



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

Une étude de cas sur les opportunités de préfabrication dans un projet BIM d'équipement hospitalier

E. Clouet¹, D. Forgues¹

¹Département de génie de la construction, École de technologie supérieure

Résumé : Certaines études ont montré que la productivité du secteur de la construction est en décroissance, et ce malgré les nombreux développements technologiques des dernières décennies. Pourtant l'industrie fait preuve d'un grand conservatisme et elle ne semble pas profiter des plus récents développements technologiques. La préfabrication a beaucoup évolué ces dernières années et ce grâce notamment à l'arrivée de nouveaux matériaux. Il s'agit d'une avenue très prometteuse. Nous nous sommes d'ailleurs efforcés d'en démontrer tout le potentiel et de montrer en quoi le BIM peut faciliter la préfabrication. Pour ce faire, nous avons identifié tout ce qui pourrait être préfabriqué dans un bâtiment commercial ou institutionnel tel un hôpital. Nous avons ensuite fait des comparaisons en termes de coûts et de durée des travaux de construction entre certains éléments préfabriqués et leur équivalent construit sur place. Le projet de rénovation et d'agrandissement d'un hôpital nous a servi d'exemple.

Nous avons constaté que la préfabrication permet effectivement de réduire la durée des travaux et de réduire les coûts. Nos recherches ont montré que l'utilisation de modules de plafond, de dalles de plancher et de cloisons préfabriquées est plus économique. On pourrait même envisager de préfabriquer des chambres d'hôpital. Une réduction de la durée de travaux au chantier permet l'occupation plus rapide des lieux. La préfabrication s'avère particulièrement intéressante pour les travaux se déroulant sur des sites restreints à proximité de lieux habités. Le BIM facilite la préfabrication puisqu'il permet une diffusion d'informations précises entre les partenaires.

1 Introduction

La construction est un secteur d'activité important actuellement une période faste compte tenu des nombreux contrats publics qui ont été octroyés ces dernières années pour la réfection et pour la construction d'infrastructures publiques. L'industrie de la construction représente un pan important de notre économie. Les rapports Latham (1994) et Egan (1998), en Angleterre ont débouché sur une série de recommandations qui ont inspiré plusieurs pays. Le recours plus fréquent à la préfabrication faisait partie des recommandations. La préfabrication a un potentiel intéressant qui semble malheureusement peu ou pas exploité dans la construction de bâtiments institutionnels et commerciaux, et ce bien qu'il y ait au Québec une industrie de la préfabrication qui va bien au-delà de la construction résidentielle. Nous allons prendre comme étude de cas un projet majeur de rénovation d'hôpital ayant certaines caractéristiques (contraintes du site, composantes répétitives) qui le rend particulièrement intéressant pour la préfabrication.

Nous allons tenter de répondre à la question suivante : serait-il avantageux de préfabriquer davantage lorsque l'on construit ou que l'on rénove un hôpital et en quoi le recours au BIM peut-il le faciliter? Un lien sera fait avec le BIM étant donné qu'il s'agit d'une technologie en émergence qui gagne progressivement du terrain et qui offre des perspectives prometteuses, en plus de faciliter le transfert d'information entre les intervenants peu importe leur éloignement.

1.1 Définition

La préfabrication n'est pas un sujet très populaire. Quoiqu'il existe quelques livres sur ce sujet, on ne saurait parler ici d'abondance. Il en va de même pour les articles scientifiques. Avant d'aller plus loin, il convient toutefois de définir les deux thèmes principaux de notre recherche, soit la préfabrication et le BIM, et ce afin d'éviter toute confusion ou tout malentendu. La préfabrication prend différents vocables et peut être définie de bien des façons. Selon le grand dictionnaire terminologique, la préfabrication est l'exécution hors du chantier proprement dit en petite ou moyenne série d'éléments standardisés de construction prêts à l'assemblage. Le terme anglais « prefabrication » est couramment utilisé au Canada et aux États-Unis. En Angleterre en revanche, on utilise plutôt le terme « pre-assembly ». Gibb et al (2003) définissent d'ailleurs le préassemblage comme le fait d'assembler un ou plusieurs éléments avant qu'il ne soit livré sur le chantier.

En quoi consiste le BIM? BIM est l'acronyme de « Building Information Modeling ». Eastman et al (2011) décrivent le BIM comme « une technologie de modélisation et un ensemble de processus permettant de produire, de communiquer et d'analyser le modèle d'un bâtiment ». Toujours selon Eastman et al (2011), un modèle de bâtiment est constitué d'un ensemble d'objets, chaque objet représentant un élément (mur, toit, porte, fenêtre, etc.) du bâtiment. On associe à chaque objet des données (géométrie, dimensions, attributs physiques, catégorie, etc.), des relations (avec d'autres objets adjacents ou non) ainsi que des règles. Ces données, ces relations et ces règles montrent comment un objet se comporte lorsque par exemple un autre objet auquel il est lié est modifié. Les données peuvent aussi servir lors de certaines analyses (efficacité énergétique par exemple) ou lors de la prise de quantité. Cette caractéristique, qui est appelée la paramétrisation, est très importante et c'est d'ailleurs ce qui distingue le BIM des modèles 3D. La paramétrisation permet d'automatiser la conception du bâtiment, ce qui permet d'économiser beaucoup de temps et d'éviter beaucoup d'erreurs.

1.2 Problématique liée à la préfabrication

Il est particulièrement difficile de définir la problématique propre à la préfabrication compte tenu de la diversité des situations qui peuvent être rencontrées sur un chantier et de la complexité des ouvrages à construire. Certaines particularités ou contraintes rendent la préfabrication moins accessible ou plus difficile que la construction sur place. Le transport et l'accès au site pour des modules ou des éléments de grand gabarit ou très lourds sont une contrainte majeure. Viennent ensuite les contraintes liées au levage sur le site puisque des éléments devront être hissés et placés à leur position finale à l'aide d'une grue, d'un palan, d'un monte-charge, etc. Finalement, l'élément préfabriqué doit pouvoir s'intégrer parfaitement ou presque (il existe une certaine marge de manœuvre) à la structure en place. Cela constitue aussi une contrainte plus subtile toutefois dont le niveau de difficulté n'est pas toujours facile à apprécier. Un élément incompatible peut nécessiter un travail correctif considérable au chantier afin de faire les ajustements nécessaires.

Malgré ces contraintes, la préfabrication représente une avenue intéressante qui comporte des avantages et des inconvénients. Notre revue de la littérature nous a permis d'identifier les avantages suivants : réduction de la durée des travaux de construction, réduction de la quantité de déchets au chantier, moins de matériaux à entreposer au chantier et une plus grande qualité des éléments préfabriqués étant donné qu'ils sont réalisés en usine à l'abri des intempéries et qu'ils sont construits en série. La préfabrication comporte aussi son lot d'inconvénients : les coûts de transport des éléments préfabriqués peuvent être élevés notamment si ceux-ci sont volumineux et qu'ils sont fabriqués à plusieurs centaines de kilomètres du chantier; il peut être nécessaire d'utiliser une grue pour le levage des modules ou des éléments préfabriqués au chantier; les éléments préfabriqués peuvent être plus lourds que les éléments construits sur place étant donné qu'ils doivent être transportés et hissés, ce qui représente une charge morte supplémentaire sur la structure; la coordination est généralement plus difficile étant donné qu'il y a plus d'intervenants (architecte, ingénieur et fabricants); il peut s'avérer impossible d'effectuer des réparations, des ajustements ou des changements mineurs au chantier si les éléments s'avéraient défectueux ou inadéquats; il faut planifier méticuleusement la livraison au chantier si l'on veut que les modules soient livrés juste à temps (essentiel lorsqu'il n'y a pas assez d'espace au

chantier pour les entreposer temporairement); le processus d'approvisionnement est plus compliqué et plus long puisqu'il faut sélectionner des fabricants en plus de choisir un entrepreneur général.

Il serait dangereux de voir la préfabrication comme une panacée, une solution miracle à tous les problèmes de la construction. Comme le mentionne à juste titre Smith (2010), le recours à la préfabrication doit être évalué au cas par cas, en fonction du contexte du projet, des contraintes (site restreint, échéancier serré, niveau de qualité visé, etc.) et de la disponibilité des fournisseurs. Il est cependant clair que certaines circonstances favorisent la préfabrication dont le mode de réalisation du projet et l'utilisation du BIM.

Le recours à la préfabrication implique une intégration précoce des fournisseurs au processus de conception et de réalisation, et ce afin de pouvoir bénéficier de leur expertise en matière de conception et aussi d'installation des éléments qu'ils préfabriquent. Cela implique une organisation de type « Integrated project delivery » dans laquelle le client, l'architecte, les ingénieurs, l'entrepreneur général, les sous-traitants et les fournisseurs collaborent dès le début à la conception et à la construction. Il faut garder présent à l'esprit que le mode traditionnel de type « Design-Bid-Build » décourage la préfabrication parce que les architectes, les ingénieurs et même l'entrepreneur général risquent de voir leurs revenus diminués étant donné qu'une partie de leur travail sera effectué par quelqu'un d'autre, en l'occurrence, les fournisseurs des éléments préfabriqués.

2 Le BIM et la préfabrication

Le BIM est un bon moyen de partager les informations entre les partenaires. Ce partage est essentiel puisque les fournisseurs auront besoin d'avoir accès, presque en temps réel, à des données (dimensions, charge, localisation de la tuyauterie, localisation des conduits de ventilation, etc.). Il en va de même des autres intervenants qui auront eux aussi besoin de ces mêmes informations en provenance des fournisseurs. Les informations contenues dans les différents modèles comprennent notamment des données dimensionnelles précises qui permettent aux fournisseurs de concevoir et de fabriquer des éléments qui pourront s'intégrer, s'imbriquer ou s'emboîter parfaitement. Cette aptitude est très importante puisque les ajustements apportés au chantier à des éléments préfabriqués peuvent s'avérer coûteux en temps, et par ricochet en argent. Il pourrait même arriver que de tels ajustements ne puissent être réalisés en chantier, auquel cas l'élément préfabriqué devrait être retourné en usine. Le retard ainsi créé pourrait désorganiser le chantier et avoir de graves répercussions sur le déroulement des travaux. Le modèle BIM permet aussi la détection des interférences. Certains systèmes BIM permettent même de générer des dessins pour fabrication. Les données contenues dans les modèles peuvent être transférées directement vers des machines à contrôle numérique utilisées par exemple pour la découpe de matériel, ce qui accélère la fabrication.

Nous avons trouvé dans la littérature des exemples montrant en quoi le BIM aide la préfabrication. Eastman et al (2011) décrivent un projet de construction d'une tour à condominium haut de gamme sur l'île de Manhattan à New York. Cette tour de 21 étages avait pour particularité d'avoir une enveloppe extérieure très difficile à concevoir et à fabriquer. La conception de l'enveloppe extérieure a été faite en plusieurs étapes. L'architecte responsable du projet a d'abord dessiné chacune des faces de l'enveloppe. Ces dessins représentaient les surfaces en verres et celles en brique sans les ossatures. Une firme spécialisée dans la conception de mur rideau a ensuite analysé ces dessins et préparé une liste Excel des surfaces en verre et de leurs caractéristiques (dimensions, couleur, localisation, etc.). Cette même firme a ensuite conçu une ossature en acier de façon à assurer la rigidité de l'ensemble. Afin de simplifier l'assemblage sur le site, des panneaux comprenant des parties en verre et des parties en brique ainsi qu'une ossature en acier ont été créés. Un modèle BIM de l'enveloppe extérieure a été entièrement réalisé par la firme spécialisée dans la conception de mur rideau. Ce modèle était très détaillé au point d'ailleurs qu'il a notamment permis d'évaluer plusieurs configurations. Des dessins préliminaires de l'enveloppe extérieure ont été tirés de ce modèle. Ces dessins ont servi à obtenir des soumissions auprès de fournisseurs. Une maquette d'un panneau a été réalisée et validée à la fois par le propriétaire et par les architectes afin de s'assurer que les besoins et les attentes ont été bien compris. Cette maquette ainsi que tous les panneaux ont été fabriqués à l'aide d'un modèle 3D. Ce modèle 3D a été

élaboré à partir du modèle BIM (les fichiers du modèle BIM avaient d'ailleurs été envoyés aux fabricants afin de leur éviter des saisies inutiles). Les dessins de fabrication ont été extraits de ce modèle. La découpe des morceaux d'acier composant l'ossature a été réalisée par des machines à contrôle numérique dont les instructions ont été tirées directement du modèle 3D. Un prototype a ensuite été réalisé. Ce prototype était complet et prêt à être installé (il comprenait des points de levage, des points d'ancrage, des joints d'étanchéité, etc.). Ce prototype a été soumis à un ensemble de tests dans un laboratoire américain. Ces tests avaient pour but de s'assurer que toutes les spécifications techniques étaient respectées et que le panneau était de qualité.

Eastman et al (2011) mentionnent que l'un des points forts qui est ressorti de cette expérience est la capacité du BIM à rendre rapidement disponible à des intervenants souvent éloignés physiquement des informations détaillées. De plus, les changements à la conception ont pu être implantés très rapidement. La coordination entre les intervenants s'est faite de plusieurs façons : la coordination avec les fabricants des panneaux s'est faite à l'aide du modèle BIM alors que la coordination entre les architectes s'est faite par l'échange de dessins en format PDF. Une des difficultés rencontrées par les divers intervenants a été de trouver de la main-d'œuvre qualifiée pouvant élaborer un modèle BIM à l'aide de Digital Project et de Catia.

Eastman et al (2011) donnent un autre exemple d'un projet pour lequel le BIM et la préfabrication ont été utilisés. Il s'agit de la conversion d'un immeuble de bureaux de 13 étages en hôtel. L'édifice a subi un curetage complet et trois étages ont été ajoutés. Cet édifice est situé à Portland en Oregon et sa construction a été complétée en 2009 au coût de 39 millions de dollars américains. Ce projet a obtenu une certification LEED Or. Une fois l'édifice dépouillé de son enveloppe extérieure, de la finition intérieure et de tous ses systèmes (mécanique, électricité, plomberie, etc.), la structure existante (c'est tout ce qui a été conservé) a été numérisée. Après traitement, ces informations ont servi à créer un modèle. Tous les nouveaux systèmes électriques et mécaniques ont également été modélisés. À partir de la représentation 2D générée à partir de la numérisation de la structure existante, des lignes et des polygones ont été dessinées manuellement sur AutoCAD 2D afin de représenter l'enveloppe extérieure de l'édifice. Ces dessins en 2D de l'enveloppe ont ensuite été envoyés au fabricant de l'enveloppe extérieure.

Les exemples documentés d'hôpitaux dans lesquels la préfabrication et le BIM ont été utilisés sont rares. Dans le cas du Miami Valley Hospital situé à Dayton en Ohio, Fabris (2010) mentionne que les éléments préfabriqués représentent 11 % du coût total, ce qui en ferait l'hôpital américain comprenant le plus d'éléments préfabriqués. Les éléments suivants ont notamment été préfabriqués : salle de bain des chambres des patients, cloisons des chambres, modules de plafond placés au-dessus des corridors, station de travail, mur rideau en panneau et passerelle temporaire pour piéton. Le BIM y a été utilisé, ce qui a grandement amélioré la précision des données dimensionnelles. De plus, celles-ci étaient disponibles en temps réel, ce qui a permis une intégration quasi parfaite des éléments préfabriqués à la structure construite en place. Peu de travaux correctifs ont été nécessaires. Pour le Aurora Health Care situé à Wilwaukee au Wisconsin, Mortenson (2012) mentionne que le BIM a été utilisé, ce qui a notamment facilité la préfabrication de module de plafond (« MEP rack ») et ce tout en respectant un échéancier très serré. Le projet le plus important est le St-Bartholomew and Royal London Hospital dont on retrouve une description dans Skanska (2010). Ce projet, entièrement conçu en BIM, a notamment impliqué une préfabrication de 1 200 panneaux de mur rideau et de 1 000 modules de plafond. Ces modules peuvent contenir jusqu'à neuf services différents, soit la ventilation, les gaz médicaux (oxygène, azote, etc.) ainsi que l'alimentation en eau.

3 Méthodologie

Cette recherche se veut exploratoire. Elle utilise comme étude de cas un projet réel, un des plus vieux hôpitaux en Amérique du Nord situés en plein cœur d'un quartier historique. L'hôpital compte 2 000 employés disséminés dans une vingtaine de bâtiments. Il offre des soins généraux ainsi que des soins hyperspécialisés et il est composé d'une vingtaine de bâtiments. L'actuel projet de rénovation et d'agrandissement vise à en augmenter la superficie totale de 30 %. Le nombre de lits devrait passer de 187 à 303. Le coût total des travaux est estimé à 715 millions de dollars canadiens. Le projet sera réalisé

en mode traditionnel de type « Design-Bid-Build », en plusieurs phases et sur une très longue période (possiblement jusqu'en 2022).

Ce projet nous semble particulièrement intéressant pour les raisons suivantes : on y utilisera le BIM et nous savons que cela est une condition généralement favorable à la préfabrication; ce projet est complexe et les bâtiments construits ou rénovés comprendront plusieurs éléments qui pourraient être préfabriqués dont notamment les chambres, au nombre de 303, qui devraient être similaires; ce projet est assujéti à plusieurs contraintes, comme le fait que le site de construction est exigu, difficiles d'accès et situé à proximité de résidences (donc soumis à des horaires de travail limité); comme l'hôpital devra être maintenu en activité, il faudra essayer de réduire la durée des travaux, ce qui constitue justement un des points forts de la préfabrication; on construit un hôpital pour longtemps ce qui a pour conséquence de placer la qualité au centre des préoccupations.

Nous avons dans un premier temps identifié les éléments d'un hôpital qui pourraient être préfabriqués ainsi que des fournisseurs potentiels québécois ou nord-américains. Cet inventaire se voulait le plus large et ouvert possible afin justement de ne rien oublier. Ces éléments ont été identifiés suite à des recherches effectuées sur internet. À cet égard, il semble y avoir beaucoup plus de choix, et donc de possibilités, en Europe qu'en Amérique du Nord. Nous avons ensuite identifié des fournisseurs québécois et nord-américains pour ces éléments. Nous avons fait une comparaison de coût et de durée de construction sur le site entre l'élément préfabriqué et son équivalent construit sur place, et ce pour certains éléments qui nous semblaient particulièrement intéressants. Nous avons ensuite établi les impacts de la préfabrication sur les travaux en chantier et montré comment le BIM pourrait être utilisé dans ce contexte pour faciliter la préfabrication. Nous avons élaboré un pré concept d'un hôpital neuf afin de montrer ce qui pourrait être préfabriqué et l'avons fait valider par l'équipe du projet afin de recueillir leurs commentaires et suggestions pour l'élaboration des pistes de solution proposées.

4 Résultats obtenus

Nous avons réalisé des comparaisons entre les éléments préfabriqués et leurs équivalents construits sur place. La non-disponibilité de fournisseurs nord-américains pour certains éléments a restreint considérablement notre choix. Il devient dans ce cas terriblement compliqué et fort possiblement non économique de faire fabriquer des produits outre-mer et de les acheminer ici. Dans d'autres cas, nous n'avons pu trouver d'équivalents construits sur place qui offraient autant de fonctionnalités et qui étaient aussi pratiques. Compte tenu de toutes ces considérations et de ces limitations, la comparaison de coût n'a porté que sur les quatre éléments suivants : comparaison entre une chambre d'hôpital préfabriquée et son équivalent construit sur place, comparaison entre une cloison démontable et une cloison en gypse, comparaison entre un plancher composé d'une dalle préfabriquée en béton et un plancher composé d'un platelage en acier sur lequel a été coulé une chape de béton et finalement comparaison entre un module de plafond et des conduits de ventilation et tuyauterie installés sur place. Nous avons établi nos comparaisons de coût en prenant en compte le prix d'achat des matériaux et des éléments préfabriqués, la main-d'œuvre pour la construction ou l'installation au chantier, les coûts de transport au chantier (livraison) ainsi que les frais généraux et profits de l'entrepreneur.

4.1 Cloison démontable

Il existe deux types de cloisons préfabriquées : les cloisons démontables et les cloisons amovibles. Les cloisons démontables sont des cloisons qui pour être démontées exigent des outils alors que les cloisons amovibles sont des cloisons qui peuvent être déplacées afin par exemple d'agrandir une salle. Les cloisons amovibles sont montées sur des rails alors que les cloisons démontables sont autoportantes. Nous nous sommes basés sur une étude réalisée par un fabricant québécois de cloisons démontables. Les cloisons démontables seraient, dans le cas de mur plein (c'est à dire sans fenêtres), plus coûteuses de 3,9 %, et dans le cas de mur vitré, moins coûteuses de 16,35 %. Voici les avantages des cloisons démontables par rapport aux cloisons en gypse : elles sont plus esthétiques et mieux insonorisées (acoustique supérieure); elles peuvent être démontées et remontées, et donc réutilisées; elles sont durables; elles sont deux fois plus rapides à installer et au moment d'un réaménagement, on peut récupérer 90 % des matériaux. Les cloisons démontables représentent donc une option des plus

intéressantes pour les bureaux, salles de conférence, vestiaires, salles de repos, salle de cours, etc. Elles offrent une flexibilité qui est la bienvenue dans un monde en perpétuel changement.

4.2 Dalle préfabriquée en béton

Il existe une multitude de produits préfabriqués pour les planchers : dalle pleine, dalle alvéolée, prédalle, dalle de type « bubbledeck », etc. Nous avons basé notre comparaison sur une dalle préfabriquée produite au Québec. Selon le fabricant, celle-ci a l'avantage d'être 35 % plus légère qu'une dalle pleine en béton. Ce produit permettrait de réaliser jusqu'à 10 % d'économie par rapport à un plancher en béton coulé en place. Les joints entre les panneaux doivent être bétonnés, ce qui exige la mise en place d'une armature et d'un coffrage. Une période de cure de 1 à 2 semaines est requise. Le gain de temps serait de l'ordre de 20 %.

4.3 Module de plafond

Les modules de plafond (appelé « MEP rack » ou « corridor rack » en anglais) sont des sections de plafond contenant des conduits de ventilation, de la tuyauterie, des conduits de gaz médicaux et du câblage électrique, le tout soutenu par une armature en acier. Il s'agit de l'un des éléments les plus souvent préfabriqués lors de la construction d'hôpitaux aux États-Unis et en Angleterre. Ce fut notamment le cas pour l'agrandissement du Miami Valley Hospital en Ohio aux États-Unis. Ce cas a l'avantage d'être bien documenté. Fabris (2010) mentionne que chaque module faisait 2,44 par 6,71 m et pesait 907,44 kg. Ils ont été assemblés à proximité du chantier dans un ancien entrepôt. La productivité a été de trois fois supérieures à ce qui est obtenu en moyenne au chantier. Nous avons estimé l'économie de coût de l'ordre de 20 %. La réduction de la durée des travaux au chantier serait de l'ordre de 80 %. Il s'agit d'une économie intéressante qui demande cependant une certaine logistique (location d'un entrepôt, présence d'une grue au chantier, etc.) qui ne peut se justifier que lorsque l'on envisage de construire plusieurs dizaines de modules. Cela ne devient donc intéressant que pour les projets d'envergure.

4.4 Chambre d'hôpital

Parmi tous les éléments qui composent le bâtiment d'un hôpital, les chambres représentent probablement ce qui, d'un point de vue théorique du moins, pourrait être le plus intéressant à préfabriquer compte tenu de leur nombre (souvent plusieurs centaines), de leur relative similarité, de leur contenu et de leur forme rectangulaire ou presque. Il existe cependant deux contraintes importantes dont il faut tenir compte : le poids et les dimensions. Ces deux contraintes sont critiques parce que le module doit pouvoir être transporté par camion et hissé à l'aide d'une grue. Les dimensions en ce sens sont plus critiques que le poids compte tenu des largeurs et hauteurs maximales des charges qui peuvent être transportées sur une remorque tirée par un camion. Nous avons déterminé trois options qui pourraient être envisagées : un seul module autoportant, deux modules autoportants et plus et finalement une salle de bains et des murs préfabriqués seulement. Il aurait été intéressant d'évaluer le coût de chacune de ces options et de les comparer avec la construction sur place. Cela n'a malheureusement pas été possible étant donné que nous ne connaissons pas les coûts de fabrication en usine. Ce volet de notre comparaison est donc incomplet.

5 Solution proposée

Nous avons proposé un pré concept afin d'illustrer le plus concrètement possible ce qui pourrait être préfabriqué dans le cadre de la construction d'un hôpital neuf. Nous avons proposé des solutions visant les parties neuves à cause des contraintes d'insérer des éléments préfabriqués dans un bâtiment existant. Nous avons proposé un aménagement visant à faciliter le recours à la préfabrication en concentrant notamment les planchers en béton préfabriqués, les cloisons amovibles ainsi que les modules de plafond dans le noyau central d'un étage. Les chambres, disposées sur le pourtour, représentent l'élément le plus novateur puisqu'il s'agit de module autoportant. Ce type de module n'a jamais été utilisé jusqu'ici. Le fait que toutes les chambres soient identiques rend la préfabrication plus économique. Il reste néanmoins qu'il y a ici un défi technique en matière de transport et de levage. On

peut cependant réduire le poids en utilisant des matériaux plus légers tels que des montants en acier au lieu d'une ossature en bois et des panneaux en fibre de verre dans la salle de bains au lieu de la céramique. Le poste de garde en mobilier intégré sous forme de module assemblé sur place ne représente rien de très novateur puisque cela est déjà couramment utilisé. Le revêtement extérieur est composé de murs rideaux.

Nous avons rencontré quelques membres du projet d'agrandissement et de rénovation afin de recueillir leurs commentaires sur le pré concept proposé et de nous faire part par la même occasion de leurs suggestions. Voici leurs commentaires.

1) mur rideau

Il est possible que des murs rideaux soient utilisés pour la rénovation de certains édifices et pour la construction de nouveaux bâtiments. Cela dépendra de l'ampleur des rénovations qui y seront effectuées et de la décision de conserver ou non l'enveloppe extérieure existante.

2) cloison démontable

Il est très peu probable que des cloisons démontables soient utilisées compte tenu des exigences très strictes en matière d'insonorisation et de contrôle des infections. La tendance actuelle serait d'éloigner le plus possible les bureaux des zones de soin et de les regrouper dans des aires ouvertes. Des paravents sont alors utilisés pour séparer les bureaux, ce qui offre beaucoup de flexibilité dans l'aménagement et réduit les coûts.

3) dalle de béton préfabriquée

Des craintes ont été exprimées sur de possibles difficultés à réaliser au chantier des percements de la dalle de part en part (afin d'y faire passer un tuyau par exemple). De plus, les dalles préfabriquées dites alvéolées ou évidées sont généralement plus épaisses de 20 à 30 % que les dalles coulées en place de même capacité portante, ce qui fait perdre quelques centimètres en hauteur. Comme le plafond des hôpitaux est encombré par de nombreux conduits de toute sorte (gaine de ventilation, conduit de gaz médicaux, gicleur, câblage électrique, etc.), ces quelques centimètres perdus diminuent la marge de manœuvre.

6) module de plafond

C'est probablement l'élément qui a été jugé comme le plus intéressant à préfabriquer compte tenu de la quantité de conduits de toute sorte qui circule dans les plafonds et de l'espace limité disponible. La préfabrication est perçue comme plus facile à réaliser étant donné que le contenu des futurs modules de plafond sera déterminé au moment de la conception par les disciplines mécanique et électricité, deux disciplines qui ont l'habitude de travailler ensemble et de se coordonner. De plus, le volet conception mécanique et électrique est généralement octroyé à la même firme de génie-conseil. Autre argument de poids, il est prévu que le logiciel Revit soit utilisé pour ces deux volets. Le modèle ainsi développé pourrait servir non seulement à la conception, mais aussi à la fabrication des modules. Certaines craintes ont toutefois été exprimées concernant d'éventuels ajustements à faire au chantier afin de raccorder les modules entre eux. Lors de nos discussions, il a aussi été mentionné que le projet sera réalisé selon un mode traditionnel de type « Design-Bid-Build », ce qui aura pour conséquence que le donneur d'ouvrage ne pourra contraindre un entrepreneur général à préfabriquer des modules de plafond, et ce même s'ils ont été conçus dans cette optique.

7) chambre d'hôpital

Il semble peu probable que des chambres préfabriquées en un seul module soient utilisées. En revanche, la préfabrication des murs et des salles de bains est perçue comme plus réaliste. Le défi sera toutefois de trouver des fournisseurs qui sont disposés à préfabriquer des salles de bains répondant aux normes en vigueur dans les hôpitaux et des murs dans lesquels on retrouvera des conduits de gaz médicaux en plus du câblage électrique. Les fabricants de chambres d'hôtel ou de maisons préfabriquées ne sont pas habitués à travailler avec ce type de conduit. Cela pourrait les rebuter.

8) autres pistes

D'autres pistes ont été proposées dont notamment la préfabrication de salles électriques. Certains équipements mécaniques pourraient aussi être livrés au chantier préinstallés, c'est-à-dire avec tous leurs accessoires déjà fixés. Ils seraient placés sur des plateformes ou des traîneaux (« skid ») afin de pouvoir les hisser à l'aide d'une grue ou de les pousser sur des coussins d'air jusqu'à leur emplacement final. Une fois rendu, il ne resterait plus qu'à les brancher à l'alimentation électrique. Cela économiserait du temps au chantier.

6 Impacts de la préfabrication sur les travaux en chantier

La préfabrication a un impact sur le déroulement des travaux en chantier. En voici quelques-uns :

- 1) il est probable que plus d'équipements de levage ou que des équipements de levage avec une plus grande capacité soient nécessaires, ce qui contribue inéluctablement à augmenter les coûts;
- 2) un changement de la séquence (ou de l'ordonnancement) des travaux peut être nécessaire;
- 3) une planification détaillée et précise des travaux est à prévoir afin notamment de permettre une livraison juste-à-temps des éléments préfabriqués, et ce afin de minimiser l'encombrement au chantier;
- 4) il est préférable de mettre en place un système de confirmation de livraison des éléments préfabriqués afin d'éviter ou du moins anticiper des retards de livraison au chantier;
- 5) il est aussi préférable de mettre en place des procédures de contrôle qualité en usine donc chez le fournisseur afin que les éléments préfabriqués soient inspectés avant leur livraison, ce qui permet entre autres de corriger les déficiences à l'usine plutôt qu'au chantier.

L'obstacle le plus important est probablement plus du côté du mode de réalisation que des changements requis au chantier. Tel que cela fût mentionné précédemment, le mode traditionnel de type « Design-Bid-Build » décourage la préfabrication parce que les architectes, les ingénieurs et l'entrepreneur général risquent de voir leurs revenus diminués étant donné qu'une partie de leur travail sera effectué par quelque d'autres, en l'occurrence, les fournisseurs des éléments préfabriqués. À cet égard, le mode « Design-Build » est plus intéressant parce qu'il permet une répartition différente des honoraires entre les intervenants et que cela favorise l'intégration des fournisseurs dans l'équipe.

7 Pistes de solution

Les éléments qui ont été retenus l'ont été parce qu'ils permettent soit de réduire les coûts de construction ou soit de réduire la durée des travaux de construction. Une réduction de la durée des travaux procure aussi une réduction des coûts, mais de façon plus indirecte, plus détournée, puisqu'un édifice peut alors être occupé plus rapidement. De plus, un chantier plus court réduit les désagréments (bruit, poussière, odeurs, circulation de véhicules lourds, etc.) aux usagers et aux riverains de la zone des travaux. Ces bénéfices sont cependant difficiles à quantifier en termes financiers. Le tableau 1 présente les éléments qui nous semblent les plus intéressants à préfabriquer.

Tableau 1 Éléments les plus intéressants à préfabriquer

Élément	Variation par rapport à du construit sur place (en %)		A déjà été utilisé	Commentaires
	Coût	Durée		
Mur rideau, béton architectonique, <i>slender wall</i> ou panneau	Non applicable	Non applicable	Oui	Un incontournable lorsque l'on construit en hauteur.
Cloison démontable	+ 4 %	- 50 %	Oui	
Dalle en béton préfabriqué	-10 %	- 20 %	Oui	
Plafond suspendu	Non applicable	Non applicable	Oui	Il n'existe pas d'options construites sur place qui offrent autant d'avantages.
Ossature en bois, en acier ou en béton	Non applicable	Non applicable	Oui	Un incontournable lorsque l'on construit en hauteur.
Module de plafond	-20 %	- 80 %	Oui	
Chambre d'hôpital en section	Inconnu	Inconnu	Oui	À évaluer au cas par cas.

Nous sommes restés relativement prudents dans notre sélection. Nous avons en effet retenu des éléments qui ont déjà été utilisés dans des projets de construction. Cela diminue grandement les risques que l'on associe généralement aux nouveautés qui n'ont jamais été testées dans des situations réelles. Cela ne veut pas dire pour autant que les entrepreneurs aient de l'expérience avec par exemple la construction et l'installation de module de plafond ou de chambre d'hôpital en section. Il convient donc de rester prudent et d'évaluer chaque situation au cas par cas. Il n'existe malheureusement pas de solutions miracles qui puissent être appliquées mur à mur.

Le pré concept que nous avons proposé s'appliquait à la construction d'un hôpital neuf. Néanmoins, la préfabrication peut aussi être utilisée dans la rénovation d'un édifice existant et le cas de l'immeuble de bureaux de Portland en Oregon présenté par Eastman et al (2011) qui a été converti en hôtel le montre bien. La numérisation par laser de l'édifice existant et le BIM ont rendu cela possible. La numérisation par laser permet d'obtenir des données dimensionnelles précises et le BIM permet de les intégrer dans un modèle et de les rendre disponibles. Cela réduit considérablement les risques que des éléments préfabriqués ne puissent être intégrés à la structure existante, ce qui pourrait nécessiter des travaux correctifs longs et coûteux. Cela montre avec éloquence comment le BIM facilite la préfabrication. L'utilisation de module de plafond préfabriqué peut aussi très d'appliquer à la rénovation d'édifice existant et le cas du St-Bartholomew and Royal London Hospital le montre bien.

8 Discussion et conclusion

Nous désirons rappeler que notre démarche avait pour but de déterminer si la préfabrication peut être avantageuse lors de la construction ou de la rénovation d'un bâtiment commercial ou institutionnel tel un hôpital et de voir comment le BIM peut favoriser le recours à la préfabrication. Nos recherches ont montré qu'il est non seulement possible d'y recourir, mais que cela peut même être avantageux en termes de coût et en termes de réduction de la durée des travaux en chantier. Nous avons aussi identifié en quoi le BIM permet de faciliter le recours à la préfabrication. Nos recherches ont montré que la préfabrication peut aller plus loin que l'utilisation de dalle de béton préfabriquée et de mur rideau. Des modules de plafond, des salles de bains et des murs préfabriqués ont été utilisés avec succès dans la construction d'hôpitaux neufs aux États-Unis et au Royaume-Uni. Il est donc légitime de penser que cela pourrait aussi être utilisé au Québec. Le BIM est un outil puissant qui permet de rendre disponibles presque en temps réel les informations à tous les intervenants. Ces informations sont essentielles à une bonne coordination. Il faut en effet que les éléments préfabriqués s'emboîtent parfaitement au chantier, ce qui requière des données dimensionnelles précises. Il est important de mentionner qu'il est possible de préfabriquer sans recourir au BIM. Cela a déjà été fait par le passé.

Les économies de coût générées par la préfabrication ne sont pas mirobolantes : il semble que celles-ci ne dépassent guère 10 à 15 % en moyenne du coût d'un élément. En revanche, la réduction des délais de construction au chantier peut être spectaculaire, de l'ordre de 20 % à 80 %. Il s'agit d'un avantage de taille lorsqu'un bâtiment doit être érigé rapidement afin de réduire les inconvénients aux usagers et aux riverains du site et afin de le rendre opérationnel le plus rapidement possible. L'augmentation du niveau de qualité obtenu par la construction en usine dans un environnement contrôlé est un avantage qui n'est pas non plus à dédaigner si l'on pense au coût sur la durée de vie du bâtiment. Un élément de meilleure qualité sera plus durable et nécessitera moins de réparation.

Beaucoup de questions restent toutefois en suspens. Nos recherches ont surtout servi à débroussailler le terrain puisque la préfabrication est peu discutée au Québec et elle n'a pas fait l'objet de recherche de grande envergure. Parmi les questions en suspens, il y a notamment celle relative aux chambres : devrait-on les préfabriquer en un seul module autoportant comprenant la salle de bains, les murs, le plancher, le plafond ainsi que toute la tuyauterie, les conduits et le câblage requis ou devrait-on plutôt les préfabriquer en plusieurs modules? Laquelle de ces options est la plus avantageuse en termes de coût? Il est virtuellement impossible de répondre à ces questions sans avoir le concours d'un fabricant qui a de l'expérience dans ce domaine et qui possède donc des données sur les coûts de construction en usine.

Quoiqu'elle comporte des avantages indéniables, la préfabrication n'est pas une panacée. Nous avons essayé de rester le plus neutres possible en présentant les deux revers de la médaille. Nous espérons que cette recherche aura contribué à démystifier la préfabrication et à la faire connaître.

9 Références

- Eastman, Chuck, Paul Teicholz, Rafael Sacks et Kathleen Liston. 2011. *BIM Handbook A Guide to Building Information Modeling*, Second Edition, John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, USA
- Fabris, Peter. 2010. Prefab Trailblazer. In *BDC Network*. En ligne.
- Egan, J. (1998) Rethinking Construction: Report of the Construction Task Force, London: HMSO.
- Gibb, A.G.F.et F. Isack. 2003. Re-engineering through Pre-assembly - Client Expectations and Drivers. *Building Research and Information*, 146-160.
- Latham, M. (1994), Constructing the Team, London: HMSO. ISBN 978-0-11-752994-6
- Mortenson. 2012. Aurora Health Care Project Recognized for use of Innovative Technology during Design and Construction. In *Mortenson Construction*. En ligne
- Skanska. 2010. « Barts and the London Hospitals, UK ». In *Skanska*. En ligne.
- Smith, Ryan E. 2010. *Prefab Architecture A Guide to Modular Design and Construction*, John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, USA.