



Montréal, Québec
May 29 to June 1, 2013 / 29 mai au 1 juin 2013

L'effet de levier du BIM pour l'optimisation des flux de travail dans la conception de bâtiments à haute performance

Iordanova, I., Forgues, D., Dao L.
École de technologie supérieure, Génie de la construction, Montréal, Canada

Résumé: La conception de bâtiments à haute performance est mieux réalisée dans une collaboration étroite entre les architectes et les ingénieurs. La simulation énergétique est un outil essentiel pour atteindre la meilleure solution. Cependant, l'utilisation traditionnelle des outils de simulation énergétique exige beaucoup de ressources et est difficile à utiliser pour l'optimisation de la conception à la phase critique du développement du concept. Les technologies associées au Building Information Modeling (BIM) offrent de nouvelles opportunités pour accélérer et simplifier le processus d'analyse. Le problème est, puisque les architectes et les ingénieurs en mécanique n'organisent pas leur travail autour des flux de travail et des flux de données, ils ne peuvent tirer pleinement avantage de ces technologies. Le document présente les résultats d'une recherche constructive menée avec une agence d'architecture et une firme d'ingénierie spécialisés dans la conception de bâtiments à haute performance énergétique afin de définir un flux de travail et un flux de données intégrés pour l'optimisation de la conception en utilisant des technologies associées au BIM. Un concept d'opération a été proposé pour être validé dans un projet futur.

1 Introduction

Selon les études de McGraw Hill (2009), l'utilisation du BIM combiné avec des outils de simulation de la performance énergétique et de l'impact environnemental, offre un grand potentiel pour la conception d'un cadre bâti durable. La même étude identifie les aspects suivants à développer pour que ce potentiel puisse être atteint : intégration des logiciels et plus large utilisation de la conception intégrée (à la première et à la troisième place d'importance, respectivement). Cependant, la recherche demeure relativement limitée dans ce domaine. La littérature couvrant ce sujet appartient principalement à des organismes gouvernementaux ou à des associations professionnelles. Elle est aussi fragmentée. Il n'existe pas à notre connaissance de recherche poursuivant l'optimisation du processus de conception intégrée à l'aide des technologies de collaboration ou de conception paramétrée.

L'objectif principal de la recherche est de développer et expérimenter un environnement et un flux de travail favorisant la conception intégrée d'un cadre bâti durable. Les objectifs secondaires sont les suivants : (1) Définir un flux de travail optimal entre architectes et ingénieurs en mécanique du bâtiment par rapport au 'timing' du projet, les types de collaborations et les moyens informatiques; (2) Optimiser l'interopérabilité entre logiciels; (3) Spécifier les exigences par rapport aux modèles et les simulations réalisés aux différents moments du projet.

Cette recherche s'inscrit dans une démarche plus large de cogénération de connaissances en pratique attaché au changement paradigmatique qu'entraîne l'intégration des technologies associées au Building Information Modeling (BIM) (Taylor and Bernstein 2009). Elle s'appuie sur les méthodes émergentes en

recherche en ingénierie de construction qui préconisent une approche interventionniste dérivée de la recherche-action et de la recherche constructive. Le projet implique une firme en architecture spécialisée en construction durable et une firme en génie conseil aussi réputée dans ce domaine. Ces derniers ont accepté, dans le cadre de la recherche, de réunir leurs expertises (en architecture et science du bâtiment, et en ingénierie mécanique) pour définir une façon de collaborer dans le but d'optimiser la conception du bâtiment. Elle se base sur nos recherches antérieures (Forgues, Iordanova, 2010) sur l'intégration de l'utilisation du BIM et des logiciels d'analyse énergétique dans le processus de conception intégrée. L'enquête et les entrevues conduites auprès de spécialistes en simulation énergétique ont fait ressortir d'une part l'utilisation peu répandue des logiciels d'analyse énergétique et la limitation de leur usage principalement pour des fins de validation, d'autre part, l'absence d'utilisation de technologies BIM ou de simulation dans le cadre d'ateliers de conception intégrée pour vérifier ou valider des scénarios de conception. Plusieurs facteurs expliquent ce phénomène : (1) l'expertise se trouve chez différents intervenants (architectes ou ingénieurs); (2) il n'y a pas de flux de travail optimal établi pour le processus de conception, qui permettrait des itérations et de l'optimisation du projet; (3) l'interopérabilité entre les logiciels montre des lacunes qui empêchent un flux de données fluide entre logiciels de type BIM et ceux de simulation énergétique.

2 La conception intégrée et le BIM pour l'optimisation de la performance énergétique du bâtiment

Les problèmes de réalisation séquentielle et fragmentée de la conception à la construction ont été largement discutés. Dupagne (1991) identifie parmi ceux-ci: le manque d'itérations dans le processus de conception, le manque de considération des contraintes dans les phases ultérieures ou les contraintes inutiles figurant dans la conception de ces phases, et le manque de leadership et de responsabilisation pour le résultat final. Ces problèmes conduisent à des solutions sous-optimales, à un manque de constructibilité et d'opérabilité, de nombreuses actions correctives dans la conception et la construction et un manque d'innovation. Zimmerman (2006) suggère que la conception intégrée est l'approche la plus appropriée pour résoudre ces problèmes pour la livraison des bâtiments plus durables.

Le concept de conception intégrée est dérivé de l'ingénierie concourante, une approche qui a été mise au point au cours de la Seconde Guerre mondiale pour accélérer le développement et la construction de nouvelles armes complexes. Elle a été largement adoptée par l'industrie manufacturière dans les années 1980 afin d'accélérer le développement de produits. Le concept de conception intégrée dans la construction n'a seulement été introduit qu'au début des années 1990 pour la conception d'installations de haute performance. Cependant, l'industrie prend du temps à adopter cette pratique, alors que les avantages de la conception intégrée pour la réalisation de meilleurs produits, plus rapidement et à moindre coût, a été démontrée dans d'autres industries (Anumba 2006).

L'adoption de la conception intégrée comme processus fait face à d'autres défis. L'utilisation de simulations est essentielle pour valider et optimiser les solutions (Larsson 2002). Nos recherches indiquent que les firmes de génie-conseil utilisent principalement qu'un seul logiciel (EE4) et qu'il est principalement utilisé pour la validation de la performance pour la certification LEED. Très peu de firmes en génie-conseil sont en mesure d'offrir la capacité de supporter les architectes dans un cycle itératif d'optimisation. Un autre enjeu est la nature des outils de simulation traditionnels, qui exigent des entrées de données importantes, et qui sont complexes à manipuler et à interpréter. Les données de simulation sont tirées manuellement des informations des dessins, des spécifications, des photos ou d'autres données du projet disponibles. Tous les paramètres nécessaires tels que les charges (éclairage, l'équipement et des occupants), les systèmes de CVC, les horaires de fonctionnement, etc sont entrés directement ou à l'aide d'une interface graphique. Les restrictions des logiciels de simulation obligent la simplification du design proposé pour rendre les données de conception gérable dans le programme de simulation en plus de simplifications aux calendriers d'exploitation, au zonage thermique, etc. A ces simplifications s'ajoutent des erreurs possibles d'interprétations de la géométrie du bâtiment. Enfin, si la

géométrie du bâtiment change, il faut revoir le modèle énergétique. Tout ce processus s'avère lourd en consommation de ressources aussi bien chez l'architecte que chez l'ingénieur.

Enfin, ces outils se prêtent mal à l'analyse conceptuelle des scénarios, ou pourtant les plus importantes décisions doivent être prises. Un dernier enjeu est la fragmentation des outils. Comme le souligne Zager (2002), les coalitions de spécialistes sont peu performantes car ces derniers ont de la difficulté à franchir les barrières sémantiques, syntactiques et pragmatiques séparant les diverses disciplines. Une approche à ce problème est de proposer un outil collectif, un objet intermédiaire qui vient créer des passerelles entre ces derniers.

Les technologies associées au BIM viennent répondre à la plupart de ces enjeux. Le concept central du BIM est un outil collectif, une plateforme collaborative partagée par l'ensemble des intervenants pour tout le cycle de vie du projet et du bâtiment. Au cœur de cette plateforme se retrouve une base de données dynamique et constamment mise à jour, de laquelle peuvent être directement extraites les informations pour l'analyse énergétique du bâtiment. Ceci permet de simplifier grandement le processus de modélisation et de tester rapidement divers scénarios. De plus, les outils de visualisation associés à ces logiciels permettent de présenter graphiquement les impacts de décisions de conception, facilitant la discussion entre spécialités. Comme le précise GSA (2012) dans son guide sur le BIM pour la performance énergétique, il est essentiel de repenser le processus dans lequel la modélisation énergétique est utilisée. On doit aussi s'interroger sur les pratiques actuelles de conception intégrée, face aux nouvelles possibilités qu'offrent les technologies associées au BIM. D'où l'objet de cette recherche

3 Méthodologie

Les problématiques principales en recherche en construction sont le manque de fondements théoriques et empiriques. Cette recherche repose sur la théorie des objets-intermédiaires (Vinck and Laureillard 1996, Carlile 2004) et sur les principes constructivistes de l'apprentissage (Engeström 2004). Elle suit le processus de recherche-action proposé par Azhar, Ahmad et col. (2009). La démarche est la suivante : des recherches empiriques sont d'abord menées en laboratoire avec les logiciels de BIM et de simulation de la performance du bâtiment. Les résultats sont validés pendant des séances de collaboration entre les partenaires industriels. L'émergence de langage commun entre les disciplines est étudiée par des méthodes qualitatives d'observation.

La première étape de la recherche a visé à définir des flux de travail et des flux de données commun ainsi que les règles d'affaires pour le maintien de l'intégrité de la base de données partagée de la maquette. Pour se faire, nous avons procédé d'abord à une analyse et à une cartographie des procédures suivies à l'intérieur des deux firmes afin d'identifier les points d'ancrage et les points de conflits dans les pratiques. La définition des flux de travail et des flux de données chez les deux firmes participantes a été effectuée sous forme d'entrevues dans leurs bureaux respectifs. Une dizaine de questions à réponses ouvertes concernant les processus de conception et de design, la collaboration et l'échange de données entre les divers intervenants (internes et externes à chaque firme) ont été posés. Chez la firme de génie-conseil, une brève rencontre a été menée avec différents spécialistes en simulations. Ainsi, certains logiciels employés lors des projets à divers niveaux de complexité ont fait l'objet d'une courte présentation.

Cette cartographie a permis de développer et d'expérimenter une proposition de flux de travail et de données partagées, synthétisée sous forme d'un concept d'opération. Ce concept comprend aussi des règles technologiques pour la production du modèle. Le logiciel Revit a été utilisé pour la maquette 3D du bâtiment. Le principal logiciel de simulation énergétique étudié pendant la recherche était IES VE.

La preuve de concept a visé le test des flux proposés dans un projet réel. Les conditions d'un tel projet sont complexes, mais elles permettent de vérifier la robustesse du modèle et de s'assurer de la valeur des résultats de simulation.

4 Présentation des résultats

Des cartographies du processus de conception dans chacune des firmes ont d'abord été réalisées. Une cartographie simplifiée de l'ensemble des flux de travail est présenté à la Figure 1.

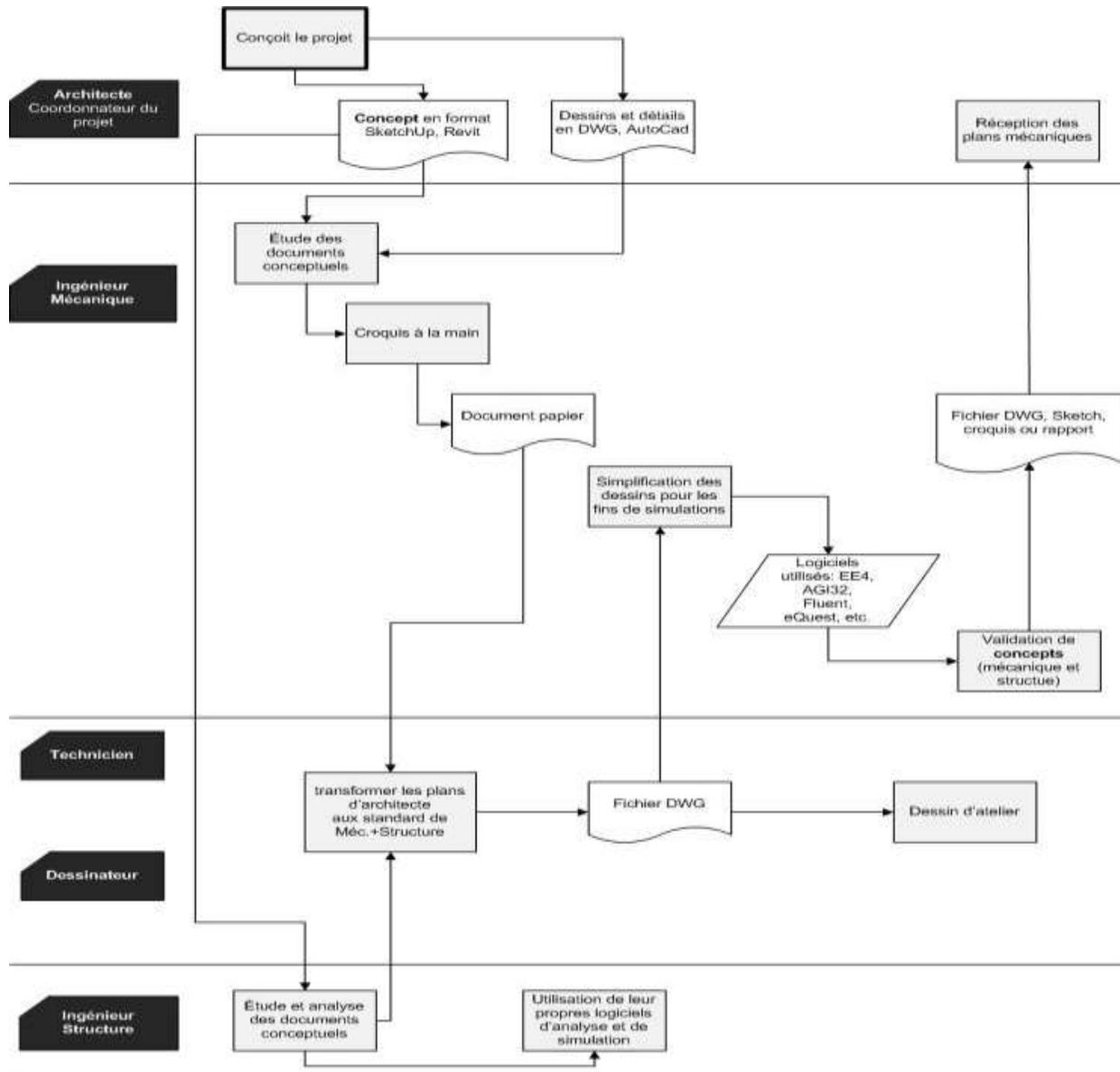


Figure 1 : Flux de travail entre les professionnels pour la conception d'un bâtiment

Le flux de travail et le flux de données démontre qu'il existe plusieurs étapes superflues dans le processus traditionnel. De plus, les professionnels ne font pas de différence entre le processus de modélisation traditionnel et celui qui se fait avec les technologies BIM. L'architecte va d'abord produire son concept sur Sketchup, un logiciel 3D très populaire car il est gratuit et il est flexible et rapide pour produire des représentations du bâtiment. Cependant, ce logiciel n'utilise pas des objets pour la représentation. Il est donc peu compatible avec les logiciels BIM. L'architecte doit donc ensuite redessiner le projet sur Revit, le logiciel BIM le plus couramment utilisé par l'industrie. Cette approche est répandue dans l'industrie mais elle va à l'encontre des principes du BIM. De plus, l'envoi des documents

de travail aux firmes de génie-conseil en structure ou en MEP (mécanique, électricité, plomberie) ne prend place que lorsque la préconception est achevée ainsi que lorsque les détails et ajustements sont effectués. Effectivement, la transformation des plans d'architectes aux standards de la mécanique est une étape importante dans le processus. Les plans reçus doivent généralement faire l'objet de simplification et de mise à niveau avant de procéder avec les logiciels de simulation, une autre activité qui exige de reprendre les dessins.

Lors de l'entrevue, la volonté d'être impliqué en amont, c'est-à-dire dans la phase de préconception a été exprimée par la firme de génie-conseil en MEP. En général, leur implication débute souvent tardivement dans le projet; habituellement, le projet est à un stade avancé et le fait de revenir en arrière est difficile. L'emploi des logiciels de simulation se fait selon la complexité du projet. Ainsi, certains projets requièrent davantage de ressources et les logiciels utilisés nécessitent souvent de refaire la maquette produite par l'architecte si de logiciels de simulation associés au BIM sont utilisés. De plus, il arrive souvent que les données des documents 3D (reçus des architectes) soient manquantes lors de l'importation des fichiers vers les logiciels de simulation. Un travail doit donc être effectué afin de rectifier ces failles pour débiter la simulation.

Les ateliers de discussion avec les firmes impliquées ont permis d'identifier les applications et un premier flux de travail pour conduire l'expérimentation. Nous avons ensuite procédé à une étude de cas sur un projet réel. Nous avons réalisé à deux itérations : une première avec le modèle déjà existant, et une deuxième – avec un modèle plus schématique, fait spécialement pour les buts de ce projet. L'expérimentation a fait ressortir certains enjeux dans l'interopérabilité entre les logiciels et aussi l'importance de définir des règles technologiques pour encadrer le processus de modélisation chez l'architecte.

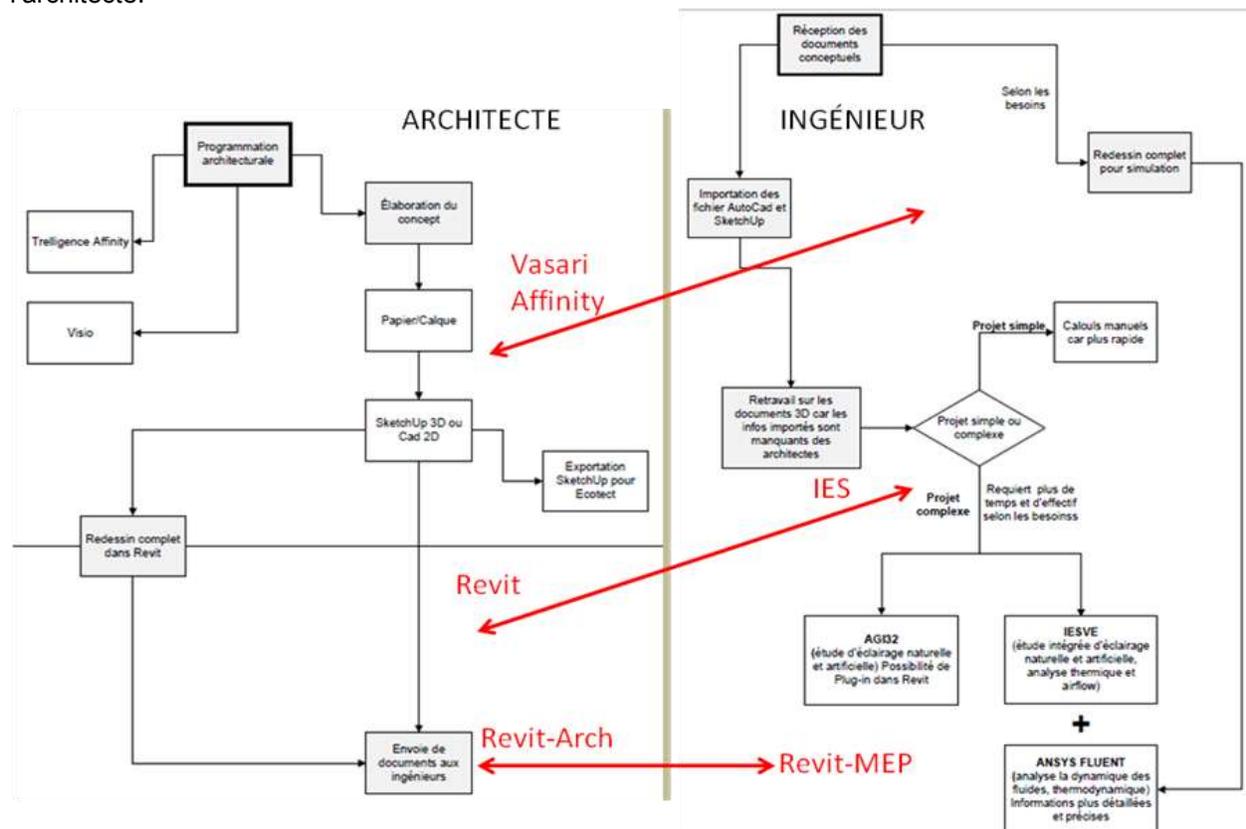


Figure 2 : Logiciels passerelles pour la convergence des flux de travail

Ainsi d'autres flux de données ont d'abord été explorés en vue d'un travail collaboratif dans un contexte de conception intégrée entre les deux équipes (Figure 2). Ainsi, des données peuvent être échangées

pendant la période de l'esquisse du projet, en utilisant les logiciels Project Vasari (Autodesk Labs) ou Treligence Affinity (logiciel de programmation fonctionnelle du bâtiment). Plus tard dans le projet, Revit MEP peut être utilisé par les ingénieurs pour optimiser leur travail, mais surtout pour permettre la coordination du design et de la construction par l'équipe d'architectes.

Puis une étude plus détaillée des difficultés d'interopérabilité rencontrées dans l'expérimentation du flux de travail proposé entre architectes et ingénieurs, une étude des flux de données basé sur un processus optimisé en fonction des possibilités qu'offraient une série de logiciels disponibles sur le marché ou utilisés par les firmes a été réalisée (figure 3)

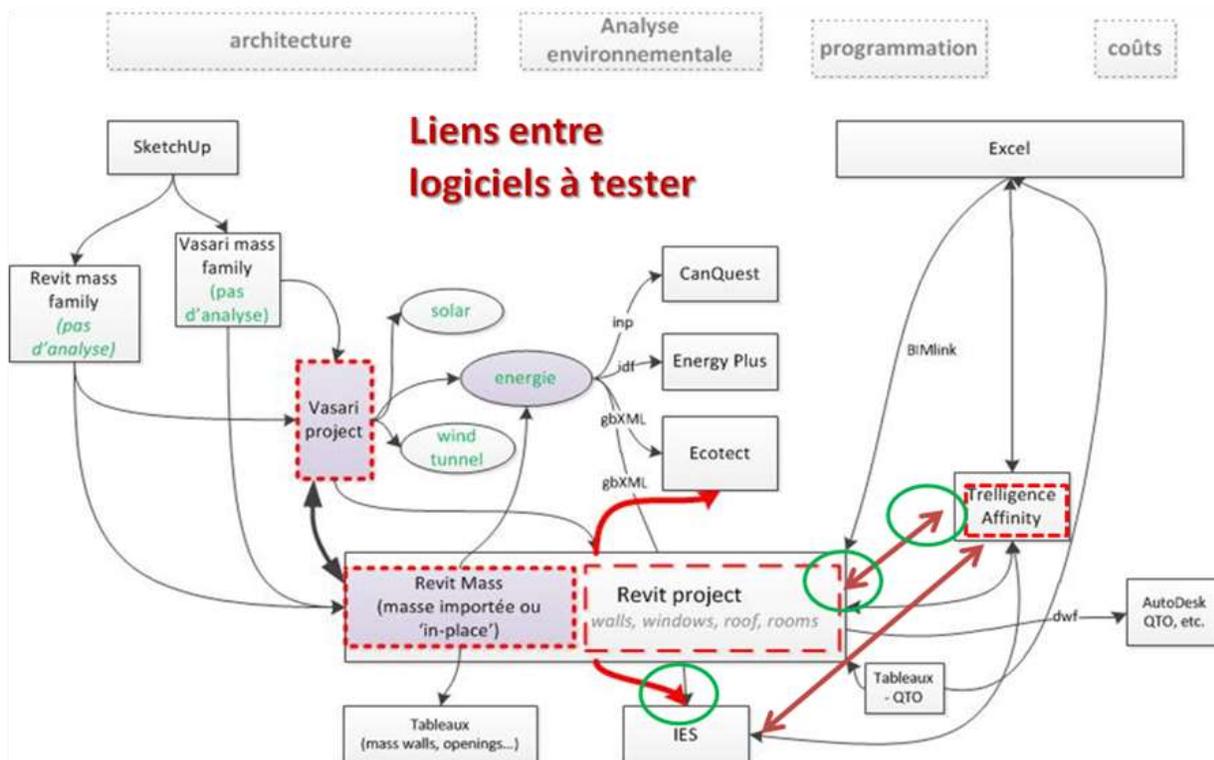


Figure 3 : analyse des options de logiciels et de flux de données

L'objectif de cette cartographie était de déterminer avec les deux firmes quel pouvait être le flux optimal entre ces dernières selon les logiciels en usage et d'autres qui pourraient s'ajouter pour combler des lacunes ou un manque d'interopérabilité entre les outils utilisés. Une découverte intéressante a été de constater qu'il était à la fois plus simple et plus rapide de passer directement du logiciel de planification Treligence Affinity utilisé par les architectes pour fournir l'information de simulation au logiciel IES utilisé par l'ingénieur. Cette nouvelle passerelle d'échange présentait plusieurs avantages : la simulation peut se réaliser beaucoup plus en amont dans les études conceptuelles; il est plus facile et rapide de faire des itérations entre maquette et outil de simulation; une fois les scénarios d'optimisation complétés, les données de Affinity peuvent être réutilisées pour la production de la maquette numérique de Revit.

La performance énergétique peut être par la suite raffinée en exportant les données de Revit aux logiciels de simulation Ecotect (en architecture) ou IES (en ingénierie). Cependant, ce dernier lien est unidirectionnel. De plus, des règles technologiques strictes dans la production de la maquette doit être suivies par les architectes dans la production de la maquette BIM pour que les ingénieurs puissent l'utiliser pour réaliser la simulation sur IES sans avoir à la reconstruire. Il est enfin essentiel dans ce cas de prévoir dans le plan de gestion BIM à quel moment et avec quel niveau de détail doit être rendu la

maquette avant de pouvoir l'utiliser pour la simulation pour que celle-ci soit à un niveau de détail optimum.

5 Discussion

Cette étude exploratoire, réalisée dans le cadre d'un projet de recherche subventionné d'une durée de six mois, met en lumière la difficulté d'arrimer et d'aligner les dimensions technologiques, organisationnelles et procédurales associées à une utilisation efficace du BIM (Staub-French and Khanzode 2007). Le concept central du BIM est une gestion centralisée et partagée des données de modélisation du bâtiment pour la conception et les analyses devant servir à l'optimisation de la solution. Sur le plan technologique, il appert que les passerelles entre logiciels de conception et d'analyse demeurent déficientes. Sur les plans organisationnels et procéduraux, la structure même de l'organisation du travail divisé entre firmes et spécialités représente un défi majeur dans la recherche de l'optimisation des flux de travail et des flux de données.

Si on examine plus spécifiquement notre cas, sur le volet technologique, l'arrimage entre les logiciels BIM de conception et d'analyse des deux firmes s'est avérée très complexe et a nécessité de nombreux tests à partir de maquettes relativement simples. Il faut considérer que dans le contexte de l'optimisation de la performance énergétique du bâtiment, les partenaires industriels participant dans ce projet sont reconnus dans leurs disciplines respectives comme des pionniers en BIM et en construction durable et possèdent une maturité supérieure à la moyenne de l'industrie dans la maîtrise de ces outils. Cet arrimage aurait été plus complexe dans le cas de firmes moins matures ou moins avancées dans l'usage du BIM ou de la modélisation énergétique.

Le cas a fait aussi ressortir plusieurs défis au niveau organisationnel et procédural : (1) les architectes et ingénieurs ne possèdent pas un langage commun de communication et ceci freine la collaboration; (2) les professionnels de la conception de bâtiment ont besoin d'un regard général sur l'ensemble des moyens informatiques disponibles dans le domaine, ainsi que d'une compréhension plus approfondie des technologies de l'information; (3) le BIM exige de revoir la pratique traditionnelle de pousser l'information d'amont en aval : une pratique intégrée doit adopter les principes de tire qu'on retrouve dans les autres industries, c'est-à-dire non seulement de convenir d'un flux de travail commun, mais encore de formater l'information produite en fonction des besoins et pratiques du récepteur de chacun des livrables de ce flux.

Même si les deux firmes ont trouvé l'expérimentation concluante, la problématique principale demeure les cadres contractuels dans lesquels ils opèrent. Le Québec a une approche d'approvisionnement particulière dans laquelle les firmes de professionnels sont sélectionnées séparément par discipline. L'harmonisation des pratiques entre deux disciplines pour ce volet précis demande un temps considérable. Le fait de ne pas pouvoir participer à des contrats répétés impliquant ces deux firmes ne peuvent justifier économiquement l'opérationnalisation des résultats de l'expérimentation.

6 Conclusion

Cette recherche exploratoire fait partie d'un projet plus large visant à générer de la nouvelle connaissance pour l'intégration des pratiques de conception et de construction autour des technologies associées au BIM. Le dessein était d'explorer un domaine précis, l'optimisation énergétique, pour lequel le BIM semblait offrir de nombreux avantages sur les approches traditionnelles, notamment en termes de rapidité et de précision, et ce pour venir appuyer un processus de conception intégrée.

Les observations et les interventions dans le cadre de cette recherche-action confirment le potentiel des technologies BIM pour améliorer le processus d'optimisation de l'efficacité énergétique. C'est au stade conceptuel du projet que les décisions les plus importantes influant la performance du bâtiment sont prises. Les outils et processus traditionnels de simulation n'offrent pas l'agilité et la légèreté requises pour produire et comparer différents scénarios de façon itérative. Les approches explorées, notamment dans l'échange entre les logiciels de planification programmatique 3D et les logiciels d'analyse

énergétique se sont avérées concluantes, malgré le fait qu'elles requièrent un certain travail de développement de règles de modélisation et de résolution de problèmes d'interopérabilité.

La problématique se situe cependant sur des dimensions autres que logicielles, ce qui confirme la validité du cadre de Staub-French et Kanzode (2007) que les enjeux ne sont pas uniquement technologiques, mais encore organisationnels et procéduraux. S'ajoute de plus une autre dimension, le contexte créé par les cadres contractuels utilisés dans l'industrie pour la mise en place d'une approche intégrée d'optimisation énergétique centrée autour des technologies BIM de conception et d'analyse. Une piste de solution a été envisagée qui pourrait guider une future recherche soit le développement de règles technologiques associés à des canevas de flux de données génériques.

7 Références

Anumba, C. (2006). Concurrent engineering in construction projects, Routledge.

Azhar, S., et al. (2009). "Action research as a proactive research method for construction engineering and management." Journal of Construction Engineering and Management **136**(1): 87-98.

Carlile, P. R. (2004). "Transferring, Translating, and Transforming: an Integrative Framework for Managing Knowledge Across Boundaries." Organization Science **15**(5): 555-568.

Dupagne, A. (1991). Computer Integrated Building. Strategic final Report. Exploratory action NO 5604, ESPRIT II.

Engeström, Y. (2004). "New forms of learning in co-configuration work." Journal of Workplace Learning **16**(1): 2-10.

GSA (2012). Guide for Energy Performance —GSA BIM Guide Series 05. O. o. D. a. Construction. Washington, DC, United States General Services Administration (GSA).

Larsson, N. (2002). The Integrated Design Process. Report on a National Workshop. Ottawa, Natural Resources Canada.

McGraw-Hill, C. (2009). "The Business Value of BIM-Getting Building Information Modeling to the Bottom Line." SmartMarket Report.

Staub-French, S. and A. Kanzode (2007). "3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned." ITcon **12**: 381-407.

Taylor, J. E. and P. G. Bernstein (2009). "Paradigm trajectories of building information modeling practice in project networks." ASCE Journal of Management in Engineering **25**: 69-76.

Vinck, D. and P. Laureillard (1996). "Coordination par les objets dans les processus de conception." Représenter, Attribuer, Coordonner: 289-295.

Zager, D. (2002). "Collaboration as an Activity Coordinating with Pseudo-Collective Objects." Computer Supported Cooperative Work **11**(1): 181-204.

Zimmerman, A. (2006). Guide sur le processus de conception intégrée. Ottawa, SCHL.