme EcoDomus®.

Ces différentes possibilités amènent donc la question de recherche suivante :

« Quelle stratégie adopter pour capter de façon automatisée les données de conception et de construction nécessaires à l'opération et la maintenance dans un environnement BIM ? »

L'objectif principal de cette recherche est de définir un cadre de transfert de données de la conception vers la gestion d'actifs. Les sous-objectifs qui en découlent sont :

- proposer une solution de capture des données utilisant la gestion des exigences et les technologies liées au BIM;
- détailler les impacts de la mise en place de cette solution sur les pratiques actuelles;
- investiguer jusqu'à quel point la solution proposée peut être automatisée.

Afin de mieux comprendre les enjeux et les difficultés auxquels font face les gestionnaires d'actifs, cette recherche s'appuiera sur une étude de cas. L'approche adoptée sera l'étude du changement de transfert de données sur un projet de rénovation et d'agrandissement d'un palais de justice. Ce projet est réalisé par une société qui est à la fois donneur d'ouvrage et gestionnaire immobilier. L'implantation de technologies BIM est au programme, avec l'utilisation de maquettes numériques pour effectuer la conception et d'une base de données pour gérer les exigences du client.

Contributions potentielles

Les résultats obtenus pourront apporter des contributions théoriques et pratiques. Du point de vue théorique, le principal apport sera de montrer l'applicabilité du concept de gestion des exigences pour briser la frontière d'information qui existe entre la gestion des projets et la gestion immobilière avec notamment la création d'un artefact, le concept d'opération, pour l'implémentation d'une plateforme de gestion des exigences permettant de capturer et de transférer l'information des modèles BIM vers la GMAO. Du point de vue pratique, les

résultats obtenus suite à la réalisation d'une preuve de concept détailleront la mise en place d'une plateforme de gestion des exigences et l'impact de son utilisation sur les activités traditionnelles de gestion de l'information. Ces résultats pourront servir d'exemple pour une éventuelle implantation à grande échelle de la solution au sein de l'entreprise et guider les acteurs dans les processus à mettre en place en interne pour atteindre leurs objectifs d'implémentation du BIM. Cette étude se veut également être une expérimentation complète et détaillée du développement et de l'application d'un concept d'opération répondant aux besoins d'un grand donneur d'ouvrage étant à la fois gestionnaire de projet et gestionnaire immobilier.

Description de la structure du mémoire

Chapitre 1 – Revue de littérature : Cette section définit le cadre théorique dans lequel s'inscrit la recherche en présentant les problématiques des gestionnaires d'actifs en termes de gestion d'information et en définissant la gestion des exigences.

Chapitre 2 – Méthodologie : Cette section présente la méthodologie de recherche, basée sur une approche interventionniste utilisant un concept d'opération.

Chapitre 3 – Présentation du contexte d'affaires : Cette section expose les pratiques actuelles en termes de gestion de l'information au sein de l'organisation. Elle permet aussi de mettre en avant le problème à résoudre en faisant le parallèle avec la revue de littérature.

Chapitre 4 – Développement du concept d'opération : Cette section expose la réflexion menée en adéquation avec la méthodologie exposée au second chapitre. Elle permet d'atteindre le premier sous-objectif spécifique de recherche.

Chapitre 5 – Preuve de concept : Cette section consiste à exposer l'expérimentation du concept d'opération précédemment développé sur un cas concret au sein de l'organisation. Elle expose les réponses des deux derniers sous objectifs de recherche ainsi qu'à l'objectif principal et offre un regard critique sur les résultats exposés.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 La gestion des installations

« Facility management is a profession that encompasses multiple disciplines to ensure functionality of the built environment by integrating people, place, process and technology » (International Facility Management Association, consulté le 4 Juin 2017). Cette définition de la gestion des installations résume les objectifs à atteindre par les équipes de gestion. Il semble également important de préciser que ces objectifs doivent être atteints en ayant le meilleur rapport coût/efficacité possible. Le rôle des équipes de gestion d'actifs (qui englobent la gestion des installations) est donc entre autres de répondre aux attentes des utilisateurs, tout en maximisant la valeur des installations et en gérant leur cycle de vie. La gestion d'actifs fait partie intégrante de l'activité générale d'une organisation : la gestion des installations, des déménagements, de l'entretien, des stratégies d'achat et de location ou de maintenance sont autant de tâches qui participent à la réussite d'une entreprise quelle qu'elle soit. Comme précisé dans *The Facility Management Handbook* (Roper et Payant, 2014), les thèmes principaux de la gestion des installations sont : les coûts généraux et les coûts du cycle de vie, la constante évaluation de la gestion afin d'être certain d'avoir la solution optimale, les retours d'expérience dans la conception et la construction, la notion de qualité, la flexibilité et la réactivité. La gestion d'actifs serait donc un concept inévitable et essentiel à la bonne santé d'une entreprise. On doit s'y référer pour chaque nouvel investissement et chaque changement, on y retrouve toute l'information emmagasinée tout au long des années d'activité et on y centralise le savoir afin de prendre des décisions plus éclairées au fil du temps.

Afin d'être en mesure d'assurer une réponse prompte et efficace à chacun des défis cités précédemment, le gestionnaire d'actifs doit avoir à sa disposition une quantité considérable d'informations. Étant autant impliqué dans les choix, il doit intervenir et récupérer l'information nécessaire sur chaque phase du cycle de vie d'un actif. Comme on le voit sur la

Figure 1.1, chaque étape de la construction du bâtiment est concernée par les requis de l'équipe de gestion d'actifs.

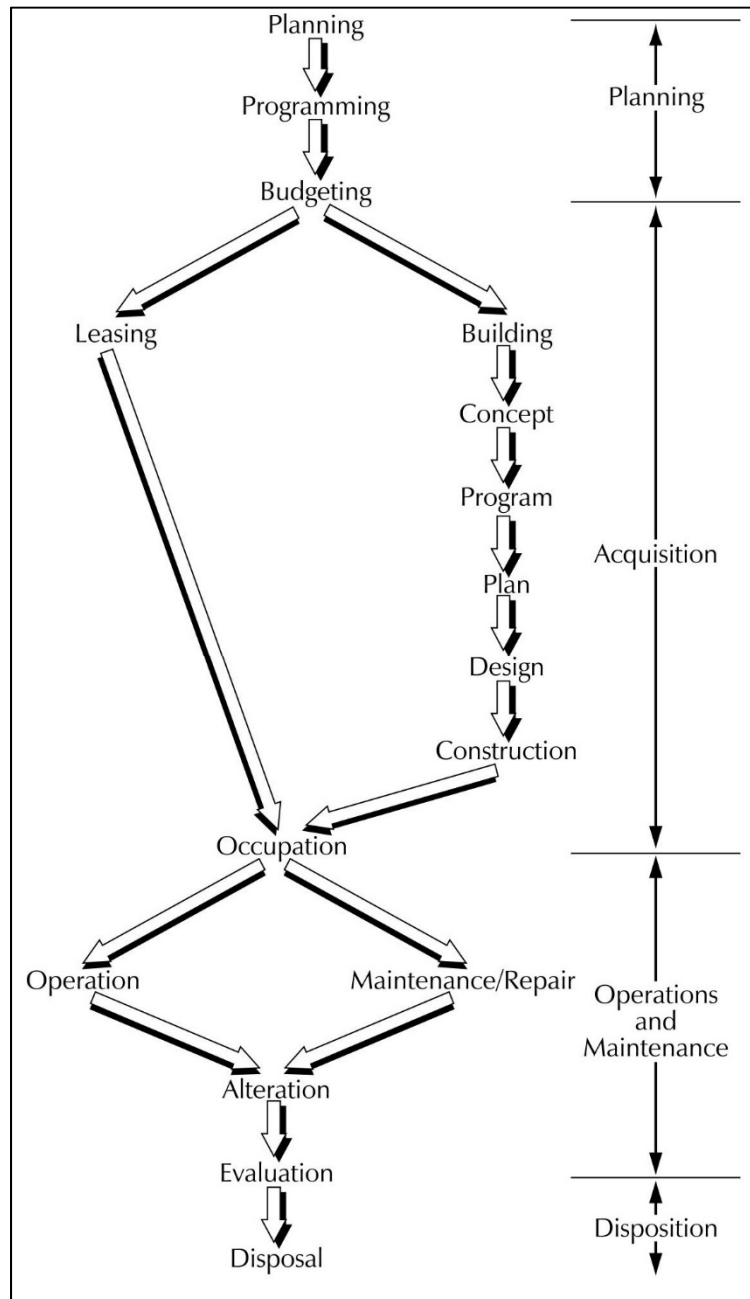


Figure 1.1 Cycle de vie de la gestion d'actifs
Tirée de Roper et Payant (2014)

Le problème des modèles d'entreprise aujourd'hui est la séparation et le manque de prise en compte de l'importance des équipes de gestion d'actifs par rapport au reste des équipes de gestion (Eastman et al., 2011; Preiser et Vischer, 2006). Lors de la construction d'un bâtiment, les gestionnaires d'actifs sont laissés à part du cœur décisionnel. Souvent, la plupart des informations ne leur sont pas transmises et leurs interventions dans les choix n'apparaissent qu'à la livraison du chantier, voire des années plus tard lorsque les premières maintenances majeures sont nécessaires. Il y a donc un réel besoin de progrès dans le domaine de la gestion du cycle de vie des actifs. Comme l'indique Koskelo (2005), bien que la gestion d'actifs soit considérée comme importante, il y a un manque de prise en compte de cette facette du management dans les entreprises. Aucun plan à long terme n'est clairement défini, les opérations de maintenance ne sont pas considérées comme une possible valeur ajoutée, mais comme une dépense et les buts à atteindre ne sont pas clairement définis. Il faudrait donc repenser l'approche de la gestion d'actifs en la rattachant à l'activité générale.

Pour augmenter leur efficacité dans la prise en charge du bâtiment après construction et pallier à cette situation, les gestionnaires d'actifs se sont créés leurs propres outils de gestion. Ceux-ci sont alimentés en données manuellement en se servant des documents remis en fin de chantier : plans, notices d'entretien et d'installation, garanties, inventaires, etc. Les technologies informatiques, apparues dans les années 1960 pour la gestion d'actifs, ont permis de développer les activités en automatisant certaines tâches (ordres de travail, commandes et suivi des coûts d'entretien, etc.) (Jawadekar, 2012). Le concept de GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) s'est peu à peu développé pour donner aujourd'hui des systèmes de gestion performants comme Maximo, GuideTI, etc. Le principal défi est d'intégrer ces systèmes dans le cycle de vie et d'être capable d'échanger des informations avec les logiciels de conception pour pouvoir à la fois intégrer les requis de gestion d'actifs dès le début du projet et récupérer les informations nécessaires dès leur création. Il faut voir le défi à une grande échelle : intégrer la gestion d'actifs dans le cycle de vie permettra de l'intégrer dans la gestion de l'activité générale de l'entreprise et donc de réduire cette séparation activité générale/gestion d'actifs.

1.2 Gestion de l'information

Le but d'intégrer les exigences des équipes de gestion d'actifs dans les étapes du cycle de vie d'un projet est de pouvoir prendre en compte les requis et le retour d'expérience acquis sur d'autres projets. On peut atteindre cet objectif de deux façons : une revue de chaque étape du cycle de vie de l'ouvrage (Preiser et Vischer, 2006); un échange constant et itératif entre les requis de la gestion d'actifs et les processus successifs d'un projet (Koskelo, 2005). Ces deux visions se rejoignent sur plusieurs points : les requis doivent être pris en compte sur chaque étape du cycle de vie et on doit réviser les solutions prises. Elles diffèrent sur la fréquence des révisions et sur la force du lien et de l'intégration des pratiques de gestion d'actifs dans les autres pratiques.

En effet, pour atteindre le niveau de performance désiré à la livraison d'un bâtiment, il faut procéder à des boucles de rétroaction à chaque étape du projet (Figure 1.2) : Planification, Établissement du cahier des charges, Conception, Construction, Occupation et Post-occupation (Preiser et Vischer, 2006).

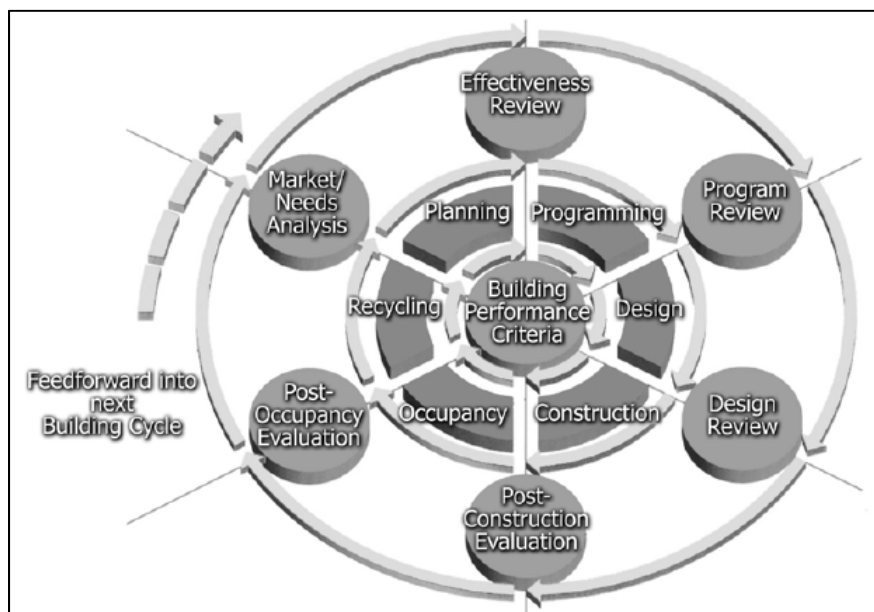


Figure 1.2 Processus d'évaluation de performance d'un bâtiment
Tirée de Preiser et Vischer (2006)

Ces boucles de rétroaction permettent de vérifier que les décisions prises lors de chaque phase vont permettre d'atteindre les besoins de l'utilisateur tout en prenant en compte l'expérience et les requis des équipes de gestion. L'intérêt est d'effectuer les changements de conception et de besoins le plus tôt possible et d'éviter les retards et les coûts que provoquent des changements pendant ou après la construction. Avec cette approche, on a également une vision plus ouverte sur le projet, c'est-à-dire à long terme et avec prise en compte du cycle de vie global. On a également une communication et une compréhension des différentes parties prenantes accrues, car chaque « boucle » est un échange d'informations, une mise au point, une recherche de compromis. On progresse alors dans un cadre évolutif où les requis de l'utilisateur et les solutions apportées évoluent pour donner un résultat plus performant.

Koskelo (2005), suite à plusieurs entretiens avec des gestionnaires d'actifs et des fournisseurs de services (entretien, maintenance) a émis ce constat: il y a un besoin pour une meilleure planification à long terme de la gestion des équipements pour mieux prévoir et gérer les budgets : les revenus générés par un bâtiment sont directement liés à la performance de ses systèmes (apporte confort et performance). Il faut donc intégrer ce besoin dans les plans de l'activité principale de l'entreprise. Parmi les solutions ensuite proposées par Koskelo (2005), une des dominantes est le besoin de communication et de simplification du flux d'informations au sein de l'entreprise. Améliorer ces deux points entraînerait de meilleurs choix et une meilleure prise en compte du coût du cycle de vie de l'action engagée. On s'oriente donc plus sur un échange constant et régulier entre toutes les parties prenantes plutôt que vers des boucles de rétroaction éloignées dans le temps, où on révise les solutions une seule fois avant de passer à l'étape suivante. La dynamique à mettre en place dans la gestion d'actifs se précise : il faudrait intégrer les requis des gestionnaires d'actifs dans le cycle de vie du bâtiment tout en les incluant dans les décisions à long terme de l'activité générale de l'organisation.

Winch (2010) s'est également intéressé à la gestion de l'information des projets de construction. Il avance la théorie que « le but de la gestion de projet de construction est de gérer le flux d'information du projet » (traduction libre, Winch (2010) p.378). L'enjeu principal de cette gestion est la césure dans le flux d'information entre les différentes phases

qui entraîne des écarts grandissants entre ce qui est demandé par le client et ce qui est réalisé. Le problème est que le développement des outils numériques a suivi la nature du secteur de la construction et le lien entre chaque intervenant n'a pas été simplifié avec l'apparition du numérique. L'intervention de chacun est séquentielle et séparée alors que la nature des tâches à réaliser est itérative : la planification, la conception, la construction et les maintenances sont des processus itératifs, ajustés en fonction du temps et de l'accumulation d'informations disponibles. Cette situation est notamment liée au problème d'interopérabilité.

1.3 Échange de données entre phases du cycle de vie

Comme Young (2007) le définit, l'interopérabilité est « the ability to manage and communicate electronic product and project data among collaborating firms ». On peut compléter cette définition avec les précisions apportées par Ibrahim (2013) au sujet de l'intégration. D'après ce dernier, l'intégration des pratiques est liée à deux grands thèmes qui sont l'intégration des équipes et des processus ainsi que l'intégration des systèmes. Selon lui, cette dernière est divisible en trois sous catégories : l'intégration de différentes disciplines (architecture et ingénierie par exemple), l'intégration du cycle de vie du bâtiment dès les premières phases du projet et l'intégration d'outils de collaboration. L'interopérabilité est donc un problème à plusieurs dimensions et lié à de nombreux domaines (techniques, culturel, organisationnel, etc.). Grilo (2010) complète cette vision en ajoutant le besoin de compatibilité entre les entreprises devant collaborer (Figure 1.3) et le rapport du NIST (2004, p.ES-1) comme « *the ability to manage and communicate electronic product and project data between collaborating firms' and within individual companies' design, construction, maintenance, and business process systems* ».

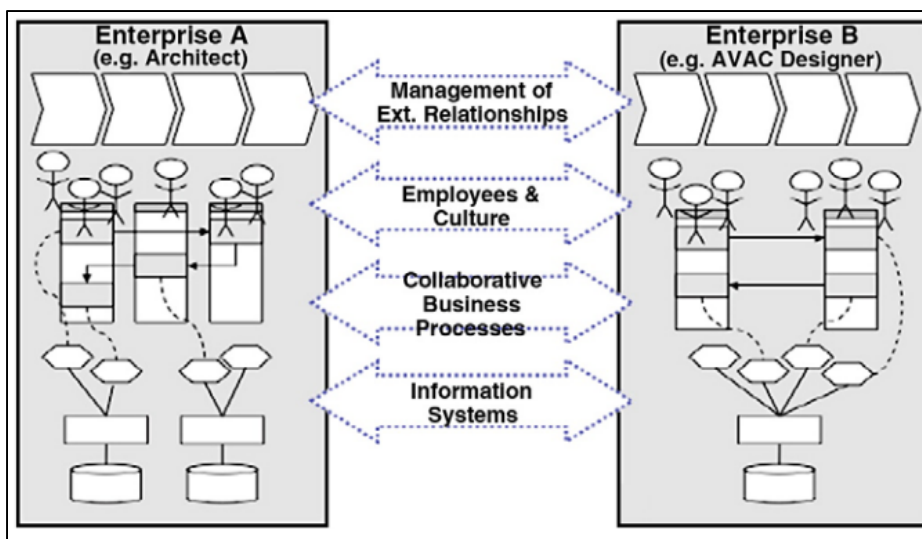


Figure 1.3 Schéma d'interopérabilité entre entreprises
Tirée de Grilo et Jardim-Goncalves (2010)

Ce manque d'interopérabilité affecte principalement l'utilisateur final, c'est-à-dire le propriétaire ou le gestionnaire d'actifs (Gallaher et al., 2004). D'après le rapport du NIST (Gallaher et al., 2004) ce manque d'interopérabilité a plusieurs origines. Tout d'abord, les groupes formés pour un projet ne vont être amenés à travailler ensemble qu'une seule fois et ne veulent donc pas investir de temps et d'argent dans l'amélioration du travail collaboratif. De plus, les bases de données utilisées peuvent être incompatibles en fonction de la version d'un même logiciel, rendant le partage difficile. Enfin, il arrive souvent qu'à l'intérieur même d'une organisation les échanges d'informations soient difficiles à cause de la multitude de logiciels utilisés et de l'utilisation simultanée du support papier et informatique. Un problème plus sérieux est l'absence d'un cadre intégré de gestion de l'information, cette dernière pouvant être distribuée sur une architecture de bases de données non connectées (serveurs ou ordinateurs personnels) ou même sur du support papier.

Le format IFC (Industry Foundation Classes) a été créé en 1997 par l'International Alliance for Interoperability. Le but était d'offrir un schéma de données ouvert permettant de les échanger entre les diverses applications utilisées dans l'industrie de la construction et ce, quelle que soit la phase du cycle de vie considérée (par exemple entre ingénieurs et constructeur),

donc d'atténuer ce problème d'interopérabilité (Aghazarian, 2012). Ensuite, le BIM (Building Information Modeling) visait entre autres à adresser cette problématique (Aghazarian, 2012) sous la forme d'une plateforme unique et partagée de création et d'échange d'information sur le bâtiment entre parties prenantes tout au long du cycle de vie et. Grâce à la capacité des technologies BIM à représenter les bâtiments en 3 dimensions, c'est également un moyen de rendre les décisions plus efficaces car mieux documentées, simuler les performances énergétiques et la construction, réduire les problèmes sur le chantier et le gaspillage de matériaux et faciliter l'échange de données entre les parties prenantes (Gallaher et al., 2004). Le BIM est surtout implanté chez les architectes et les ingénieurs ainsi que chez les entrepreneurs généraux (conception et construction). Des cas d'implantations sont documentés, où le BIM est décrit comme porteur de meilleurs résultats, de projets livrés plus rapidement, avec une meilleure qualité et avec une réduction des coûts (McGraw Hill, 2014; GSA, 2011; Love et al., 2014). Certains grands propriétaires tels que GSA exigent des maquettes sous un format compatible IFC, où les informations nécessaires à l'opération et la maintenance des installations sont incluses dans le modèle numérique. La publication de leur série de guides sur l'utilisation du BIM (GSA, 2011) résume l'intérêt d'utiliser le BIM pour la gestion d'actifs après la livraison du bâtiment, mais aussi en prenant en compte les requis et le retour d'expérience des gestionnaires pour les choix en conception et en construction. GSA vise notamment : une simplification des opérations de maintenance grâce à des informations précises (localisations, planification et meilleure réponse face à l'urgence), une réduction des coûts grâce à un inventaire juste et précis ainsi qu'une meilleure traçabilité, de meilleures analyses grâce à la réunion de toutes les données du bâtiment sur une seule et même plateforme et enfin un meilleur confort général grâce aux points cités précédemment. D'autres grands propriétaires publics lancent peu à peu des plans pour cadrer les requis en termes de livrables BIM associés à leurs nouveaux projets : Statsbygg en Norvège, Building and Construction Authority à Singapour, Public Procurement Service en Corée de Sud, etc. (McGraw Hill, 2014). La mouvance est donc aujourd'hui à l'intégration des modèles BIM dans les livrables, dans le but d'inclure les données créées au cours du projet dans les systèmes de gestion d'actifs existants. Pour la plupart des organisations citées précédemment, il est essentiellement question de transfert de données et pas réellement d'intégration des requis dès le début du

projet. Le BIM, notamment grâce au format IFC, permet donc aux gestionnaires d'actifs de récupérer les modèles numériques créés lors des phases précédant l'opération et la maintenance. Cependant, ce format n'est pas centré sur leur domaine donc l'extraction des données non géométriques utiles à la gestion des bâtiments est complexe et peu de solutions de GMAO acceptent l'import IFC (Aghazarian, 2012). C'est pourquoi un sous-ensemble (autrement appelé une « définition de la vue du modèle ») de la structure de l'IFC a été développé en collaboration avec les gestionnaires immobiliers : COBie (Construction Operations Building Information Exchange).

En 2007, COBie est développé avec comme objectif de faciliter le transfert d'informations de la conception-construction vers la gestion d'actifs (Aghazarian, 2012). COBie est un schéma de structuration des données pour les objets d'une maquette numérique. Il peut être utilisé avec différents formats : XML, IFC, Feuilles Excel, etc. Il faut bien comprendre que COBie ne représente pas un modèle BIM au complet, mais présente les informations les plus utiles à la gestion d'actifs sous une forme structurée (exemple ci-après sur la Figure 1.4, feuille COBie au format Excel®).

Job Name	System Name	Job Category	Description	Resources	Time to Complete (in units)	Job Number (if sequence)	Prior Number (if sequence)
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	StartUp	StartUp	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	ShutDown	ShutDown	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	Trouble	Trouble	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	Emergency	Emergency	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	MAINTENANCE TASK DESCRIPTION:	Mechanic's tool set, Clean	30	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	1. Evaluate filters for replacement.	n/a	10	1	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	2. Service the condensate system.	n/a	10	2	1
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	3. Check, clean and inspect the air handling unit.	n/a	10	3	2
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	StartUp	StartUp	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	ShutDown	ShutDown	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	Trouble	Trouble	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	Emergency	Emergency	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	SPECIAL INSTRUCTIONS:	n/a	60	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	1. Schedule work with operating personnel.	n/a	10	1	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	2. Follow site safety rules for lockout and tagout.	n/a	10	2	1
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	3. Review and follow the manufacturer's instructions.	n/a	10	3	2
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	4. Record equipment damage or deficiencies.	n/a	10	4	3
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	5. Follow safety and environmental procedures for handling refrigerants (DX units only).	n/a	10	5	4
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	6. Record results in the equipment history log.	n/a	10	6	5
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	StartUp	StartUp	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	ShutDown	ShutDown	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	Trouble	Trouble	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	Emergency	Emergency	n/a	0	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	PROCEDURES (ANNUAL)	Mechanic's tool set, Clean	1	0	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	1. Pre-work operational tests with unit operating.	n/a	30	100	0
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	a. Check for unusual noise, vibration or leakage.	n/a	10	101	100
AHU (Direct Drive) Annual	HVAC System	PM	b. Perform vibration analysis. Record corrective measures if needed.	n/a	10	102	101

Figure 1.4 Exemple de table COBie

Après son adoption dans un projet pilote en 2006-2007, de nombreux grands propriétaires ont exigé des livrables sous ce format (GSA, NASA, etc. (Aghazarian, 2012)). Les résultats obtenus grâce à ce mode de livraison de données post-construction montrent son potentiel à effectuer un transfert de données plus efficace que les méthodes traditionnelles. En récupérant les données nécessaires à chaque étape du cycle de vie du bâtiment, ce format de données permet, en fin de construction, d'avoir à disposition les données nécessaires à son opération. Bien que cela permette de simplifier la collecte d'informations, ce processus n'est pas un réel échange entre les requis et les différentes parties prenantes du projet, mais plutôt une base de données alimentée progressivement en fonction de l'avancement du projet. Aghazarian (2012) compare le temps nécessaire à l'entrée d'informations dans un système CMMS (Computerized Maintenance Management Software) à l'aide d'un livrable au format COBie et une méthode traditionnelle d'entrée manuelle de données. Les deux processus sont relativement proches : récupération et vérification des données puis importation de celles-ci dans le système de gestion d'actifs. Aghazarian constate que bien que le temps total entre les deux ne diffère que très peu, l'utilisation de COBie permet d'obtenir un modèle de gestion complet bien plus rapidement qu'avec la méthode traditionnelle, où l'information est entrée par étapes, après la livraison du chantier. La principale remarque dans son étude de cas est l'implication nécessairement plus importante du contracteur général, responsable de la compilation des données et de leur propagation dans le tableur COBie. Jawadekar (2012) s'est également intéressé à l'utilisation de COBie pour alimenter le système de GMAO de certains bâtiments de Texas A&M University. Il constate que l'utilisation d'un modèle BIM, exporté au format COBie, permet de peupler facilement les logiciels de GMAO compatibles avec l'import de ce format. Un léger gain de temps sur les ordres de travaux est constaté. Les deux auteurs s'accordent à dire qu'il est important et nécessaire de lancer l'utilisation et la collecte de données via COBie très tôt dans le cycle de vie, à savoir dès la conception préliminaire.

Comme Love (2014) l'expose sur la Figure 1.5, l'utilisation du format d'échange COBie est censée se passer en 4 temps, appelés « data drop ». Sur cette figure, la phase d'avant-projet est représentée en vert, la conception et la construction en bleu et la phase de maintenance en orange. Ce que Love (2014) nomme « Facility Data Integration Tool » est en fait l'usage du

format d'échange COBie. Chacun des « data drop » est défini par le guide COBie (East et Carrasquillo-Mangual, 2012) de la façon suivante.

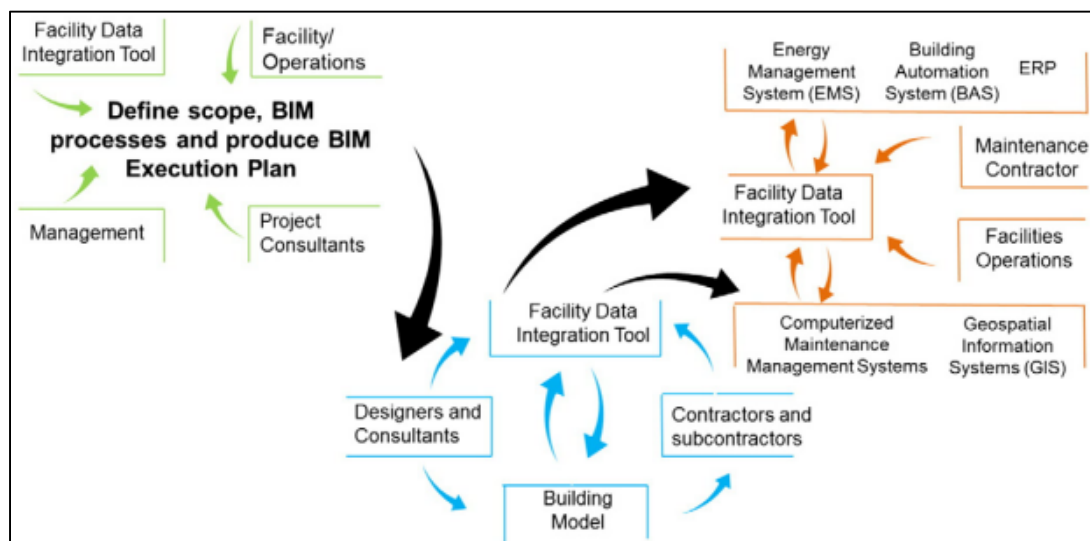


Figure 1.5 BIM Workflow
Tirée de Love et al. (2014)

Le premier livrable décrit les exigences de l'utilisateur : performance attendue, localisation, descriptifs des locaux, etc. Le second livrable contient les solutions techniques proposées par les professionnels. Les feuilles de données doivent comporter à cette étape la liste précise des matériels local par local. Le troisième recueil de données présente le prix des équipements et doit être le reflet de la fin de la coordination interdisciplinaire. Les choix qui y sont présentés sont définitifs et seront ceux effectivement installés lors de la construction. Enfin, le dernier livrable contient les informations nécessaires à l'opération et la maintenance du bâtiment. Il est l'image du bâtiment tel que construit et permet de relater des ajustements faits en cours de projets (des éléments ont donc pu changer entre le troisième et ce dernier). Ces quatre temps associés à des livrables précis où l'information à fournir est une liste exhaustive permettent d'effectuer un contrôle et une validation de l'information. Ce mode de fonctionnement permet de s'assurer que les informations relatives à l'exploitation du bâtiment sont complètes et fournies au bon format. Il permet également de sélectionner l'information utile et d'éviter de basculer dans la problématique inverse de surinformation. Cependant, gérer l'échange d'information de cette façon limite énormément le lien entre les exigences du client et les

professionnels. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les exigences du client doivent être présentes en continu dans les processus de conception et de construction. Les « data drop » de COBie ne sont pas en phase avec cette vision (Day, 2014). La principale préoccupation des gestionnaires d'actifs est d'être capable de capturer leurs requis d'information, c'est-à-dire les attributs spécifiques liés à chaque équipement (par exemple les dates de garantie, les procédures de mise en marche, etc.). Le format COBie ne permet pas de répondre à ces besoins spécifiques et propres à chaque projet puisque c'est une structure de données fixe. De plus, des problèmes d'interopérabilité avec les autres systèmes de gestion d'informations peuvent apparaître (Day, 2014). Enfin, le problème avec les livrables au format COBie est que l'information est livrée « hors contexte », c'est-à-dire qu'elle n'est plus liée au modèle. Le contrôle de cette dernière est donc rendu complexe (Day, 2014).

La volonté des gestionnaires d'actifs est d'être capables d'indiquer aux professionnels réalisant le projet de construction quels sont leurs requis d'information. Cela peut être fait au travers du format COBie comme nous venons de le voir, mais ce dernier n'est pas assez flexible. Ce constat nous mène donc vers l'étude de la gestion des exigences.

1.4 Gestion des exigences

La gestion des exigences est une approche déjà bien développée dans d'autres secteurs tels que l'aéronautique ou l'automobile (Whyte, Stasis et Lindkvist, 2016). Cette pratique permet de gérer et de suivre l'évolution des besoins de l'utilisateur sur le cycle de vie du produit à livrer. En parallèle est souvent associé un système de gestion des changements et de compilation de l'information. Le livrable est donc en phase avec les requis du client et vient avec toutes les informations nécessaires à son opération. Cela est exactement l'objectif à atteindre dans le secteur de la construction : intégrer les requis aux pratiques de chaque étape du cycle de vie afin d'avoir un bâtiment répondant aux besoins et toutes les informations nécessaires à son opération à disposition. Comme l'indique Hull (2010), l'expression des exigences impacte directement la réussite du projet. D'après l'étude du Standish Group qu'elle cite, les causes principales d'échecs de projets incluent un manque d'implication de l'utilisateur dans le projet,

menant à des exigences mal ou non exprimées ainsi qu'à des attentes irréalistes. A contrario, un des moteurs de la réussite du projet est la définition claire des exigences de l'utilisateur ainsi que son implication directe. Cette implication ne doit pas être cantonnée à une seule phase du cycle de vie comme on le voit à l'heure actuelle, mais bien sur toute la durée de vie de l'ouvrage. L'ingénierie des exigences est souvent associée à l'industrie du logiciel, où elle est utilisée pour récupérer, analyser et suivre les exigences de l'utilisateur (Hull, Jackson et Dick, 2010). Ces derniers doivent être pris en compte dès le début du projet, puis servir de base de vérification tout au long de la conception et de la construction. Avec ce mode de fonctionnement, on développe un système répondant aux besoins du client et on s'assure de disposer de toute l'information en fin de projet.

Selon le standard IEEE 1220-2005 (IEEE, 2005, p.9), une exigence est : « A statement that identifies a product or process operational, functional, or design characteristic or constraint, which is unambiguous, testable or measurable, and necessary for product or process acceptability (by consumers or internal quality assurance guidelines). ». Dans le secteur du bâtiment, les exigences sont nombreuses et variées : position géographique, utilisation du bâtiment (bureaux, résidentiel, industriel, etc.), dimensions, équipements, couleurs, texture, etc. On utilise un programme fonctionnel et technique (PFT) pour fixer et décrire de façon complète l'ensemble de ces exigences. Il est utilisé pour concevoir et construire le bâtiment. Le problème de l'utilisation du PFT est son caractère statique. En effet, il fait office de première et unique transcription des souhaits du client, sous forme de texte, de schémas et de plans. Celui-ci est émis au début du projet et n'évolue plus. Pourtant, c'est bien avec l'avancée du projet que la quantité d'informations grandit et doit être emmagasinée. Le PFT, qui devrait être la traduction du dynamisme d'un projet de construction, peut alors être laissé non mis à jour et ne pas être fidèle au bâtiment tel que construit (Whyte, Stasis et Lindkvist, 2016).

Comme le précise Pohl (1993), la gestion des exigences est le fait de faire évoluer chaque besoin de son état originel peu fourni en informations, à son état final où il est caractérisé de façon complète. Comme on le voit sur la Figure 1.6, ce cheminement s'effectue suivant trois dimensions. « Specification » correspond au niveau de compréhension et de détail des

fonctionnalités que le système doit proposer. « Agreement » est, logiquement, l'acceptation de l'exigence en question par les parties prenantes. Enfin, « Representation » correspond à l'avancée de l'évolution de l'information disponible et surtout de sa forme : informel au départ, puis finalement, formel (par exemple passer d'un langage commun : « pièce assez grande pour telle ou telle activité », à un langage technique : « pièce de 32m² »). Ces trois dimensions sont fortement liées puisqu'un changement peut entraîner des évolutions dans chacune d'elles. Le but est donc de faire évoluer tous les requis exprimés par l'utilisateur vers l'état final désiré en faisant participer chaque intervenant sur tout le cycle de vie du bâtiment. Enfin, pour comprendre chaque changement et l'évolution dans la construction du système (dans notre cas un bâtiment), la gestion des exigences s'appuie sur deux principes fondamentaux : la traçabilité et les portes décisionnelles.

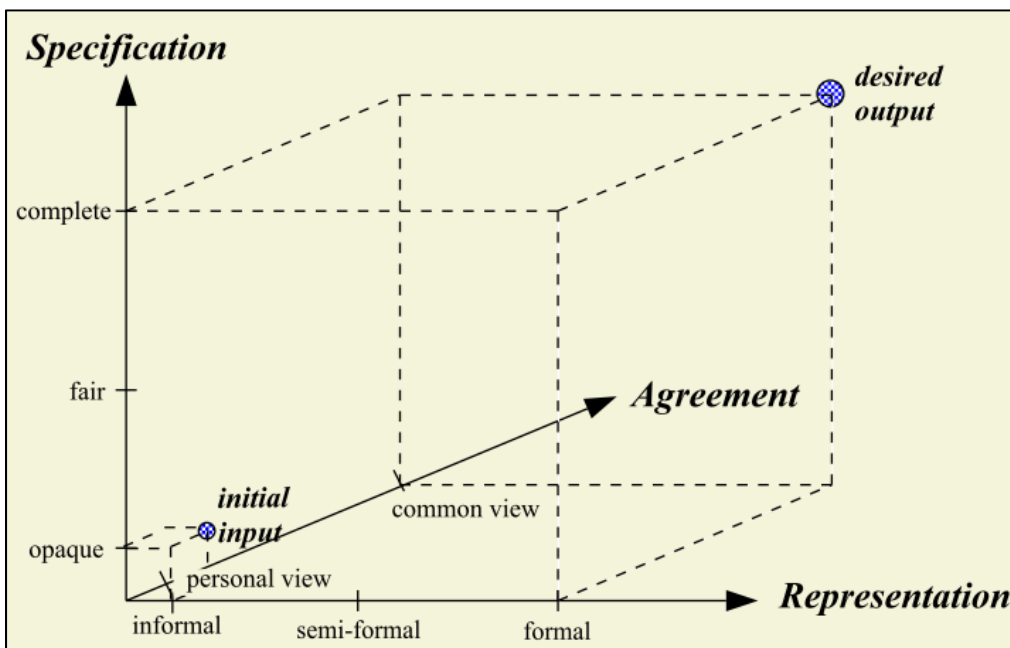


Figure 1.6 Les trois dimensions de la gestion des exigences
Tirée de Pohl (1993)

La traçabilité est une notion essentielle de l'ingénierie des exigences puisqu'elle permet de comprendre comment l'information a évolué, à cause de quels choix, et le lien entre les exigences de haut niveau et ceux de bas niveau (Hull, Jackson et Dick, 2010). Cette

compréhension permet d'engranger du savoir sur l'impact des changements effectués, comment les exigences sont divisées, comment le système est construit, quels sont les liens entre les sous-systèmes, etc. Une fois le projet terminé, le « chemin » de chaque exigence peut être analysé et des métriques peuvent en être déduites. Cela rejoint la dynamique de Building Down Barriers (BDB) (Nicolini, Holti et Smalley, 2000) où le but est de comprendre les projets passés pour réaliser d'une meilleure manière ceux à venir. Au-delà d'un simple historique de changements, la notion de traçabilité est le fait de représenter les choix effectués et les liens entre eux. Elle permet également de comprendre la création de nouveaux requis, liés à des requis plus globaux. Nicolini (2000) donne un exemple d'une possible représentation des liens entre les requis (Figure 1.7). Le but de la traçabilité est de lier les différentes informations entre elles et de pouvoir rendre compte rapidement de l'enchaînement des choix et des contraintes associées à un système. Ici, on passe d'un seul à trois requis, plus formels. On peut donc ajouter la notion de division du requis à la vision de Pohl (1993). Ce type de représentation permet, que ce soit sur un projet en cours ou cloturé, de comprendre rapidement le lien entre les fonctionnalités, les catégories de sous-systèmes, etc. On peut également se servir de la traçabilité pour vérifier l'avancement du projet en termes d'évolution des requis. On se sert alors des portes décisionnelles, étapes clés de la gestion des exigences.

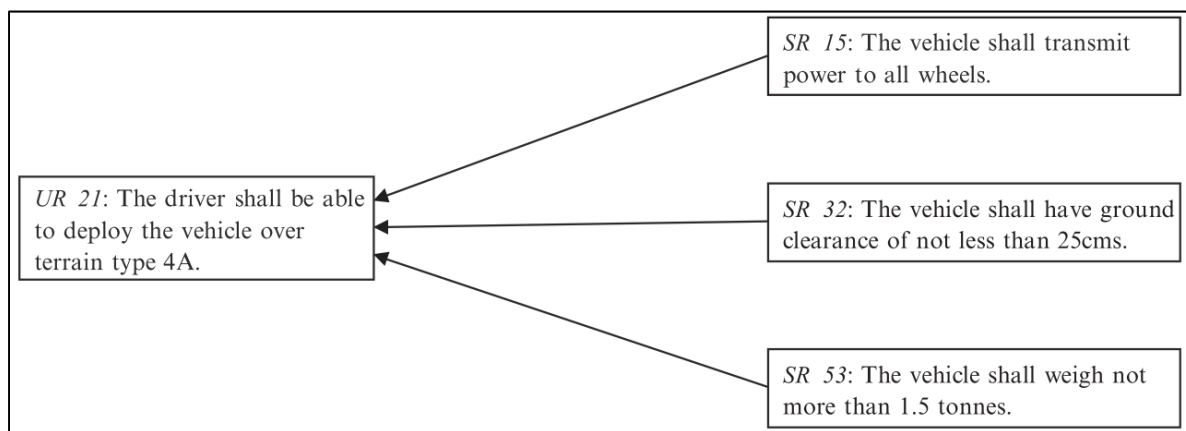


Figure 1.7 Exemple de traçabilité
Tirée de Nicolini, Holti et Smalley (2000)

Le système de portes décisionnelles (aussi appelées « stage-gate ») est un concept né dans les années 1980 et est lié à la production de nouveaux produits. En effet, bien que de plus en plus d'idées novatrices soient exploitées et lancées sous forme de produits dédiés à la commercialisation en masse, le taux de succès de ces nouveaux produits était faible (Cooper, 1990). L'idée est donc de considérer l'innovation comme un processus, et de le gérer. En faisant l'analogie avec les contrôles qualité des chaînes de productions, les portes décisionnelles sont définies par Cooper (1990) comme un point de décision « Go / Kill / Hold / Recycle ». Chaque porte est associée à une activité et nécessite des entrées (informations, produits, livrable, etc.), des critères de validation, une prise de décision et un élément de sortie (allocations de ressources, livrables, etc.) (Voir Figure 1.8). Une fois franchie, on entame une phase plus complète et demandant plus d'investissements dans le processus d'innovation. Plus récemment, Cooper (2008) précise que ce concept doit permettre de structurer le développement, mais n'empêche aucunement le travail en parallèle, bien au contraire. Le but est d'accélérer le processus de lancement de nouveaux produits. D'ailleurs, comme nous le détaillons dans le paragraphe suivant, le système de portes décisionnelles est flexible. Il ajoute également que cette façon de structurer le développement d'une innovation peut être utilisée dans la suite du cycle de vie du produit.

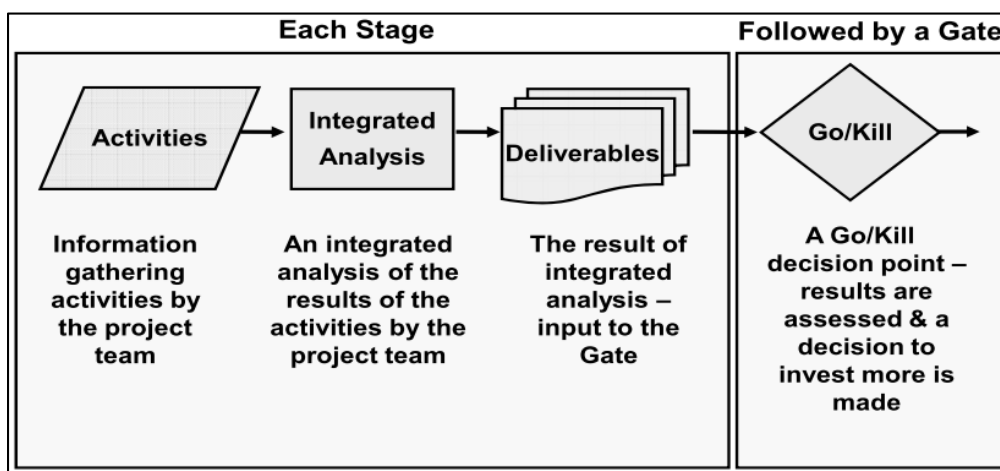


Figure 1.8 Concept de porte décisionnelle
Tirée de Cooper (2008)

Les portes décisionnelles correspondent à une transition où l'on vérifie si l'information nécessaire a été fournie. En clair, on regarde l'écart entre l'état attendu pour chaque requis dans les trois dimensions, et on le compare avec l'état réel. Suite à cette analyse, le développement du système peut être stoppé, corrigé ou poursuivi au même rythme, dépendamment des résultats obtenus (Hull, Jackson et Dick, 2010). On distingue tout de même deux types de portes décisionnelles : « souples » et « dures » (Nicolini, Holti et Smalley, 2000). Les transitions souples sont des étapes où l'effort n'est pas stoppé, on effectue seulement un contrôle d'avancement pour apporter des correctifs si besoin (par exemple lors de la conception du système, on s'assure de partir dans la bonne direction). Les portes dites dures sont franchies uniquement si tous les livrables associés à la phase se finissant sont terminés (par exemple entre la conception et la construction d'un bâtiment). Surtout, indépendamment du style de porte, on s'accorde à dire qu'une fois la porte décisionnelle franchie, tous les choix sont figés et sont acceptés par toutes les parties prenantes (Nicolini, Holti et Smalley, 2000). La suite du projet est construite à partir de ce point de non-retour et permet d'assurer une progression simultanée de chacun.

Comme nous l'avons vu, l'intégration des exigences de gestion d'actifs passe une meilleure gestion de l'information et une meilleure communication entre les parties prenantes. La gestion des exigences est totalement alignée avec ces objectifs puisque la bonne évolution du besoin du client dans ses trois dimensions est directement liée à la communication et la conciliation entre les parties prenantes. Les portes décisionnelles peuvent être utilisées à chaque grande étape du cycle de vie du bâtiment (voir Figure 1.1) et ainsi permettre d'obtenir les données sur les actifs considérés dès la réception du bâtiment, voire pendant les phases de conception et de construction. Pour mettre en place ces concepts, une des solutions serait de mettre en place une plateforme de gestion des exigences.

1.5 Plateforme de gestion des exigences

Selon Kiviniemi et Fischer (2005), la solution à mettre en place pour établir la continuité entre la gestion de projet et la gestion d'actifs est une interface permettant l'échange de données

entre les exigences et les choix en conception (Figure 1.9). Cet échange devrait être bidirectionnel et devrait permettre d'aider les architectes et ingénieurs dans leurs choix de solutions tout en permettant au client (ou utilisateur) de réviser les propositions pour s'assurer du respect de leurs exigences. Cette proposition est un premier pas vers l'intégration de la gestion d'actifs dans le cycle de vie, puisque les exigences sont prises en compte et qu'on peut récupérer les informations nécessaires à la gestion des installations dès le début de projet, pendant les phases de conception et de construction.

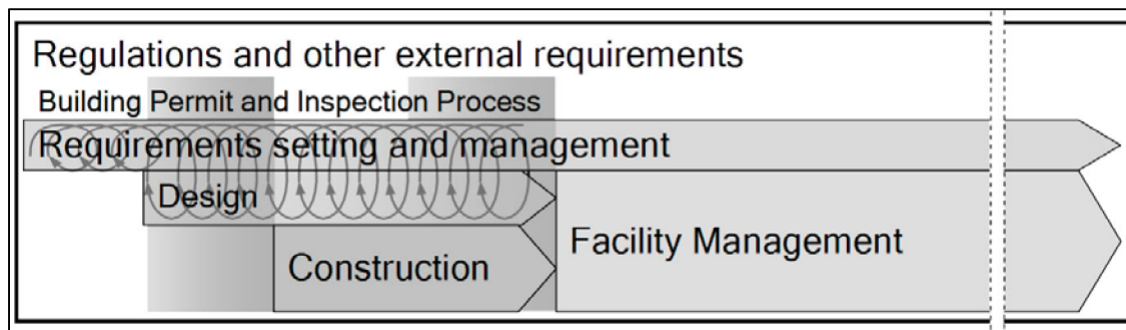


Figure 1.9 Prise en compte des exigences tout au long du projet
Tirée de Kiviniemi et Fischer (2005)

Ce type d'approche est appliquée sous la forme d'une plateforme de gestion des exigences en Norvège. Le modèle de vérification et d'ajustement des exigences dynamique développé par Nosyko AS et utilisé par Statsbygg en Norvège (Figure 1.10) est un exemple d'utilisation de la gestion des exigences pour gérer l'information d'un projet de construction. Comme on peut le voir sur la Figure 1.10, il y a un échange continu entre l'information créée dans le modèle BIM et la plateforme de gestion des exigences. Le développement du modèle est toujours fait en lien avec les exigences définies en amont et la vérification permet de comparer le modèle aux exigences tout en prenant en compte les nouvelles informations créées par les professionnels. Cela permet de développer de façon synchronisée : un modèle BIM répondant aux exigences de l'utilisateur ; une description informationnelle (sorte de PFT) complète et telle que construit du bâtiment. De plus, comme toute la progression et les modifications apportées au programme sont enregistrées (notion de traçabilité détaillée plus loin dans cette section), il est possible de tirer des leçons en fin de projet pouvant être réutilisées sur d'autres projets par la suite.

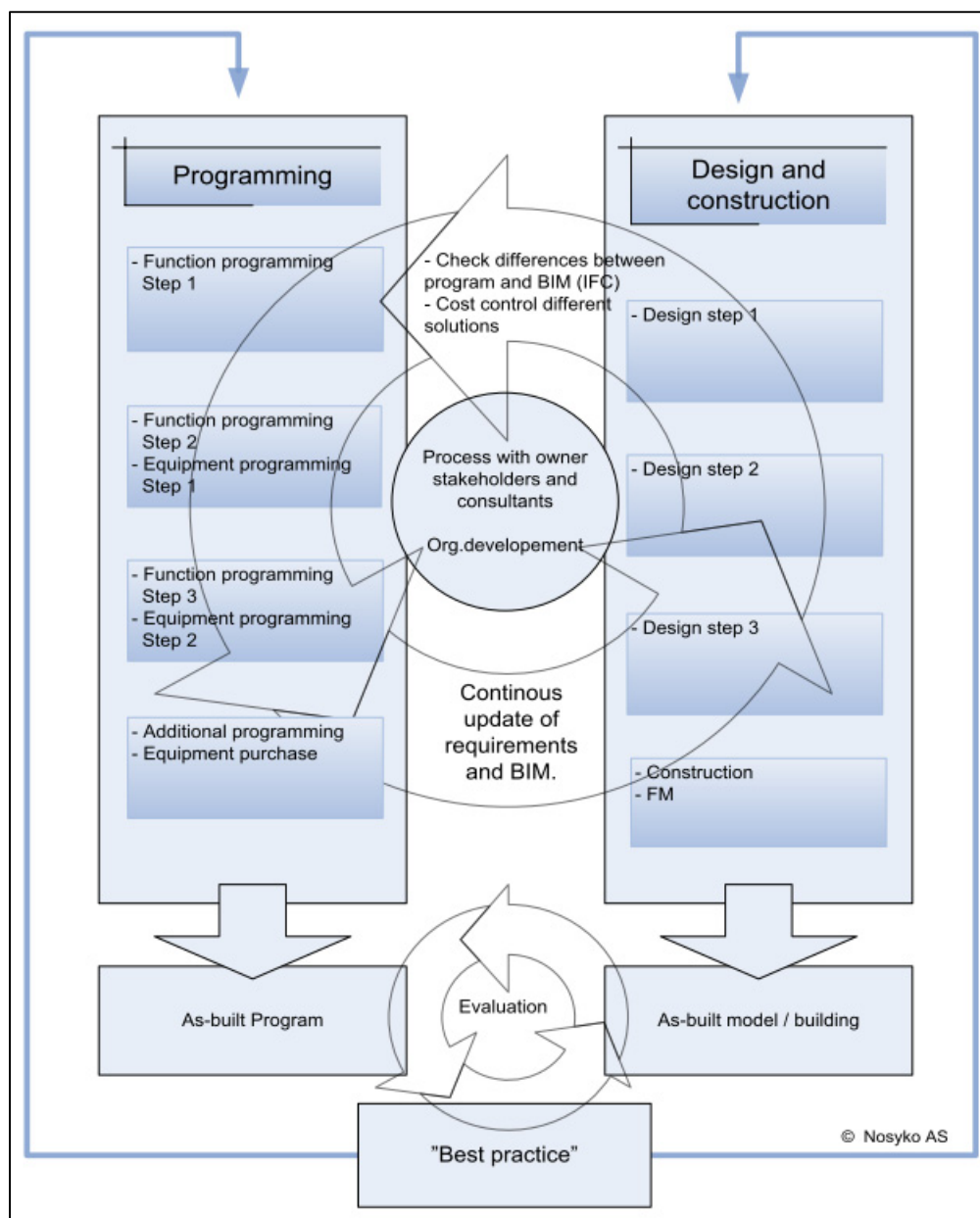


Figure 1.10 Processus itératif et dynamique de gestion des exigences
Développée par Nosyko AS

Comme on peut le voir ci-dessus, l'utilisation de la plateforme de gestion des exigences permettrait de capturer l'information permettant d'amener le modèle jusqu'au niveau tel que construit. Cela signifierait qu'en utilisant la gestion des exigences, la capture des informations

nécessaires à l'opération et la maintenance des bâtiments serait intégrée. Il serait donc possible de définir les requis d'information des gestionnaires d'actifs, de les communiquer aux professionnels via cette plateforme, et de les capturer au fur et à mesure de l'enrichissement informationnel des modèles BIM.

1.6 Synthèse

Cette revue de littérature a permis de mettre en exergue les problèmes rencontrés par les gestionnaires d'installations pour capturer l'information dont ils ont besoin pour mener à bien leurs activités d'opération et de maintenance. Premièrement, la séparation qui existe entre la gestion immobilière et le reste des activités de gestion dans les entreprises entraîne une interruption dans le flux d'informations à la fin de la construction. De plus, le manque d'interopérabilité des systèmes de gestion de l'information est un obstacle au transfert d'information entre les disciplines. Enfin, les modèles développés autour des processus BIM pour contrecarrer le manque d'interopérabilité tel que COBie n'offrent pas assez d'agilité dans la définition et le contrôle des requis d'informations pour l'opération et la maintenance.

La gestion des exigences, via l'utilisation d'une plateforme, est un moyen de contrôler l'environnement de production BIM en suivant de façon précise la création et la livraison de l'information relative au projet (Kiviniemi et Fischer, 2005). De plus, la plateforme de gestion des exigences permettrait de définir et de capturer les requis d'informations des gestionnaires d'actifs, en les ordonnant avec rigueur et en étant capable d'atteindre l'information désirée grâce à la connexion avec les modèles BIM. La littérature n'offre pas de cas d'étude détaillée quant à l'expérimentation concrète de telles plateformes et le changement que pourraient engendrer leurs utilisations.

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

Le but de ce chapitre est de définir la méthodologie mise en place pour réaliser cette recherche. Pour cela, nous présenterons tout d'abord le type de recherche, puis les méthodes de récolte de données utilisées en justifiant leurs ancrages théoriques et enfin la méthode de validation.

2.1 Conception de la recherche

Ce projet de recherche se veut interventionniste, en visant le développement et la validation d'un artefact pouvant aider à résoudre une problématique industrielle, à savoir la capture des requis d'information nécessaire à l'opération des bâtiments. Cette approche est liée au paradigme de la science de la conception. Trois méthodologies sont associées à ce paradigme: la recherche-action, la recherche constructive et la recherche en science de la conception.

La recherche-action propose une intervention dans le milieu étudié. Ce type de recherche est donc un moyen de décrire un cas réel où le problème se produit. Les forces de la recherche-action sont de pouvoir étudier le problème dans le milieu où il se produit et d'expliquer « pourquoi » et « comment » ce problème apparaît (Azhar, Ahmad et Sein, 2009). Comme on peut le voir sur la Figure 2.1, la particularité de la recherche-action est son caractère cyclique, où l'on construit une solution par itérations en utilisant les leçons apprises. Elle contribue essentiellement à produire de nouveaux savoirs sur comment s'est déroulé le changement opéré.

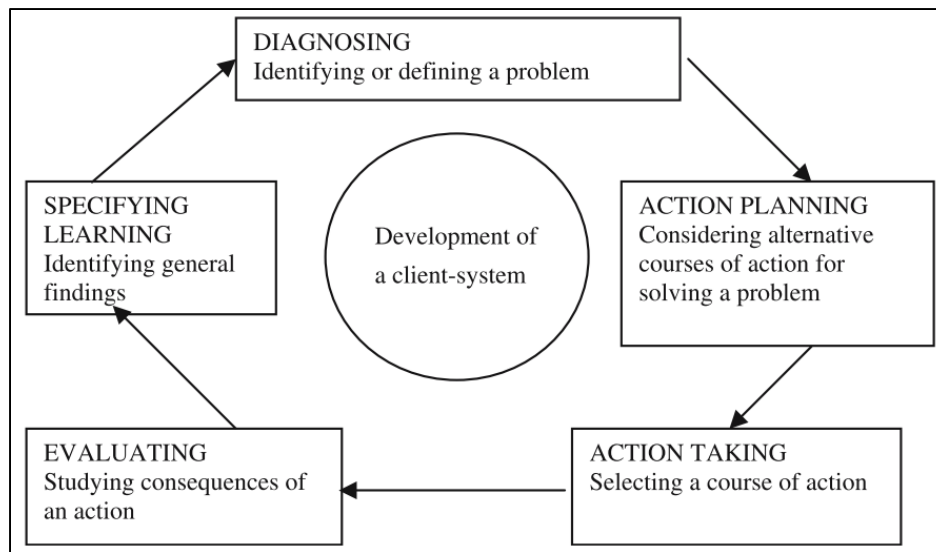


Figure 2.1 Le processus cyclique de la recherche-action
Tirée de Järvinen (2007)

La recherche constructive (Lukka, 2000) est proche de la recherche-action par son ancrage à la réalité et son caractère interventionniste, lors de l'essai d'implémentation de l'idée sur un cas réel. Comme Kasanen (1993) le montre (Figure 2.2), et contrairement à la recherche-action, la recherche constructive vise un apport pratique, mais également théorique sur le domaine étudié.

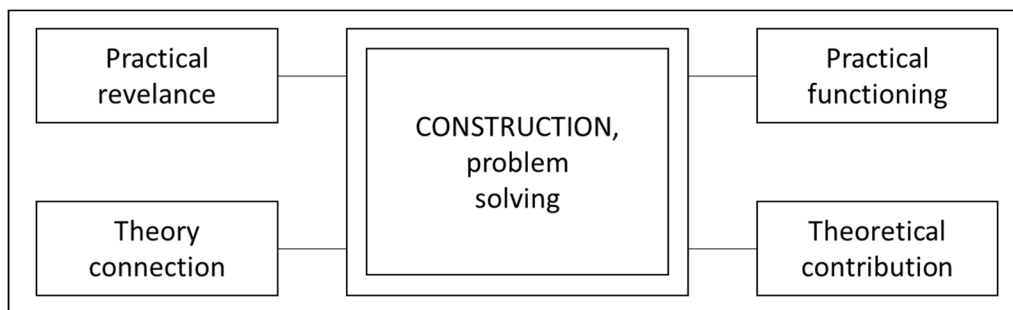


Figure 2.2 Les éléments de la recherche constructive
Adaptée de Kasanen, Lukka et Siitonen (1993)

L'artéfact, produit en coopération avec les utilisateurs du système, est fortement défini par la théorie et la pratique. Après son essai en milieu réel, le bilan est donc généré sur les deux

dimensions. Enfin, la recherche en science de la conception se concentre sur la construction d'une solution à un problème repéré sur un cas précis en adaptant et en appliquant un concept existant. Comme le montrent Piirainen (2014) et Järvinen (2007), les approches partagent de nombreuses similitudes (Figure 2.3 et Tableau 2.1 ci-dessous).

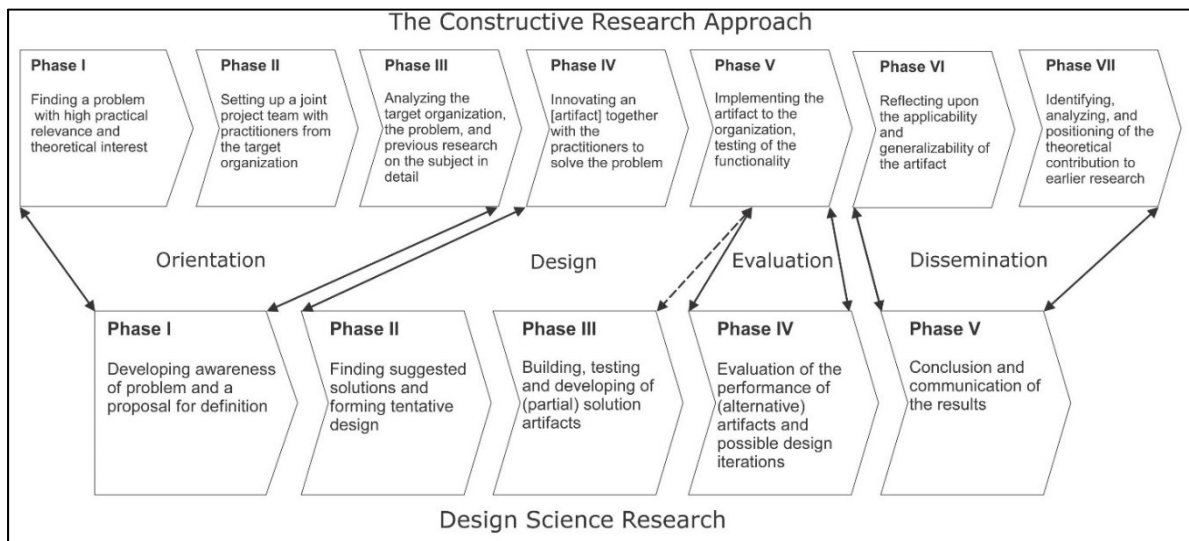


Figure 2.3 Similitudes entre la recherche constructive et la science de la conception
Tirée de Piirainen et Gonzalez (2014)

Tableau 2.1 Similitudes entre la recherche-action et la science de la conception
Adapté de Järvinen (2007)

Action research	Design science research
Action research emphasizes the utility aspect of the future system from the people's point of view.	Design science's products are assessed against criteria of value or utility
Action research produces knowledge to guide practice in modification.	Design science produces design knowledge (concepts, constructs, models and methods).
Action research means both action taking and evaluating.	Building and evaluation are the two main activities of design science.
Action research is carried out in collaboration between action researcher and the client system.	Design science research is initiated by the researcher(s) interested in developing technological rules for a certain type of issue. Each individual case is primarily oriented at solving the local problem in close collaboration with the local people.
Action research modifies a given reality or develops a new system.	Design science solves construction problems (producing new innovations) and improvement problems (improving the performance of existing entities).
The researcher intervenes in the problem setting.	Design science research is initiated by the researcher(s) interested in developing technological rules for a certain type of issue. Each individual case is primarily oriented at solving the local problem in close collaboration with the local people.
Knowledge is generated, used, tested and modified in the course of the action research project.	Knowledge is generated, used and evaluated through the building action.

Les nuances entre ces différentes approches sont faibles, mais existent : la recherche-action modifie un système, la science de la conception l'améliore; la recherche-action et la recherche constructive amènent à la construction de solutions en collaborant avec les utilisateurs, la science de la conception construit une solution en se basant sur des critères.

2.2 Contexte de l'étude

Pour supporter cette étude, les données qui serviront à la construction de l'artefact seront extraites d'une étude de cas en lien avec notre problématique. En effet, l'organisation dans laquelle l'intervention va être menée est un gestionnaire de parc immobilier public important, impliquée dans la gestion de projet et familiarisée avec les processus et les outils BIM (Voir CHAPITRE 3 pour description détaillée). Le projet choisi pour récolter les données nécessaires à cette étude est une rénovation et un agrandissement d'un palais de justice. La phase de conception est terminée et a été effectuée à l'aide d'outils BIM. Le souhait lors du lancement de ce projet était de mettre en place une plateforme de gestion de l'information capable d'extraire l'information des modèles et de les utiliser pour la phase d'exploitation. Ce projet de construction a été choisi pour les raisons suivantes :

- l'organisation qui réalise ce projet est à la fois gestionnaire de projet, propriétaire et gestionnaire immobilier pour ce projet : cela permettra d'être en mesure de comparer la mode de gestion de l'information entre la partie projet et la partie gestion immobilière que la littérature expose comme un des problèmes du manque de performance de la gestion d'actifs;
- l'organisation est actuellement à la recherche d'un système de gestion de l'information et l'a inclus dans le plan de gestion BIM, il sera donc intéressant d'analyser comment cet outil de gestion de l'information a été utilisé;
- le projet a été conçu en BIM : cela permettra d'observer le mode de gestion de l'information dans un tel environnement et d'être en mesure de proposer une solution adaptée aux pratiques actuelles au sein de l'organisation;

- l'utilisation du BIM pour la conception permettra également d'utiliser les modèles créés pour ce projet dans l'expérimentation de la solution proposée et ainsi de valider la faisabilité de cette dernière avec l'information réelle du projet.

La recherche va donc consister à proposer et expérimenter une solution aux problèmes constatés sur le projet de rénovation et d'agrandissement d'un palais de justice (voir section 3.2 pour une description détaillée du cas). La méthodologie de recherche la plus adaptée est donc la recherche en science de la conception, car elle se concentre sur la construction d'une solution pour un cas précis en adaptant un concept théorique déjà établi. Comme nous l'avons exposé dans la Figure 2.3, cette dernière consiste à exposer le problème, construire une solution, expérimenter cette solution, l'évaluer et finir par conclure.

2.3 Étapes de la recherche

Dans le sens où il s'agit de construire une solution informatique supportant un processus de gestion de l'information, la méthodologie appliquée à notre étude de cas sera dérivée des pratiques préconisées en ingénierie logicielle par le IEEE, détaillée de la façon suivante :

- exposition du problème via une analyse du contexte d'affaires (section 2.3.1);
- construction d'une solution grâce au montage d'un concept d'opération. Ce concept d'opération suivra le gabarit de présentation proposé par l'IEEE (IEEE Guide for Information Technology - System Definition - Concept of Operations (ConOps) Document, 1998) pour la conception de systèmes d'information (section 2.3.2);
- expérimentation de la solution via la réalisation d'une preuve de concept de la proposition de solution ; évaluation et conclusion en présentant la solution à l'organisation dans laquelle cette étude est menée et en s'assurant que les critères de succès de la preuve de concept sont atteints (section 2.3.3).

2.3.1 Analyse du contexte d'affaires

Comme nous l'avons vu, le type de recherche que nous allons mener commence par une description complète de l'environnement dans lequel le problème est observable. C'est en quelque sorte un diagnostic (Azhar, Ahmad et Sein, 2009). Pour décrire au mieux la situation de départ dans laquelle nous nous plaçons, une étude de cas sera menée où trois sources d'informations seront triangulées à partir de revues de documents (Yin, 2013). La cueillette de données va donc se concentrer sur : les documents propres au projet sur lequel l'intervention est menée, les documents propres à l'organisation dans laquelle l'intervention est menée, l'observation de réunions et la description des actions et des acteurs par rapport aux systèmes grâce à l'utilisation des cas d'usages et de cartographies des processus. Les résultats de cette analyse du contexte d'affaires sont présentés au CHAPITRE 3.

2.3.1.1 Étude des documents

Afin de mieux comprendre le contexte dans lequel le projet se situe, une revue complète des intrants et extrants du projet va être menée. Les documents relatifs à la gestion de l'information au sein de l'organisation et au niveau du projet seront analysés. L'analyse de cette information permettra de comprendre et de décrire le fonctionnement du projet, de diagnostiquer le problème et de donner une image de la vision de l'entreprise en termes de gestion de l'information. Les documents propres au projet sont les suivants :

- programme fonctionnel et technique (PDF);
- plan de gestion BIM du projet (PDF);
- mandats des professionnels (PDF);
- maquettes de conception (Revit);
- base de données Codebook (Access).

Ces documents permettront d'identifier les catégories d'exigences que l'entreprise produit en début de projet et les moyens mis en œuvre pour les communiquer aux professionnels. De plus, l'organisation a produit des documents internes propres au déploiement du BIM et a développé des instructions de travail détaillées :

- guide d'application du BIM (PDF);
- guide de planification BIM pour l'exploitation (PDF);
- instruction de travail de démarrage de projet (PDF);
- instruction de travail de revue de conception (PDF);
- instruction de travail de réception de bâtiment (PDF).

Ces informations permettent d'avoir une vision du mode de fonctionnement et de la séquence de travail effectués sur les différentes étapes du cycle de vie d'un projet. L'analyse de ces ressources complètera la description des processus de gestion de l'information et permettra de construire les cas d'usage utiles au développement du concept d'opération. Dans la partie résultats de ce mémoire, nous détaillerons les éléments probants pouvant être extraits de ces documents, en se concentrant sur l'aspect « transfert de l'information vers la gestion d'actifs ».

2.3.1.2 Observations et cadrage du projet de recherche

Pour approfondir et confirmer la compréhension des échanges d'informations dans l'organisation, nous assisterons aux réunions relatives à notre problématique. Le but sera de représenter comment les acteurs du projet gèrent et perçoivent l'échange d'information avec la division responsable de la gestion immobilière.

La première session d'observation portait sur l'évaluation de logiciels visant l'acquisition d'une plateforme collaborative compatible BIM. Le but de cette session d'observation était de connaître l'approche et le niveau de compréhension du rôle d'une plateforme collaborative de la part de l'entreprise. Cette première réunion sera mise en parallèle avec les documents internes de développement du BIM puisqu'elle est en lien direct avec la volonté d'implanter cette technologie au sein de l'entreprise. Cette réunion d'une journée a eu lieu le 12 Octobre 2016 en présence du directeur de la gestion de projet, la directrice de l'expertise technique, l'expert BIM-PCI, le directeur des solutions techniques, le directeur de l'amélioration des solutions TI et l'administratrice des TI. Les éléments capturés lors de cette réunion ont été :

- exigences fonctionnelles pour les plateformes collaboratives;
- exigences non fonctionnelles pour les plateformes collaboratives;

- documents d'appel à intérêt;
- réponses de trois éditeurs de solution.

La seconde réunion était le lancement officiel du projet de recherche. Elle s'est déroulée le 14 Octobre 2016 et a duré environ 2h. Les responsables du projet étudié, les responsables de gestion de projets et de gestion d'actifs de l'entreprise ainsi que toute l'équipe d'étudiants et de professeurs chercheurs se sont réunis. Cette rencontre a permis de confronter les visions de chacun et d'augmenter le niveau de compréhension des problématiques rencontrées par les professionnels sur site.

2.3.1.3 Développement des cas d'usages

Les cas d'usages visent à schématiser les actions relatives aux pratiques les plus courantes de gestion d'information dans l'organisation :

- création des exigences en début de projet : ce premier cas d'usage correspond à la phase de préconception lorsque l'équipe d'architectes et d'ingénieurs interne à l'entreprise reçoit les besoins du client et construit un dossier d'opportunité. Ce dossier d'opportunité permet de définir les grandes lignes du projet en termes d'exigences et d'estimer un coût global ainsi qu'un échéancier pour le client;
- contrôle qualité de l'information lors des phases du cycle de vie précédant l'opération et la maintenance : ce second cas d'usage porte sur les revues effectuées par l'organisation lors de la remise des livrables par les professionnels extérieurs (par exemple lors de la remise du concept préliminaire);
- gestion du transfert de données entre chaque étape du cycle de vie : ici, il sera question de représenter et d'analyser comment le transfert d'informations est géré, en se concentrant sur le transfert entre la partie projet et la gestion immobilière.

Comme nous l'avons précisé dans la partie sur l'étude de documents, les cas d'usage seront en grande partie construits à partir des instructions de travail et des processus exposés dans les guides BIM internes. Suite à cela, une confirmation de leur exactitude sera menée lors

d'entrevues semi-dirigées impliquant les acteurs-clés de chaque cas d'usage. Ils seront mis en forme grâce au format UML (Unified Modeling Language). Deux séances de développement des cas d'usage ont été menées les 7 et 21 Avril 2017. La première auprès de la directrice de l'expertise technique et de l'expert BIM-PCI, la seconde auprès du directeur de la gestion immobilière et de l'expert BIM-PCI. Le but de l'analyse de ces cas d'usages est de fournir une information complémentaire à la description des processus actuels de l'entreprise, de lier les problèmes détectés à ceux évoqués dans la revue de littérature et d'orienter la proposition du concept d'opération. Les cas d'usage serviront également à repérer les actions qui seront impactées par le concept d'opération et de détailler de quelle façon. Enfin, pour illustrer le flux d'informations dans l'organisation, des cartographies utilisant la notation BPMN (Business Process Model and Notation) seront construites à l'aide des instructions de travail et des documents propres au projet puis confirmées lors des séances de développement.

2.3.2 Concept d'opération

Dans le domaine du logiciel, un concept d'opération est défini par l'IEEE (1998) comme étant un moyen de développer un système répondant aux besoins de l'utilisateur. Pour ce faire, le standard IEEE (1998) stipule qu'il faut comprendre l'environnement dans lequel le système devra fonctionner, définir les besoins de l'utilisateur en termes de fonctionnalités et de performance ainsi que l'impact du système proposé sur l'environnement et enfin définir les besoins en support (fabrication, formation des utilisateurs, etc.). Dans notre cas, le but du concept d'opération est donc de détailler comment la mise en place du concept de gestion des exigences peut adresser les problèmes repérés suite à l'analyse du contexte d'affaires. L'utilisation des cas d'usage permettra de repérer les actions clés de gestion de l'information à améliorer. Ensuite, le détail des mesures à prendre en utilisant le concept de gestion des exigences sera effectué, puis enfin un aperçu des impacts de l'utilisation sera fait. Cette étape restera conceptuelle même si on pourra commencer à décrire brièvement les solutions technologiques qui vont être mises en place. Les résultats sont présentés au CHAPITRE 4.

2.3.3 Preuve de concept

Afin de valider les améliorations apportées par ce projet de recherche, nous devons justifier que l'étude a les spécificités suivantes (Tirées et traduites librement de Lukka (2000)) :

- contribuer au domaine sur les plans théorique et pratique;
- la solution proposée est crédible et applicable;
- la solution proposée permet d'adresser les problèmes identifiés;
- les critères de succès de la preuve de concept sont validés.

Une preuve de concept est définie comme la réalisation concrète d'une idée, visant à prouver sa faisabilité. Dans notre cas, il s'agira d'expérimenter le concept d'opération à petite échelle afin de le valider. La preuve de concept consistera donc à simuler l'utilisation d'une plateforme de gestion des exigences sur l'ensemble du cycle de vie du projet jusqu'à l'exportation des données vers le système de gestion de maintenance assistée par ordinateur (GMAO). Tout comme le concept d'opération, la preuve de concept s'appuiera sur les cas d'usage construits lors de l'analyse du contexte d'affaires et l'information du projet de construction choisi (PFT, maquettes de conception, etc.). Le but sera de montrer la capacité du système proposé à résoudre ces problèmes. Après avoir expliqué les implications conceptuelles de l'adoption de pratiques liées à la gestion des exigences à l'étape du concept d'opération, il sera ici question de montrer concrètement et sur un exemple réel l'impact d'un outil utilisant ce concept sur les pratiques actuelles. Les résultats sont présentés au CHAPITRE 5.

CHAPITRE 3

PRÉSENTATION DU CONTEXTE D’AFFAIRES

3.1 Présentation de l’organisation

La mission de l’organisation est d’agir comme représentant de divers clients publics pour la réalisation et la gestion de leurs actifs immobiliers. La taille des projets est très diverse, pouvant dépasser un coût d’un milliard de dollars canadiens et s’étaler sur plusieurs dizaines d’années. Pour cette raison, l’organisation est scindée en deux principales entités (hormis le service de gestion financier et de technologie de l’information qui fait office de support) : la gestion de projet (ici scindé en trois mais ayant un fonctionnement global centralisé) et la gestion immobilière (Figure 3.1).

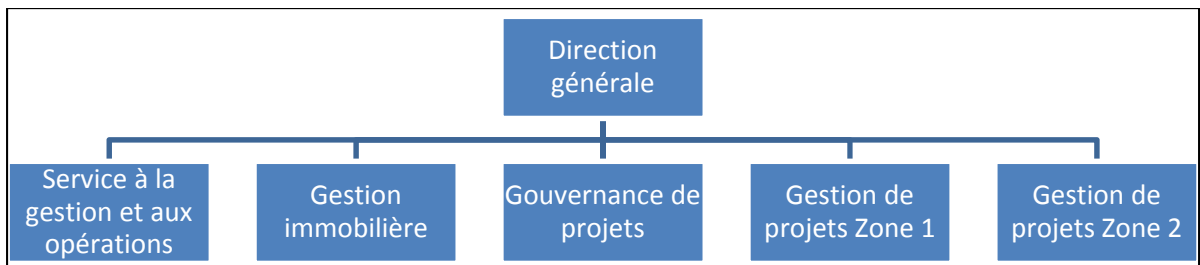


Figure 3.1 Organigramme simplifié de l’organisation

La gestion de projet est en charge des aspects techniques et de coordination. La gestion immobilière est en charge de l’opération et de la maintenance d’environ 1100 parcs immobiliers répartis sur le territoire québécois (un parc immobilier peut être un seul ou plusieurs immeubles). Pour ce faire, la gestion immobilière est séparée en 12 directions immobilières réparties sur le territoire couvert par l’organisation. Ces directions immobilières sont physiquement détachées du siège social et sont soutenues par un groupe d’une quarantaine de personnes, s’occupant plutôt du volet purement gestion d’actifs (stratégie d’investissements, vision globale, etc.). Les activités d’entretien et de maintenance des immeubles sont laissées à la charge et à l’initiative des directions immobilières.

Les pratiques et les processus sont très hétérogènes entre ces deux parties de l'organisation. Du côté gestion de projet, les procédures de travail sont très bien définies. Chaque étape du processus de planification et contrôle est documentée et doit être réalisée suivant la séquence prévue, où chaque intervenant a un rôle défini. Pour supporter leurs activités, les gestionnaires de projet ont accès à des outils de bureautique traditionnels, aux logiciels de conception assistée par ordinateur et utilise principalement la plateforme Sharepoint® pour stocker et organiser leurs dossiers. Certains utilisent également des outils BIM que nous présenterons dans la prochaine section. Du côté gestion immobilière, les décisions importantes sont prises par le siège social et sont relayées aux directions immobilières. De leur côté, les directions immobilières sont composées d'une direction réduite à trois ou quatre personnes et disposent de techniciens en exploitation d'immeuble (TEI) pour gérer l'entretien et la maintenance des bâtiments. Contrairement aux intervenants travaillant en gestion de projet, les processus à suivre pour la gestion des installations ne sont pas clairement définis. La gestion de l'information comprend un logiciel de gestion de maintenance (GuideTI) pour suivre l'état des équipements des immeubles et d'un logiciel développé en interne permettant de gérer l'aspect financier et stratégique des investissements en cours et à venir. En plus de ces trois endroits de stockage (Sharepoint, GuideTI et le logiciel développé en interne), l'organisation dispose d'un système centralisé de stockage papier et électronique où tous les dossiers des projets clôturés sont archivés. Une recherche dans cette banque de données permet donc d'accéder à la fois aux documents stockés au format électronique et d'effectuer une demande d'ouverture d'archive.

3.2 Présentation du projet

L'organisation s'est engagée en 2012 à lancer des projets-pilotes en BIM. Elle a ensuite déposé en 2016 une feuille de route sur le déploiement à grande échelle du BIM sur 5 ans. La stratégie retenue est d'adopter les pratiques graduellement en commençant par l'utilisation des outils BIM pour la coordination 3D, puis d'utiliser les modèles pour l'efficacité énergétique, la simulation 4D et enfin pour l'exploitation. Le projet sur lequel cette recherche a été menée fait partie des projets pilotes lancés en 2012 et consiste à rénover et agrandir un palais de justice

d'une surface totale d'environ 8100m². L'organisation assure la gestion du projet et sera également en charge de l'opération du bâtiment. La conception a été faite en totalité à l'aide d'outils BIM par des professionnels externes à l'organisation et un outil de gestion de l'information a été proposé (Codebook). Au moment de la rédaction de ce mémoire, nous nous situons entre la conception et la construction. Ce projet de recherche prend place dans un contexte global d'analyse des possibilités d'utilisation du BIM pour l'exploitation effectuée sur le même cas d'étude. Nous nous concentrons ici sur l'usage de la gestion des exigences pour capturer les requis d'informations des gestionnaires d'actifs. Le volet de définition et de choix de ces requis est traité par un autre membre de l'équipe.

Afin d'analyser les processus utilisés sur un projet BIM géré par l'organisation, le flux d'information présenté en ANNEXE I a été construit. Cette cartographie a été développée à l'aide des processus et des procédures de travail fournis par l'organisation ainsi qu'au processus de partage et de livraison des documents exposé dans le plan de gestion BIM du projet. Cette dernière présente les étapes de création et de contrôle d'information en détail et laisse les processus longs comme la construction ou la conception dans un processus global. On remarque que parmi les intrants et extrants d'informations, on retrouve des éléments propres à l'utilisation du BIM (maquette Revit, base de données Codebook pour la gestion des locaux et des équipements). Un guide BIM pour l'exploitation avait été fourni aux professionnels afin de transmettre les requis d'informations pour la phase d'opération et de maintenance.

3.3 Identification des étapes de gestion de l'information

Afin de déterminer les zones où il faudra analyser les actions et les rapports aux systèmes, un flux simplifié a été développé (voir ANNEXE II). Ce schéma a été développé à l'aide des processus et des procédures de travail fournis par l'organisation et a été simplifié pour avoir une vision d'ensemble de l'évolution de l'information. Aussi, pour faire le lien avec les cas d'usage (présentés ensuite dans la section 3.4), les acteurs ont été ajoutés afin d'illustrer les interactions qu'il y a en fonction du processus analysé. Les principaux livrables associés aux

processus sont également présents, ils permettent de comprendre ce qui est généré lors des différentes étapes.

Grâce à ce flux, on peut identifier les phases sur lesquelles nous allons particulièrement nous concentrer. Ce choix est orienté par la présence ou non de manipulation d'informations, c'est-à-dire quand il y a création, communication, réception ou contrôle de l'information de la part des équipes de l'entreprise. C'est pour cela que les processus de conception et de construction réalisés par des professionnels extérieurs ne sont pas considérés. L'accent sera donc mis sur les étapes de démarrage de projet, appelées analyse immobilière; la revue de conception, où les experts de l'entreprise vérifient les livrables des professionnels; et la passation de l'information aux équipes de gestion immobilière. Pour détailler les actions effectuées lors de ces étapes, des cas d'usage ont été développés.

3.4 Développement des cas d'usages

Les cas d'usage sont un moyen de représenter les acteurs, leurs actions et leurs interactions par l'intermédiaire d'une infrastructure informationnelle. Les actions en rapport avec l'utilisation de la gestion des exigences sont celles mises en avant par leur contour orange.

3.4.1 Démarrage de projet

Ces cas d'usage (Figure 3.2 et Figure 3.3) ont été développés suite à la rencontre avec l'expert BIM-PCI et la directrice de l'expertise technique et grâce à l'analyse de l'instruction de travail de démarrage de projet.

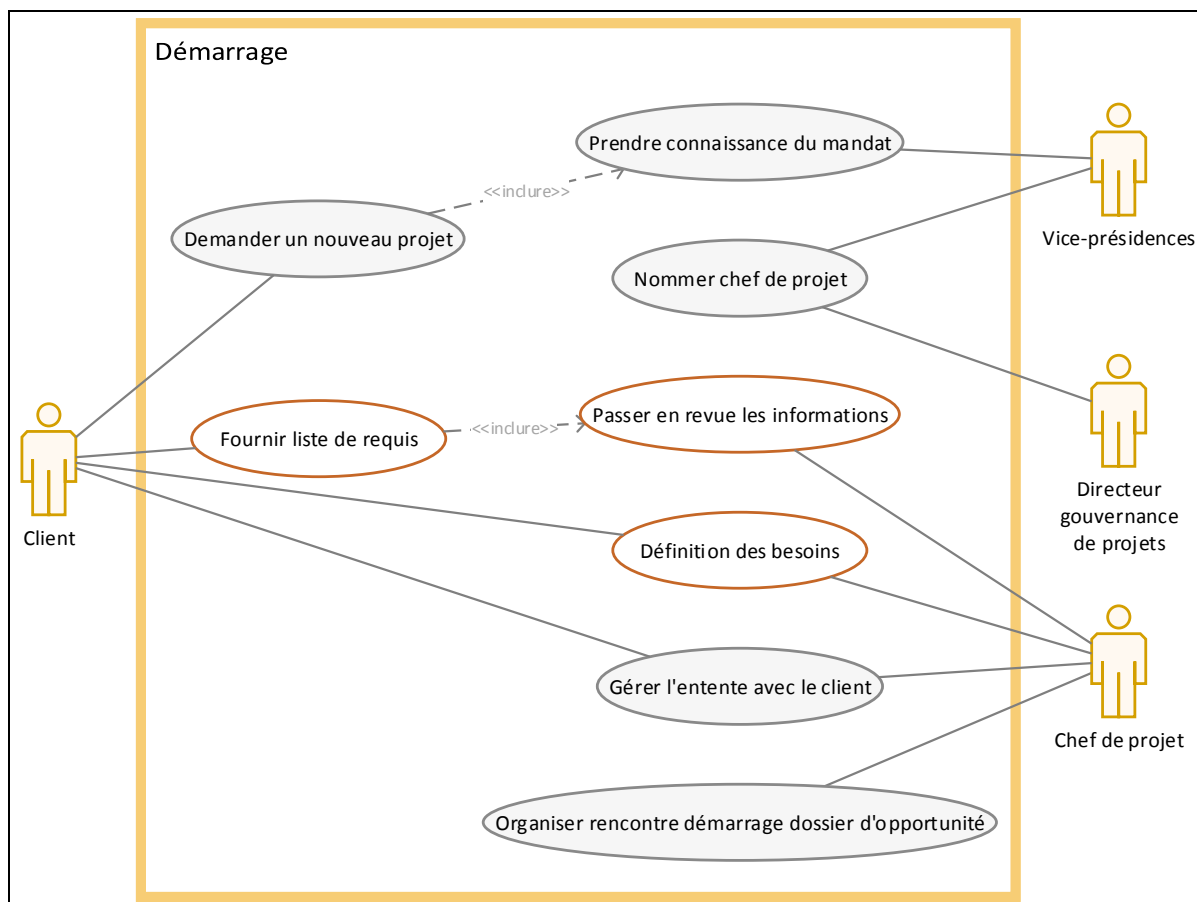


Figure 3.2 Cas d'usage n°1 : Démarrage de l'analyse immobilière

À l'étape de démarrage, le client exprime une demande de projet comprenant une liste de nouveaux besoins : agrandissements, rénovations, renouvellement de mobilier, réaménagement, etc. Le format de cette information diffère suivant les projets, mais il s'agit essentiellement de liste des locaux au format Excel ou PDF, et de documents regroupant les exigences générales propres à l'organisation. Par exemple, dans le cas du palais de justice, les besoins du client ont été transmis sous la forme d'un document PDF regroupant les besoins en termes d'espaces, de sécurité, de mobilier intérieur, d'aménagement, de menuiseries extérieures, d'architecture, de structure, etc. Une des premières tâches de l'organisation est de réaliser le montage du dossier d'opportunité afin d'évaluer les différentes options pour répondre à cette demande. La plateforme utilisée pour l'échange et le stockage d'information à cette étape est la plateforme collaborative Sharepoint. Dans ce cas d'usage (Figure 3.2), les

gestionnaires d'actifs ne sont pas impliquées et Codebook® n'est pas mentionné parmi les systèmes à utiliser.

Une fois cette tâche effectuée, le montage du dossier d'opportunité débute en faisant intervenir l'expertise interne (Figure 3.3).

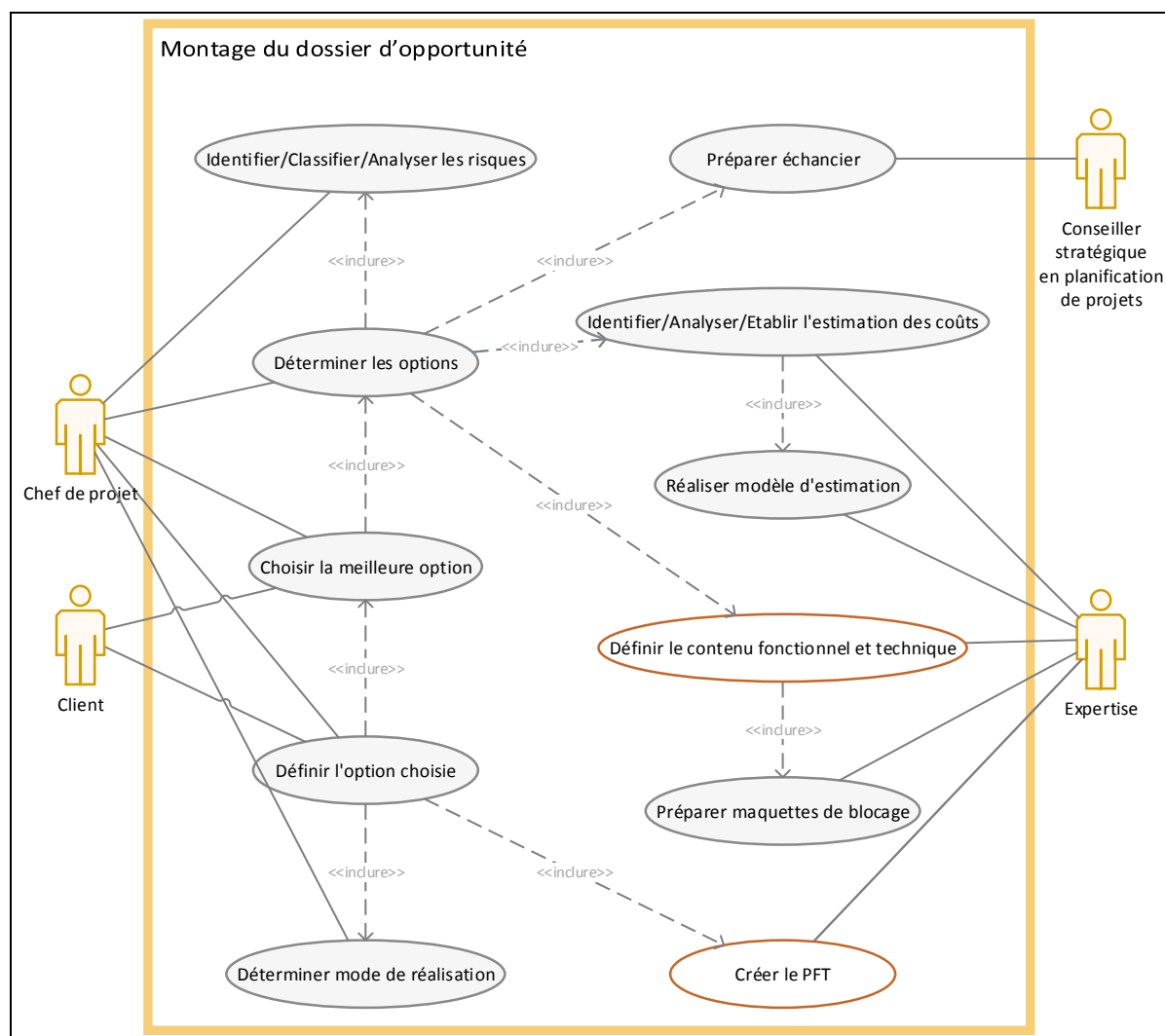


Figure 3.3 Cas d'usage n°2 : Montage du dossier d'opportunité lors de l'analyse immobilière

Lors du montage du dossier d'opportunité, l'entreprise procède en trois grandes étapes : la détermination des options, le choix de la meilleure option et la définition plus précise de celle-ci, en collaboration avec le client. Encore une fois, la plateforme utilisée pour la gestion

documentaire est Sharepoint®. L'estimation est faite sur Excel®. Les maquettes de blocage sont modélisées sur Autocad® ou Revit®, mais ne sont pas stockées sur Sharepoint®, mais sur un serveur local.

Les gestionnaires d'actifs ne sont pas impliqués jusqu'à maintenant, mais la consultation d'un agent de mise en service est parfois demandée pour la définition du contenu fonctionnel et technique (par exemple pour la certification LEED). Le PFT de l'option choisie est réalisé en regroupant les besoins du client, le contenu fonctionnel et technique défini par l'expertise interne et les différentes annexes propres au projet (études faites sur site, demandes spécifiques, etc.).

Ces constats permettent de dresser une liste des principaux problèmes repérés pour l'analyse immobilière :

- le mode de gestion de l'information entraîne la génération de doublons d'informations (par exemple dans le PFT la température de confort des locaux est définie à trois reprises, avec des valeurs différentes à chaque fois);
- les gestionnaires d'actifs ne sont pas impliqués et Codebook n'est pas mentionné : cela signifie que les requis d'informations de ces derniers ne sont pas transmis aux intervenants;
- les exigences sont transmises via un PDF (document statique) alors que le contrôle du concept se fera en rapport à ce dernier : le mode de contrôle est peu agile et rendu compliqué, car il faut effectuer un contrôle documentaire donc non automatisable;
- le montage du PFT consiste en une compilation de plusieurs documents déjà créés et d'une liste d'exigences souvent construites à partir de projets similaires passés : cela participe à la création de doublons et entraîne surtout une complexité et une certaine confusion dans la définition des exigences du projet.

En résumé, cette étape d'analyse immobilière consiste principalement à construire un préconcept assez développé pour pouvoir effectuer une estimation juste du coût global du projet et proposer un échéancier au client. Les intrants d'informations sont les besoins du client, les besoins internes (en tant que propriétaire du bâtiment) et les normes et lois. L'extrait

principal est le PFT du projet, accompagné de plans de blocage et parfois, d'un modèle Revit® préliminaire. Pour rendre les étapes mises en évidence par leurs contours orangés, car relier à la gestion des exigences plus efficaces, il faudrait que la solution que nous allons proposer ait les fonctionnalités suivantes :

- permettre aux personnes de la gestion immobilière de participer à la définition des requis;
- compiler les besoins du client et de l'entreprise pour éviter les doublons;
- assurer un lien entre les personnes responsables de l'estimation, de la modélisation des maquettes et de l'exploitation;
- être un moyen non statique de communiquer les requis aux professionnels (par opposition au PFT);
- permettre de centraliser le savoir propre à la société sous forme de gabarits de requis d'information réutilisables.

Ces points sont en relation avec notre objectif, qui est d'être capable de capturer les informations nécessaires à l'opération des équipements lors de phases de conception et de construction. Ils sont également en lien avec l'élimination des gaspillages et l'amélioration de la communication des exigences aux professionnels (éviter les doublons, ne pas recréer des requis d'informations depuis le départ s'ils ont été créés auparavant pour d'autres projets, etc.). Enfin, pour l'aspect des « requis dynamiques », il s'agit surtout d'être capable de mettre à jour les exigences sur le bâtiment. Le problème est qu'actuellement les exigences sont consignées dans le PFT qui est produit lors de l'analyse immobilière. Ces exigences vont être amenées à changer après l'intervention des professionnels : la liste des pièces, les surfaces, les modèles d'équipements mécaniques, etc. vont subir des modifications. Le but est d'être capable de contrôler précisément ces modifications et de les intégrer au système en tant que requis pour la phase suivante qui sera la construction.

Une fois l'étape d'analyse immobilière effectuée, un appel d'offres est organisé et des professionnels effectuent la conception du bâtiment. Des étapes de revue de conception sont effectuées par les gestionnaires de projet pour vérifier l'avancement de cette étape et le respect des exigences. Cette étape est décrite dans la section suivante.

3.4.2 Revue de conception

L'étape de revue de conception consiste à vérifier que le concept proposé par les professionnels est bien aligné avec les exigences émises à l'étape de l'analyse immobilière. Ici, nous présentons un seul cas d'usage, car les actions sont les mêmes pour chaque revue, mais en réalité ces contrôles sont effectués trois fois : plans et devis préliminaires (PDP) à 50 à 100% d'avancement, puis plans et devis définitifs (PDD) à 100%. Parfois, une vérification à 75% d'avancement des plans et devis définitifs est demandée.

Ce cas d'usage (Figure 3.4) a été développé suite à la rencontre avec l'expert BIM-PCI et la directrice de l'expertise technique et grâce à l'analyse de l'instruction de travail de revue de conception.

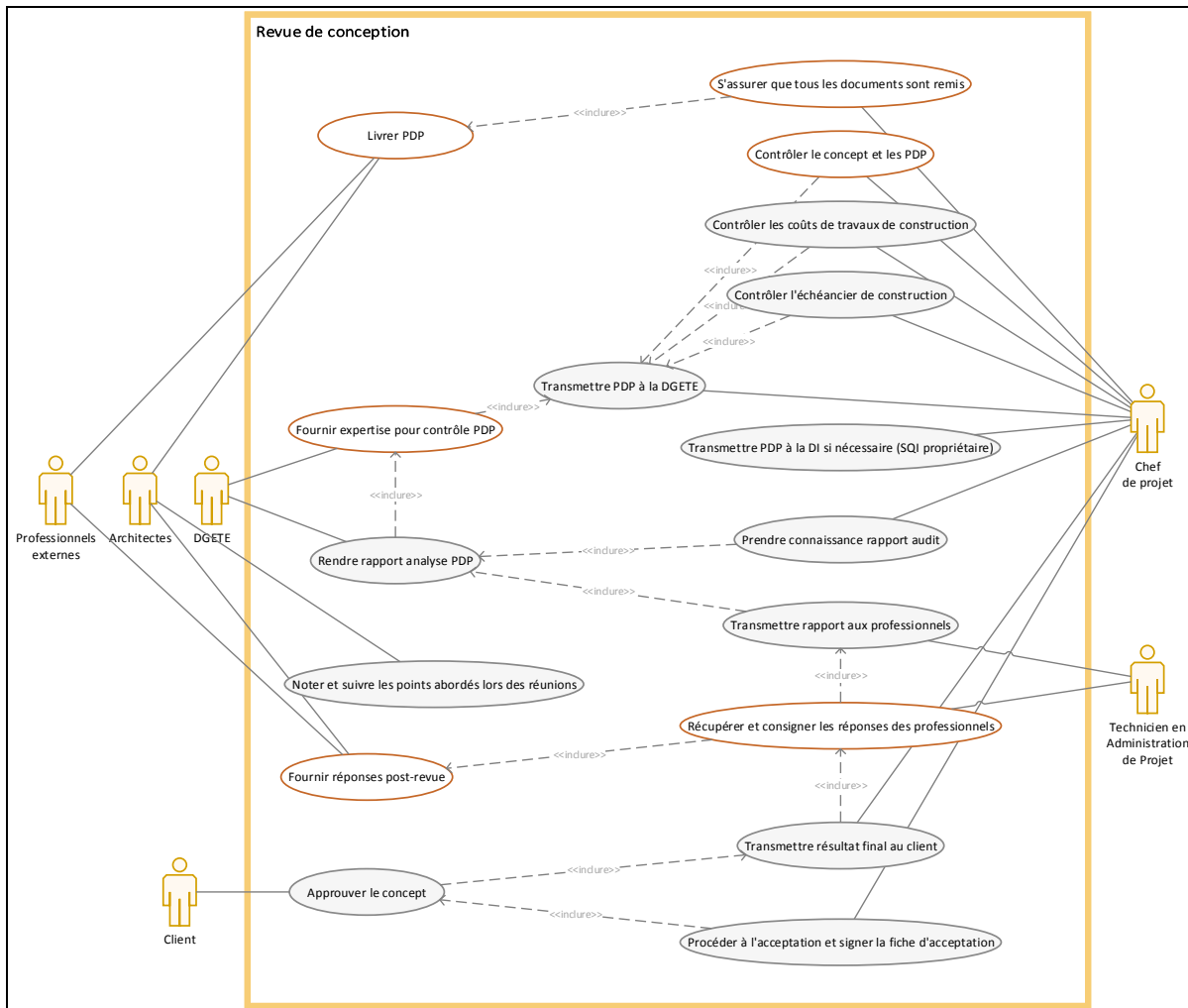


Figure 3.4 Cas d'usage n°3 : Revue de conception

L'étape de revue de conception met en lien beaucoup d'acteurs. En termes de gestion de l'information, il s'agit de vérifier que les choix effectués par les professionnels sont alignés avec les décisions prises à l'étape d'analyse immobilière. Les professionnels remettent des devis techniques et des dessins 2D souvent au format papier. Lorsque les documents sont au format électronique, le dépôt se fait sur Sharepoint®. Après réception, ils sont transmis à l'expertise interne qui effectue la revue de conception au regard du PFT initial et remet un rapport au chef de projet. Ce dernier transmet de nouveau les remarques aux professionnels pour correction.

La vérification demeure manuelle et centrée sur la vérification de la conformité à partir de dessins 2D. Il n'y a aucune indication dans l'entrevue ou les documents qu'il y a une validation de la pertinence des exigences fonctionnelles par rapport au PFT. Il est à noter qu'il semble n'y avoir aucune mise à jour du PFT dans ce cas d'usage. Pourtant, la remise en question de ce dernier est importante pour être capable de choisir la meilleure solution possible. Il faudrait être capable de modifier des éléments tels que le nombre de pièces, les dimensions du bâtiment, les choix d'équipements, de mobilier, etc. Il semble également ne pas y avoir de ressource en charge de la vérification des données entrées dans Codebook® ou de la qualité des modèles et il y a une absence des gestionnaires d'actifs.

Ces constats permettent de dresser une liste des problèmes repérés concernant la revue de conception :

- les professionnels doivent faire des exports PDF ou de plans 2D pour soumettre leur concept (même en environnement BIM) : une grande partie de la valeur ajoutée de l'utilisation du BIM est perdue en procédant ainsi;
- l'expertise interne effectue des vérifications manuelles basées sur les plans 2D papier (même en environnement BIM) : une grande partie de la valeur ajoutée de l'utilisation du BIM est perdue en procédant ainsi;
- il y a beaucoup de transfert d'informations (professionnels à chef de projet, puis chef de projet à expertise, puis retour d'informations faisant intervenir les mêmes personnes) : ce mode de gestion de l'information entraîne des délais et nécessite d'arrêter le processus de conception plusieurs semaines à l'avance;
- les gestionnaires d'actifs ne sont pas impliqués et Codebook n'est pas mentionné : comme pour l'analyse immobilière, cela signifie qu'aucun processus n'est mis en place pour s'assurer que les requis d'informations ont été adressés ou non par les professionnels.

Les fonctionnalités auxquelles le système proposé devra répondre pour l'étape de revue de conception sont donc :

- permettre aux professionnels de transmettre leur concept plus aisément qu'en générant de plans 2D ou en imprimant, de façon rapide voire automatique;

- permettre aux professionnels d'enrichir les requis transmis en premier lieu;
- permettre à l'expertise interne d'effectuer une vérification plus rapide voire automatisée, où l'alignement entre chaque exigence et la proposition des professionnels sera clair et appréciable immédiatement; et où les nouveaux éléments seront mis en avant pour rester maître du processus de conception;
- permettre un retour de revue de conception rapide voire automatisé;
- simplifier le flux d'informations entre toutes les parties prenantes.

Ces points insistent sur la transmission, la réception et le contrôle des exigences. Cela est tout à fait dans notre optique de capturer les données nécessaires à l'exploitation lors de la conception. En effet, une communication claire des exigences définies à l'étape d'analyse immobilière permettra d'être en mesure de récupérer les informations demandées, tout en étant capable de contrôler leur présence ou non dans le modèle.

3.4.3 Mise en service et passation à la gestion immobilière

Une fois la conception approuvée et les exigences transmises à l'entrepreneur général, l'étape sur laquelle nous nous concentrons est l'étape de réception du bâtiment et de transmission du dossier à la gestion immobilière. Ces cas d'usage (Figure 3.5 e Figure 3.6) ont été développés suite à la rencontre avec l'expert BIM-PCI et le directeur de la gestion immobilière ainsi que l'analyse de l'instruction de travail pour la réception du bâtiment.

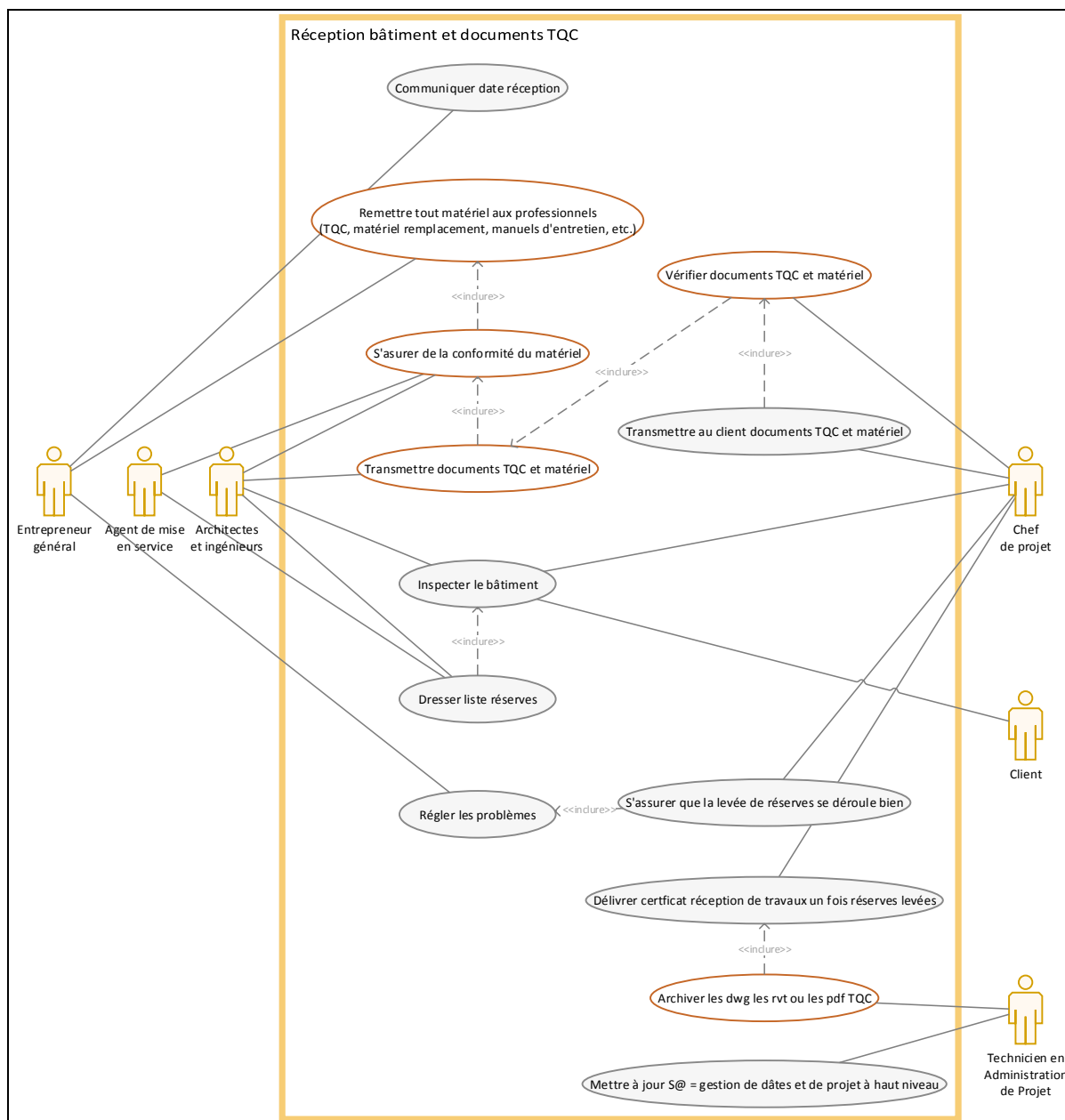


Figure 3.5 Cas d'usage n°4 : Réception du bâtiment et des documents TQC

La situation ici est semblable à celle décrite à l'étape de revue de conception. L'entrepreneur doit transmettre une quantité importante d'informations (garanties, notice de maintenance, plans mis à jour, etc.). Le chef de projet vérifie que les documents sont effectivement remis (papier ou Sharepoint®), mais ne peut assurer la conformité du contenu. Les échanges sont encore plus nombreux que lors de la revue de conception, car les documents passent entre les

maines des professionnels avant d'être transmis à notre organisation. Concrètement, la remise des documents se fait au format papier et la mise à jour des plans par les professionnels est effectuée de pair avec l'entrepreneur qui a annoté les dessins 2D au format numérique ou papier. Une fois les documents réceptionnés, tout est archivé. Ici encore, aucun acteur de la gestion immobilière n'est présent. La situation décrite ici reflète tout à fait les situations exposées en début de mémoire où on décrivait la difficulté d'accès à l'information et le manque de contrôle. En plus de cela, la remise de toute cette information est au format papier, un travail colossal et donc à mettre en œuvre pour retranscrire celle-ci dans le système de GMAO. La procédure actuellement effectuée est décrite dans le cas d'usage suivant (Figure 3.6).

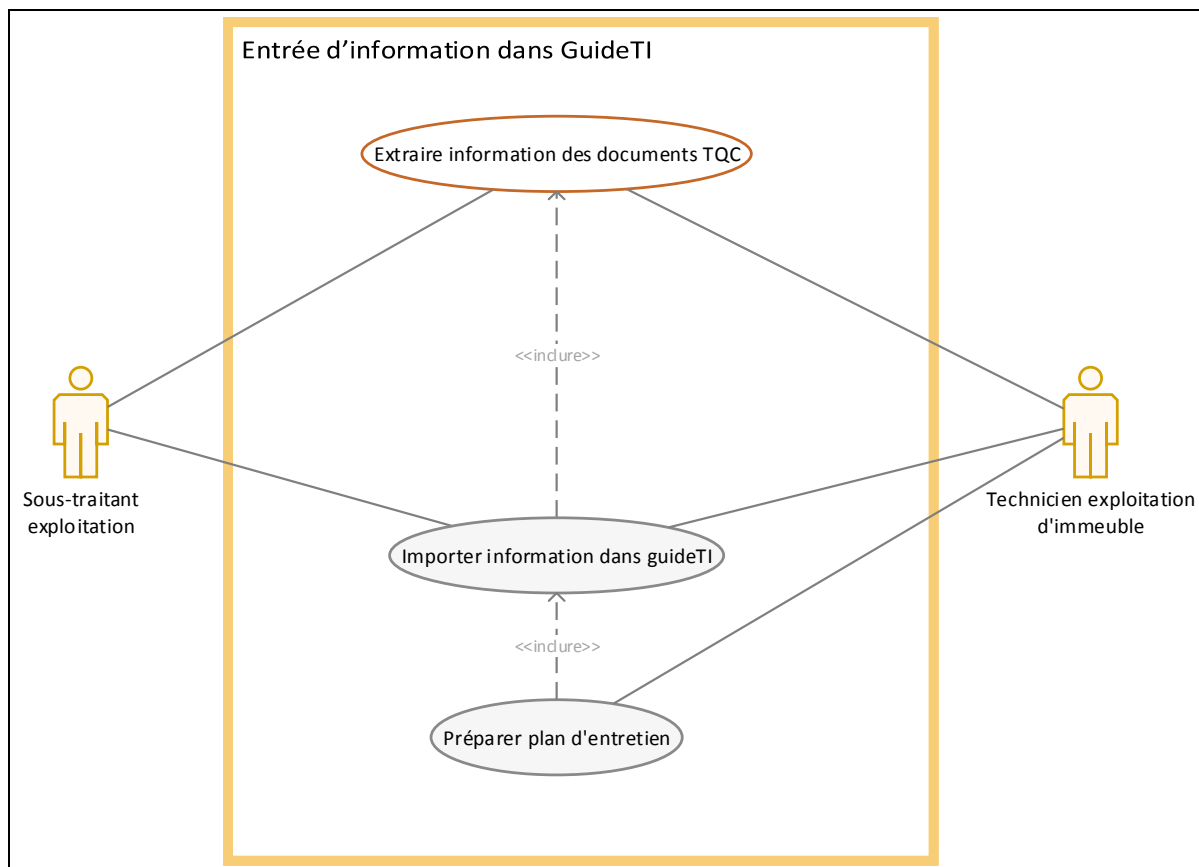


Figure 3.6 Cas d'usage n°5 : Extraction et import de l'information dans GuideTI

Ce cas d'usage est frappant, car très peu d'acteurs sont présents. Les ressources de gestion de projet sont absentes et on remarque que le TEI est seul face à l'information archivée à l'étape précédente. Ce cas d'usage illustre la rupture dans le flux d'informations entre la gestion de projet et la gestion immobilière évoquée lors de la présentation du contexte de recherche. L'extraction de l'information est manuelle : parcours des documents papier livrés en fin de projet puis entrée manuelle de chaque équipement dans le système de GMAO, etc. Souvent, cette extraction est accompagnée d'une visite du bâtiment pour s'assurer que l'information est fiable. La conséquence de cette situation est une réduction de l'utilisation de la GMAO, car l'entrée d'information est trop longue et fastidieuse.

Ces constats permettent de dresser une liste des problèmes repérés concernant la réception du bâtiment et le transfert d'information :

- les documents de fin de projet sont livrés par l'entrepreneur au format papier ou PDF : même situation que pour la revue de conception, cela rend le contrôle peu efficace, car le contenu des documents est difficilement contrôlable;
- les livrables de fin de projet que l'entrepreneur doit fournir sont des documents dont le contenu n'est pas contrôlé : le contrôle porte sur le fait que le document soit rendu ou non, par sur la fiabilité de l'information qu'il contient (par exemple, souvent, une fiche technique d'une pompe contient les valeurs de débit et de pression de toute la gamme de pompe du fournisseur : comment savoir laquelle est réellement installée?);
- l'information n'est pas systématiquement contrôlée, obligeant les TEI à effectuer des vérifications sur site : conséquence de la qualité des livrables de fin de projet rendus au format papier, le déplacement des techniciens ou d'un sous-traitant est la plupart du temps nécessaire;
- les documents de fin de projet ne sont pas alignés avec les besoins d'information de GuideTI et l'entrée d'informations est manuelle : ici encore, cette situation est la conséquence des deux points précédents. L'information étant livrée sous un format non exploitable, l'entrée manuelle est inévitable.

Les fonctionnalités auxquelles le système proposé devra répondre pour la réception du bâtiment et le transfert d'information seront donc :

- offrir un moyen simple à l'entrepreneur pour effectuer la mise à jour des informations avec les données de construction;
- permettre une vérification de cette information de façon rapide voire automatisée;
- rendre plus rapide voire automatique le transfert d'information entre la construction et l'exploitation.

Ces deux cas d'usage ont permis de mettre en exergue le principal défi à relever au sein de l'organisation et plus généralement dans le secteur de la construction : le transfert de données de la partie projet vers la partie gestion des installations. En effet, pour pouvoir exploiter la richesse des modèles BIM créés lors de la conception et mis à jour pendant la construction, il faut être capable de transférer cette information au système de GMAO. Cela n'est actuellement pas réalisable au sein de notre organisation avec les processus actuels. La proposition de solution que nous détaillerons dans le chapitre suivant a pour but de résoudre ce problème.

3.4.4 Synthèse des cas d'usage

L'analyse des cas d'usage a permis de mettre en évidence les situations à améliorer et les fonctionnalités auxquelles le système proposé devra répondre. On a maintenant une vision précise du mode de fonctionnement et des problèmes rencontrés par les utilisateurs en termes de gestion de l'information. Bien que l'architecture technologique de l'entreprise soit plutôt complète, l'exploitation de la richesse des modèles BIM est rendue impossible par les processus et les outils actuels. Le manque d'implication des gestionnaires immobiliers sur les phases d'analyse immobilière, de revue de conception et de réception de l'information de fin de projet entraîne des gaspillages lorsque vient le moment de populer la base de données du système de gestion de maintenance. La proposition de solution s'appuiera donc sur les thèmes identifiés lors de la construction des cas d'usage :

- l'automatisation des transferts d'information entre chaque phase du cycle de vie;
- la communication d'information entre les parties prenantes;

- la capacité de contrôle de l'information fortement facilitée voire automatisée;
- la possibilité d'inclure les exigences des personnes de la gestion immobilière à chaque phase du cycle de vie.

3.5 Exposition des problèmes dans les pratiques actuelles

Les problèmes dans les pratiques actuelles relevés ici sont mis en relation avec ceux observés dans la littérature dans le Tableau 3.1 puis détaillés séparément par la suite.

Tableau 3.1 Problèmes dans les pratiques actuelles

Problème observé dans la littérature	Problème observé dans l'organisation
Séparation de la gestion de projet et la gestion immobilière (Eastman et al., 2011; Preiser et Vischer, 2006)	L'organisation est scindée en deux : partie projet et gestion immobilière (Figure 3.1)
Difficulté d'accès à l'information pour les gestionnaires d'actifs (Koskelo, 2005)	Les TEI passent beaucoup de temps à collecter et à trier l'information de fin de projet pour populer leur système de GMAO (Figure 3.7)
Richesse des modèles BIM non exploités (Buckley et al., 2015)	Les livrables BIM n'ont pas été demandés aux professionnels et Codebook n'a pas été utilisé (ANNEXE I)

Le clivage entre la gestion de projet et la gestion immobilière évoquée dans la revue de littérature est ici très visible. Ceci a posé un problème au moment de définir les exigences de réalisation des maquettes BIM pour le cas étudié. En effet, comme nous l'avons exposé dans la section précédente, les requis d'information des gestionnaires immobiliers ont été définis dans un document séparé du plan de gestion BIM (le guide BIM pour l'exploitation). Aussi, lors des entrevues avec la directrice de l'expertise technique, l'expert BIM-PCI et le directeur de la gestion immobilière, nous avons pu observer que même sur un projet BIM, l'information

n'est pas transférée de la partie projet vers la partie gestion immobilière. Les livrables de fin de projet sont archivés et doivent être ensuite passés en revue par les gestionnaires d'actifs. Les deux premiers problèmes sont en fait liés puisque le second est une conséquence de la séparation entre les deux entités de l'organisation. En effet, comme nous avons pu l'observer en consultant les instructions de travail et lors de la rencontre avec le directeur de la gestion immobilière, aucune procédure de transfert d'information entre les deux parties de l'organisation n'est prévue. L'analyse des documents propres au projet (plan de gestion BIM, guide BIM pour l'exploitation) et de la base données Codebook liée à ce dernier montre qu'il y a à la fois un problème de communication interne (entre gestion de projets et gestion immobilière), et un manque de communication claire des besoins de la société auprès des intervenants externes. Cela est visible sur plusieurs aspects de l'entreprise et du projet, mais l'un d'entre eux est le plus frappant et le plus important : le transfert d'informations en fin de projet et l'entrée d'informations dans le système de gestion de maintenance. Aucun transfert n'est organisé de façon automatique ou structurée et le contrôle du contenu des livrables de fin de projet n'est pas effectué (on contrôle le rendu du document, mais pas son contenu, d'après l'instruction de travail sur la réception du bâtiment). Cela mène au cercle vicieux présenté ci-après (Figure 3.7).

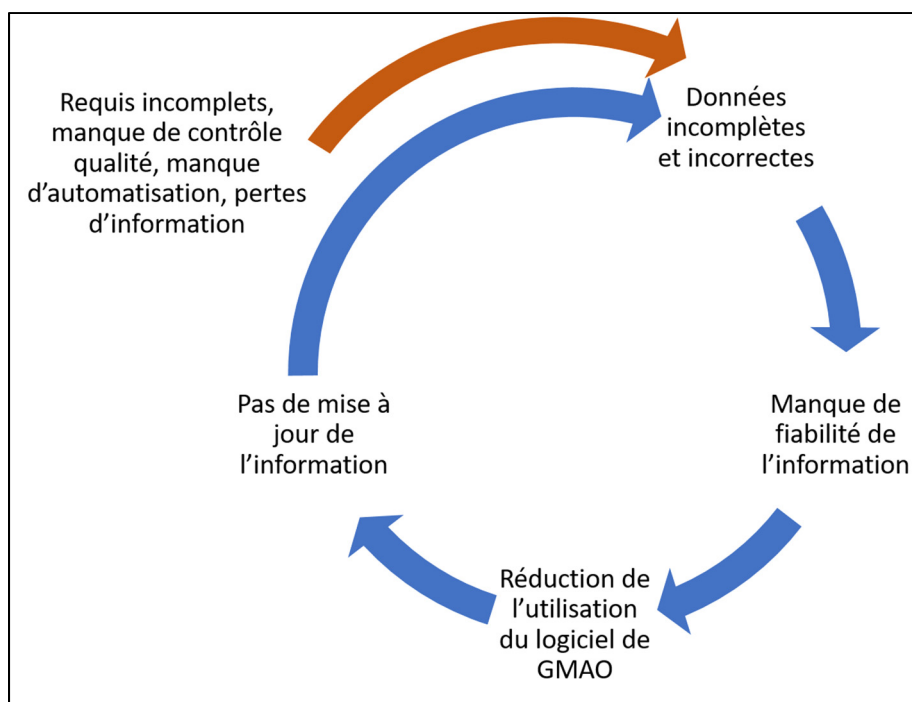


Figure 3.7 Cercle vicieux menant au manque de fiabilité de l'information dans le système de GMAO

Cette figure montre que la séparation qui existe entre la gestion de projet et la gestion immobilière ne permet pas aux gestionnaires d'actifs de communiquer leurs requis d'information clairement. Cela mène à une information incomplète et incorrecte et la rend donc peu fiable. Le directeur de la gestion immobilière explique donc qu'ensuite : « les TEI n'utilisent pas le système de GMAO puisqu'ils n'ont pas d'information fiable à y entrer ». Puis lorsqu'une intervention est effectuée, aucune mise à jour n'est possible puisqu'aucun élément n'est créé dans le système.

Le dernier problème observé est l'absence de processus permettant d'exploiter la richesse des modèles BIM. La situation observée est un peu complexe, puisque les instructions de travail, le plan de gestion BIM et les constats faits suite à la conception du projet de rénovation du palais de justice se contredisent. En effet, comme nous l'avons exposé dans la section précédente et sur la cartographie en ANNEXE I, des livrables BIM sont censés être rendus par les professionnels (modèles et base de données Codebook) puis contrôlés par l'expertise de

l'organisation. Cependant, les contrats des professionnels n'exigeaient pas ces livrables, les revues de conception et les documents contractuellement exigés sont des plans en 2D du bâtiment. L'information contenue dans la maquette n'est donc pas contrôlée et c'est seulement l'aspect géométrique qui a été utilisé par les professionnels (coordination 3D). De plus, d'après le plan de gestion BIM du projet, l'utilisation de Codebook était optionnelle. L'outil n'a donc reçu aucune nouvelle information de la part des professionnels. Le problème avec le processus actuel, que nous avons détaillé au travers des cas d'usage, est donc que l'organisation est dans l'incapacité de contrôler la qualité de l'information des modèles. La richesse informationnelle apportée par l'utilisation du BIM n'est donc pas exploitée et ce, pour toutes les phases du cycle de vie.

En résumé, les problèmes que nous voulons résoudre grâce au concept d'opération sont :

- l'interruption du flux d'informations entre la partie projet et la partie gestion immobilière, car cette dernière mène à une baisse de l'utilisation de l'outil de GMAO;
- l'incapacité des équipes d'experts internes à l'organisation à contrôler les modèles, que ce soit pour vérifier le respect des exigences de projet ou pour contrôler la présence des informations requises pour l'exploitation du bâtiment.

Le chapitre suivant expose la proposition de solution basée sur l'analyse des problèmes actuellement présents au sein de l'organisation dans laquelle cette étude est menée.

CHAPITRE 4

DÉVELOPPEMENT DU CONCEPT D'OPÉRATION

Le concept d'opération présente une solution basée sur le concept de gestion des exigences et l'impact de cette dernière sur les pratiques actuelles.

4.1 Proposition de solution

La solution proposée est l'utilisation d'une plateforme de gestion des exigences pour suivre les différents requis liés au projet. L'idée est de se servir de la plateforme pour gérer l'information tout au long du projet en s'en servant pour définir et communiquer les exigences, puis vérifier si l'information produite est alignée avec les exigences. Elle permettra également de valider les ajustements de programme apportés par les intervenants extérieurs. Comme on peut le voir sur la Figure 4.1, la plateforme de gestion des exigences sera centrale au processus de gestion de l'information du projet.

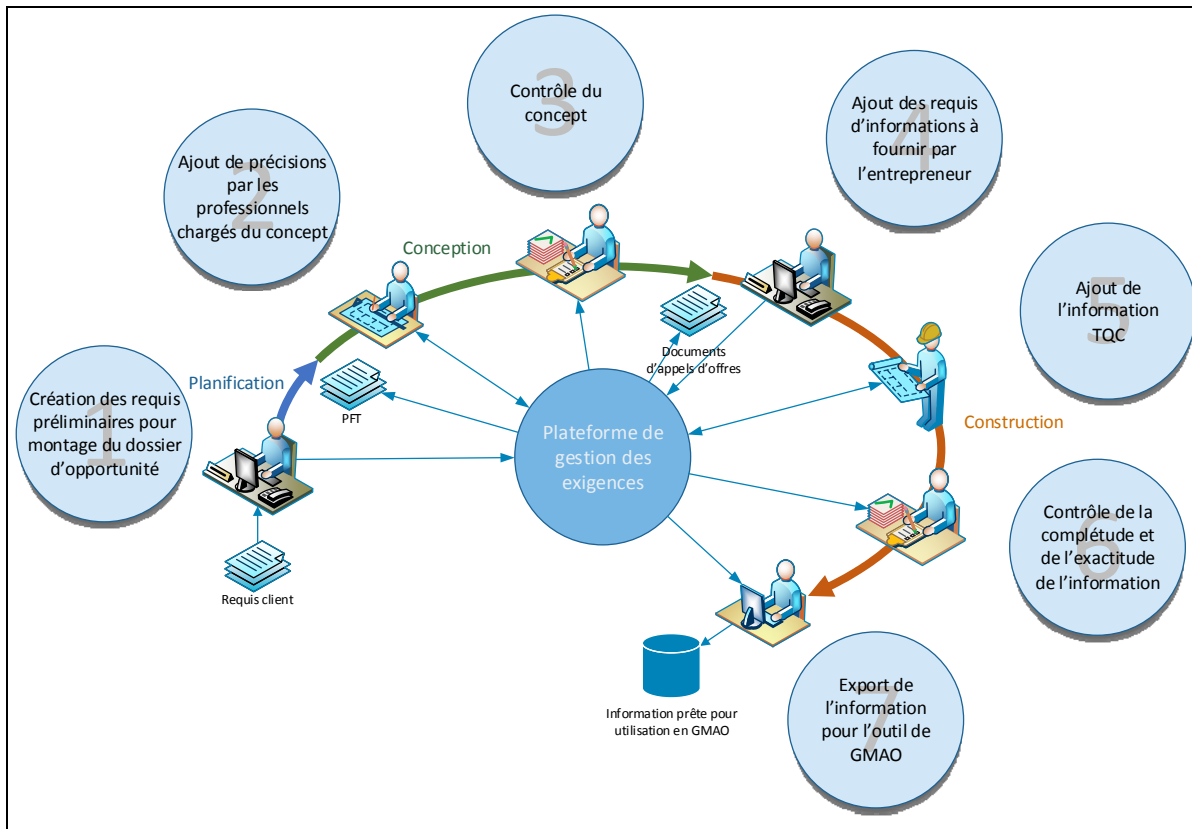


Figure 4.1 Utilisation de la plateforme de gestion des exigences

Les échanges avec la plateforme seront bidirectionnels et elle sera à la fois :

- un endroit commun d'enregistrement de l'information : aux étapes 1, 2, 4 et 5 de la Figure 4.1, la consultation et l'ajout d'informations se font sur la même base de données;
- un moyen de communiquer les requis aux autres intervenants du projet en exportant des documents ou en donnant accès à la base de données : export d'éléments servant au montage du PFT ou des documents d'appels d'offres;
- un moyen de récupérer les informations désirées pendant les phases de conception et de construction : à l'étape 7, l'export est basé sur les informations récupérées aux étapes 2 et 5;
- un moyen de contrôler l'information : aux étapes 3 et 6, le contrôle est effectué directement via la plateforme en analysant les informations ajoutées aux étapes précédentes et leurs alignements avec les exigences définies à l'étape 1;

- un moyen de suivre les modifications et l'ajout d'information puis d'en tirer des leçons.

L'intérêt d'utiliser une telle plateforme est de pouvoir :

- intégrer les requis d'informations de la gestion d'actifs tôt dans le cycle de vie du projet;
- organiser et suivre les exigences;
- faciliter le contrôle de l'information en utilisant le modèle de porte décisionnelle;
- formaliser et stocker les connaissances propres à l'organisation;
- faciliter le transfert de données entre chaque phase du cycle de vie;
- automatiser la production de documents tels que le PFT ou les documents d'appels d'offres;
- automatiser la récupération des informations produites tout au long du cycle de vie du projet.

L'utilisation de la plateforme de gestion des exigences commence dès le début du projet, avant la phase de conception. L'information y est alors entrée par les acteurs prenant part à l'analyse immobilière (chef de projet, expertise, etc.) et servira de base pour la suite du cycle de vie du bâtiment. Elle sera par exemple constituée d'une liste non exhaustive de locaux, des exigences du client, des secteurs, de surfaces générales par zone, d'indices de performance, etc. Dans le même temps, les gestionnaires de projet et immobilier définiront les requis d'informations que les professionnels devront fournir dans la suite du projet. Les exigences de projet et les requis d'information étant tous stockés dans la plateforme, une grande partie du PFT pourra maintenant être construit grâce à un simple export de celles-ci au format PDF. Bien sûr, à terme, le document n'aura plus lieu d'être puisque toute l'information transitera par la plateforme.

Pendant la phase de conception, la plateforme de gestion des exigences sera un moyen de transmettre les exigences de projet et les requis d'information nécessaire à l'exploitation du bâtiment aux professionnels pour guider leur conception; et elle servira à suivre les différences entre les exigences et le concept. En fin de conception, l'organisation est ainsi assurée de posséder un concept aligné avec les besoins de leur client et à un niveau d'information

satisfaisant. Cette information pourra être utilisée pour produire les documents d'appels d'offres.

Pour la construction, c'est la même base de données qui est utilisée et qui servira de nouveau à transmettre les exigences et les requis d'information : il y a une continuité entre les phases du projet. Les professionnels fournissent l'information sur les mêmes éléments créés aux phases précédentes et enrichissent donc les spécifications. On pourra donc par exemple, en fin de projet, retracer l'évolution d'une porte : qui a créé l'exigence en premier lieu; quel modèle a été choisi par les professionnels, quel modèle a effectivement été posé par l'entrepreneur et les documents attachés servant à adresser les requis d'information (garantie, fiche technique, informations d'isolation sonore ou de résistance au feu, etc.).

À la fin de la construction, l'information mise à jour par l'entrepreneur et les professionnels sera exportée vers l'outil de GMAO. On pourra également tirer des leçons apprises facilement. Si on reprend l'exemple précédent, on pourra relier directement la première expression de l'exigence relative à la porte au modèle finalement posé. Il sera donc plus aisé pour les futurs projets d'effectuer l'estimation, d'avoir des retours d'expérience sur les choix effectués lors de projets précédents, etc.

L'avantage de fonctionner de la sorte est d'éviter les ruptures dans le flux d'information et donc de réduire les gaspillages. De plus, en utilisant la même base de données tout au long du projet, on assure une traçabilité de chaque élément créé et il est plus facile de récoler toute l'information le concernant une fois le projet terminé. Un autre avantage est le fait de gérer de l'information et non plus des documents. Les exigences sont reliées entre elles et les doublons sont ainsi évités. Par exemple, il est inutile de spécifier la température de confort d'un bureau s'il fait lui-même partie d'une zone du bâtiment où la température de confort est définie pour tous les types de pièces. Cette gestion rigoureuse de l'information pourra rendre la communication et donc la compréhension des besoins plus évidente et il sera ainsi possible de sortir du cercle vicieux exposé à la Figure 3.7, en le transformant en cercle vertueux où la fiabilité et la clarté de l'information seront l'élément déclencheur.

4.2 Impact de la solution sur les pratiques actuelles

Maintenant que la description de la solution en termes d'utilisation a été exposée, il sera détaillé l'impact probable de l'adoption d'un tel outil sur les pratiques actuelles. En reprenant chacun des cas d'usage développés au chapitre 3.4 et en se concentrant sur les actions relatives à l'utilisation de la plateforme, une explication précise des changements sera donc effectuée dans cette section.

4.2.1 Analyse immobilière

L'analyse immobilière est l'étape où les premiers requis et exigences sont créés et répertoriés. Dans le projet auquel nous nous intéressons, les exigences sont présentées sous la forme d'un document de plus de 180 pages, pour lequel l'information est statique et ne peut être réutilisée. À ces exigences s'ajoutent celles propres à notre organisation, définies par l'expertise interne. Il n'y a pas de procédure ni d'information sur comment réaliser la capture des requis d'information décrite dans le guide pour l'exploitation. C'est donc dès cette étape que la plateforme de gestion des exigences serait utilisée. Le principal intérêt sera de compiler les exigences et les requis d'information des différentes parties prenantes en un seul et même endroit, en transformant la gestion documentaire en gestion informationnelle. L'utilisation de la plateforme de gestion des exigences va affecter les actions extraites des cas d'usage sur l'analyse immobilière (Figure 3.2 et Figure 3.3). Ces actions sont présentées de nouveau ci-après (Figure 4.2) et l'impact du concept d'opération sera détaillé pour chacune d'entre elles.

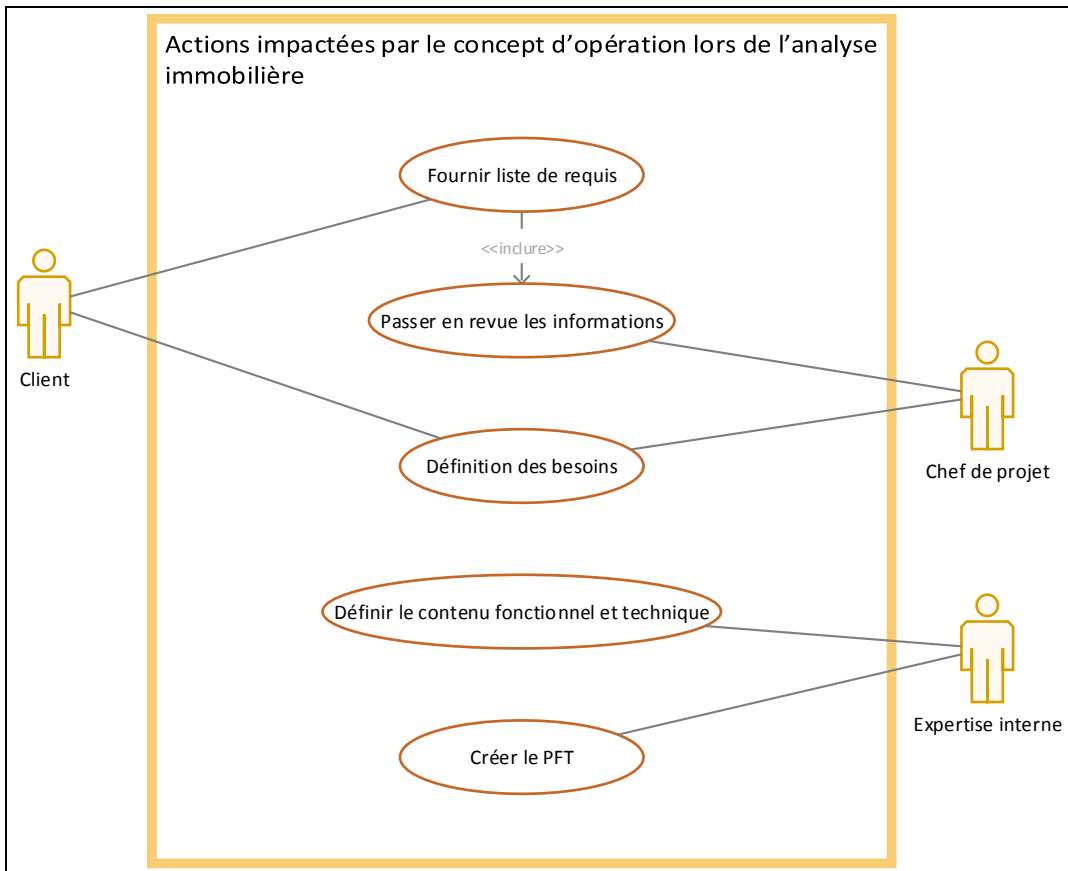


Figure 4.2 Rappel des actions impactées par le concept d'opération pour l'analyse immobilière

Client fournissant la liste de besoins :

Le client pourra directement exprimer ses besoins dans la plateforme, en utilisant effectivement les modules de définition des exigences ou en y déposant le fichier habituellement envoyé à notre entreprise. Par exemple, pour le projet de rénovation auquel nous nous intéressons, le ministère de la Justice aurait pu fournir sa liste de meubles par types de pièces dans un format importable dans la plateforme et ainsi y sauvegarder la configuration désirée.

Passage en revue des informations par le chef de projet :

À cette étape, le chef de projet pourra traduire toutes les exigences dans la plateforme et s'en servir de canevas pour enrichir les exigences et les requis d'information. Pour le projet analysé

ici, cela aurait consisté à renseigner les exigences exprimées dans le dossier propre au ministère de la Justice (PDF de 187 pages faisant partie du PFT) dans la plateforme.

Définition des besoins par le client et le chef de projet :

L'usage de la plateforme de gestion des exigences permettra de simplifier les échanges et le regroupement des exigences. Comme l'approche de gestion de l'information est flexible, personnalisable et agile, la mise en commun des exigences sera plus claire. Par exemple pour le projet du palais de justice, une progression logique de définition des besoins aurait pu être : le ministère de la Justice transmet les modèles de portes intérieures; le chef de projet vérifie la cohérence de ces exigences en vérifiant la disponibilité, le prix, la qualité, etc.; le chef de projet propose des ajustements en mettant à jour le fournisseur de l'équipement ou en ajoutant des spécifications sur les modèles de portes; le ministère de la justice constate ces modifications et approuve les propositions ou propose de nouveaux choix, etc. Ces interactions ne nécessitent pas d'échange de papier ou de document électronique, toute l'information est centralisée dans la plateforme.

Définition du contenu fonctionnel et technique par l'expertise technique interne :

En continuant sur la structure informationnelle créée par le client et le chef de projet, l'expertise interne à notre organisation pourra se servir de la plateforme pour structurer la définition des différentes solutions du dossier d'opportunité. Cela consistera à enrichir les éléments déjà créés et à en ajouter. Par exemple, pour une salle d'audience, les exigences venant du Ministère de la justice seront déjà présentes dans la plateforme. Les exigences supplémentaires définies par l'expertise seront ajoutées en s'accordant et se combinant à ceux du client. Aussi, les gestionnaires immobiliers pourront intervenir en définissant leurs requis d'information sur les caractéristiques réelles de la salle. Tous ces requis et exigences retranscrits dans la plateforme seront attachés au même élément : la salle d'audience. Un clic sur la pièce permettra d'afficher tous les requis associés à cette dernière. Cela permettra d'éviter les doublons et de s'assurer d'avoir défini tous les paramètres importants.

Création du PFT :

Cette étape consistera à exporter l'information déjà contenue dans la plateforme en un document suivant sa structure rigoureuse. La qualité du document serait donc considérablement améliorée.

4.2.2 Revue de conception

La revue de conception est l'étape où la conformité du concept proposé par les professionnels est contrôlée. Cela signifie entre autres vérifier le respect des besoins du client ayant été transformé en exigences et en requis à l'étape d'analyse immobilière. Un processus de contrôle existe déjà au sein de la société, mais, tel que constaté lors de la présentation des cas d'usage, ce dernier peut être amélioré grâce à l'usage du BIM et de la plateforme de gestion des exigences. Le principal intérêt est d'être capable de récupérer l'information créée en un seul et même endroit, et de pouvoir la comparer aux requis exprimés à l'étape précédente et cela de façon automatisée. L'utilisation de la plateforme de gestion des exigences va affecter les actions extraites du cas d'usage sur la revue de conception (Figure 3.4). Ces actions sont présentées de nouveau ci-après (Figure 4.3) et l'impact du concept d'opération sera détaillé pour chacune d'entre elles.

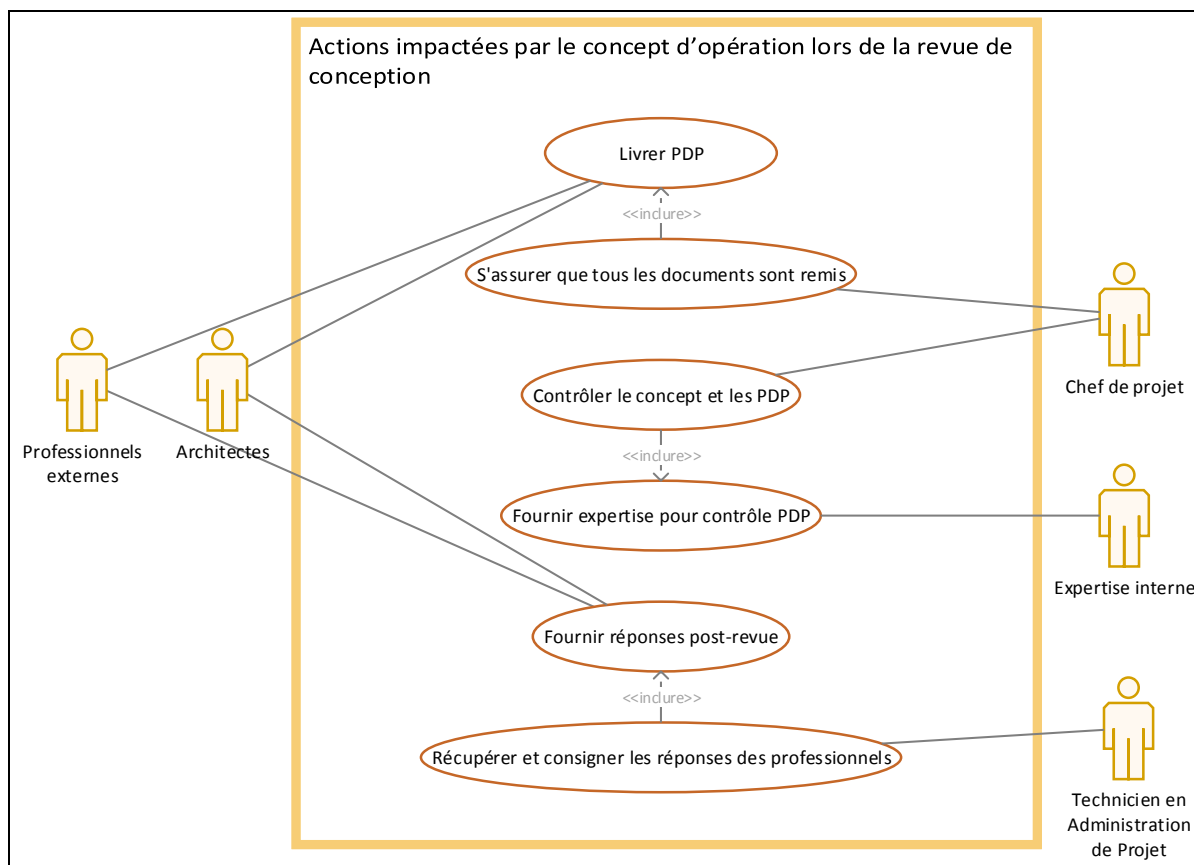


Figure 4.3 Rappel des actions impactées par le concept d'opération pour la revue de conception

Livraison des plans et devis par les professionnels :

Cette étape sera complétée par le fait que la plateforme sera capable de tirer l'information désirée directement depuis les modèles BIM des professionnels. Ils pourront également soumettre les choix d'équipements directement dans la plateforme. Dans le cas de notre projet, cela aurait pu consister par exemple à capturer les surfaces réelles des pièces modélisées de façon automatique.

Contrôle de la livraison des plans et devis et de leur contenu par le chef de projet :

Grâce à l'utilisation d'une plateforme de gestion des exigences liée à l'environnement de production des modèles, cette action sera remplacée par un contrôle de l'état d'avancement de la conception directement dans la plateforme. Par exemple, pour le projet auquel nous nous

intéressons, cela aurait pu consister à vérifier que les salles d'audience sont effectivement modélisées et que les caractéristiques techniques des équipements mécaniques devant être placés à l'intérieur sont bien définies.

Contrôle des plans et devis par l'expertise :

Le contrôle se fera directement dans la plateforme et pourra être en partie automatisé. Par exemple, les surfaces des salles d'audience précédemment évoquées auraient pu être comparées automatiquement. La publication d'un rapport mettant en évidence les différences entre surface requise et surface modélisée aurait pu être générée automatiquement.

Envoi des commentaires par le technicien en administration de projet :

Les rapports étant générés automatiquement, leur édition et leur envoi seront plus rapides.

Réponse aux commentaires de la part des professionnels :

De la même façon que lors de la livraison de l'information, cette tâche sera faite directement via l'ajustement de valeurs dans la plateforme.

4.2.3 Passation d'information

L'étape de passation et de mise en service fait intervenir beaucoup d'acteurs et est une étape importante de gestion de l'information. En effet, c'est lors de cette phase du cycle de vie que l'information « tel que construit » est récupérée, contrôlée et transmise aux gestionnaires d'actifs. Les méthodes actuelles de collecte de cette information et de transfert vers l'outil de GMAO ne sont pas optimisées. L'usage de la plateforme de gestion des exigences va permettre d'améliorer cette situation en offrant une capacité de contrôle précise de l'information fournie en fin de projet et en ouvrant la possibilité de transfert vers l'outil de GMAO. L'utilisation de la plateforme de gestion des exigences va affecter les actions extraites des cas d'usage sur la revue de conception (Figure 3.5 et Figure 3.6). Ces actions sont présentées de nouveau ci-après (Figure 4.4) et l'impact du concept d'opération sera détaillé pour chacune d'entre elles.

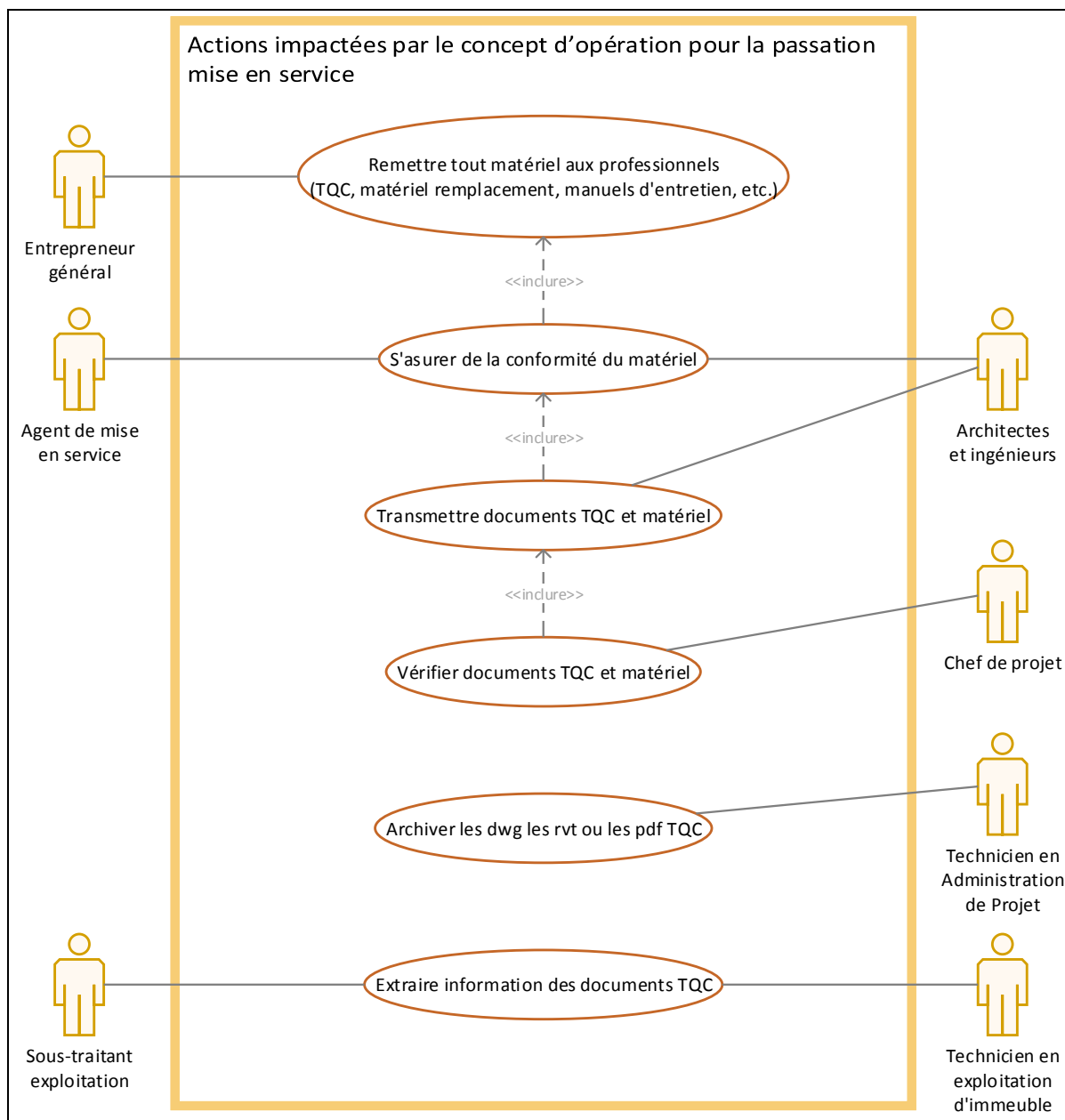


Figure 4.4 Rappel des actions impactées par le concept d'opération pour la passation mise en service

Remise de l'information TQC de la part du contracteur général :

D'une façon similaire à la livraison de l'information par les professionnels pour la revue de conception, cette étape sera désormais automatique.

Contrôle de l'information par l'agent de mise en service et les professionnels :

De la même façon que lors de la revue de conception par l'expertise interne, il suffira que les professionnels accèdent au contenu de la plateforme pour contrôler les informations fournies par le contracteur général. Ils seront par exemple capables de vérifier que le modèle de l'équipement installé correspond au modèle défini en début de projet, ou que le modèle est équivalent. Ils pourront également contrôler le remplissage de tous les requis d'information des gestionnaires d'actifs (par ex. marque de l'équipement, date de garantie, référence fournisseur, etc.).

Transmission de l'information par les professionnels :

Cette étape n'existera plus puisque l'information sera déjà contenue dans la plateforme. Aucun transfert de documents papier ou même électronique ne sera nécessaire.

Vérification de la réception de tout le matériel de fin de projet par le chef de projet :

Avec l'adoption d'une plateforme de gestion des exigences, cette action ne consistera plus à contrôler le dépôt physique de l'information (format papier ou PDF), mais la complétude de celle-ci à l'intérieur de la plateforme. Bien que les professionnels aient déjà effectué un contrôle quant à l'exactitude de l'information fournie par le contracteur, le chef de projet pourra effectuer une seconde revue plus générale par rapport à la quantité d'information fournie.

Archivage de l'information par le technicien en administration :

Cette action devra être ajustée à la présence de la plateforme, car cette dernière devra rester active pour permettre aux gestionnaires d'actifs d'effectuer le transfert d'information. Aussi, le format papier devrait être considérablement réduit.

Extraction de l'information par les TEI :

Cette action sera fortement impactée par la plateforme de gestion des exigences. En effet, il suffira d'extraire l'information sur les équipements pour être capable de les transférer dans le système de GMAO.

4.3 Synthèse

Après avoir mis en avant les étapes du processus principalement concernées par l'intervention menée, la construction des cas d'usage a permis de détailler avec précision les actions qui vont être le plus impactées. La proposition de solution s'appuie sur le bilan des cas d'usage et sur les besoins de fonctionnalités des utilisateurs et consiste à greffer une plateforme de gestion des exigences au processus actuel. Les principaux problèmes à régler sont le manque d'automatisation des communications et des contrôles du respect des exigences; le manque d'intégration des exigences des gestionnaires immobiliers; le manque d'exploitation de la richesse des modèles BIM tout en restant maître de l'information.

Pour montrer la faisabilité et l'intérêt de la solution, une preuve de concept a été menée en utilisant les données du projet de rénovation du palais de justice. Le chapitre suivant présente ces résultats.

CHAPITRE 5

PREUVE DE CONCEPT

5.1 But et critères de succès

Le but de la preuve de concept est de démontrer la faisabilité de l'idée de solution émise lors de l'étape du concept d'opération sur un cas concret. En expérimentant la solution sur les cas d'usage précédemment définis, il sera ensuite possible de dresser un bilan de l'action menée et de la capacité de la solution à répondre aux besoins exprimés. Il ne s'agit pas ici de mener une implantation à grande échelle de la solution, mais plutôt de montrer sa crédibilité et son réalisme tout en ouvrant de nouveaux sujets. Il est certain de l'expérimentation va faire remonter des questionnements, de nouveaux problèmes, des critiques, etc. Il faudra alors, s'il y a un intérêt réel, reprendre le concept d'opération en le précisant et le redéfinissant pour s'approcher encore plus de la solution idéale.

Afin d'avoir un regard critique sur les résultats à venir et d'être en mesure d'évaluer cette preuve de concept, des critères de succès ont été définis. Ils sont en lien avec les besoins d'amélioration de l'utilisateur (l'entreprise dans laquelle cette intervention est menée) et sont exprimés de la façon suivante :

- amélioration du regroupement et de la communication des exigences;
- possibilité de prendre en compte les exigences des gestionnaires d'actifs;
- récupération automatique des informations produites dans l'environnement de production;
- possibilité de transfert automatique de données vers le système de GMAO.

Pour être capable d'évaluer ces points, de réelles manipulations doivent être menées, une plateforme de gestion des exigences doit donc être choisie. L'objet ici n'est pas de prouver que ce logiciel est le meilleur ou d'effectuer une proposition d'achat à l'entreprise, mais plutôt d'être capable d'illustrer l'application du concept de gestion des exigences sur un cas concret.

5.2 Choix du logiciel

Le choix du logiciel pourrait influencer l'atteinte ou non des critères de succès en termes de fonctionnalités et de praticité d'utilisation. Cependant, le but est d'appliquer un concept, donc aucun comparatif de logiciel n'a été fait. On peut tout de même citer les principales options aujourd'hui disponibles : Codebook®, déjà acheté par notre entreprise; Onuma Planning System®, utilisé par des départements de santé de la défense américaine; dRofus®, utilisé notamment pour la gestion des projets de Statsbygg en Norvège; d'autres systèmes existent certainement.

Le choix s'est porté sur dRofus®, car c'est une plateforme créée spécialement pour la gestion de projets complexes. De plus, elle a été conçue en étroite collaboration entre Statsbygg, équivalent de notre entreprise en Norvège, et Jotne®, fournisseur de service de technologies de l'information avec notamment des bases de données optimisées pour gérer les fichiers IFC. Son intégration avec le système de gestion de parc immobilier a donc été le facteur déterminant, car c'est une des fonctionnalités qui pourrait surement, à terme, intéresser les gestionnaires immobiliers de notre entreprise. Cette plateforme est bien plus intégrée et compatible avec les besoins des gestionnaires immobiliers que les autres, qui sont plus des outils de planification et d'estimation. L'information est stockée sur les serveurs de dRofus® (concept de base donnée infonuagique) et est donc accessible depuis n'importe quel client disposant d'un accès internet.

5.3 Parallèle entre le PFT et les modules du logiciel

Afin d'avoir une vision des capacités de dRofus®, un schéma de comparaison a été créé (voir ANNEXE III). Ce dernier peut également être utile pour savoir où insérer les exigences habituellement listées dans le PFT. Comme on peut le voir, les propriétés principales du bâtiment peuvent être insérées et contrôler automatiquement (surface, mobilier, équipements mécaniques, etc.). Ensuite, beaucoup des sujets abordés dans le PFT peuvent être stockés dans dRofus® sous forme de texte, mais ne pourront être contrôlés automatiquement. Enfin, quelques sujets spécifiques ne sont pas pris en charge par le logiciel (comme les exigences sur l'automatisme du bâtiment par exemple). Inversement parlant, certaines fonctionnalités n'ont

pas leur équivalent du côté PFT. On verra plus tard dans ce chapitre quelle est leur utilité. L'utilisation d'un tel logiciel va obliger les utilisateurs à changer leurs pratiques et leurs façons de créer les exigences et les requis d'information. En effet, comme on gère maintenant de l'information, des liens se forment entre les modules du logiciel (flèches épaisses bleues). Les exigences vont donc devoir être hiérarchisées et placées sur l'élément exact auxquelles elles correspondent. Pour illustrer cela, prenons l'exemple d'un bureau. Les exigences sont actuellement divisées et dispersées dans plusieurs endroits du PFT : les exigences du client (mobilier, éclairage, accès, etc.), les exigences des concepteurs (surface, finitions des murs sols et plafonds, équipement mécanique, etc.), les exigences techniques (ventilation, électricité, etc.). L'utilisation de la plateforme de gestion des exigences va forcer à remodeler la façon de construire ces exigences. Au lieu d'écrire textuellement « besoin de ventilation sur heure normale de service » sur tous les bureaux, il suffira d'insérer un « item » appelé « grille de ventilation » dans tous les bureaux et de spécifier sur cet item en particulier qu'il doit être alimenté sur les heures normales de service. L'exigence sera donc contenue dans le bureau, via l'insertion de cet item. Ce dernier fera lui-même partie d'un système de ventilation, il faudra donc que ce dernier soit capable de répondre à cette exigence fonctionnelle. Le fait de hiérarchiser et de lier l'information de cette façon permettra d'avoir une meilleure compréhension des exigences et donc d'avoir un produit final plus susceptible d'être aligné avec les besoins exprimés.

Pour effectuer la preuve de concept, les manipulations seront effectuées avec la rigueur nécessaire à l'utilisation d'une telle plateforme et en concordance parfaite avec les informations réelles du projet de rénovation sur lequel cette étude est menée. Pour rester cohérent avec tout le travail déjà effectué pour le montage du concept d'opération et être capable d'illustrer chacun des besoins identifiés, la preuve de concept sera alignée sur les cas d'usage et chacune des étapes suivra la procédure suivante :

- 1) suivant l'ordre chronologique d'un projet réel et les cas d'usage présentés précédemment, choix de l'action à réaliser;
- 2) explication de la source d'information (référence au PFT);
- 3) description des étapes et exposition du résultat;

- 4) explication des changements et de l'intérêt de la pratique.

5.4 Vue générale de l'utilisation de la plateforme de gestion des exigences

Avant de détailler chacune des utilisations du logiciel, une vue générale est donnée par la Figure 5.1 ci-après (disponible en ANNEXE IV également). On peut voir les intrants et extrants d'informations des équipes internes de l'entreprise (puces et flèches noires) et des professionnels extérieurs en général (puces blanches). On peut également voir le modèle BIM évoluant simultanément à l'ajout d'informations dans la plateforme. Comme nous le détaillons dans la suite de cette section, chacune des interactions présentées ci-dessous correspond en fait à un cas d'usage. Cette figure complète la proposition faite au chapitre 4.1, à la différence qu'ici ce sont les fonctionnalités réelles de la plateforme de gestion des exigences qui sont citées et non des tâches génériques. Le parallèle avec la Figure 4.1 peut être fait aisément. Par exemple, la bulle 1 correspond aux 5 intrants d'informations figurant ci-dessous (gabarits, liste de pièces, items, systèmes, standards). La bulle 2 de la Figure 4.1 correspond en 4 intrants d'informations effectués par les professionnels, et ainsi de suite pour le reste des actions.

L'idée générale est que les exigences (du client et de l'entreprise) sont entrées dans la plateforme à la phase de planification et de construction. Les gestionnaires d'actifs ajoutent également à ce moment-là leurs requis d'informations pour la phase d'exploitation. Les professionnels fournissent ensuite les données liées à leurs livrables directement dans la plateforme en suivant les exigences et en fournissant l'information liée aux requis. L'évolution des exigences et de chacun des requis est traçable et accessible pour chaque intervenant lors des phases de planification, de conception et de construction.

Comme la plateforme assure un lien bidirectionnel avec l'environnement BIM, l'utilisation de la plateforme permet de contrôler chacun des intrants et extrants d'information pour chacune des phases et d'assurer le lien entre chacune d'entre elles. De plus, comme la plateforme est utilisée sur toutes les phases du cycle de vie, l'information capturée lors d'une phase (par exemple l'analyse immobilière) devient un intrant d'informations pour la phase suivante (par

exemple la conception). On s'assure donc à la fois de la qualité des livrables des professionnels et de l'information que l'on transmet aux intervenants de la phase suivante (assurance qualité). En plus du contrôle qualité lors de la revue de conception et de la réception du bâtiment, l'utilisation de la plateforme permet d'effectuer un contrôle qualité lors du transfert des données vers la GMAO et aussi lors de la création des documents techniques pour la construction et des appels d'offres. À la fin, les informations capturées tout au long du cycle de vie sont transférées à l'application de GMAO. Ces informations sont issues des modèles BIM « tel que construit » ou bien des différentes mises à jour effectuées directement dans la plateforme.

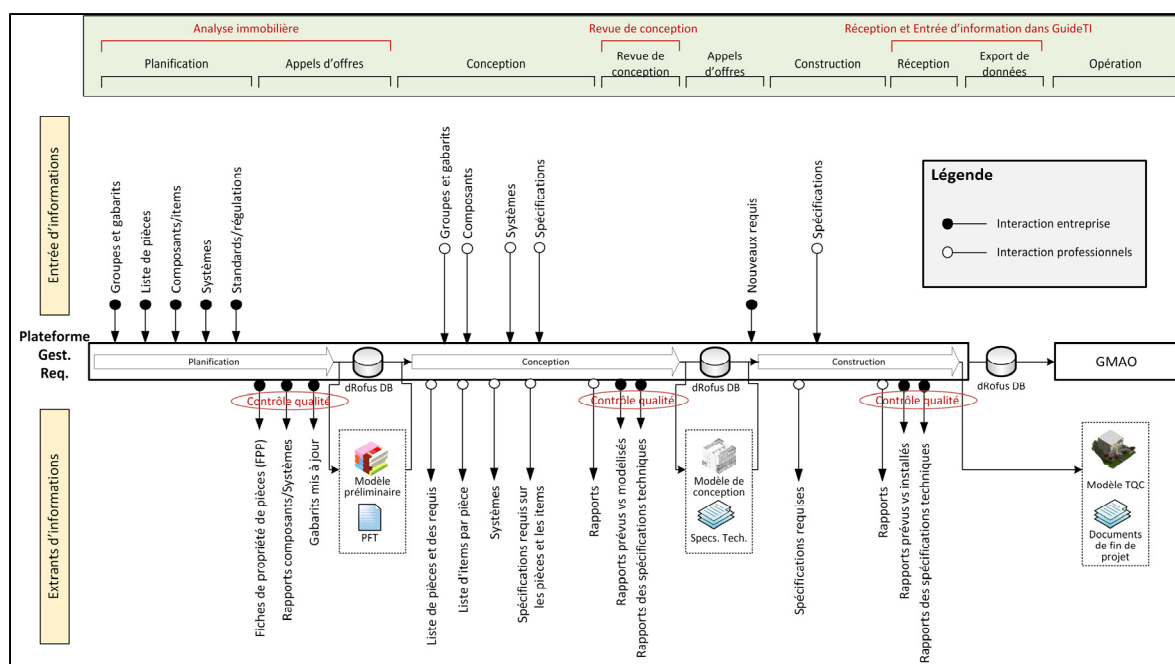


Figure 5.1 Utilisation détaillée de la plateforme de gestion des exigences

Cette figure permet de comprendre le passage du concept d'opération, où la solution était plutôt conceptuelle et générale, à la preuve de concept, où l'action va réellement être menée.

Maintenant que cette transition est claire, chacun des cas d'usages et des actions évoqués dans cette figure et dans la proposition de solution vont être décrits et commentés, en suivant la trame décrite dans la section précédente.

5.5 Exposition des résultats des modifications des pratiques actuelles

L'ensemble de cette section permet au lecteur de suivre la progression logique à suivre pour mener à bien la définition des exigences. À chaque étape, le lien avec l'action traditionnellement effectuée sera exposé.

5.5.1 Analyse immobilière

L'analyse immobilière est l'étape du cycle de vie du projet qui consiste à rassembler les exigences et les requis d'informations et à les communiquer aux professionnels sous (entre autres) la forme d'un PFT. Nous montrerons ici comment l'utilisation de la gestion des exigences change les pratiques actuelles. Tel qu'exposé sur la Figure 5.1, les interactions avec la plateforme pour cette étape du projet consistent à entrer toute l'information de base qui servira au projet : locaux, items, gabarits, systèmes, standards, etc. Des exemples d'utilisation de la plateforme sont donc exposés ici, en utilisant les données du PFT propre au projet sur lequel cette recherche sa base. Tel qu'annoncé dans le concept d'opération, les solutions proposées consistent à structurer l'information dans la plateforme, offrir un moyen aux gestionnaires immobiliers de spécifier leurs requis d'information et enfin un endroit où l'entreprise pourrait définir des gabarits d'information réutilisables.

5.5.1.1 Création de locaux

Comme nous l'avons vu dans les cas d'usage, le point d'entrée d'informations pour l'analyse immobilière est une liste de locaux fournie par le client. Pour effectuer la preuve de concept, nous considérons la liste de locaux du PFT et l'importons dans le système. Contrairement aux anciennes pratiques où les exigences du client sont laissées sous la forme d'un dossier attaché au PFT, elles sont donc ici directement intégrées. Les options d'import sont infinies puisqu'il est possible de créer autant de spécification que désirer. Dans notre cas, nous avons choisi d'importer le nom, le secteur, le numéro et la surface programmée de chaque pièce. Un aperçu du résultat est visible ci-après (Figure 5.2).

La procédure qui sera suivie par les experts internes de l'entreprise sera la suivante :

- réception des nouveaux besoins du client sur la forme d'une liste préliminaire de locaux;
- mise en forme rapide de la liste de locaux;
- import dans la plateforme de gestion des exigences.

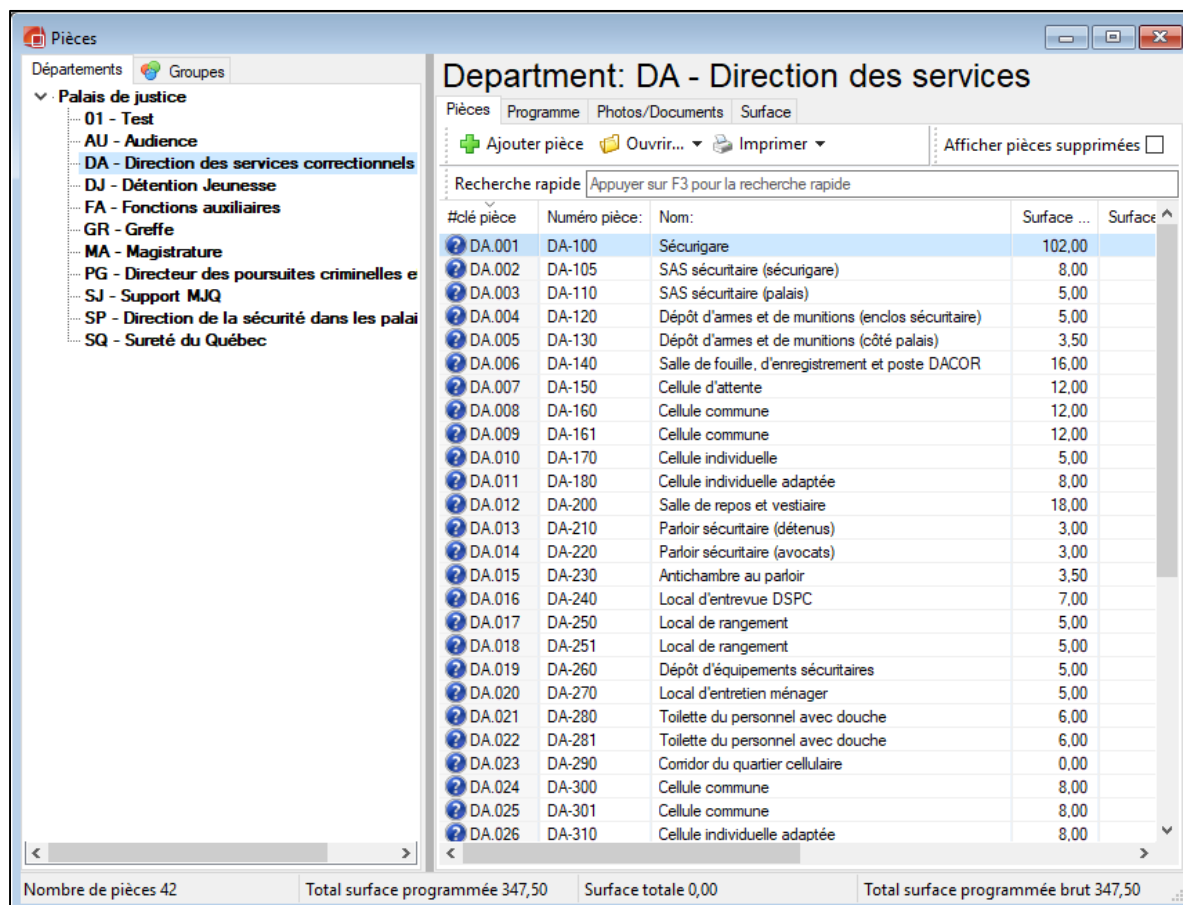


Figure 5.2 Interface « Pièces » de la plateforme de gestion des exigences

On peut remarquer que chaque pièce a une clé unique attribuée par le logiciel. Cette clé est non modifiable et restera l'identifiant unique de la pièce pour toute sa durée de vie même si la pièce est supprimée en cours de projet, car jugée non nécessaire. Ceci permet d'assurer une traçabilité sans faille.

5.5.1.2 Création de gabarits et de groupes

Cette étape peut être réalisée avant l'import des locaux et peut même être ajustée tout au long du projet, mais il est préférable de la commencer le plus tôt possible puisqu'il s'agit ici de retranscrire les besoins du client. L'intérêt d'utiliser des gabarits et des groupes est la capacité à traiter un grand nombre de données automatiquement par la suite. Ce travail préparatoire peut sembler long et fastidieux au départ, mais lorsqu'il s'agira de placer une liste de 40 items dans 60 bureaux, le gain de temps et de rigueur sera visible immédiatement. Pour illustrer ces fonctionnalités, la Figure 5.3 ci-dessous expose les liens entre les groupes, les gabarits et les pièces. On peut voir que les exigences attribuées à des groupes sont de haut niveau. Elles peuvent être appliquées à un gabarit qui peut lui-même spécifier d'autres exigences. Une fois ce gabarit résultant de l'application de plusieurs exigences appliquées aux pièces, ces dernières seront entièrement spécifiées automatiquement.

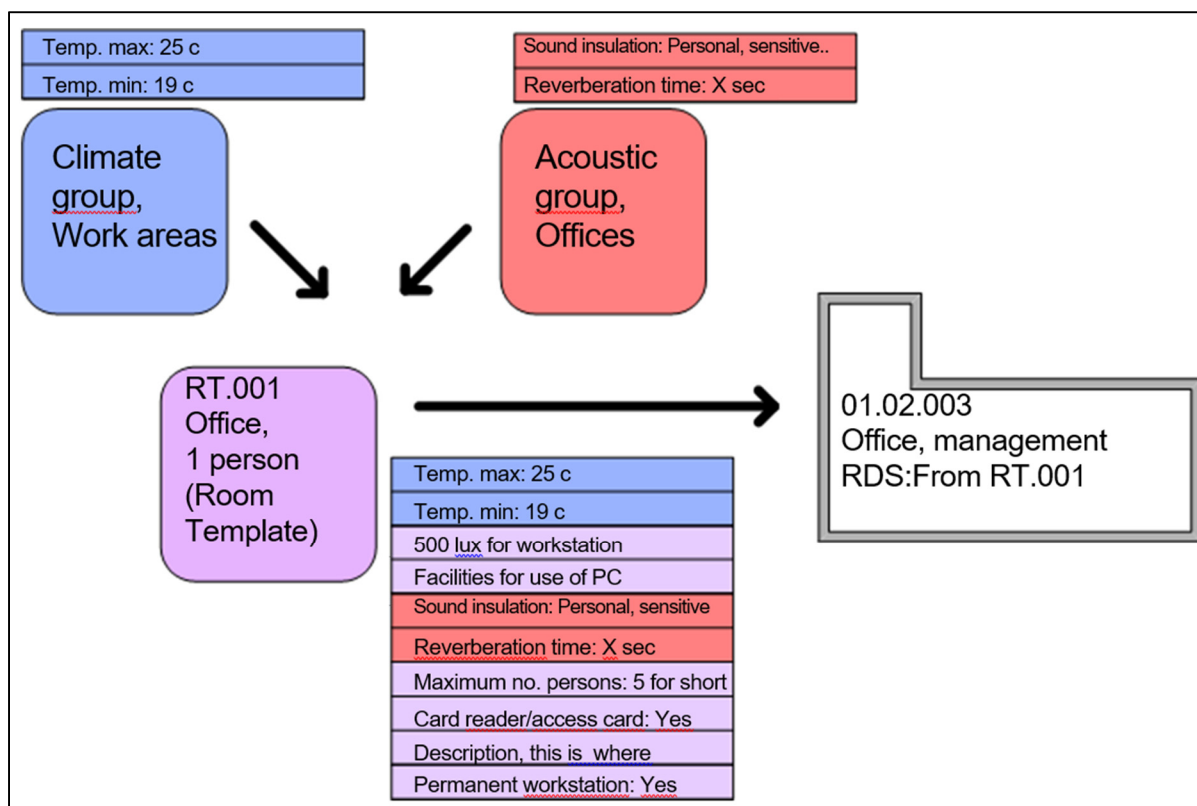


Figure 5.3 Groupes et gabarits de pièces
Tirée de Wiki dRofus : db.nosyko.no/wiki (consulté le 4 Juin 2017)

Pour effectuer la preuve de concept, 3 gabarits de pièces et 3 groupes ont été choisis en fonction de leur intérêt. Les données utilisées ici sont les données réelles du projet. Elles sont tirées des fiches descriptives de locaux et des exigences du client présentées dans le PFT. Les 3 gabarits sont :

- les bureaux de juge résident;
- les bureaux de procureur;
- les salles d'entrevues.

Les 3 groupes choisis sont :

- requis température : Définition des températures pour les bureaux, les salles de réunion et les autres types de locaux. Ce type de requis est souvent commun à plusieurs gabarits (par exemple le requis de température d'un bureau est le même que ce soit pour un bureau de juge résident ou de procureur);
- requis éclairage;
- requis de sécurité avec création d'un onglet spécifique pour montrer la capacité d'adaptation du logiciel : Cléage, mesures spécifiques à un palais de justice, etc. Ces requis sont souvent communs à un secteur en entier, nous pourrions donc l'appliquer directement aux locaux et aux gabarits concernés.

Il est également possible de créer des gabarits de finitions ou d'items, cette fonctionnalité est similaire à celle détaillée ici.

Le scénario réel qui sera suivi par les experts internes à notre organisation sera désormais le suivant :

- réception des requis du client (par exemple pour le palais de justice, des types de pièces, des exigences en termes de mobilier, de portes, de sécurité, d'équipements de communication, etc.);
- structuration de l'information en créant des gabarits de pièces, des groupes d'exigences, des nouveaux champs d'informations dans les fiches des pièces, etc.;
- ajout des exigences dans la structure;

- ajout des exigences développées lors de l'analyse immobilière au fur et à mesure.

Ci-dessous, on peut voir un exemple de résultat d'une pièce créée à partir d'un gabarit étant lui-même affecté par une propriété venant d'un groupe (Figure 5.4). La valeur « 400 lux » vient du groupe « Requis éclairage », qui a été appliqué au gabarit de pièce « Bureau de juge résident ». Enfin, ce gabarit a permis de créer la fiche de la pièce (appelée FPP pour fiche de propriété de la pièce) comme on peut le voir (« From RT.001 » signifie créé à partir du « Room Template 001 », donc du gabarit 001) sur la Figure 5.4.

FPP: MA.001 (MA-100) - Bureau du juge résident (incluant services sanitaires) (From RT.001)

14/05/2017

▼

Sauvegarder

Copier... ▼

Date/Heure

05/05/2017 12:15

Par

sylvainv

Crée

05/05/2017 12:15

Dernière modif.:

05/05/2017 12:15

MA.001 - Bureau du juge résident (incluant services sanitaires) : From RT.001

Fire		Sécurité		Prérequis relationnels		Photos/Documents	
Description	Design/building	Windows and doors	Plumbing	HVAC	El power	ICT, alarm and signal	Acoustics
Supply				Lighting			
Normal supply - single outlets	<input type="text" value="0"/>	<input type="text"/>			Light dimmer	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Reserve power - prioritised supply	<input type="text" value="0"/>	<input type="text"/>			Movement operated	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Uninterrupted Power Supply	<input type="text" value="0"/>	<input type="text"/>			Zone divided lighting	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Special earthing	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>			Night lighting	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Open/available cable caniers	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>			Special lighting	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Special power supplies	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>			Colour temperature	<input type="text" value="0"/> K	<input type="text"/>
1-phase socket, 230 VAC	<input type="text" value="0"/> 25A	<input type="text"/>			Colour rendering	<input type="text" value="0"/> Ra	<input type="text"/>
3-phase fixed, 400 VAC	<input type="text" value="0"/> 16A <input type="text" value="0"/> 32A <input type="text" value="0"/> 63A	<input type="text"/>			Discomfort blending	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text"/>
3-phase socket, 400 VAC	<input type="text" value="0"/> 16A <input type="text" value="0"/> 32A <input type="text" value="0"/> 63A	<input type="text"/>			Lux value	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="400"/> lux	<input type="text"/>
Other supply	<input type="checkbox"/> <input type="text"/>			Other			

B

I

U

☰

☷

☱

🖨

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

🖱

?

Special grounding different from project default.

↕

↕

Fermer

Figure 5.4 Exemple de pièce créée avec l'utilisation des gabarits et des groupes

L'utilisation de ces fonctionnalités change l'approche à adopter pour la définition des exigences du projet. Elle permet de construire le modèle pas à pas sans devoir recommencer depuis le départ et permet aussi de définir des exigences mêmes si le nombre de pièces exactes n'est pas encore connu. Par exemple, au lieu d'écrire un paragraphe dans le PFT expliquant les exigences en termes d'éclairage dans les circulations du bâtiment, il suffit d'ajouter cette information dans un groupe et l'information restera présente et utilisable tout au long du projet. À l'étape d'analyse immobilière, les experts internes ne peuvent pas faire de liste exhaustive du nombre de pièces qu'il y aura dans le bâtiment. L'intérêt est donc d'être capable de définir des exigences sur des éléments n'étant pas encore conçus complètement puis d'appliquer ces exigences lorsqu'ils seront créés à l'étape de conception.

5.5.1.3 Création d'items et de vues

Tel qu'expliqué au début de ce chapitre, la définition des exigences et la traduction des besoins du client passe par la création d'items. Ces items représentent des objets physiques présents dans le bâtiment, comme des meubles, des équipements mécaniques ou des portes, mais également des objets liés à la finition comme la peinture, le type de sol ou de plafond. Le but est d'être aligné avec l'environnement de production des modèles BIM et d'être capable de capturer toute l'information désirée sur ces items, tout en étant capable de transmettre les exigences.

Pour réaliser la preuve de concept, deux orientations seront développées pour cette étape du processus :

- la création d'items de mobilier pour illustrer la capacité d'autocontrôle que propose la plateforme de gestion des exigences;
- la création d'un item lié à un équipement mécanique pour illustrer la capacité de capture et d'export d'informations du logiciel, dans le but d'expérimenter l'import d'informations dans le système de GMAO.

Pour réaliser la preuve de concept, nous créerons les items précisés sur les fiches spécifiques du PFT relatives aux gabarits créés précédemment. L'équipement mécanique choisi pour montrer la capacité de définition, de communication et de capture d'informations pour la gestion immobilière est une unité de ventilation. Comme prévu au concept d'opération, c'est dès l'analyse immobilière que les exigences des gestionnaires d'actifs seront prises en compte via la création de champ de données dans la plateforme. Une fois cette modification logicielle effectuée, elle sera sauvegardée et réutilisable sur tous les projets de l'entreprise.

Lorsque les items sont créés (manuellement ou par import d'Excel®) et placés dans les gabarits, ils sont automatiquement affectés aux pièces auxquelles le gabarit est lié. On peut alors connaître le nombre d'occurrences de l'item dans le bâtiment, consulter la liste d'équipements présents dans la pièce, etc. La plateforme de gestion des exigences propose aussi un outil de vérification de la cohérence entre les exigences de la pièce et dans des items placés à l'intérieur de celle-ci. On peut par exemple s'assurer qu'il y a un nombre suffisant de prises pour brancher tous les appareils, vérifier que les réseaux d'eau ou d'air desservent bien la pièce pour pouvoir y connecter un élément mécanique, etc. On peut voir ci-après (Figure 5.5) un exemple du résultat obtenu sur le local présenté précédemment.

Department: MA - Magistrature

Recherche rapide: Appuyer sur F3 pour la recherche rapide

#clé pièce	Numéro pièce:	Nom:	Surface ...	Surface modél...	FPP: Statu
MA.001	MA-100	Bureau du juge résident (incluant services sanitaires)	32,00	0,00	From RT.C
MA.002	MA-101	Bureau du juge résident (incluant services sanitaires)	32,00	0,00	From RT.C
MA.003	MA-102	Bureau du juge résident (incluant services sanitaires)	32,00	0,00	From RT.C
MA.004	MA-103	Bureau du juge résident (incluant services sanitaires)	32,00	0,00	From RT.C

MA.001 - Bureau du juge résident (incluant services sanitaires)

Numéro item:	Nom:	Liste items:	Quantité:	Priorité:	Responsab...
02.02.003	Comptoir de vanité	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.02.004	Pupitre	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.02.005	Meuble informatique	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.02.006	Bahut	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.02.007	Bibliothèque	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.02.008	Causeuse	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.02.009	Table basse	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.02.010	Fauteuil	Default Items List	3	0	DEFAULT
02.03.001	Distributeur à savon	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.002	Distributeur à papier mains	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.003	Miroir	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.004	Poubelle à papier mains	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.005	Distributeur de papier hygiénique	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.006	Crochet à vêtements	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.007	Porte-serviette	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.008	Poubelle bureau	Default Items List	1	0	DEFAULT
02.03.009	Pôle à vêtements	Default Items List	1	0	DEFAULT

Nombre de pièces 22 Total surface programmée 455,50 Surface totale 0,00 Total surface programmée brut 455,50

Figure 5.5 Exemple de liste d'items présents dans une pièce

Afin de compléter la définition des exigences et de gérer avec rigueur le processus de conception, une nouvelle tâche apparaît avec l'adoption d'une plateforme de gestion des exigences : la gestion des accès et des vues métier. La création des vues et des rôles dans la plateforme est à faire avant de donner l'accès aux professionnels. Cette fonctionnalité est primordiale pour rester maître de l'évolution et de la définition des exigences. Par exemple, après la création du rôle « Courants forts », seuls les items faisant partie de la liste correspondante seront modifiables par les professionnels ayant ce rôle. Cela permet aussi de séparer les exigences d'une pièce en catégorie : items liés aux portes, aux finitions, aux meubles, etc.

Une fois l'analyse immobilière terminée, les exigences relatives au projet sont donc entièrement renseignées à l'intérieur de la plateforme et seront transmises via un accès paramétré et choisi. On évite ainsi les gaspillages de temps en manipulation de documents de types Word ou PDF, en recherche d'informations et en export.

5.5.2 Revue de conception

Les solutions proposées pour cette phase du cycle de vie consistent à connecter la plateforme de gestion des exigences à l'environnement de production et y récupérer l'information ; permettre aux experts internes et aux gestionnaires immobiliers d'effectuer des vérifications automatiques et de simplifier le flux d'information entre les intervenants de cette phase. Sur la Figure 5.1, les interactions à la plateforme correspondantes à cette étape du cycle de vie consistent à la génération de rapports automatique liés à l'atteinte des exigences ou non. Comme la génération de ces rapports n'est possible que si la plateforme a été utilisée pendant la conception, nous montrerons également les deux principaux modules à utiliser : la liaison des pièces et la liaison des items.

La revue de conception va être impactée par l'adoption de la plateforme de gestion des exigences, surtout sur l'aspect de l'accès à l'information. Grâce à l'utilisation d'une plateforme de gestion des exigences, les informations contenues dans les modèles BIM seront accessibles et contrôlables. Certains des changements impacteront également la façon dont les professionnels externes seront amenés à travailler. La rigueur nécessaire à l'utilisation d'un tel outil sera en effet transmise à ces derniers et les obligera à fournir une information structurée et alignée avec les exigences définies dans la plateforme à l'étape précédente. Bien sûr, le travail continue sur la même base de données.

5.5.2.1 Définition de la configuration des attributs

La liaison des pièces et des items est la base du lien existant entre la plateforme de gestion des exigences et l'environnement de production. Le dialogue entre les deux bases de données se fait à l'aide d'un plug-in et en fonction des identifiants uniques attribués à chaque objet. Ces

échanges sont régis par la configuration des attributs (voir Figure 5.6). Cette configuration est primordiale à la bonne utilisation de la plateforme. Cette étape sera une nouvelle tâche à réaliser par les équipes internes de l'entreprise. Comme on peut le voir, on y définit chacun des attributs devant être poussés vers l'environnement de production et ceux devant être importés dans la plateforme. La définition de ces liens remplace une partie des exigences de livrables demandés aux professionnels pour la revue de conception. Par exemple, la surface de chacune des pièces, la surface totale du bâtiment, les équipements proposés, ou les finitions choisies par les professionnels pourront être directement capturés depuis l'environnement de production vers la plateforme.

Pour effectuer cette preuve de concept, une nouvelle exigence d'information a tout d'abord été ajoutée au logiciel, à savoir le niveau auquel la pièce se situe. Ensuite, une nouvelle ligne a été créée dans la définition des attributs pour permettre de capturer cette information depuis l'environnement de production. Une fois cette configuration effectuée, la liaison des pièces et des items peut être effectuée. Ces deux étapes sont détaillées dans les sections suivantes.

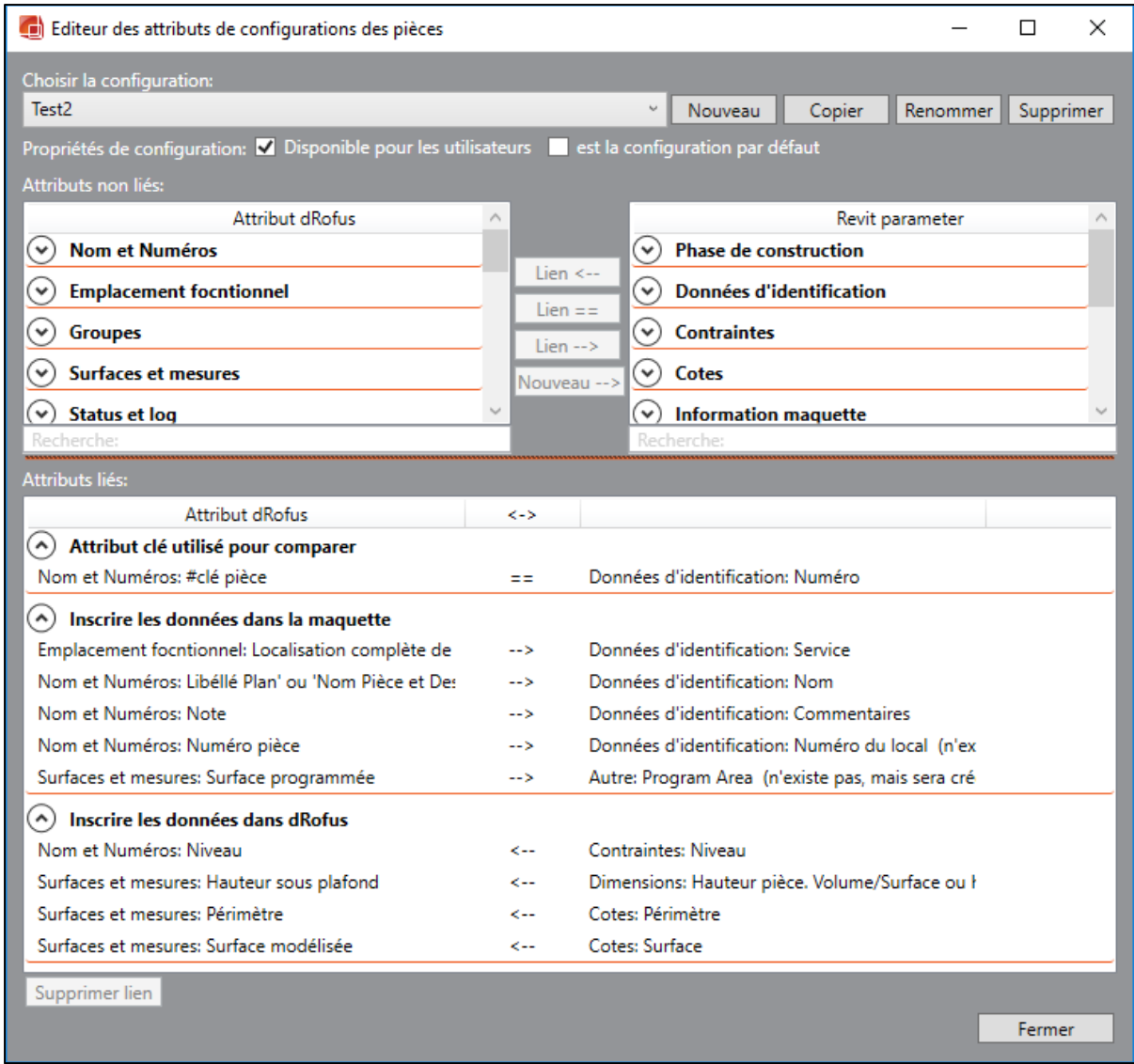


Figure 5.6 Configuration des échanges de données

5.5.2.2 Liaison des pièces

Grâce au plug-in de la plateforme installé dans l'environnement de production, chaque changement est enregistré par ce dernier et les données sont comparées à chaque synchronisation pour les inscrire dans la base de données en tant que nouvelles données, ou données modifiées. Grâce à cette option de suivi, le processus de conception n'est jamais détaché de la plateforme de gestion des exigences. Pour les pièces, le changement sera

fortement visible. En effet, à chaque nouvelle création de pièce, une fenêtre apparaît sur l'écran (voir Figure 5.7 ci-dessous) et oblige les professionnels à lier ce nouvel espace à la plateforme.

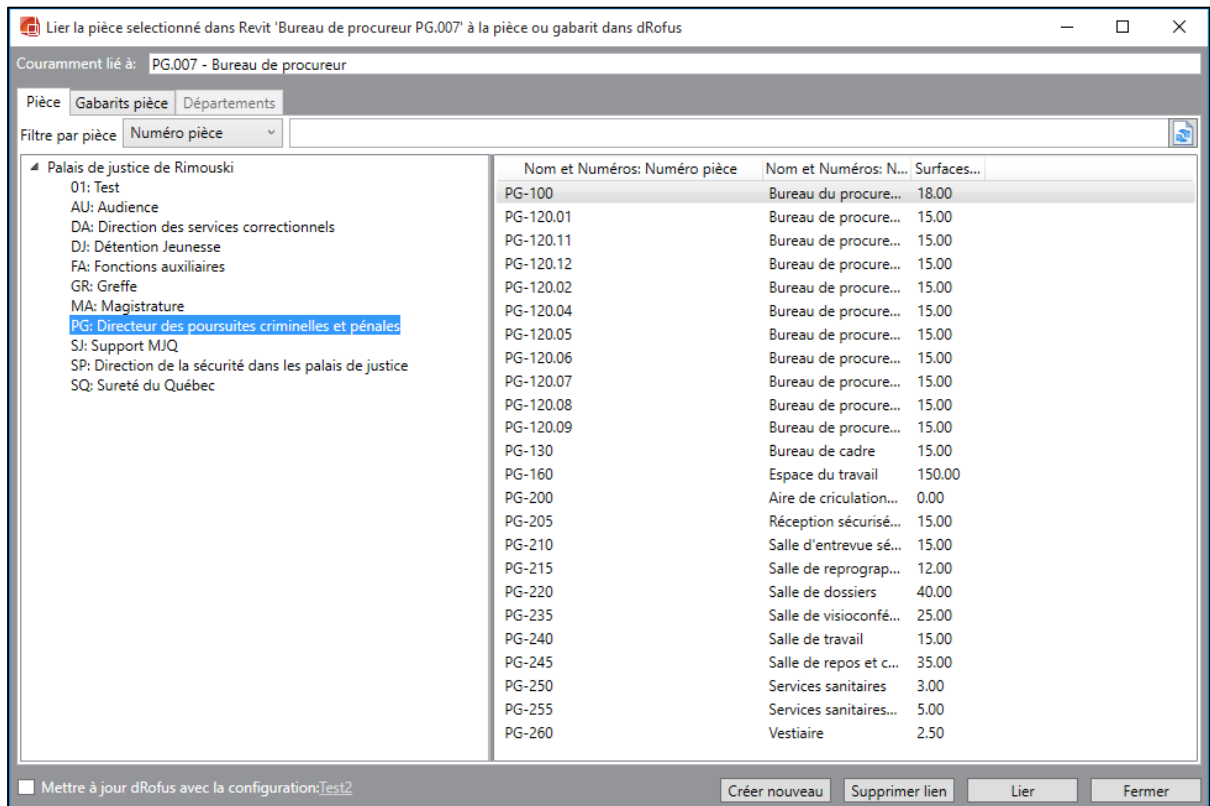


Figure 5.7 Liaison des pièces à la plateforme de gestion des exigences

On s'assure ainsi que les exigences sont bien transmises aux professionnels et également que les nouveautés créées lors de la conception du bâtiment sont bien capturées et seront donc accessibles facilement. Après avoir lié les locaux, on peut constater la capture des informations désirées dans la plateforme (par exemple sur la Figure 5.8, on voit l'information du niveau, la surface modélisée, le périmètre, etc.).

PG.007 - Bureau de procureur

Info clé pièce | Note | Item | Photos/Documents

Emplacement: Department: PG - Directeur des poursuites criminelles et pénales
Statut: Créé: 04/05/2017 22:10 par: sylvainv / Modifié: 08/05/2017 14:08 par: sylvainv

Nom et Numéros
 Numéro-clé pièce: PG.007
 Nom pièce: Bureau de procureur
 Description nom pièce:
 Numéro pièce: PG-120.03
 Numéro de pièce client:
 Numéro additionnel:
 Libellé plan:
 Niveau: NIVEAU 1

Groupes
 Requis électriques: Bureaux
 Requis sécurité:
 Requis température: Bureaux

Surfaces et mesures
 Surface programmée: 15,00
 Surface programmée brut: 15,00
 Surface modélisée: 15,91
 Hauteur sous plafond: 4,30
 Périmètre: 18,04

Fermer Sauvegarder

Figure 5.8 Informations disponibles sur une pièce après sa liaison à l'environnement de production

5.5.2.3 Capture des informations sur les équipements : liaison des familles

Lors de la conception du bâtiment, les items définis lors de l'analyse immobilière sont réellement modélisés par les professionnels. Les informations générées doivent donc être capturées et contrôlées. Pour ce faire, il faut indiquer le lien existant entre les familles de composants de l'environnement de production et les items créés dans la plateforme. Les objets utilisés seront alors reconnus comme étant égaux aux items de la plateforme et le logiciel pourra guider les professionnels dans la définition de leur modèle. La plateforme sera alors capable de :

- indiquer si les items programmés dans la pièce sont bien présents;
- récupérer les nouveaux items créés par les professionnels en cours de conception;
- faire le lien entre les attributs des composants présents dans le modèle et les champs de données des items de la plateforme (via le paramétrage des liens d'attributs).

La gestion des items est donc très importante, car elle regroupe plusieurs pratiques :

- la proposition de conception effectuée par les professionnels traditionnellement sous la forme de devis techniques sera effectuée via l'ajout de nouveaux items dans la plateforme;
- le contrôle du respect des exigences;

- la possibilité de capturer l'arborescence des systèmes mécaniques afin de pouvoir transmettre le lien parent/enfant sur les réseaux de ventilation, de chauffage, d'électricité ou d'eau sanitaire.

Pour réaliser cette preuve de concept, la liaison a été faite entre les items créés au chapitre 5.3.1.3 et les objets Revit® correspondants. Une fois cette liaison effectuée, il est possible de récupérer toute l'information générée dans la maquette et la contrôler. Cette étape est détaillée dans la section suivante.

5.5.2.4 Contrôle de l'atteinte des exigences

La plus grande force de la gestion des exigences est de pouvoir suivre et contrôler l'évolution des requis. Le rôle des experts internes est d'effectuer ce contrôle lors de revues de conception. Leurs pratiques vont donc changer avec l'adoption de la gestion des exigences. Le contrôle pourra être effectué à l'aide de la plateforme et, comme il est précisé en Annexe II, il sera possible de contrôler automatiquement les surfaces des pièces, les items, les systèmes et les spécifications des derniers.

Pour illustrer ces propos et continuer avec cohérence cette preuve de concept, les exemples qui sont exposés ci-après portent sur le contrôle des équipements de mobilier d'un bureau de procureur (qui a été défini via des groupes et un gabarit). La Figure 5.9 expose le résultat visible directement dans l'environnement de production (Revit® dans ce cas) lorsqu'un bilan de quantité est demandé. Ici, les items considérés sont les éléments de mobilier, mais il aurait pu s'agir des éléments mécaniques, des modèles de portes, des finitions, etc. Les experts internes de l'organisation auront un moyen efficace de contrôler exactement chacun des requis, de façon automatique.














La liste d'item de la pièce: PG.007 / PG-120.03 - Bureau de procureur			
Aperçu	Revit	dRofus	Actions
	Mobilier: Bureau 72"x36" (58) Compte dans modèle: 1	02.02.011 Bureau 36" x 72" Planned Count: 1	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: Bahut avec caissons et bibliothèque 20" x 72" (59) Compte dans modèle: 1	02.02.012 Bahut 20" x 72" Planned Count: 1	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: Bureau d'ordinateur 60" x 20" Compte dans modèle: 1	02.02.013 Retour multi-usage 20" x 60" Planned Count: 1	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: Table ronde Table Ronde 42" (61) Compte dans modèle: 1	02.02.014 Table circulaire 42" Planned Count: 1	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: caisson autoportant sur roulette 410x480mm (63) Compte dans modèle: 1	02.02.016 Caisson sur roulettes Planned Count: 1	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: Bibliothèque 915 (L) x 305 (P) (65) Compte dans modèle: 1	02.02.018 Bibliothèque métallique Planned Count: 1	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: Fauteuil_multi Avec bras (66) Compte dans modèle: 1	02.02.019 Fauteuil multitâche Planned Count: 1	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: fauteuil de réunion fauteuil de réunion (67) Compte dans modèle: 4	02.02.020 Fauteuil salle de réunion Planned Count: 4	Montrer dans le modèle Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Mobilier: Classeur 36"x18" (64) Compte dans modèle: 0	02.02.017 Classeur latéral 4 tiroirs Planned Count: 1	Placer Sauver la famille Montrer dans dRofus
	Pas de symbole de famille	02.03.011 Porte-clavier inclinable 10" x 30" Planned Count: 1	Lier le type Montrer dans dRofus
		02.03.008 Poubelle bureau Not to be modeled, but planned 1	Montrer dans dRofus
		02.03.010 Corbeille à papier Not to be modeled, but planned 1	Montrer dans dRofus
		02.03.012 Patère Not to be modeled, but planned 1	Montrer dans dRofus
Options... Synchroniser les Mettre à jour d Mettre à jour d Rafraichir Fermer			

Figure 5.9 Comparaison de quantités entre items prévus et items dans le modèle

Une vue plus globale peut également être générée sous forme de tableau où les différences de quantités sont mises en avant (Figure 5.10). Cela améliorera l'efficacité du contrôle lorsque le nombre de données à traiter est important.

The screenshot shows a software window titled "Equipelement Planifié VS Modélisé". It contains a table with columns: Numéro Pièce Revit, Nom de pièce Revit, Item dRofus: Numéro, Item dRofus: Nom, Famille, Type, Planifiée, Modélisé, and Différence. The table lists various items like "Bureau de procureur", "Porte-clavier", "Classeur", "Patère", "Corbeille", "Poubelle", "Bibliothèque", "Caisson", "Table", "Fauteuil", and "Retour multi-usage", comparing their planned and modeled quantities and highlighting differences.

Numéro Pièce Revit	Nom de pièce Revit	Item dRofus: Numéro	Item dRofus: Nom	Famille	Type	Planifiée	Modélisé	Différence
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.03.011	Porte-clavier inclinable 10" x 30"			1	0	-1
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.017	Classeur latéral 4 tiroirs			1	0	-1
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.017	Classeur latéral 4 tiroirs			1	0	-1
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.03.012	Patère			1	0	-1
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.03.010	Corbeille à papier			1	0	-1
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.03.008	Poubelle bureau			1	0	-1
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.03.008	Poubelle bureau			1	0	-1
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.03.010	Corbeille à papier			1	0	-1
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.03.012	Patère			1	0	-1
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.018	Bibliothèque métallique	Mobilier: Bibliothèque	915 (L) x 305 (P) (65)	1	0	-1
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.03.011	Porte-clavier inclinable 10" x 30"			1	0	-1
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.016	Caisson sur roulettes	Mobilier: caisson autoportant sur roulette	410x480mm (63)	1	1	0
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.014	Table circulaire 42"	Mobilier: Table ronde	Table Ronde 42" (61)	1	1	0
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.019	Fauteuil multitaçe	Mobilier: Fauteuil_multi	Avec bras (66)	1	1	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.011	Bureau 36" x 72"	Mobilier: Bureau	72"x36" (58)	1	1	0
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.020	Fauteuil salle de réunion	Mobilier: fauteuil de réunion	fauteuil de réunion (67)	4	4	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.016	Caisson sur roulettes	Mobilier: caisson autoportant sur roulette	410x480mm (63)	1	1	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.018	Bibliothèque métallique	Mobilier: Bibliothèque	915 (L) x 305 (P) (65)	1	1	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.014	Table circulaire 42"	Mobilier: Table ronde	Table Ronde 42" (61)	1	1	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.012	Bahut 20" x 72"	Mobilier: Bahut avec caissons et bibliothèque	20" x 72" (59)	1	1	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.013	Retour multi-usage 20" x 60"	Mobilier: Bureau d'ordinateur	60" x 20"	1	1	0
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.013	Retour multi-usage 20" x 60"	Mobilier: Bureau d'ordinateur	60" x 20"	1	1	0
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.011	Bureau 36" x 72"	Mobilier: Bureau	72"x36" (58)	1	1	0
PG.027	Bureau de procureur PG.027	02.02.012	Bahut 20" x 72"	Mobilier: Bahut avec caissons et bibliothèque	20" x 72" (59)	1	1	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.019	Fauteuil multitaçe	Mobilier: Fauteuil_multi	Avec bras (66)	1	1	0
PG.007	Bureau de procureur PG.007	02.02.020	Fauteuil salle de réunion	Mobilier: fauteuil de réunion	fauteuil de réunion (67)	4	4	0
PG.027	Bureau de procureur PG.027			Mobilier: Classeur	36"x18" (0)	0	1	1
PG.027	Bureau de procureur PG.027			Mobilier: PODIUM JUGE RC 1.04	PODIUM JUGE RC 1.04	0	2	2

Figure 5.10 Contrôle de quantité global (ici sur un niveau entier)

Enfin, en plus d'être capable de contrôler la présence ou non des items et leurs niveaux de spécifications, il est possible de capturer les liens entre eux. Cela est possible grâce à la définition des systèmes dans Revit® et dans la plateforme de gestion des exigences. Un système est une fonctionnalité à part entière et permet d'illustrer, de définir et de spécifier les liens entre chaque item, par exemple entre une unité de ventilation et les diffuseurs, entre un tableau électrique principal et les tableaux secondaires ou la liaison avec chaque luminaire, etc. La définition des systèmes peut être faite dès l'étape d'analyse immobilière et être donc considérée comme une exigence au projet. L'exemple illustré ci-après montre l'utilisation de cette fonctionnalité utilisée en mode « capture de données ». Pour exploiter cette fonction, les items et les pièces dans lesquelles ils se situent doivent toutes être liés à la plateforme. Cela obligera donc les professionnels à avoir une maquette robuste.

Sur la Figure 5.11 ci-dessous, le bureau précédemment créé et lié est desservi en air réchauffé ou refroidi par une thermopompe. Capturer cette information est très utile, car elle sera ensuite utilisée par les gestionnaires des installations du bâtiment pour effectuer les opérations d'entretiens et de maintenance.

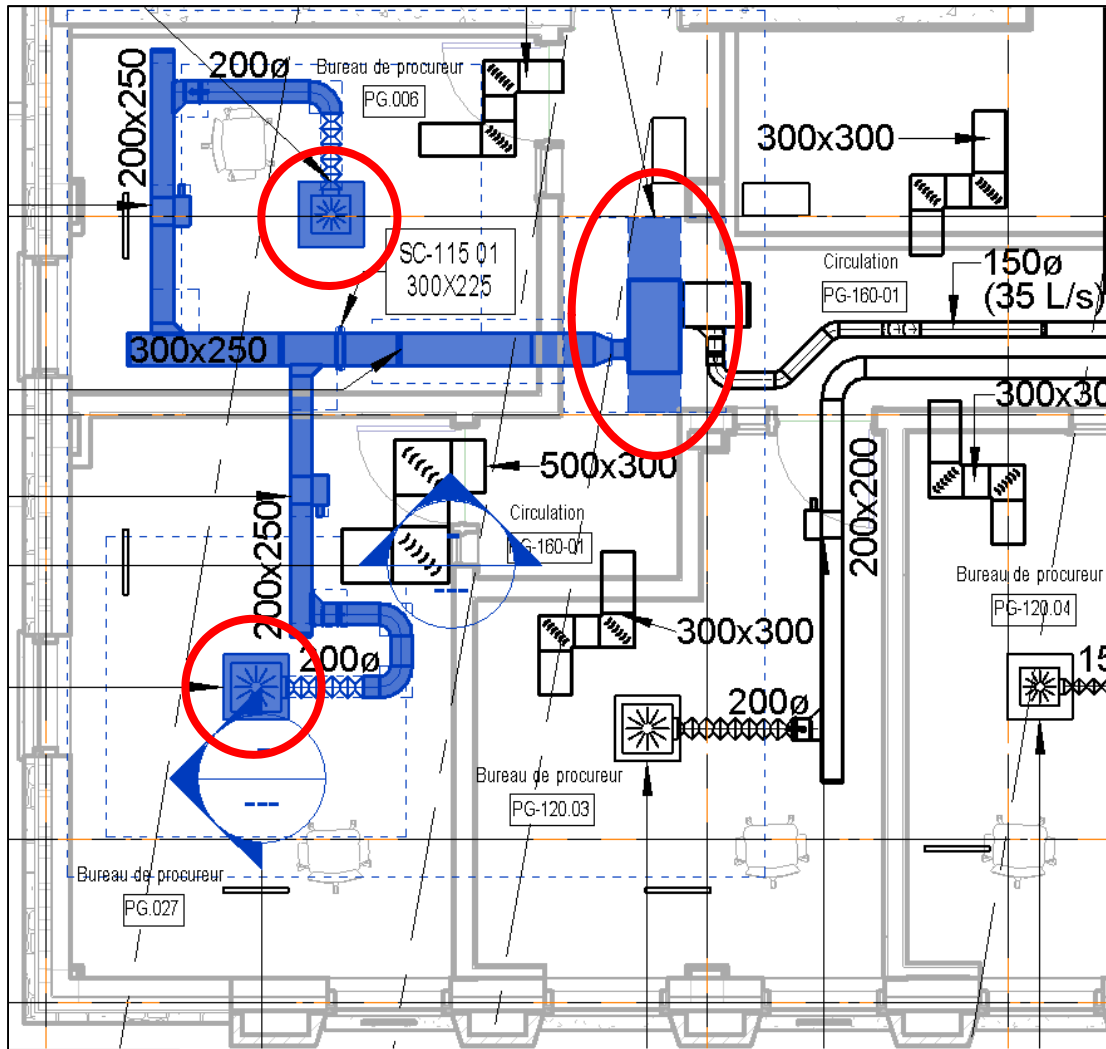


Figure 5.11 Extrait de plan Revit® mettant en avant le système de ventilation de deux bureaux

Sur la Figure 5.12 on peut voir que le lien entre la thermopompe a bien été capturée par la plateforme, cette information sera utile pour l'entretien des équipements. Grâce aux liens entre les modules, un clic sur la thermopompe permet d'afficher les items liés (ici les deux diffuseurs

identifiés précédemment), d'avoir une vue graphique du système, de connaître les pièces desservies par cet équipement (ici PG.027 et PG.006) et également d'avoir toutes les caractéristiques de ces équipements si on ouvre la fiche spécifique de ce dernier.

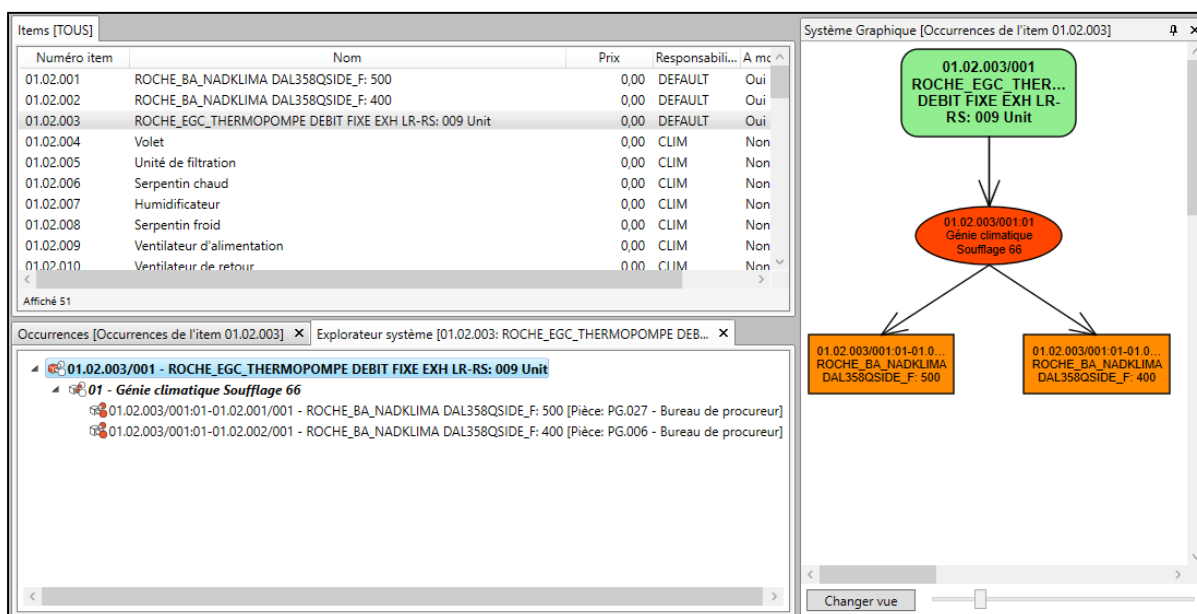


Figure 5.12 Capture des systèmes de Revit®

5.5.3 Passation d'information

Les modifications des pratiques exposées pour la revue de conception seront les mêmes pour la construction. Il s'agira essentiellement de s'assurer que les informations exigées sont bien fournies par l'entrepreneur général (par exemple les procédures d'entretien, la durée de garantie, etc.). Une fois toute cette information capturée, le transfert vers l'outil de GMAO pourra être effectué. Ici encore, l'utilisation de la plateforme de gestion des exigences va changer les pratiques puisqu'il n'y a actuellement pas de transfert. En forçant les professionnels à utiliser la plateforme, l'information sera centralisée et au format exigé par les gestionnaires immobiliers. Le dépôt de l'information dans la plateforme peut se faire de façon automatique à l'aide de tableau Excel formaté de façon à correspondre avec les champs d'informations. La mise à jour des attributs se fait alors de façon automatique et les

professionnels n’auront pas besoin d’utiliser Revit® et de renseigner chacun des équipements dans le modèle.

Pour terminer cette preuve de concept, l’équipement mécanique créé à l’étape d’analyse immobilière a été peuplé grâce aux informations réelles du projet. Ensuite, un export au format Excel a été effectué. Comme on le voit ci-dessous (Figure 5.13), seuls les champs d’informations créés spécialement pour cet équipement sont choisis grâce à l’export complètement personnalisable.

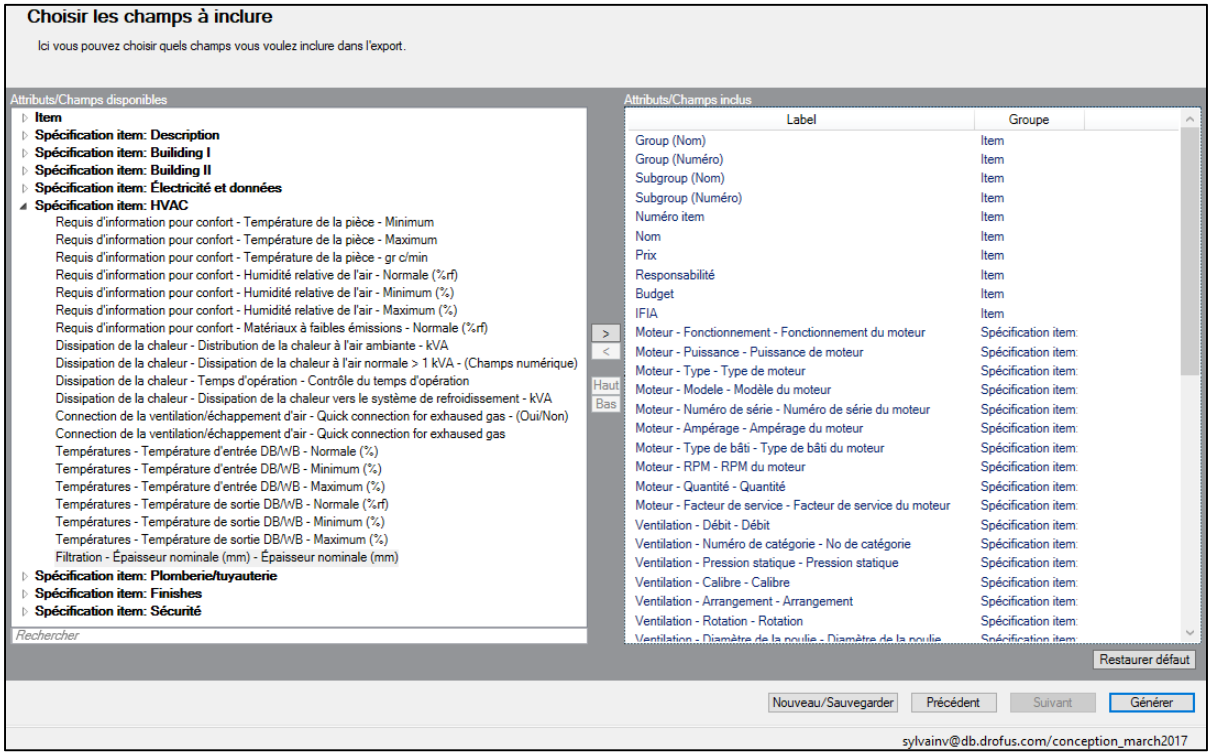


Figure 5.13 Export personnalisé des items contenus dans la plateforme

Enfin, comme GuideTI accepte l’import d’Excel®, il suffit de rendre l’export compatible avec le gabarit d’import pour importer l’information. Le transfert de données est ainsi assuré. L’entrée d’informations ne sera plus manuelle et étalée sur une longue période, mais sera maintenant gérée par des manipulations de fichiers Excel®. De plus, l’information sera fiable puisqu’elle aura été contrôlée et suivie tout au long du cycle de vie du bâtiment. Une fois ce

transfert effectué, l'utilisation de la plateforme de gestion des exigences s'arrête et l'information est par la suite gérée dans le système de GMAO.

5.6 Validation

Tel qu'indiqué par Lukka (2000) une validation empirique de l'artefact par son déploiement n'est pas possible dans le contexte d'un projet de recherche étudiant, particulièrement un mémoire. Il propose une présentation et une réponse positive de l'industriel comme suffisantes pour démontrer la validité de l'artefact présenté. Une présentation de cette solution a été faite le 29 Mai 2017 aux directeurs de gestion de projet, gestion immobilière et de services informatiques. Cette présentation de 45 minutes présentait le travail de l'équipe de recherche sur le projet de rénovation du palais de justice, donc les résultats de ce projet de recherche également. La partie de la présentation liée à cette étude était l'aspect pratique et les résultats encourageants obtenus grâce à l'utilisation de la plateforme de gestion des exigences. Le retour des acteurs concernés par la solution fut positif puisqu'ils ont compris l'intérêt de s'orienter vers ce type de gestion de l'information et ont décidé de poursuivre leurs efforts dans l'adoption du BIM, la définition des requis d'informations et la prise en compte de la gestion des exigences dans leurs processus.

En résumé, par rapport aux objectifs qui ont été définis pour la plateforme, les constats sur les résultats de la preuve de concept sont les suivants :

Amélioration du regroupement et de la communication des exigences :

L'utilisation des groupes, des différents gabarits et du plug-in Revit® permettent d'adresser ce point de façon complète.

Possibilité de prendre en compte les exigences des gestionnaires d'actifs :

La personnalisation des fiches descriptives des items et l'utilisation des groupes permet d'intégrer leurs exigences de façon efficace. De plus, une fois le travail de modification du

logiciel effectué, les exigences seront définies pour tous les autres projets de l'organisation. Le temps investi en premier lieu sera donc très vite rentabilisé.

Récupération automatique des informations produites dans l'environnement de production :

La configuration des attributs et le plug-in Revit® permettent de récupérer toutes les informations désirées en tout temps.

Possibilité de transfert automatique de données vers le système de GMAO :

Le transfert de données est possible, mais n'est pas automatique dans le sens où l'intégration n'est pas parfaite et où ce transfert nécessite des manipulations de fichiers. Cependant, les pratiques actuelles seraient grandement améliorées par l'adoption d'un tel système.

5.7 Discussion

Cette recherche a permis d'explorer et de documenter l'application d'un concept encore peu utilisé dans la construction, la gestion des exigences, pour automatiser la capture de l'information requise pour les systèmes de GMAO. Plusieurs constats peuvent être faits suite à cette expérimentation. Dans un premier temps, nous développerons en liant la solution à la revue de littérature et en expliquant comment elle se démarque, puis nous exposerons le changement qu'elle pourrait engendrer entre la gestion immobilière et la gestion de projet pour finir par résumer comment elle va affecter les pratiques actuelles à l'interne et avec la chaîne d'approvisionnement.

Afin de lier la solution aux problèmes évoqués lors de l'exposé sur le contexte d'affaires et la revue de littérature, le Tableau 3.1 est repris en faisant cette fois-ci le lien avec l'action prise dans ce projet avec les résultats de la recherche (Voir Tableau 5.1 ci-après).

Tableau 5.1 Résumé des solutions proposées par rapport aux problèmes observés dans la littérature

Problème observé dans la littérature	Solution proposée par l'utilisation d'une plateforme de gestion des exigences
Séparation de la gestion de projet et la gestion immobilière (Eastman et al., 2011; Preiser et Vischer, 2006)	La définition des exigences et des requis d'informations est faite sur une seule et même base de données. Chaque intervenant du projet peut ajouter les exigences propres à son expertise de façon structurée. Ainsi, la continuité du flux d'information est assurée via la plateforme.
Difficulté d'accès à l'information pour les gestionnaires d'actifs (Koskelo, 2005)	Les gestionnaires d'actifs pourront définir leur requis d'informations dès le début du projet via la plateforme et surtout, récupérer celle-ci à la fin de la construction pour alimenter le système de GMAO.
Richesse des modèles BIM non exploités (Buckley et al., 2015)	La plateforme est connectée aux modèles BIM et offre un lien bidirectionnel avec ceux-ci. L'information est donc captée et enregistrée dans la plateforme, indépendamment de la phase dans laquelle on se situe. Ce lien permet d'accéder à la richesse informationnelle des modèles créés par les professionnels et de la contrôler.

Cette recherche a permis de confirmer les visions émises par certains auteurs cités dans la revue de littérature quant à la nécessité de prendre en compte les exigences des gestionnaires d'actifs dans les phases précédentes (Love et al., 2014). L'utilisation de la gestion des exigences avait déjà été évoquée comme une possible solution à l'atténuation du problème de séparation entre gestion de projet et gestion immobilière (Kiviniemi et Fischer, 2005), mais n'avait pas fait l'objet d'une opérationnalisation du concept sous forme d'un artefact et d'une expérimentation. Cette recherche présente un exemple d'utilisation sur un cas concret et confirme l'opportunité de la plateforme de gestion des exigences non seulement pour contrôler les exigences de projet, mais aussi pour capturer les requis d'informations des gestionnaires d'actifs.

Un des problèmes majeurs à adresser était la rupture de flux d'informations entre la gestion de projet et la gestion immobilière. La plateforme de gestion des exigences résout en grande partie cette préoccupation en réunissant les deux parties de l'entreprise autour d'un même outil. Les personnes ne seront pas forcément amenées à travailler ensemble, mais chacun pourra participer à la définition des exigences et ainsi se sentir impliqué dans le projet. Le gain de performance attendue est donc présent, il devient possible de communiquer les requis d'informations et également de récupérer les données depuis les modèles des professionnels.

L'adoption de la gestion des exigences entraîne des changements dans les pratiques actuelles internes et avec la chaîne d'approvisionnement. En effet, comme nous l'avons exposé tout au long du chapitre 5, les étapes de gestion de l'information seront impactées par l'implantation d'une telle solution, avec notamment :

- le changement des pratiques pour réaliser l'analyse immobilière : désormais, cette étape consisterait à définir le contenu fonctionnel et technique de façon structurée, en vue d'une évolution constante de celui-ci tout au long du cycle de vie; les gestionnaires immobiliers participeraient à cette étape pour définir leur requis d'informations;
- les revues de conception pourraient être en partie automatisées et le contenu fonctionnel et technique serait mis à jour avec les propositions des professionnels;
- la capture de l'information TQC serait automatisée et contrôlée par les gestionnaires immobiliers;
- le transfert d'information vers la GMAO serait simplifié puisque la gestion documentaire serait supprimée au profit d'un transfert de fichier informatique entre la plateforme de gestion des exigences et la GMAO.

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation d'une plateforme de gestion des exigences pourrait offrir des bénéfices dans l'organisation, en gérant les informations contenues dans les modèles BIM et en étant capable de la transférer vers le système de GMAO.

CONCLUSION

Le BIM est de plus en plus présent dans l'industrie de la construction. Les propriétaires ou gestionnaires de parc immobiliers sont donc naturellement intéressés par cette source d'information innovante et riche. Pourtant, l'utilisation des modèles pour l'exploitation des bâtiments est encore très faible (Buckley et al., 2015). Cela est notamment dû au manque de qualité des modèles, au manque d'interopérabilité et aux problèmes de communication des besoins d'informations. Cette recherche interventionniste a permis de montrer que l'adoption de la gestion des exigences peut pallier en partie à ces problèmes en fournissant un exemple concret d'utilisation du concept et des résultats liés.

En effet, suite à cette étude, il est possible d'affirmer que l'utilisation d'une plateforme de gestion des exigences pourrait être une stratégie à adopter pour capter de façon automatisée les données de conception et de construction nécessaires à l'opération et la maintenance dans un environnement BIM. Cette solution permet d'exploiter la richesse informationnelle des modèles BIM et également de transmettre les requis d'informations. Le détail de l'impact de cette solution sur les pratiques actuelles a permis d'avoir une vision précise de l'application réelle d'une plateforme de gestion des exigences au sein d'une organisation étant à la fois impliquée dans la réalisation et la gestion de biens immobiliers.

La contribution de cette recherche est un artefact offrant une solution opérationnelle pour résoudre la problématique de capture des requis d'information pour alimenter les systèmes de gestion des actifs.

Les limitations de cette étude sont liées au fait que toutes les dimensions pouvant être attachées à la gestion des exigences n'ont pas été prises en compte. Par exemple la plateforme n'a pas été reliée au processus d'estimation. La notion contractuelle et sécuritaire n'a également pas été explorée.

Le travail effectué offre de nombreuses possibilités d'exploration supplémentaires reprenant ces résultats. Il serait notamment intéressant d'aller plus loin dans l'intégration de la gestion des exigences dans une entreprise telle que celle étudiée ici, en prenant en compte plus de paramètres; d'ajouter le caractère géométrique au contrôle du respect des exigences, et également approfondir la possibilité d'intégrer le système de GMAO afin d'avoir un dialogue bidirectionnel entre ce dernier et la plateforme de gestion des exigences. Il serait par exemple intéressant de :

- mettre en place cette plateforme sur un projet en phase d'analyse immobilière et de l'utiliser pour communiquer les exigences aux professionnels lors de la conception et de la construction et d'être capable de livrer une quantité d'informations importante et fiable aux gestionnaires immobiliers;
- aller plus loin dans la revue de conception en complétant la vérification de l'atteinte des exigences avec un contrôle géométrique du modèle. On pourrait par exemple imaginer un processus de vérification utilisant dRofus® et Solibri Model Checker® où les manipulations manuelles seraient réduites au minimum et où les rapports d'analyse seraient générés automatiquement;
- simuler des interventions en trois dimensions grâce à l'information récupérée dans la plateforme, générer des ordres de travaux préventifs avec procédures 3D, utiliser la réalité augmentée, etc.

ANNEXE I

Flux de contrôle et de planification détaillé

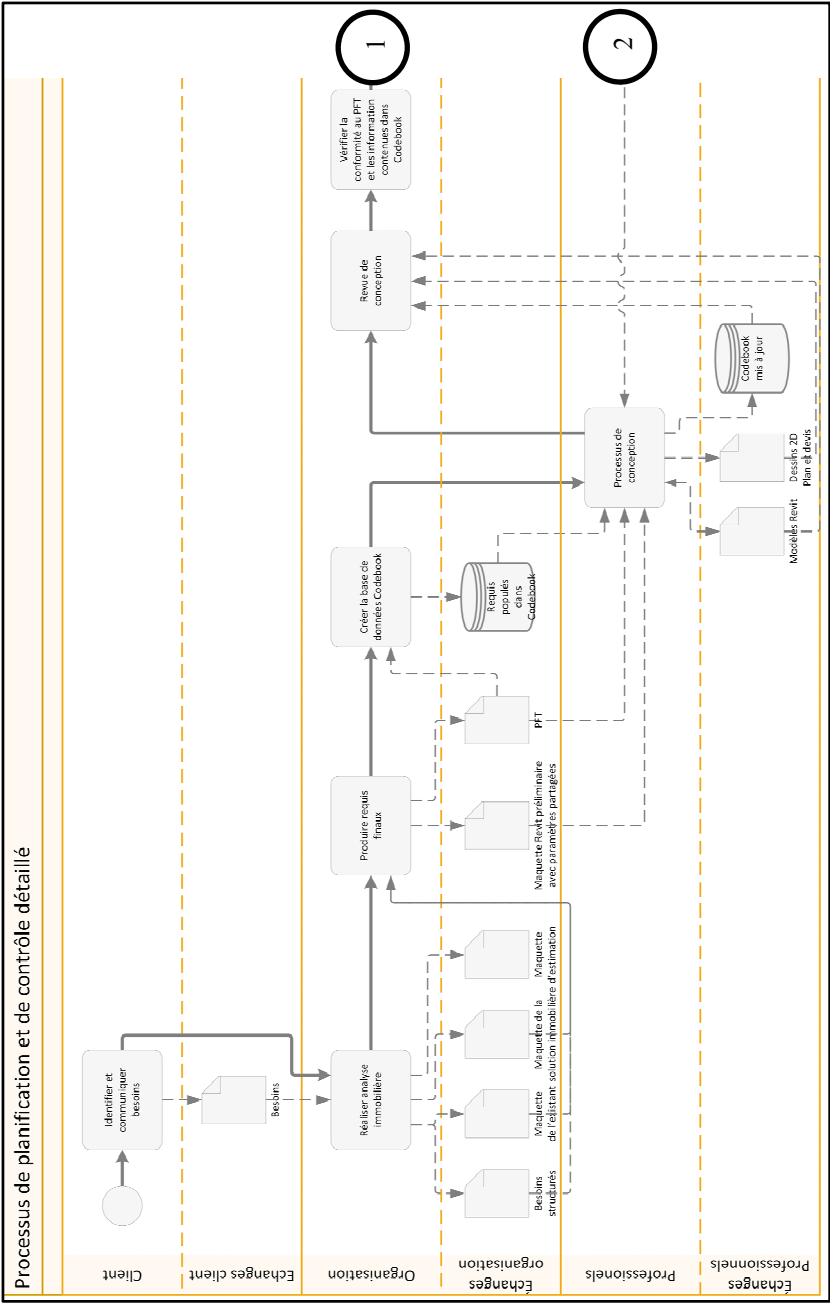


Figure-A I-1 Flux de contrôle et de planification détaillé

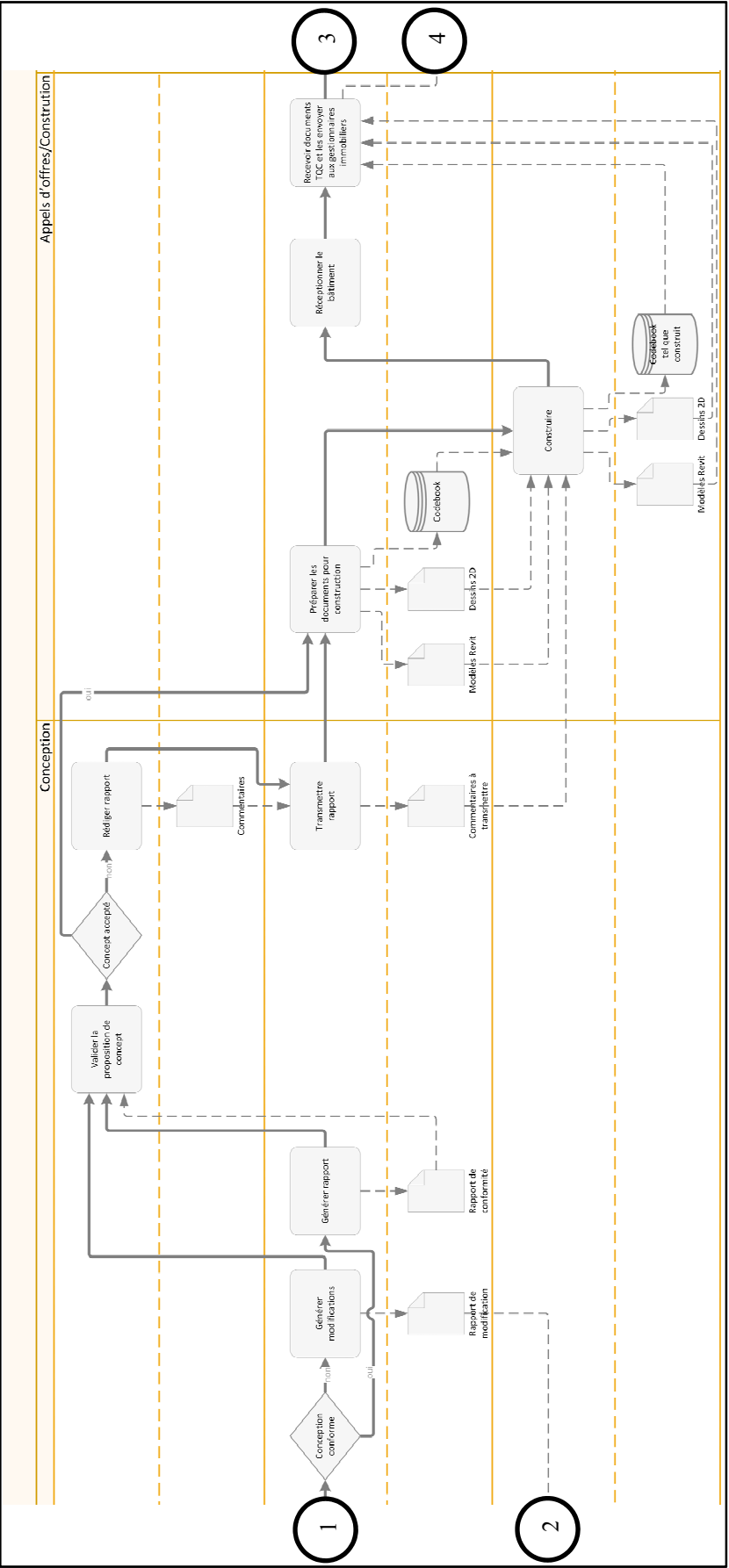


Figure-A I-2 Flux de contrôle et de planification détaillé

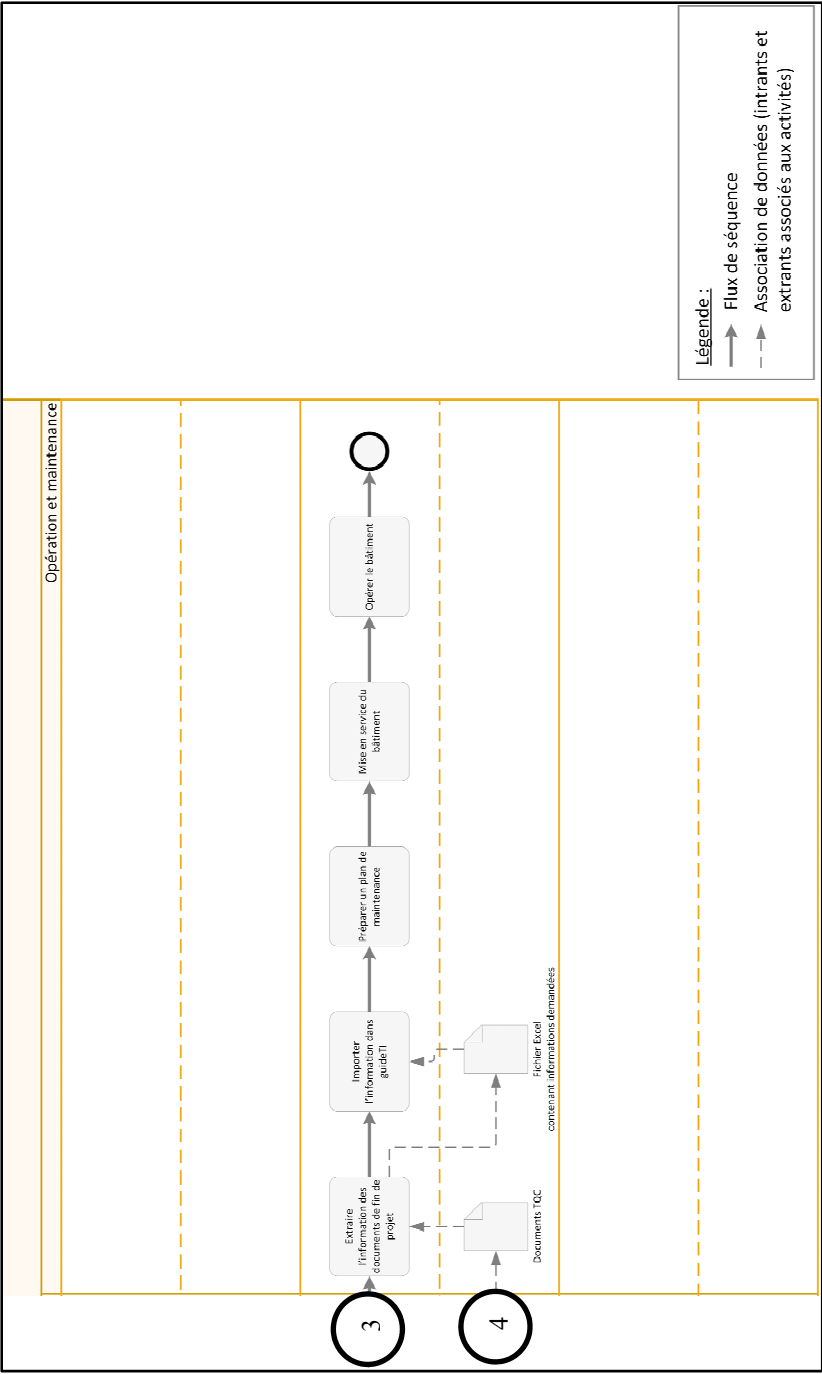


Figure-A I-3 Flux de contrôle et de planification détaillé

ANNEXE II

Flux simplifié pour cas d'usages

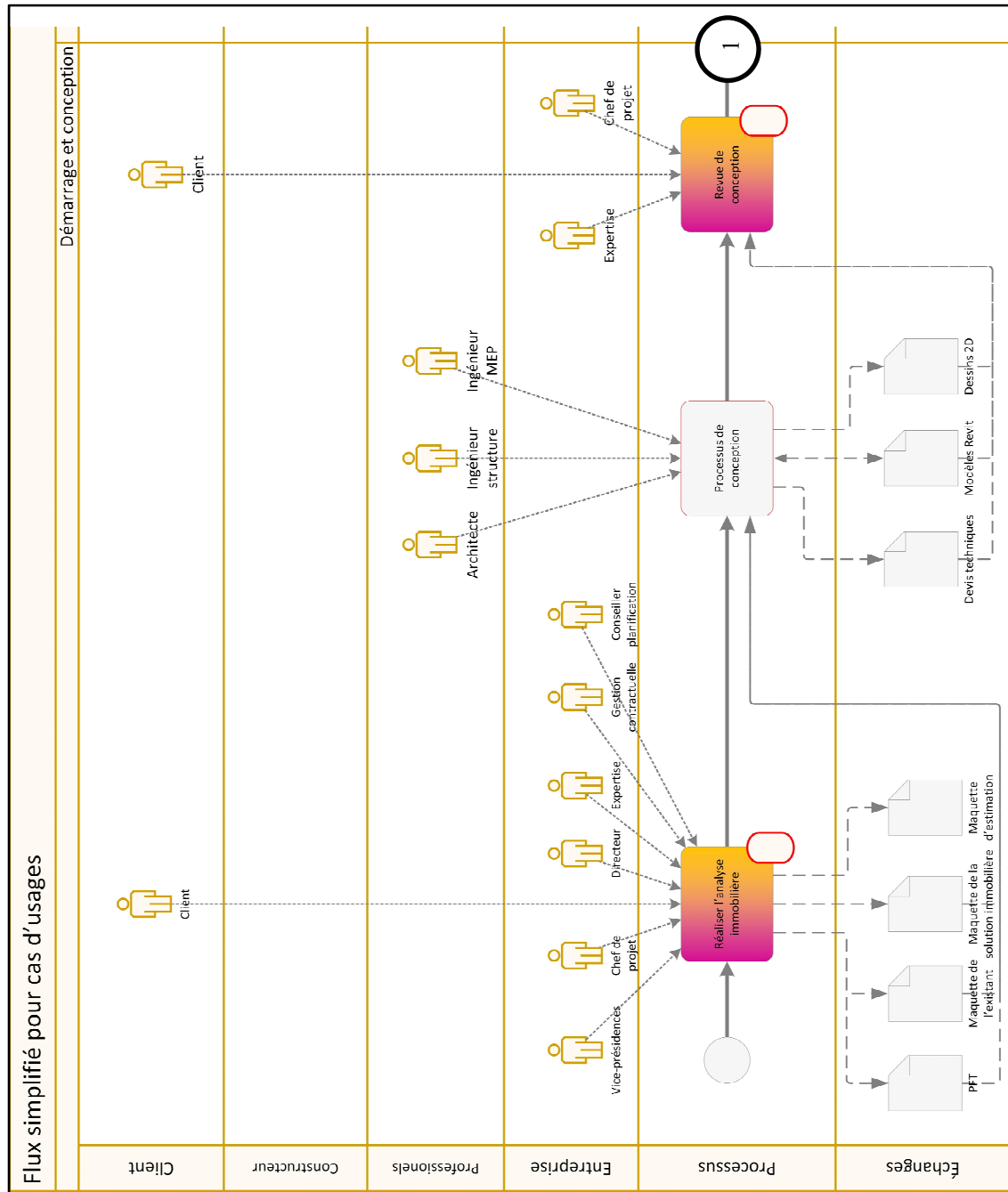


Figure-A II-1 Flux d'information simplifié pour identification des cas d'usage

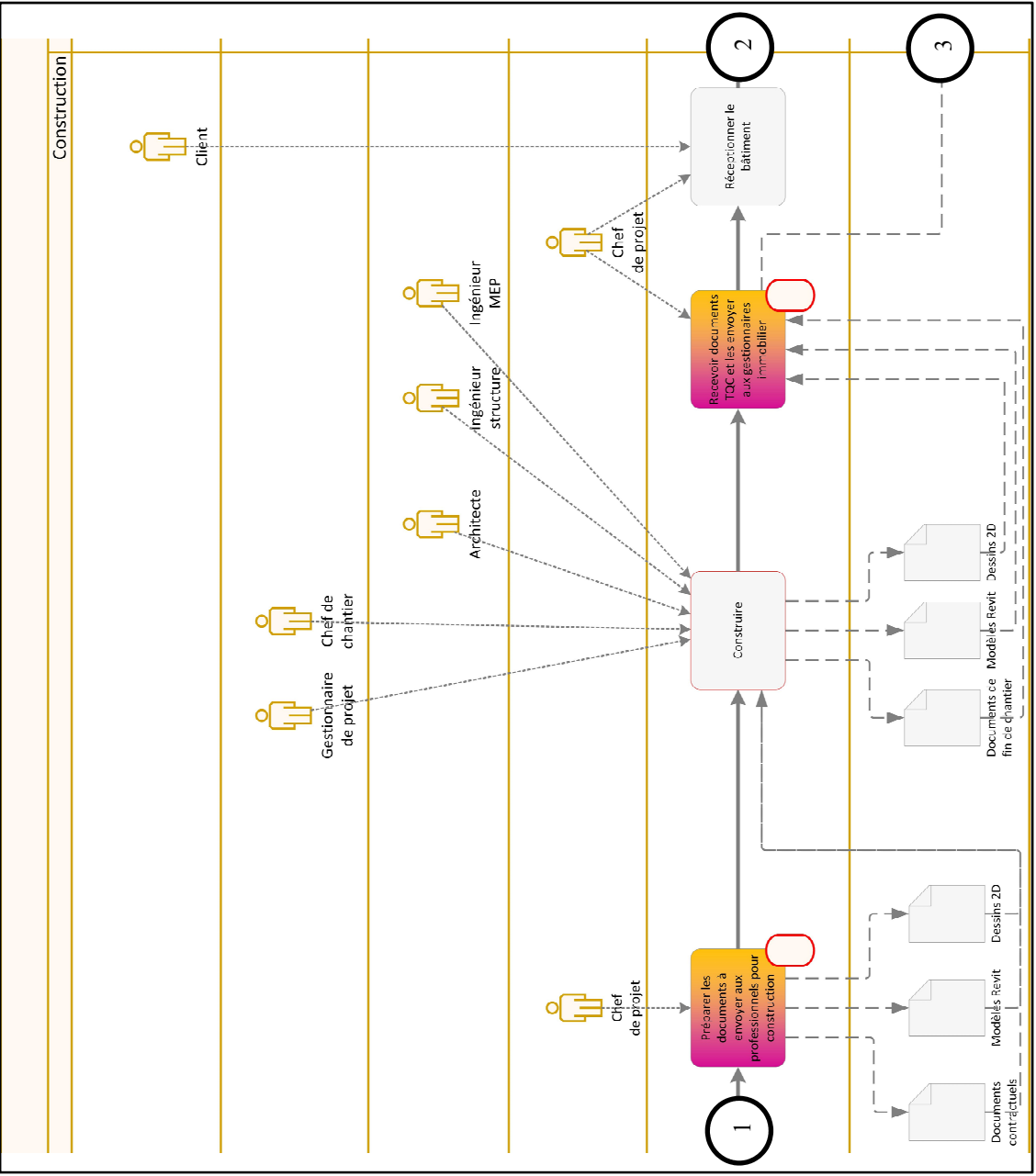


Figure-A II-2 Flux d'information simplifié pour identification des cas d'usage

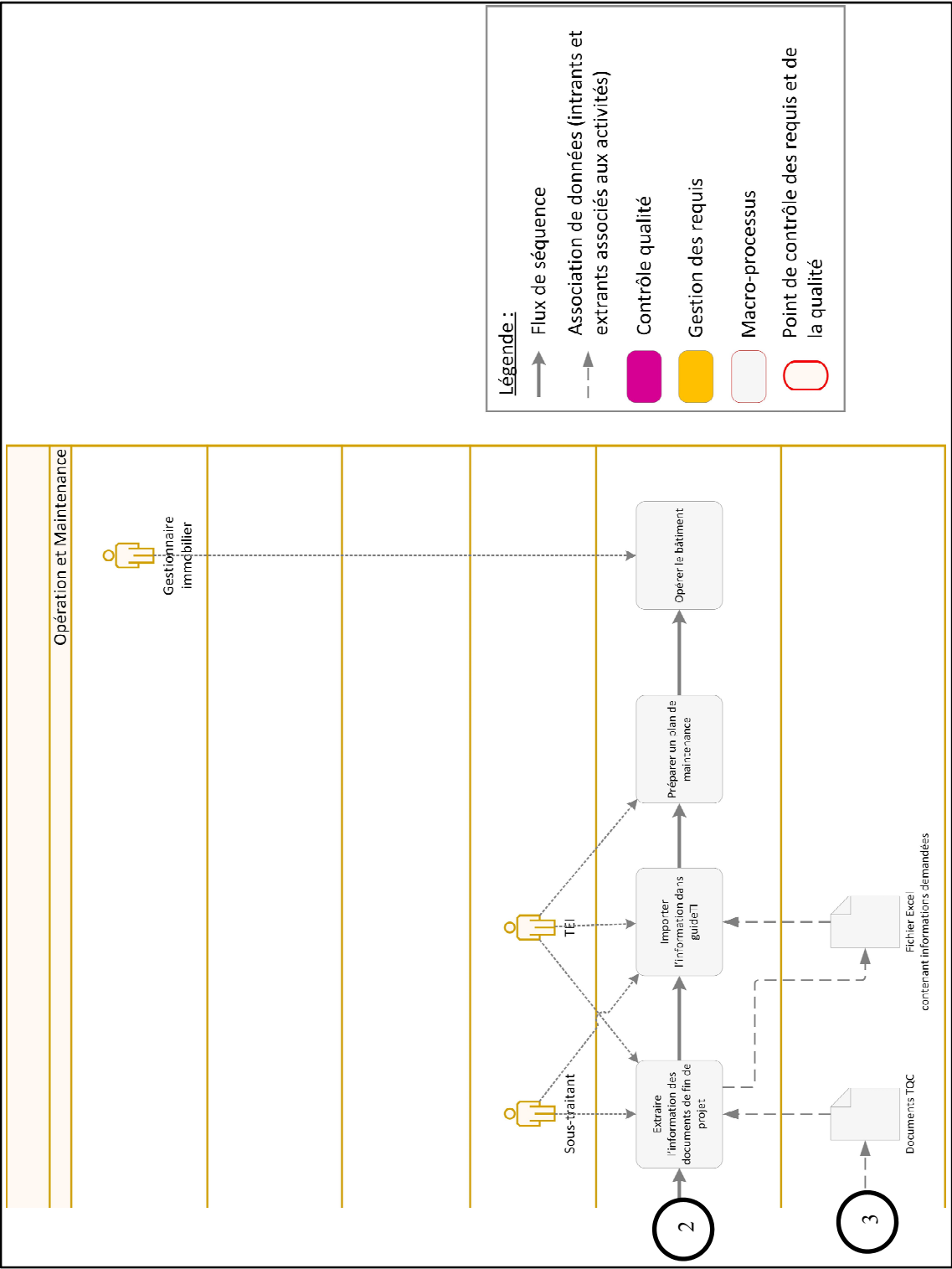


Figure-A II-3 Flux d'information simplifié pour identification des cas d'usage

ANNEXE III

Comparaison PFT / dRofus

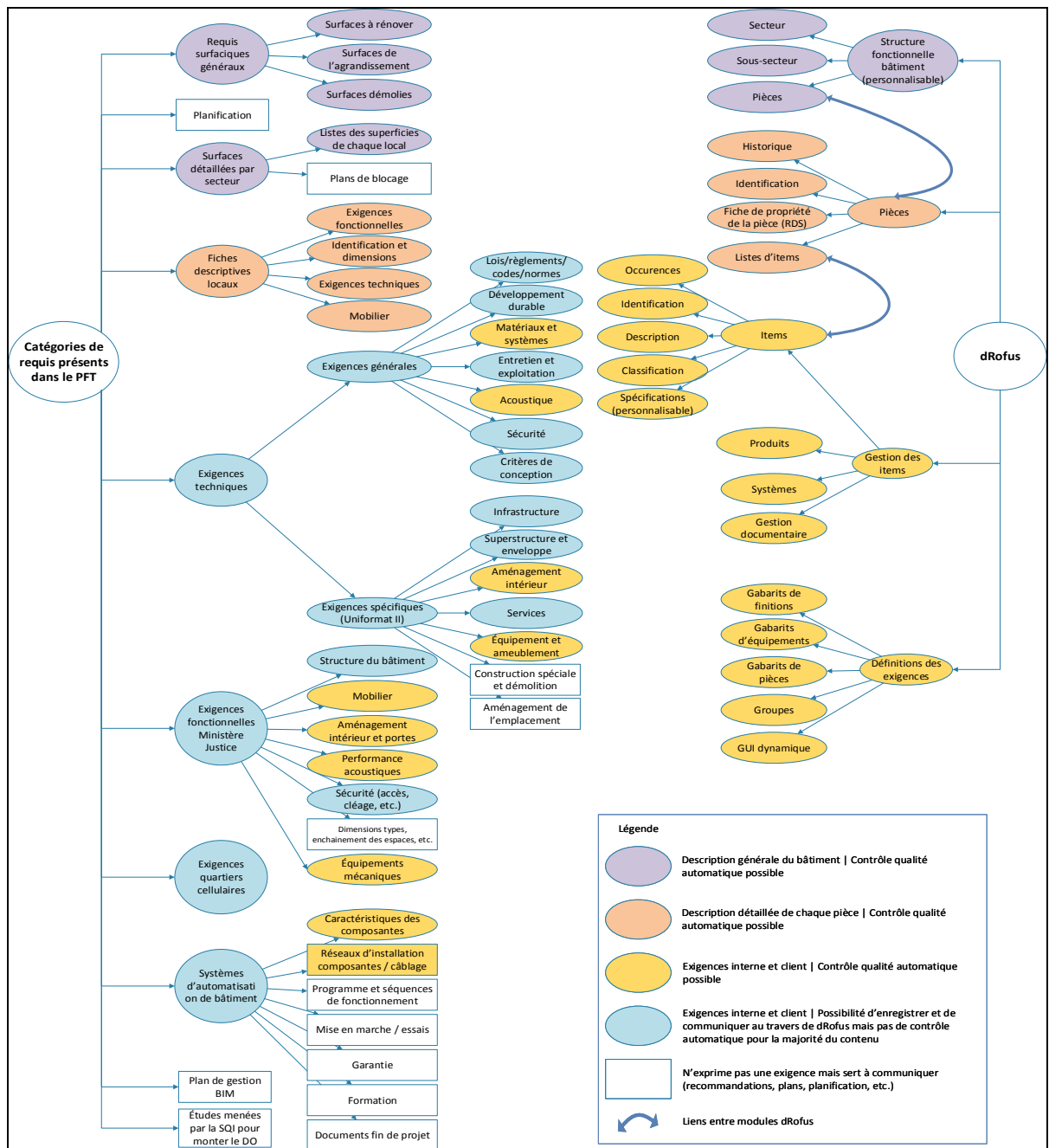


Figure-A III-1 Comparaison entre le PFT et les modules de dRofus®

ANNEXE IV

Utilisation de la plateforme de gestion des exigences

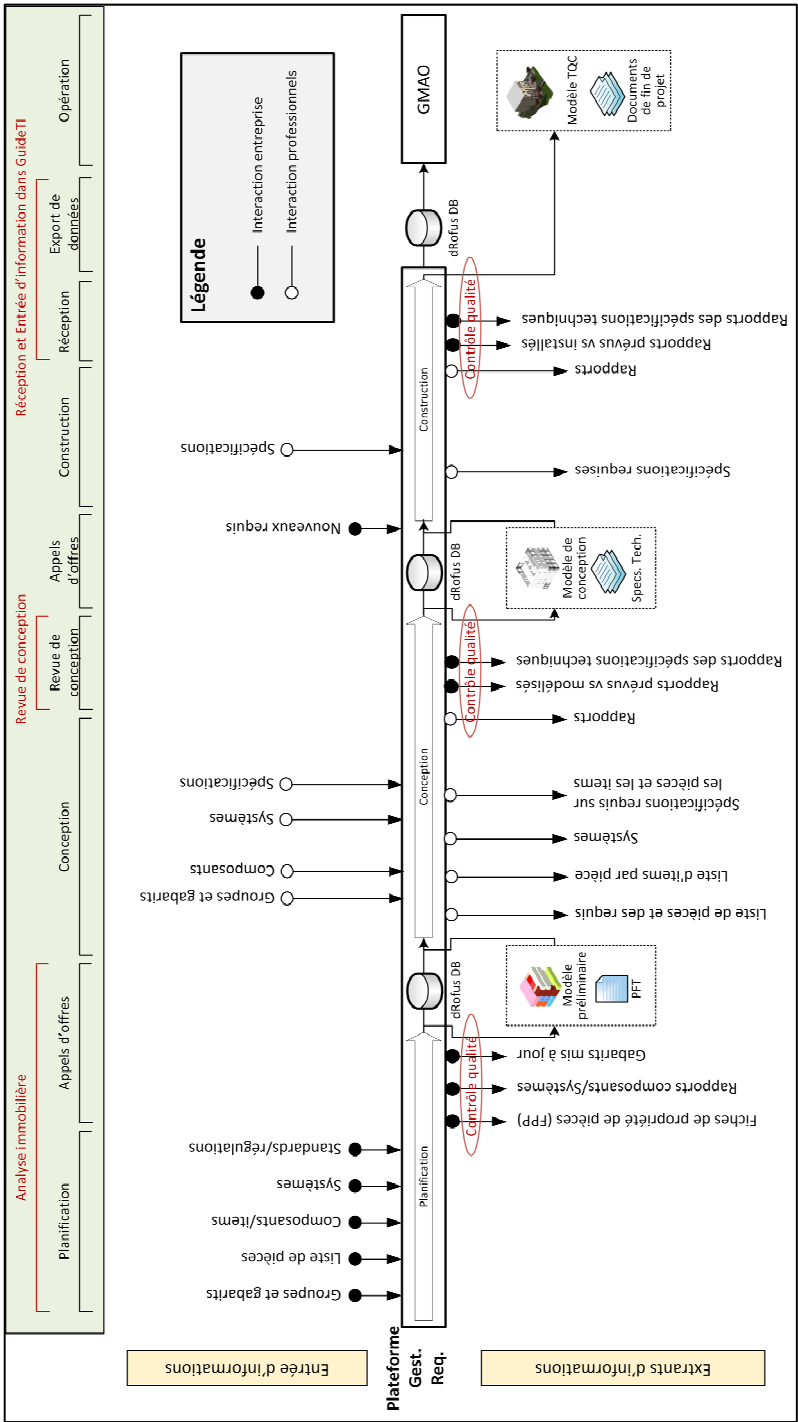


Figure-A IV-1 Utilisation de la plateforme de gestion des exigences

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aghazarian, Gayane. 2012. « A Comparative Analysis of Construction Operation Information Exchange Via Paper-based Systems and COBie Format: A Case Study of The First COBie Pilot Project at University of Washington ». University of Washington.
- Azhar, Salman, Irtishad Ahmad et Maung K Sein. 2009. « Action research as a proactive research method for construction engineering and management ». *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 136, n° 1, p. 87-98.
- Buckley, Bruce, John Gudgel, Johanna Knapschaefer et Katharine Logan. 2015. *Measuring the impact of BIM on Complex Buildings*. 60 p.
- The Business Value of BIM for Owners*. 2014. McGraw Hill Construction.
- Cavka, Hasan, Sheryl Staub-French et Rachel Pottinger. 2015. « Evaluating the Alignment of Organizational and Project Contexts for BIM Adoption: A Case Study of a Large Owner Organization ». *Buildings*, vol. 5, n° 4, p. 1265-1300.
- Codinhoto, Ricardo, et Arto Kiviniemi. 2014. « BIM for FM: a case support for business life cycle ». In *Product Lifecycle Management for a Global Market*. p. 63-74. Springer.
- Cooper, Robert G. 1990. « Stage-gate systems: a new tool for managing new products ». *Business horizons*, vol. 33, n° 3, p. 44-54.
- Cooper, Robert G. 2008. « The stage-gate idea-to-launch process—update, what's new and NexGen systems ». *Journal of Product Innovation Management*, vol. 25, n° 3, p. 213-232.
- Day, M. 2014. « The problem with COBie ». *AEC Magazine*.
- East, Bill, et Mariangelica Carrasquillo-Mangual. 2012. « The COBie Guide: a commentary to the NBIMS-US COBie standard ». *Building SMART Alliance*.
- Eastman, Chuck, Charles M Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks et Kathleen Liston. 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Gallaher, Michael P., Alan C. O'Connor, John L. Jr. Dettbarn et Linda T. Gilday. 2004. « Cost analysis of inadequate interoperability in the US capital facilities industry ». *National Institute of Standards and Technology (NIST)*.

- Grilo, António, et Ricardo Jardim-Goncalves. 2010. « Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments ». *Automation in Construction*, vol. 19, n° 5, p. 522-530.
- GSA. 2011. *BIM Guide for Facility Management*.
- Hull, Elizabeth, Ken Jackson et Jeremy Dick. 2010. *Requirements engineering*. Springer Science & Business Media.
- Ibrahim, Nurain Hassan. 2013. « Reviewing the evidence: use of digital collaboration technologies in major building and infrastructure projects ». *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 18, p. 40-63.
- IEEE Guide for Information Technology - System Definition - Concept of Operations (ConOps) Document. 1998. *IEEE Std 1362-1998*, p. 1-24.
- IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process. 2005. *IEEE Std 1220-2005 (Revision of IEEE Std 1220-1998)*, p. 01-87.
- International Facility Management Association. [s.d.]. « Definition of facility management ». En ligne. < <https://www.ifma.org/about/what-is-facility-management#> >. Consulté le 04/06/2017.
- Järvinen, Pertti. 2007. « Action research is similar to design science ». *Quality & Quantity*, vol. 41, n° 1, p. 37-54.
- Jawadekar, Salil Prakash. 2012. « A Case Study of the Use of BIM and Construction Operations Building Information Exchange (COBie) for Facility Management ». Texas A&M University.
- Kasanen, Eero, Kari Lukka et Arto Siitonen. 1993. « The constructive approach in management accounting research ». *Journal of management accounting research*, vol. 5, p. 243.
- Kiviniemi, Arto, et Martin Fischer. 2005. *Requirements management interface to building product models*. Citeseer.
- Koskelo, Taina. 2005. « A method for strategic technical life cycle mangement of real estates ». 266 p.
- Love, Peter ED, Jane Matthews, Ian Simpson, Andrew Hill et Oluwole A Olatunji. 2014. « A benefits realization management building information modeling framework for asset owners ». *Automation in construction*, vol. 37, p. 1-10.
- Lukka, Kari. 2000. « The key issues of applying the constructive approach to field research ». *Reponen, T.(ed.)*, p. 113-28.

- Nicolini, D, R Holti et M Smalley. 2000. *The Handbook of Supply Chain Management*. London: CIRIA Publications.
- Piirainen, Kalle A, et Rafael A Gonzalez. 2014. « Constructive synergy in design science research: a comparative analysis of design science research and the constructive research approach ». *Liiketaloudellinen Aikakauskirja*, p. 3-4.
- Pohl, Klaus. 1993. « The three dimensions of requirements engineering ». In *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. p. 275-292. Springer.
- Preiser, Wolfgang, et Jacqueline Vischer. 2006. *Assessing building performance*. Routledge.
- Roper, Kathy O, et Richard P Payant. 2014. *The Facility Management Handbook*. AMACOM Div American Mgmt Assn.
- Teicholz, Paul. 2013. *BIM for facility managers*. John Wiley & Sons.
- Whyte, Jennifer, Angelos Stasis et Carmel Lindkvist. 2016. « Managing change in the delivery of complex projects: Configuration management, asset information and ‘big data’ ». *International Journal of Project Management*, vol. 34, n° 2, p. 339-351.
- Wiki dRofus. [s.d.]. « Use of room templates and groups ». En ligne.
< <http://db.nosyko.no/wiki/display/DV/Use+of+room+templates+and+groups> >.
Consulté le 04/06/2017
- Winch, Graham M. 2010. *Managing construction projects*. John Wiley & Sons.
- Yin, Robert K. 2013. *Case study research: Design and methods*. Sage publications.
- Young, Norbert W, Stephen A Jones et Harvey M Bernstein. 2007. « Interoperability in the construction industry ». *SmartMarket report: Design & construction intelligence*.