

GUIDE DE CONCEPTION D'UN BÂTIMENT PERFORMANT

FASCICULE 3

L'OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE AVEC LA MODÉLISATION DES DONNÉES DU BÂTIMENT (BIM)

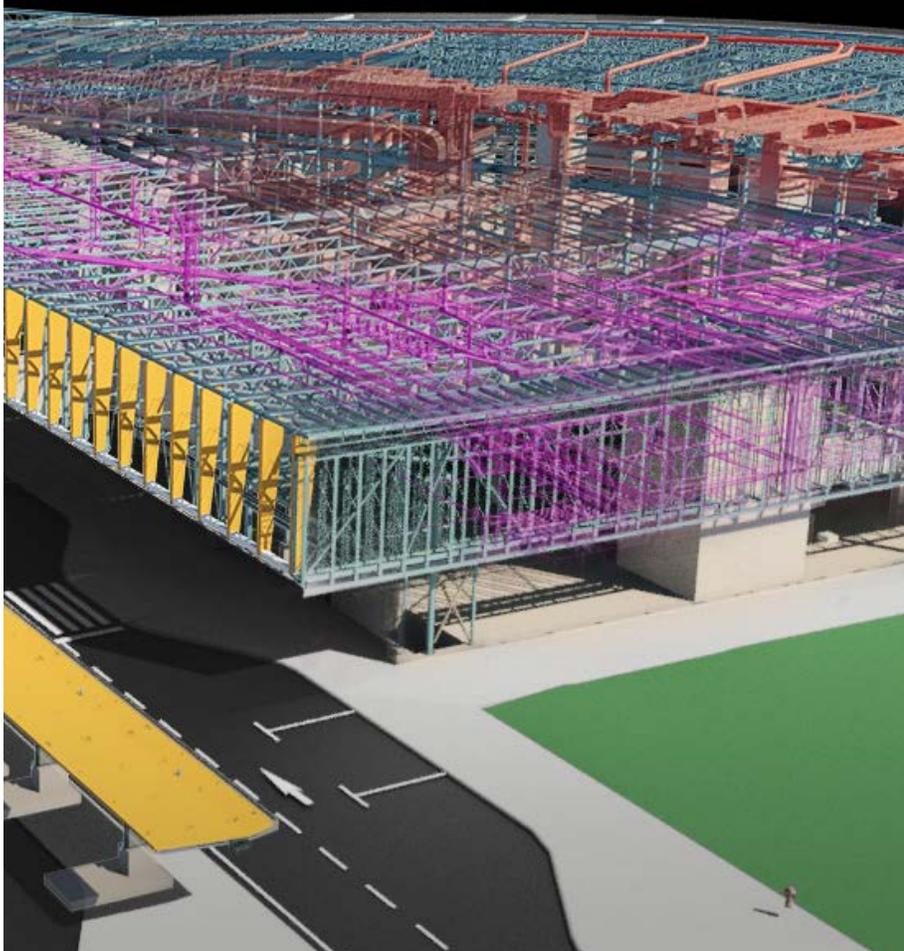


Image : Aéroport de Québec inc.

AUTEURS

Daniel Forgues, Ph. D, professeur, Département de génie de la construction, École de technologie supérieure (ETS)

Danielle Monfet, ing., Ph. D, professeure, Département de génie de la construction, ETS

Stéphan Gagnon, ing., CEM®, LEED® GA, conseiller en efficacité énergétique, Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques, ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2016

ISBN : 978-2-550-75337-7 (version PDF)

© Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, 2016

PRÉAMBULE

Ce fascicule introduit un nouveau concept d'optimisation continue autour de la plateforme BIM, laquelle est une véritable révolution en ce qu'elle permet de coupler les logiciels de conception aux logiciels d'analyse pour visualiser et comparer les options. L'information détaillée sur le contexte, les stratégies, les méthodes et les outils est présentée dans le fascicule 1.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 > BIM COLLABORATIF, UN CHANGEMENT DE PARADIGME	3
1.1 Les acteurs et l'organisation du travail	5
1.2 L'environnement contractuel	8
1.3 Enjeux technologiques	8
1.4 La gestion du changement	9
1.5 Étude de cas n° 1 : l'alignement des flots de travail de l'architecte et de l'ingénieur.....	11
1.6 Étude de cas n° 2 : l'intégration de l'ingénieur et de l'architecte dans la même firme.....	17
CHAPITRE 2 > MÉTHODE ET PROCESSUS	21
2.1 L'utilisation de BIM pour l'extraction de données	22
2.2 La description du flot de travail pour la simulation dans le plan de gestion BIM	24
2.3 La préconception	25
2.4 L'esquisse	25
2.5 Le dossier préliminaire	26
2.6 Le dossier définitif	26
2.7 La construction	31
2.8 La mise en service	31
2.9 L'exploitation	31
CONCLUSION	33
RÉFÉRENCES	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1	
Au centre, la modélisation des données du bâtiment (BIM) comme base de données multidisciplinaire	5
Figure 2	
Usages possibles à partir des données de la maquette numérique	6
Figure 3	
Étude de cas n° 1 : processus de conception chez l'architecte.....	11
Figure 4	
Étude de cas n° 1 : processus d'échange et de simulation chez l'ingénieur.....	12
Figure 5	
Étude de cas n° 1 : problèmes dans la modélisation pour la simulation	13
Figure 6	
Étude de cas n° 1 : flux de données	14
Figure 7	
Étude de cas n° 1 : flux d'optimisation en fonction des phases	15
Figure 8	
Étude de cas n° 1 : superposition des flux de données et des flux de travail.....	16
Figure 9	
Étude de cas n° 2 : schéma de la simulation, partie 1.....	18
Figure 10	
Étude de cas n° 2 : schéma de la simulation, partie 2.....	19
Figure 11	
Étude de cas n° 2 : schéma de la simulation, partie 3.....	20
Figure 12	
Étape pour la modélisation des systèmes actifs	22
Figure 13	
Processus global d'analyse énergétique et besoins d'échange	24
Figure 14	
Processus de préconception.....	27
Figure 15	
Processus de l'esquisse.....	28
Figure 16	
Processus du dossier préliminaire.....	29
Figure 17	
Processus du dossier définitif.....	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	
Similitudes et différences dans la définition des approches intégrées	7
Tableau 2	
Possibilités de modélisation énergétique basée sur BIM	10

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BIM/MDB	Building information modeling/modélisation des données du bâtiment
CVCA	Chauffage, ventilation et conditionnement de l'air
iiSBE	International Initiative for a Sustainable Built Environment
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LOD	Level of detail/niveau de détail
MEP	Mécanique, électrique, plomberie
MES	Mise en service
MESA	Mise en service améliorée
PA-LEED	Professionnel accrédité LEED
PCI	Processus de conception intégrée
PFT	Programme fonctionnel et technique

INTRODUCTION

Le fascicule 3 propose de modifier considérablement les façons de faire en posant les premières pierres du concept d'optimisation continue à l'aide de la modélisation des données du bâtiment, aussi appelée BIM pour *Building information modeling*.

BIM est à la fois un processus et un outil de modélisation qui permet de produire une représentation tridimensionnelle du bâtiment à l'aide d'objets intelligents et paramétrés, une véritable révolution dans la conception du bâtiment et dans la gestion de son cycle de vie. BIM ouvre la voie à l'optimisation continue de l'équipement, de sa planification à sa réalisation. Cependant, cette optimisation continue ne peut se réaliser qu'à deux conditions :

1. en adoptant une approche intégrée de la conception et de la construction appelée « BIM collaboratif »;
2. en prenant une forme d'engagement contractuel qui élimine les obstacles à la collaboration au moyen du transfert de risque, de la répartition des responsabilités par spécialité et de l'approche prescriptive régissant le processus de planification, de conception et de construction.

Son utilisation dans la simulation énergétique n'en est qu'à ses balbutiements, mais nous pouvons déjà entrevoir le champ des possibilités que BIM ouvre pour faciliter l'intégration des outils d'analyse du début à la fin d'un projet de construction. Il peut simplifier le processus de prise de décision en tirant parti des modèles d'architecture ou de mécanique existants. Ces modèles contiennent des informations fort utiles, parmi lesquelles on note des données géométriques, des types de construction, des propriétés thermiques associées, des charges spatiales. L'intérêt principal est de réduire le temps de construction du modèle énergétique (en diminuant les reconstructions de modèles) et d'en améliorer considérablement la précision. Avec BIM, il est également possible d'automatiser et de stéréotyper le processus de création du modèle énergétique. Les données de la maquette de conception peuvent être traitées directement ou importées dans des logiciels d'analyse. Il devient donc possible de configurer le processus d'optimisation dans un cycle idéal où les professionnels de différentes disciplines interagissent de façon continue et itérative.

CHAPITRE 1 >

BIM COLLABORATIF, UN CHANGEMENT DE PARADIGME

1.1	Les acteurs et l'organisation du travail	5
1.2	L'environnement contractuel	8
1.3	Enjeux technologiques	8
1.4	La gestion du changement	9
1.5	Étude de cas n° 1 : l'alignement des flots de travail de l'architecte et de l'ingénieur	11
1.6	Étude de cas n° 2 : l'intégration de l'ingénieur et de l'architecte dans la même firme	17

Dans un projet traditionnel, la même information est saisie en moyenne sept fois, ce qui constitue un risque d'erreurs et une perte de temps majeure ¹. Lors d'une simulation énergétique, cette information doit souvent être extraite manuellement et interprétée pour satisfaire aux formats d'entrée de données des logiciels de simulation. Ce travail étant fastidieux et coûteux, il limite considérablement l'utilisation de la simulation ou d'une quelconque autre forme d'optimisation.

BIM collaboratif est d'abord et avant tout une plateforme unique de gestion intégrée de production et d'échanges d'informations entre les acteurs d'un projet. Dans un mode traditionnel, chacun des acteurs utilise une série de logiciels différents selon sa spécialité et l'usage qu'il fait des logiciels. Comme ces logiciels ne communiquent pas entre eux, les problèmes d'interopérabilité donnent lieu à de nombreuses opérations manuelles d'extraction et d'entrée de données.

Le but de BIM est de résoudre ce problème, soit en centralisant les données, soit en créant des passerelles entre les logiciels pour qu'ils soient interopérables. Son plus grand intérêt est d'augmenter considérablement le potentiel d'optimisation continue du bâtiment. À terme, les phases traditionnelles de conception et de construction seront remplacées par d'autres : l'optimisation de la planification, l'optimisation de la construction, l'orchestration de la construction et l'optimisation de l'exploitation. Cependant cette transition d'un mode prescriptif à un mode itératif ne se fait pas sans difficulté. Cette section aborde les impacts de BIM sur les pratiques reliées à l'optimisation énergétique.

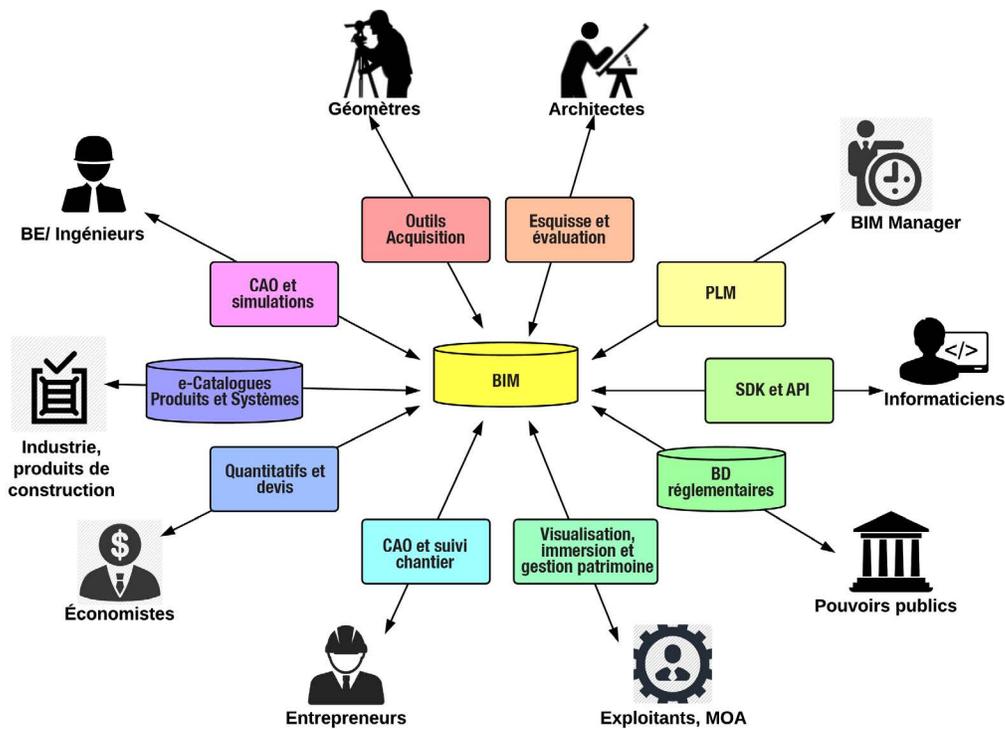
1. ASHRAE. An Introduction to Building Information Modeling (BIM). 2009. http://cms.ashrae.biz/bim/pdf/BIMGuide_Rev_110309.pdf

1.1 LES ACTEURS ET L'ORGANISATION DU TRAVAIL

Le cœur de BIM est la base de données (Figure 1). Le principe de base est que l'ensemble des acteurs, dont le client, puisse fournir et partager les données de la représentation virtuelle du bâtiment. Cela fait, les technologies BIM permettent de générer, pour chaque discipline, des espaces de travail et des outils d'analyse directement attachés à la maquette numérique. Elles ouvrent ainsi de nouveaux horizons dans l'optimisation énergétique.

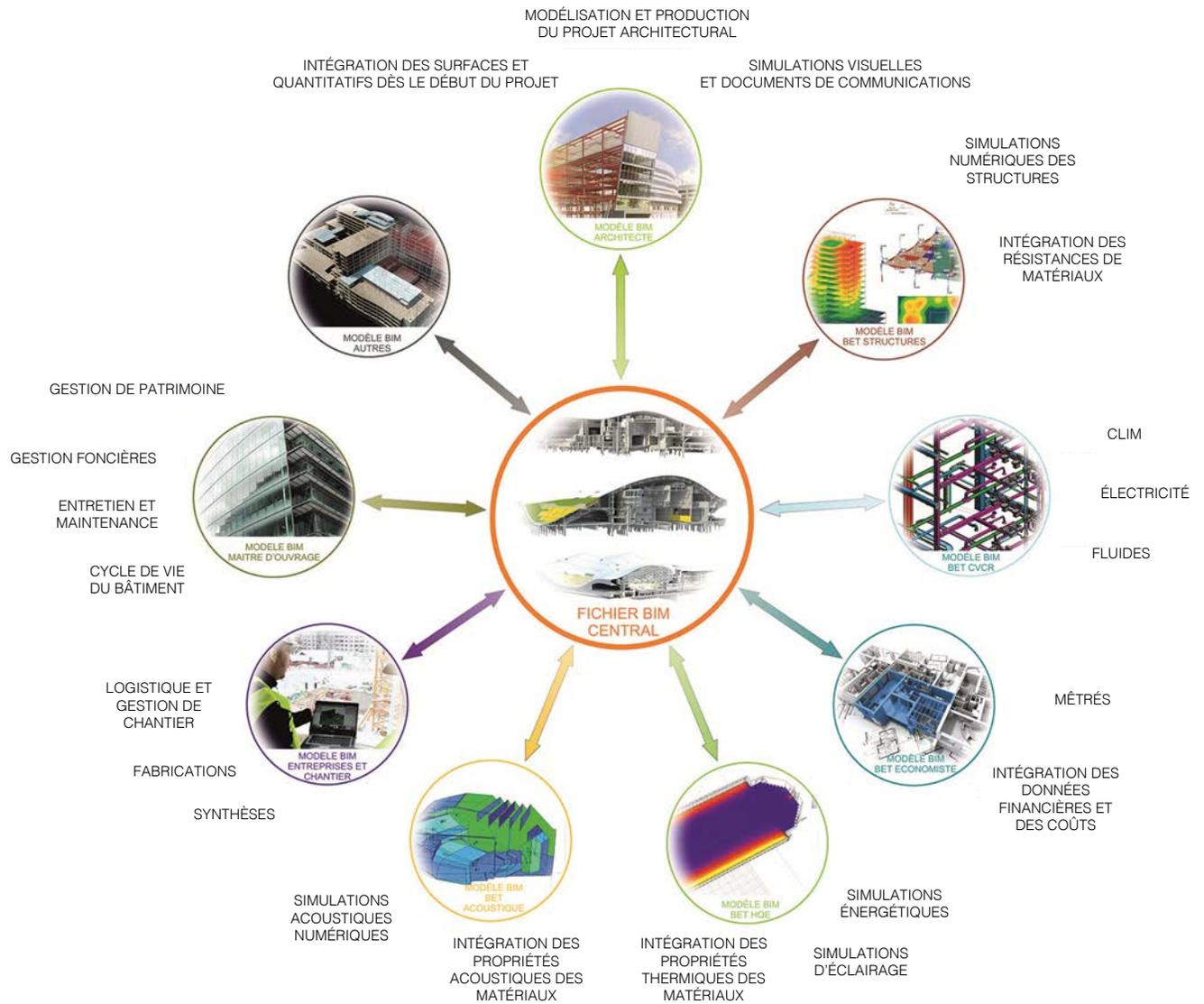
Figure 1

Au centre, la modélisation des données du bâtiment (BIM) comme base de données multidisciplinaire



Un nouvel acteur intervient dans la gestion de l'ensemble des données, le gestionnaire BIM (*BIM manager*). C'est ce dernier qui coordonne les règles de production et d'échange de données ainsi que les droits d'accès. Ces règles sont documentées dans le plan de gestion BIM où se trouvent les usages (Figure 2) de la modélisation des données du bâtiment et le flot de travail qui lui est associé. La section 2 décrit le flot de travail proposé dans le plan de gestion BIM pour l'optimisation énergétique.

Figure 2
Usages possibles à partir des données de la maquette numérique



Les possibilités offertes par BIM pour l'optimisation énergétique continue des bâtiments sont énormes. Cependant, l'investissement requis pour atteindre son plein potentiel est majeur et implique un engagement de tous les acteurs du projet pour fournir des données et manipuler le modèle.

Comme le mentionne M. Phil Bernstein, vice-président d'Autodesk, l'enjeu avec BIM n'est pas technologique; il est légal et procédural. Pour une utilisation efficiente de ces technologies, il faut revoir les cadres contractuels qui régissent les projets de construction ainsi que les façons de faire des professionnels. La transformation des pratiques actuelles, soit les façons de concevoir, de réaliser et d'assainir le cadre bâti, ne peut être faite sans procéder à une refonte complète du modèle d'affaires courant dans l'industrie de la construction². Cette transformation a pour but d'éliminer la fragmentation que l'on trouve au sein d'une équipe de projet, tant sur le plan organisationnel que procédural. Sur le plan organisationnel, cette fragmentation empêche d'optimiser les solutions constructives et de minimiser leurs impacts économiques. Elle entraîne également une surproduction d'informations liée au besoin de documenter un projet dans ses moindres détails pour des raisons de responsabilité professionnelle, voire légale, de même que pour les raisons techniques mentionnées auparavant. Ceci engendre souvent des coûts, des délais, des erreurs de coordination, une perte de qualité, etc. Sur le plan procédural, la fragmentation nuit à la synergie entre les professionnels pour optimiser la performance énergétique et réduire l'empreinte écologique d'un actif immobilier.

L'élimination de cette fragmentation passe par la refonte du modèle d'affaires, ce qui implique de nouvelles ententes contractuelles et relations d'affaires entre les parties et nécessite des changements dans la pratique afin de passer d'un processus traditionnel, c'est-à-dire linéaire et séquentiel, à une approche intégrée, c'est-à-dire itérative et systématique. Les différentes solutions mises de l'avant proposent des approches pour l'intégration sur différents plans : sur le plan organisationnel, pour l'optimisation du processus de réalisation de projet et sur le plan procédural, pour l'optimisation de la conception et du produit livré. Le Tableau 1 présente les similitudes et les différences entre les approches intégrées proposées.

Tableau 1
Similitudes et différences dans la définition des approches intégrées

	Conception intégrée	Conception intégrative	Pratiques intégrées	Réalisation intégrée de projet
Similitudes	Équipes multidisciplinaires, vision holistique englobant l'ensemble du cycle de vie, transfert des efforts en amont du projet			
Différences	Co-conception par itérations, centrée sur des cibles et des objectifs, stratégies globales, intégration et synergie entre les systèmes		Ingénierie concourante, modèle virtuel partagé, technologies comme levier dans l'optimisation des processus de conception, construction et gestion, modes d'approvisionnement favorisant l'intégration des pratiques	

2. Reed, B. The integrative design guide to green building: Redefining the practice of sustainability. Vol. 43. 2009. John Wiley & Sons.

Dans la modélisation des données du bâtiment, le cadre de travail privilégié est le bureau de projet qui regroupe, dans un même lieu, les principaux représentants des firmes concernées pour faciliter la collaboration tout en simplifiant l'échange de données, l'infrastructure informatique étant centralisée. La charrette, la période de travail intensif de synergie de la conception intégrée, est remplacée par l'échange hebdomadaire sur l'optimisation du modèle qui se déroule normalement dans ce qu'on appelle la grande salle (*big room*). Cette formule n'est cependant pas appropriée pour tous les projets. Ceux-ci doivent avoir une envergure suffisante pour justifier la mobilisation permanente d'une équipe (ce qui inclut les représentants du client) dans un même lieu. L'environnement contractuel doit aussi être adapté pour encourager la collaboration. Même s'ils partagent le même espace, les firmes ayant des contrats traditionnels favoriseront les médias de communication qui laissent une trace écrite et limiteront leurs interactions en fonction de leurs obligations professionnelles respectives dans le but de minimiser leurs risques.

1.2 L'ENVIRONNEMENT CONTRACTUEL

Le but ultime de l'optimisation est d'obtenir la meilleure valeur au meilleur coût. Le modèle traditionnel, qui consiste à définir le résultat et à chercher à l'obtenir au plus bas coût possible, s'avère l'approche la moins économique, tout en donnant un produit sous-optimal en matière de qualité et de performance. Dans les approches intégrées, on inverse le processus pour rechercher une optimisation continue dans la conception et la construction. Ces approches offrent un environnement de travail optimal qui structure et encadre les relations organisationnelles entre les intervenants d'un projet. Parmi les grandes initiatives de pratiques intégrées, il y a, d'une part, le processus de conception intégré (PCI) qui vise à l'optimisation énergétique et à la conception durable, dont la gérance de construction est le mode contractuel à privilégier. D'autre part, la réalisation de projet intégrée (*Integrated Project Delivery – IPD*), la chaîne d'approvisionnement intégrée (*Integrated Supply Chain*) et les alliances de projet (*Project Alliances*), de nouvelles formes de contrats qui tendent vers l'optimisation du processus de réalisation par la réduction du gaspillage et une gestion intégrée du flux d'informations.

Ces formes contractuelles, qualifiées de contrats relationnels, sont encore toutes nouvelles au Canada. Dans l'intérim, l'environnement contractuel proposé dans le fascicule 2 s'applique à la modélisation des données du bâtiment. On suggère de joindre aux contrats traditionnels un addenda qui couvre le volet BIM. L'institut pour la modélisation des données du bâtiment du Canada (IBC) publie une version française de cet addenda.

1.3 ENJEUX TECHNOLOGIQUES

Au moment de choisir des technologies associées à la modélisation des données du bâtiment, les professionnels doivent en évaluer les enjeux. Il existe une grande quantité d'outils sur le marché, investir dans leur acquisition et dans la formation est coûteux, et leur intégration dans un environnement BIM complet et fonctionnel, difficile à réaliser.

Les technologies BIM disponibles sur le marché ne correspondent pas à ce qui est décrit dans la majorité des représentations (Figures 1 et 2). Ces technologies ne sont pas rattachées à une base d'information centrale : c'est plutôt le concept d'interopérabilité entre les différents logiciels spécialisés qui s'applique. Le principe utilisé par les éditeurs de logiciel est d'adopter un protocole commun, le *Industry Foundation Class* (IFC), un format de fichier standardisé qui permet d'échanger de l'information entre les logiciels.

Le principe semble simple, mais il s'avère relativement complexe lorsqu'il faut faire des choix. D'abord, il existe deux approches concernant l'interopérabilité : l'approche propriétaire (Autodesk, Bentley) et l'approche *Open BIM* (les logiciels communiquent entre eux grâce à un des protocoles IFC). Dans l'approche Open BIM, les logiciels doivent être certifiés IFC. Il est recommandé de rechercher les versions les plus récentes. Ceci peut être facilement vérifié sur le portail de Smart Buildings Alliance, un organisme international à but non lucratif qui produit les licences et gère le développement du protocole. Cependant, l'adhésion à ce protocole ne garantit pas une transparence

d'échanges sans faille entre les logiciels. Il peut être nécessaire, ou avantageux, d'utiliser d'autres protocoles. Par exemple, le format gbXML est très populaire pour l'échange de données avec les logiciels de simulation BIM.

Dans l'approche propriétaire, l'éditeur offre une suite de logiciels spécialisés pour lesquels il a construit ses propres liens afin qu'ils communiquent entre eux. Cependant, dans plusieurs cas, comme celui des logiciels d'analyse énergétique, l'échange de données ne peut se faire que dans une seule direction. Aussi, cette transparence d'échanges entre les logiciels n'est pas aussi grande que le laissent entendre les éditeurs qui se plient néanmoins de plus en plus souvent à l'obligation d'offrir la passerelle IFC avec d'autres logiciels n'appartenant pas à leur suite.

En résumé, l'interopérabilité entre les logiciels d'édition et de simulation BIM n'est pas garantie. Les grandes firmes produisent des matrices d'interopérabilité pour guider leurs choix de logiciels en fonction du degré de compatibilité de ceux-ci. Afin d'exposer la complexité de ces choix, les sections 1.5 et 1.6 décrivent l'importance de bien planifier sa démarche pour intégrer des outils de simulation dans le processus BIM à l'aide de deux études de cas où on utilise un nombre limité d'outils de simulation.

Les éditeurs de logiciels devraient avoir de plus en plus recours à l'infonuagique (*cloud computing*) dans les prochaines années en faisant valoir à l'industrie la disparition des infrastructures informatiques coûteuses (ces logiciels demandent des ordinateurs haut de gamme), l'élimination des problèmes d'interopérabilité et de gestion des versions, la puissance de calcul des fermes d'ordinateur et un environnement de collaboration virtuel avec accès aux données à toute heure du jour ou de la nuit. Pour bénéficier de ces avantages, les professionnels devront payer des abonnements parfois coûteux, tout en acceptant que la question de la sécurité des données dans l'infonuagique demeure ouverte.

1.4 LA GESTION DU CHANGEMENT

Dans le mode traditionnel, l'optimisation énergétique est une option du service de base qui consiste à livrer un bâtiment répondant à des fonctions prédéfinies à un coût convenu. Dans un mode intégré, cette optimisation est enchâssée dans le processus global de la conception-construction qui tend vers une optimisation continue, de la planification à l'exploitation. Passer du mode traditionnel à un mode intégré exige de repenser ses façons de faire dans un contexte en pleine transformation, alors que les technologies BIM, associées à la simulation énergétique et à l'exploitation du bâtiment, sont encore loin d'avoir atteint leur plein potentiel. Développer des capacités pour utiliser BIM aux fins d'optimisation énergétique représente un effort appréciable pour les consultants, comme en font foi les deux études de cas présentées aux sections 1.5 et 1.6. La prudence est de mise en ce qui concerne les exigences du client.

Les outils de simulation énergétique permettent aux utilisateurs de comparer la performance de différents scénarios au début du processus de conception. En outre, il est possible d'obtenir une rétroaction rapide sur l'utilisation de l'énergie dans les conceptions proposées et de comparer leur efficacité en regard de la forme, de l'orientation et de l'enveloppe du bâtiment. Cependant, comme cela a été souligné précédemment, dans un mode traditionnel, les processus de travail des différents professionnels ne sont pas harmonisés et l'effort requis pour parvenir à une solution optimale peut être trop important par rapport aux honoraires que cela représente. La saisie des données pour réaliser les optimisations demande un travail considérable, des approximations doivent être faites lorsque les formes sont trop complexes et la comparaison des options demande de saisir de nouveau une bonne partie des données.

Une approche basée sur BIM pour l'analyse énergétique se décline en quatre étapes :

1. Définir les besoins. À cette étape, l'équipe de projet doit établir quelles sont les possibilités d'une modélisation énergétique basée sur BIM. Plusieurs possibilités ont été établies selon le type de projets. Quelques-unes sont présentées dans le Tableau 2.
2. Recenser les outils informatiques qui pourraient être utilisés. Il s'agit de se demander quels sont les logiciels disponibles sur le marché et lesquels conviendraient au projet.
3. Définir et préciser la portée de l'étude. Ce processus itératif doit permettre de décider comment et à quel moment l'équipe devrait mettre en œuvre une ou plusieurs solutions d'analyse énergétique basée BIM.
4. Mettre en œuvre et évaluer la solution retenue. Le processus de mise en œuvre est défini et la pertinence des choix, évaluée.

Tableau 2
Possibilités de modélisation énergétique basée sur BIM³

Types de projet	Défis du projet	Objectifs	Indicateurs de succès
Nouvelle construction ou rénovation majeure	Analyse précise et prédiction de la performance du bâtiment durant la conception, la construction et l'exploitation	Prédictions énergétiques cohérentes et précises conduisant à des conceptions garantissant une efficacité énergétique basées sur le coût global	Coût global et estimation annuelle de la consommation énergétique remplissant ou dépassant les objectifs, la précision et la cohérence en matière de modèles énergétiques du projet
Rénovation et modernisation	Modélisation précise des conditions du bâtiment tel que construit, calibration des modèles énergétiques, évaluation fiable de la conception et la performance techniques existantes	Prédictions énergétiques cohérentes et précises conduisant à l'identification des rénovations garantissant l'efficacité énergétique la plus efficiente	Coût global et estimation annuelle de la consommation énergétique remplissant ou dépassant les objectifs, la précision et la cohérence en matière de modèles énergétiques du projet
Bâtiments existants	Remise au point en temps continu utilisant une modélisation en temps réel pour évaluer la performance réelle future du bâtiment	Développer une boucle de rétroaction en modélisation énergétique qui évalue la performance du bâtiment en temps réel	Performance énergétique optimisée, remplissant ou dépassant l'intention, la précision et la cohérence de la conception en matière de modèles énergétiques

3. GSA. GSA Building Information Modeling Guide Series 05 – Energy Performance and Operations. 2012. http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_Series.pdf.

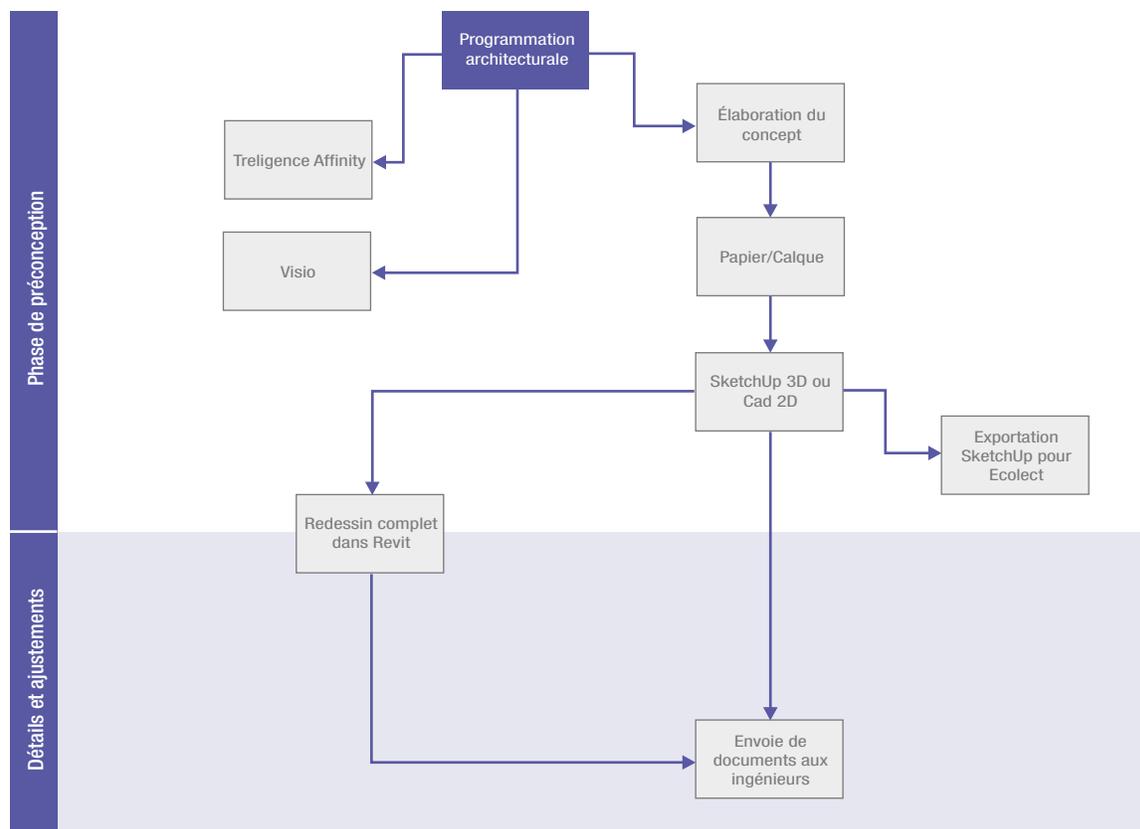
Avec l'apparition de différents outils de visualisation et d'analyse rattachés aux plateformes de production des maquettes numériques, le modèle BIM a servi de catalyseur pour inciter l'architecte à participer à la phase préliminaire du projet. Ces outils ne viennent pas bouleverser son travail, ils lui offrent au contraire le moyen de valider ses intuitions concernant l'efficacité des solutions qu'il a imaginées pour améliorer la performance énergétique du bâtiment.

Par contre, les implications pour l'ingénieur sont plus sérieuses. D'une part, BIM l'oblige à être plus engagé dans la définition du concept. Il doit aussi accompagner l'architecte et interagir avec lui pour l'aider dans les choix de l'enveloppe et des systèmes. Une première stratégie dans l'intégration de BIM consiste à combiner le processus de simulation traditionnel avec les nouvelles possibilités qu'offrent ces outils. Enfin, architecte et ingénieur doivent déléguer des ressources à un bureau de projet, ce qui n'est pas sans conséquence dans le fonctionnement des firmes. Il existe des solutions de remplacement pour réaliser un processus d'optimisation intégré, mais cela demande un effort d'organisation comme le démontrent les deux études de cas qui suivent. Inspirées de cas réels, ces études donnent un aperçu de la complexité, brièvement traitée dans la section précédente, d'intégrer ces technologies à la simulation énergétique.

1.5 ÉTUDE DE CAS N° 1 : L'ALIGNEMENT DES FLOTS DE TRAVAIL DE L'ARCHITECTE ET DE L'INGÉNIEUR

Une plus grande intégration, favorisant une interaction plus intense entre l'architecte et l'ingénieur, demande un certain travail d'analyse et de réflexion. La Figure 3 présente la cartographie d'un processus dans une agence d'architecture qui utilise une plateforme BIM pour l'optimisation énergétique.

Figure 3
Étude de cas n° 1 : processus de conception chez l'architecte

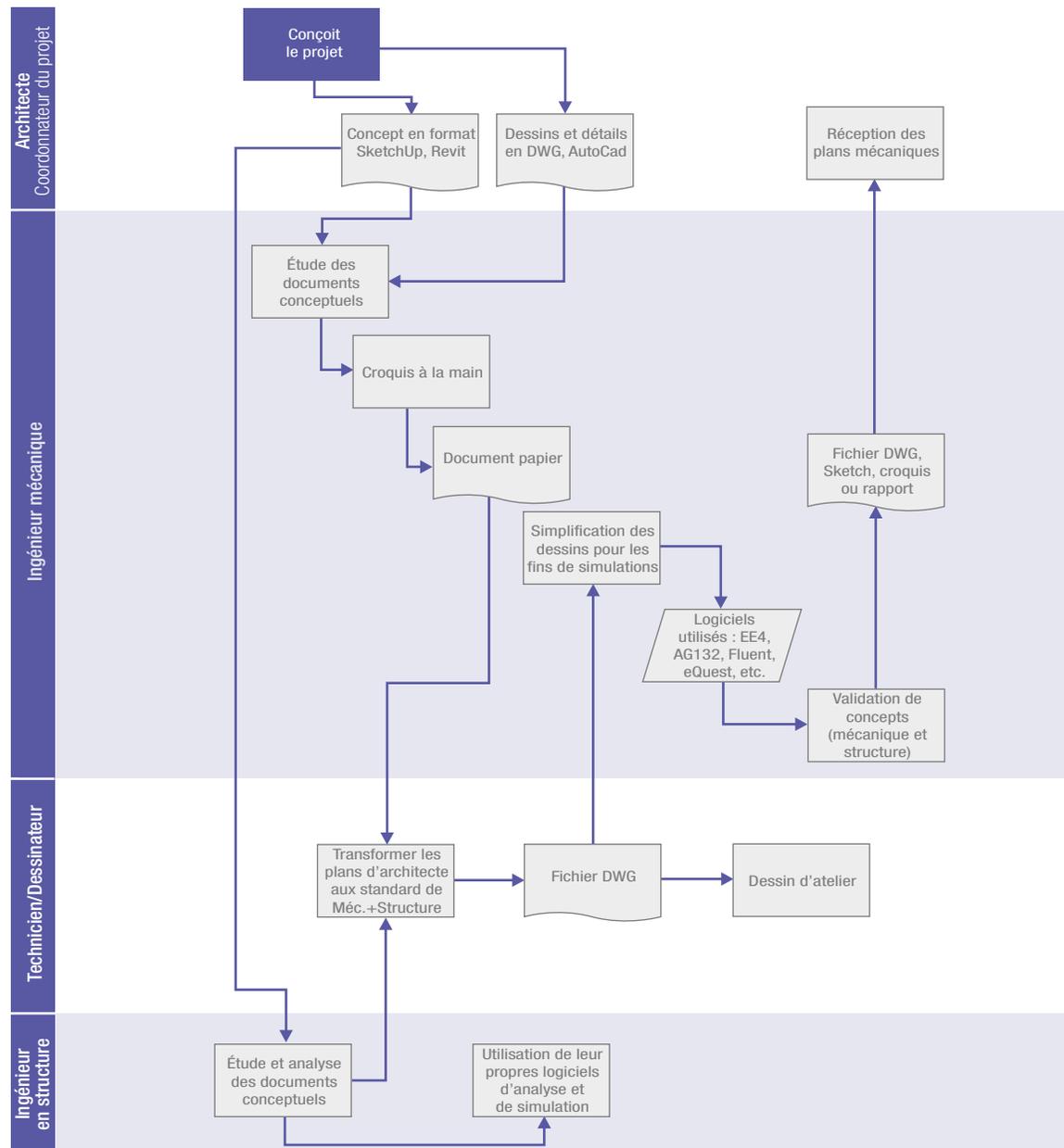


Les flux de travail et de données chez l'architecte démontrent qu'il existe une étape superflue dans Revit qui utilise d'abord un logiciel de programmation 3D, Affinity, pour établir les exigences fonctionnelles et techniques ainsi que les relations spatiales. Cependant, plutôt que d'utiliser directement un logiciel BIM pour la représentation 3D de l'esquisse, comme pour la majorité des firmes, c'est SketchUp qui a été utilisé. Il devenait donc obligatoire de redessiner le projet dans son entièreté. De plus, l'envoi des documents de travail aux intervenants externes (il s'agit ici des ingénieurs) ne prend place que lorsque la préconception est achevée et que les détails et les ajustements ont été apportés.

Une autre option serait d'utiliser le logiciel Vasari, qui est lui aussi gratuit, pour faire l'analyse préliminaire des options compatibles avec Revit. La Figure 4 illustre le processus suivi dans l'échange et dans la production de la simulation chez l'ingénieur.

Figure 4

Étude de cas n° 1 : processus d'échange et de simulation chez l'ingénieur



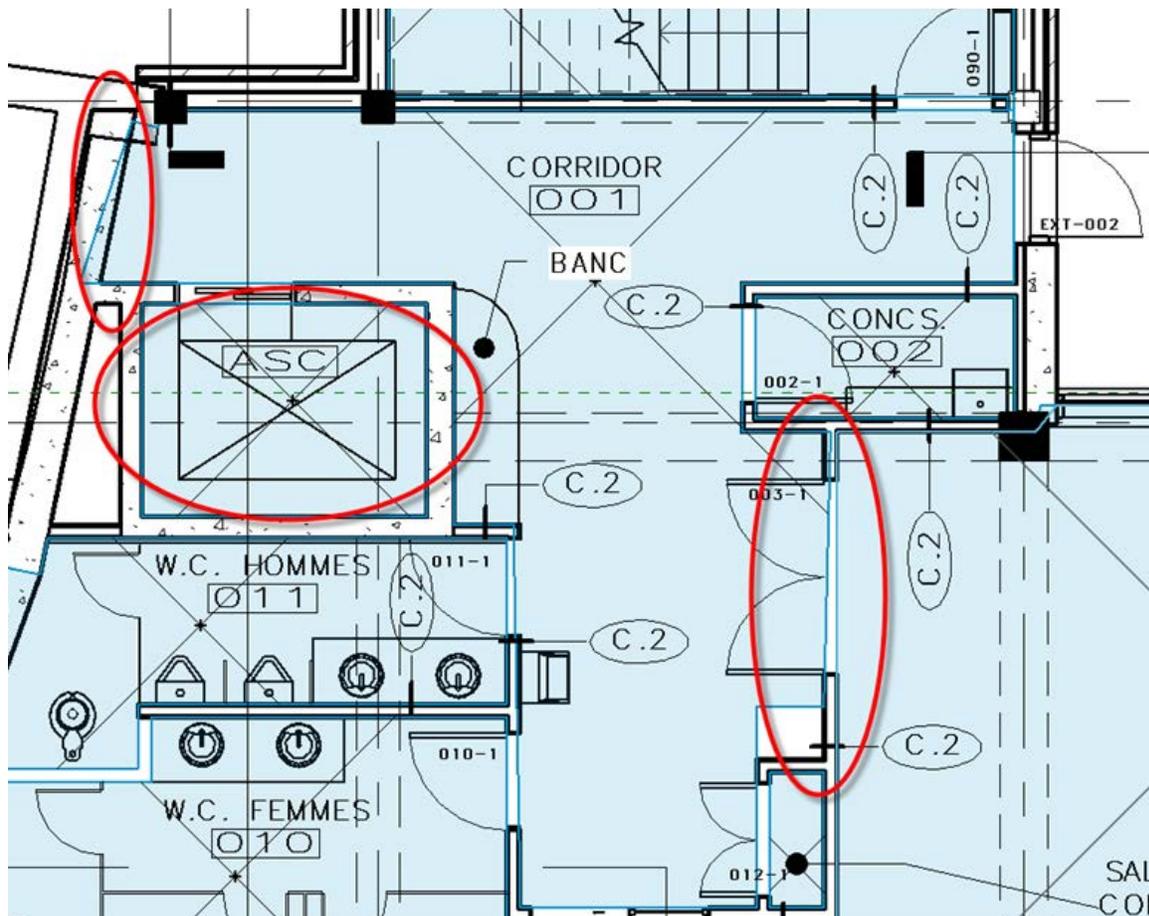
Le schéma de flux de travail chez l'ingénieur en mécanique indique encore une fois au moins une étape superflue précédant la simulation énergétique. L'adaptation des plans d'architecte selon les standards de la mécanique est une étape importante dans le processus; pour être compatibles avec les logiciels de simulation, ils doivent généralement faire l'objet d'une simplification et d'une mise à niveau. La maquette numérique de l'architecte n'est pas conçue pour être utilisée pour la simulation.

Les espaces ne sont pas fermés correctement (voir Figure 5), ce qui pose problème dans la simulation. Le modèle a été repris et examiné sous l'angle de la qualité et de la cohérence de la modélisation. Des incohérences ont été relevées dans la modélisation des éléments architecturaux :

- mur d'un étage modélisé en plusieurs morceaux à la verticale;
- éléments modélisés avec un « outil » non approprié.

Figure 5

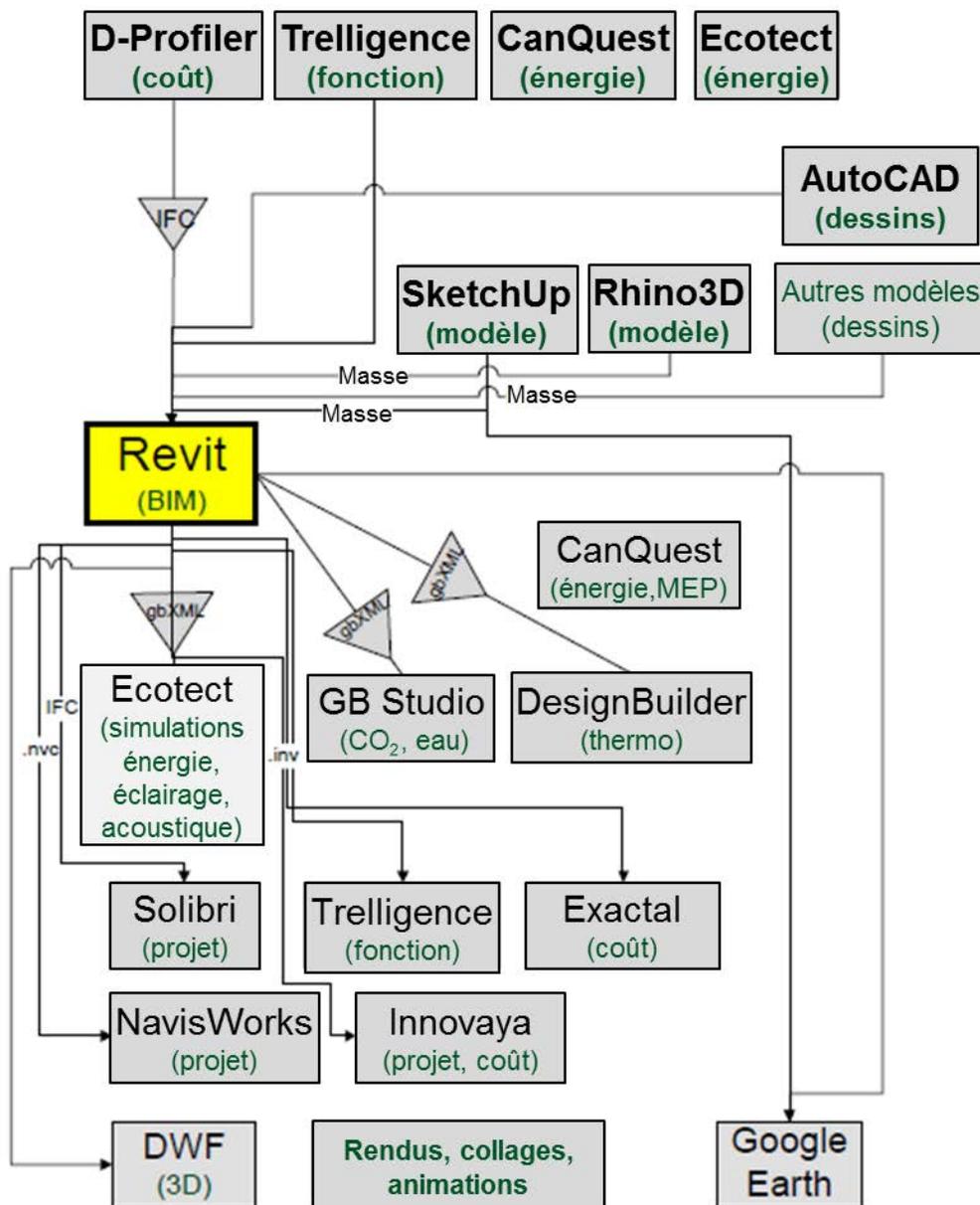
Étude de cas n° 1 : problèmes dans la modélisation pour la simulation



La définition des espaces présentait aussi des problèmes, notamment le recours aux lignes pour délimiter les pièces au lieu d'utiliser directement les éléments architecturaux, ce qui explique pourquoi les ingénieurs préfèrent refaire la maquette avant de réaliser la simulation.

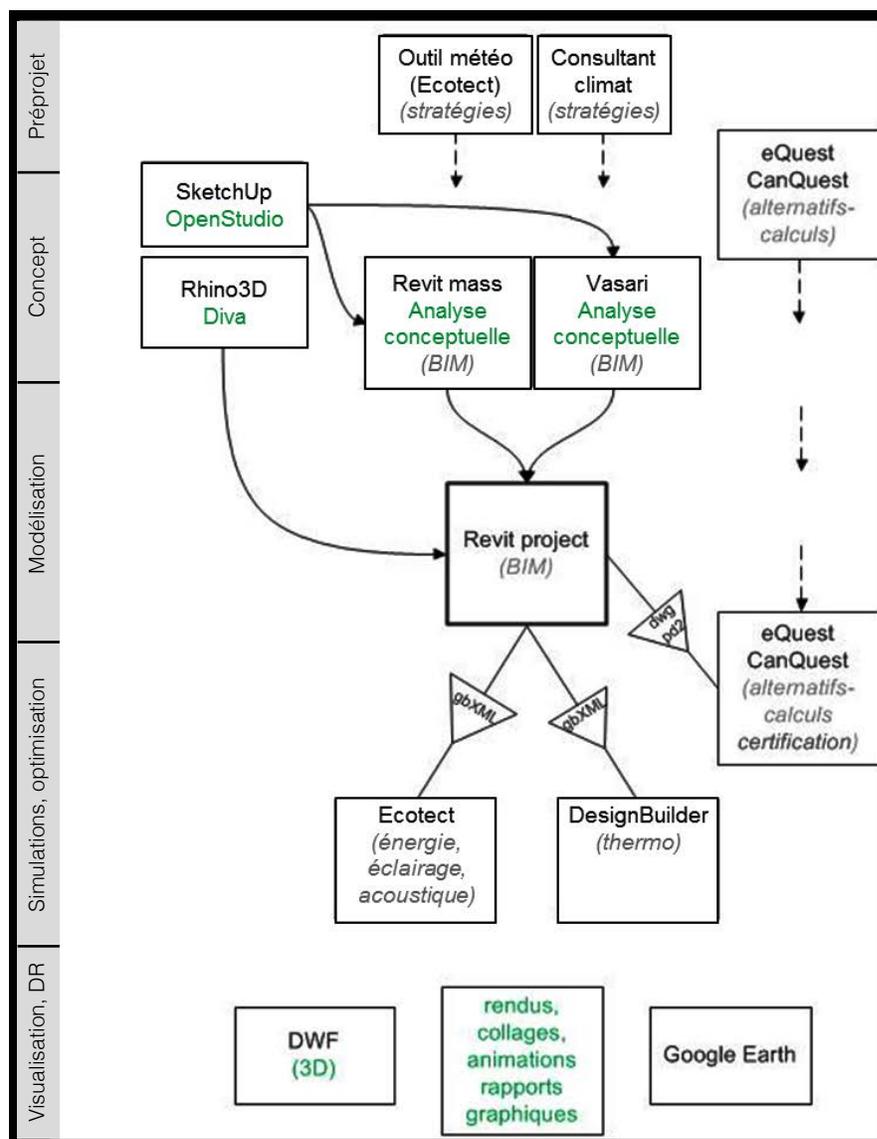
Les ingénieurs soulignent qu'ils sont souvent appelés lorsque le projet est à un stade avancé et que le fait de revenir en arrière est difficile. Pour être en mesure de répondre à ces enjeux, nous avons d'abord cartographié des flux génériques d'informations entre les logiciels de conception, d'estimation et de simulation énergétique (Figure 6).

Figure 6
Étude de cas n° 1 : flux de données



Cette cartographie est basée sur une première série de logiciels. Nous avons mis la plateforme Revit au cœur de ce réseau d'échanges, car elle est maintenant la plus répandue dans l'industrie au Québec et que le but de l'opération consiste à échanger des données d'un logiciel à l'autre. Comme on le voit, il existe plusieurs protocoles d'échanges (dont IFC et gbXML). Dans certains cas, les données peuvent être exportées dans le format natif du logiciel (par exemple, de Revit vers Navisworks ou Treligence). En théorie, les technologies BIM devraient permettre des échanges transparents entre les différentes plateformes. Ce que nous cherchions à faire ici était de combiner les analyses de performance énergétique à celles du programme et des coûts pour faciliter l'analyse des options. De cette façon, au lieu de nous limiter à deux ou trois options, il devient possible de multiplier ce nombre par dix et même plus et de maximiser nos chances d'arriver à la meilleure solution possible. Malheureusement, nous n'en sommes pas là. Un des enjeux actuels est de documenter et de gérer le niveau d'interopérabilité entre tous ces logiciels. C'est pourquoi nous avons opté pour une approche simplifiée du flux qui porte uniquement sur l'optimisation énergétique (Figure 7).

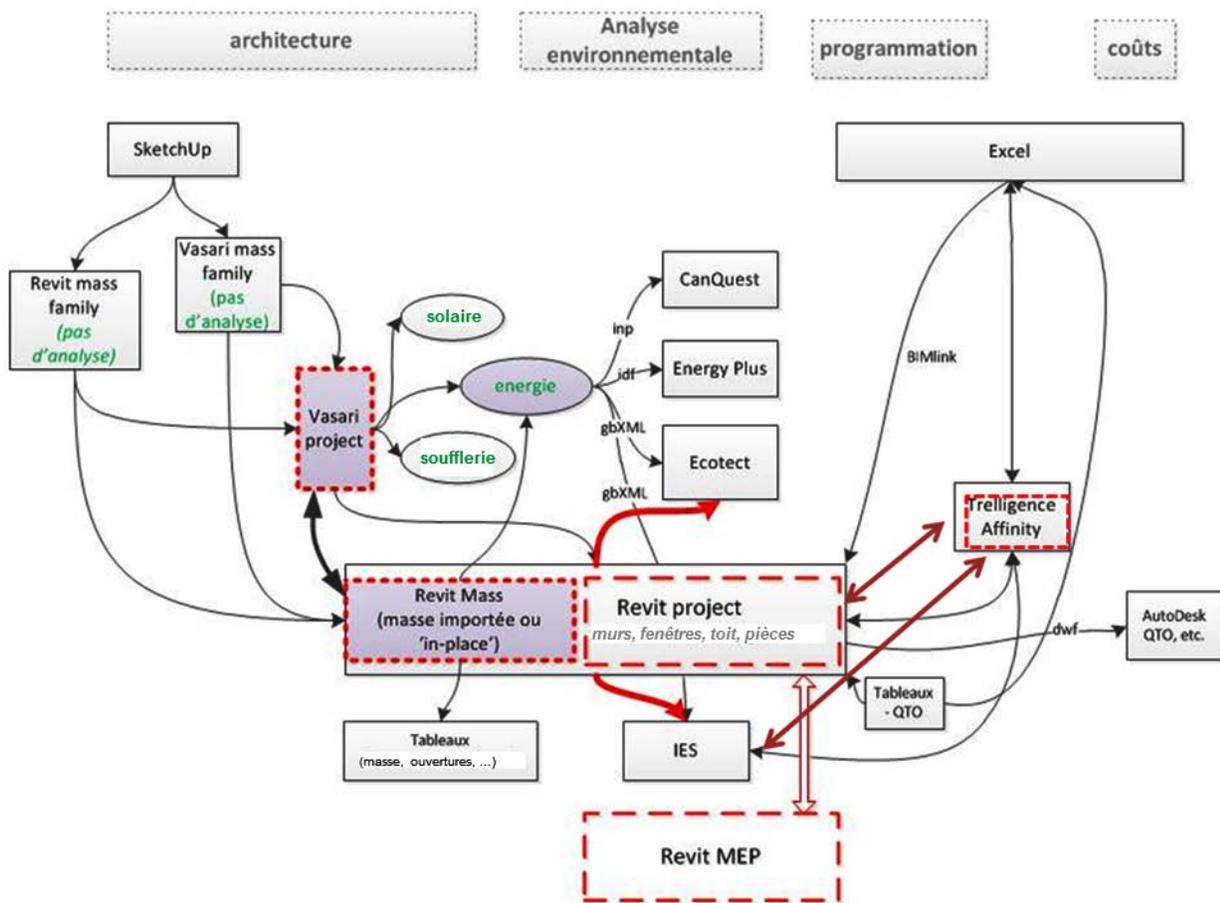
Figure 7
Étude de cas n° 1 : flux d'optimisation en fonction des phases



Ici, on propose plusieurs choix selon les cycles d'optimisation correspondant aux logiciels utilisés par les professionnels. Certains de ces logiciels tels qu'eQuest/CANQuest ne sont pas des technologies BIM, mais il est possible d'exporter les données du bâtiment directement de la maquette numérique.

La prochaine étape consiste à cartographier le flux de données à partir de ce modèle générique, en fonction des usages et du flux de travail des firmes. La Figure 8 fournit un exemple de cartographie associé aux flux de travail présentés dans les Figures 3 et 4.

Figure 8
Étude de cas n° 1 : superposition des flux de données et des flux de travail



Dans un premier temps, SketchUp a été maintenu comme logiciel de représentation 3D et des modes d'exportation vers les logiciels BIM (Vasari et Revit Mass) ont été étudiés pour réaliser des études au stade de l'esquisse. Plusieurs chemins peuvent être empruntés pour étudier les options, la première à travers Vasari qui permet la comparaison de scénarios et l'exportation dans des logiciels plus sophistiqués de modélisation, la deuxième qui passe par Revit Mass pour accéder à Revit duquel les données sont exportées vers Ecotect (simulations pour stratégies passives telles que la ventilation et l'éclairage naturels et les gains thermiques) à l'intention de l'architecte ou, dans le cas présent, vers IES, le logiciel BIM utilisé par l'ingénieur.

Une découverte intéressante dans l'étude des flux a été de constater que la façon la plus efficace de transférer les données vers le logiciel de simulation de l'ingénieur était d'utiliser Affinity, le logiciel de programmation de l'architecte. En raison de la simplicité de la représentation géométrique lors de la préconception, les données géométriques peuvent facilement être captées par le logiciel de simulation IES. Cela permet aux ingénieurs de participer à la réalisation des simulations dès la phase préconceptuelle afin, notamment, d'optimiser l'emplacement des espaces et de faciliter le choix des options.

1.6 ÉTUDE DE CAS N° 2 : L'INTÉGRATION DE L'INGÉNIEUR ET DE L'ARCHITECTE DANS LA MÊME FIRME

Une tendance récemment apparue dans l'industrie est celle d'adjoindre des ingénieurs ou des modélisateurs en simulation à l'équipe de l'architecte. Le bénéfice est double : l'architecte dispose d'un spécialiste pour procéder à des analyses au début du projet et les délais occasionnés par le fait que l'ingénieur travaille dans une autre firme sont éliminés. Ainsi, il devient possible de faire des itérations rapides sur des éléments cruciaux de la conception.

Les Figures 9 à 11 présentent une séquence d'optimisation complète à l'intérieur de la firme étudiée. Chaque rectangle symbolise une tâche, un losange, une étape de coordination. La première étape est celle de la « modélisation de l'enveloppe », puisqu'elle marque la création des premières données utiles à la simulation et aux itérations de conception. Le positionnement de chaque tâche sur la cartographie définit le poste clé de la personne qui s'en occupe ou, s'il s'agit d'une collaboration, de celle qui supervise le travail. Le cheminement se fait en suivant les lignes continues, dans le sens des flèches. L'ensemble des étapes représentées s'étend aux mandats de préconception et de conception. Les étapes de modification du concept ne figurent pas dans ce schéma, même s'ils contiennent des simulations.

Dans le cas étudié, en plus des architectes, l'équipe multidisciplinaire comprenait un ingénieur en structure, un autre en mécanique et un ingénieur électricien. Revit est la plateforme BIM centrale du répertoire des données qui serviront aux analyses. Tout d'abord, à la suite d'une première modélisation de l'enveloppe et des salles mécaniques, on mesure l'impact du calibrage de la performance de l'enveloppe sur la dimension des salles. S'ensuit un processus d'optimisation globale en fonction de la forme et de l'orientation. L'intervention en ce qui concerne la structure permet de s'assurer que le volume est aussi efficace dans le choix des trames structurales. Un soin particulier est apporté à la conception des percées, des cadres et des fenêtres. Une première validation permet ensuite de s'assurer que le résultat est conforme, non seulement aux objectifs de performance, mais aussi au budget et au programme.

La Figure 10 présente de nouveaux cycles itératifs, dans lesquels la performance de l'enveloppe est étudiée plus en détail, et les caractéristiques du bâtiment mises à jour avant que les systèmes soient ajoutés. Ici encore, le transfert des données d'un logiciel à l'autre n'est pas parfait. On voit aussi que le chiffrier Excel demeure l'outil le plus simple à utiliser dans certains volets de la simulation.

Figure 9
Étude de cas n° 2 : schéma de la simulation, partie 1

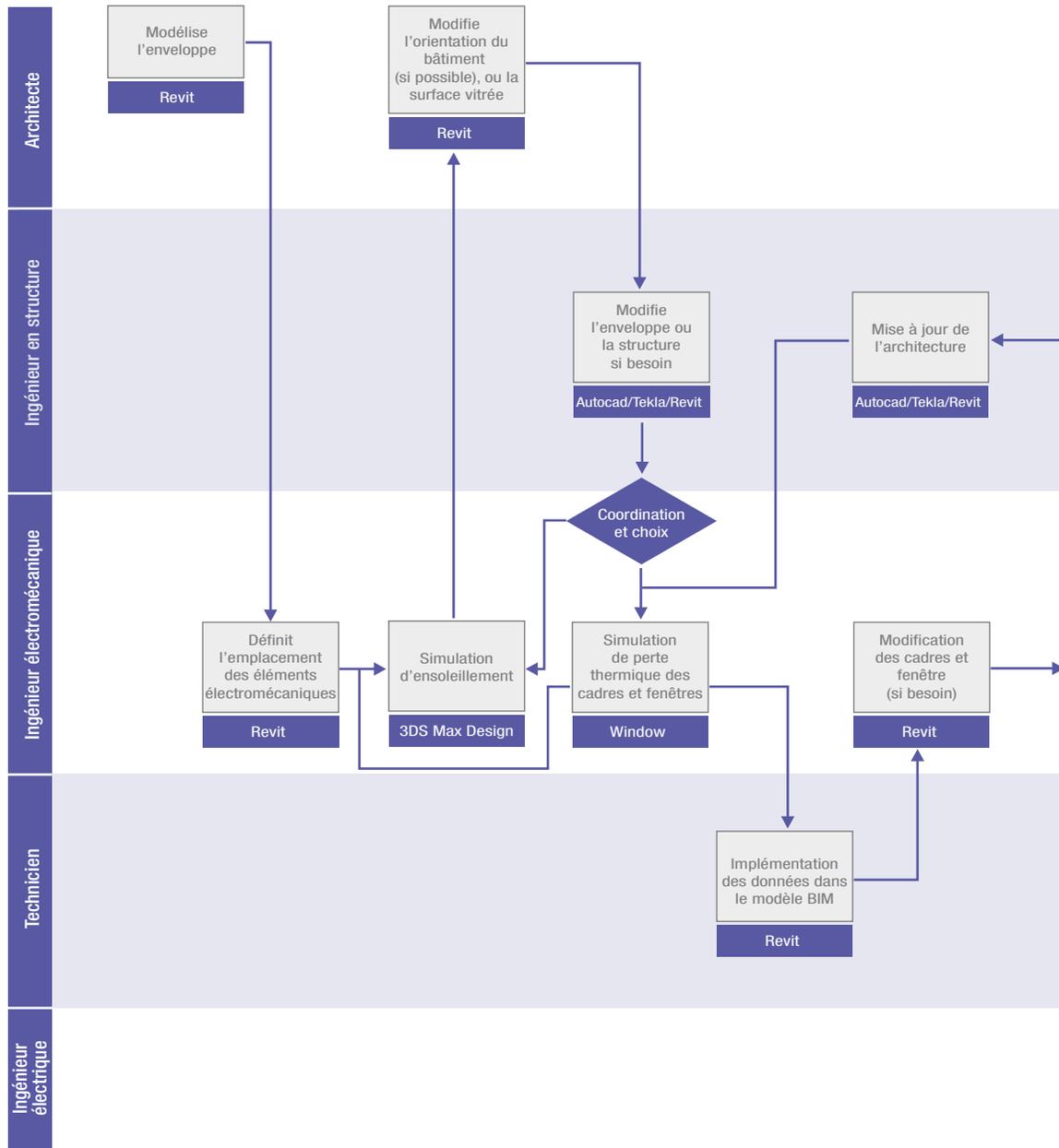
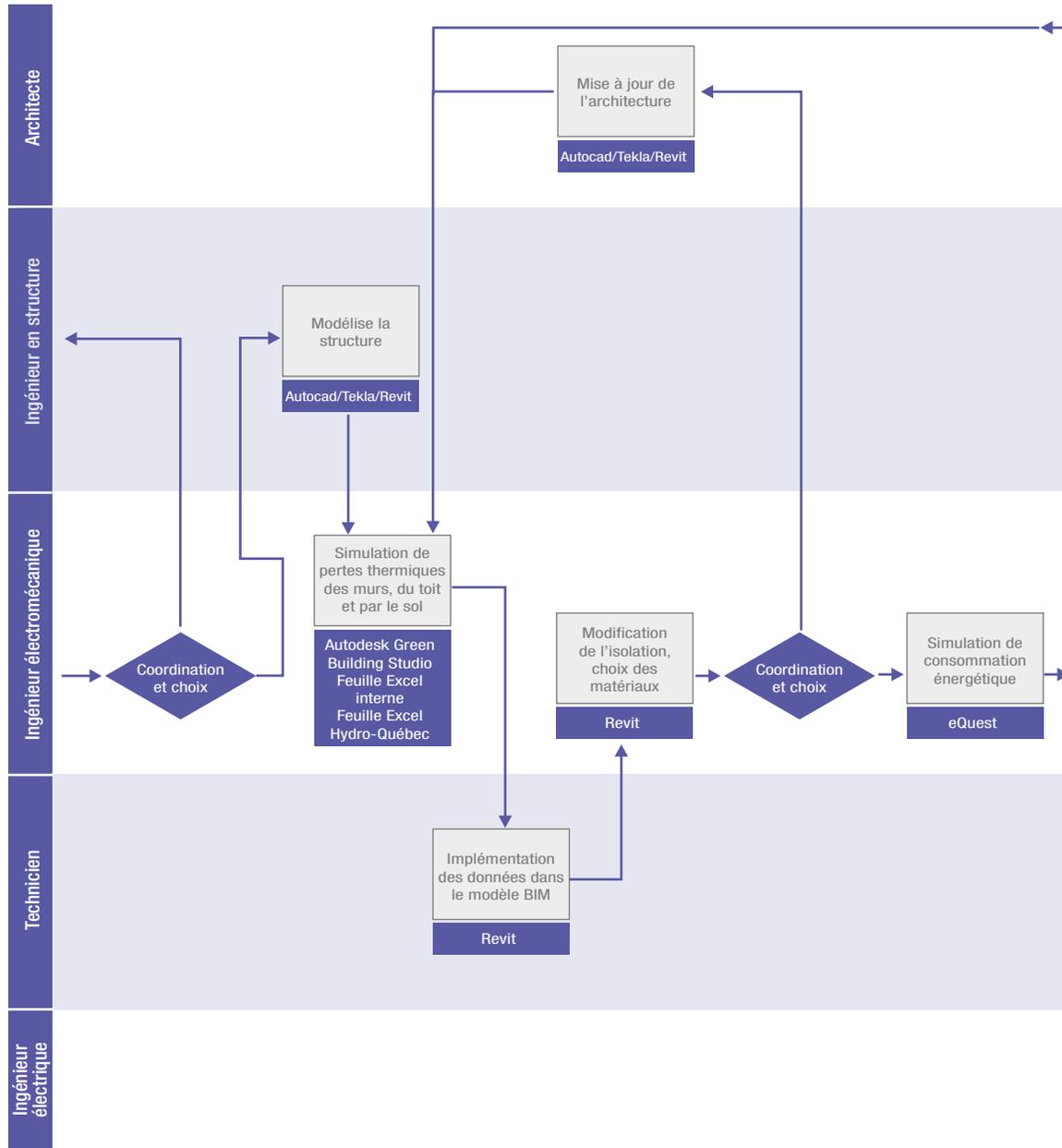


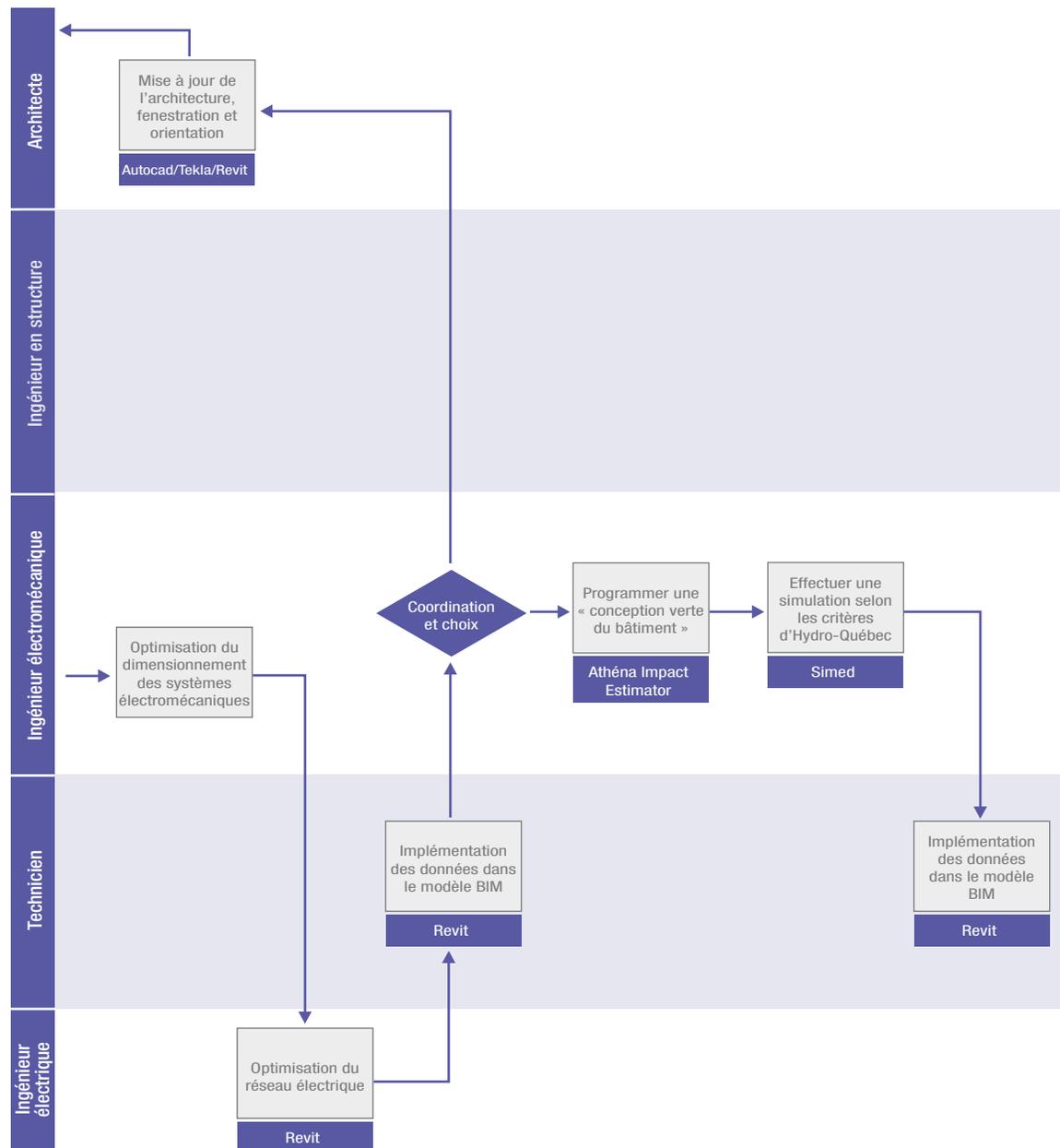
Figure 10

Étude de cas n° 2 : schéma de la simulation, partie 2



Les dernières étapes d'optimisation (Figure 11) comprennent une analyse du cycle de vie ainsi qu'une simulation afin d'obtenir une subvention d'Hydro-Québec. Une telle approche facilite les interactions d'optimisation entre le concepteur et le constructeur. Cependant, elle peut comporter des enjeux légaux et déontologiques qui sortent du cadre de ce guide : les différentes professions sont régies par des règles qui pourraient s'avérer incompatibles avec l'intégration du travail d'architecture et d'ingénierie à l'intérieur d'une même firme.

Figure 11
Étude de cas n° 2 : schéma de la simulation, partie 3



CHAPITRE 2 >

MÉTHODE ET PROCESSUS

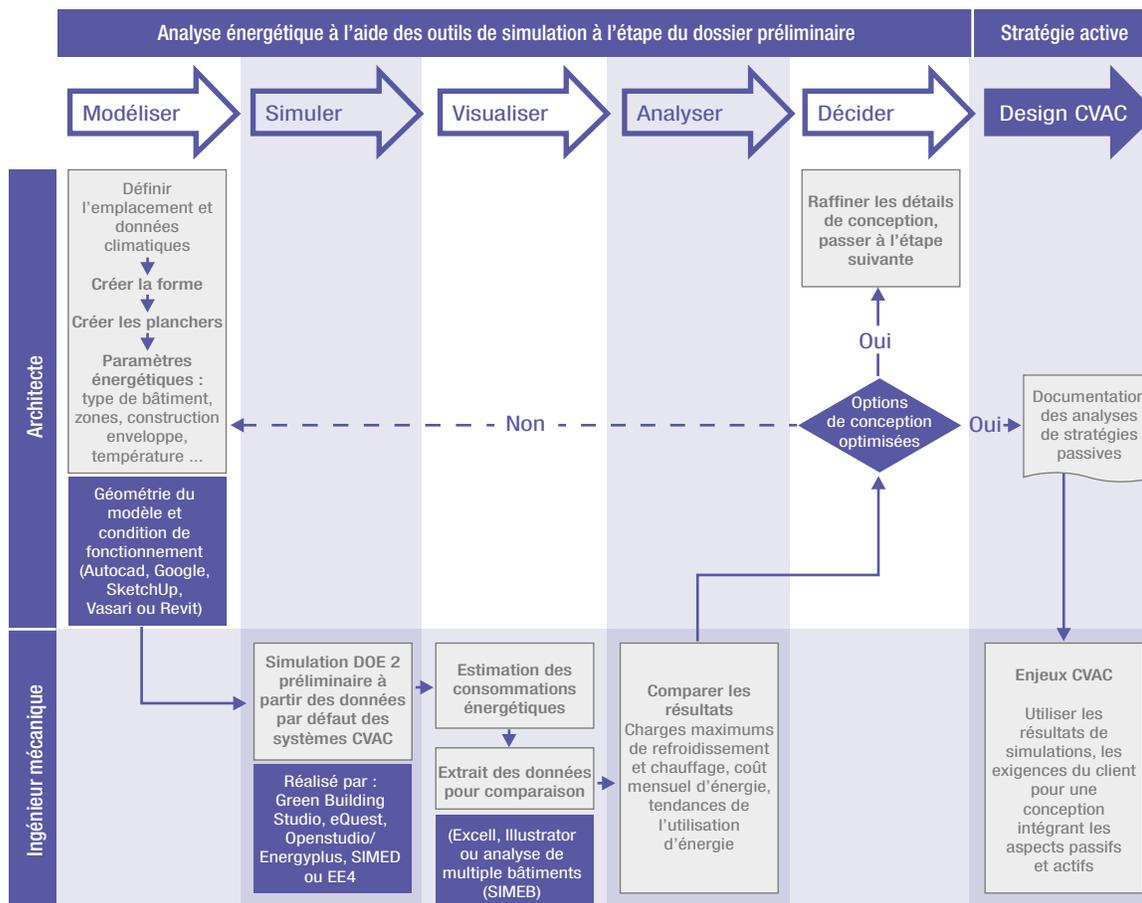
2.1	L'utilisation de BIM pour l'extraction de données	22
2.2	La description du flot de travail pour la simulation dans le plan de gestion BIM	24
2.3	La préconception	25
2.4	L'esquisse	25
2.5	Le dossier préliminaire	26
2.6	Le dossier définitif	26
2.7	La construction	31
2.8	La mise en service	31
2.9	L'exploitation	31

Deux stratégies sont présentées pour utiliser BIM dans la simulation. La première est une évolution des pratiques actuelles dans ce domaine, qui tend vers une certaine automatisation de l'extraction des données de la maquette numérique. La seconde est la mise en place d'une description complète du flot de travail dans le plan de gestion BIM pour intégrer l'usage de l'optimisation énergétique dans le cycle de production de la maquette.

2.1 L'UTILISATION DE BIM POUR L'EXTRACTION DE DONNÉES

Cette stratégie ne modifie que très peu les pratiques actuelles. Le jumelage des interfaces entre l'architecte et l'ingénieur se limite à l'extraction des données de la maquette numérique de l'architecte pour réaliser la simulation (Figure 12).

Figure 12
Étape pour la modélisation des systèmes actifs



Ce cycle se divise en cinq processus clés :

- **La modélisation.** La première activité consiste à sélectionner les données météorologiques appropriées pour le site et à déterminer la volumétrie ainsi que l'orientation du bâtiment. Une analyse volumétrique du bâtiment doit être réalisée pour définir les proportions qui permettent la meilleure réduction des charges. L'activité suivante consiste à modéliser la géométrie du bâtiment et le nombre d'étages à l'aide d'outils de conception 3D comme AutoCAD, Revit, Google SketchUp ou Vasari qui permettent de transférer les données vers un logiciel de simulation énergétique à l'aide d'un module d'extension.
- **La simulation.** Le modèle architectural développé peut par la suite être exporté vers un outil de simulation énergétique. La complexité du projet, la disponibilité des outils de transfert et l'expertise de l'utilisateur déterminent si le transfert de données (en format IFC ou gbXML, par exemple) se fera de manière automatique ou manuelle. Dans la phase de l'esquisse, les données du concept architectural préliminaire et les valeurs par défaut pour les systèmes mécaniques peuvent être utilisées notamment avec le module d'extension d'OpenStudio/EnergyPlus ou avec le module d'extension Green Building Studio/eQuest-CANQuest.
- **La visualisation.** Les résultats obtenus à la suite de la simulation énergétique peuvent être fournis dans différents formats. Par exemple, dans eQuest il est possible d'obtenir les résultats en format texte et de les visualiser graphiquement. Quant à l'outil SIMEB, il permet de comparer plusieurs bâtiments. Les outils de représentation graphique facilitent à la fois l'interprétation des résultats et la prise de décisions. Les résultats peuvent aussi être exportés dans Excel pour des analyses et des comparaisons spécifiques au projet.
- **L'analyse.** Les résultats de consommation énergétique sont analysés pour connaître les différentes possibilités.
- **La prise de décision et la conception des systèmes.** La boucle de rétroaction entre les résultats des simulations énergétiques et les scénarios évalués permet la sélection de la solution optimale. En plus de soutenir le processus d'analyse énergétique, la modélisation des données du bâtiment permet de gagner du temps et de diminuer les erreurs. La sélection de l'option optimale devrait se faire sur la base de son coût global, sur une période de vingt ou trente ans, voire davantage.

2.2 LA DESCRIPTION DU FLOT DE TRAVAIL POUR LA SIMULATION DANS LE PLAN DE GESTION BIM

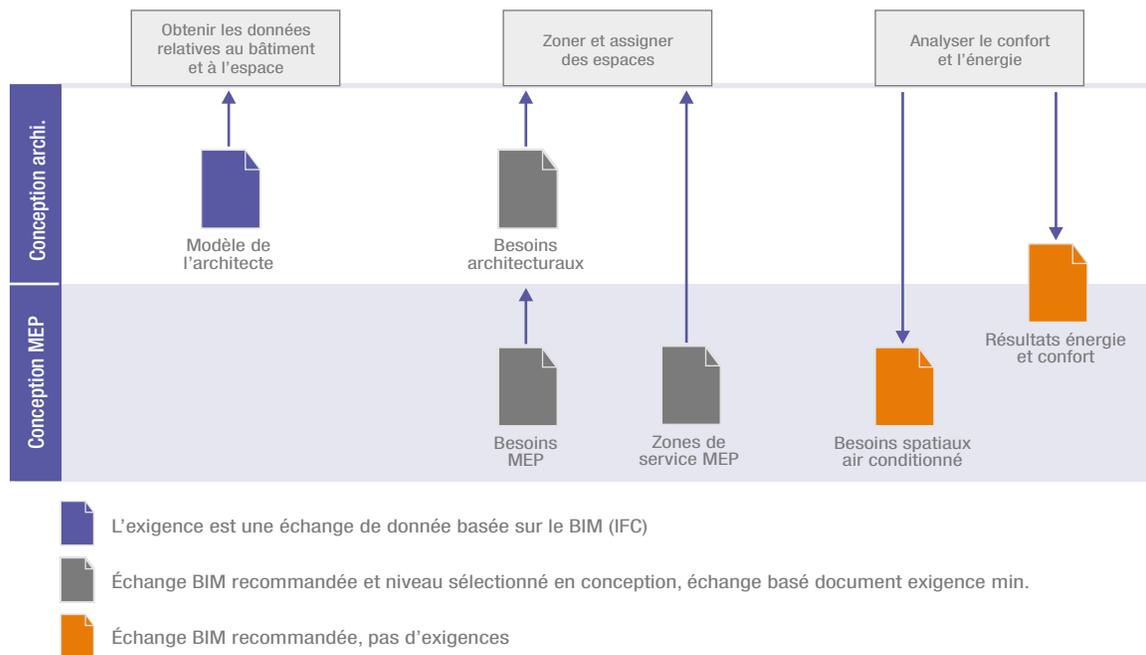
L'analyse énergétique est une activité complexe intégrant plusieurs disciplines et dont le succès nécessite une bonne collaboration et une coordination efficace entre les acteurs (client, architecte, ingénieur, modelleur, etc.). À la lumière des expériences passées, avec l'approche BIM un accent particulier doit être mis sur les besoins en information et sur la qualité des échanges et des transferts d'informations permise par les logiciels utilisés.

La Figure 13 illustre un processus global d'analyse énergétique. Trois grandes activités sont présentées avec les différentes informations échangées :

- Les échanges basés sur l'IFC (le modèle BIM de l'architecte pour l'obtention des données du bâtiment et des espaces);
- Les échanges basés sur les documents comme exigence minimum (besoins de l'architecte, besoins de l'ingénieur mécanique, électrique, plomberie (MEP) et zones de service MEP pour le zonage et l'assignation des espaces);
- Les échanges où BIM est recommandé sans que ce soit une exigence (besoins spatiaux pour le conditionnement de l'air, résultats d'énergie et de confort).

Figure 13

Processus global d'analyse énergétique et besoins d'échange⁴



4. Granlund Oy, O., Laine, T., Bäckström, K., et Järvinen, T. COBIM Common BIM Requirements 2012 - Series 10: Energy analysis. 2012. http://files.kotisivukone.com/en.buildingsmart.kotisivukone.com/COBIM2012/cobim_10_energy_analysis_v1.pdf.

Avec les différentes formes qu'il adopte tout au long de la vie du projet (groupe spatial, modèle spatial, éléments de construction, modèle tel que construit), le modèle BIM de l'architecte constitue généralement la donnée initiale la plus importante. Une exigence pour les logiciels utilisés en analyse énergétique est leur capacité à importer des fichiers IFC. Concernant le modèle architectural, les contenus des fichiers IFC doivent inclure à la fois la vue pour la collaboration entre l'architecte, l'ingénieur en structure et l'ingénieur MEP (*coordination view*) et l'espace définissant la surface des espaces ainsi que leurs connexions aux structures, aux ouvertures, etc. (*space boundary add-on view*). L'utilisation des limites des espaces du modèle de l'architecte permet au programme informatique d'interpréter les situations communes comme lorsque le plancher est partagé entre un espace froid et un espace chauffé. L'exigence architecturale minimale est le transfert du programme spatial.

2.3 LA PRÉCONCEPTION

En phase de préconception, dans une approche basée sur la modélisation des données du bâtiment, il est essentiel d'établir les besoins et de définir les bases en matière de modélisation et d'échange d'informations relativement au plan de gestion BIM. À cet effet, une importance particulière doit être accordée aux objectifs suivants :

- définir les objectifs du projet et son budget;
- désigner les membres de l'équipe responsables du processus d'évaluation;
- s'entendre sur les règles d'échange et de partage;
- créer un document de base pour la modélisation.

Les principaux intervenants pour cette phase sont le professionnel (architecte, spécialiste en construction durable ou autre), le client (représenté par un gestionnaire de projet ou autre) et le modeleur, lequel apporte une compétence technique en matière de modélisation basée sur le modèle BIM. Durant cette phase, le rôle du modeleur est essentiel dans la définition des exigences du modèle BIM de l'architecte pour un transfert optimal, et dans la création du document de base pour la modélisation (Figure 14).

2.4 L'ESQUISSE

Au stade de l'esquisse, des options architecturales sont proposées et simulées sur la base d'un modèle géométrique encore approximatif. À cet effet, l'architecte collabore avec le client, l'ingénieur et le modeleur pour atteindre les objectifs suivants :

- rassembler les caractéristiques du site;
- réaliser un modèle BIM approximatif;
- proposer des options architecturales et les simuler;
- comparer les performances énergétiques et choisir une option architecturale.

Les échanges se font notamment sur la base du modèle BIM (représenté en bleu dans la Figure 15) qui vient s'ajouter aux autres types de documents.

Les principaux intervenants pour cette phase sont le professionnel (architecte, ingénieur ou autre), le client qui peut avoir un représentant (gestionnaire de projet ou autre) et le modeleur. Le rôle du modeleur est essentiel dans cette phase pour s'assurer très tôt que le modèle BIM correspond bien aux exigences définies dans la phase précédente. Il doit également s'assurer que les outils utilisés permettent l'importation et l'exportation de modèles, de manière à optimiser la réutilisation du modèle BIM par les autres professionnels.

2.5 LE DOSSIER PRÉLIMINAIRE

Durant cette phase, un modèle intégrant les exigences MEP est réalisé sur la base du modèle spatial de l'architecte. Ce modèle est ensuite utilisé pour faire une simulation de consommation d'énergie préliminaire. L'architecte travaille avec l'ingénieur, le modelleur et le client (Figure 16). Les objectifs lors de cette phase sont de :

- comparer différentes solutions pour la façade, la protection solaire et le système technique;
- calculer les conditions intérieures pour les différents types d'espace;
- mettre la consommation d'énergie du bâtiment et les cibles à jour.

L'architecte travaille avec l'ingénieur, le modelleur et le client (Figure 16).

2.6 LE DOSSIER DÉFINITIF

Au cours de cette phase, une analyse complète est faite sur la base d'un modèle intégrant les détails de structure définis par l'ingénieur en structure et les systèmes CVCA choisis par l'ingénieur MEP. Le processus se rattachant à cette phase est illustré à la Figure 17. Les objectifs principaux de cette étape sont de :

- faire une analyse plus détaillée de la solution choisie à l'étape précédente;
- mettre le modèle BIM à jour en y ajoutant les détails de structure et les systèmes CVCA;
- proposer un modèle BIM final;
- produire, à partir du modèle BIM, des documents sur la consommation totale par exemple et un certificat d'énergie.

Le processus se rattachant à cette phase est illustré à la Figure 17.

Figure 14
Processus de préconception

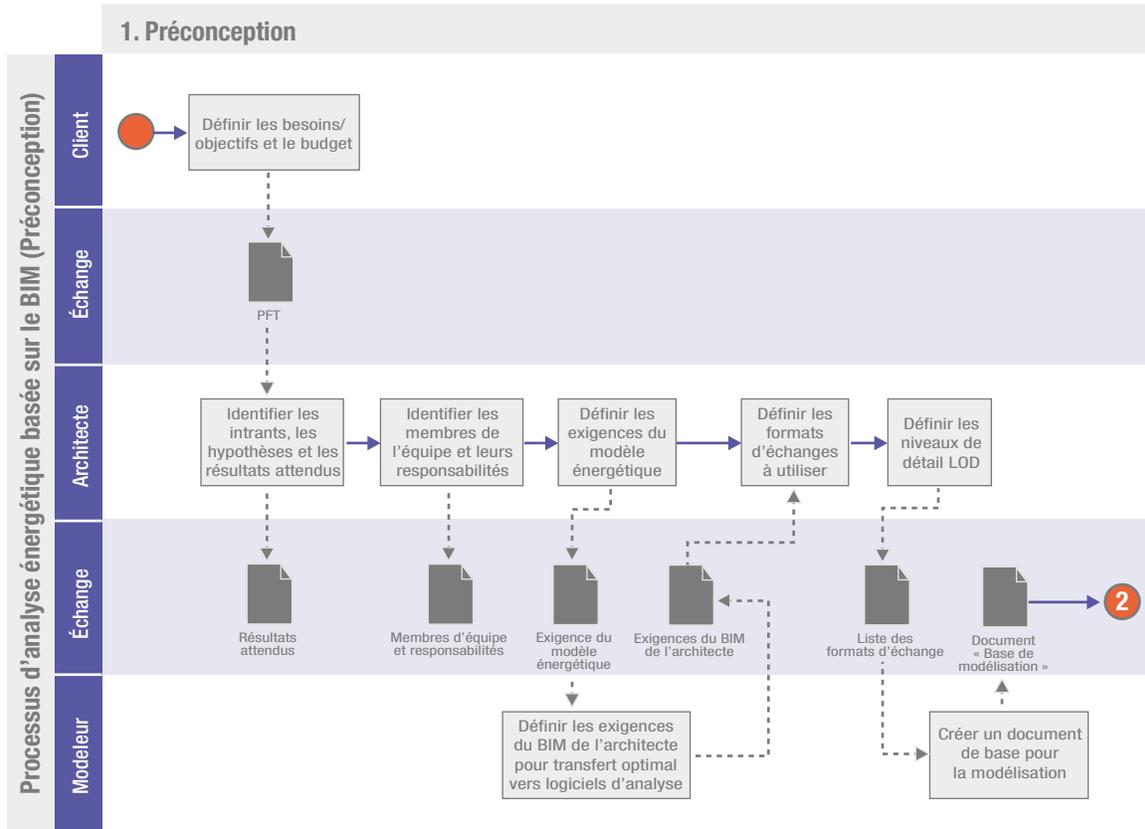


Figure 15
Processus de l'esquisse

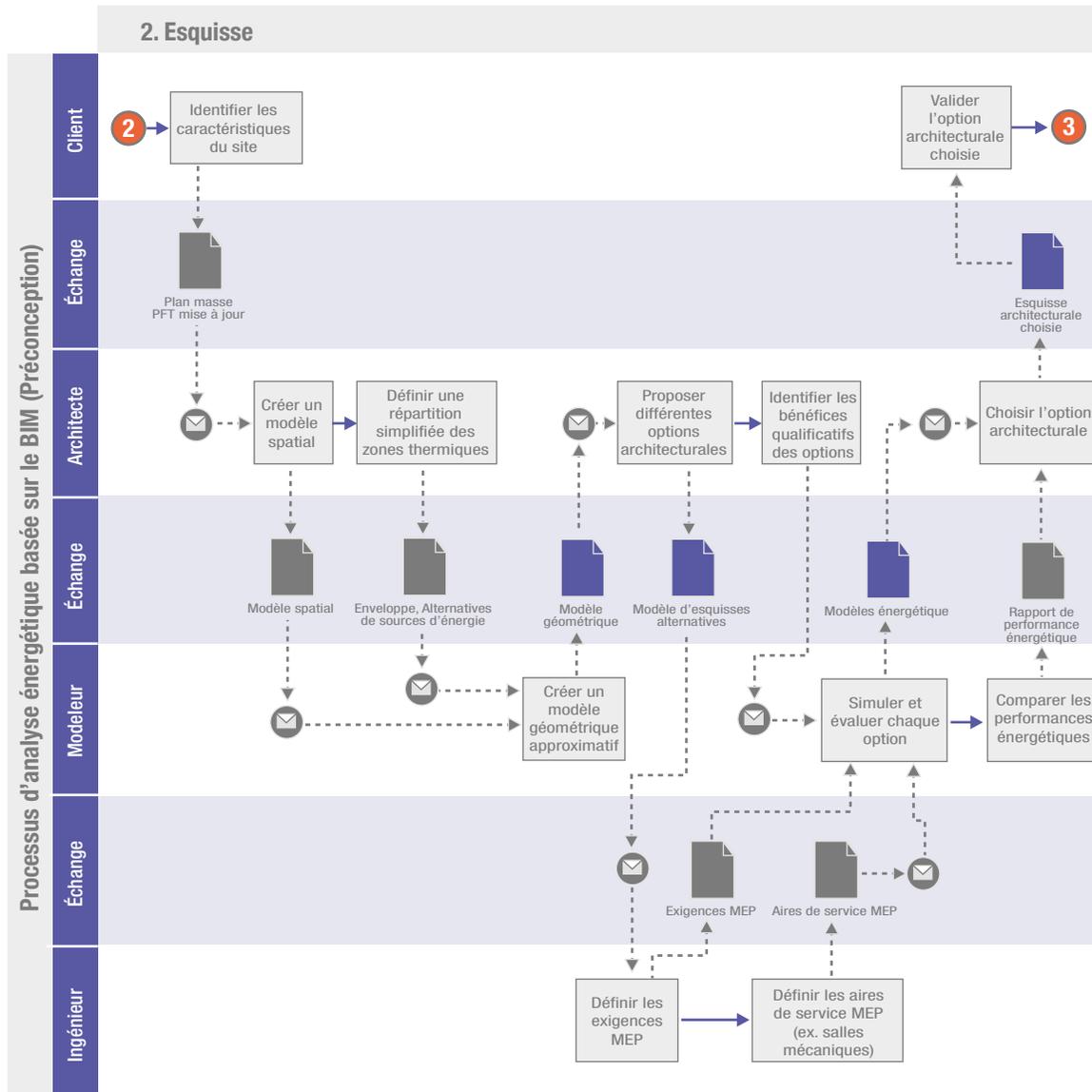


Figure 16
Processus du dossier préliminaire

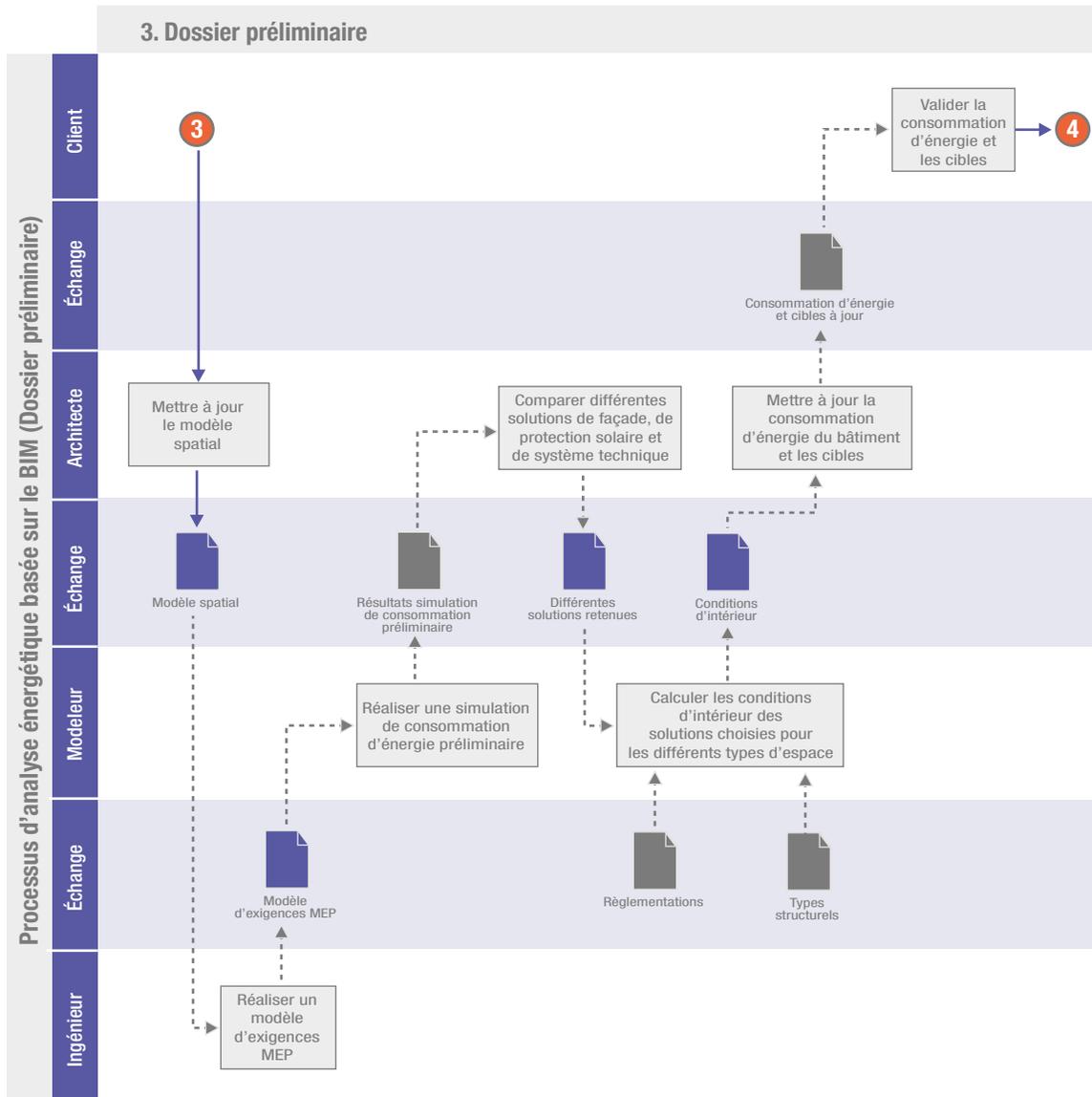
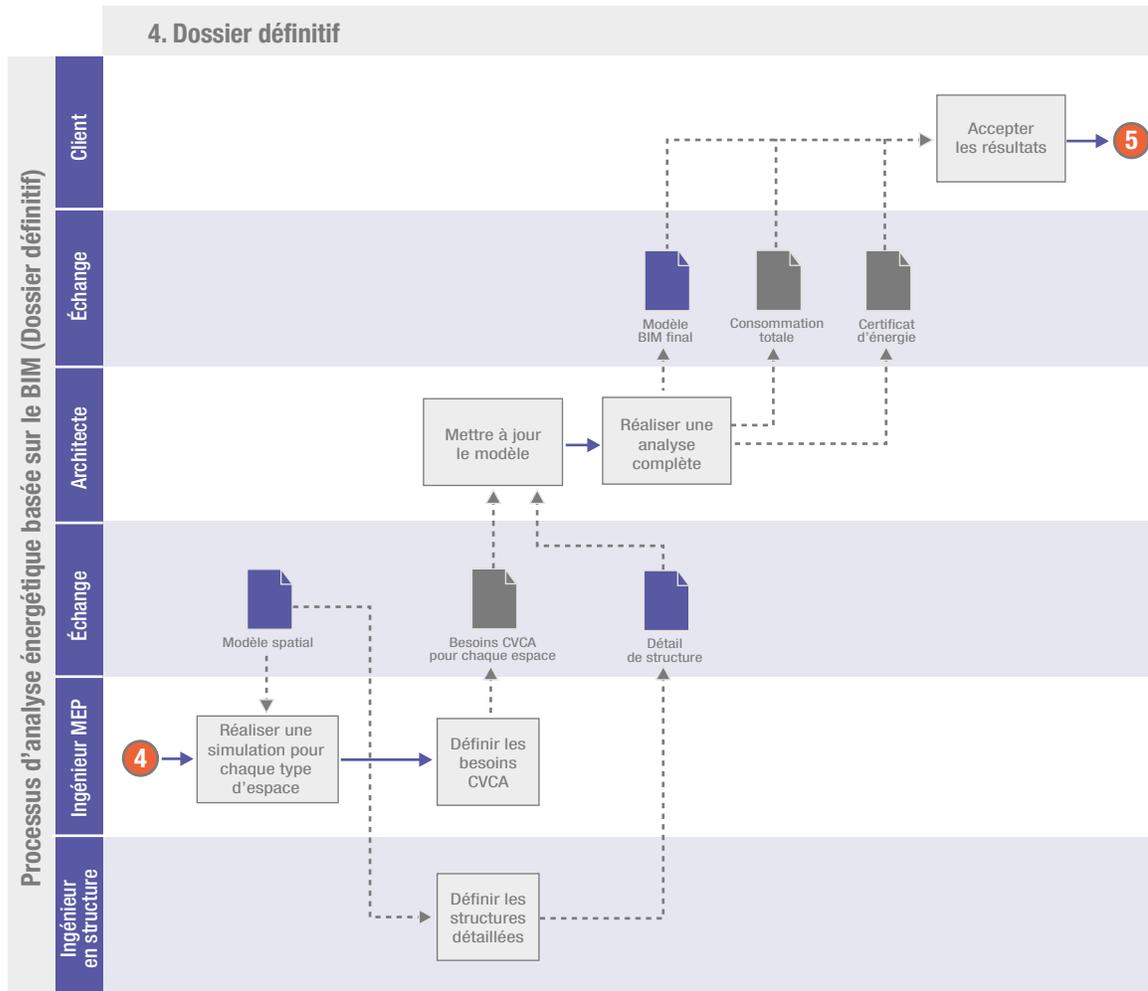


Figure 17
Processus du dossier définitif



2.7 LA CONSTRUCTION

Durant la phase de construction, l'analyse énergétique est utilisée de trois façons :

- Pour produire des documents sur la construction. L'analyse permet d'évaluer plus finement les décisions concernant la conception et de s'assurer qu'elle répond bien à tous les codes énergétiques ou techniques. Il peut également s'agir de produire des documents pour obtenir une certification, LEED, par exemple.
- Pour vérifier l'impact des changements de matériaux et d'équipement durant la construction. Le modèle doit être mis à jour pour prendre ces changements en compte afin que le modèle produit soit conforme au modèle construit.
- Pour calculer quelle sera la consommation énergétique du bâtiment.

2.8 LA MISE EN SERVICE

Lors de la mise en service, les conditions réelles d'utilisation du bâtiment sont mieux comprises et prises en compte dans les calculs. La consommation énergétique peut être évaluée suivant celles-ci, parfois après la revue et la mise à jour des hypothèses et des profils d'usage utilisés pour le calcul des objectifs énergétiques. Le modèle BIM permet d'avoir rapidement accès aux données nécessaires pour procéder à la mise en service des systèmes.

2.9 L'EXPLOITATION

Pendant l'exploitation, la première chose à faire est d'évaluer la performance réelle du bâtiment, afin de repérer tout mauvais fonctionnement des systèmes, et de mettre en place un système de contrôle de la gestion énergétique du bâtiment. L'un des principaux bénéfices de BIM se révèle dans la phase d'exploitation : la maquette constitue une base d'information sur laquelle peut se greffer une panoplie de logiciels et de capteurs pour mesurer la performance réelle de l'équipement, relever les écarts avec les résultats attendus, trouver des solutions pour corriger ces écarts ou mieux calibrer les systèmes ou même déterminer les interventions de maintenance en fonction des pertes d'efficacité liées à l'usure ou à l'entretien. De plus, comme les technologies ne cessent d'évoluer, il est maintenant possible de faire des simulations permettant d'évaluer le coût/bénéfice de remplacement d'un système par un autre, d'optimiser la performance énergétique et d'élaborer des scénarios de gestion de la demande.

CONCLUSION

BIM ouvre de nouveaux horizons en matière d'optimisation énergétique. Cependant, nos deux études de cas ont fait ressortir la complexité de définir une séquence générique de modélisation. Une autre facette qui reste à explorer est l'adaptation du cadre de mise en service (MES) dans cette nouvelle approche. Cet ajustement sera moins complexe, car la principale différence tient dans les rétroactions plus fréquentes, donc dans le fait de répartir sur un plus grand nombre de points de contrôle les éléments de validation et de vérification.

RÉFÉRENCE

Elvin, G. Integrated Practice in Architecture: Mastering Design-Build, Fast-Track, and Building Information Modeling. 2007.

