TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE 5
1.1 Building Information Modeling (BIM) 5
1.2 Design for X 9
1.3 Gestion de l'information 11
1.4 Méthodes de calcul de la charge de chauffage et de climatisation 14
1.4.1 CLTD/CLF 17
1.4.2 Weighting Factor Method 18
1.4.3 Heat Balance Method 19
1.4.4 Radiant Time Series Method 21
1.4.5 Synthèse 22
1.5 Zonage du bâtiment 22
1.6 Limites de la littérature 25

CHAPITRE 2 METHODOLOGIE DE RECHERCHE 27
2.1 Rappel des objectifs 27
2.2 Observations professionnelles 30
2.2.1 Cartographie du processus 31
2.2.2 Identification de l'information 33
2.3 Étude de cas 33
2.3.1 Choix du type d'étude de cas 34
2.3.2 Échantillonnage et choix des projets 34
2.3.2.1 Projet A1 34
2.3.2.2 Projet A2 35
2.3.2.3 Projet A3 35
2.3.2.4 Projet N4 36
2.3.3 Entrevues semi-dirigée 36
2.3.4 Validation de l'information 37
2.4 Analyse des résultats 37
2.5 Validation par triangulation 38

CHAPITRE 3 RESULTATS OBSERVES 39
3.1 Processus de calcul de charge de la firme 39
3.1.1 Carte établie suite à l'observation professionnelle 39
3.1.2 Carte finale établie suite aux entrevues 44
3.2 Identifications des données de calcul 47
3.2.1 Données nécessaires au calcul de charge 47
3.2.2 Données disponibles sur une maquette BIM 49
3.3 Présentation des résultats des entrevues 52
3.3.1 Processus de conception 53

3.3.2 Calcul de charge 55
3.3.3 Expérience BIM 57

CHAPITRE 4 DISCUSSION 61
4.1 Analyse des résultats par rapport aux premières observations 61
4.2 Recommandations pour l'industriel 64
4.3 Limites du mémoire 69

CONCLUSION 71

ANNEXE I FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT 73

ANNEXE II QUESTIONNAIRE ENTREVUE 77

ANNEXE III NIVEAU DE MATURITE DE LA FIRME 79

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 81

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau 1.1 - Comparatifs méthodes de calculs de charge de l'ASHRAE 22

Tableau 2.1- Descriptif du projet A1 35

Tableau 2.2 - Descriptif du projet A2 35

Tableau 2.3 - Descriptif du projet A3 36

Tableau 2.4 - Descriptif du projet N4 36

Tableau 3.1 - Légende de la cartographie 42

Tableau 3.2 - Exemple de données utilisées par la firme pour le calcul de charge 48

Tableau 3.3 - Données pour le calcul de charge dans un contexte BIM.....50

Tableau 3.4 - Participants aux entrevues 52

Tableau 3.5 - Tableau des réponses : Processus de conception.....53

Tableau 3.6 - Tableau des réponses : Calcul de charge 55

Tableau 3.7 - Tableau des réponses : BIM 57

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1.1 - Échanges pour un projet conventionnel et pour un projet BIM 6

Figure 1.2 – Flot de travail BIM 7

Figure 1.3 – Fonctionnement en silo (Over-the-wall method) 8

Figure 1.4 - Rôle du DfX dans le cycle de vie du produit 10

Figure 1.5 - Exemple d'information interprétée.....13

Figure 1.6 - Place du processus de calcul de charge (encadré rouge) dans le processus de simulation énergétique d'un bâtiment 15

Figure 1.7 - Processus de la méthode Heat Balance 20

Figure 1.8 - Exemple de zonage - Bâtiment simple.....24

Figure 1.9 - Exemple de zonage – Bâtiment complexe 25

Figure 2.1 - Processus de développement de standards BIM 28

Figure 2.2 - Méthodologie de recherche.....30

Figure 2.3 - Exemple de formalisme BPMN 32

Figure 3.1 – Étapes-clés d'un projet de la firme 40

Figure 3.2 – Carte du processus de conception du partenaire dans un contexte classique (avant validation) 43

Figure 3.3 – Carte du processus corrigée selon les réponses des entrevues 46

Figure 4.1 - Fonctionnement actuel avec le BIM 63

Figure 4.2 - Cycle de développement du BIM.....65

Figure 4.3 – Carte du processus suggéré 68

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AIC	Architecture, Ingénierie et Construction
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BEM	Building Energy Modeling
BIM	Building Information Modeling
BPMN	Business Process Modeling Notation
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CVCA	Chauffage Ventilation et Conditionnent de l'Air
DfX	Design for X
GRIDD	Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable
HB	Heat Balance
IAI	International Alliance for Interoperability
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
PLM	Product Lifecycle Management
RTS	Radiant Time Series
WF	Weighting Factors

Rapport-Gratuit.com

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

W	Watt
hr	Heure (hour)
pi	Pied (feet)
pi^2	Pied carré (square feet)
BTU	British Thermal Unit
°F	Degré Fahrenheit

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

INTRODUCTION

Depuis le début du millénaire, le secteur de la construction subit de nombreux changements, notamment avec l'arrivée du *Building Information Modeling* (BIM). Le BIM répond à plusieurs besoins des firmes du secteur *Architecture, Ingénierie et Construction* (AIC), notamment celui de réduire les délais et les coûts d'un projet de construction en maîtrisant mieux sa conception (Eastman, Jeong, Sacks, & Kaner, 2009). En effet, l'étape de conception d'un bâtiment a une incidence importante sur son coût de construction, car les décisions prises en amont peuvent éviter des changements de dernière minute longs et coûteux (Song, Mohamed, & AbouRizk, 2009). Cependant, il demande des changements en termes de processus de conception et de gestion de l'information à travers le cycle de vie du bâtiment.

Le secteur de la construction s'intéresse de plus en plus à la conception et la construction de bâtiments respectueux de l'environnement et économes en énergie (Jrade & Jalaei, 2013). Pour cette recherche centrée autour de la phase de conception du bâtiment, le choix a été donc fait de se concentrer sur le dimensionnement des systèmes CVCA (chauffage ventilation, conditionnement de l'air) d'un bâtiment. Ce dimensionnement demande à l'ingénieur mécanique un savoir-faire et une connaissance des différents plans de l'architecte (Kavanaugh 2006). Comme l'a souligné Knight, Roth, et Rosen (2010), le BIM représente une opportunité pour la conception de ces systèmes car leur dimensionnement doit aussi être ajusté selon les modifications des plans lors du projet de construction afin que les différents éléments des systèmes CVCA puissent être installés dans l'architecture du bâtiment. De plus, un dimensionnement adéquat peut permettre des économies lors de l'opération du bâtiment, car les systèmes CVCA fonctionneront à des régimes adaptés tout en respectant les conditions de confort des occupants.

En utilisant les outils BIM comme Revit d'AutoDesk, le dimensionnement peut s'appuyer sur des analyses thermiques et énergétiques directement à partir des données de la maquette numérique. Les informations de la maquette, telles que les caractéristiques de l'enveloppe, permettent d'effectuer des calculs sur le comportement énergétique du bâtiment. Il est alors

intéressant de comprendre la méthodologie de ce travail pour améliorer l'utilisation du BIM grâce à de nouveaux processus et faciliter son intégration dans le secteur de la construction.

Cette recherche vise à comprendre le processus de conception des systèmes CVCA actuellement utilisé dans une firme de génie-conseil et son intégration dans le projet de construction en le cartographiant, à identifier les informations transitant durant ce processus dans le but d'énoncer des recommandations. Ces recommandations permettront une meilleure utilisation des outils BIM afin de réduire le temps du processus et les erreurs pouvant entrainer des changements majeurs dans le projet de construction.

Ce travail de recherche se limite au processus de calcul des charges de chauffage et refroidissement, étape précédant le dimensionnement du système CVCA. En s'appuyant sur la maquette construite par l'architecte, l'ingénieur analyse et traite les données utiles pour calculer la charge du bâtiment et ainsi permettre le choix des différents éléments du système de chauffage et refroidissement. Cette opération comporte cependant des difficultés dans l'obtention des données, pouvant amener des retards et des erreurs dans le processus de conception. Une gestion de l'information efficace doit être mise en place pour récupérer facilement ces données utiles et transmettre les données nécessaires aux étapes suivantes du processus de conception.

Pour répondre à cette problématique, l'objectif principal est d'examiner l'utilisation du BIM pour le calcul de charges de chauffage et refroidissement. Les objectifs secondaires sont :

- cartographier le processus de calcul de charge;
- identifier les données nécessaires au calcul de charge, selon la méthode employée, ainsi que les données disponibles dans la maquette fournie par l'architecte.

Cet état des lieux du processus permet la rédaction de recommandations utiles pour améliorer le processus de conception et l'adoption du BIM. Ces recommandations pourront aussi servir à des recherches futures sur le domaine.

Description du mémoire

Le mémoire commence par une revue de la littérature. Ce premier chapitre définit le cadre du travail de recherche en définissant les concepts nécessaires à la compréhension du mémoire, tels que le Building Information Modeling, le Design for X et le calcul de charge de chauffage et refroidissement. Les chapitres suivants présentent la méthodologie de recherche de type exploratoire**,** ainsi que les résultats observés durant le travail de recherche en décrivant le processus de conception des systèmes CVCA de la firme partenaire, l'information nécessaire au calcul de charges de chauffage et refroidissement et l'étude de cas. Le dernier chapitre analyse les résultats observés et les valide par une triangulation avec la revue de littérature. De cette analyse, des recommandations pour la firme amènent des pistes d'amélioration du processus de conception en contexte BIM.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

Ce mémoire porte sur le processus de calcul de charge de chauffage et refroidissement de bâtiment en contexte BIM. Il est donc nécessaire de développer les concepts autour de ce sujet pour comprendre l'intérêt de répondre à la problématique décrite précédemment.
Dans un premier temps, la revue porte sur le Building Information Modeling (BIM) et ses définitions. Un parallèle est ensuite fait avec des concepts de l'industrie manufacturière tels que le Design for X et plus spécifiquement sur l'intérêt d'améliorer le processus de conception en s'intéressant au cycle de vie du bâtiment. Un des enjeux durant ce cycle de vie est notamment la gestion de l'information et la collaboration amenée par le BIM. Puis la revue se concentre sur la conception des systèmes CVCA, et plus particulièrement les méthodes de calculs de charges de chauffage et de refroidissement ainsi que les méthodes de zonage d'un bâtiment. Enfin, les limites de la littérature sur la problématique de ce mémoire sont mises en évidence à la fin de ce chapitre.

1.1 Building Information Modeling (BIM)

Complexe, le BIM connait plusieurs définitions selon les auteurs. Basée sur une philosophie d'échange et de centralisation des données de conception et construction (Koskela, 1992), le BIM est considéré comme une nouvelle façon de concevoir, le M de BIM signifie alors Modeling. Il peut également être vu comme un outil de travail qui utilise une maquette numérique à plusieurs dimensions partagée entre les différents acteurs d'un projet de construction. Le M de BIM prend alors la signification de Model pour désigner cette maquette. Le BIM permet aussi une communication autour de cette maquette où chaque acteur peut interagir selon les contraintes de son métier et des méthodes permettent aux personnes gérant la maquette de veiller aussi à ce que certaines règles de construction soient respectées (Solihin and Eastman 2015). La Figure 1.1 permet d'illustrer cet avantage. Pour un projet BIM (à droite), les flux d'échanges sont centralisés autour de la maquette BIM, tandis que pour un projet classique, chaque partie du projet communique indépendamment

avec les autres, ce qui multiplie les communications et ne favorise pas la collaboration. Selon Jupp (2016), le BIM est une approche 3D qui permet de créer des objets de construction et l'information associée et de les agencer et les utiliser. Historiquement, la représentation graphique se focalisait sur des plans 2D, ce qui pouvait amener des problèmes de compréhension pour les projets complexes et des incohérences spatiales lors de modifications en cours de projet (Owen, 2010). Ainsi, une maquette numérique unique permet de s'affranchir de l'utilisation des plans 2D avec plusieurs versions. Idéalement, elle est mise à jour tout au long du projet à travers la conception, la construction, la durée de vie du bâtiment et éventuellement sa démolition afin d'aider les prises de décisions (Gray, Gray, Teo, Chi, & Cheung, 2013). Cela implique de coordonner les efforts de tous les intervenants du bâtiment autour de ce modèle détaillé avec toutes les données et toute l'information nécessaire à un projet de construction (Azhar, Khalfan, & Maqsood, 2015).

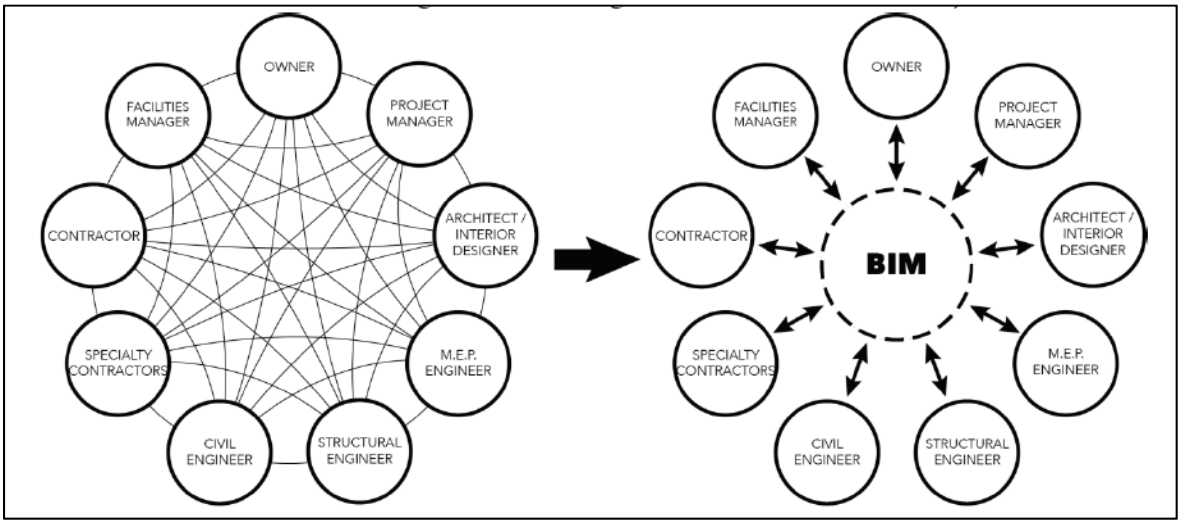

Figure 1.1 - Échanges pour un projet conventionnel et pour un projet BIM
Tirée de Azouz et al. (2014)

Dans le domaine de la construction, la complexité des projets a amené à revoir la gestion des données et la technologie pour échanger l'information entre les différentes parties. Il existe donc une attente autour du BIM. Comme l'expliquent Miettinen et Paavola (2014), les caractéristiques recherchées avec le BIM sont :

- le regroupement de toute l'information pertinente au bâtiment dans une seule maquette facilement accessible,
- l'interopérabilité entre les données provenant de plusieurs corps de métiers,
- l'utilisation de cette maquette BIM durant tout le cycle de vie du bâtiment,
- l'augmentation de l'efficacité et la productivité de l'industrie de la construction.

Même si le BIM nécessite un effort supplémentaire en amont des projets de construction, il permet de gagner du temps sur les phases postérieures à la conception, comme illustré sur la Figure 1.2. Le pic de travail en amont peut freiner l'utilisation du BIM et représente une des causes de la difficulté à propager ce mode de fonctionnement à travers l'industrie de la construction.

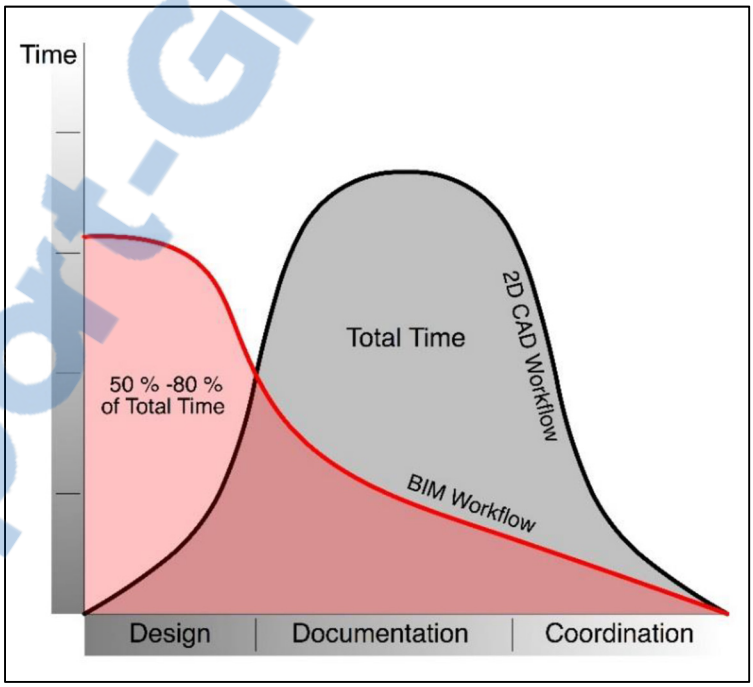

Figure 1.2 – Flot de travail BIM
Adapté de Plichon (2016)

L'implantation des technologies BIM dans les entreprises, notamment au Québec, est encore faible (Cefrio, 2014). Le processus de travail actuel sur un projet de construction est organisé en silo où l'information avance en flux poussé. Ce fonctionnement n'est pas favorable au

Rapport-Gratuit.com

processus collaboratif induit à l'utilisation d'une maquette BIM. Chaque acteur d'un projet de construction travaille dans son silo, isolé des autres. Ce comportement présenté à la Figure 1.3, illustre la méthode de conception en cascade (« Over-the-wall »). L'information est produite et transmise sans connaitre les besoins des autres participants du projet de construction. Dans le même temps, les outils sont développés pour les concepteurs (Revit, Tekla, etc.) et peu à peu pour les constructeurs pour le suivi de chantier (BIM360, Naviswork, etc.). Beaucoup de professionnels du secteur AIC considèrent le BIM comme un simple modèle 3D du projet qui ne serait que pour l'amélioration des dessins 2D (Gray et al., 2013). La transmission de l'information ne diffère pas du processus classique. L'intérêt collaboratif n'est donc pas assez exploité, les professionnels ne travaillent pas sur la maquette BIM ensemble mais chacun sur leur propre maquette 3D.

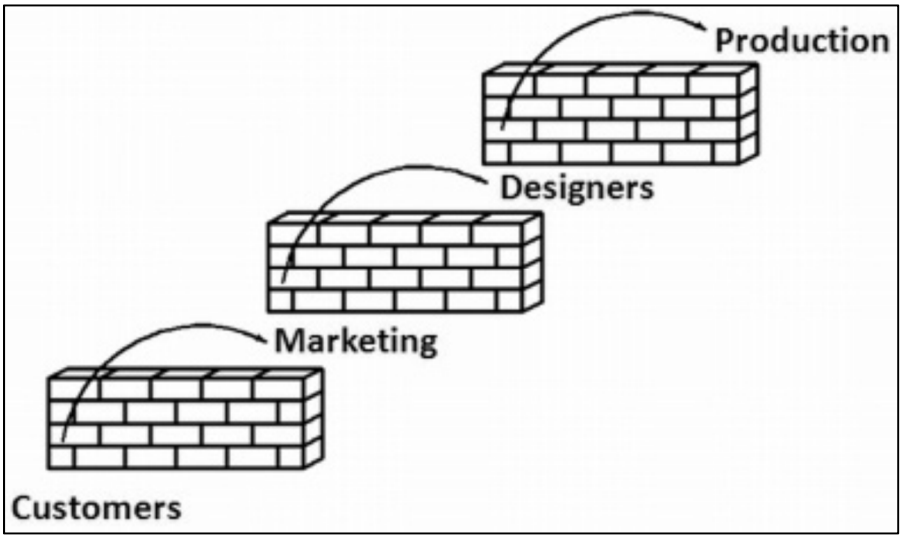

Figure 1.3 – Fonctionnement en silo (Over-the-wall method)
Tirée de Filippi et Cristofolini (2009)

De plus, l'utilisation du BIM nécessite un profond changement organisationnel. Le fonctionnement des entreprises suit toujours un fonctionnement en silos (Miettinen & Paavola, 2014). Ce manque de communication et de coordination des activités entre les différents acteurs d'un projet de construction est l'un des principaux défauts du secteur AIC (Azouz et al., 2014). L'atout collaboratif du BIM n'est donc pas exploité, ce qui explique

aussi son implantation difficile dans les firmes. Afin de mieux appréhender et maitriser cette nouvelle façon de travailler, il est alors recommandé de prévoir des stratégies pour guider les industriels dans ce changement technologique et organisationnel et éviter une utilisation chaotique qui nuirait au développement du BIM (Miettinen & Paavola, 2014). Des stratégies peuvent être mises en place pour faciliter ce changement, en s'assurant par exemple que les employés s'engagent dans cette dynamique, que leurs compétences soient développés, qu'une gestion du changement réussie soit menée et que les obstacles potentiels soient réduits (Arayici et al., 2011). Dans le but d'améliorer la collaboration entre les entreprises, des méthodes ont fait leurs preuves dans l'industrie manufacturière. Ces méthodes proches du BIM par leur aspect collaboratif et orienté cycle de vie du produit doivent servir d'exemple et apporter une solution aux problèmes rencontrés tels que le changement de processus de conception ou la gestion de l'information à travers le cycle de vie du bâtiment.

1.2 Design for X

L'arrivée du BIM coïncide avec l'envie de construire des bâtiments durables (Bynum, Issa, & Olbina, 2012; Wimmer, Maile, & O'Donnell, 2014). Il est donc crucial de s'intéresser au cycle de vie des bâtiments lors de leur conception. Dans ce souci de conception adapté au cycle de vie du produit, il existe le concept du Product Life Management (PLM) ainsi que l'ingénierie simultanée. Le PLM est une méthode de gestion d'ingénierie qui tient compte de l'ensemble du cycle de vie d'un produit pour améliorer sa qualité et l'efficacité de sa production (Jupp, 2016). Même si le concept PLM est plus ancien que le BIM, ils partagent des similitudes comme l'aspect collaboratif. Jupp (2016) explique même que le BIM pourrait apprendre des pratiques PLM développées dans l'industrie aéronautique notamment et bénéficier de son savoir et de son expérience pour son adoption.

L'ingénierie simultanée est une approche qui rejoint le PLM en regroupant simultanément les acteurs d'un projet dès le début de celui-ci (Filippi & Cristofolini, 2009). Cela permet de mettre en commun les objectifs de chacun pour favoriser un meilleur développement du produit. L'ingénierie simultanée permet d'éviter les problèmes inhérents au fonctionnement

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

en silo vu précédemment. À partir de l'ingénierie simultanée, le Design for X a ainsi été développé.

Le Design for X (DfX) propose des règles de conception permettant de ramener les enjeux d'une phase de la vie du produit ou bien d'une caractéristique au moment de penser le produit, de le concevoir, comme illustré sur la Figure 1.4. Le terme Design for X désigne les méthodes de conception dans le processus de conception des ingénieurs qui a un but X (Filippi & Cristofolini, 2009). Plusieurs méthodes de DfX ont été établies ; une des premières et plus connues est ainsi le Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) apparu dans les années 1970. Le DFMA regroupe des règles de conception permettant de faciliter l'assemblage et la fabrication du produit, notamment en limitant le nombre de pièces pour réduire le nombre d'étapes d'assemblage. Un autre exemple est le Design for Safety, qui établit des règles de conception pour augmenter la sécurité du produit et/ou de ses utilisateurs.

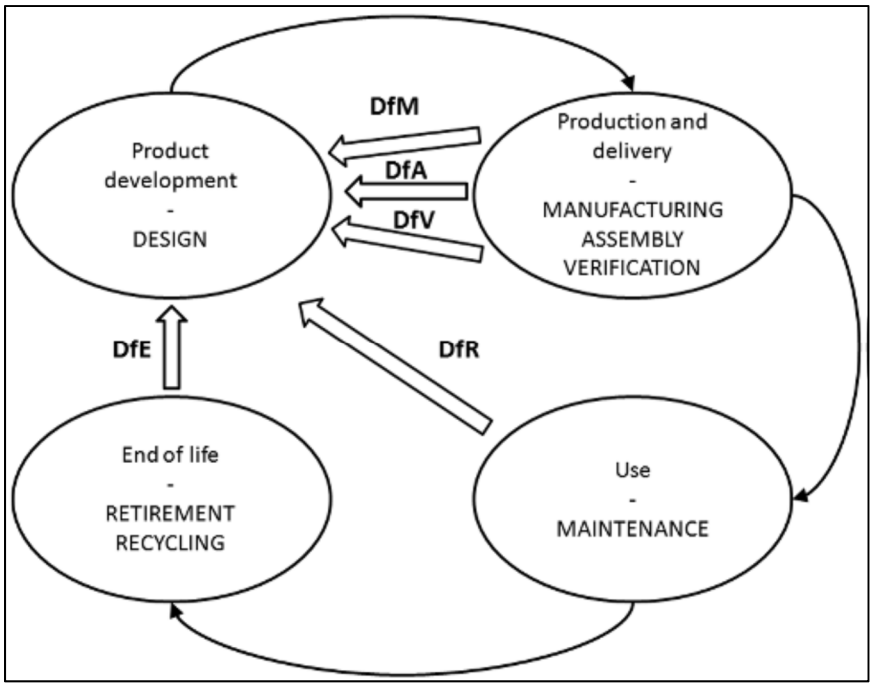

Figure 1.4 - Rôle du DfX dans le cycle de vie du produit
Tiré de Filippi et Cristofolini (2009)

Le Design for X a été développé sur de longues années et utilisé avec succès dans le domaine manufacturier, il est alors intéressant de s'en inspirer dans le domaine de la construction. En effet, les concepteurs de bâtiments (architectes et ingénieurs) manquent parfois de connaissances à propos des coûts et de la constructibilité de certaines solutions (Berard & Karlshoej, 2012), amenant ainsi des incohérences devant être gérées lors de la phase de construction. Une mauvaise conception peut entrainer des modifications de dernière minute sur le chantier, ce qui amène des retards et un surcoût dans le projet. Les interactions entre le développement de produit et la planification de construction/assemblage n'ont pas souvent lieu (Steimer 2016). Il devient donc important de comprendre les besoins des phases postérieures à la phase de conception et notamment l'information qui voyage tout au long du cycle de vie du produit. Pour renforcer ces interactions et ainsi éviter des problèmes dans la phase de construction, il faut renforcer les échanges d'information dès les débuts du cycle de vie du produit. C'est pourquoi il faut se soucier de la gestion de l'information. La gestion de l'information dans les firmes n'est souvent pas maitrisée (Shamsuzoha 2012). Cette information se perd durant les échanges entre les différents acteurs du projet de construction. De plus, les phases multiples du projet n'ont pas les mêmes besoins en information, ce qui amène certains acteurs à ne transmettre qu'une partie des données associées au projet. En s'appuyant sur le principe de Design for X et en l'appliquant à ces échanges d'information, nous proposons d'introduire le terme Information for X où l'information est produite et acheminée en fonction des besoins des différentes phases du cycle de vie du produit. Ainsi, pour le calcul de charge de chauffage et refroidissement du bâtiment, il y a un besoin d'information qui doit être connu par les phases en amont du processus de conception. De même, l'information récupérée et le résultat du calcul de charge peuvent répondre à un besoin de phases en aval qui doit être identifié.

1.3 Gestion de l'information

La création et l'échange d'informations font partie d'un processus important dans la construction, comme cela a pu être vu dans la partie 1.1 sur le Building Information Modeling (Miettinen & Paavola, 2014). Winch (2010) explique que les flux d'informations

se retrouvent au centre des pratiques des entreprises de construction. Ils sont fondamentaux pour la prise de décision, la communication et le suivi du projet. Il est nécessaire de connaitre la valeur de l'information alors même qu'elle s'accumule très vite dans les firmes et autour des projets. Tang, Zhao, Austin, Darlington, et Culley (2008) expliquent d'ailleurs qu'un produit de longue durée, tel qu'un bâtiment, accumule beaucoup plus d'information qu'un produit ayant un cycle de vie court. Les maquettes BIM rencontrent ainsi le problème d'avoir trop d'information non pertinente (Gray et al., 2013). Les différentes firmes d'un projet de construction n'ont pas forcément la même organisation concernant ce processus, et souvent elles stockent toute l'information disponible sans se soucier du coût et de l'impact sur la productivité (Tang et al., 2008). La gestion de l'information représente donc un enjeu pour les projets de construction. De plus, selon Winch (2010), un compromis doit être trouvé entre une dépense de ressources pour récupérer l'information et la partager, et se contenter d'un manque d'information pour assurer une qualité optimale des modèles 3D.

De plus, Ramaji et Memari (2016) expliquent qu'il existe deux types d'information échangés : l'information échangée directement, c'est-à-dire l'information brute présente dans les plans et les maquettes numériques qui ne subit pas de changement sémantique ; et l'information interprétée lors de l'échange. Un exemple d'information pouvant être interprétée est présenté à la Figure 1.5. La structure métallique issue du modèle numérique est ainsi interprétée comme un mur structural plein d'épaisseur t par celui qui reçoit le modèle (ingénieur mécanique, entrepreneur, etc.). Cette interprétation requiert une intelligence et parfois des informations extérieures au modèle. Dans l'exemple, l'information extérieure est la capacité du mur calculée par l'ingénieur structure. Afin d'automatiser les processus d'échange, l'information du modèle ainsi que l'information extérieure au modèle doivent être standardisées afin de faciliter l'interprétation.

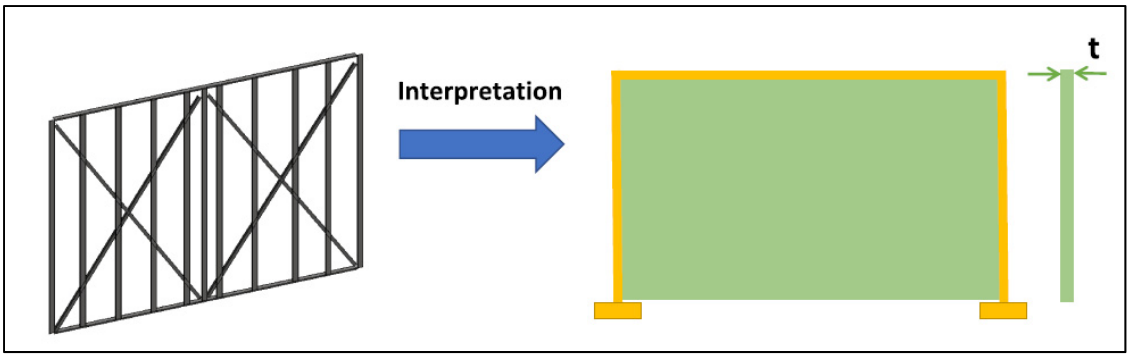

Figure 1.5 - Exemple d'information interprétée – Tirée de (Ramaji & Memari, 2016)

Les nouveaux outils technologiques ont donc un impact sur cette gestion de l'information. L'utilisation massive des outils CAO dans les années 80 a ainsi modifié le processus d'information (Eastman, 2009). La gestion de l'information a dû être repensée compte tenu des possibilités de communication de ces nouveaux outils. Les entreprises de la construction ont mis au point une gestion des documents électroniques pour permettre le stockage des données sur fichiers informatiques afin de faciliter l'échange des informations créées. C'est pourquoi l'arrivée du BIM doit aussi amener une remise en question de la gestion actuelle de l'information afin de l'adapter aux possibilités offertes par ces nouveaux outils. Un avantage certain avancé par Berard et Karlshoej (2012) est que l'information, que l'architecte ou l'ingénieur devait chercher dans la feuille d'information produite ou en contactant le fournisseur, se trouverait intégrée à l'objet numérique. Dans cette optique, il faut noter la mise en place de standard pour l'échange des maquettes 3D à travers les différents outils et plateformes BIM, par exemple le format IFC (Industry Foundation Classes) développé par l'Alliance Internationale pour l'Interopérabilité (IAI en anglais). Ce format standardisé est un langage commun qui favorise l'échange de l'information dans ce contexte BIM.

Pour d'autres chercheurs, un des enjeux majeurs pour une construction plus rapide et moins coûteuse est l'amélioration de la conception et de la construction des systèmes CVCA. Le coût de ses systèmes représente 40 à 60% du coût total de construction d'un bâtiment (Hartmann, 2009). De plus, dans ce contexte BIM, la conception des systèmes CVCA représente un aspect important du cycle de vie du bâtiment, car ses systèmes impactent la

consommation d'énergie et donc le coût de fonctionnement du bâtiment durant son utilisation.

Afin de comprendre le besoin en information pour le calcul de charge de chauffage et refroidissement et faciliter l'identification de l'information, il est intéressant d'examiner les différentes méthodes utilisées pour ce calcul.

1.4 Méthodes de calcul de la charge de chauffage et de refroidissement

Pour dimensionner les systèmes CVCA, il existe plusieurs étapes de conception. L'une de ces étapes est le calcul de la charge de chauffage et de refroidissement. Cette étape nécessite beaucoup d'informations sur le bâtiment (architecture du bâtiment, utilisation du bâtiment, occupation, etc.) ainsi que sur les conditions choisies par le client ou les normes du bâtiment (confort thermique, renouvellement de l'air, etc.). Les données météorologiques sont aussi prises en compte (voir encadré rouge Figure 1.6). Le processus de calcul de la charge est un processus de design qui s'avère être itératif. Les données initiales utilisées pour faire le calcul sont donc amenées à changer tout au long de la conception du système CVCA. Le défi du calcul de charge est de garantir le confort thermique des occupants du bâtiment en tout temps. Souvent, le dimensionnement se fait pour des conditions extrêmes avec une marge de sécurité en plus. Toutefois, si ce dimensionnent est trop excessif, il peut entrainer une augmentation des coûts à l'installation ainsi que des coûts d'opération et d'entretien (Kreider, Curtiss, & Rabl, 2009).

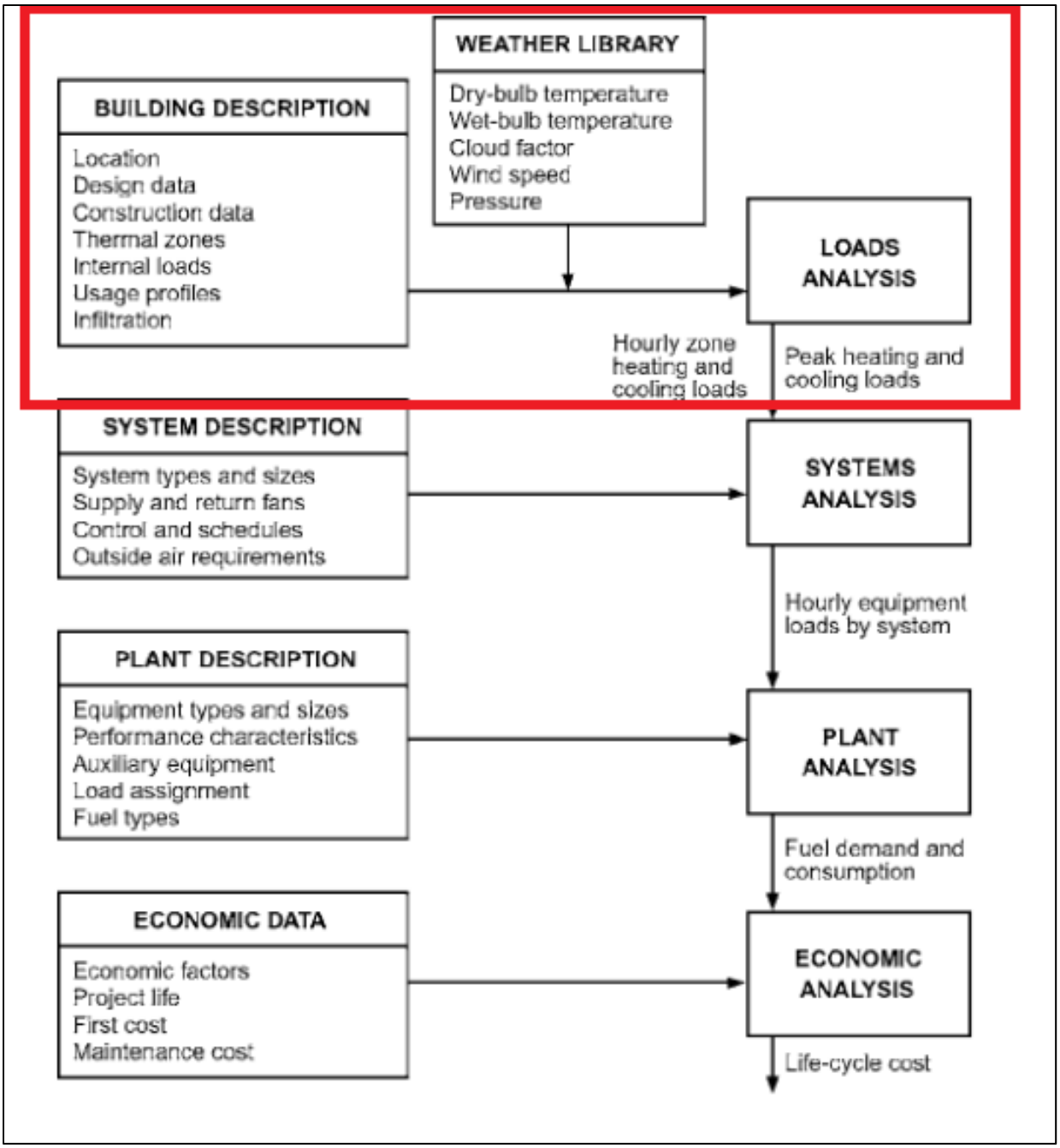

Figure 1.6 - Place du processus de calcul de charge (encadré rouge)
dans le processus de simulation énergétique d'un bâtiment
Tirée de (ASHRAE-Fundamentals, 2009)

Selon ASHRAE Fundamentals, il existe plusieurs méthodes pour le calcul de la charge de chauffage et de climatisation d'un bâtiment. Les principales sont :

- CLTD/CLF;
- Weighting Factor;
- Heat Balance;
- Radiant Times Series.

Ces méthodes se basent sur une représentation des transferts ou gains de chaleurs du bâtiment par convection, conduction ou radiation. Il existe deux types de gains de chaleurs :

- Gains de chaleurs externes (enveloppe du bâtiment);
- Gains de chaleurs internes (occupation, éclairage, etc.).

Ces méthodes permettent de calculer la charge de chauffage aussi bien que la charge de refroidissement. La charge de chauffage atteint un pic durant l'hiver et tient compte des pertes de chaleur de l'enveloppe à cause de la température extérieure. Pour ce calcul, il est courant d'émettre comme hypothèse que la radiation solaire est nulle et la température extérieure constante sur un jour (gains de chaleur externe minimum). La charge de refroidissement atteint son pic en été, durant la journée. De plus, comme la radiation solaire est importante, les conditions extérieures ne sont pas constantes et il est alors nécessaire de calculer la charge selon les différentes périodes de la journée.

1.4.1 CLTD/CLF

La méthode CLTD/CLF (Cooling Load Temperature Difference/Cooling Load Factor) est une méthode populaire pour calculer la charge de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment depuis la mise à jour du manuel de l'ASHRAE en 1979. Cette méthode utilise les valeurs CLTD et CLF d'un tableau, valeurs calculées à l'aide de fonction de transfert pour des conditions environnementales et des zones thermiques standardisées. Par exemple, les coefficients CLTD sont calculés pour 96 types de murs et 36 types de plafonds (Spitler, McQuiston, & Lindsey, 1993).

Cette méthode permet de calculer la charge de refroidissement pour chaque composant à chaque heure d'utilisation du bâtiment. Pour obtenir la charge du bâtiment, il faut donc additionner les différentes charges calculées. Elle tient compte du délai de gain de chaleur du bâtiment par conduction et radiation, alors que les gains de chaleur par convection sont considérés comme instantanés. Les coefficients CLTD concernent principalement les gains de chaleur externes et les coefficients CLF concernent principalement les gains de chaleurs internes.

Pour les gains de chaleurs externes, la charge de refroidissement peut être calculée pour chaque mur ou chaque toit par la relation suivante :

Rapport-Gratuit.com

$$q = U * A * CLTD \tag{1.1}$$

Avec

$q =$ charge de refroidissement/chauffage, Btu/h;

$U =$ coefficient de transfert de chaleur, Btu/h*ft^2*°F;

$A =$ surface, ft^2;

$CLTD =$ coefficient équivalent température, °F.

La relation est simple puisqu'il s'agit de plusieurs termes multipliés. Chaque charge q est ensuite additionnée pour obtenir la charge totale. Conçue pour un calcul à la main, elle comporte des approximations qui peuvent amener des inexactitudes. Les coefficients préétablis peuvent amener des écarts avec la réalité, ce qui représente le défaut de cette méthode.

1.4.2 Weighting Factor Method

Décrit par le manuel de calcul de charge de chauffage et climatisation de l'ASHRAE, la méthode *Weighting Factor* (méthode WF) utilise les équations d'équilibre énergétique au lieu d'utiliser des équations d'équilibre de température. Les facteurs de pondérations (« *weighting factors* ») utilisés sont des fonctions de transfert de type discret. Ces fonctions de transfert permettent de modifier instantanément la charge sensible des espaces calculée à partir d'une température constante et aussi de calculer la composante de conduction à travers l'enveloppe du bâtiment. Cette méthode représente un compromis entre les méthodes simples et stationnaires comme la méthode CLTD/CLF qui ignorent la capacité de la matière à stocker de l'énergie, et les méthodes plus dynamiques comme la méthode Heat Balance (Kerrisk, Schnurr, Moore, & Hunn, 1981).

La première hypothèse de cette méthode est une linéarisation du processus permettant d'additionner les charges pour obtenir une charge totale de climatisation. La deuxième

hypothèse stipule que les coefficients du système étudiés sont constants et donc indépendants du temps et de la température (Al-Homoud, 2001; Kerrisk et al., 1981).

Un des exemples d'utilisation de cette méthode est le programme américain de simulation énergétique DOE-2. Ce programme utilise les données météorologiques heure par heure pour déterminer la charge de chauffage et de refroidissement horaire et le comportement du bâtiment sur la journée. En plus de calculer la charge, le programme DOE-2 permet de faire des analyses énergétiques du bâtiment. Plus rapide que la méthode Heat Balance (méthode HB), la méthode WF est cependant moins précise (Al-Homoud, 2001). C'est pourquoi la méthode HB est de plus en plus privilégiée avec l'augmentation des capacités des ordinateurs et la réduction des temps de calcul.

1.4.3 Heat Balance Method

Un modèle complet et détaillé des transferts de chaleurs dans un bâtiment serait complexe et pourrait ne pas être pratique. Les chercheurs et les utilisateurs des méthodes de calculs de charge se sont entendus pour introduire des simplifications (Pedersen, American Society of Heating, & Engineers, 1998). Ainsi, la méthode Heat Balance se base sur des hypothèses qui sont :

- Températures de surface uniformes;
- Radiation uniforme (quelle que soit la longueur d'onde);
- Surfaces de radiation diffuses;
- Conduction à une dimension.

La méthode se divise ensuite en 4 étapes distinctes, comme l'indique le schéma de la Figure 1.7.

- Équilibre thermique du mur (face extérieure);
- Conduction dans le mur;
- Équilibre thermique du mur (face intérieure);
- Équilibre thermique de l'air intérieur.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

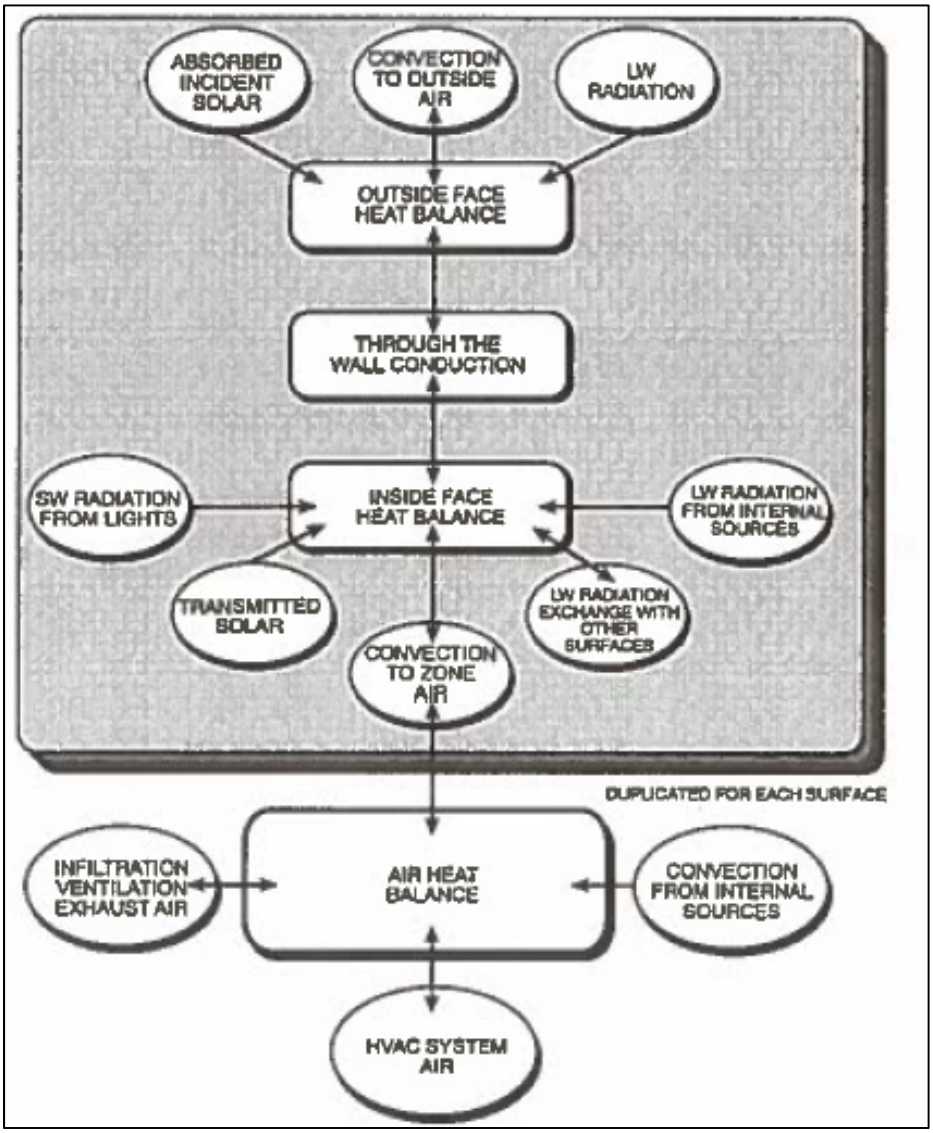

Figure 1.7 - Processus de la méthode Heat Balance
Tiré de Pedersen et al. (1998)

Les doubles flèches du schéma indiquent un échange de chaleur tandis qu'une simple flèche indique une interaction à sens unique. Le processus montré s'applique pour une surface opaque simple. Pour une surface transparente, la composante pour la face extérieure due au rayonnement solaire absorbé ne serait pas prise en compte.

Cette méthode plus complète que la précédente amène des calculs complexes d'équilibres thermiques qui rendent le calcul à la main presque impossible.

1.4.4 Radiant Time Series Method

La méthode RTS est directement dérivée de la méthode HB. Son avantage provient de la simplification du processus, qui permet de comprendre plus facilement les équations physiques. En contrepartie, la rigueur de la méthode HB est amoindrie par l'utilisation de coefficient, mais les résultats entre les deux méthodes diffèrent peu.

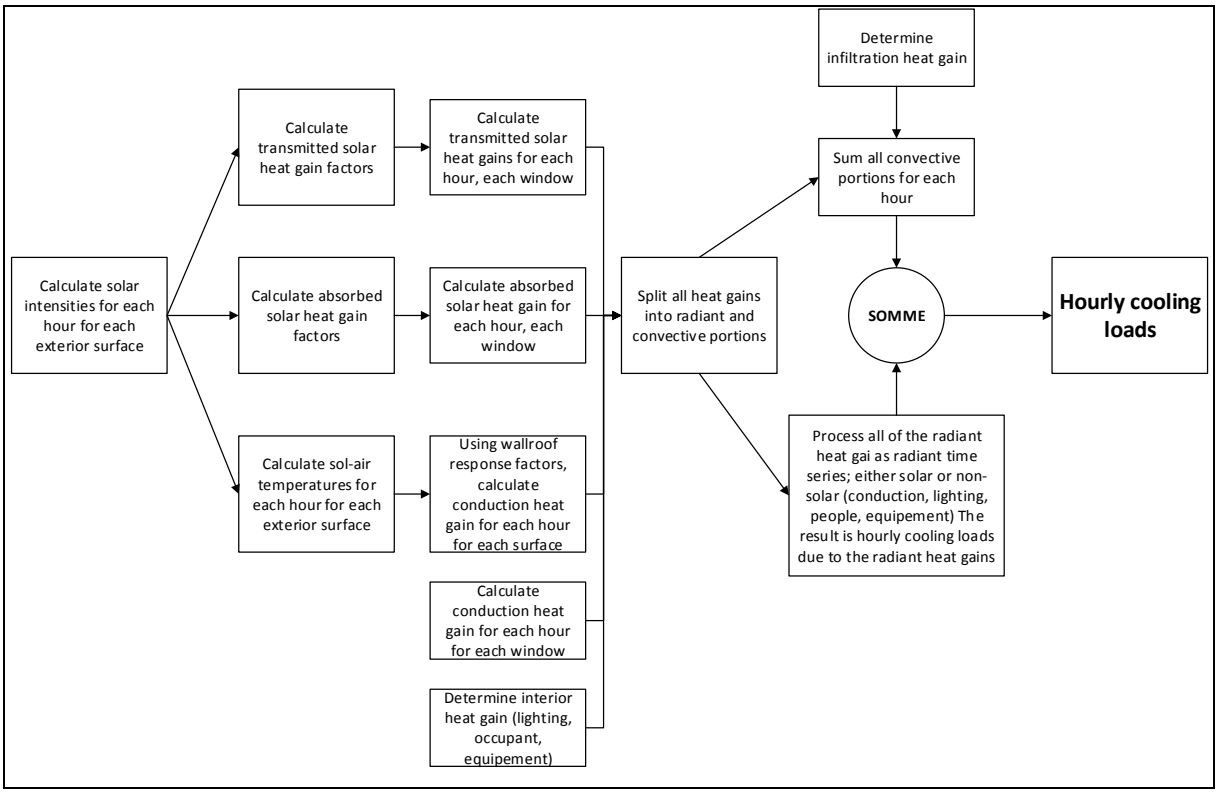

Figure 1.4 - Schéma de la méthode RTS – Adapté de Pedersen et al. (1998)

Les coefficients RTS calculés grâce à la méthode HB selon le type de mur permettent ensuite de calculer le comportement du bâtiment et la variation de la charge au cours d'une journée afin d'en déduire la valeur maximale (le pic).

Cette méthode est actuellement utilisée par la société Autodesk pour son logiciel de conception BIM Revit.

1.4.5 Synthèse

Le Tableau 1.1 présente les différentes méthodes de calcul de charge introduit par l'ASHRAE et détaillés dans la section 1.4. L'avantage certain de la méthode CLTD/CLF est son usage à la main qui permet de l'utiliser sans programmer un logiciel.

Tableau 1.1 - Comparatifs méthodes de calculs de charge de l'ASHRAE

Méthodes de calcul de charge	CLTD/CLF	HB	RTS	WF
Critères				
Adaptée pour le calcul à la main	●			
Adaptée pour le calcul à l'ordinateur		●	●	●
Précision		●		
Utilisé par		EnergyPlus	Revit	DOE-2

Comme cela a pu être expliqué plus haut, les systèmes CVCA alimentent les espaces du bâtiment. Ces espaces sont alors divisés en zones thermiques (ou simplement zones). Les méthodes de calcul de charge abordées se fondent sur le calcul d'une zone thermique. Pour établir le calcul de charge du bâtiment entier, il est alors nécessaire de connaitre son zonage.

1.5 Zonage du bâtiment

Le zonage est essentiel pour les bâtiments complexes (Kreider et al., 2009). En effet, chaque pièce ne reçoit pas la même quantité de chaleur selon son exposition, sa fenestration ou son utilisation. Par exemple, pour un bâtiment comportant de grandes fenêtres au nord et de grandes fenêtres au sud, les pièces exposées au sud recevront plus d'énergie thermique dû au

rayonnement solaire que les pièces exposées au nord et cela même avec la même fenestration. Le bâtiment doit être découpé pour être régulé différemment.

Réalisé généralement en début de processus de design, le zonage du bâtiment est un découpage du bâtiment en zones thermiques. Un thermostat est installé dans chaque zone, chaque zone étant régulée indépendamment des autres. Plusieurs espaces peuvent être regroupés en une zone thermique si leurs caractéristiques environnementales (orientations, surfaces identiques, zones périphériques ou zones intérieures) et utilisations sont identiques (Grondzik, 2007). Les zones sont ensuite regroupées pour être desservies par un système CVCA. À chaque système correspond donc un regroupement de zones. Les zones périphériques et les zones intérieures sont cependant souvent regroupées sur des systèmes différents étant donné leurs différences de charges thermiques.

Dans les premières itérations du calcul de charge, les zones thermiques représentent de grands espaces. Au fur et à mesure de l'avancement de la conception, les zones thermiques s'affinent afin d'avoir une meilleure représentation énergétique du bâtiment. En effet, un bon regroupement permet de limiter les équipements en charge partielle (problème de surdimensionnement) ce qui représente des économies pour le projet.
Pour des bâtiments imposants (plusieurs étages), il faut donc souvent recourir à l'utilisation de plusieurs systèmes CVCA.

La Figure 1.8 est un exemple de zonage de bâtiment simple avec des pièces périphériques et des pièces intérieures. Il est à noter que les pièces de la zone 9 et 10 sont regroupées en une même zone, car elles partagent des caractéristiques similaires (même orientation, pièces en périphérie, dimensions similaires).

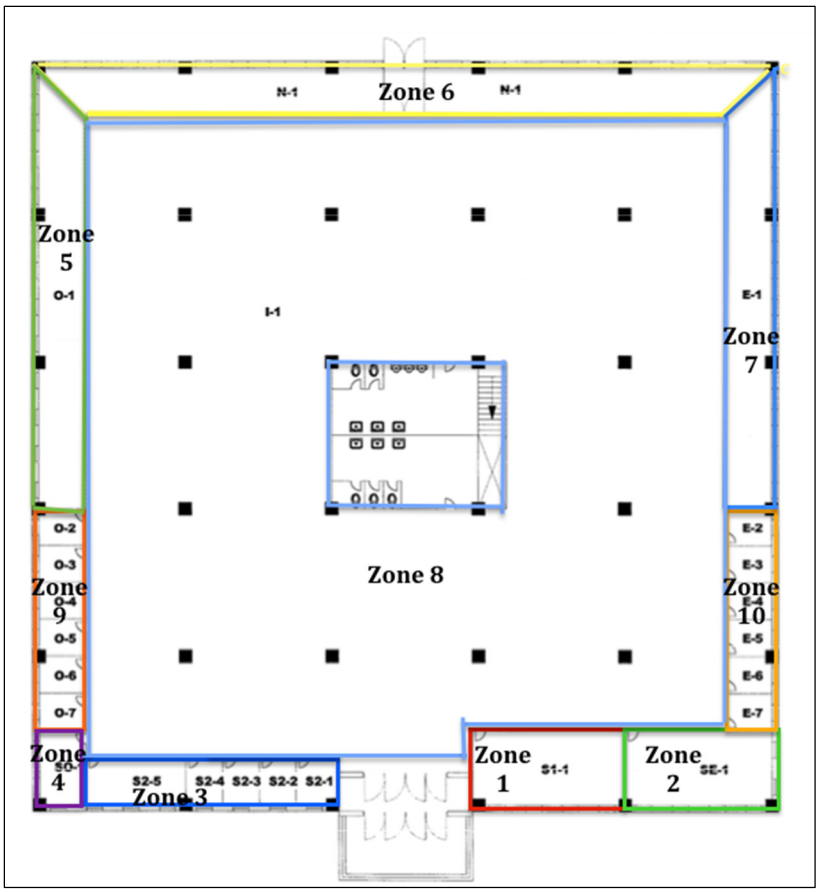

Figure 1.8 - Exemple de zonage - Bâtiment simple

La Figure 1.9 est un exemple de zonage d'un bâtiment complexe. Ici, chaque pièce de l'étage correspond à une zone thermique, repérée par une couleur différente.

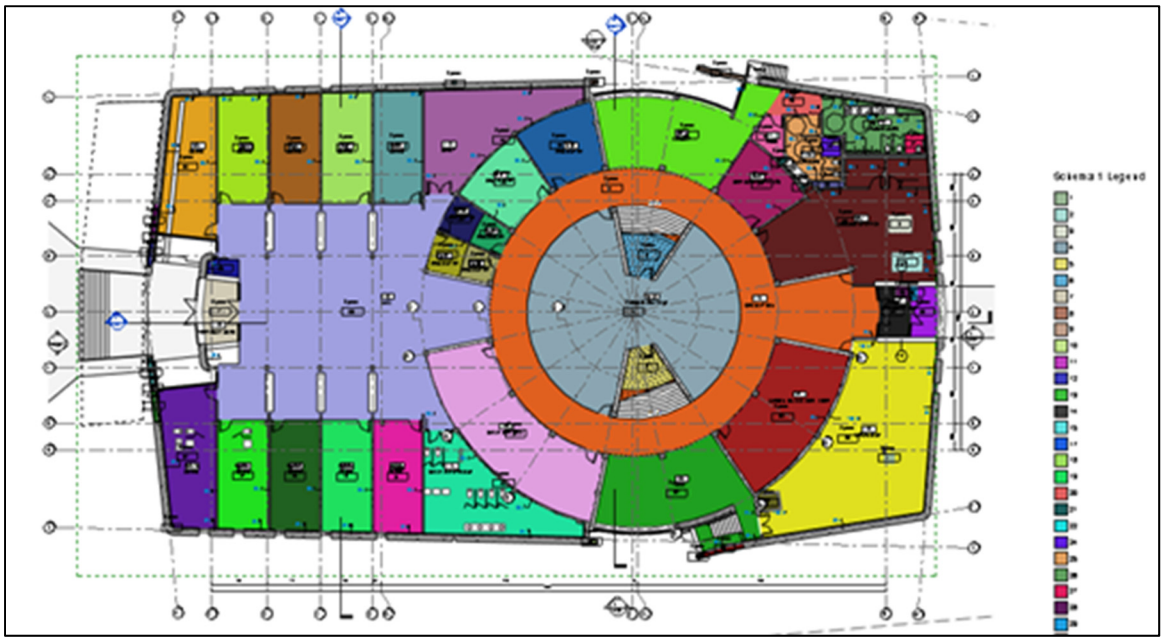

Figure 1.9 - Exemple de zonage – Bâtiment complexe

Le zonage thermique reste toutefois subjectif, car il dépend de l'expérience du concepteur et ingénieur de regrouper ou non certaines pièces dépendamment des conditions spéciales à respecter avec par exemple les pièces demandant une extraction d'air important (laboratoire, salle d'opération chirurgicale, etc.).

1.6 Limites de la littérature

La plupart des articles sur le BIM traitent des bénéfices et de son adoption, encore aujourd'hui difficile dans le secteur. Cela s'explique notamment par les interactions entre plusieurs firmes pour un même projet de construction (Poirier, Staub-French, & Forgues, 2015) et le manque de solutions collaboratives mises en place. Certains articles scientifiques traitent aussi de la gestion de l'information et des stratégies pour échanger les données entre partenaires industriels sur les projets de construction, car cette gestion d'informations représente un enjeu majeur pour l'adoption du BIM (Eastman et al., 2009; Hartmann, Fischer, & Haymaker, 2009).

La problématique dans ce contexte BIM est vaste, c'est pourquoi ce mémoire se focalisera sur une étape importante du processus de conception. Ce choix se portera sur la conception des systèmes CVCA, et plus particulièrement le calcul de la charge de chauffage et de refroidissement du bâtiment. Cette étape-clé est aussi très utile pour la simulation énergétique. Dans un contexte où les bâtiments consomment énormément d'énergie, par exemple aux États-Unis où 40% de l'énergie est consommé par les bâtiments d'après Kim et al. (2016), la simulation énergétique apparait comme un domaine à développer. L'amélioration du calcul de charge de chauffage et refroidissement est donc un premier pas dans ce sens et favorisera la conception de bâtiments plus efficace en énergie.

Sur ce sujet, Liu, Leicht, et Messner (2012) ont cartographié le processus de conception des systèmes CVCA dans un contexte traditionnel et ont proposé une carte du processus de conception intégrée pouvant être utiliser pour le développement du BIM. Ces cartes serviront d'appui pour répondre au premier objectif secondaire. Il fait partie des quelques articles scientifiques combinant cette notion d'efficacité énergétique avec le potentiel du BIM et montre l'importance de développer ce sujet.

Concernant la gestion de données, l'article de Wimmer et al. (2014) a pour objectif de montré l'utilisation des nombreuses données présentes sur une maquette BIM pour une simulation énergétique dès les premières phases du cycle de vie du bâtiment, avec des exemples sur le logiciel Modelica. Ces données sont définies de différentes façons et peuvent être extraite par différents logiciels et plateformes, ce qui peut amener un problème d'interopérabilité. Il est donc important de bien définir ces données et les identifier pour les extraire facilement, les échanger et les utiliser durant tout le cycle de vie de bâtiment.

Ce travail de recherche s'appuie sur ces articles pour répondre aux objectifs fixés et ainsi obtenir une carte de processus adaptée à la firme partenaire dans un contexte BIM et une identification de l'information. Il permet ainsi de développer davantage le sujet des processus de conception des systèmes CVCA dans un contexte BIM en se concentrant sur le calcul de charge de chauffage et refroidissement.

CHAPITRE 2

METHODOLOGIE DE RECHERCHE

Le développement rapide du BIM dans le secteur de la construction a entrainé une croissance des projets de recherche sur ce sujet (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014). Pour permettre une reproductibilité et une validité des résultats afin de conserver une continuité des projets de recherche sur le domaine, ce chapitre présente la méthodologie de recherche employée dans le cadre de ce mémoire.

2.1 Rappel des objectifs

L'objectif de ce mémoire est d'examiner l'utilisation du BIM pour le calcul de charges de chauffage et refroidissement. Pour atteindre cela, la méthodologie doit répondre aux objectifs secondaires suivants :

- Cartographier le processus de calcul de charge, incluant les flux d'information et de travail;
- Identifier l'information requise pour ce processus;
- Proposer des recommandations pour améliorer ce processus et permettre l'émergence de standards ou de règles de conception.

Eastman et al. (2009) proposent un processus en quatre étapes, illustré à la Figure 2.1 menant au développement de standards BIM et leur implantation dans l'industrie. Ce processus comporte 4 étapes : la recherche de requis, la conception d'un modèle, l'implantation dans les logiciels et la mise en place dans les firmes. Les objectifs de ce mémoire correspondent à la première de ces étapes.

Rapport-Gratuit.com

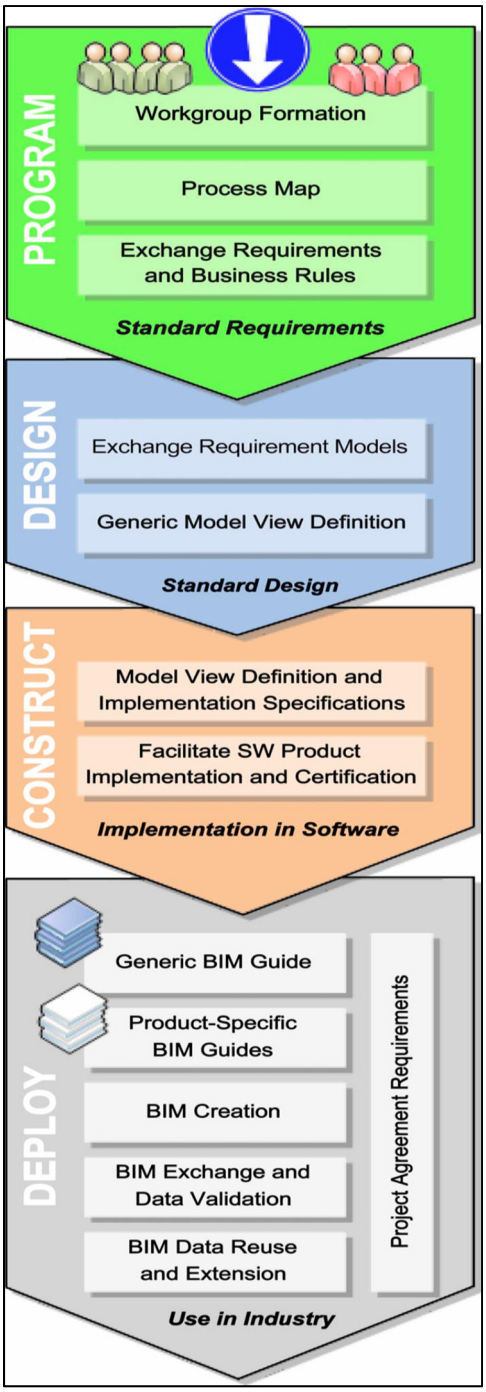

Figure 2.1 - Processus de développement de standards BIM
Tiré de Eastman et al. (2009)

Ce mémoire utilise une recherche exploratoire. Ce choix provient du fait que la problématique est peu développée dans la littérature. Il est alors logique de faire un état des lieux des pratiques actuelles sur le calcul de charge en contexte BIM pour comprendre le contexte dans lequel la problématique évolue. L'objectif étant l'exploration d'un domaine et la compréhension élargie de phénomènes, la démarche utilisée est alors qualitative contrairement à une démarche quantitative qui se caractérise par la mesure de variable et l'obtention de résultats numériques (Fortin, Côté, & Filion, 2006).

Adaptée pour ce travail exploratoire, la méthodologie se découpe en plusieurs axes tels qu'illustrés à la Figure 2.2. Tout d'abord, la définition du travail de recherche a débuté par l'identification de la problématique et de la délimitation du cadre de la recherche en se concentrant notamment sur une partie du processus de conception des systèmes CVCA. Pour ce faire, une revue de littérature a permis de cerner le contexte d'étude. Une fois le contexte exploré, une période d'observations professionnelles a permis de comprendre les pratiques actuelles d'une firme de génie-conseil. Grâce à ces observations, le processus de conception a été cartographié et les données nécessaires au calcul de charge de chauffage et de refroidissement ont été identifiées. Afin de récupérer les connaissances des experts, des entrevues semi-dirigées ont été conduites dans le cadre d'une étude de cas (Gagnon, 2005). L'ensemble de ces résultats a finalement été analysé et validé par triangulation, servant de base pour énoncer les recommandations utiles à la firme.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

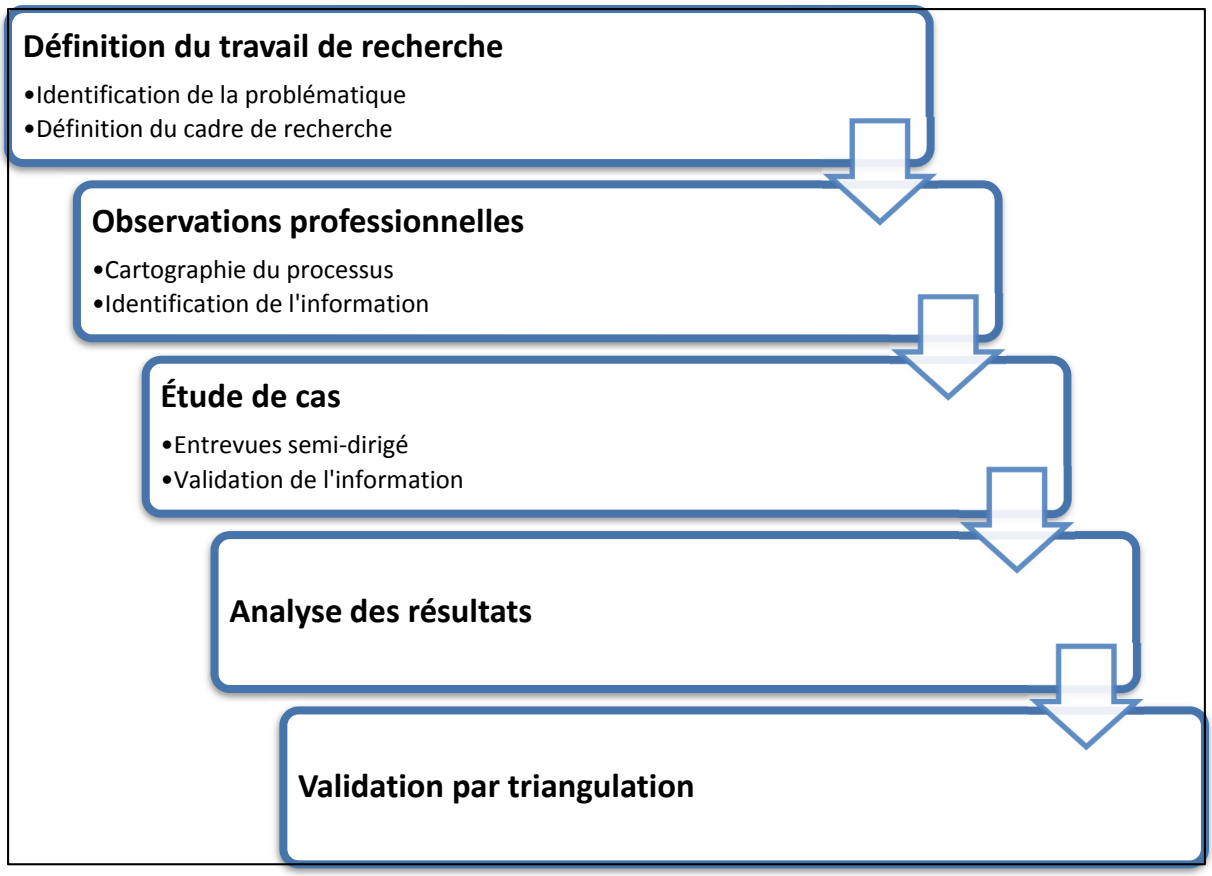

Figure 2.2 - Méthodologie de recherche

2.2 Observations professionnelles

Les observations professionnelles se sont effectuées dans une firme québécoise de génie-conseil dont une partie des affaires se concentre sur la conception des systèmes CVCA des bâtiments de la région. L'entreprise comprend un groupe de plus de 300 employés déployés dans différents bureaux. Durant plusieurs mois, cette immersion permet de comprendre les pratiques dans la conception des systèmes CVCA, l'intégration des outils BIM dans le processus actuel et les méthodes de calcul de charge employées.

De plus, l'observation permet de voir les échanges entre les acteurs d'un projet en situ. Un accès aux documents de travail est aussi mis à disposition. Cela permet de consulter les

documents reliés aux différents projets de la firme (projets avancés ou en cours) qui sont classés selon l'année et le bureau responsable du projet.

Cette observation passive a permis d'examiner les documents pertinents (documentations internes, guide d'utilisation des outils développés par l'entreprise, etc.) à l'identification des paramètres utiles au calcul de charge et à l'élaboration d'une cartographie du processus.

2.2.1 Cartographie du processus

La cartographie permet de répondre à l'objectif d'identification des flux d'information et de travail dans le processus étudié. Les cartes de processus (*process maps* en anglais) sont un support visuel des flux d'activités et des flux d'information dans un processus mis en œuvre ou devant être mis en œuvre dans une organisation (Mihindu, 2008). Dans notre cas, cette cartographie permet d'avoir une vision d'ensemble des différentes activités du processus de calcul de charge. Pour ce mémoire, la norme de cartographie utilisée est la méthode Information Delivery Manual (IDM) développée par BuildingSMART et reconnue comme un standard (Berard & Karlshoej, 2012). Écrit par Wix (2010), IDM est inspiré de la norme de cartographie Business Process Modeling Notation (BPMN) et provient de la nécessité de formaliser les échanges dans l'approche BIM.
Le BPMN est un langage standard pour la cartographie de processus d'affaires. Il offre la possibilité aux organisations de communiquer leurs procédures d'affaire à travers un diagramme standard compréhensible de tous (Business Process Diagram). Afin de créer ce type de cartographie, de nombreux outils intègrent le formalisme BPMN tel que le logiciel Visio de Microsoft.

La Figure 2.3 représente un exemple de cartographie de processus utilisant le formalisme BPMN. Il permet une identification des étapes importantes du projet de construction dans les colonnes verticales tandis que les lignes horizontales représentent les différents acteurs du projet. La carte est constituée de trois éléments majeurs :

- **Les activités** : elles définissent les tâches spécifiques à effectuer (illustrées par les rectangles bleus). Les cercles bleus définissent le début et la fin du processus, et parfois des étapes intermédiaires. Elles peuvent être numérotées pour mieux les identifier.
- **Les flux d'informations** : ils lient les activités entre elles. Les lignes pleines relient les activités d'un même acteur. Il n'y pas forcement d'intrant et d'extrant identifiés entre deux activités d'un même acteur. Les lignes pointillées et les flèches indiquent la direction du flux d'information entre deux acteurs.
- **Les échanges d'informations** : ils sont représentés par des modèles d'échange (EM) au niveau des flux d'informations (papiers carrés bleus), cela permet d'identifier quel type d'information sera utilisé lors de l'échange.

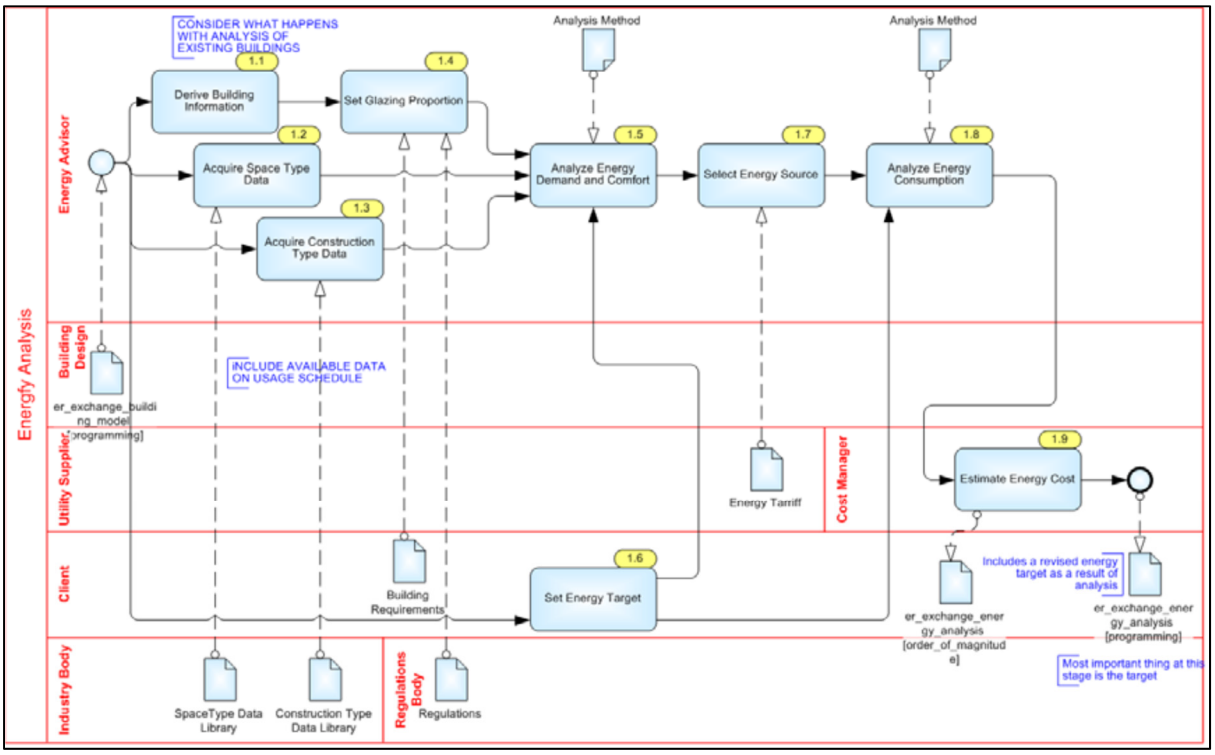

Figure 2.3 - Exemple de formalisme BPMN - Tiré de Wix et Karlshoej (2010)

Pour établir la cartographie, l'approche choisie est une approche descendante, c'est-à-dire débuter avec un point de vue global pour aller au fur et à mesure dans le détail. Cette approche permet d'identifier les phases majeures du processus. Certaines activités sont ensuite détaillées en fonction de leur pertinence.

La cartographie du processus de calcul de charge est complétée en observant les activités des acteurs et leur rôle (un des acteurs de projets de construction est par exemple le client). Les livrables reçus et émis durant ce processus sont aussi identifiés. Une fois les flux, les livrables et les acteurs identifiés, la carte doit subir une validation par les professionnels de la firme pour assurer la conformité des résultats qui s'en suivront.

2.2.2 Identification de l'information

Plusieurs paramètres sont nécessaires au calcul de la charge de chauffage et refroidissement. L'identification de l'information sert de base à une gestion de l'information efficace où chaque paramètre important est recensé avec sa provenance. À partir des observations professionnelles et de la carte de processus, les échanges d'information sont étudiés pour déterminer la provenance des paramètres importants du calcul de charge. Ces informations sont ensuite réunies dans un tableau.

2.3 Étude de cas

Pour répondre aux objectifs du projet, la méthodologie s'appuie sur la méthode de l'étude de cas multiple. Cette méthode est bien adaptée à la problématique de recherche, car peu d'articles explorent l'étude du processus de conception autour du calcul de charge à l'aide du BIM. Le besoin de dégager des tendances est crucial. Ces tendances seront utilisées pour guider les futures règles de conception. Dans cette étude, chaque cas est un projet de la firme d'ingénierie. L'unité d'analyse est le projet de construction/aménagement. Chaque projet est ensuite analysé selon son envergure et ses spécificités.

2.3.1 Choix du type d'étude de cas

Quatre projets ont été choisis, ce qui est recommandé pour une étude de cas multiple (Eisenhardt, 1989). Contrairement à une étude de cas simple qui se charge de confronter une hypothèse sur un cas unique, une étude de cas multiple enrichit la compréhension du contexte et permet une validation des résultats par triangulation. Ces quatre projets sont décrits dans la section 2.3.2.

Afin de réaliser ces cas, des entrevues avec les personnes impliquées sur ces projets sont réalisées, ainsi qu'un examen des données produites lors des projets. Pour avoir une vue d'ensemble de chaque cas, ces personnes sont aussi bien des chargés de projet, des ingénieurs et des techniciens de la firme. Le chargé de projet va ainsi donner sa vision d'ensemble du projet, tandis que le technicien va expliquer les problèmes pratiques à propos des plans et dessins et l'ingénieur apportera sa vision des calculs et des choix de solutions techniques.

2.3.2 Échantillonnage et choix des projets

Afin de comprendre et apprécier les résultats et observations trouvés, chaque étude de cas est remise dans son contexte (Gagnon, 2005). Les projets BIM sélectionnés sont 3 projets de rénovation et d'aménagement des systèmes CVCA (enveloppe existante) (désignés par la lettre A) et un projet de nouvelle construction réalisé par la firme de génie-conseil (désigné par la lettre N).

2.3.2.1 Projet A1

Le projet A1 est le réaménagement d'un ancien planétarium dans la région de Montréal par une université pour en faire des espaces de travail collaboratif. L'enveloppe n'a pas été modifiée depuis sa construction initiale, elle est constituée d'un étage utilisé et un sous-sol vide. De plus, un dôme d'une hauteur de 20 mètres se situe au milieu. Le bâtiment fait plus de 3 000 mètres carrés. La particularité de l'enveloppe tient à sa fenestration faible. Le tableau 2.1 décrit les caractéristiques principales du projet A1.

Tableau 2.1- Descriptif du projet A1

Budget du projet	10 millions $
Surface construite	3 716 m²
Durée du projet	2 ans

2.3.2.2 Projet A2

Le projet A2 est un projet d'aménagement de locaux touristiques proche d'un monument de la ville de Montréal. La particularité de l'enveloppe est sa position à flanc de montagne, présentant donc plusieurs étages avec différentes superficies et un côté considéré « sous terre ». Le tableau 2.2 décrit les caractéristiques principales du projet A2.

Tableau 2.2 - Descriptif du projet A2

Budget du projet	80 millions $
Surface terrain	20 000 m² (estimation)
Surface construite	5 000 m² (estimation)
Durée du projet	2 ans

2.3.2.3 Projet A3

Le projet A3 est un projet d'aménagement d'une tour penchée. Les différents étages ont donc une forme trapézoïdale avec une superficie différente à chaque étage. La firme sur ce projet s'est focalisée sur le dimensionnement et la conception de la salle mécanique alimentant l'ensemble du bâtiment. La distribution des systèmes CVCA et donc le raffinement des calculs de charge n'est pas abordée. Le tableau 2.3 décrit les caractéristiques principales du projet A3.

Tableau 2.3 - Descriptif du projet A3

Budget du projet	43,5 millions $
Surface construite	15 000 m²
Durée du projet	2 ans

2.3.2.4 Projet N4

Le projet N4 est un projet de nouvelle construction d'un complexe hospitalier dans la région de Québec. Le complexe est composé de 4 étages pour une superficie totale de plus de 300 000 pieds carrés. Le tableau 2.4 décrit les caractéristiques principales du projet N4.

Tableau 2.4 - Descriptif du projet N4

Budget du projet	270 millions $
Surface construite	34 676 m²
Durée du projet	3 ans

2.3.3 Entrevues semi-dirigée

Les entretiens sont conduits pour fournir une base de données spécialement créée pour les besoins de ce mémoire. Ces données permettront une analyse plus poussée sur des sujets spécifiques comme l'identification des données relayées par la maquette BIM et des données nécessaires pour le calcul de charge, mais aussi la place du calcul de charge dans le processus de conception. Pour conduire ces entretiens, un questionnaire a été élaboré pour garder une trame identique pour chaque personne (voir ANNEXE II), ce qui permettra une comparaison entre les réponses et facilitera l'analyse. Les questions portent sur 3 axes majeurs :

- Le processus de conception;
- Le calcul de charge;
- L'expérience BIM.

L'entretien reste toutefois semi-dirigé afin d'avoir une liberté pour la personne interrogée de s'exprimer et de faire part de son avis sur le projet. Cela permet d'avoir des entrevues riches en information, contrairement à un questionnaire où l'information est plus restreinte.

Les personnes ayant travaillé sur un ou plusieurs des 4 projets choisis pour l'étude de cas sont invitées à participer à des entrevues de 30 à 45 min par un formulaire d'information et de consentement (voir ANNEXE I).

Pour préparer ces entrevues, les personnes sont contactées pour prévoir un lieu et une date. Du matériel d'enregistrement est aussi amené pour retranscrire les entrevues et permettre une fluidité durant l'échange. De plus, recourir à des systèmes d'enregistrement pour collecter les données assure une fiabilité des données et évite le biais du chercheur conduisant l'entrevue.

2.3.4 Validation de l'information

L'étude de cas permet aussi de valider l'information récoltée durant les observations professionnelles. Ainsi, durant les entrevues, la carte du processus de conception est présentée aux participants. Leurs commentaires valident ainsi la cartographie et apportent quelques modifications.

2.4 Analyse des résultats

Les entrevues constituent une cueillette de données qui nécessitent une analyse de contenu afin de dégager des tendances. Cette analyse de contenu se fait en 3 phases : le codage, le triage du contenu puis l'analyse elle-même par le chercheur. La collecte et le traitement de données se font en parallèle afin de ne pas perdre d'information (Gagnon, 2005). Les entretiens sont ainsi réécoutés au fur et à mesure du déroulement de la phase d'entrevue. Les idées maitresses sont captées et rangées dans les catégories correspondant aux questions posées. Si des idées intéressantes sont exprimées, mais ne répondent pas à la question posée, elles sont catégorisées à part.

Rapport-Gratuit.com

Pour une meilleure efficacité, le traitement des données suit les étapes suivantes :

- Retranscription;
- Tri des données par catégories;
- Prise en compte des modifications apportées à la première cartographie.

2.5 Validation par triangulation

Afin de valider les résultats de recherche, une stratégie de validation par triangulation est mise en place (Morse, Barrett, Mayan, Olson, & Spiers, 2002). Les résultats et analyses de l'étude de cas sont confrontés au recensement des écrits et aux observations effectuées en amont. Cette stratégie permet d'assurer la fiabilité d'une recherche qualitative (Fortin et al., 2006). En effet, les observations peuvent être biaisées par le regard subjectif du chercheur. Il est donc important de mettre en perspective les résultats trouvés par l'entrevue avec les premières conclusions de l'observation professionnelle et du recensement des écrits. Les recommandations établies par ce travail de recherche sont donc renforcées par cette triangulation des données.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS OBERVÉS

3.1 Processus de calcul de charge de la firme

Les données nécessaires à la description du processus actuel de calcul de charge reposent sur l'observation professionnelle. Il en résulte une carte qui permet de visualiser les interactions principales qui transitent autour du calcul de charge. À partir de ces flux d'échange, la détermination des interactions a aussi permis d'identifier les informations nécessaires au calcul de charge.

3.1.1 Carte établie suite à l'observation professionnelle

Pour comprendre dans quel contexte se place la conception des systèmes CVCA dans la firme, il a été nécessaire de visualiser les différentes phases d'un projet au sein de celle-ci. La Figure 3.1 présente les étapes-clés durant la conception, correspondant souvent à un livrable. Un projet de construction commence par un *concept*[1] où le bâtiment est présenté au client, généralement pour remporter un appel d'offres. Les caractéristiques principales (forme de l'enveloppe, surface construite, ordre de grandeur du budget) sont définies durant cette étape. La charge de chauffage et de refroidissement est alors estimée. Lors du *préliminaire*[1], les plans de l'architecte et les plans des systèmes CVCA se concrétisent avec l'utilisation des locaux, le type de pièce, etc. La charge de chauffage et refroidissement est alors calculée pour l'ensemble du bâtiment. Des livrables à 50% sont rendus selon les demandes de l'entrepreneur et du client où les plans sont plus détaillés. Le calcul de charge se précise davantage durant cette étape. Les plans définitifs comportent tous les détails nécessaires à la réalisation et la construction du bâtiment. Il arrive parfois que la charge de chauffage et

[1] Termes employés par la firme

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

refroidissement soit recalculée pour vérifier qu'elle correspond aux systèmes CVCA dimensionnés.

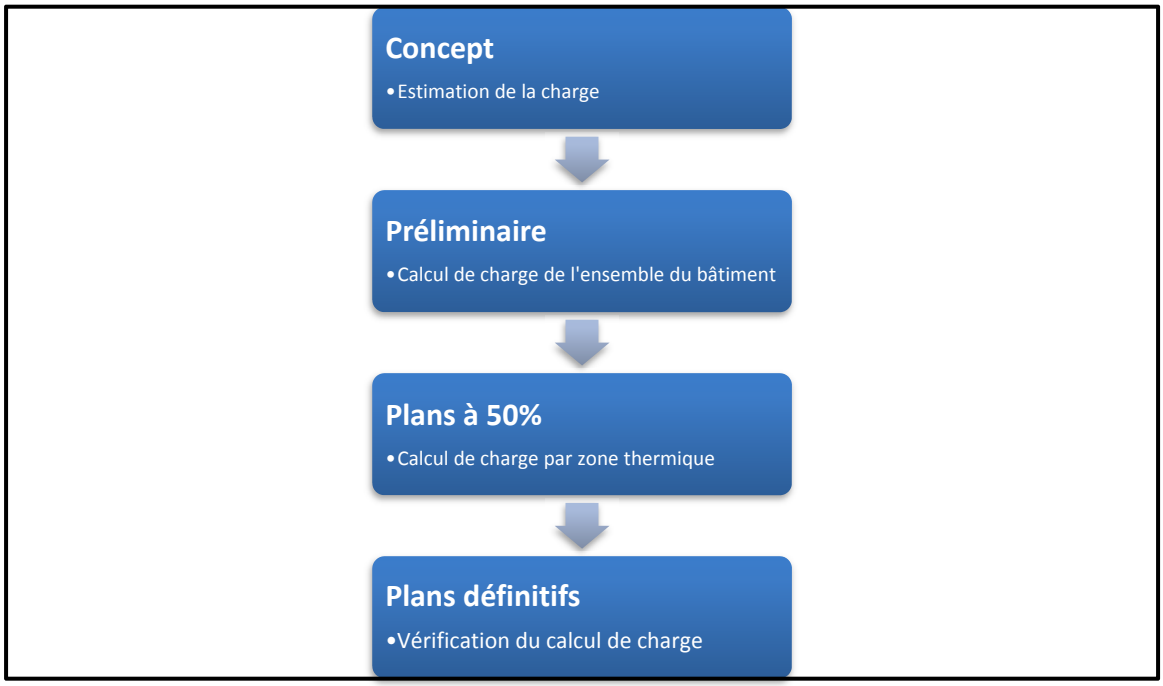

Figure 3.1 – Étapes-clés d'un projet de la firme

Chaque équipe de projet de la firme se compose d'un chargé de projet, d'un ingénieur et d'un technicien. Pour les projets BIM, un expert BIM peut se placer en soutien pour l'extraction des informations (tableau des surfaces, plans AutoCAD, nomenclatures, etc.) de la maquette ainsi que pour la gestion des maquettes.

À partir des observations professionnelles, une carte du processus de conception est dressée. Cette carte est présentée ensuite durant les entrevues afin de valider le processus et/ou apporter des modifications.

Comme vu pour le formalisme BPMN (voir CHAPITRE 2), la structure de la carte est divisée par lignes correspondantes à l'acteur identifié. Le Tableau 3.1 regroupe la légende de la cartographie présentée. Dans chaque ligne-acteur, les activités sont placées (forme

rectangulaire) et reliées par des flèches représentant l'enchainement des tâches. Les flèches en pointillés sont les échanges d'informations. Les livrables sont identifiés par une icône papier. Les cercles représentent les étapes clés du processus (début, fin, etc.).

La Figure 3.2 illustre le processus de calcul de charges dans un contexte classique où le projet d'aménagement ou de construction n'utilise pas les outils BIM. Les informations en amont proviennent de l'architecte et du client pour la définition de l'enveloppe et de la fenestration. Les plans sont sous forme 2D (papier et fichiers AutoCAD), transférés numériquement entre les différents partenaires du projet. Les ingénieurs et techniciens du projet relèvent les informations pertinentes pour leur travail sur ces plans. Afin de faciliter leur travail, ils effectuent une activité de nettoyage des plans pour simplifier leur lecture. Durant cette activité, seule l'information utilisée par la firme durant la conception de systèmes CVCA est conservée. Le reste de l'information ne sera disponible que sur les plans d'architecte. Il n'existe pas de stratégie définie pour gérer l'information en fonction des besoins des autres phases de conception en aval ou des autres acteurs du projet. L'information utile au calcul de charge ne figurant pas sur les plans de l'architecte (localisation, données météorologiques, etc.) est récupérée dans les dossiers informatiques du projet. Le calcul de charge est ensuite effectué à la main selon une adaptation de la méthode CLTD/CLF, en s'appuyant sur des outils informatiques (fichier Excel et macro VBA). Ces premiers calculs de charge vont aider à la prise de décisions durant le projet et permettre de finaliser l'enveloppe du bâtiment. Le zonage final du bâtiment est ensuite effectué une fois les plans définitifs de l'architecte reçus. Toujours avec la même méthode, le dernier calcul de charge permet de valider le dimensionnement des systèmes CVCA et le choix de l'équipement.

D'après les informations recueillies durant les observations professionnelles, les projets effectués dans un contexte BIM empruntent le même processus de conception. Le BIM n'a pas eu d'impact sur la façon de concevoir les systèmes CVCA. Les activités sont les mêmes et l'information est identique. Seuls le support de l'information et les logiciels utilisés changent. Les plans 2D sont remplacés par la maquette BIM. Les données pour le calcul de

charge sont extraites soit par des tableaux résumant les surfaces des pièces et par lecture des éléments présents dans la maquette, soit par des plans 2D compatible avec un logiciel comme AutoCAD.

Tableau 3.1 - Légende de la cartographie

	Début/Fin du processus Étape intermédiaire
Définition des besoins	Activité
Validation du concept par le client	Activité comportant une prise de décision
	Échange d'informations
	Flux d'activité
Plans architecte	Livrables
Feuille de calcul BPA	Ressources (outils, tableur, etc.)

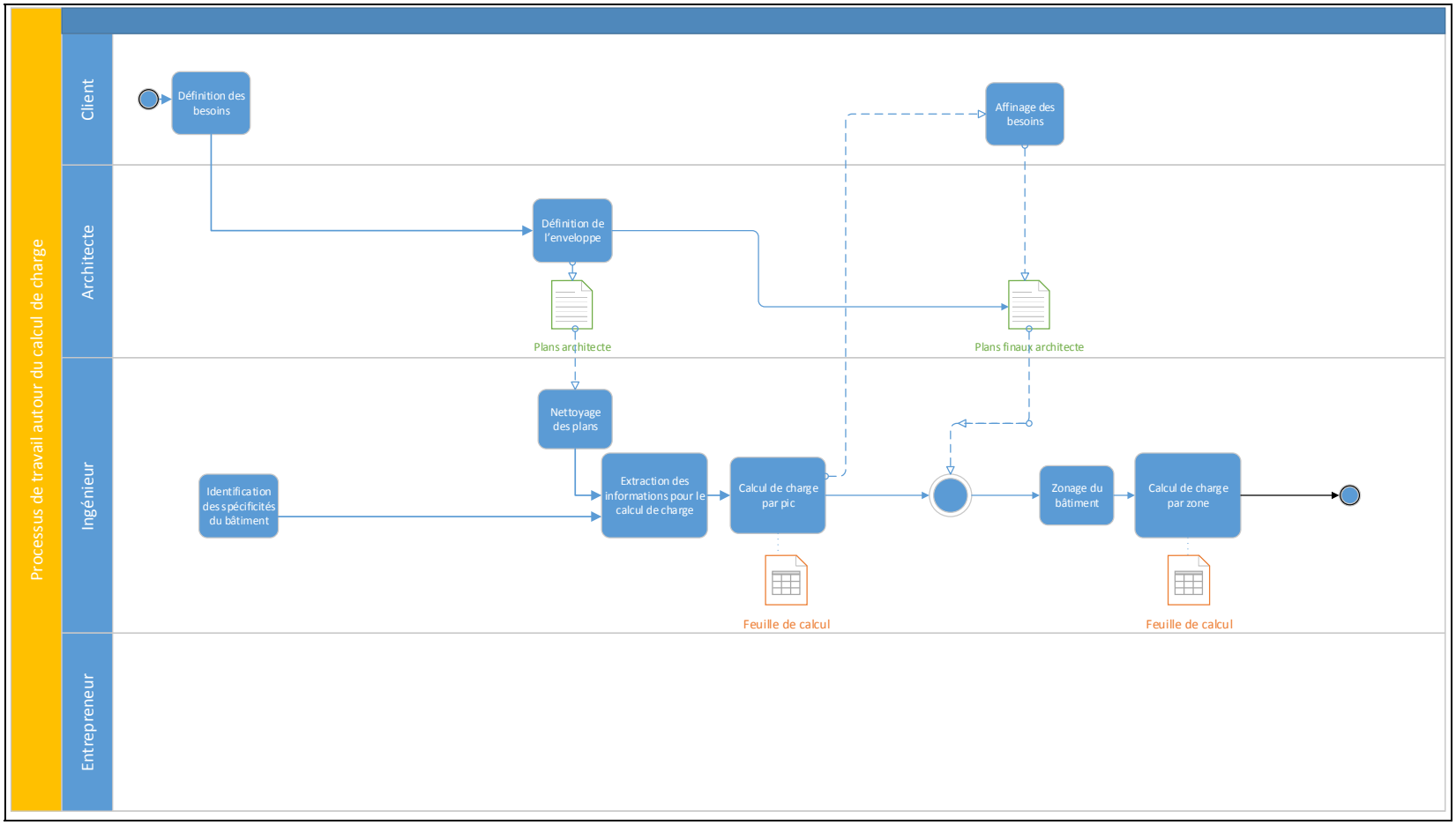

Figure 3.2 – Carte du processus de conception du partenaire dans un contexte classique (avant validation)

3.1.2 Carte finale établie suite aux entrevues

La totalité des intervenants a validé la cartographie du processus de calcul de charge. Toutefois, des modifications ont été apportées. Elles ont ainsi permis d'améliorer la première carte et de suivre au mieux la nomenclature BPMN. La version présentée ci-dessous (Figure 3.3) reflète donc la vision des professionnels de la firme sur ce processus de conception. Par rapport à la première version de la carte (Figure 3.2), les modifications sont :

- Les activités de rétroaction sont bien identifiées par une flèche cyclique à l'intérieur des activités;
- Des activités sont ajoutées pour détailler le processus;
- Un découpage du processus a été ajouté pour situer les activités dans les étapes-clés du projet.

Les flux d'informations (échanges des plans entre la firme d'architecte et la firme de génie-conseil) restent similaires à la première version. Dans un souci de gestion de l'information, il est important d'identifier aussi les étapes de rétroaction du processus où les données sont le plus susceptibles d'évoluer. Cela concerne ici les activités du calcul de charge qui demandent des ajustements au fur et à mesure que l'information est mise à jour. Ceci s'explique notamment par le fait que l'information n'est disponible qu'à certaines étapes du processus de conception. En effet, l'architecte peut par exemple choisir le type de verre utilisé pour les fenêtres et donc le coefficient U de transfert de chaleur après plusieurs itérations du calcul de charge. De même, l'étape d'extraction de l'information est une étape clé du processus puisqu'elle peut être source d'erreur ou de perte de temps. Cette étape peut être aussi difficile à maitriser selon les outils BIM (Eastman et al., 2009).

De cette nouvelle carte, il est à noter qu'il y a peu d'échange d'informations avec l'entrepreneur. Il n'y a pas d'interactions dans le processus de conception des phases de construction, d'exploitation ou de maintenance. Dans un contexte PLM, il serait peut-être intéressant de justifier cette non-interaction. Un retour d'information de la part de l'entrepreneur ou d'une personne ayant de l'expertise de construction sur la conception

pourrait amener une plus-value, pour ramener les préoccupations des autres phases du cycle de vie du produit, ainsi que le point de vue et le savoir-faire des différents acteurs du projet de construction.

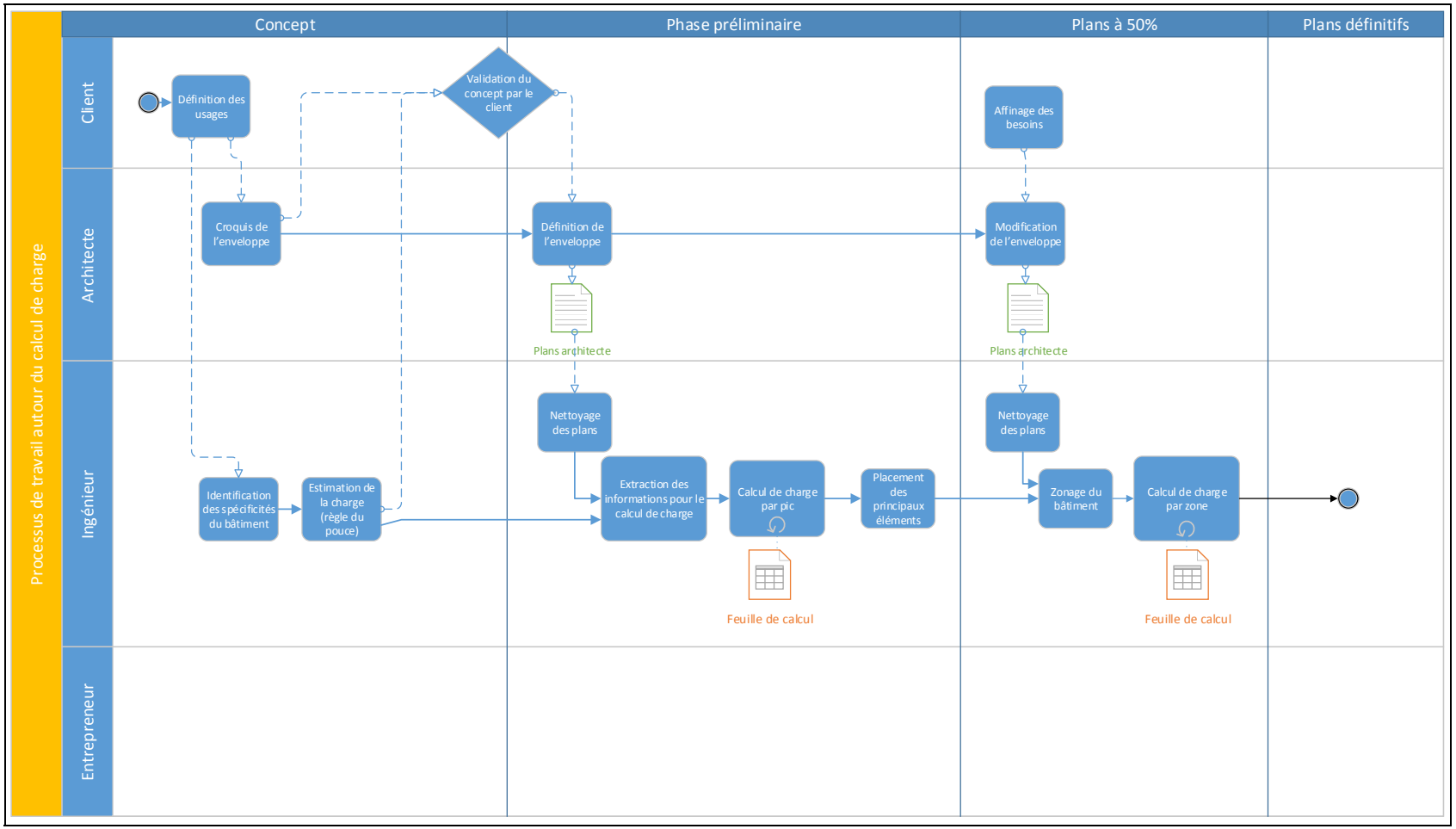

Figure 3.3 – Carte du processus corrigée selon les réponses des entrevues

3.2 Identifications des données de calcul

Une fois la cartographie du processus effectuée, l'étape suivante est l'identification de l'information afin de comprendre sa gestion actuelle. Durant ce travail de recherche, seule l'information nécessaire au calcul de charge est retenue.

3.2.1 Données nécessaires au calcul de charge

Les données nécessaires au calcul de charge dépendent principalement des méthodes de calcul vues au CHAPITRE 1 de ce mémoire. La firme partenaire utilise la méthode CLTD/CLF dans son processus. Ces données peuvent se diviser en deux groupes : les données permettant de calculer les gains externes de chaleur (ensoleillement, fenestration, etc.) et celles permettant de calculer les gains internes (occupation, éclairage, etc.) du bâtiment.

Grâce aux observations professionnelles et à la cartographie du processus de conception, les données utilisées par la firme pour le calcul de charge ont été identifiés dans le Tableau 3.2. Les données sont répertoriées dans un tableur Excel développé par la firme, ce qui explique l'usage de terme propre à l'entreprise. Les données sont regroupées par catégories et leurs sources d'information sont indiquées dans la dernière colonne. La majorité de l'information provient de l'architecte et est liée à la géométrie de l'enveloppe du bâtiment et au choix des matériaux. Le reste de l'information provient des demandes spécifiques du client, des normes en vigueur dans le bâtiment et parfois des hypothèses émises par l'ingénieur selon son expérience. Les unités sont les unités impériales, utilisées par les firmes québécoises.

Rapport-Gratuit.com

Tableau 3.2 - Exemple de données utilisées par la firme pour le calcul de charge[2]

Données requises Calcul de charge			
Catégorie	**Données**	**Unité**	**Sources de l'information**
Géométrie	**Hauteur**	pi	Plans architecte
	Enveloppe extérieure		
	Surface murs extérieur/orientation	pi²	Plans architecte
	Surface fenêtres/orientation	pi²	Plans architecte
	Surface toit	pi²	Plans architecte
	Surface dalle	pi²	Plans architecte
	Partition intérieure		
	Surface plafond	pi²	Plans architecte
	Surface plancher	pi²	Plans architecte
	Surface plancher/garage	pi²	Plans architecte
	Surface cloisons	pi²	Plans architecte
Coefficient de transfert de chaleur U	**Enveloppe extérieure**		
	U murs extérieur/orientation	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
	U fenêtres/orientation	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
	U toit	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
	U dalle	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
	Partition intérieure		
	U plafond	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
	U plancher	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
	U plancher/garage	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
	U cloisons	BTU/hr.pi².°F	Plans architecte ou notes/mail de l'architecte
Coefficient SC (shading coefficient)	**Enveloppe extérieure**		
	SC murs extérieur/orientation		Propriété du matériau
	SC fenêtres/orientation		Propriété du matériau
	SC toit		Propriété du matériau
	SC dalle		Propriété du matériau
Infiltration	Fenêtre		Estimation de l'ingénieur mécanique
	Porte		Estimation de l'ingénieur mécanique
Gains de chaleur interne	Éclairage	W/pi²	Hypothèse ingénieur ou Client
	Occupation	pers	Hypothèse ingénieur ou Client
	Équipements dégageant de la chaleur	W/pi²	Hypothèse ingénieur ou Client
	Salle mécanique	W/pi²	Hypothèse ingénieur ou Client
Utilisation du bâtiment	**Température de design**		
	Climatisation intérieure	°F	Hypothèse ingénieur ou Client
	Climatisation extérieur	°F	Sources météorologiques
	Climatisation alimentation	°F	Hypothèse ingénieur ou Client
	Chauffage intérieure	°F	Hypothèse ingénieur ou Client
	Chauffage extérieur	°F	Sources météorologiques
	Chauffage alimentation	°F	Hypothèse ingénieur ou Client
	Fonctionnement		
	Horaire d'occupation	hr/24hr	Client
	Plage de fonctionnement du système	hr/24hr	Client

[2] Le terme climatisation dans le tableau provient des termes employés par la firme. Le terme choisi pour le reste du mémoire est refroidissement.

3.2.2 Données disponibles sur une maquette BIM

Une maquette BIM fournit diverses informations utilisées par les différents acteurs d'un projet de construction et même tout au long du cycle de vie du bâtiment. L'information stockée dans cette maquette représente un enjeu important comme cela a été vu dans le CHAPITRE 1. En plus d'être exacte, l'information requise doit être présente pour permettre d'établir des résultats justes et cohérents dans l'exploitation de la maquette. Une mauvaise gestion d'information sur la maquette peut entrainer une perte de temps considérable pour retrouver cette information durant le processus de conception.

Le Tableau 3.3 reprend les données nécessaires au calcul de charge avec sa disponibilité dans la maquette BIM. Il comporte deux colonnes qui permettent d'identifier l'information disponible et celle pouvant être disponible mais souvent non communiqué sur la maquette architecte. L'information disponible correspond à l'information toujours présente dans la maquette BIM durant les observations professionnelles, principalement ceux définissant la géométrie du bâtiment. L'information pouvant être disponible correspond à l'information qui pourrait être insérée dans la maquette BIM mais qui ne s'y trouve pas forcément. Durant les observations professionnelles dans la firme, cette information était transmise généralement par un moyen externe à la maquette. Ce manquement est principalement dû à l'absence de gestion formelle de l'information dans une perspective BIM.

La firme utilise la solution Revit d'AutoDesk pour exploiter la maquette BIM. L'extraction de données se fait par l'établissement de nomenclatures dans le logiciel Revit qui pourront être réutilisé dans un tableur tel qu'Excel. Cette extraction reste manuelle et peut représenter un gain de temps important si cette extraction était standardisée et automatisée. De plus, le système de calcul de charge proposé par le logiciel Revit (selon la méthode RTS) n'est pas utilisé non plus.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 3.3 - Données pour le calcul de charge dans un contexte BIM[3]

Données requises Calcul de charge				
Catégorie	**Données**	**Unité**	**Présentes sur la maquette**	**Potentiellement présentes sur la maquette**
Géométrie	**Hauteur**	pi		
	Enveloppe extérieure			
	Surface murs extérieur/orientation	pi²		
	Surface fenêtres/orientation	pi²		
	Surface toit	pi²		
	Surface dalle	pi²		
	Partition intérieure			
	Surface plafond	pi²		
	Surface plancher	pi²		
	Surface plancher/garage	pi²		
	Surface cloisons	pi²		
Coefficient de transfert de chaleur U	**Enveloppe extérieure**			
	U murs extérieur/orientation	BTU/hr.pi².°F		
	U fenêtres/orientation	BTU/hr.pi².°F		
	U toit	BTU/hr.pi².°F		
	U dalle	BTU/hr.pi².°F		
	Partition intérieure			
	U plafond	BTU/hr.pi².°F		
	U plancher	BTU/hr.pi².°F		
	U plancher/garage	BTU/hr.pi².°F		
	U cloisons	BTU/hr.pi².°F		
Coefficient SC (shading coefficient)	**Enveloppe extérieure**			
	SC murs extérieur/orientation			
	SC fenêtres/orientation			
	SC toit			
	SC dalle			
Infiltration	Fenêtre			
	Porte			
Gains de chaleur interne	Éclairage	W/pi²		
	Occupation	pers		
	Équipements dégageant de la chaleur	W/pi²		
	Salle mécanique	W/pi²		
Utilisation du bâtiment	**Température de design**			
	Climatisation intérieure	°F		
	Climatisation extérieur	°F		
	Climatisation alimentation	°F		
	Chauffage intérieure	°F		
	Chauffage extérieur	°F		
	Chauffage alimentation	°F		
	Fonctionnement			
	Horaire d'occupation	hr/24hr		
	Plage de fonctionnement du système	hr/24hr		

[3] Le terme climatisation dans le tableau provient des termes employés par la firme. Le terme choisi pour le reste du mémoire est refroidissement.

À partir de ces résultats, l'absence de systèmes de gestion de l'information est à noter. De plus, comme l'expliquent les notes en bas de page, la firme utilise ces propres termes pour désigner les différentes données. Il est donc nécessaire de standardiser ces termes à travers tous les acteurs d'un projet de construction pour pouvoir collaborer efficacement. Ce problème a déjà été soulevé dans la Revue de littérature (voir CHAPITRE 1) et fera l'objet d'une recommandation (voir CHAPITRE 4)

De plus, la firme extrait manuellement les données de la maquette BIM, ce qui ne représente pas d'avantages par rapport au processus de travail classique où les données étaient extraites des plans 2D. Afin de profiter au maximum des avantages du BIM, il serait judicieux d'éviter cette extraction soit en automatisant l'extraction, soit en effectuant les calculs dans le même logiciel qui exploite la maquette.

3.3 Présentation des résultats des entrevues

Les résultats des entrevues semi-dirigées proviennent de 9 entrevues retenues sur 10 entrevues conduites. Les entrevues ont été retenues pour leur pertinence au sujet de recherche et la clarté des réponses. En effet, une des entrevues n'a pas apporté de réponses sur le sujet du mémoire, mais sur des sujets connexes (choix des équipements, expérience de gestion de projets, etc.). Il a donc été jugé de ne pas prendre en considération cette entrevue.

Les rôles des personnes interrogés sont les chargés de projets, les ingénieurs et les techniciens de la firme partenaire de génie-conseil, comme le présente le Tableau 3.4 ci-dessous. Leur expérience ainsi que les projets sur lesquels ils ont travaillé est aussi indiquée. Tous les projets sont représentés de manière équitable. Les participants ont des expériences variées, ce qui amène une diversité des points de vue.

Tableau 3.4 - Participants aux entrevues

Participants aux entrevues semi-dirigées				
Entrevue	**Titre**	**Rôle**	**Projet**	**Expérience**
E1	Technicien	Concepteur/Dessinateur	A1	8 ans dans la firme
E2	Technicien	Chargé de projet	A3	36 ans (27 ans dans la firme)
E3	Technicien	Concepteur/Dessinateur	N4	10 ans
E4	Ingénieur junior	Expert BIM	A1-A2-A3-N4	3 ans
E6	Ingénieur senior	Chargé de projet	A2	10 ans dans la firme
E7	Technicien	Concepteur/Dessinateur	A2	9 ans dans la firme
E8	Ingénieur senior	Calcul de charge	A1	4 ans (8 mois dans la firme)
E9	Ingénieur senior	Calcul de charge	A3	11 ans dans la firme
E10	Ingénieur senior	Chargé de projet	A1-A3	16 ans dans la firme

3.3.1 Processus de conception

Le Tableau 3.5 résume les réponses aux entrevues pour le premier bloc de questions qui portent sur le processus de conception des systèmes CVCA. Une croix signifie que l'intervenant a évoqué l'idée. Une absence de croix signifie que l'idée n'a pas été évoquée par l'intervenant. Toutefois, il ne faut pas en déduire que l'intervenant est en désaccord avec l'idée. Pour chaque bloc de questions, un tableau similaire est établi.

Tableau 3.5 - Tableau des réponses : Processus de conception

	Descriptifs des répondants aux entrevues semi-dirigées								
	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E8	E9	E10
Rôle et Titre professionnel	Dessinateur - Technicien	Chargé de projet - Technicien	Dessinateur - Technicien	Expert BIM - Ingénieur	Chargé de projet - Ingénieur	Dessinateur - Technicien	Chargé de projet - Ingénieur	Calculs - Ingénieur	Chargé de projet - Ingénieur
Processus de conception									
Validation de la carte proposée	X	X	X	X	X	X	X	X	
Le processus dépend de la méthode de soumissions		X							X
Le calcul de charge est effectué à plusieurs étapes du processus	X			X	X		X	X	
Modifications mineures de la carte		X		X			X		

Les répondants s'entendent pour décrire le processus de conception des systèmes CVCA comme un processus linéaire et fragmenté en plusieurs étapes. Ils commentent ainsi la première version de la carte présentée en entrevue (Figure 3.2) au sujet du processus entourant le calcul de charge. Certains suggèrent des modifications, notamment une modification concernant une boucle de rétroaction concernant le calcul de charge en lui-même (E2, E4, E8), ce qui permet d'améliorer la carte établie (voir

Figure 3.3). Cette itération provient de l'arrivée de l'information par paquet. En effet, les plans de l'architecte sont livrés à chaque phase du projet de construction, certains où la conception du bâtiment n'est pas totalement définie, notamment le type de mur ou de fenêtre. L'ingénieur prend donc des valeurs standards pour permettre un premier calcul de charge, ces valeurs proviennent alors de l'expérience de l'ingénieur et de documents de référence (Code national du bâtiment, ASHRAE, etc.). Lorsque la conception se détaille, les valeurs standards sont remplacées par les valeurs réelles pour permettre un calcul de charge plus détaillé. De plus, quelques étapes peuvent disparaitre selon la méthode de soumission du projet au client (E2, E10).

Ce calcul de charge s'établit plusieurs fois dans le processus de conception (E1, E4, E6, E8, E9). Il a plusieurs objectifs :

- Le premier calcul de charge va permettre de donner un ordre de grandeur de la charge. Il peut être fait par règle du pouce (Rule of Thumb) et approximé par l'expérience de l'ingénieur ou chargé de projets. Il arrive en phase de concept.
- Le calcul de charge par pic va permettre de dimensionner les salles mécaniques du bâtiment. Ce calcul de charge arrive en milieu de processus (phase préliminaire).
- Le calcul de charge par zone thermique permet de dimensionner les systèmes de distributions de l'air et donc l'ensemble des systèmes CVCA. Il sera refait à chaque modification du concept de l'enveloppe ou la modification d'un paramètre important tel que le coefficient de transfert de chaleur des fenêtres.
- Enfin, un dernier calcul de charge peut être mené en fin de projet pour vérifier la conception avant soumission des plans.

3.3.2 Calcul de charge

Le Tableau 3.6 résume les réponses aux entrevues pour le deuxième bloc de questions qui portent sur le calcul de charge. Ce tableau est construit de la même façon que le Tableau 3.5.

Tableau 3.6 - Tableau des réponses : Calcul de charge

	Descriptifs des répondants aux entrevues semi-dirigées								
	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E8	E9	E10
Rôle et Titre professionnel	Dessinateur - Technicien	Chargé de projet - Technicien	Dessinateur - Technicien	Expert BIM - Ingénieur	Chargé de projet - Ingénieur	Dessinateur - Technicien	Chargé de projet - Ingénieur	Calculs - Ingénieur	Chargé de projet - Ingénieur
Calcul de charge									
Evolution du calcul de charge de la firme		X							X
L'extraction des données est difficile	X	X	X		X	X	X		
Le calcul de charge est une étape cruciale du processus de conception		X		X	X			X	
L'information est manquante ou incomplète	X		X	X	X		X	X	
Des hypothèses sont à faire			X		X				X

Concernant le calcul de charge, les répondants ont montré que cette étape est cruciale dans la conception des systèmes CVCA (E2, E4, E6, E9). Elle permet le dimensionnement des salles mécaniques et des conduits, ainsi que la sélection des équipements de l'ensemble des systèmes CVCA. L'enjeu est alors de bien dimensionner les systèmes du bâtiment, car un système sous-dimensionné peut entrainer une perte de confort pour les occupants ou l'endommagement des équipements, mais un surdimensionnement est aussi nuisible à la

performance énergétique du bâtiment, sujet qui est au cœur des préoccupations actuelles avec le développement durable et les constructions LEED.

Les méthodes de calculs de charge n'ont pourtant pas évolué dans la firme depuis plusieurs années (E2, E10). Le calcul de charge se fait par la méthode CLTD/CLF (E10) qui est une méthode manuelle et qui a été codée par des macros VBA sur Excel.

De plus, le problème majeur lié au calcul de charge est l'extraction de données (E1, E2, E3, E6, E7, E8). En effet, il faut rechercher les données du calcul de charge (identifiées au chapitre précédent) présentes sur la maquette 3D. Cette recherche d'informations représente une tâche importante dans le processus et est considérée comme une tâche fastidieuse (E4, E9).

Ces informations sont parfois manquantes, car omises par l'architecte ou incomplètes (E1, E3, E4, E6, E8, E9). Le propriétaire peut aussi amener des données complémentaires comme un changement d'éclairage ou un équipement émettant plus de chaleur qui modifient le calcul (E3). Pour parvenir à un calcul de charge rapidement et sans attendre l'arrivée de toute l'information, il est même parfois nécessaire de faire des hypothèses selon le type de bâtiment (E3, E6, E10). Ces hypothèses s'appuient sur l'expérience de l'équipe de conception, généralement le chargé de projet ou l'ingénieur. Elles sont toutefois sujettes à des changements et peuvent entrainer des erreurs.

3.3.3 Expérience BIM

Le Tableau 3.7 résume les réponses aux entrevues pour le troisième bloc de questions qui portent sur le BIM. Ce tableau est construit de la même façon que le Tableau 3.5 et le Tableau 3.6.

Tableau 3.7 - Tableau des réponses : BIM

	Descriptifs des répondants aux entrevues semi-dirigées								
	E1	E2	E3	E4	E6	E7	E8	E9	E10
Rôle et Titre professionnel	Dessinateur - Technicien	Chargé de projet - Technicien	Dessinateur - Technicien	Expert BIM - Ingénieur	Chargé de projet - Ingénieur	Dessinateur - Technicien	Chargé de projet - Ingénieur	Calculs - Ingénieur	Chargé de projet - Ingénieur
BIM									
Expertise BIM du répondant	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Utilisation de Revit	X	X	X	X		X	X	X	
Utilisation d'autres logiciels BIM				X					
Intégration faible du BIM dans le processus de conception							X		
Impact nul du BIM sur le calcul de charge	X	X		X	X	X		X	
Le BIM est un atout pour la visualisation			X		X		X	X	
Le BIM est un atout pour la coordination	X								X
Volonté de progresser dans le BIM	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Rapport-Gratuit.com

L'expérience BIM des répondants a aussi été autoévaluée. Une majorité estime ne pas en savoir suffisamment sur le BIM ou ses outils (E1, E2, E6, E7, E8, E9, E10). Malgré la présence du BIM dans la firme depuis plusieurs années, le nombre de projets faible et les formations peu nombreuses ne permettent pas aux employés d'acquérir une expérience suffisante et limitent leur confiance dans les outils BIM.

Le logiciel BIM principalement maitrisé est le logiciel Revit d'AutoDesk (E1, E2, E3, E4, E7, E8, E9). Un seul répondant utilise d'autres logiciels BIM tels que Naviswork d'AutoDesk à tel point que certains répondants associent le BIM à l'utilisation seule du logiciel Revit. Le logiciel Revit permet la conception du bâtiment par les architectes et ingénieurs. Il affiche les plans dessinés en 2D et 3D. Le logiciel Naviswork fait partie de la même suite de logiciels d'AutoDesk sur le BIM. Il permet la coordination et la planification de la construction du bâtiment. La compréhension du concept BIM comme une façon de collaborer n'est pas acquise. Par conséquent, l'intégration du BIM dans le processus de conception n'est pas développée (E8).

Par rapport au calcul de charge, l'utilisation du BIM sur les projets n'a eu aucun impact sur la façon d'effectuer le calcul (E1, E2, E4, E6, E7, E9). Des pistes d'améliorations ont été abordées pour récupérer l'information de l'enveloppe extérieure (nomenclature Revit des différentes pièces avec leurs surfaces, etc.), ce qui permettrait de gagner du temps sur le processus.

Le BIM est cependant reconnu comme un réel atout pour la visualisation en 3D des plans d'architecte permettant de comprendre l'agencement des étages sur les bâtiments complexes (E3, E6, E8, E9). Les répondants ont exprimé un gain de temps dans la conception puisque le bâtiment était plus facilement appréhendé et compris en 3D, notamment sur le projet A2. La coordination entre la firme de génie-conseil et la firme d'architecte est parfois plus facile grâce à la maquette BIM (E1, E10), les maquettes sont échangées sur une base régulière permettant de prendre des décisions et de s'adapter rapidement.

Pour conclure sur ces entrevues, la totalité des répondants a exprimé son envie de faire progresser le BIM dans la firme. Pour certains (tout rôle confondu), le BIM n'est pas exploité à sa pleine capacité. Il représente donc une solution d'avenir à développer et les employés doivent être sensibilisés et davantage formés à utiliser les outils du BIM pour faire monter leurs compétences, leur expérience et leur confiance à cette nouvelle technologie.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CHAPITRE 4

DISCUSSION

4.1 Analyse des résultats par rapport aux premières observations

Ce travail de recherche a permis d'explorer davantage le processus de conception des systèmes CVCA dans le domaine de la construction, ainsi que l'impact du BIM sur ce processus et sa gestion de l'information. À partir des résultats, plusieurs constats peuvent être faits. Dans cette discussion, les points clés des résultats sont abordés et analysés par rapport aux observations professionnelles effectuées et la revue de littérature, afin de de valider par triangulation. Ensuite, les recommandations pertinentes pour la firme sont établies, ce qui permettra de mieux maitriser ce processus de conception grâce au BIM et de proposer des solutions aux problèmes soulevés par les résultats.

En analysant les résultats des entrevues, un intérêt particulier pour l'arrivée du BIM dans la firme de génie-conseil est remarqué. Ce sujet est le plus abordé durant les entrevues, car il suscite des préoccupations sur l'avenir du BIM au sein de l'entreprise. Suite à ces préoccupations et cet intérêt marqué, il pourrait être possible et judicieux de développer davantage l'utilisation du BIM pour que celui-ci devienne un outil central pour les employés et qu'ils puissent en maitriser toutes les subtilités. C'est aussi le sujet du mémoire le plus abordé dans la littérature (Cefrio (2014), Volk et al. (2014)). Ce concept relativement nouveau dans le secteur apporte des enjeux et des changements importants dans la façon d'aborder les projets de construction.

Les résultats corroborent aussi l'impact faible du BIM dans le processus de conception actuel au niveau du calcul de charge. Ce processus ne diffère pas dans un contexte BIM ou hors du contexte BIM. La seule différence est le support qui devient une maquette 3D et facilite la visualisation du projet de construction. L'apparition du BIM dans la firme a donc eu un effet modéré. Le fonctionnement actuel reste proche du fonctionnement en silo, illustré à la Figure 4.1. Seuls les techniciens et les experts BIM utilisent pleinement la maquette numérique (repéré par l'icône BIM Platform) pour communiquer. Les ingénieurs et gestionnaires de projet ne maitrisent pas l'échange d'information par cette maquette et continuent de communiquer entre eux et même avec les techniciens et experts BIM de la même façon que pour un projet classique sans BIM. Ceci explique cette barrière d'intégration visible sur la figure en pointillé. Comme cela a pu être expliqué dans la revue de littérature (voir CHAPITRE 1), le BIM est encore vu comme une amélioration 3D de ce qui est fait sur un dessin 2D (Gray et al., 2013). L'outil n'est donc pas utilisé à son plein potentiel et la maturité du BIM dans l'entreprise est à accroitre, comme les travaux du laboratoire GRIDD sur la maturité BIM de l'entreprise ont pu le démontrer (voir ANNEXE III). Il faut donc repenser l'ensemble du processus de conception pour que le BIM y soit intégré et non simplement ajouté comme c'est le cas actuellement. Il y a donc un besoin de changer la culture actuelle pour adopter des méthodes de travail collaboration et renforcer la synergie entre les partenaires et les clients (Craig & Sommerville, 2006).

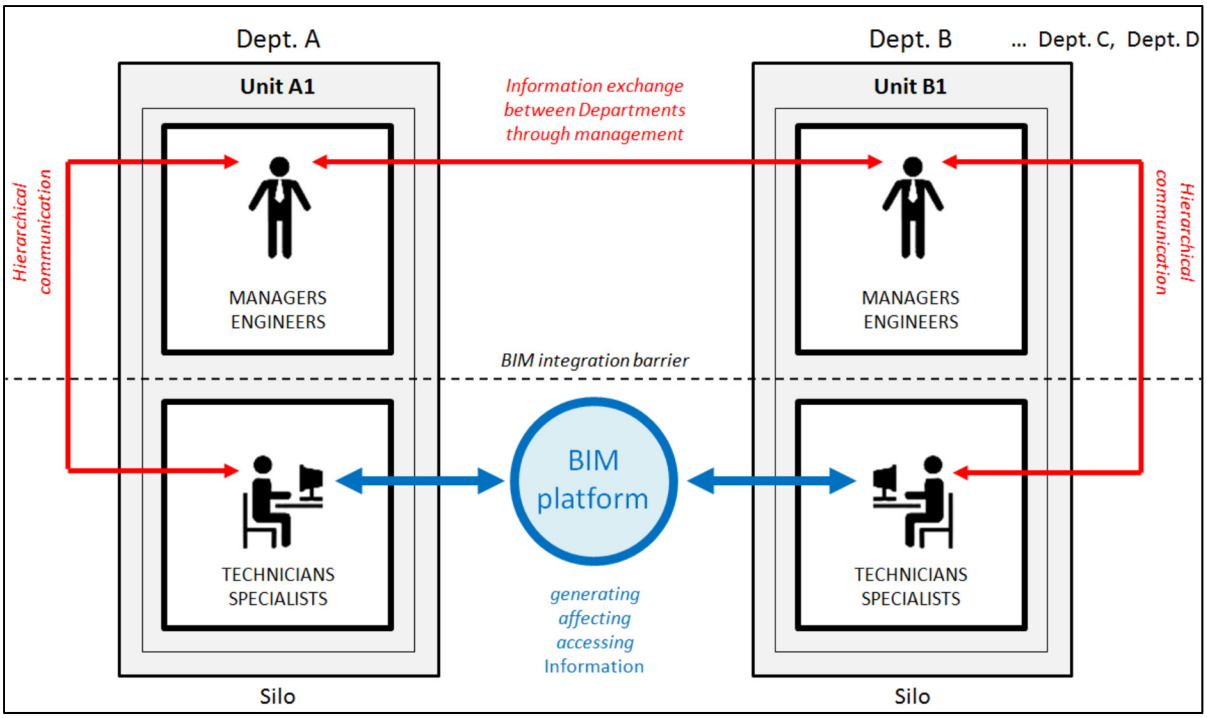

Figure 4.1 - Fonctionnement actuel avec le BIM
Tiré de (Azouz et al., 2014)

Cependant, contrairement à ce qui a pu être abordé dans la littérature comme une difficulté d'adoption de la nouvelle technologie, les répondants ont l'envie de progresser pour améliorer les pratiques existantes. Les employés de la firme ne représentent pas un frein à l'implantation du BIM mais plutôt un moteur et c'est par eux que l'amélioration de l'utilisation du BIM peut s'accroitre. Des formations plus approfondies proposées aux employés sur l'utilisation du BIM pourraient être une solution à envisager par l'entreprise.

La cartographie du processus effectué lors des observations au sein de l'entreprise se voit validée par les répondants. Les modifications mineures que ceux-ci y ont apportées permettent d'améliorer la carte en prenant en compte les itérations du calcul de charge. Cette cartographie montre toutefois un manque de collaboration et d'échange qui doit être renforcé afin de mieux adhérer au fonctionnement du BIM. Concernant le calcul de charge en lui-même, le sujet est peu abordé par les intervenants malgré les questions posées. Cette étape dans la conception des systèmes CVCA est pourtant nécessaire pour développer la simulation

énergétique. Il serait intéressant de favoriser le calcul de charge par une autre méthode qui serait en accord avec la gestion de l'information choisie, en utilisant la méthode Heat Balance par exemple.

Cette recherche permet donc d'obtenir une vision d'ensemble de la firme et de son processus de conception ainsi que l'impact qu'a eu l'arrivée du BIM. Les résultats supportent les propos de Miettinen et Paavola (2014) : le fonctionnement en silo dans les projets de constructions n'a pas changé avec l'arrivée du BIM. Elle permet de visualiser la place du calcul de charge au sein de ce processus et identifier les étapes clés où la gestion de l'information doit être maitrisée.

4.2 Recommandations pour l'industriel

Suite aux résultats et aux analyses de ceux-ci, des recommandations peuvent être émises pour la firme de génie-conseil afin d'améliorer leur processus de conception et de favoriser l'efficacité du BIM. Elles sont au nombre de quatre.

Tout d'abord, il semble nécessaire de **développer le BIM au sein de l'entreprise**. Il faut le promouvoir par la mise en place de moyens favorables au BIM tels qu'une stratégie d'implantation de nouvelles technologies, une formation du personnel régulière et approfondie qui leur permettra de maitriser les outils BIM et de les intégrer entièrement dans leurs projets. Le développement peut se faire aussi auprès de la clientèle par une sensibilisation aux avantages que permet le BIM en leur expliquant les surcoûts initiaux engendrés par l'utilisation de cette technologie mais les gains importants que permet le BIM sur le long terme. Le développement du BIM peut également se faire par la capitalisation auprès de tous les acteurs (employés, clients, partenaires…) des progrès engendrés par le BIM pour que ceux-ci maintiennent un intérêt actif à l'utilisation de cette technologie. La Figure 4.2 illustre justement ce propos. Bien que les premières étapes de ce cycle soient souvent suivies, la dernière étape incite à apprendre des projets et diffuser les progrès

rencontrés grâce au BIM. Ce retour d'information est essentiel pour sensibiliser les acteurs du projet à l'utilisation du BIM.

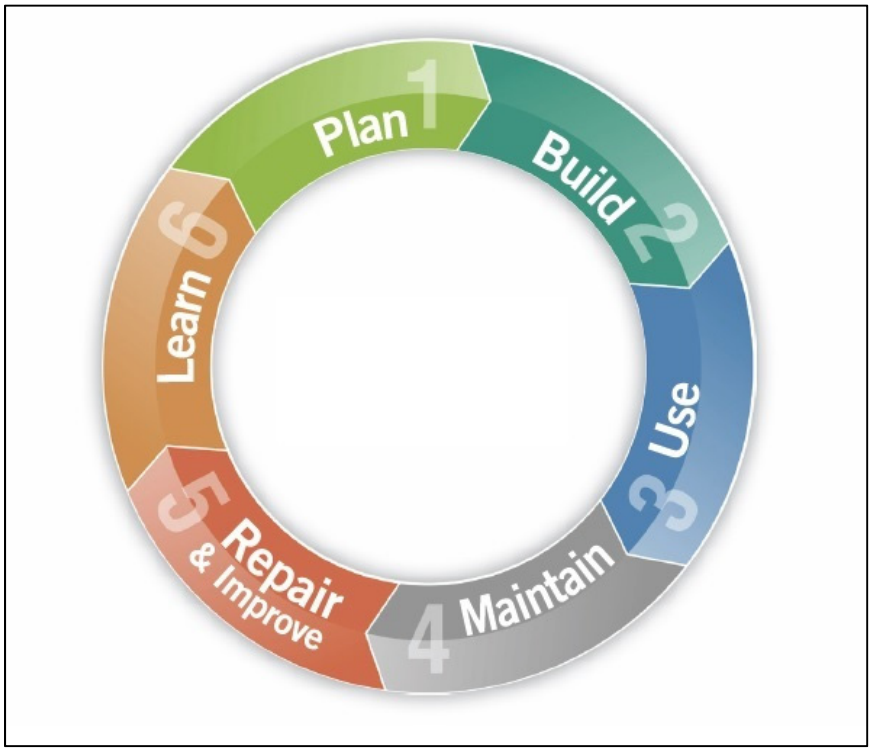

Figure 4.2 - Cycle de développement du BIM - Adapté de (Fowler, 2017)

Par ailleurs, il semble également nécessaire de **repenser le processus de conception** autour du BIM. En effet, le processus est à revoir pour que le BIM soit utilisé à sa pleine capacité et non pas seulement en utilisant uniquement certains avantages du BIM tel que la visualisation 3D. Le processus de conception doit être repensé pour s'intégrer dans le mode de fonctionnement collaboratif du BIM. Si le processus n'est pas intégralement repensé, il est difficile de passer à un fonctionnement collaboratif entre tous les acteurs. Pour minimiser les obstacles lors d'un tel changement au sein de l'entreprise, il est possible de suivre les trois étapes suivantes :

- Étape de préparation : La firme doit identifier son processus d'affaires (*reengineering*), en utilisant par exemple une cartographie, et établir une liste des éléments à modifier. Elle doit préparer l'implantation en utilisant une gestion du processus d'affaires

(Business Process Management) et effectuer une formation initiale des employés les plus impactés par ce changement.

- Étape de déploiement : Durant cette étape, la firme effectue son changement organisationnel et l'implantation des différents outils et logiciels, forme l'ensemble de son personnel et procède à une première évaluation de la performance des projets pilotes.
- Étape post-implantation : Les différents projets pilotes sont analysés en détail ainsi que leur performance. Le processus d'affaires, les statuts de l'organisation ainsi que la stratégie d'entreprise sont ajustés en fonction de cette analyse et une liste des éléments à modifier est établie. Une formation complémentaire des employés peut être envisagée.

Afin de maximiser l'efficacité de cette implantation, il est judicieux d'améliorer la gestion de l'information de l'entreprise simultanément.

Afin d'optimiser le processus de conception dans un contexte BIM, il est judicieux d'avoir une **stratégie de gestion de l'information** pertinente. Actuellement, l'information qui circule entre les acteurs n'est pas triée. Elle arrive donc par moment en trop grande quantité et certaines de ces informations peuvent se révéler non pertinentes à cet instant, par exemple lors de l'activité de nettoyage des plans d'architecte reçus. Ceci allonge donc les délais de traitement de l'information. À l'inverse, il arrive également qu'un acteur manque d'information à un instant précis l'obligeant à redemander ces informations. Une perte de temps est alors également engendrée. Il est donc nécessaire d'organiser l'information pour savoir quel type d'information est nécessaire à quel moment du processus de conception. Cela passe par une identification de l'information à véhiculer. La mise en place d'un système de gestion d'information (*Information Mangement System*) est une alternative préconisée par Craig et Sommerville (2006) avec une approche par base de donnée et information standardisée accessible par tous les intervenants. La base de données Codebook est une réponse à ce besoin. Pour la standardisation de l'information, des solutions commencent à être mises en place telles qu'Uniformat. Les choix d'outils de gestion d'informations et de standards doivent être communs avec les différents acteurs du projet de construction afin de ne pas perdre l'aspect collaboratif. La refonte du processus de conception et l'optimisation de l'information sont complémentaires et doivent se penser ensemble. Ceci permettra de gagner

en efficacité tout au long du processus. Une solution à court terme serait de produire un document rassemblant les informations du calcul de charge identifiées dans le Tableau 3.2, qui pourrait servir de canevas pour demander en amont ces informations et transmettre en aval ces informations pour d'autres usages (la simulation énergétique par exemple). Le processus serait donc légèrement modifié avec l'ajout d'un document produit à l'étape « Extraction des informations pour le calcul de charge » comme illustré à la Figure 4.3. Une autre solution serait de se rapprocher d'un processus de conception intégrée comme le suggèrent Liu et al. (2012).

Rapport-Gratuit.com

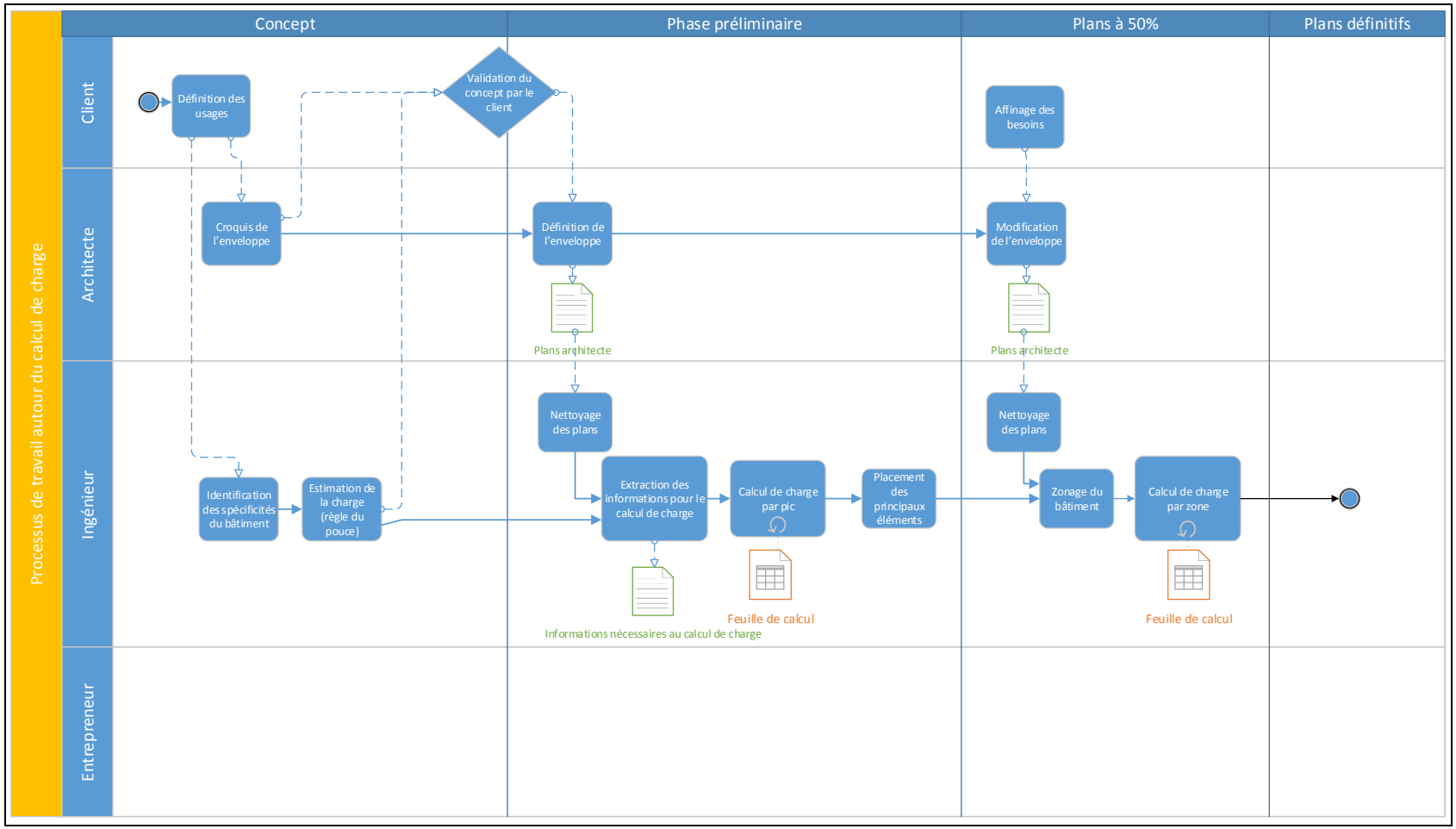

Figure 4.3 – Carte du processus suggéré

Lors des observations en entreprise, un **manque d'approfondissement de l'étape du calcul de charge** de refroidissement et de chauffage a pu être remarqué à certaines phases du processus, en se contentant de l'estimation par la règle du pouce et l'expérience du concepteur. Il semble primordial de redonner de l'importance à cette étape délaissée en changeant de méthode de calcul de charge. Une nouvelle méthode plus adaptée aura pour but de s'intégrer plus facilement dans la technologie BIM de façon à automatiser cette pratique et faciliter son emploi. Actuellement la méthode utilisée par la firme lors du calcul de charge est la méthode CLTD/CLF qui est faite pour être utilisée à la main principalement. La méthode Heat Balance pourrait éventuellement être plus rigoureuse et mieux adaptée au BIM si elle est utilisée correctement. Elle pourrait permettre plus de précisions. Cette recommandation fait écho aux travaux de Al-Homoud (2001). La méthode RTS peut aussi convenir, notamment en utilisant le module présent dans le logiciel Revit. Ceci doit être confirmé par des recherches futures.

4.3 Limites du mémoire

Une des limites de ce mémoire est le choix d'une seule firme d'ingénierie pour caractériser le problème observé. Il aurait été intéressant d'effectuer ce processus de recherche sur plusieurs firmes de génie-conseil afin de renforcer les tendances aperçues et écarter les singularités. De même, la cartographie du processus de conception se concentre sur un seul point de vue, celui de la firme de génie-conseil. Certains problèmes dans la gestion de l'information auraient peut-être été décelés en cartographiant les points de vue des différents acteurs de la conception, particulièrement les acteurs en amont (architecte) et en aval (entrepreneur) mais aussi au sein même de la firme avec le département de simulation énergétique qui utilise les informations et les résultats du calcul de charge.

Par ailleurs, la technologie BIM est une technologie qui réunit de nombreux acteurs. Ce mémoire a pris en compte uniquement le point de vue de l'ingénieur mécanique. Il serait intéressant de confronter cela avec les autres acteurs tels que les architectes, les clients et les

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

entrepreneurs et ainsi avoir une vision plus globale. En effet, un des atouts du BIM est de permettre une interaction plus facile entre tous ces acteurs.

De plus la littérature scientifique sur la conception des systèmes CVCA dans le BIM est peu développée, c'est pour cela que la méthode exploratoire a été utilisée. Cependant cette méthode ne permet que de donner des prémices de résultats qui mériteront d'être confirmés ou infirmés par des recherches futures.

CONCLUSION

Ce mémoire s'est fait dans un contexte BIM, où les bâtiments sont conçus autour d'une maquette numérique et les acteurs des projets de construction doivent collaborer en synergie, comme a pu le voir dans le passé dans l'industrie aéronautique ou automobile à travers l'implantation de méthodes telles que la CAO, le PLM ou le DfX. Cependant, cette nouvelle façon de construire demande des changements importants dans le secteur AIC, particulièrement sur le processus de conception et la gestion de l'information. Dans ce contexte, il a été décidé de mener une recherche exploratoire sur la conception des systèmes CVCA et notamment sur le calcul de charge de chauffage et refroidissement du bâtiment avec comme objectif d'examiner l'utilisation du BIM pour ce calcul de charge. L'une des premières étapes a été d'identifier le processus de conception des bâtiments (Eastman et al., 2009). Pour cela, l'option a été prise de le cartographier avec le formalisme BPMN. Cela a permis ensuite d'identifier l'information requise pour cette étape.

Concept présent depuis quelques années, un des constats est que le BIM a du mal à s'implanter du fait de sa partielle et mauvaise utilisation. Pour répondre à cette problématique, des études de cas ont été effectuées dans une firme partenaire. Les résultats ont permis de confirmer que le BIM est encore sous-exploité dans cette firme. De ce fait le processus de conception n'avait pas été impacté par l'arrivée du BIM et le calcul de charge n'exploite pas suffisamment le potentiel des outils BIM. La gestion de l'information demande aussi plus d'attention et ne tient pas compte notamment du cycle de vie du bâtiment. Les quatre recommandations établies serviront de support pour améliorer les pratiques actuelles de la firme et peut-être participer à l'émergence de stratégie d'implantation ou règle de conception, utiles à d'autres firmes.

Ce travail de recherche comporte cependant des limites telles que le manque de point de vue des différents acteurs des projets de construction (architectes, entrepreneurs, clients) sur le processus de conception et la gestion de l'information. De plus, les résultats se basent

uniquement sur une firme, il serait donc intéressant de poursuivre des travaux de recherches dans ce domaine dans d'autres firmes de génie-conseil pour confronter ces résultats.

De plus cette recherche se veut exploratoire, la méthodologie employée était donc utile pour avoir un aperçu général de la situation actuelle. Elle permettra de servir de base à d'autres recherches qui pourront être plus spécifiques et répondraient à l'objectif de trouver des règles de conception pour les systèmes CVCA. Cependant, il ne faut pas tomber dans l'excès de règles et de standardisation qui ajouterait de la lourdeur à la conception et à l'innovation dans le secteur de la construction (Miettinen & Paavola, 2014).

ANNEXE I

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Formulaire d'information et de consentement

AI.1 Titre du projet de recherche

Règles de conception sur le design des systèmes CVCA dans un contexte BIM

AI.2 Équipe de recherche

Sylvie Doré, professeure, département de génie mécanique,
Danielle Monfet, professeure, département de génie de la construction,
Axel Martineau, étudiant à la maitrise, département de génie mécanique,

AI.3 Invitation à participer

Par la présente, nous vous invitons à participer à une entrevue afin de discuter de l'utilisation des outils et processus dans la conception des systèmes CVCA d'un bâtiment dans un contexte BIM. Durant cette entrevue, nous allons aborder le sujet des processus de conception et notamment du processus de calcul de charge et son intégration avec les outils BIM dans un projet au sein de votre organisation.

AI.4 Objectif du projet

L'objectif de cette étude est de documenter les usages courants, les méthodes de communications et les problématiques reliées au processus de calcul de charge au sein de la phase de conception du système CVCA dans un contexte BIM.

Ce projet s'inscrit dans un programme de recherche et développement collaboratif subventionné intitulé « Optmization of the information flow using BIM within the construction supply chain » dont la firme étudiée est un des principaux partenaires. Pour plus d'information, nous vous invitons à communiquer avec nous.

AI.5 Procédure

L'entrevue durera de 30 à 45 minutes et sera enregistrée pour faciliter la retranscription et l'analyse du contenu des réponses.
L'entrevue se base sur un questionnaire d'une vingtaine de questions.

AI.6 Participation

Votre participation à ce projet est volontaire. Les données recueillies seront utilisées par l'équipe de recherche aux fins de la présente recherche uniquement. Aucune information permettant de vous identifier ne sera divulguée.

Nous vous remercions d'avance pour votre collaboration qui favorisera l'amélioration des pratiques et des outils BIM de la firme à travers ce projet de recherche. Si vous souhaitez connaitre les résultats de ce projet, veuillez nous communiquer vos coordonnées.

Répondant	**Personne menant l'entrevue**
Nom	Nom
Signature	Signature
Date	Date

ANNEXE II

QUESTIONNAIRE D'ENTREVUE

PRÉPARATION ENTREVUE		
Questions	**Informations visées**	**Utilité des informations**
Participant		
• Quel est votre nom ?	Nom et prénom de la personne interviewée	Etablir le profil de la personne pour mettre en contexte des réponses aux questions
• Quel est votre titre professionnel ?	Titre de la personne interviewée	
• Quel est votre poste dans la firme ?	Poste dans la firme de la personne interviewée	
• Depuis combien de temps êtes-vous dans la firme ? À ce poste ?	Ancienneté et parcours dans la firme de la personne interviewée	
• Quel est votre expertise ?	Domaine d'expertise de la personne interviewée	
• Quel est votre rôle dans le projet A ? Dans le projet B ? ...	Rôle dans chaque projet de la personne interviewée	
Question sur le processus		
• Quel est le processus de conception de la firme ? Quelles sont les grandes étapes ?	Description du processus macro de conception	Situer le processus de calcul de charge dans le processus macro de la conception
• Quel processus a été utilisé au cours du projet A ? ... du projet B ?	Différences dans le processus de conception selon les projets	Cerner les différences dans le processus de conception selon les projets
• À quelle(s) étape(s) le calcul de charge s'effectue ?	Emplacement du calcul de charge dans le processus macro	Situer le processus de calcul de charge dans le processus macro de la conception
• À quelle(s) étape(s) le résultat de ce calcul de charge est-il utilisé ? Comment ? Pourquoi ?		
Questions sur le calcul de charge		
• Comment a évolué le processus de calcul de charge depuis que vous êtes dans la firme ?	Evolution du calcul de charge dans la firme	Comprendre l'évolution et les enjeux du changeme
• Décrivez votre approche utilisé pour le calcul de charge sur le projet A ? Sur le projet B ? ...	Approche du calcul de charge selon le projet	Comprendre les éventuelles différences sur le calcul de charge selon les projets
Questions sur le BIM		
• Quelle est votre connaissance du BIM ?	Connaissance du BIM de la personne interviewée	Etablir le profil de la personne pour mettre en contexte des réponses aux questions
• Avez-vous déjà participé à un ou des projet(s) BIM auparavant ? Si oui, combien ?		
• Quels outils BIM ont-été utilisé sur le projet A ? Sur le projet B ? ...	Degré d'utilisation des différents outils BIM selon les projets	Mesurer l'importance du BIM sur le projet et comment il est utilisé
• Comment sont-ils intégrés dans le processus de conception ? Dans le processus de calcul de charge ?		
• Quelles informations utiles au calcul de charge ont transité par un outil BIM ? Pourquoi ?	Informations utiles au calcul de charge et transitant par le BIM	Identifier les informations
• Quelle serait votre principale recommandation pour améliorer l'utilisation du BIM dans la firme ?	Recommandations sur l'utilisation du BIM	Faire émerger des idées utiles à l'amélioration des pratiques
Conclusion		
• Avez-vous d'autres commentaires ou suggestions ?	Autres recommandations	Faire émerger des idées utiles à l'amélioration des pratiques ou autre

Rapport-Gratuit.com

ANNEXE III

NIVEAU DE MATURITE DE LA FIRME
(Tiré des travaux d'Eva-Charlotte Forgues, GRIDD)

Élément BIM planifié	Pondération (de 0 à 1)	Niveau perçu par l'équipe de production	Niveau perçu par la direction
Alignement stratégique	5	42%	48%
Alignement organisationnel	5	48%	52%
Infrastructure	4	25%	25%
Formalisation de modélisation	4	45%	45%
Formalisation des usages	5	36%	36%

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Al-Homoud, M. S. (2001). Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment, 36*(4), 421-433.

Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction, 20*(2), 189-195. doi: 10.1016/j.autcon.2010.09.016

ASHRAE-Fundamentals. (2009). ASHRAE Handbook–Fundamentals. Dans *Atlanta, GA*. Repéré

Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2015). Building information modelling (BIM): now and beyond. *Construction Economics and Building, 12*(4), 15-28.

Azouz, Z., Katsanis, C. J., Forgues, D., Aksenova, G., Poirier, E., & Doré, S. (2014). The BIM utopia: centralizing collaboration and communication through technologies. *Beyond Boundaries*.

Berard, O., & Karlshoej, J. (2012). Information delivery manuals to integrate building product information into design. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 17*(4), 63-74.

Bynum, P., Issa, R. R., & Olbina, S. (2012). Building information modeling in support of sustainable design and construction. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, 139*(1), 24-34.

Cefrio. (2014). L'INÉVITABLE PASSAGE À LA MODÉLISATION DES DONNÉES DU BÂTIMENT (BIM) DANS L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION AU CANADA : SYNTHÈSE DE TROIS EXPÉRIMENTATIONS.

Craig, N., & Sommerville, J. (2006). Information management systems on construction projects: case reviews. *Records Management Journal, 16*(3), 131-148.

Eastman, C., Jeong, Y.-S., Sacks, R., & Kaner, I. (2009). Exchange model and exchange object concepts for implementation of national BIM standards. *Journal of Computing in Civil Engineering, 24*(1), 25-34.

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review, 14*(4), 532-550.

Filippi, S., & Cristofolini, I. (2009). *The design guidelines collaborative framework: a design for Multi-X method for product development*. Springer Science & Business Media.

Fortin, M.-F., Côté, J., & Filion, F. (2006). *Fondements et étapes du processus de recherche*. Chenelière éducation Montreal, QC.

Gagnon, Y.-C. (2005). *L'étude de cas comme méthode de recherche: guide de réalisation*. PUQ.

Gray, M., Gray, J., Teo, M., Chi, S., & Cheung, Y. K. F. (2013). Building information modelling: an international survey.

Grondzik, W. T. (2007). *Air-conditioning system design manual*.

Hartmann, T., Fischer, M., & Haymaker, J. (2009). Implementing information systems with project teams using ethnographic–action research. *Advanced Engineering Informatics, 23*(1), 57-67.

Jrade, A., & Jalaei, F. (2013). Integrating building information modelling with sustainability to design building projects at the conceptual stage. Dans *Building Simulation* (Vol. 6, pp. 429-444). Springer Berlin Heidelberg.

Jupp, J. R. (2016). Cross industry learning: a comparative study of product lifecycle management and building information modelling. *International Journal of Product Lifecycle Management, 9*(3), 258-284.

Kerrisk, J. F., Schnurr, N. M., Moore, J. E., & Hunn, B. D. (1981). The custom weighting-factor method for thermal load calculations in the DOE-2 computer program. *ASHRAE Transactions, 87*(2), 569-584.

Kim, H., Shen, Z., Kim, I., Kim, K., Stumpf, A., & Yu, J. (2016). BIM IFC information mapping to building energy analysis (BEA) model with manually extended material information. *Automation in Construction, 68*, 183-193.

Knight, D., Roth, S., & Rosen, S. L. (2010). Using BIM in HVAC design. *ASHRAE Journal, 52*(6), 24-29.

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy in construction* (Stanford).

Kreider, J. F., Curtiss, P. S., & Rabl, A. (2009). *Heating and cooling of buildings: design for efficiency*. CRC Press.

Liu, Y., Leicht, R., & Messner, J. (2012). Identify information exchanges by mapping and analyzing the integrated heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) design process. Dans *Computing in Civil Engineering (2012)* (pp. 618-625).

Miettinen, R., & Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction, 43*, 84-91.

Morse, J. M., Barrett, M., Mayan, M., Olson, K., & Spiers, J. (2002). Verification strategies for establishing reliability and validity in qualitative research. *International journal of qualitative methods, 1*(2), 13-22.

Owen, R. S. L. K. B. A. D. R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling
in Construction. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*. doi: 10.1061//ASCE/CO.1943-7862.0000203

Pedersen, C. O., American Society of Heating, R., & Engineers, A.-C. (1998). *Cooling and Heating Load Calculation Principles*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Incorporated.

Poirier, E. A., Staub-French, S., & Forgues, D. (2015). Assessing the performance of the building information modeling (BIM) implementation process within a small specialty contracting enterprise. *Canadian Journal of Civil Engineering, 42*(10), 766-778. doi: 10.1139/cjce-2014-0484

Ramaji, I. J., & Memari, A. M. (2016). Interpreted information exchange: Systematic approach for BIM to engineering analysis information transformations. *Journal of Computing in Civil Engineering, 30*(6), 04016028.

Song, L., Mohamed, Y., & AbouRizk, S. M. (2009). Early contractor involvement in design and its impact on construction schedule performance. *Journal of Management in Engineering, 25*(1), 12-20.

Spitler, J., McQuiston, F., & Lindsey, K. (1993). CLTD/SCL/CLF cooling load calculation method. Dans *the 1993 Winter Meeting of ASHRAE Transactions. Part 1, Chicago, IL, USA, 01/23-27/93* (pp. 183-192).

Tang, L. C., Zhao, Y., Austin, S. A., Darlington, M., & Culley, S. (2008). Overload of information or lack of high value information: Lessons learnt from construction.

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs. *Automation in Construction, 38*, 109-127.

Wimmer, R., Maile, T., & O'Donnell, J. T. (2014). Data-requirements specification to support BIM-based HVAC-definitions in Modelica. Dans *BauSIM 2014, Aachen, Germany, September, 2014*.

Wix, J., & Karlshoej, J. (2010). Information delivery manual: Guide to components and development methods. *BuildingSMART International*.