

Neuf cas d'intégration de systèmes de construction préfabriqués

Financé en partie par le Programme d'appui au développement de l'industrie québécoise de l'habitation et regroupant des partenaires des secteurs académiques, pratiques et industriels, ce rapport de recherche tablé sur 9 études de cas, décrit certains enjeux, défis et potentiels de l'intégration des assemblages et sous-assemblages préfabriqués dans la construction de bâtiments.

UQÀM | École de design

Société
d'habitation
Québec 

Laboratoire de recherche/création
pre[FABRICA]tions



POMERLEAU

SAIA
BARBARESE
TOPOUZANOV
ARCHITECTES

Table des matières

1. Introduction	4
1.1 Contexte et projet de recherche	6
1.2 Méthodologie	7
2. Les projets étudiés	8
2.1 Tableau comparatif	9
2.2 Les points forts des entrevues.....	10
2.3 Miami Valley Hospital	15
2.4 Résidence Hetherington	25
2.5 El Sol Science and Arts academy.....	37
2.6 Treet.....	51
2.7 Patch 22.....	61
2.8 Loggia Saint-Lambert.....	71
2.9 461 Dean Street.....	81
2.10 Brock Commons.....	93
2.11 East Pier.....	105
2.12 Analyse comparative graphique	117
3. Conclusion	129

1 — Introduction

Le présent rapport résume une recherche entamée le 1 septembre 2018 et financée par la Société d'Habitation du Québec. L'objectif de l'étude est d'élucider certains potentiels et défis de l'intégration des stratégies de construction préfabriquées dans les projets. La recherche doit également permettre de définir des pistes de recherche futures pour les trois partenaires impliqués dans l'étude: Pomerleau Construction, Saia Barbarese Toupouzanov architectes et la Société d'Habitation du Québec.

Un consensus semble se construire mondialement. La préfabrication et la construction en usine permettent d'atteindre des objectifs de réduction de main-d'oeuvre, de réduction de déchets, de réduction de temps de construction et de réduction de coûts en offrant des processus directs entre la conception, la fabrication et la construction. Ces théories de la préfabrication existent depuis le début du vingtième siècle, mais n'ont que marginalement réussi à intégrer la construction quotidienne.

Même si les avantages sont cités et connus, la confirmation des avantages sur les chantiers de

construction semble être une chose moins facile. La construction en usine demande une rigueur différente de la construction conventionnelle et la mise en tension des deux attitudes a fini et fini encore par causer des conditions conflictuelles pour l'administration et la production du projet.

Cette recherche vise à mieux saisir l'apport potentiel de la construction hors-site (off-site). Basés sur l'étude de 9 projets, nous avons documenté certains avantages et inconvénients, mais surtout nous avons remarqué que c'est l'ensemble de l'écologie du système projet qui est en jeu. Pour réussir à innover et bien réussir l'intégration des systèmes manufacturés, le mode de réalisation Conception - Soumission - Construction et le choix d'un plus bas soumissionnaire doit être revu. Ce mode de réalisation n'est pas adéquat pour une écologie de projet qui demande une plus grande collaboration entre les intervenants dès la phase de planification.

Dans le cas de nos neuf projets, seuls les projets à proposer un modèle de projet global (Patch 22, Miami Valley Hospital, Brock Commons) démontrent les vrais potentiels d'une écologie de

projet basée sur l'optimisation à différents niveaux. Cette nécessaire révision du processus se confirme également dans les projets qui déploient le BIM (modélisation des données du bâtiment) ou le PCI (processus de conception intégré) pour intégrer et harmoniser l'ensemble des intervenants. Le cas de Project FROG pour l'école primaire El Sol et du projet Miami Valley Hospital sont les exemples les plus probants des avenues porteuses qui sont possibles avec le BIM.

Un élément important à noter est que sans le changement de l'écosystème du projet dans son ensemble les risques associés à la préfabrication semblent être les mêmes que pour la construction conventionnelle est même parfois plus difficile à traiter puisque les occasions d'ajustements sur place ne s'offrent pas de la même façon. Pour le Miami Valley Hospital, la définition, l'élucidation et l'intégration des zones grises entre l'usine et le chantier par le constructeur Skanska semblent être la voie qui tente d'inclure l'ensemble des intervenants dans une logique d'optimisation.



1.1 – Contexte et projet de recherche

Le financement reçu pour la période du 1^{er} septembre 2018 à 31 mars 2019 par le programme PADIQH (Programme d'appui au développement de l'industrie québécoise de l'habitation) vise un projet de recherche basée sur des études de cas. Ce projet fait suite à une recherche également financée dans le cadre du même programme qui a tenté de faire la cartographie critique de l'industrie en Amérique du Nord pour aider à définir des pistes de développement. PRÉFABRICATION: Un argumentaire pour un WIKIpréfab-Québec a été publié en 2014.

Les différents cas choisis pour la présente étude devaient faire la démonstration de diverses méthodes de productions possibles. Les neuf cas choisis varient de la construction modulaire volumétrique, à la construction en panneaux (vitrines de la préfabrication depuis les origines au vingtième siècle) aux techniques plus contemporaines liées à l'informatisation de la construction. (Multi-trade prefab ou des kits intelligents).

Une Initiative de la Chaire industrielle Pomerleau sur l'innovation et la gouvernance des projets de construction et réunissant les professeurs Carlo Carbone et Mario Bourgault, ce projet s'inscrit dans l'axe de la chaire qui vise à partager des connaissances en matière de pratiques innovantes dans le domaine la construction.

L'équipe du projet est composée des personnes suivantes.

SHQ Société d'habitation du Québec

Nathalie Doyon, conseillère aux politiques

Université du Québec à Montréal - École de Design

Carlo Carbone, professeur, chercheur principal

Louise Malé-Mole, étudiante à la maîtrise

Léonie Hottote, étudiante à la maîtrise

Polytechnique Montréal

Mario Bourgault, professeur, titulaire de la chaire industrielle Pomerleau sur l'innovation et la gouvernance des projets de construction
Jérémie Mosser, étudiant à la maîtrise

Pomerleau Construction

Ivanka Iordanova, PhD, directrice BIM

SBT architectes

Dino Barbarese, architecte

1.2 – Méthodologie

Depuis l'industrialisation plusieurs acteurs tentent de démontrer le potentiel de la construction en usine pour reformer la construction des bâtiments avec le même gain de productivité observé dans les autres secteurs économiques qui se sont rapidement industrialisés. Aujourd'hui, alors que les gains semblent encore échapper à la construction, l'informatisation des procédés suscite un nouvel intérêt pour la production des systèmes en usine pour faciliter la construction sur site.

Les cas choisis devaient également permettre de voir si cette digitalisation et l'intégration du BIM facilitent ou au contraire rendent plus difficile l'application de certaines stratégies. Les cas ont été choisis dans un contexte de recherche de quelques mois pour faciliter leur documentation, mais également pour représenter un éventail large de stratégies disponibles.

Chaque cas a été documenté et analysé selon une stratégie particulière incluse dans le projet. Même si ce biais implique que le projet dans

son ensemble n'est qu'évoqué dans ce rapport, il aurait été impossible de réaliser une étude plus large dans la contrainte de temps imposée par le programme de financement supportant la recherche. Le choix des stratégies précises dans chaque cas a été ciblé pour leurs impacts importants sur la question des modes de réalisation; un thème sous-jacent qui facilite ou rend contraignant l'intégration des stratégies de construction en usine.

Pour compléter les analyses et la phase de documentation, une série d'entrevues avec une diversité d'acteurs dans les projets a permis d'identifier des constats qui sont présentés dans la section 2. Les deux composantes de l'étude, la description et l'analyse de cas et les entrevues composent le contenu critique de l'étude. Touchant une diversité d'aspects de la préfabrication et de la complémentarité possible de la construction sur et hors chantier, les entrevues ont aussi permis d'identifier des sujets à documenter dans une phase subséquente de l'étude.

2 – Les projets étudiés

Les neuf cas ont été choisis pour leur potentiel à faire émerger des enjeux. Adressant un héritage de la préfabrication avec le modulaire volumétrique, les panneaux ou les kits de construction industrialisés, chaque projet comporte un élément/composant/sous-assemblage qui peut être classé dans une de ces catégories historiquement reconnues comme des avenues de production pour le bâtiment. Cette catégorisation est tirée de l'approche de Dietz and Cutler (1971) qui visait à définir la préfabrication par «boxes, panels and pieces». Nous avons choisi les projets pour toucher cette diversité d'applications.

En plus des avenues traditionnelles, nous avons choisi des projets qui explorent l'informatisation de l'industrie ou des nouvelles stratégies. Par exemple, le «Multi-trade prefabrication» la préfabrication «multimétier» qui orchestre la construction dans une usine pour produire les composantes du projet à l'abri avant de les intégrer au chantier.

Ces approches nouvelles et actuelles impliquent une relation entre les intervenants à la fois claire et prescriptive. En plus la production des entreprises comme Project Frog associé au kit de construction peut aussi être identifiée comme une nouvelle voie, celle du «Fully Integrated Off-Site Solution» une solution intégrée en usine prête à l'emploi au chantier.

Considérant la diversité des stratégies, l'inégalité des sources qui mène à une difficulté de comparaison et le classement non généralisé dans l'industrie, les projets sont présentés dans un ordre chronologique lié au moment de leur construction. Les études de cas présentées dans les parties 2.3 à 2.11 du rapport sont essentiellement basées sur une recherche documentaire.

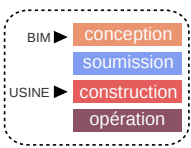
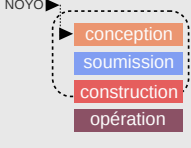
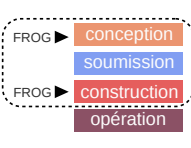
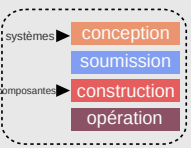
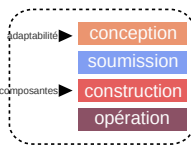
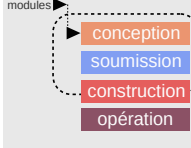
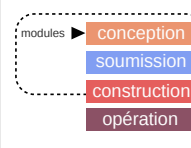
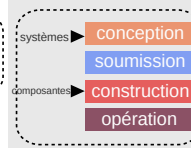
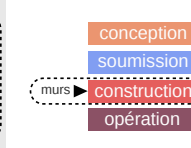
En complément de ces analyses de différents projets, nous avons réalisé entre le 11 janvier 2019 et le 27 février 2019 neuf entrevues avec différents acteurs des projets. Limité par un cadre temporel bien précis (31 mars 2019), il est possible d'entrevoir une suite à ce projet puisque les contraintes de certains intervenants ont empêché la tenu des entrevues avant la finalisation du rapport. Les entrevues ont porté sur plusieurs aspects des projets étudiés et ont également servi à compléter la recherche documentaire.

Ces entrevues non dirigées ont permis de confirmer certains aspects difficiles à documenter dans les projets et ont également permis d'identifier que le mode de réalisation est un facteur déterminant dans le succès de l'intégration du projet.

2.1 – Tableau comparatif

Le tableau comparatif ci-contre présente les éléments saillants de l'analyse. Structuré par les thèmes étudiés, le tableau identifie les sujets qui seraient à étudier davantage dans une seconde phase de l'étude et identifie quelques défis et enjeux de chaque projet.

Le tableau se veut aussi une sorte de conclusion graphique de l'étude montrant que la préfabrication n'est pas une solution en soi, et que l'informatisation de l'industrie amène de nouveaux potentiels. Les projets Miami Valley Hospital et Brock Commons font la démonstration que le BIM utilisé comme outil de collaboration modifie radicalement les relations entre les intervenants et augmente les possibilités d'optimisation.

	Miami Valley Hospital (2010)	Heterington (2013)	El-Sol (2014)	Treet (2015)	Patch22 (2016)	Loggia Saint Lambert (2016)	Dean Street (2016)	Brock Common (2017)	East Pier Boston (2018)
Commande	privée	public - SHQ	public + privé	privée	concours public	privée	privée	public - université	privée
Usage	médical	résidentiel	scolaire	résidentiel	résidentiel	résidentiel	résidentiel / commercial	résidentiel	résidentiel
Stratégie de préfabrication étudiée	«multi-trade» «multimétier»	noyau de services	kit de structure et d'enveloppe	hybride volumétrique	planchers techniques	modulaire volumétrique	modulaire volumétrique	enveloppe «panneaux de façade»	panneaux d'ossature bois
Matériau principal de l'élément préfabriqué	n/a	bois	bois	bois/béton	bois	bois	bois	bois	bois
Intervenant responsable du choix de la stratégie	Skanska, entrepreneur général	Architecte / fabricant Mobilfab	fabricant, Project FROG	PCI	PCI	fabricant, Bonneville	fabricant, Full Stack Modular	PCI	Sous-traitant
Impact sur la productivité globale du projet	+	+/-	+	+	+/-	+/-	-	+	+
facteur déterminant	contrats + BIM	tolérances + responsabilités	BIM + intervenant nouveau	contrats + BIM + PCI	optimisation / prototype	tolérances + responsabilités	250 uniques sur 900 modules	contrats + BIM + PCI	livraison juste-à-temps
Intégration de la stratégie dans l'écosystème projet									
Outil d'intégration	BIM + PCI		BIM + PCI	BIM + PCI	PCI + dessins	dessins	BIM	BIM + PCI	dessins
À retenir	préfabrication spécifique au projet. Usine de production	inflexible / «product driven prefab»	FROG entre l'architecte et le constructeur	innovation en équipe - infrastructure / infill standard	Flexibilité / adaptabilité / durée de vie	Module fini à 90% installé en 30 minutes	Industrie locale à développer unicité des modules = problème	innovation en équipe - devis de performance	manque de main d'oeuvre aux EU
Piste de recherche à développer	Mode de réalisation	Autres noyaux similaires	configurateur + classe préapprouvée	Détails de jonction modules	Cycle de vie du bâtiment	Détail de jonction des modules	personnalisation des modules	Mode de réalisation	Mode de réalisation

2.2 – Les points forts des entrevues

Entrevue 1 – 11 janvier 2019

Russell Acton, architecte du projet Brock Commons - «**collaboration entre les intervenants**»

- La formule, une sorte de Design-Build avec UBC properties trust (le promoteur immobilier de l'Université) permet de déployer les mêmes équipes de projet en projet ce qui facilite l'expérimentation.
- Pour développer les panneaux des façades, les architectes ont prescrit une série de critères par un devis de performance. Trois soumissionnaires ont développé des approches différentes sur la base du même document. Les soumissionnaires ont construit des maquettes échelle 1:1 pour valoriser leurs stratégies.
- Le choix et l'optimisation subséquente se sont faits sur un processus de collaboration incluant les architectes, le fabricant et le constructeur.

Entrevue 2 – 21 janvier 2019

Denis Fortier, architecte du projet Heterington - «**La préfabrication n'a pas d'avantage pour un seul projet**»

- La grande distance entre le chantier et l'usine de production est un défi de transport, de renforcement de volumes et d'entreposage des volumes sur le site. La livraison juste à temps est également un défi dans ce cas puisque l'usine est à plusieurs centaines de kilomètres.
- Les tolérances de production sont différentes à l'usine et au chantier; les ambiguïtés occasionnées entre le modulaire volumétrique et le système à plateforme réalisé sur place posent des problèmes de coordination au moment de la construction, mais également de mouvement différentiel durant la vie du bâtiment. Des fissurations ont été observées.
- Le produit usiné spécifié par l'architecte et son intégration dans la construction conventionnelle pose des questions de la responsabilité de la jonction. La responsabilité du producteur se limite au produit alors que celle de l'entrepreneur se limite à la construction sur place. Il existe un vide entre les deux qui doit être clarifié.

Entrevue 3 – 21 janvier 2019

Marty Corrado, chargé de projet Skanska pour le projet Miami Valley Health Care Centre - «**prefabricate everything**»

- Skanska, le constructeur a orchestré les contrats de chaque sous-traitant précisant le rôle et la responsabilité de chacun du travail à l'usine, loué à quelques kilomètres du chantier au transport et la livraison, au levage des installations et à l'intégration de chacun des sous-assemblages. (Un contrat complet à étudier)
- Le BIM devient l'outil d'intégration qui permet de réduire les risques associés à la coordination au chantier. De l'architecte au constructeur, l'itération productive entre l'usine et le modèle virtuel a permis de répondre à des critères de conception tout au long du chantier. Le travail parallèle entre le début du chantier (fondations) et la production des certaines composantes en usine permet de réduire l'échéancier de construction.
- La location d'une usine près du chantier est devenue une habitude pour ce gestionnaire de construction qui propose le MULT-TRADE prefabrication ou le near-site prefabrication comme des solutions qui permettent de retrouver une harmonie entre le site et l'usine. Cette approche a été mis en place pour plusieurs grands centres hospitaliers aux États-Unis depuis la construction de notre cas d'étude.

Entrevue 4 – 24 janvier 2019

Charles William Houle et Jean Grondin, chargés de production de l'entreprise American structures pour le projet East Pier à Boston - «**La préfabrication permet de réduire la main-d'oeuvre requise**»

- La préfabrication des panneaux pour les murs porteurs du projet a été choisie essentiellement pour pallier à un manque de main-d'oeuvre contextuel dans la région de Boston. L'entreprise a agi comme un sous-traitant au sous-traitant en charpente de bois.
- La livraison juste-à-temps et à plat des panneaux permettent d'optimiser le travail en chantier. Les panneaux sont emballés et empilés selon une séquence coordonnée pour faciliter la construction sur place.
- Seuls les murs ont été préfabriqués en panneaux; il n'y a pas d'avantages à préfabriquer les autres composantes de la charpente de bois. Les murs demandent une gestion de l'usine simple et agile qui peut s'appliquer à plusieurs projets à la fois, alors que les planchers ou toitures demanderaient des installations beaucoup plus complexes.

Entrevue 5 – 29 janvier 2019

Monique Daviss, directrice de l'école El Sol Art Academy - «**We bought a mercedes but maybe we needed a minivan**»

- Pour cette cliente et pour l'école, l'image de la préfabrication et de Project FROG répond à leur souhait d'avoir un agrandissement qui traite des enjeux environnementaux, qui se construit rapidement et qui affiche des valeurs liées à l'innovation. C'est une juxtaposition parfaite entre une école et une entreprise progressistes.
- Project FROG est au centre d'un premier projet d'agrandissement pour remplacer des classes mobiles installées sur place. Une sorte de Design-Build basé sur les composantes offertes dans le kit de Projets FROG l'entreprise a agi comme concepteur et intégrateur entre le client, le constructeur et les architectes. Un nouveau joueur dans l'écosystème projet, un fabricant de kits spécifiques pour chaque projet.
- Basée sur les composantes de FROG, la flexibilité sur place n'est pas possible et la rigidité des contraintes au départ fait en sorte que le système est applicable efficacement à un seul type de bâtiment pour le moment.

Entrevue 6 – 29 janvier 2019

Rick Willison, vice-président de Project FROG, fabricant du projet El Sol Art Academy - «**prefab is definitely the future**»

- Le processus de Project Frog est basé sur un système de construction modulaire organisé par des trames structurales typiques, une charpente prédécoupée et des panneaux muraux livrés selon la conception spécifique d'un projet et installés très rapidement. L'assemblage réduit la quantité de main-d'oeuvre et le travail parallèle en usine et au chantier permet de gagner du temps sur l'échéancier traditionnel.
- L'entreprise développe présentement avec Autodesk un configurateur qui permet aux architectes et aux clients potentiels de planifier leurs propres kits pour des usages divers. Cette stratégie permet une relation directe entre les architectes et l'usine. La conception se fait avec des composantes déjà intégrées dans le processus de fabrication.
- Dans le contexte californien qui subit une pression importante pour les classes dans les écoles, l'entreprise a développé une classe préapprouvée par les municipalités et la commission scolaire ce qui dans certains cas a permis de réduire de six mois l'échéancier de la planification et de la construction d'un ajout à une école.

Entrevue 7 – 11 février 2019

Gabrielle Bonneville, directrice de projet Bonneville, projet Loggia Saint-Lambert
«Chaque module usiné s'installe en trente minutes»

- Étant le fabricant et le promoteur, la question habituelle de la compétitivité entre le modulaire et la construction traditionnelle a été évitée puisque le projet est une vitrine qui vise à montrer le potentiel du modulaire bois à être une solution à envisager aussi bien que le béton pour un bâtiment de six étages.
- La rapidité d'exécution est l'élément clé du projet. Chaque volume fabriqué dans l'usine de Bonneville a été livré sur place et installé en 30 minutes. Les modules sont presque entièrement finis à l'usine. La coordination des systèmes mécaniques est faite sur place selon des méthodes traditionnelles. Cette relation entre les tolérances de l'usine qui cohabitent avec un chantier qui a sa propre logique constructive apporte des défis de coordination entre le fabricant et les sous-traitants.
- La protection des modules sur place pour éviter leur dégradation avant leur mis en place est importante et impose une gestion efficace et une logistique de livraison. Dans le cas de Loggia Saint-Lambert, Bonneville a profité d'une zone non construite au chantier pour permettre la livraison de plusieurs modules à être installés le même jour. Une construction en zone urbaine imposerait certainement d'autres défis.

Entrevue 8 – 22 février 2019

Alexandre Blouin, architecte du projet Loggia Saint-Lambert - **«Avec l'écosystème de projet traditionnel, il est difficile de réaliser les avantages de la préfabrication»**

- Les imprécisions du chantier et les imprécisions à l'usine s'accumulent et ne sont pas admises au départ comme des enjeux ou des critères pour formuler des tolérances adéquates. Ces imprécisions accumulées des procédés de fabrication qui restent très manuels impliquent des ajustements au site qui peuvent ralentir le chantier et devenir les sujets de réclamations.
- Le fabricant agissant comme promoteur du projet facilite en quelques points la conception du projet puisque certaines contraintes de production sont connues au départ. Le procédé de Bonneville est optimisé en matière de finis et d'équipements ce qui facilite certains éléments à coordonner.
- Établir la responsabilité des éléments de branchement et de jonction et d'ajustement sur place est primordial pour un projet hybride usine et chantier. L'assemblage rapide des modules est certainement l'élément saillant du procédé, mais l'intégration du module usiné par les autres intervenants dans la construction globale est un point déficient qui doit être adressé par l'ensemble des intervenants du projet.

Entrevue 9: 27 février 2019

Tom Frantzen, architecte / promoteur projet Patch22 **«Architecture is about construction and financing, architects should concern themselves with financing to optimize the entire process»**

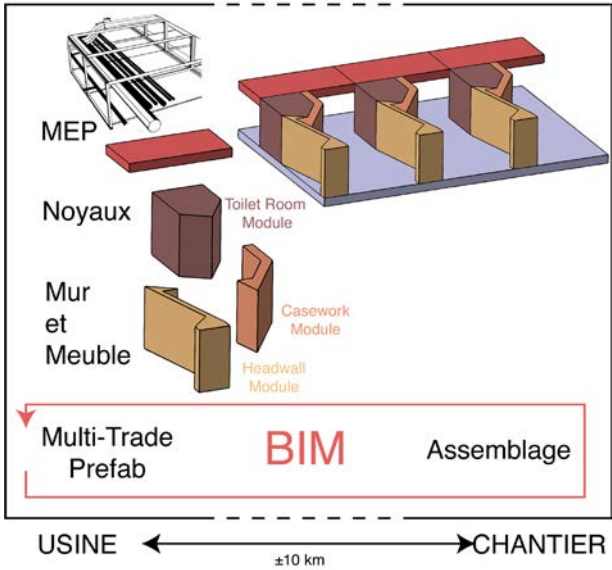
- Le projet propose un écosystème de projet qui assure une cohérence entre le financement, la conception et la construction. Ce projet est une version Design-Build qui fait de l'architecte, le promoteur et le constructeur, une équipe qui oeuvre à chaque moment du projet pour son optimisation. C'est ce processus construit par les architectes qui constitue l'innovation du projet.
- Le projet s'est fait sur un mode de conception sans utilisation d'outils BIM, mais chaque choix a fait l'objet d'une analyse de la valeur selon des critères qui visent la plus grande soutenabilité du projet.
- Le projet est basé sur les principes de la théorie de l'open building qui organise toutes les composantes de la construction pour faciliter son adaptabilité future. Dans le cas du projet Patch 22 ça se traduit par une planification qui permet aux usagers de construire leurs propres aménagements et de modifier dans le temps la grandeur et la configuration de leurs appartements. Le plancher technique SLIMline permet d'organiser les systèmes mécaniques pour répondre à ces transformations.



2.3 – Miami Valley Hospital

«Prefabricate everything that you can except where it doesn't make sense, like for example a conference room ceiling»

- Marty Corrado 21 janvier 2019 entrevue



▲ Schéma d'analyse
Référence Pre[fabri]cations

Informations générales	Localisation du projet	Dayton, Ohio, États-Unis
	Année de construction	2010
	Superficie	45 000 m2, 12 étages, 178 chambres
	Fonction / Programme	Hopital
	Type de construction	Rénovation et agrandissement du bâtiment
	Coût du projet	137 millions US\$
	Coût de la construction	-
	Stratégies de construction préfabriquée	préfabrication «multi-métiers» («multi-trade prefabrication», avec location d'une usine près du chantier
Intervenants	Propriétaire	Premier Health Partners
	Gestion de projet	Skanska Shook
	Architectes	NBBJ
	Ingénieurs structure	Shell + Meyer Associates
	Ingénieurs mécanique	Korda / Nemeth engineering
	Fabricant des éléments préfabriqués	Full Stack Modular
	Constructeur	Skanska USA

Contexte



▲ Référence NBBJ

La construction dans le secteur hospitalier est particulièrement complexe. Le nombre d'intervenants spécialisés qui contribuent à organiser des critères de conception et de construction est important et augmente le risque lié aux enjeux de coordination et d'harmonisation des systèmes.

Le Miami Valley Hospital est situé à Dayton aux États-Unis. Il fait partie de l'organisme de santé Premier Health Partners établi dans l'état du Ohio.

Le Miami Valley Hospital Southeast Addition est un bâtiment conçu pour servir de centre cardiaque au centre hospitalier qui comprend notamment un service d'urgence et de traumatologie. Cette extension qui est reliée à l'autre bâtiment par une passerelle piétonne comprenant notamment des services d'imagerie et de tests cardiaques, des laboratoires de cathétérisme cardiaque et des salles de chirurgie cardiaque. La construction dans le secteur hospitalier est particulièrement complexe. Le nombre d'intervenants spécialisés

qui contribuent à organiser des critères de conception et de construction est important et augmente le risque lié aux enjeux de coordination et d'harmonisation des systèmes. Dans le cas précis d'agrandissement pour le Miami Valley Hospital une démarche proposée par le constructeur Skanska a facilité une synergie au niveau de la construction.

La relation entre la conception, la fabrication et la construction a été facilitée par l'utilisation de la modélisation des données du bâtiment (BIM) afin de construire virtuellement les composantes du bâtiment.

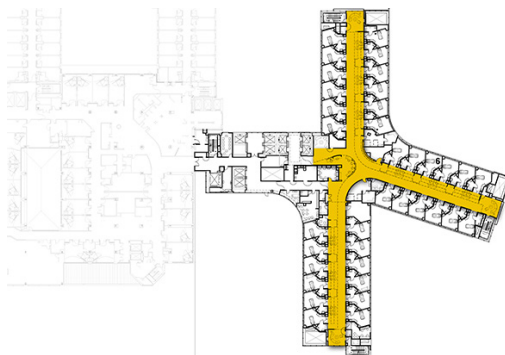
Description

Ouvert en 2010 l'agrandissement de 484 000 pieds carrés (environ 45 000 m²), le projet est une véritable vitrine de stratégies innovantes en construction.

Ce centre cardiaque de 12 étages fournit 178 chambres, et permettra l'ajout futur de 72 chambres supplémentaires, pour les patients par rapport à l'ancien centre. Ce bâtiment dispose d'un nouveau hall d'entrée pour les patients et les visiteurs, de deux niveaux de stationnement souterrain et d'un quai de chargement. Le projet conçu par les architectes NBBJ et construit par le consortium Skanska et Shook Construction, intègre une volonté d'adaptabilité future. Les mobiliers habituellement fixes ont été conçus pour être déconstruits et reconstruits, avec une approche «design for disassembly». Le plan plié recouvert d'un mur rideau simple et modulaire donne au bâtiment une esthétique manifestement moderne.

Objectifs du projet

Afin de répondre à la demande croissante, ce projet planifié selon un mode d'octroi de contrat traditionnel par le Miami Valley Hospital et le Premier Health Partners visait à faire la démonstration des potentielles d'innovation en matière de construction dans le secteur hospitalier. En plus des stratégies de conception et de construction qui seront discutées dans cette étude de cas, un des objectifs étaient d'introduire des espaces verts et des jardins accessibles en relation étroite avec l'aménagement d'un nouvel espace d'entrée. La transformation devait redéfinir l'expérience du patient, adopterait des méthodes de soins avancées et positionnerait l'hôpital comme un repère accessible et engageant de la communauté.



▲ Référence NBBJ



▲ Référence NBBJ



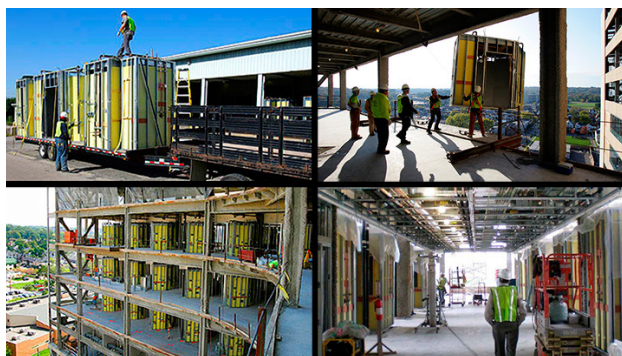
▲ Référence NBBJ

Systèmes du bâtiment

Fondation	Fondation en béton armé
Structure	Une structure squelette en acier de type poutre et colonnes, les planchers sont en béton armé coulé sur place dans un platelage d'acier. Les casiers/étagères mécaniques sont utilisés comme contreventements. (À étudier)
Enveloppe	Les fenêtres des chambres forment un des aspects les plus importants pour le confort. En effet les fenêtres vont d'un mur à l'autre et du sol au plafond permettant un ensoleillement maximum et offrant une vue / relation avec l'extérieur.
Circulation	Le bâtiment a été conçu dans une optique de faciliter la circulation des visiteurs (nouveau hall d'entrée avec cafétéria, entrée et sortie dédiée, protocole de circulation) et du personnel (entrée et sortie réservée, quai de chargement). La cour centrale précédemment existante a été transformée en parc.
Systèmes intérieurs	178 chambres, chacune réalisée avec 3 modules • Toilet Room – module de salle de bain • Casework Module – module mobilier • Headwall Module : 10ft x 12ft – module mur mitoyen (tête de lit)



▲ Référence NBBJ



▲ Référence NBBJ

Mode de réalisation

Un mode de réalisation conventionnelle de type Design – Bid – Build, la proposition de Skanska a été retenue à la fois pour sa compétitivité en matière de prix, mais également pour la qualité de l'équipe. C'est une soumission à fois quantitative et qualitative sans l'obligation de choisir le plus bas soumissionnaire. Basé sur une relation symbiotique qui met le modèle BIM au centre du flux d'information entre les différents intervenants, le constructeur et les concepteurs ont réalisés ensemble des optimisations. Un des éléments principaux du mode de réalisation est l'utilisation d'une préfabrication qui inclut l'ensemble des intervenants. Le «Multi-trade prefabrication» admet une nécessaire collaboration et impose au constructeur la définition précise des zones grises et la responsabilité de chaque entreprise vis-à-vis ces zones grises. Comme exemple, le transport et levage des «pods» a été ajouté au contrat du sous-traitant en systèmes intérieurs. Cette approche est uniquement possible si l'entrepreneur général agit comme coordonnateur et non uniquement comme gestionnaire de différents lots.

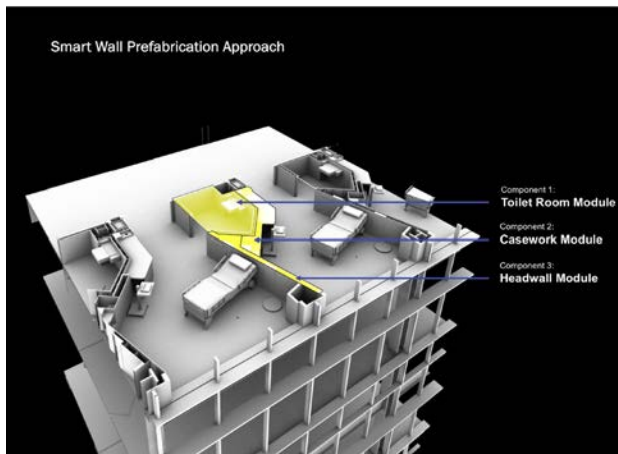
Processus de conception

Utilisé comme outil d'intégration le modèle BIM a permis un processus transparent entre les premiers instants de la conception jusqu'à la formulation des essais grands formats de certaines installations. Les architectes ont puisé dans des typologies autres que le domaine hospitalier afin de produire un plan modulaire et adaptable. L'archétype du bâtiment de grande hauteur de type bureau a été une référence pour produire une relation visuelle constante entre l'intérieur et l'extérieur. En matière d'innovation dans la conception même durant le chantier, l'usine située à quelques kilomètres du chantier a été transformée en territoire d'essai avec des maquettes grandeur nature simulées en utilisation réelle par du personnel pour co-concevoir la chambre et valider les bons usages, dimensions et l'ergonomie.

Stratégies de préfabrication employées

Utilisant une ancienne usine de fabrication de meuble dans un périmètre réduit autour du chantier (5 kilomètres), les différentes composantes modélisées par les architectes ont été assemblées à l'intérieur pour être livrées et installées au chantier. En plus des «pods» de toilettes le projet fait l'utilisation;

- D'un mur rideau unitaire (modulaire) préfabriqué en grandes sections par le fabricant pour faciliter la construction.
- Des casiers / étagères mécaniques («racks») entièrement coordonnés en usine
- Un pont d'accès démontable temporaire pour réduire les impacts sur les opérations durant le chantier.



▲ Référence Fig. Fishking_Integrating BIM and Prefabrication Presentation.pdf (p.65)

Stratégie principale

Le BIM comme outil de conception a permis aux architectes de développer et d'ajuster en temps réel les conditions de construction à l'usine. La chambre du patient est un jeu de 4 composants pré-assemblés en usine et réunis sur place pour former un mur mitoyen servant (mécanique) entre les différentes chambres. Le «pod» module salle de bain, le mur «tête de lit», la paroi mobilier et le casier / étagère mécanique forment l'espace et l'utilité de la chambre.

Les architectes ont conçu les murs et les noyaux utilitaires pour qu'ils correspondent aux exigences contextuelles au lieu d'utiliser les dimensions des modules existants. Chaque composante est «fabriquée sur mesure». La modélisation et les maquettes ont été essentielles pour développer des pièces préfabriquées totalement personnalisées. Les modules fabriqués en usine sont plus que des composants volumétriques. Chaque mur et salle de bain a été testé en usine sur des maquettes échelle 1 :1 pour assurer leur bon fonctionnement dans ce casse-tête géant.

Le «near site prefabrication» et le «multi trade prefabrication» implique un travail de conception accrue en amont du chantier, et implique également une nécessaire collaboration serrée entre les différents intervenants. Skanska dans ce cas agit comme joueur primordial dans la définition des rôles de chacune des parties prenantes en matière de responsabilité.

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

La possibilité de voir le développement et de tester certaines composantes avant leur utilisation à grande échelle est certainement un avantage pour la qualité de réalisation du projet. S'assurer de l'ergonomie et du confort des installations et d'un travail conforme aux critères de conception a un impact positif sur la réceptivité de la préfabrication. L'utilisation du BIM et le contrôle de qualité en usine permet également une plus grande précision et réduit les ajustements nécessaires sur place ce qui se traduit par un produit d'une plus grande qualité.

Impacts sur le budget

Selon l'architecte NBBJ en matière de coût, la stratégie de préfabrication qui représente 11% des coûts total de construction permet a permis de réaliser des économies d'environ 2%. D'autre part, l'utilisation d'une passerelle temporaire en préfabriquée (type passerelle d'aéroport) a fait économiser 1 million US\$.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

Bien qu'un fort scepticisme se faisait ressentir au début du projet quant à l'intégration d'une aussi forte part d'élément préfabriqué pour une infrastructure aussi complexe qu'un hôpital, tout s'est déroulé comme prévu. Ainsi la complexité d'un système ne vient pas contraindre la construction préfabriquée tant qu'il y a un schéma répétitif.

Impacts sur la durabilité du projet

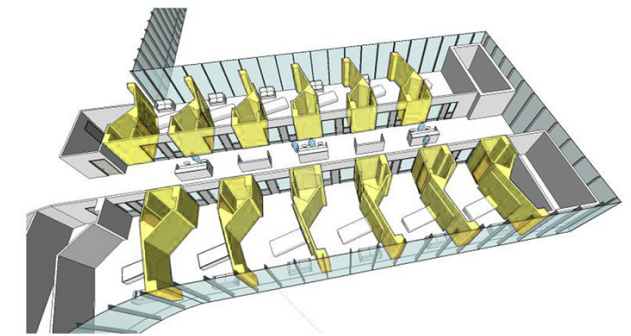
Le bâtiment et son système constructif sont conçus sur une trame modulaire qui entrevoit la possibilité de changer les aménagements dans le temps. Le domaine hospitalier est en constante mutation et les architectes ont conçu le plan de l'agrandissement comme une immense structure «loft» qui peut facilement suivre l'évolution des besoins. Le mobilier intégré, les modules meubles, salles de bain et les murs mécaniques ont été également conçus avec une approche modulaire qui permettrait leur remplacement facile.

Impacts environnementaux

La réduction des déchets, du coût environnemental lié au transport et la réduction du gaspillage au chantier sont les éléments forts du projet en matière d'empreinte environnementale. Le coût de traitement des déchets n'a été que de 91kUS\$ qui est relativement faible à la vue de l'ampleur du projet. Réduire de plusieurs centaines de travailleurs, a un impact important sur le coût environnemental quotidien lié au transport des travailleurs de la maison au chantier. Cette réduction, quoique non chiffrée précisément, a été relevée comme un impact très bénéfique. La simplification de la gestion du chantier permet aussi d'éviter les gaspillages au chantier qui occasionnent pertes de temps et de matériaux souvent négligées dans le coût environnemental de la construction traditionnelle.

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

Pour ce qui est des conditions de travail, on peut noter une réduction du nombre d'employés nécessaires à la réalisation de ce chantier passant d'environ 600 pour un chantier conventionnel à 200. Cependant l'hypothèse de perte d'emploi peut être nuancée par la difficulté à trouver de la main-d'œuvre dans le secteur de la construction. Finalement nous pouvons noter qu'il n'y a eu aucune blessure et que les conditions de travail se sont améliorées dû notamment à l'assemblage en usine.



▲ Référence NBBJ

Éléments à retenir

Les 5 leçons du constructeur

1. Recherchez plus d'options disponibles sur le marché : si vous ne trouvez pas ce que vous cherchez sur le marché, demandez au fabricant de le construire.
2. S'efforcer de produire en juste à temps : pour réduire les coûts, il est nécessaire d'optimiser la taille de stockage du lieu de préfabrication et de le gérer en synchronisation avec le calendrier d'implantation sur le chantier
3. Tendrez à des modules préfabriqués davantage finis : en plus des pièces élémentaires, le module peut inclure plus de meubles finaux.
4. Appliquer la préfabrication à des composants plus complexes.
5. Envisager l'utilisation du préfabriqué dans les projets de rénovation : commencer la préfabrication avant la démolition permet d'être prêt dès que la démolition est terminée. Il permet de minimiser les perturbations et de réaliser des gains d'efficacité.

Les 6 règles d'utilisation de la préfabrication

(selon Building Team members <https://www.bdcnetwork.com/prefab-trailblazer>)

1. La préfabrication doit servir la conception et non l'inverse.
2. Engager les principaux sous-traitants et fournisseurs dès le début du processus de conception.
3. Sans BIM il est presque impossible d'utiliser la préfabrication.
4. Construire une maquette, et la tester sur les occupants et les utilisateurs finaux.
5. Employer la livraison en juste à temps des modules pour éviter l'encombrement sur le chantier.
6. Assurez-vous que les modules préfabriqués peuvent être livrés sur des camions conventionnels ou l'équivalent. Une erreur de calcul pourrait s'avérer très coûteuse.

Pour en savoir plus

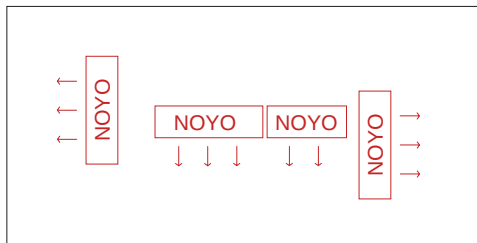
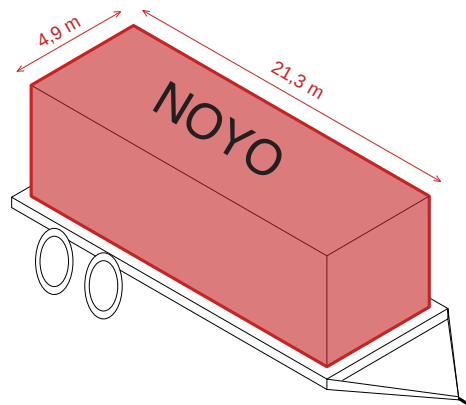
- NBBJ (2010), Lean, Green Caring Machine. Tiré de <http://www.nbbj.com/work/miami-valley-hospital-heart-and-orthopedic-center/>
- Peter Fabris (2010), Prefab Trailblazer, Building Design + Construction. Tiré de <https://www.bdcnetwork.com/prefab-trailblazer>



2.4 – Résidence Hetherington

«le principe NOYO permet aussi d'éviter la confusion au niveau de la responsabilité des sous-traitants et de l'entrepreneur, étant donné que tout est déjà en place dans les modules »

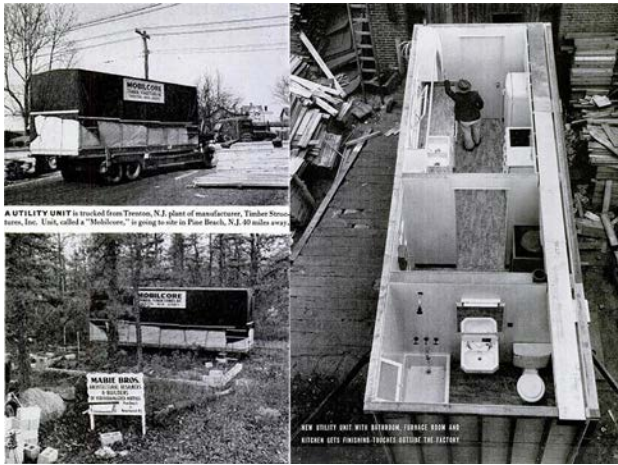
- Serge Côté, le fabricant du Noyo, Lors d'une conférence donnée le 9 novembre 2012



Informations générales	Localisation du projet	Malartric, Canada
	Année de construction	2013
	Superficie	1319 m2 - nouvel immeuble de 12 logements
	Fonction / Programme	Résidentiel
	Type de construction	Rénovation (6 immeubles) + agrandissement
	Coût du projet	2 988 000\$
	Coût de la construction	2 880 126\$
	Stratégies de construction préfabriquée	NOYO (noyau technique)

Intervenants	Propriétaire	Les Immeubles Roc d'Or (OBNL)
	Gestion de projet	GRT- Abitibi-Témiscamingue-Ungava
	Architectes	Trame Architecture + Paysage
	Ingénieurs structure	Innovex Consultants
	Ingénieurs mécanique	Innovex Consultants
	Fabricant des éléments préfabriqués	Mobilfab
	Constructeur	Constructions Pépin & Fortin

Contexte



▲ Le Mobilcore
Référence : laboratoire pre[FABRICA]tions

Le projet de la résidence Hetherington se situe à Malartic, dans la région administrative de l'Abitibi-Témiscamingue. Cette région de l'Ouest du Québec tient principalement son activité économique de l'exploitation forestière, mais aussi à la présence d'activités minières. À Malartic, la ville est particulièrement liée à l'exploitation de la plus grande mine d'or à ciel ouvert du Canada.

Trame Architecture + Paysage, l'agence d'architecture qui a conçu la résidence Hetherington, concentre son terrain d'activité dans les régions de l'ouest et du nord québécois. La réalisation de nombreux projets, dont plus de mille unités d'habitations dans ce contexte nordique, leur permet de prétendre à une certaine expertise dans le domaine des logements abordables. Par ailleurs, leur aisance avec les différentes normes et codes de la construction les a menés à vouloir expérimenter pour ce projet un nouvel outil étudié ici : le Noyo. La mise en marché de ce produit par l'entreprise montréalaise Mobilifab a été appuyée par le programme d'appui au développement de l'industrie québécoise de l'habitation de la

Société d'Habitation du Québec (SHQ). Il s'agissait pour l'entreprise d'une façon de rediriger un processus de préfabrication principalement lié aux roulottes de chantier, vers la production d'unités qui regroupent les éléments techniques des habitations respectant les normes du programme AccèsLogis Québec.

Le concept de préfabrication de modules et noyaux de services pour simplifier la coordination sur le chantier remonte au début du vingtième siècle avec la salle de bain de Richard Buckminster Fuller en 1913. Dans le même esprit, le Mobilcore proposé en 1950 par l'entreprise Timber Structures du New Jersey représente l'emblème d'une réflexion synergique entre la construction traditionnelle, un volume usiné, et l'industrie américaine de la maison mobile. La relation entre le Mobilcore et le Noyo de Mobilifab, conçu à deux époques et dans deux contextes géographiques complètement différents, symbolise la traduction industrielle de l'axiome moderniste des espaces servis et servants.

Il s'agissait pour l'entreprise d'une façon de rediriger un processus de préfabrication principalement lié aux roulottes de chantier, vers la production d'unités qui regroupent les éléments techniques des habitations respectant les normes du programme Accès-Logis.

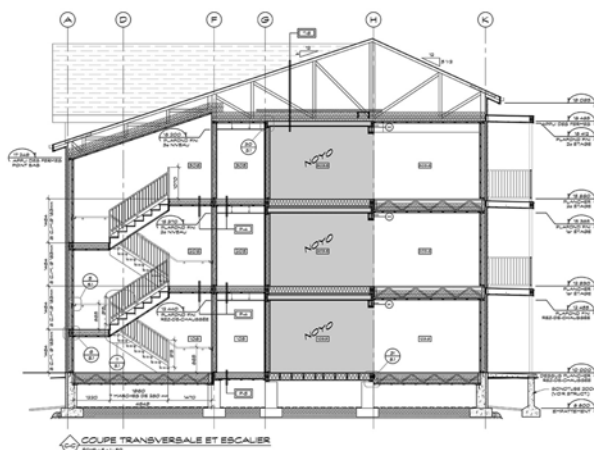
Description

Le projet de la résidence Hetherington se divise en deux mandats : la construction d'un immeuble de douze logements, et la rénovation de six immeubles de quatre logements. La présente étude se concentre sur le premier mandat de la nouvelle construction qui a été livrée en 2014. La principale caractéristique de cette construction est qu'il s'agit d'une construction de type hybride, qui allie à la fois construction traditionnelle et construction modulaire usinée. Ce projet résulte d'une association entre deux firmes : Trame et Mobilfab, à l'origine de l'élément modulaire étudié ici (le Noyo). Trame a été responsable du projet pour la conception et la construction et Mobilfab a conçu, fabriqué et fourni le module de services techniques : le Noyo.

La réduction potentielle de la durée de construction dans un contexte nordique, de la quantité de main-d'œuvre qualifiée et des coûts de construction a encouragé la curiosité des architectes pour

expérimenter ce nouveau mode de construction. L'intégration du Noyo dans le projet a été prise en compte dès les premières étapes de conception du projet. Le noyau de services est structuré par les dimensions de transport d'une roulotte de chantier; des dimensions précises à considérer dès le début de la conception.

Le bâtiment de la résidence Hetherington propose donc au total douze logements répartis sur trois étages. Chaque étage comporte un appartement d'une, deux, trois ou quatre chambres, accessibles aux personnes à mobilité réduite. Chaque appartement intègre un Noyo, qui correspond aux pièces qui nécessitent une arrivée d'eau ou qui présentent une complexité de coordination (espaces servants : cuisine, salle de bain, buanderie, et espaces mécaniques). Les noyaux de services sont empilés verticalement et la construction adjacente est un système conventionnel en bois léger.

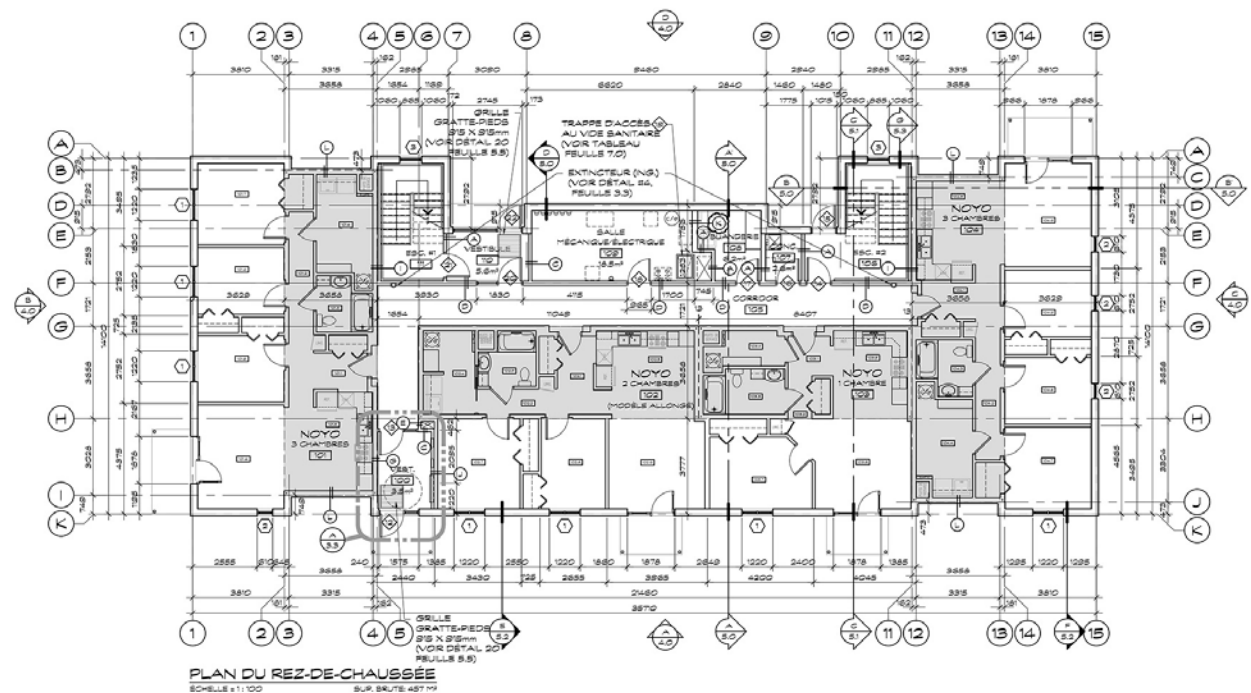


▲ Coupe transversale
Référence : Denis Fortier

Objectifs du projet

Pour les architectes de Trame et pour le fabricant des modules Mobilfab, l'objectif était de faire la démonstration d'un nouveau produit qui pourrait faciliter la conception et la construction de logements abordables. Dans sa description, ce programme « vise à favoriser la réalisation de logements sociaux et communautaires pour les ménages à revenu faible ou modeste, ou encore pour des clientèles qui ont des besoins particuliers en habitation ».

Les normes fonctionnelles et techniques de ce programme de logements accessibles Accès-Logis sont relativement strictes et ne permettent pas une modification substantielle de projet en projet. Mobilfab souhaitait par la production d'un élément usiné facilement transportable qui intègre dès le départ les données du programme, rendre la construction plus simple, plus rapide et moins coûteuse. À terme, le Noyo aurait pu être produit par plusieurs manufacturiers du Québec produisant déjà des modules habitables ou pour d'autres usages (roulottes, maisons mobiles, roulottes de chantiers, etc.).



▲ Plan du rez-de-chaussée
Référence : Denis Fortier

Systèmes du bâtiment

Fondation	Fondation superficielle sur semelle isolée // l'utilisation du Noyo impose la construction d'un espace de service sous le Rez-de-chaussée pour le passage des éléments techniques ce qui rehausse le niveau par rapport au sol. La construction traditionnelle se fait sur une dalle de béton sur sol. Ce défi d'un vide technique implique une augmentation des coûts de construction.
Enveloppe	Structure classique à ossature de bois à plateforme ancré à des murs de fondation en béton armé.
Structure	La structure des murs extérieurs et intérieurs porteurs est réalisée avec des «panneaux sandwichs» comprenant un coeur en colombages de bois, recouvert d'un panneau de revêtement intermédiaire, et d'un isolant à l'extérieur. Un pare-vapeur et un isolant en fibre de verre, installés sur place complètent l'enveloppe climatique. Un parement en bois massif est ajouté à l'extérieur et deux panneaux de gypse coupe-feu complètent le mur à l'intérieur.
Circulation	La disposition des appartements est en U (deux appartements aux extrémités, deux appartements dans la longueur, ce qui crée un espace de circulation commune au centre.
Systèmes intérieurs	Le module du Noyo conditionne la longueur des appartements qui se déploient en parallèle du module.

Mode de réalisation

Un groupe de ressources techniques a accompagné l'organisme communautaire dans le développement du projet. C'est le GRT-ATU (Groupe de Ressources techniques de l'Abitibi-Témiscamingue-Ungava) qui a ici participé à l'organisation du projet et des échanges entre les différents acteurs.

Mandaté pour la conception de ce projet par la firme Trame Architecture + Paysage, Denis Fortier, architecte, était responsable de la conception, de l'administration du contrat et de la surveillance de chantier. D'abord par curiosité pour cet élément entièrement préfabriqué, il a choisi d'intégrer le principe du Noyo, et a sollicité Serge Côté, de la compagnie Mobilfab, qui fabrique ce produit.

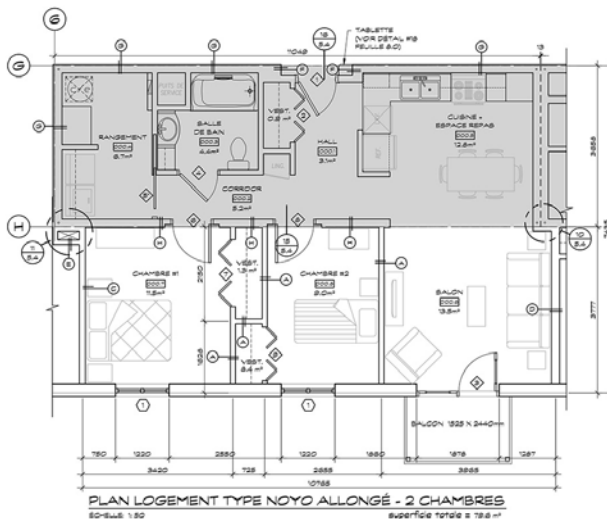
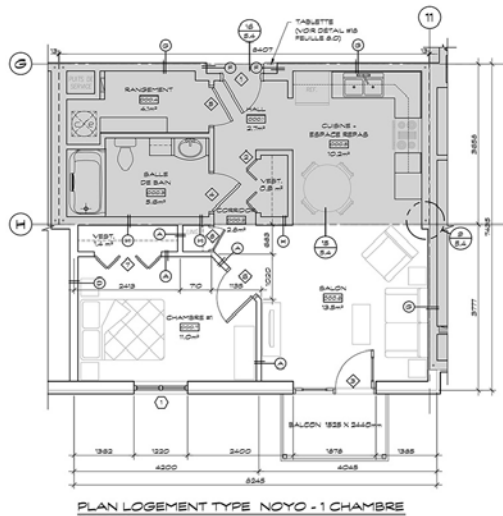
Effectués dans un mode de réalisation traditionnelle (conception - soumission - construction / design-bid-build), les architectes de Trame ont collaboré avec Mobilfab pour rédiger les spécifications et devis pour le Noyo. Seul fabricant en mesure de répondre à ces spécifications, les modules Noyo ont été intégrés par le constructeur dans un contrat global de construction, comme tout autre produit manufacturé. C'est cette frontière floue entre producteur et constructeur qui se révèle être un des désavantages de cette méthode de spécification puisque la responsabilité de la bonne intégration du Noyo n'est pas partagée entre l'usine de production et le chantier.

Processus de conception

Le processus de conception s'est étalé sur six mois entre janvier et juin 2012 pour les premiers concepts du projet. Les plans préliminaires ont été réalisés à l'automne de la même année, et les plans définitifs ont été soumis en mai 2013 pour répondre à l'appel d'offres.

Le contexte lié à la construction d'habitations subventionnées, et l'intégration d'un module entièrement préfabriqué ont été les principaux critères de conception :

- Les normes liées à la construction de logements subventionnés sont établies au niveau des superficies, et du choix des matériaux.
- Le choix d'intégrer le Noyo (qui respecte ces normes) est devenu un élément contraignant supplémentaire puisqu'il s'agit d'un élément fixe à prendre en compte dans l'élaboration du concept d'aménagement.
- Les dimensions de transport sont les critères déterminants pour l'aménagement général.
- Les relations contractuelles entre la construction usinée et construction conventionnelle doivent être clarifiées au début du projet. Les tolérances parfois divergentes entre les deux stratégies doivent également être mieux citées et connues au départ d'un projet.



▲ Plan de logement type
Référence Denis Fortier

Stratégies de préfabrication employées

La construction de ce projet est de type hybride, c'est-à-dire qu'elle inclut à la fois des éléments constructifs traditionnels réalisés sur place (en particulier les planchers, les branchements mécaniques, et les finitions) et des éléments préfabriqués hors du site du chantier. Dans le projet, le Noyo n'est pas l'unique élément préfabriqué, des panneaux de murs préfabriqués par une entreprise locale ont été également utilisés.

De plus en plus intégrée dans la construction en bois léger, la préfabrication des murs de structure et d'enveloppe permet une très grande rapidité d'exécution et réduit les pertes sur le chantier. Cette stratégie simple augmente également la précision puisque les panneaux sont généralement construits à hauteur d'homme, et selon des gabarits de mesures. Les panneaux sont livrés à plat et selon une séquence d'assemblage qui optimise la construction. Même si la construction du NOYO est optimisée en usine, la coordination avec les autres systèmes construits sur place demeure un défi. Les branchements, les tolérances, et le mouvement différentiel entre les systèmes peuvent causer des ennuis au chantier et des conflits administratifs.

Stratégie principale

Le Noyo est un bloc entièrement préfabriqué qui comprend les pièces d'eau et les éléments mécaniques de l'habitation. Dans tous les logements, ces pièces correspondent à la cuisine, la salle de bain et la buanderie. Le principe du Noyo est donc de regrouper ces installations au sein d'un même élément préfabriqué hors du chantier. Mobilfab, à l'origine de la conception et de la fabrication du Noyo, s'est donc associé avec des architectes pour concevoir le module du Noyo, selon les normes de superficie et d'accessibilité en vigueur au Québec. Construit avec ou sans châssis de transport selon les besoins, le Noyo utilise les mêmes installations en usine que celles utilisées pour construire les roulottes de chantier modulaires.

Le Noyo propose d'aligner dans la longueur les trois espaces de la cuisine, de la salle de bain et de la buanderie. La longueur du Noyo, (et ainsi la taille des différentes pièces) varie selon la taille de l'appartement désirée (une, deux ou trois chambres à coucher). En revanche la largeur du Noyo (et donc des pièces de la cuisine, salle de bain et buanderie) reste fixe et correspond à la largeur maximale pour le transport en camion.



▲ Photo du chantier
Référence Denis Fortier



▲ Photo du chantier, jonction du Noyo avec le reste de l'appartement
Référence Denis Fortier

Impact de la stratégie sur le projet

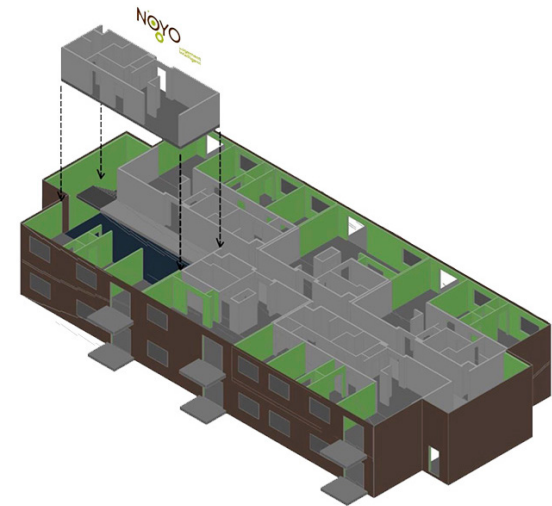


▲ Photo de chantier présentant les murs préfabriqués utilisés pour la construction.
Référence Denis Fortier



▲ Photo du chantier
Référence Denis Fortier

Les chambres et espaces de vie se déploient ensuite selon la volonté de l'architecte. Dans le cas de la résidence Hetherington, les chambres et le salon sont disposés parallèlement à l'axe du Noyo. La cuisine communique avec le salon, les chambres sont desservies par un couloir intégré déjà dans le Noyo. Dans ce projet, le plan est rectangulaire, à l'image de la forme générale du Noyo. Les chambres et le salon sont déployés comme une extrusion parallèle au Noyo. À chaque étage, on compte quatre logements. Deux logements de trois chambres (les plus grands) sont disposés aux extrémités de manière perpendiculaire à l'axe du bâtiment. Le logement d'une chambre, et celui de deux chambres sont quant eux alignés dans la longueur. (cf plan)



▲ Modélisation 3D de l'intégration du module Noyo dans la construction traditionnelle
Référence Denis Fortier / Mobilfab

Cette disposition «en U» laisse la place à une circulation intérieure des parties communes du bâtiment (corridor et escaliers et issues de secours) ainsi qu'à une salle mécanique. Les étages se répètent quasiment à l'identique. En coupe, le Noyo est très facilement perceptible puisqu'il correspond à un axe de superposition des éléments reliés au réseau d'eau.

La construction du Noyo est réalisée en bois léger : les colombages sont porteurs, les solives de planchers et de plafond forment le prisme à base rectangulaire. Les coins, et certaines parties des parois peuvent être renforcés selon le besoin de la structure. Les modules du bas supportant les modules du haut ne sont donc pas nécessairement identiques d'un point de vue de la structure.

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

le Noyo concentre les équipements techniques, ce qui offre une liberté autour de ce noyau. Dans la pratique, du fait de la disposition en longueur, le Noyo ne semble pas permettre une si grande liberté, car il implique un déploiement des chambres et du salon d'un seul côté, en parallèle. Peut-être que si le Noyo était conçu de manière plus compacte, en carré (plus à l'image d'un noyau d'ailleurs) la disposition des autres pièces pourrait se faire de manière plus variée. Mais cette supposition implique d'autres complications au niveau du transport du module.

Impacts sur le budget

Denis Fortier, l'architecte et chargé de projet ne relève pas d'économie majeure réalisée (il y eu un certain dépassement de coût non confirmé par les intervenants consultés). En revanche, il reconnaît une efficacité dans la mise en place de ces modules, qui ont permis de respecter les délais.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

La principale difficulté dans la mise en place du Noyo identifiée par Denis Fortier est la jonction entre le Noyo et le reste de la structure. Cela crée un décalage variable entre les différentes pièces de l'habitation, et les joints ne suffisent pas à résoudre cet écart. En principe, la possible normalisation en usine et l'acceptation par un organisme de certification des modules avant leur sortie de l'usine devrait permettre un contrôle de qualité avant de découvrir des erreurs ou omissions sur place. Un des grands enjeux de ce type de construction et la protection des modules au chantier pour empêcher la dégradation matérielle avant leur mise en place. La certification faite en usine ne considère pas les dégradations potentielles au chantier.

Impacts sur la durabilité

Dans le cas présent, le mouvement différentiel entre la construction usinée et la construction sur place semble déjà avoir causé des problèmes de fissuration dans les finis de plancher. La poursuite dans le temps de ce genre de mouvement peut entraîner des dommages récurrents et un travail important d'entretien et de maintien du bâtiment.

Impacts environnementaux

Selon Mobilfab, le Noyo peut contribuer à certains points de la certification LEED. Ces points de bâtiment durable, d'économie d'énergie et d'eau doivent cependant être considérés par l'ensemble de la stratégie constructive. Sur le chantier, Denis Fortier a identifié une forte baisse de la production de déchets, sans pouvoir livrer de chiffres précis. Il est également pertinent de souligner la distance de plus de 500 km entre l'usine et le chantier : il serait intéressant de comparer l'empreinte carbone d'une construction traditionnelle sur place, d'une production dans une usine près du chantier, et de ce projet. Le transport sur des longues distances implique aussi une capacité structurale renforcée et une certaine surutilisation de matière.

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

Serge Côté, inventeur du principe du Noyo, souligne une facilité de traitement dans la gestion du chantier et notamment « au niveau de la responsabilité des sous-traitants et de l'entrepreneur, étant donné que tout est déjà en place dans les modules, il suffit de s'y raccorder. » (conférence du 9 novembre 2012 à l'occasion du congrès de l'AFAT). Dans la pratique, Denis Fortier souligne que les constructeurs ne sont cependant pas familiers avec ce type d'élément préfabriqué encore peu répandu, ce qui entraîne un temps d'adaptation et des ajustements au niveau de la coordination au chantier..

Éléments à retenir

Le concept d'incorporer un élément entièrement préfabriqué qui intègre les éléments mécaniques et électriques des espaces intérieurs à raccorder au système d'eau apparaît comme une initiative innovante, audacieuse et réalisable facilement dans un contexte de logement abordable. Cependant, la réussite et la validation d'un tel concept semblent être contingentes à divers éléments indépendants et imprévisibles : la formation et l'ouverture de la main-d'œuvre sur le chantier à de tels changements dans leur pratique, le transport et le conditionnement de ces modules, la distance entre le chantier et le lieu de production et la zone grise qui détermine une responsabilité

limitée de l'entrepreneur et du producteur. En résumé, une seule expérience qui emploie cette stratégie du Noyo ne peut pas suffire à résoudre toutes les problématiques techniques dans un contexte de construction où la préfabrication est encore très marginale. Cependant, en se projetant dans une situation où l'aménagement du Noyo serait perfectionné, la main-d'œuvre mieux formée à son intégration, et la production possiblement délocalisée plus près du lieu du chantier, le concept d'un noyau préfabriqué s'avère prometteur quant aux enjeux techniques, mais détermine une architecture peu flexible et adaptable dans le temps.

Pour en savoir plus

- Association de la construction du Québec (2013), Construction d'un immeuble hybride de 12 logements à Malartic, ACQConstruire. Tiré de <https://www.acqconstruire.com/habitation/467-construction-immeuble-hybride-12-logements-malartic>
- Trame Architecture + Paysage, Mobilafab (2012), L'or de construire avec le «bois», noble ressource, Association Forestière de l'Abitibi-Témiscamingue. Tiré de https://www.afat.qc.ca/images/congres/2012/cotefortier_noyo.pdf



▲ Référence El Sol Science and Art Academy

2.5 – El-Sol Science and Arts Academy

“The reality of the building industry today is it’s facing unprecedented demand and scarcity of skilled labor,” said Drew Buechley, CEO of Project Frog. “In this climate, prefabrication is essential to delivering new buildings quickly and economically, while still offering a high degree of customization, competitive pricing and a quick turnaround.

- www.businesswire.com/news

Informations générales	Localisation du projet	Santa Ana, Californie
	Année de construction	2014
	Superficie	Campus Nord 1400 m2 / campus Sud 2800 m2
	Fonction / Programme	Scolaire (école publique)
	Type de construction	Construction neuve
	Coût du projet	\$18 million
	Coût de la construction	-
	Stratégies de construction préfabriquée	Éléments modulaires - Kit



▲ Vue modélisée des différents éléments du kit
Référence Project Frog

Intervenants	Propriétaire	El Sol Science and Arts Academy
	Gestion de projet	Bernard's
	Architectes	HMC Architects
	Ingénieurs structure	Project Frog/Tipping/KPFF
	Ingénieurs mécanique	TTG Engineers
	Fabricant des éléments préfabriqués	Project Frog
	Constructeur	Bernard's

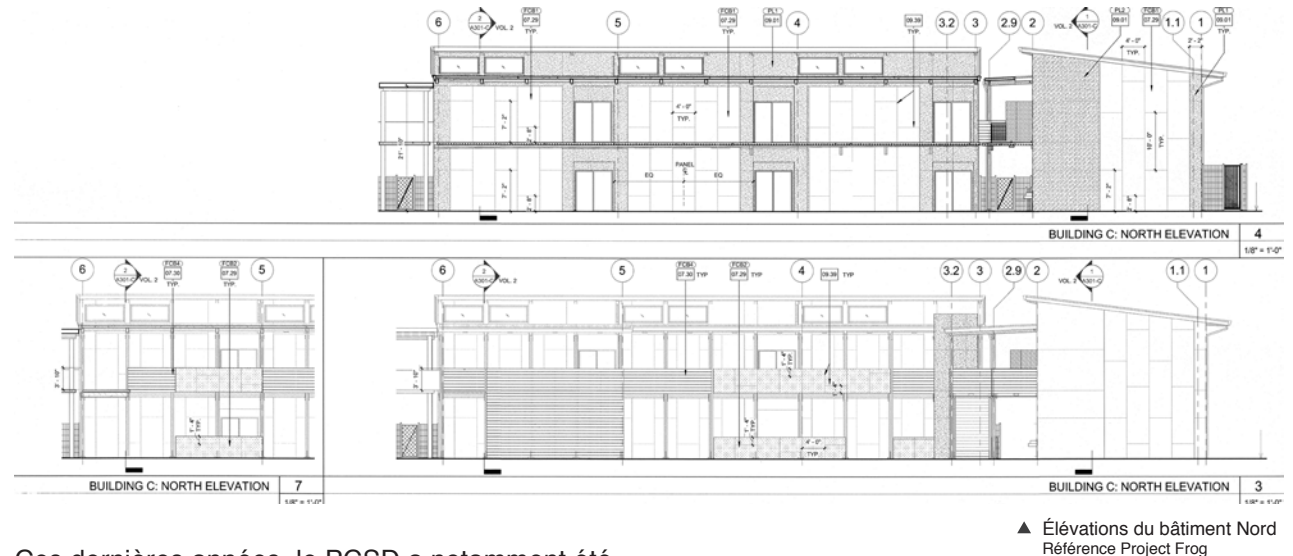
Contexte

El Sol Science and Arts Academy est une école publique bilingue (anglais et espagnol) située à Santa Ana, au sud de Los Angeles en Californie. L'école se distingue par son concept pédagogique original (dont les résultats sont sans appel) basé sur l'enseignement de disciplines qui relèvent de deux horizons différents : les sciences et les arts. Fondée en 2001, l'école accueillait à ses débuts cent dix élèves. Aujourd'hui, plus de mille sont inscrits, et c'est cette forte croissance qui a nécessité le développement d'un projet d'agrandissement qui s'est déroulé en plusieurs phases, suivant la croissance de l'école. Auparavant, l'école avait installé différentes unités mobiles préfabriquées pour répondre à ses besoins. Le projet d'agrandissement visait à offrir une solution permanente à cette situation de surpopulation. Le financement de ces différentes extensions a été rendu possible grâce à un programme de financement scolaire (Pacific Charter School Development (PCSD)) ainsi que par des dons perçus au travers d'une fondation.

Ces dernières années, le PCSD a notamment été sollicité par l'école pour deux phases d'extension :

- **phase 1** : construction de 12 nouvelles classes pour remplacer les «classes mobiles» (terminé en 2013) et construction d'un centre de santé communautaire (financé par des dons privés)
- **phase 2** : construction de 27 classes additionnelles, salle de bains, bureaux, salle polyvalente et aire de jeux extérieure (installation prévue pour l'année 2018-2019)

L'étude de cas porte sur la phase 2 du projet, qui a employé un «kit» préfabriqué fourni par l'entreprise californienne Projet Frog. L'utilisation de ce kit répond au critère de rapidité de construction, mais a aussi été l'occasion de tester le processus de l'entreprise qui vise un processus symbiotique entre la conception et la construction. Par ailleurs, ce concept novateur et ingénieux a relevé le défi de plaire aux différents acteurs de la fondation de l'école en proposant un projet qui symbolise l'innovation, un concept phare de l'école.



▲ Élévations du bâtiment Nord
Référence Project Frog

Description

Ajouté à un bâtiment historique victorien apprécié par la communauté locale la deuxième phase du projet comporte la construction de plusieurs nouveaux bâtiments et projette également l'extension du campus de l'école de l'autre côté de la rue, au nord de son emplacement actuel.

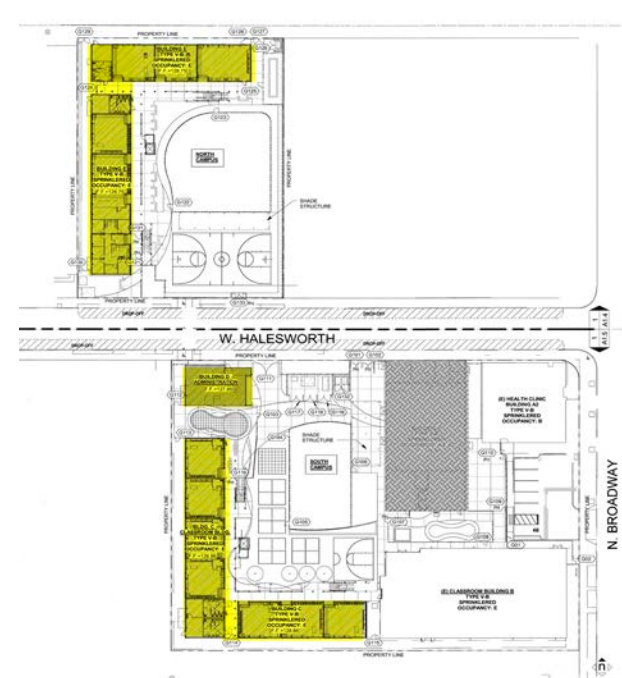
L'agrandissement du campus Sud consiste en la construction d'un bâtiment de deux étages d'une superficie de 15 000 pieds carrés. Le campus Nord implique la construction de deux bâtiments, le premier est de deux étages (15 000 pieds carrés), le second comporte un seul étage, pour une superficie inférieure de 1440 pieds carrés. La partie Sud a nécessité environ dix mois de construction, la partie Nord environ douze.

L'agrandissement de la phase 2 a été l'occasion de faire intervenir différents intervenants, à proportion similaire :

- le «Frog Kit», un concept de construction préfabriquée proposé par Project Frog pour une construction standardisée plus efficace ;
- des intervenants en construction traditionnelle (entrepreneur, architectes...) pour plus de flexibilité dans le développement du programme, les finitions, et les branchements des systèmes et de l'infrastructure.

L'intervention de Project FROG (Flexible Response to Ongoing Growth) est le point focal de l'étude. L'entreprise choisie par l'école fait la promotion de la construction en usine pour répondre à la fois à une demande précise et singulière en utilisant les avantages de la technologie actuelle en matière de conception et de fabrication. Établie en 2006, l'entreprise Project Frog propose un processus de modélisation comme fondement de la conception. Les différents composants du kit sont assimilables à une sorte de jeu de construction et c'est cette originalité qui constitue le modèle d'affaires proposé.

Dans le cas de l'agrandissement de l'école, le client a choisi project Frog pour agir comme un intervenant clé à différents niveaux du projet, de la conception à la fabrication et la livraison des composants modulaires. En plus des critères habituels (coût, échéancier, durabilité) l'école a également choisi de retenir un processus qui permettrait facilement des extensions ultérieures.



▲ Plan global du site, les bâtiments construits sont identifiés en jaune
Source : Project Frog

Objectifs du projet

Les objectifs du projet étaient de construire rapidement, pour répondre à des effectifs grandissants d'élèves inscrits à l'école et aux enjeux de la construction en contexte scolaire (saison de construction relativement courte). L'aménagement de l'école et des classes devait également répondre à des normes strictes et codifiées en matière de sécurité et d'accessibilité. L'un des enjeux était donc de répondre à ces exigences, tout en proposant un cadre scolaire agréable.

L'école a bénéficié d'un support du Pacific Charter School Development pour choisir le processus et les intervenants principaux du projet. Après une discussion avec différents architectes sur la conception potentielle de l'ajout, l'école a rencontré Project Frog dont les réalisations antérieures semblaient déjà répondre aux attentes de l'école. Trois critères avancés par Project Frog ont particulièrement été déterminants : conception facilitée, rapidité de construction et innovation de l'aménagement. Ces critères de départ ont permis de définir un devis de performance général pour le projet d'extension et Project Frog s'est par la suite entouré d'intervenants habituels (concepteurs et constructeurs). Frog agit ici comme un fournisseur de composants et integrateur des systèmes.



▲ Vue intérieure
Référence Project Frog



▲ Salle de classe type et espace de circulation
Référence Project Frog



▲ Couloir principal
Référence Project Frog

Systèmes du bâtiment

Fondation

Les fondations ne sont pas prises en comptes par le kit de Project Frog, mais comme il s'agit de constructions peu élevées (un ou deux étages), les fondations ne sont pas un enjeu majeur du projet.

Structure

Charpente en poutres de bois lamellé-collé, colonnes intégrées aux murs préfabriqués.

Enveloppe

Les murs extérieurs sont entièrement préfabriqués et livrés, prêts à être installés sur le chantier. Ils comportent une isolation acoustique et thermique, et une structure intégrée.

Circulation

Un couloir central distribue les différents espaces intérieurs.

Systèmes intérieurs

Les salles de classe disposent d'une grande fenestration, la structure de bois est apparente.

Mode de réalisation

Le projet s'est organisé selon un processus design-build dans lequel le fournisseur/fabricant (Project Frog) a joué un rôle prépondérant par rapport à un contexte de construction traditionnelle. Project Frog collabore avec le client et les architectes concepteurs pour répondre aux besoins spatiaux et fonctionnels. Il va même jusqu'à contraindre la conception avec son système modulaire dont les dimensions et composantes sont prédéterminées.

Consolidé par un processus BIM, Project Frog contrôle et coordonne les éléments du projet. Cette organisation qui place le fabricant au centre de l'écologie du projet n'est pas tout à fait habituelle. L'intégration du «Kit Frog» pour la construction implique une remise en question du schéma habituel qui implique le propriétaire donneur d'ouvrage, l'architecte et l'entrepreneur général. La présence de Project Frog, à l'origine du kit de construction utilisé ici, bouleverse cette structure,

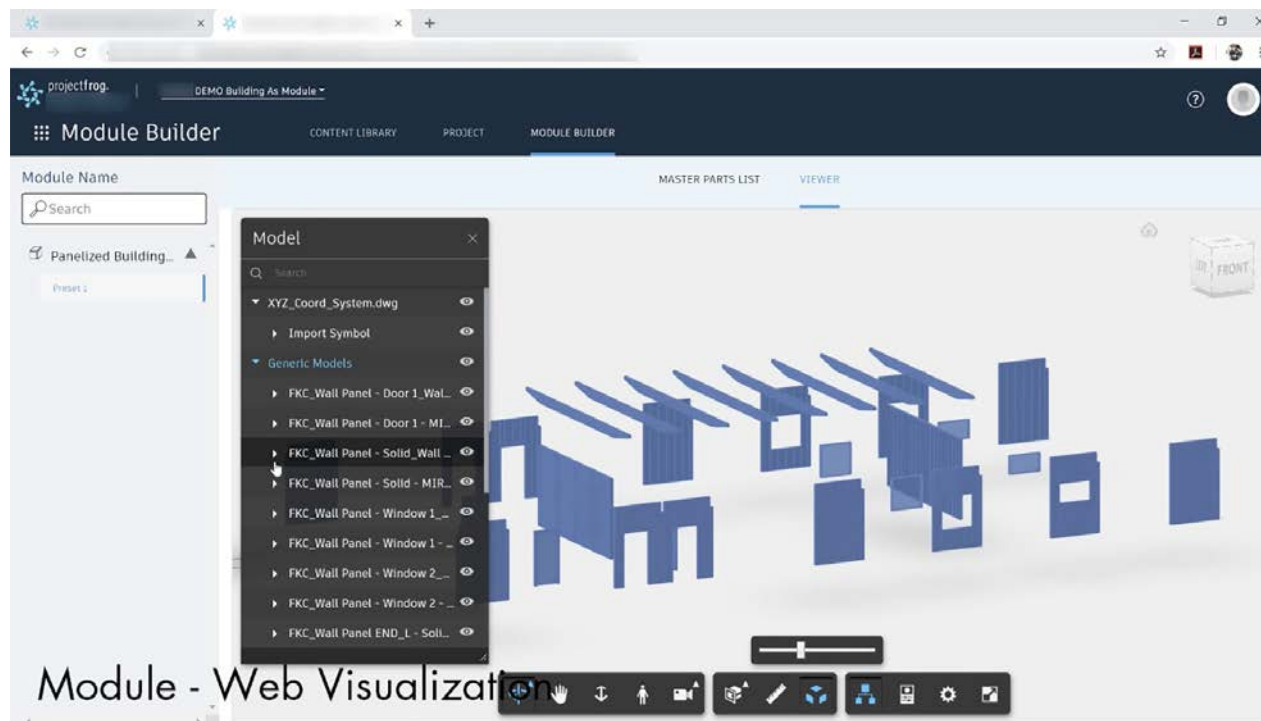
car Project Frog n'agit pas seulement comme un simple fournisseur, il intervient à tous les niveaux du projet de la conception, à la livraison. D'autres intervenants contribuent au projet (architectes, entrepreneurs...) mais Project Frog devient l'acteur intégrateur.

Certaines frontières sont cependant plus incertaines dans cette formule puisque Project Frog ne fournit que les composantes du kit proposé, ce qui implique que les autres composantes nécessaires sont sous la responsabilité du constructeur. Le travail en design-build permet de déterminer à l'avance ces zones grises dans la mesure où le constructeur et Project Frog font partie de l'équipe de conception dès le départ du projet. Dans ces conditions précises, la formule « design-fabrique-assemble-build » permet d'éviter les conflits associés aux schémas habituels de production.

Processus de conception

Comme évoqué précédemment, le processus de conception est conditionné par l'intégration du kit proposé par Project Frog. En effet, Frog va jusqu'à proposer un configurateur 3D qui prend en compte les différents éléments du kit. Cet outil de modélisation imite celui habituellement employé par les architectes et concepteurs (Autocad, Revit) puisqu'il est créé avec Autodesk. Le logiciel de modélisation des données du bâtiment et de construction virtuelle permet une coordination et une vérification en amont de la construction et minimise ainsi les erreurs et conflits sur le chantier. Project Frog mise sur cet outil pour faciliter la conception et la communication avec le client qui peut visualiser et personnaliser son projet. Dans le cas du projet de l'école El Sol, la période de conception pour le campus Sud s'est déroulée sur cinq mois, du début des discussions à l'obtention du permis. Pour la partie Nord, ces étapes ont demandé six mois. Dans les deux cas, environ seize semaines ont été dédiées à la conception de l'aménagement du projet. Un tel projet implique une collaboration entre l'architecte qui accepte de prendre en compte les éléments préfabriqués, et le fabricant qui les produit comme partenaire.

Stratégies de préfabrication employées



▲ Capture d'écran de l'outil de modélisation
Référence Project Frog

Le principe du kit proposé par Project Frog apparaît comme relativement complet, et offre une stratégie de préfabrication globale qui prend en compte presque tous les éléments de la construction. Les seuls éléments non fournis par le kit sont : les portes intérieures, le mobilier, les infrastructures mécaniques, électriques et de plomberie, et les fondations. Il est important de noter que pour le moment, les éléments non fournis dans le kit sont les éléments les plus complexes à intégrer dans la construction du projet. Même si ces éléments ne sont pas fournis dans le kit, leur intégration dans le modèle virtuel permet de les inclure dans une conception globale du projet. Le perfectionnement d'un processus de conception basé sur le BIM permet aussi de construire une connaissance améliorée et déployable dans chaque projet ultérieur. Cette caractéristique constitue un avantage particulièrement notable, car elle reste souvent absente dans l'écologie de la construction habituelle où chaque projet semble répéter un même processus sans l'optimiser.

Stratégie principale

Comme dans les kits de jouets modulaires de la société Lego®, où les pièces requises sont préemballées ou conçues pour chaque arrangement thématique, chaque composant devient une pièce de la bibliothèque globale. Les pièces FROG sont stockées et disponibles dans une base de données, ce qui augmente le potentiel de servir de nombreux types projets. Les architectes peuvent utiliser le configurateur pour créer un bâtiment personnalisé basé sur les composantes de l'entreprise. Ce type d'intermédiaire préfabriqué évite les problèmes de «traduction» associés à la construction traditionnelle, puisque les pièces sont toutes compatibles.

Frog se présente comme un acteur qui agit autant au niveau de la maîtrise d'oeuvre que de la maîtrise d'ouvrage (conception et construction).

Ainsi, il agit comme un facilitateur pour mener un projet du début à la fin de manière efficace (la rapidité et facilité de conception comme de l'assemblage est un argument de vente majeur). Le but étant de permettre des économies au client. Frog agit donc à deux niveaux :

- il offre un outil de conception à ses clients et aux architectes du projet (selon les standards de ses éléments en kit)
- il gère la mise en production des éléments nécessaires à la construction du bâtiment auprès des entreprises manufacturières impliquées une fois la conception terminée.

L'outil de modélisation en 3D permet une visualisation aisée du projet, mais les possibilités sont limitées par les différents éléments de construction que Frog propose en kit. Ces différents éléments modulaires qui constituent

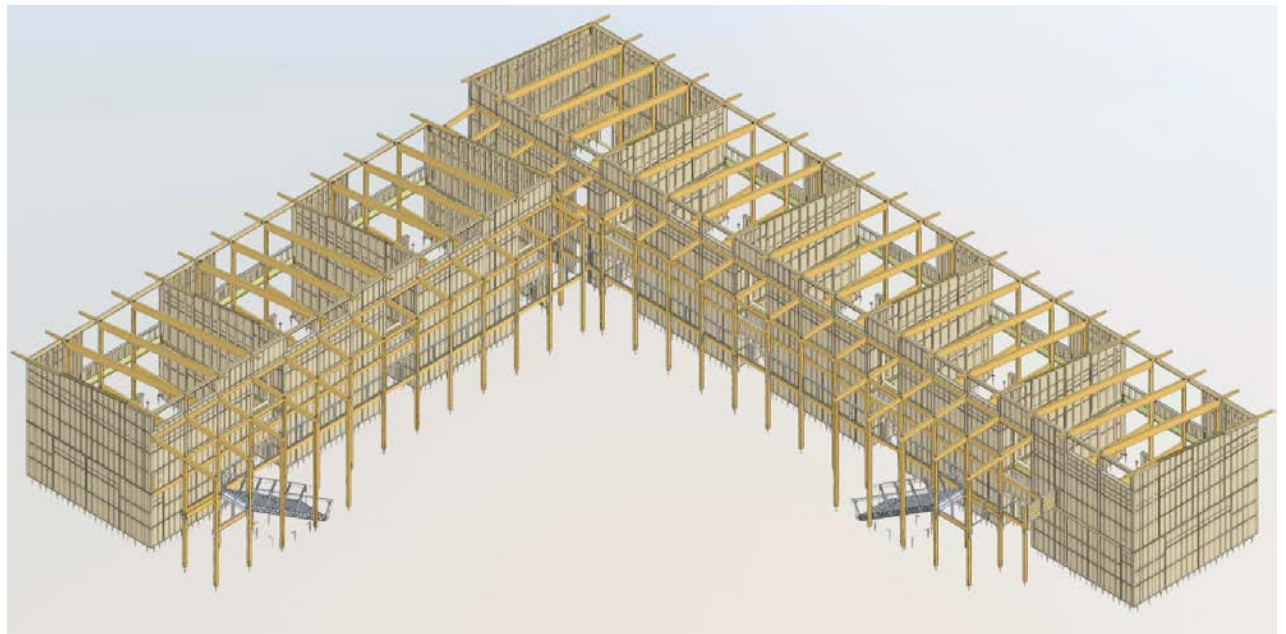
le bâtiment (éléments structurants, enveloppe isolante...) sont mis à disposition et peuvent être disposés de manière libre. La conception s'apparente alors plutôt à un jeu de variation de paramètres qu'à une conception architecturale libre.

Frog distingue son produit (des éléments de construction livrés sur le chantier en kit) par rapport aux éléments modulaires entièrement préfabriqués et assemblés hors-site. Frog décompose les éléments de construction et d'assemblage (structure, enveloppe) selon des éléments en deux dimensions qui seront assemblés sur le chantier. Cependant, tous les éléments de l'enveloppe par exemple (notamment l'isolation) sont préfabriqués en usine. Sur le chantier on procède seulement à l'assemblage des différentes parties (Frog

compare cette pratique à l'assemblage d'un meuble IKEA). Le principal argument pour encourager cette pratique de la part de Frog est de faciliter le transport de ces éléments livrés en kit, contrairement aux structures modulaires entièrement préfabriquées qui nécessitent des outils et infrastructures de transport beaucoup plus complexes et coûteuses.

Le kit livré par Project Frog comprend :

- les murs intérieurs et extérieurs porteurs (avec isolations et finitions, et colonnes intégrées)
- la charpente en bois lamellé-collé
- les fenêtres et portes d'accès en aluminium
- mur rideau unitaire en aluminium
- des panneaux métalliques isolés pour la toiture
- un système d'éclairage D.E.L.



▲ Vues modélisées des différents éléments du kit
Référence Project Frog

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

La liberté architecturale paraît limitée par les paramètres dont le langage est très uniforme. Bien que Frog tente de proposer des possibilités de personnalisation (toit plat, toit en pente, en «papillon»...), l'outil de modélisation 3D semble assez contraignant pour l'aspect général du bâtiment (tous les projets menés par Frog ont une apparence extérieure très similaire). La création architecturale s'apparente plutôt à un jeu dont le but est de disposer correctement des éléments de construction. La liberté de l'architecte réside alors essentiellement dans la circulation et l'enchaînement des espaces intérieurs. Le langage lié à la matérialité est entièrement contraint par les éléments vendus par Frog. En revanche, la préoccupation liée à l'ensoleillement permise par les grandes ouvertures vitrées permet des espaces intérieurs qui ont l'air très agréables à vivre. La fabrication en usine des composants modélisés pour être livrés et assemblés facilement au chantier implique que les détails de construction soient simplifiés et optimisés pour réduire le temps d'installation au chantier. L'assemblage rapide et bien conçu permet d'accroître la qualité d'assemblage en évitant les erreurs et gaspillages généralement rencontrés sur les chantiers. La mise en ligne d'une banque de détail partagée avec les architectes permet également de bénéficier d'une collaboration accrue qui se traduit par un kit intégré qui requiert peu d'ajustements sur place.

Impact sur le budget

Selon l'analyse réalisée par les intervenants de Project Frog, il y a eu une réduction d'environ 60% de la main-d'œuvre requise pour construire par rapport à un bâtiment similaire. Alors que la réduction du temps de construction est confirmée par le client, l'impact sur le budget est plus difficile à quantifier. La réduction du temps qui se traduit en principe par une économie monétaire n'est pas vérifiée ici, car il s'agit d'un kit de construction «haut de gamme» qui ne se compare pas avec la construction des écoles publiques habituelles et encore moins avec les solutions préfabriquées existantes par ailleurs sur le marché. Même si la comparaison de coûts n'est pas quantifiable, il est intéressant de noter que les coûts de gestion de construction durant le chantier ont été réduits. Le constructeur note une baisse dans le nombre d'ordres de changement par rapport à la construction plus conventionnelle. Il est également important de noter que le travail avec Project Frog a permis à l'école de gagner plusieurs mois par rapport à un échéancier conventionnel, et cette économie de temps a pu permettre un impact immédiat sur l'accueil de nouveaux élèves.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

Préfabriqués en usine et livrés juste à temps sur le chantier pour un assemblage, les composants sont pensés pour que les branchements, connexions et installations soit efficaces. Le contrôle sur la qualité se fait dans le modèle BIM. Le même kit est par ailleurs déployé à plusieurs reprises, ce qui permet à ce système de bénéficier d'une démarche d'itération qui a un impact positif sur son amélioration. On peut toutefois noter que cet avantage se vérifie uniquement pour les éléments contenus dans le kit, il serait judicieux d'étudier un projet qui intègre des éléments plus complexes.

Impacts sur la durabilité du projet

L'approche d'une construction à sec sous forme de kit permet d'entrevoir une facilité dans le désassemblage aussi bien que dans l'assemblage. Cette réversibilité permet d'établir une logique de remplacement et réparation des pièces plus facilement. Un lien conceptuel entre le 'design for assembly' et le 'design for disassembly' permet d'imaginer un plan d'intervention à long terme qui facilite l'entretien et le maintien de l'actif. La configuration et la séparation en ossature et en peaux permet également d'imaginer une flexibilité et adaptabilité à long terme du bâtiment.

Impacts environnementaux

Plusieurs arguments sont avancés par Project Frog pour défendre les avantages environnementaux du kit : (dans le «kit» seulement) prise en compte de l'ensoleillement pour développer au mieux un modèle passif, utilisation de matériaux qui n'émettent pas de composés organiques volatils, emploi de matériaux recyclés, le chantier propre et la réduction des déchets au chantier sont des avantages nets de la préfabrication par rapport à la construction conventionnelle. Non quantifiable pour le moment, un processus simplifié sur le chantier semble réduire de manière importante l'impact environnemental d'un projet : moins de gaspillage, moins de pertes de temps, et moins d'erreurs. L'utilisation d'une charpente de bois est aussi citée par l'entreprise comme un choix écologique.

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

Rapidité du chantier (9 semaines), mais aussi économie de la main d'œuvre puisque le kit permet de réduire par trois le nombre d'ouvriers.



▲ Installation du kit sur le chantier
Référence Project Frog

Éléments à retenir

Pour en savoir plus



▲ Installation du kit sur le chantier
Référence Project Frog

Le kit proposé par Project Frog se veut être un outil efficace. Qu'il s'agisse de la conception architecturale, jusqu'à l'installation sur le chantier, le principal enjeu est l'efficacité, la rapidité de conception et de réalisation. Le principal impact de cette caractéristique intervient particulièrement au niveau de la liberté architecturale, qui devient assez relative. En revanche, la volonté de contrôler l'ensemble d'un processus présente d'autres avantages, et permet notamment une production contrôlée au fur et à mesure des besoins. La production du kit en usine permet de maîtriser la gestion des déchets, et éviter une surproduction inutile.

Ce bouleversement de l'industrie de la construction intervient dans un contexte américain de pénurie de main d'œuvre, auquel Project Frog propose une solution globale pertinente. Pour l'école, la rapidité d'exécution est un avantage certain. La rapidité et l'efficacité se gagnent au prix d'une certaine flexibilité architecturale. Le kit comprend des contraintes de planification auxquelles il faut adhérer au départ.

- Project Frog, Site officiel de Project Frog. Tiré de <http://projectfrog.com>
- Pixon, Project Frog (2016), The El Sol Science and Arts Academy: A Case Study, Orange County Department of Education, Tiré de [https://www.ocde.us/Facilities/Documents/OCF_EI%20Sol%20Case%20Study%20\(2\).pdf](https://www.ocde.us/Facilities/Documents/OCF_EI%20Sol%20Case%20Study%20(2).pdf)



2.6 – Treet

«Prefabricated timber frame based building modules are inserted in the “cabinet rack” référence »

- www.bob.no/tree

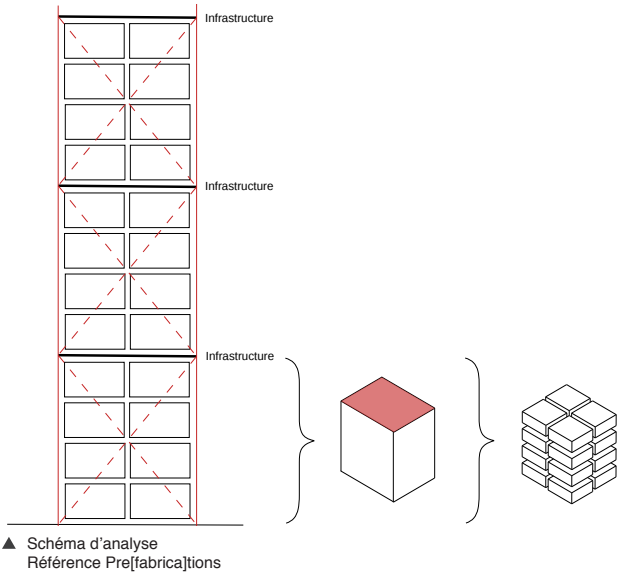
Informations générales

Localisation du projet	Bergen, Norvège
Année de construction	2015
Superficie	62 appartements, 14 étages, 48 m de haut
Fonction / Programme	Résidentiel
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	22 M €
Coût de la construction	-

Stratégies de construction préfabriquée Hybride bois et béton
+ Modules d'appartements

Intervenants

Propriétaire	Bergen and Omegn Building Society (BOB)
Gestion de projet	BOB
Architectes	ARTEC AS
Ingénieurs structure	SWECO AB
Ingénieurs mécanique	SWECO AB
Fabricant des éléments préfabriqués	Kodumaja
Constructeur	FM Gruppen Strand AS, Kodumaja, Moelven



Contexte

La stratégie principale mise en place dans le projet Treet propose d'isoler les unités de logement d'une mégastructure de support. Pourtant peu commun, séparer les modules-appartement de la structure de support est une stratégie de construction qui a été étudiée et mise en oeuvre à quelques reprises au cours de la seconde moitié du vingtième siècle. Autant les superstructures de «National Homes» que le modèle expérimental Townland de Boeing peuvent être identifiés comme des tentatives innovantes et de facilitation de la construction, comme les modules peuvent être construits et assemblés sans adaptations ou renforts coûteux dans le procédé de fabrication. Si Habitat 67, au Canada, représente le sommet de l'empilement volumétrique, ce qui n'est pas souvent mentionné est la nécessité de renforcer la structure des unités les plus basses qui finissent par supporter le poids des unités supérieures. Ceci rend la structure inefficace et empêche la standardisation nécessaire des modules afin de réduire les coûts pour appliquer le principe de volumétrie modulaire aux constructions plus élevées. C'est à ce niveau que le projet Treet emploie une idée relativement innovante d'un plancher «Power Floor», une sorte d'infrastructure de base qui permet d'empiler quatre étages d'unités standardisées.



▲ Insertion du module appartement dans la méga structure
Référence Artec AS



▲ Vue intérieure d'un appartement
Référence Artec AS

Description

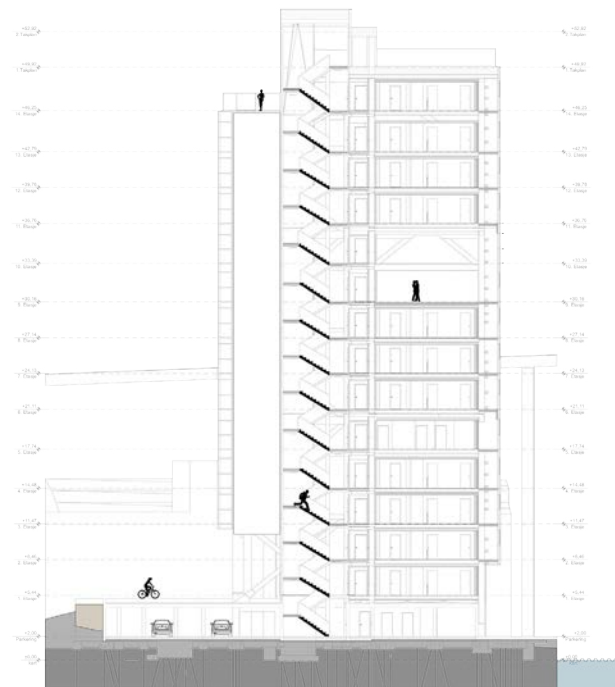
Treet (qui signifie «arbre» en norvégien), un bâtiment en structure bois de 14 étages assemblé en 2014, emploie une stratégie structurale qui est basée sur une idée simple, mais efficace d'utiliser des unités modulaires volumétriques sans renforcer structurellement chaque module, permettant ainsi une production massive en série de modules-appartements. Les architectes du projet (ARTEC) et les ingénieurs associés (Sweco) ont conçu une superstructure qui crée une sorte de fondation artificielle, qu'ils ont nommée le «power-floor» introduite tous les quatre étages. Le «power floor» est situé au 5e et au 10e étage. Cette innovation plutôt simple organise la structure générale selon trois «sandwichs» de quatre étages qui sont supportés par des colonnes hautes de quatorze étages. Cette mégastructure emploie des membrures verticales et horizontales en lamellé-collé contreventées par des membrures en

diagonale également en lamellé-collé. La vitesse de combustion de la charpente et des éléments ont été calculés pour brûler, se carboniser et arrêter la combustion. Les résultats montrent que la structure a pu brûler pendant 90 minutes sans s'écrouler. Analogue à un grand pilier vertical triangulé, cette «ferme / treillis tridimensionnelle» agit comme une sorte de casier dans lequel sont rangés les logements standardisés et indépendants. Il y a de nombreux avantages à cette indépendance des modules, en matière d'isolation acoustique résistance au feu, principalement les compositions ne sont pas partagées entre les murs mitoyens comme c'est le cas habituellement. Transportés depuis le site de production en Estonie où ils sont entièrement testés dans des conditions contrôlées, les quatre étages d'unités modulaires nécessitent seulement trois jours pour être empilés.

Objectifs du projet

Le projet Treet a été conçu comme une vitrine pour l'industrialisation de la construction. Les trois systèmes de bâtiments principaux, le treillis vertical en lamellé-collé, l'ossature de bois légère intégrée dans les modules appartements et le noyau de circulation en bois lamellé-croisé, utilisent des produits, des éléments et des sous-assemblages conçus virtuellement, préparés en usine et assemblés sur le site. Les différents intervenants du projet reconnaissent que les coûts de construction auraient pu être optimisés, mais l'avantage réside dans un assemblage sur le site plus rapide et plus simple. Cette simplicité est permise par une meilleure qualité de produit en matière de précision, de contrôle qualité en usine et par l'utilisation du BIM, comme outil d'intégration de la conception, à l'usine au chantier. Parallèlement à la mise en oeuvre d'un système d'assemblage simple, l'utilisation importante du bois réduit l'empreinte environnementale du bâtiment par rapport à des structures similaires en acier ou en béton dont l'empreinte carbone est plus importante. L'enveloppe de ce bâtiment est conçue pour répondre aux normes PassivHaus. L'utilisation de la préfabrication, du bois et la mise en place d'une haute efficacité énergétique sont les trois éléments stratégiques qui font que ce prototype constitue un bon exemple de réponse aux enjeux de durabilité qui doivent devenir la norme dans la construction contemporaine.

Systèmes du bâtiment



▲ Coupe
Référence Artec AS

Fondation

Le bâtiment haut et léger est ancré à une sous-structure en béton armé, qui s'ancre au roc en compression et en traction par des pieux profonds et des tirants. On peut considérer que les tirants compensent pour la structure légère en maintenant le bâtiment sur son site.

Structure

La structure majeure est une géante ferme ou treillis tridimensionnel de quatorze étages composés d'éléments en lamellé-collé. Cette structure est inspirée de techniques de construction de ponts en bois. Des dalles de béton armé ont été coulées à tous les quatre étages pour créer le «power-floor » et augmenter le poids du bâtiment. La structure de chaque unité d'appartement est individualisée et composée d'une ossature de bois en volume préfabriquée. Le noyau de circulation centrale est composé de panneaux de bois lamellés-croisés. (résistance au feu de 90 minutes).

Enveloppe

Murs extérieurs : 350mm Isolation RSI = 8

Toit : 500 mm Isolation RSI = 12

Fenêtres : 0.8 W/m2.k U-value

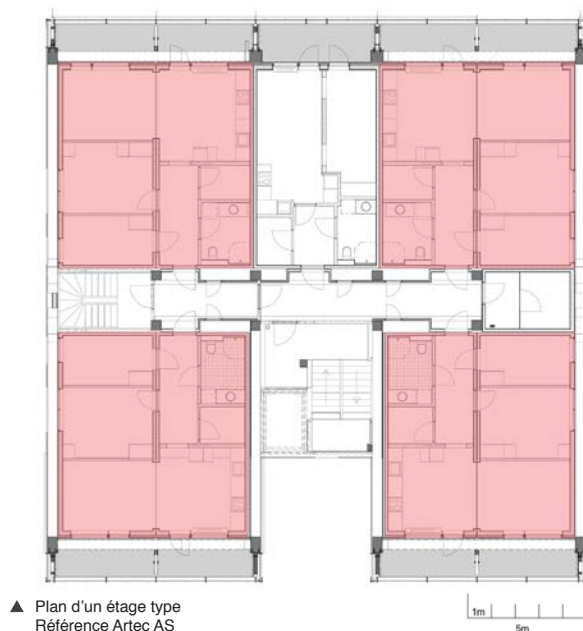
Étanchéité à l'air / Fuites d'air : 0.5 at 50 Pa (écart de pression)

Circulation

Escaliers intérieurs en panneaux de bois lamellé-croisé préfabriqués.

Systèmes intérieurs

62 modules-appartements préfabriqués individualisés finis à 90% en usine.



Mode de réalisation

Le promoteur du projet, BOB (Bergen og Omegn Boligbyggelag), est aussi gestionnaire de construction. Cette société d'habitation norvégienne est un acteur majeur à Bergen, la ville où est construit le projet. Comme le système de construction du bâtiment est principalement un assemblage d'éléments préfabriqués et produits en usine, tous les différents intervenants et parties prenantes ont été impliqués dans la conception du bâtiment. Le processus de conception intégré a été employé pour une meilleure prise en compte des potentiels et des limites de chacun. Une sorte de processus de type design-build a été le facteur-clé dans le développement d'un prototype comportant un facteur expérimental et des éléments inconnus pour toutes les parties prenantes.

Processus de conception

Comme le bois n'était pas un matériau accepté en Norvège par le code du bâtiment pour bâtiments de grande hauteur, une documentation approfondie du projet pour prouver ça faisabilité a été nécessaire pour obtenir l'autorisation de construire. Dès le début, la capacité de faire intervenir tous les intervenants dans le processus de conception, au cours duquel toutes les décisions peuvent être partagées et prises d'une manière holistique a été une des conditions pour la réussite de ce type de projet; chaque intervenant individuellement n'avait pas ou peu d'expérience dans ce type de construction. L'implication du Conseil de recherche de Norvège, d'associations commerciales de lamellé-collé et de l'Université Norvégienne de Science et Technologie a permis de documenter le processus et construire une meilleure connaissance des enjeux et potentiels qui peut être appliquée à d'autres contextes similaires. Les principaux composants du bâtiment ont été développés grâce une modélisation BIM. Le partage de cette modélisation virtuelle a facilité la coordination entre les architectes et les sous-traitants. La capacité de réduire les risques dans le processus design-build argumente en faveur d'un type de gestion d'équipe intégrée.

Stratégies de préfabrication employées

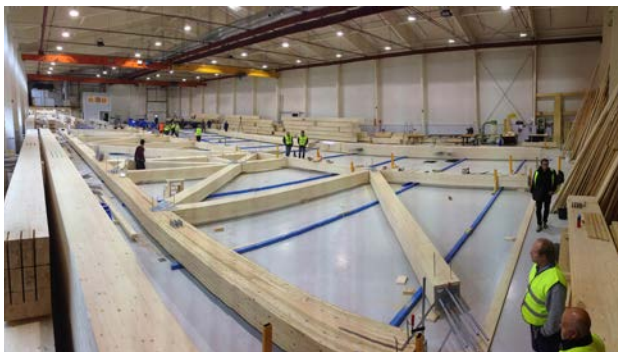
Treet est une vitrine dans l'emploi d'éléments de construction produits en usine fabriqués avec une grande précision et qui permettent un assemblage facile sur le site. Le grand treillis vertical en lamellé-collé est les modules-appartements préfabriqués sont les deux stratégies phares, qui associées ensemble, synthétisent la principale posture architecturale du projet.

Le projet a aussi intégré des murs-rideaux préfabriqués pour les façades nord et sud et des panneaux préfabriqués en acier corten pour le parement des façades est et ouest. Le projet est un témoignage du potentiel de la construction actuelle, un secteur qui se dirige vers une chaîne de fournisseurs fortement intégrés et potentiellement liés au même modèle virtuel. Le noyau central du bâtiment utilise des panneaux de bois en lamellé-croisé qui sont fabriqués sur mesure pour s'adapter parfaitement aux exigences spécifiques du bâtiment.

Stratégie principale

Le «power floor» inclus à tous les quatre étages est un élément innovant majeur dans la conception du bâtiment. Celui-ci permet que quatre étages de modules appartements préfabriqués soient empilés sans aucun renforcement supplémentaire. Par ailleurs, la dalle de béton est un autre élément important pour augmenter le poids et ancrer la structure générale du bâtiment, tout en protégeant les structures en bois des différents appartements pendant la construction - c'est une sorte de toit parapluie. Chaque portion de quatre étages a été assemblée en seulement trois jours. La dalle de béton protégeait des unités de logement inférieures tout en agissant comme base de construction / échafaud pour la portion des quatre étages supérieurs. La méga structure en lamellé-collé à l'intérieure de laquelle les unités de logement sont intégrées supporte les forces induites par le «power floor» et les transfère vers les fondations en béton armé. Les unités

préfabriquées agissent comme des éléments rigides au sein de la structure ouverte et sont ancrées sur la dalle de béton «power-floor». Comme la méga structure est le principal élément portant, la résistance au feu pendant 90 minutes représentait la menace la plus importante et un facteur déterminant pour l'acceptation du projet par les autorités. La vitesse de combustion du bois étant de 0,7 mm par minute, soit une épaisseur de combustion de 63 mm après 90 minutes, les éléments sont surdimensionnés de 63 mm et des connecteurs en acier ont été chevillés et insérés dans la structure en bois pour la renforcer contre le feu. Ce connecteur en acier innovant était recouvert d'une couche intumescente pour le protéger contre le feu.



▲ Assemblage de la méga structure en lamellé-collé avec le connecteur
Référence Artec AS

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

La stratégie structurale donne une apparence moderne au bâtiment. En terme de gestion de construction et de performance énergétique, ce projet peut être considéré comme un exemple. Le «power floor» permet de protéger les structures de bois individuelles au fur et à mesure de la construction et les unités de logement sont toutes complétées en usine. Les modules appartements individuels préfabriqués sont autonomes au sein de la structure, ce qui permet de réduire les difficultés de jonction, les détails, les incongruités de production, les tolérances avec les modules et appartements adjacents.

Impacts sur le budget

Cette stratégie a un surcoût, qui ne nous a pas été révélé. Tous les intervenants du projet mentionnent un coût supplémentaire, mais du point de vue de la qualité de réalisation et de l'organisation du projet, c'est une stratégie appréciée.

Impacts sur la durabilité du projet

Le projet est relativement récent (2014). Il est donc impossible d'établir comment la stratégie adoptée va évoluer dans le temps. L'emploi du bois comme composant intérieur a déjà été identifié comme un élément durable. Les architectes identifient que les éléments en bois extérieurs nécessitent quant à eux un minimum d'entretien.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

Comme chaque élément est produit en usine et que chaque intervenant a pris part au projet depuis son origine, les habituelles complications liées à la coordination du projet sont évitées. Le procédé design-build s'est avéré ici très efficace sans éviter pour autant toutes les erreurs liées au contexte expérimental du projet-prototype. Le savoir généré pourrait à présent être appliqué à d'autres bâtiments par la suite en adoptant une stratégie similaire. La modélisation virtuelle pour la conception du projet a permis de réduire les erreurs et les désaccords sur le chantier et permet de réduire les risques associés à la coordination et assemblages des différentes composantes manufacturées.

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

C'est à ce niveau que la stratégie du projet a le plus d'impact. Comme chaque portion de quatre étages devient une nouvelle plateforme pour la construction, les échafaudages et les coffrages temporaires habituellement employés dans les constructions en béton sont limités. Le power-floor devient également un toit provisoire qui protège les éléments en bois du dessous. Le processus d'assemblage en trois jours réduit également les risques, car les modules sont simplement assemblés sur le site. Les manipulations plus complexes sont exécutées seulement en usine dans des environnements contrôlés.

Impacts environnementaux

Les propriétés de stockage du carbone du bois et les hautes performances énergétiques de l'enveloppe sont les principales caractéristiques environnementales du bâtiment. Pas nécessairement motivés par la performance énergétique, il est clair que le choix des matériaux des concepteurs a imposé un haut degré de préfabrication. Sans le nommer explicitement, le choix de modéliser virtuellement le bâtiment et anticiper les problèmes avant qu'ils arrivent peut également être un facteur réducteur de l'empreinte environnementale du bâtiment.



▲ Parement métallique préfabriqué
Référence Artec AS

Éléments à retenir



▲ Intégration des modules appartements dans la structure en bois sur le chantier
Référence Artec AS

Les architectes mentionnent le mode de gestion partagé comme l'élément à retenir du projet. Autant la modélisation virtuelle que l'implication de tous les intervenants dès le début du projet ont permis de réduire les risques et les erreurs. Bien que ces observations soient déjà acquises et bien connues dans le monde de la construction actuelle, elles sont pourtant rarement appliquées. Simplifier le travail sur le chantier pour privilégier l'assemblage d'éléments préfabriqués permet également de réduire les risques associés à la coordination sur le chantier. D'après l'analyse de documents, la nature expérimentale du projet en tant que prototype compromet le transfert de connaissances vers des tentatives futures, ceci argumente en faveur de plateformes de partage de ces recherches à travers la communauté de la construction en bois.

Le «power-floor» apparaît finalement comme l'élément principal à retenir comme une contribution majeure dans l'univers de la construction en modulaire bois.

Pour en savoir plus

- Isabelle Duffaure-Gallais (2016), La plus haute tour en bois du monde est en Norvège, Le Moniteur. Tiré de <https://www.lemoniteur.fr/article/la-plus-haute-tour-en-bois-du-monde-est-en-norvege.1495194>
- Rune B Abrahamsen, Kjell Arne Malo (2014), Structural design and assembly of «Treet» : a 14-storey timber residential building in Norway, Word Conference on Timber Engineering. Tiré de <http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/Strucural-Design-and-assembly-of-Treet.pdf>



2.7 – Patch 22

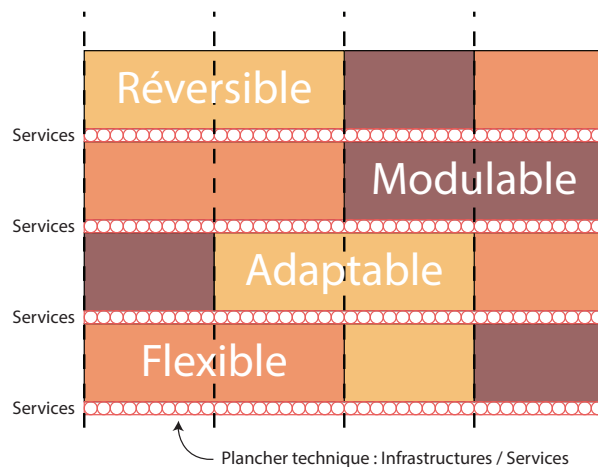
« We aimed at creating a structure in which all buyers would be able to build their own villa. On the other hand we didn't want to create just an anonymous facilitating structure because the renewal of this post-industrial area needed a landmark to show the city that transformation has begun. It turned out that the expressive exterior and the completely open layout of the interior were the perfect combination to attract buyers to this part of the city, even in the middle of the credit crunch period 2009-2014 »

Informations générales

Localisation du projet	Amsterdam, Pays-Bas
Année de construction	2016
Superficie	1 étage commercial, 6 étages résidentiels
Fonction / Programme	Mixte: Résidentiel et commercial
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	-
Coût de la construction	-
Stratégies de construction préfabriquée	Bois massif Aménagement évolutif

Intervenants

Propriétaire	Consortium Lemniskade
Gestion de projet	Consortium Lemniskade
Architectes	Consortium Lemniskade
Ingénieurs structure	Consortium Lemniskade
Ingénieurs mécanique	Consortium Lemniskade
Fabricant des éléments préfabriqués	SlimLine
Constructeur	Consortium Lemniskade



Contexte



▲ Référence Lemniskade

Dans la tradition du «open-building» fondée par le théoricien de l'architecture John Habraken, Patch 22 est une réalisation qui met en oeuvre une stratégie intégrée pour réussir une structure flexible, adaptable et durable. Aujourd'hui le «open building» demeure un cadre théorique qui propose d'aborder l'architecture par des dispositifs qui permettent l'adaptabilité d'un bâtiment. Patch22 peut être lu comme un manifeste construit de cette théorie. Le bâtiment de 7 étages en bois, proposé lors d'un plan d'action «Buiksloterham Sustainability Tender» en 2009 pour la revitalisation d'un secteur industriel, innove non seulement dans ses systèmes constructifs, mais propose un aménagement des étages basé sur le principe de Habraken «une relation plus naturelle entre l'homme et son environnement».

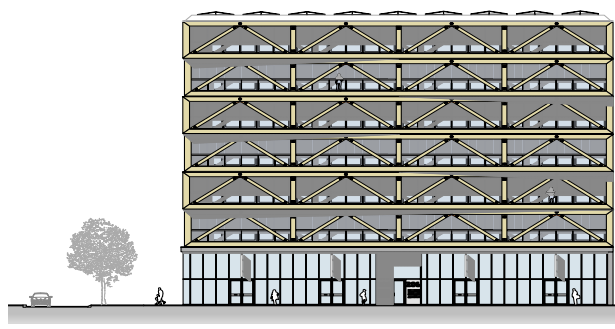
La séparation de l'infrastructure «supports» et le remplissage «infill» permet d'établir une planification agile et transformable selon l'évolution du bâtiment et les souhaits des usagers. La stratégie fonctionnelle de l'immeuble propose le changement comme élément permanent dans la durée de vie d'un bâtiment et met en place une mixité d'usage non seulement au début du projet, mais qui s'opère aux fils des années.

Patch 22 est une réalisation qui met en oeuvre une stratégie intégrée pour réussir une structure flexible, adaptable et durable.

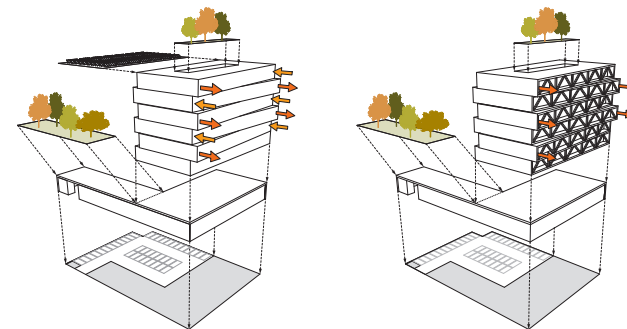
Description

Situé dans un secteur industriel en plein réaménagement dans le quartier Amsterdam-Nord, le bâtiment nommé Patch 22 est une oeuvre réalisée par le consortium d'entreprises Lemniskade formé par l'architecte Tom Frantzen et l'ingénieur Claus Oussoren. Les deux professionnels cherchaient, par la conception d'un projet prototype, à se détacher de la commande traditionnelle et offrir un regard nouveau sur le projet d'immobilier. Leur initiative a donné lieu à un bâtiment d'usage mixte commercial et résidentiel qui propose une stratégie d'adaptabilité pour la durée de vie du bâtiment. Le rez-de-chaussée propose un usage commercial alors que les 6 étages sont organisés sur une formule de type loft qui permet d'imaginer 26 unités au départ, mais sur un plan flexible qui peut s'adapter selon le marché. Les promoteurs souhaitaient construire un bâtiment vitrine de stratégies de construction soutenable et le bâtiment a réussi à attirer l'intérêt de la communauté architecturale internationale, avec le prix WAN (World Architecture Network) en

2016. Le bâtiment de 30 mètres de hauteur utilise une structure bois lamellée-collée pour développer une architecture à la fois symbole d'un renouveau du secteur et symbole d'un plan libre adaptable à plusieurs besoins. Ouvrant pendant une situation de crise économique, les promoteurs souhaitaient que la flexibilité devienne le point d'attraction pour les clients potentiels. Le projet a bénéficié d'une modification à la réglementation locale pour permettre une mutabilité dans les usages sans modifier le règlement de zonage. La séparation de la structure et des systèmes intérieurs de chaque unité permet de développer un «floor plate» plan d'étage type qui peut passer d'un logement à trois logements sans impacter les logements supérieurs ou inférieurs, ni même l'enveloppe. Cette agilité est le point fort du projet et devrait être valorisée dans une approche durable de la construction.



▲ Élévation avant
Référence Lemniskade



▲ Schéma de projet
Référence Lemniskade

Objectifs du projet

Les promoteurs souhaitaient offrir une vision du marché immobilier alternative aux modèles dominants en place. Une vitrine des technologies et principes du développement durable, le projet agissaient comme terrain d'exploration pour les promoteurs à leur première expérience dans ce type de projet. L'utilisation du bois dans la structure de sept étages posait un défi réglementaire, mais était envisagée comme un modèle économique et écologique pour une clientèle informée.



▲ Photo de chantier
Référence Lemniskade

Mode de réalisation

Agissant à titre d'architecte, promoteur, développeur et gestionnaire de construction, ce projet a pu bénéficier d'une vision sans les compromis liés à la séparation habituelle des objectifs de chaque acteur. Le point focal d'atteindre un immeuble flexible et qui fait la démonstration d'une stratégie intégrée au niveau des principes écologiques a déterminé l'ensemble des interventions dans une perspective d'adaptabilité dans le temps. Les acheteurs / usagers sont encouragés une fois le bâtiment construit de planifier et réaliser leurs propres aménagements. Relié aux principes de l'«open building» le plan ouvert permet une multitude de possibilités.



▲ Photo de chantier
Référence Lemniskade

Processus de conception

Dans une oeuvre conçue par l'architecte qui est devenu le client / promoteur / développeur, le processus est analogue à un processus de design industriel. Le bâtiment devient une oeuvre complète associée à une vision claire du résultat. Un architecte qui est lui-même responsable du développement peut se permettre des solutions en ce sens qu'il est le seul à partager le risque. Se basant sur le regain de popularité du «maker mouvement» ou du «do-it-yourself» le projet donne une place importante à l'utilisateur dans la constitution d'un habitat très personnalisé et qui peut être modifié sans affecter les logements voisins. Cette vision a permis de réduire les coûts associés à la planification et l'aménagement des logements.

Systèmes du bâtiment

Fondation	Construits sur un podium de béton armé, les planchers du Rez chaussé et du premier étage sont formés de dalles de béton précontraintes évidées. D'une hauteur de 6m, ce podium transfère les charges du bâtiment au sol par des pieux (également en béton renforcé). Le noyau de circulation verticale également en béton agit comme masse pour alourdir le bâtiment. Il est également l'élément de contreventement latéral.
Structure	Une structure en poutres et poteaux en lamellé-collé organise le plan libre des étages 1 à 7. Les éléments sont surdimensionnés pour atteindre le 120 minutes de résistance au feu requis par la réglementation locale. Les méga-fermes aussi en bois lamellés-collés qui forment la façade nord et sud illustrent la volonté de libérer le plan, la coupe et la façade et de libérer chaque étage. Les six caisses en bois obéissent à une logique semblable, mais sont orientées selon un jeu qui s'appuie sur une lecture des vents dominants. Les cloisons qui séparent les appartements n'ont aucune fonction de support.
Enveloppe	L'enveloppe est complètement indépendante de la structure intérieure. Cela permet une modification des espaces intérieurs sans devoir apporter de modification à la coque. Le projet se base sur l'idée de l'indépendance des couches et systèmes qui permet de modifier / changer des systèmes au besoin sans affecter les autres systèmes du bâtiment. Une double peau du côté nord et sud en mur rideau permet de tempérer le climat et offre une protection acoustique accrue.
Circulation	Les circulations verticales sont en béton. Le noyau de circulation verticale situé au centre de l'étage type permet de distribuer et servir les espaces adjacents avec une variété d'organisations possibles. Chaque étage étant indépendant par l'utilisation d'un plancher mécanique, la circulation horizontale peut aussi varier selon la distribution de chaque niveau.
Systèmes intérieurs	Le plancher surélevé «Slimline» offre aux usagers une flexibilité importante dans la planification des intérieurs.

Stratégies de préfabrication employées

Une approche «cradle-to-cradle» les systèmes du bâtiment sont conçus dans une stratégie d'adaptation et de réversibilité. Chacun des composants, structure, mur rideau, planchers en béton, revêtement en bois est identifiable et éventuellement réutilisable dans une perspective de «design for disassembly». Le bâtiment est en quelque sorte un méga «kit» de construction conçu, construit et assemblé sur mesure.

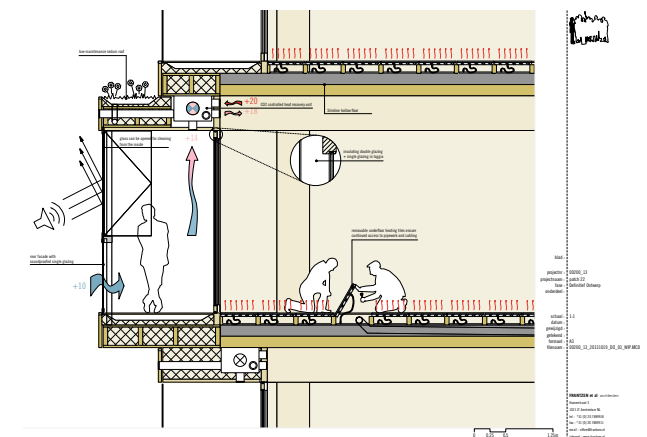
Stratégie principale

Le plancher «slimline» est une stratégie de construction de planchers semblable aux planchers techniques surélevés utilisés dans les bâtiments commerciaux, les laboratoires, ou les bibliothèques qui demandent une flexibilité accrue pour répondre aux changements technologiques. Ce plancher fourni en modules et sections préfabriqués donne une flexibilité quasi totale en matière de positionnement d'éléments techniques. De plus dans un contexte de logement collectif, il permet aux usagers / habitants d'apporter les modifications sans impacter les logements adjacents (horizontaux et verticaux).

Ce système de plancher qui impose un surcoût à la construction d'origine offre une variabilité et une adaptabilité dans le temps facilitant ainsi les modifications et réduisant les coûts et les déchets associés à ces modifications à moyen et à long terme. Le système «slimline» est une cassette préfabriquée formée d'un sous-plancher modulaire qui donne accès à un espace technique pour le passage des systèmes mécaniques, plomberie et électricité.

L'espace technique est structuré par des poutrelles en acier supportées par un plafond en béton de 70mm qui est appuyé sur la structure en bois. Le plancher comporte un système de chauffage radiant et un isolant acoustique intégré dans la conception des modules de «slimline» coordonnés selon le besoin de chaque projet.

Des sortes de méga-tuiles de plancher, chaque module est assemblé à sec et recouvert avec un sous plancher en béton polymère léger facile à modifier.



▲ Coupe
Référence Lemniskade

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

La séparation des éléments de chaque logement crée un potentiel de personnalisation qui permet à chacun de définir à sa façon l'idée de la qualité architecturale. Ce projet s'ancre à cette posture simple d'offrir une multitude de possibilités en construisant une sorte de mégastucture adaptable. Le plancher technique n'est qu'un fragment de cette stratégie qui peut être qualifiée d'holistique puisqu'elle envisage la durée de vie de l'immeuble dans les choix conceptuels de départ. Il s'agit sur ce point un bâtiment exemplaire de l'approche «open building».

Impacts sur le budget

Le comparatif précis entre ce projet et un bâtiment similaire construit en mode traditionnel est impossible puisqu'il s'agit d'un prototype. Il est seulement possible de dire que le coût de construction est sûrement plus important qu'un bâtiment semblable en béton armé standard. Si toutefois la comparaison béton / bois se faisait sur une étude de durée de vie qui inclurait les changements apportés pendant la vie de l'immeuble il est facile d'entrevoir un équilibre et même une efficacité dans la stratégie qui permet et valorise le potentiel de changement.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

En séparant l'infrastructure globale des aménagements intérieurs, il est possible de clarifier le rapport entre les différents systèmes du bâtiment. Cette clarification permet d'éviter les problèmes de coordination habituels associés à la construction. La possibilité d'avoir accès facilement aux systèmes de son logement permet d'intervenir plus facilement dans la réparation, remplacement ou modification des systèmes.

Impacts sur la durabilité du projet

La flexibilité / adaptabilité signifie que le bâtiment peut être réaménagé à l'avenir, donnant une dimension supplémentaire au concept de durabilité. Les déchets produits par la rénovation dans les bâtiments représentent un enjeu écologique important. Ici l'intégration d'une stratégie de transformation permet d'en réduire la portée. Associer aux bâtiments, le potentiel de changement de fonction permet également d'adopter une nouvelle vision de la durabilité. Un bâtiment qui permet le changement est par définition plus durable.

Impacts environnementaux

Grâce à l'utilisation du bois comme matériau de construction et à sa principale source d'énergie (le bâtiment dispose d'un système de chauffage à granules de bois), Patch22 est pratiquement neutre en production de CO2. L'énergie est générée par des panneaux solaires et des chaudières à granules, ce qui rend le bâtiment potentiellement autonome. Le bâtiment est une vitrine des stratégies d'écoconstruction alliant production d'énergie avec récupération des eaux grises et des eaux de pluie, récupération de chaleur avec une structure de bois et une planification de la durée de vie à long terme le bâtiment fait la démonstration d'une approche intégrée à la construction durable.

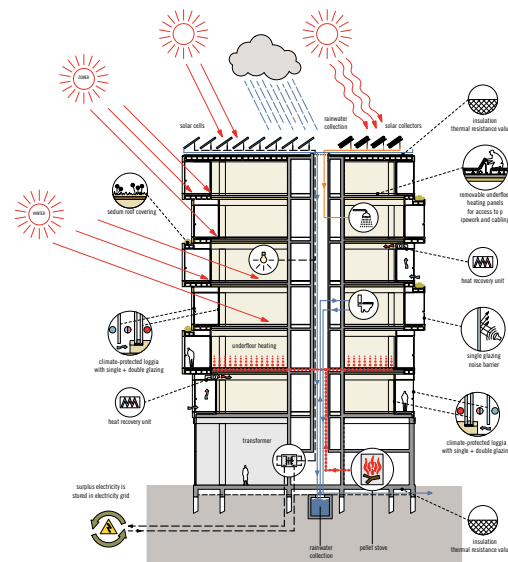
Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

Le plancher technique «SlimLine» - pour réussir un aménagement flexible - est conçu selon les besoins du projet, produit en usine et livré selon les besoins. Cette stratégie implique une plus grande minutie au chantier et une main-d'œuvre très spécialisée pour réussir les connexions, c'est un système hautement technologique qui rend la construction initiale plus complexe.

Éléments à retenir

La composition des planchers en éléments légers valoriser pour l'adaptabilité implique un défi de traitement acoustique entre les niveaux qui semble problématique en matière de masse et de connexions rigides. Ce défi technique est en cours d'investigation, il serait pertinent de revenir sur ce projet pour découvrir les solutions envisagées.

La coordination architecte, ingénieur, constructeur, municipalité pour optimiser à tout point de vue la stratégie architecturale est le point fort de ce projet. Réussir à intégrer dans la planification la considération de la durée de vie du bâtiment implique une relation symbiotique entre l'ensemble des intervenants qui a été possible dans ce projet puisque l'architecte oeuvre à tous les niveaux de la démarche, du financement, jusqu'au développement d'une stratégie pour opérer le bâtiment.



▲ Coupe systèmes
Référence : Lemniskade

Pour en savoir plus

- Lemniskade Projecten B.V, Site officiel de Lemniskade. Tiré de <https://patch22.nl/#architect-developer>
- Frantzen et al architecten (2018), Immeuble polyvalent en bois, reflet d'un choix écologique, Architrave, (195), 42-44. Tiré de <http://lemniskade.nl/wp-content/uploads/2018/02/AT195-FR-Frantzen.pdf>



2.8 – Loggia Saint-Lambert

«Le logement est réalisé à 90% en usine, l'objectif est de montrer que la technologie peut être compétitive avec le béton armé»

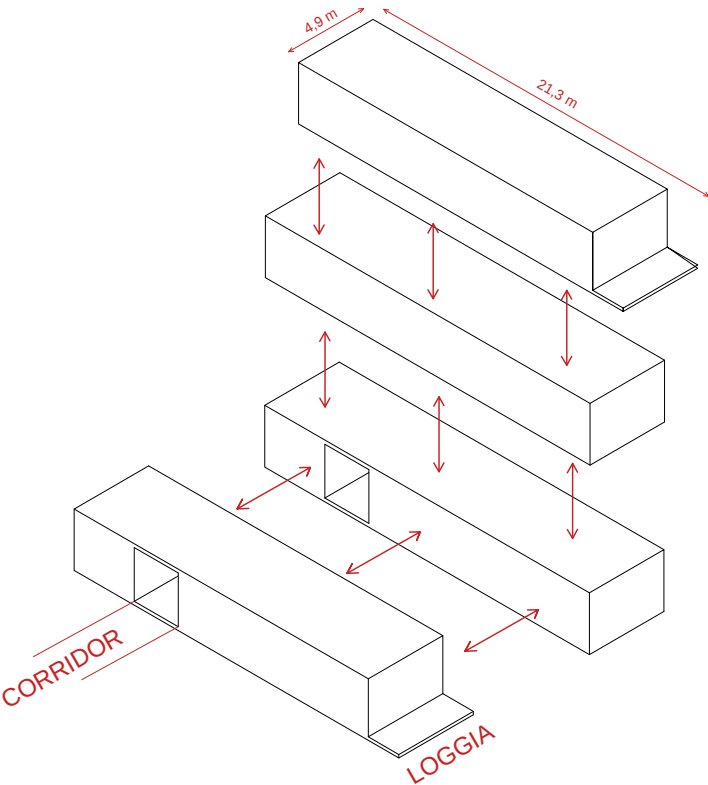
- Gabrielle Bonneville

Informations générales

Localisation du projet	Saint-Lambert, Québec
Année de construction	2016
Superficie	240 unités d'habitations
Fonction / Programme	Résidentiel
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	-
Coût de la construction	-
Stratégies de construction préfabriquée	Modules préfabriqués

Intervenants

Propriétaire	Bonneville / Ipsofacto LSR GesDev
Gestion de projet	LSR GesDev
Architectes	BTAE
Ingénieurs structure	Saint-Georges Structures + Civil
Ingénieurs mécanique	-
Fabricant des éléments préfabriqués	Bonneville
Constructeur	Gestion Rodier



Contexte



▲ Coupe perspective du projet
Référence Bonneville

Ce rêve d'empilement d'une architecture «ready made» a généré de nombreuses icônes de la modernité architecturale.

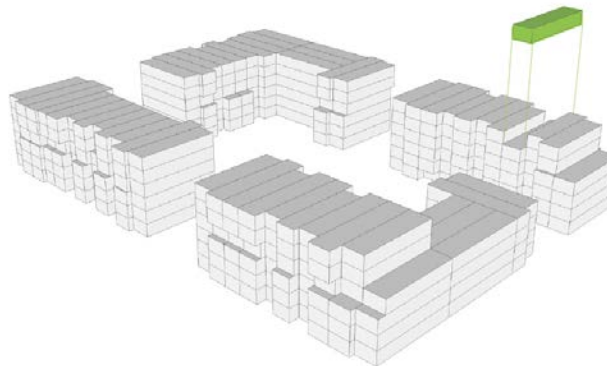
Entreprise impliquée dans la construction de maisons préfabriquées depuis plus de 50 ans, les industries Bonneville oeuvrent également dans le secteur du logement collectif. Le projet Loggias Saint-Lambert proposé par l'entreprise avec deux partenaires financiers (LSR Gesdev et Ipsofacto) est un projet de démonstration dont l'objectif est de faire la démonstration des avantages de la préfabrication bois dans le secteur du multilogement dense de 6 étages et plus. Actifs dans le domaine de la construction multilogement modulaire volumétrique en bois depuis 25 ans, l'entreprise ambitionne maintenant un marché plus important. Le point de départ conceptuel est simple et suit la lignée des grands projets de construction

multilogement avec des volumes construits en usine, empilés et reliés sur place afin de profiter des conditions contrôlés dans l'usine. Ce rêve d'empilement d'une architecture «ready made» a généré de nombreuses icônes de la modernité architecturale. Ce projet de 241 unités et de 4 phases fait suite à un changement réglementaire qui permet que la construction en bois dépasse la limite traditionnelle de trois étages. Le loggias Saint-Lambert est une réalisation importante qui porte les ambitions des Industries Bonneville, mais qui porte aussi les ambitions de l'industrie de la transformation du bois.

Description

À 8km - à vole d'oiseau - d'habitat 67, situé à Saint-Lambert une banlieue de la ville de Montréal, le projet de quatre phases est à proximité du club de Golf, a pignon sur l'Avenue Saint-Charles et est bordé par un chemin de fer. Le site choisi comporte certainement les défis reliés à la ré-urbanisation d'un secteur industriel, mais pour les fins de cette étude l'avantage principal du site est sa proximité au lieu de fabrication des logements. Le site est à une trentaine de kilomètres des Industries Bonneville. Le projet regroupe 4 immeubles semblables qui forment une cour centrale aménagée. Une volumétrie simple développée par les architectes de la firme BTAE (Blouin Tardif Architecture - Environnement), le projet qui réunira 241 logements en mode locatif comporte également un stationnement sous-terrain. Une vitrine pour l'architecture modulaire, le projet est

composé de modules volumétriques à structure indépendante qui forment la charpente et la forme globale du projet. Le revêtement en maçonnerie et en métal réalisé sur place une fois que les modules sont assemblés développent une architecture en lien avec les tendances actuelles en matière d'architecture résidentielle sans s'inscrire dans une même volonté de symboliser la modularité. De l'intérieur vers l'extérieur les logements ont une fenestration abondante et profitent d'une grande loggia, élément fondateur de la stratégie architecturale. Les modules volumétriques livrés et assemblés sur place sont indépendants ce qui facilite le traitement acoustique entre les logements et simplifie en principe la coordination des systèmes mécaniques sur place.



▲ Schéma empilement
Référence Bonneville

Objectifs du projet

L'objectif principal du projet est de montrer la viabilité d'un système modulaire volumétrique bois en matière de budget, de qualité et de processus de construction. Une initiative du fabricant, les industries Bonneville, il s'agit d'un projet de démonstration des méthodes de l'entreprise et une stratégie pour éclairer un marché, celui de la construction du multilogement dense, afin de se situer dans le même secteur que la construction en béton armé. Le projet s'inscrit dans un plan d'action plus large qui vise à répondre aux enjeux réglementaires de la construction en bois et être compétitif en matière de prix avec la construction en béton. Il s'agit selon l'entreprise du premier bâtiment de six étages en modulaire bois au Canada.



▲ Référence Bonneville

Systèmes du bâtiment

Fondation	Un stationnement sous terrain en béton armé est l'assise du projet dans son site.
Structure	Chaque module volumétrique de dimensions variables a une grandeur maximale de 4,8 mètre x 21,3 mètres et est indépendant et renforcé pour répondre aux exigences de transport. Chaque module est également renforcé en considérant sa position dans la structure globale: i.e. modules du haut versus modules du bas. L'empilement, des modules, double les structures de plafond et de plancher, chaque boîte, alignée verticalement et horizontalement, contribue à la transmission des charges globales de l'édifice. Les charges sismiques sont transmises à l'aide d'une fixation reliant chaque module.
Enveloppe	Les modules volumétriques sont produits avec une enveloppe partiellement complète. Le revêtement intermédiaire et le pare-air étaient réalisés en usine alors que le revêtement, un écran pare-pluie était réalisé sur place.
Circulation	Le plan est organisé autour d'un corridor commun qui donne accès à des puits d'ascenseurs et des cages d'escalier.
Systèmes intérieurs	Chaque module contribue à l'organisation du plan global du bâtiment. Les percements laissés lors de la fabrication des modules sont alignés afin de former le corridor commun.

Mode de réalisation

Dans une version modifiée et adaptée de conception-construction (design-build), le promoteur principal du projet est aussi le fabricant des modules usinés. Afin de se donner une structure à la fois financière et d'expérience dans le domaine de la construction du multilogement, l'entreprise a formé un partenariat avec un développeur reconnu (LSR Gesdev) et une entreprise de fonds d'investissement (Ipsosfacto). Ces trois partenaires constituent la branche promoteur du projet. Déjà impliquée dans la conception de projets pour les Industries Bonneville, la firme BTAE a été mandatée pour la conception architecturale du projet et le suivi du chantier. L'entreprise Gestion Rodier a obtenu le mandat d'entrepreneur général responsable des travaux à effectuer au chantier: fixation, ancrage et branchement des modules, coordination mécanique, revêtements extérieurs et autres finitions. Une structure de projet assez simple, tous les ingénieurs et consultants ont été mandatés par les promoteurs du projet. Cette formule de design-build (conception/construction) a facilité l'intégration de la construction modulaire, puisque le fabricant des modules et aussi le promoteur principal du projet.



▲ Construction en usine
Référence Bonneville



▲ Construction en usine
Référence Bonneville

Processus de conception

Une démonstration du potentiel du modulaire volumétrique, le processus de conception en mode «design-build» a facilité et déterminé les choix conceptuels du projet et a guidé les choix en matière de matériaux et méthodes. Le projet conçu par les architectes répond à ce souhait de départ d'offrir une vitrine. La conception et la coordination du projet s'est fait avec des outils et méthodes conventionnels, le transfert des documents et la coordination s'est fait sur la base de plans Autocad et de dessins d'atelier.

Stratégies de préfabrication employées

Le module volumétrique fabriqué en usine à 90% est l'élément principal de la stratégie. Les fondations, les branchements et la coordination sur place suivent une logique de construction traditionnelle.



▲ Photo de chantier
Référence Bonneville

Stratégie principale

Située à 30 km de l'usine, une parcelle de terrain tout près du chantier a été utilisée comme lieu de dépôt des modules avant leur mise en place finale. Même si les modules sont emballés, la gestion de chantier presque «juste à temps» nécessite la mise en place d'une stratégie pour minimiser le temps d'exposition des modules pour protéger leurs composantes. Livrés à 90% complétés, les boîtes de dimensions importantes étaient recouvertes d'une membrane de protection temporaire. L'enveloppe extérieure des modules est livrée finalisée au pare-vent alors qu'il ne reste qu'à tirer les joints et peindre à l'intérieur des unités. Le travail au chantier nécessite une petite équipe pour réaliser les branchements mécaniques et la fixation entre les volumes. Chaque unité est composée de ses propres murs, plancher et plafond ; elles sont donc structurellement autonomes. Lors de «l'assemblage» du bâtiment, les unités sont alignées verticalement les unes sur les autres de manière à ce que les charges

soient bien réparties et transférées sur les unités en dessous. La double structure des planchers et plafonds constitue un avantage pour le contrôle acoustique entre chaque unité, mais une réelle contrainte au niveau de la hauteur du bâtiment et de l'ajout de surface d'enveloppe pour recouvrir cette surhauteur. Cette surhauteur implique plus de matériaux de construction et est un contre poids important aux économies potentielles faites en usine. Les unités forment un lien vertical. Horizontalement, les unités sont jointes entre elles grâce à un système d'attaches sismiques. Installés en trente minutes l'ensemble des modules ont été installés en douze jours. Simplement en matière de comparaison, une structure en béton armé (dalles plates) de six étages, prendrait un minimum de sept semaines cinquante jours pour réaliser le béton sur place. La minimisation du temps au chantier constitue l'avantage sans contredit de la stratégie. Le coût supplémentaire d'investissement pour la construction des modules en amont est selon le fabricant plus que minimisé par les gains d'efficacité réalisés au chantier.

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

En matière de qualité acoustique, résistance au feu, coordination, la structure indépendante de chaque module facilite la gestion de chantier. Les standards de transport déterminent la dimension des modules et dictent également la forme du bâtiment. Il s'agit d'une répétition de modules qui varient dans leur aménagement intérieur, mais qui gardent la même logique de composition. Les tolérances non partagées entre l'usine et le chantier conditionnent un flou entre les deux contextes qui mènent à certains enjeux de coordination et de responsabilité, une sorte de zone grise qui devrait pour les projets futurs être clarifiée pour éviter des conflits.

Impacts sur le budget

Un équilibre est possible entre les investissements requis en amont du projet et les gains d'efficacité réalisés au chantier. Selon le fabricant le budget des modules représente 50% du coût total de construction de l'immeuble. Considérant que le module est complété à 90% et qu'il est à la fois structure, mécanique, et corridor, il est possible d'entrevoir une réduction des coûts qui n'est pas chiffré pour le moment. À moyen terme, le perfectionnement des méthodes pourrait permettre au système modulaire bois d'être très compétitif dans un marché dominé par la construction en béton armé. Ce projet ne visait pas le marché de l'ossature légère en bois, ce qui selon nos intervenants demeure une solution plus économique pour le moment.

Il est aussi possible d'entrevoir une économie au niveau de la gestion du chantier qui sera plus court et moins intensif en matière de construction. La gestion du transport des grands modules, d'impact minimal dans ce projet, constituerait un réel défi de gestion et de budget dans une zone plus urbaine. Le plus grand changement qui impacte le budget est sans aucun doute le temps de construction d'un immeuble de cette envergure. Pour le premier bâtiment du projet, les 78 unités ont été assemblées en seulement sept jours de travail.

Il n'a fallu que sept jours de travail d'assemblage sur le site pour douze hommes afin d'assembler ce projet (deux modules par heure). Comme Bonneville est une entreprise qui se spécialise dans la préfabrication, il leur est possible d'acheter des matériaux en très grande quantité, pour plusieurs projets à la fois. Le fait d'acheter les matériaux en grand lot leur permet un pouvoir d'achat et ainsi de réduire leur coût unitaire.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

Certifiés par la norme CSA A277, visant la certification des bâtiments, modules et panneaux préfabriqués, les unités sont validées avant de sortir de l'usine ce qui facilite tout le processus de contrôle qualité. Les branchements minimisés par la réalisation d'un maximum en usine permettent d'imaginer un gain d'efficacité au chantier. La validation de la continuité de l'enveloppe, pare-air, pare-vapeur, sur place représente un enjeu majeur pour ce type de construction au même titre que la construction non modulaire. Le rôle de l'architecte et de l'entrepreneur reste primordial dans la réalisation d'une enveloppe étanche et durable. Pour la construction modulaire, ces jonctions importantes pour la qualité et la durabilité représentent des zones grises qui peuvent être conflictuelles.

Impacts sur la durabilité du projet

Le système modulaire rend les modifications futures à l'immeuble plus difficile, contrairement à un projet en béton de type «Flatslab» sans murs porteurs, il serait plutôt difficile de rendre le bâtiment adapté à d'autres conditions d'utilisation. Cette adaptabilité reste un des avantages des structures squelettes en béton armé.

Impacts environnementaux

Un système modulaire volumétrique réalisé en usine génère moins de déchets au chantier et de pertes que la construction conventionnelle. Il est plus facile de réutiliser ou de recycler les matériaux en usine en optimisant un processus de gestion. Le transport des volumes de 30 km, n'est pas un grand enjeu dans le cas présent, mais il serait intéressant d'étudier un projet dont les modules devraient franchir de grandes distances ou être assemblés en zone urbaine dense. Une surutilisation de matériaux pour renforcer les modules ou pour compenser la surhauteur apporte un contre poids aux bienfaits de la construction modulaire - les économies potentielles ne se réalisent pas toujours.

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

Le modulaire volumétrique réalisé à 90% en usine réduit les risques associés à la construction sur site. Les unités sont réalisées en usine à température et climat contrôlé à la hauteur d'homme. L'optimisation du travail en usine permet de réduire les risques, mais la gestion de l'échéancier de réalisation au chantier doit être minutieusement planifiée afin d'éviter que les modules restent sur place exposés aux risques de dégradation.

Éléments à retenir

La première phase d'une série de quatre, le défi principal de ce type de construction est la gestion «just-in-time» de la livraison, de l'entreposage, de la protection et de l'assemblage des immenses «blocs Legos» au chantier. La proximité de l'usine, la mise en place d'un terrain de «staging» des modules a certainement aidé à réduire le risque dans ce projet, mais les conditions climatiques difficiles d'une installation à la mi-décembre à causer des dégâts sur des modules non installés. La protection des volumes en attente d'être assemblés reste un enjeu majeur.

Le manque de main-d'œuvre observable et éminent catalysera une plus grande demande pour ce type de construction. Intéressant à noter que le processus des Industries Bonneville est basé sur un partage d'environ 50% de travailleurs qui sont à l'emploi de Bonneville et 50% de travailleurs qui sont des sous-traitants mandatés selon les besoins du projet. La ligne d'assemblage de Bonneville reste plutôt traditionnelle dans sa gestion, très peu des tâches sont automatisées ce qui leur donne l'agilité nécessaire pour passer de la fabrication d'une maison à un module à intégrer dans une conception plus large.

Pour en savoir plus

- Loggia, Site officiel de Loggia. Tiré de <http://www.loggiasaintlambert.com/fr/>
- Daniel Bonneau (2017), Complexe locatif Loggia : première à Saint-Lambert, La Presse. Tiré de <https://www.lapresse.ca/maison/immobilier/projets-immobiliers/201701/11/01-5058475-complexe-locatif-loggia-premiere-a-saint-lambert.php>



2.9 – 461 Dean Street

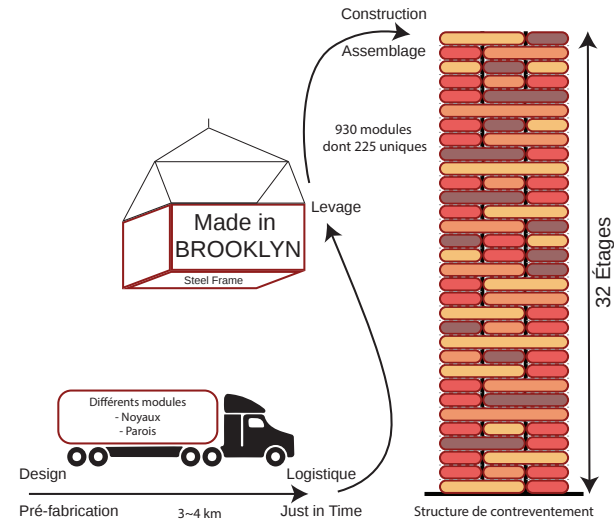
Informations générales

Localisation du projet	Brooklyn, NY, USA
Année de construction	2016
Superficie	32 500 m2, 34 étages
Fonction / Programme	Résidentiel et commercial au RDC (400 m2)
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	-
Coût de la construction	dépassement de plusieurs millions de \$

Stratégies de construction préfabriquée Modules volumétrique préfabriqués en usine et assemblés sur site

Intervenants

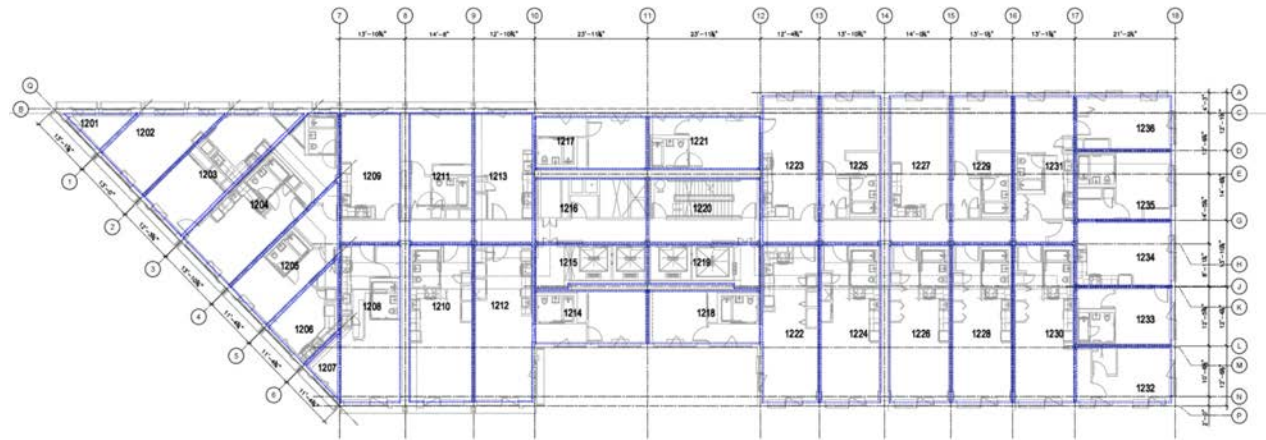
Propriétaire	Principal Global Investors
Gestion de projet	Turner + Skanska
Architectes	SHoP Architects
Ingénieurs structure	Arup
Ingénieurs mécanique	Arup
Fabricant des éléments préfabriqués	Full Stack Modular
Constructeur	Turner Construction Company (à l'origine Skanska)



▲ Schéma d'analyse
Référence Pre[fabrica]tions

Contexte

La tour de 34 étages construite dans un ancien secteur industriel de la ville de New York devait être l'icône de l'avenir de la construction modulaire. Un projet initié par le promoteur Forest City Ratner, le projet devait faire la démonstration des avantages de la construction modulaire volumétrique en matière de coûts, d'échéancier et de qualité de construction. Comme à plusieurs moments de l'histoire de la construction préfabriquée, ce prototype semble avoir eu un effet pervers sur le développement du secteur. Alors qu'à premier vu, le projet semble être un succès de la construction préfabriquée, il nous offre plutôt plusieurs leçons à retenir pour éviter les mêmes erreurs, délais et surcoûts. La tour est composée de 930 modules, dont la plupart ne répètent pas la même configuration. L'usine de Brooklyn déployée pour la tour a passé durant un chantier à la fois complexe et conflictuel dans les mains de Full Stack Modular, le fabricant principal des modules. Un conflit entre le promoteur et le constructeur et une conception trop «singulière» sont identifiés comme les importants éléments contribuant aux difficultés rencontrées. Nonobstant ces difficultés, le projet reste un emblème du potentiel de la construction modulaire surtout par rapport à la construction en hauteur.



▲ Plan d'un étage type
Référence FCS Modular



▲ Vue de l'ensemble du bâtiment
Source : SHoP Architects



▲ Vue de l'ensemble du bâtiment
Source : SHoP Architects

Description

«461 Dean Street» - la tour identifiée en 2016, comme le plus haut bâtiment modulaire du monde - s'est achevée à Brooklyn avec plusieurs années de retard et avec plusieurs millions de dollars en surcoûts. Conçu par SHoP Architects de New York, ce bâtiment de 32 étages est construit dans le « Pacific Park » l'ancien site de construction navale «Atlantic Yards», un site de neuf hectares en pleine régénération. La propriété a une superficie de 32 144 mètres carré incluant une superficie de 371 mètres carrés pour la vente au détail au rez-de-chaussée. Un centre de conditionnement physique et d'autres fonctions communautaires complètent la programmation de l'immeuble. L'immeuble offre 363 appartements en location, dont 50% (181 unités) seront réservés aux ménages à revenus faibles et moyens gagnants entre 21 000 USD / an et 145 000 USD / an. Composé de 930 modules préfabriqués, le bâtiment combine une « superstructure » d'acier qui agit comme une sorte de casier de contreventement pour les unités volumétriques qui s'y rattachent.

Objectifs du projet

Pour faire la démonstration du potentiel et de l'avenir de la construction modulaire, le promoteur et le constructeur ont visé une première expérience ambitieuse produire les 930 modules dans une usine aménagée dans un ancien secteur industriel de Brooklyn à New York. Le projet visant une certification LEED de niveau Argent ferait également la démonstration de la réduction de l'empreinte écologique par construction en usine. L'idée de base est très simple, produire à proximité d'un site à l'abri des conditions climatiques, les composantes du projet pour les assembler sur site. Cette idée selon les promoteurs permettrait de réduire de 25% les coûts de construction et de 20% l'échéancier. Le grand avantage sur un échéancier traditionnel est la capacité de produire les unités avant même d'avoir complété les fondations.

La composition et la forme des volumes empilés s'adaptent à la forme triangulaire du site et s'expriment simplement en façade par un jeu de fenestration et de panneaux d'aluminium. Il s'agit d'un empilement de « flats » d'un ou deux étages sans autre jeu de spatialité. La forme complexe des modules triangulaires impose un procédé de fabrication plus complexe puisque les volumes qui composent la forme triangulaire y sont adaptés.

Systèmes du bâtiment



Vue intérieure d'un appartement ▲
Source : SHoP Architects

Fondation	Un sous-sol en béton armé distribue et transfère les charges de l'immeuble vers des pieux profonds qui ancrent le bâtiment de grande hauteur au sol.
Structure	Une superstructure en acier est utilisée pour former une grande ferme triangulée verticale, une sorte de mégastructure qui permet d'ancrer, contreventer et fixer les 930 volumes préfabriqués. Chaque volume est un prisme soit à base rectangulaire ou à base triangulaire selon sa position dans l'ensemble.
Enveloppe	Un assemblage de panneaux d'aluminium et de fenêtres en aluminium est ajouté au module de base en usine pour être intégré au chantier.
Circulation	Le plan est organisé sur un corridor commun qui distribue les logements. Composés en 5 parties, le wedge (section triangulaire), l'aile ouest, l'aile est, l'aile Dean Street sont les secteurs d'habitation et le noyau comporte les espaces de circulation verticale.
Systèmes intérieurs	Le bâtiment est constitué de 930 modules dont 225 uniques, pour former 23 aménagements différents d'unités.

Mode de réalisation

Un mode de réalisation basé sur un partenariat promoteur (Forest City Ratner) et constructeur (Skanska), le projet est une sorte de Design-Build dont la conception faite par les architectes Shop Architects prévoyait une structure de production innovante : La fabrication de tous les modules était prévue dans une usine réaménagée située à proximité du Brooklyn Navy Yard. De nombreux espaces industriels que l'on trouve couramment dans les villes se prêteraient bien à cette utilisation. L'objectif était de faire la démonstration des connexions logistiques efficaces entre les partenaires et le chantier en utilisant un modèle BIM au centre de la conception. Un objectif moins lié à la construction proprement devrait montrer les occasions de créer des emplois locaux avec le réaménagement d'une usine désaffectée pour construire les modules des logements.

Processus de conception

Le modèle BIM est au centre de la conception et de la relation entre les différents intervenants de la conception et de la construction. Chaque élément de la structure et de la mécanique est modélisé en amont de sa production. Fondé sur les contraintes d'un transport en camion de l'usine au site, chaque module prévoit son branchement mécanique vertical et horizontal. Le modèle BIM permet de simuler les problèmes de coordination, mais les 225 différents modules positionnés à différents endroits dans l'immeuble n'a pas permis d'optimiser les relations entre l'usine et le chantier. C'est-à-dire qu'au lieu d'être en mesure de produire les mêmes modules dans une unique production, l'usine a dû être séparé en plusieurs baies de production différentes ce qui démontre l'importance de prévoir à même la conception la stratégie de déploiement des modules. Cette petite nuance aurait pu sauver plusieurs mois de délais et des conflits entre le promoteur et le constructeur.

Stratégies de préfabrication employées

La production des modules s'est faite dans une usine de 100,000 pieds carrés dans le quartier de Brooklyn Navy Yard. Un module de salle de bain «pod» était également produit dans l'usine avec une logistique de production répétitif. Ces pods étaient intégrés dans les modules si requis avant d'être livrés au chantier. L'usine a produit 225 unités différentes pour 930 modules, ce rapport de production qui n'optimise pas beaucoup la répétition ne profite pas suffisamment des avantages qu'offre la construction en usine.

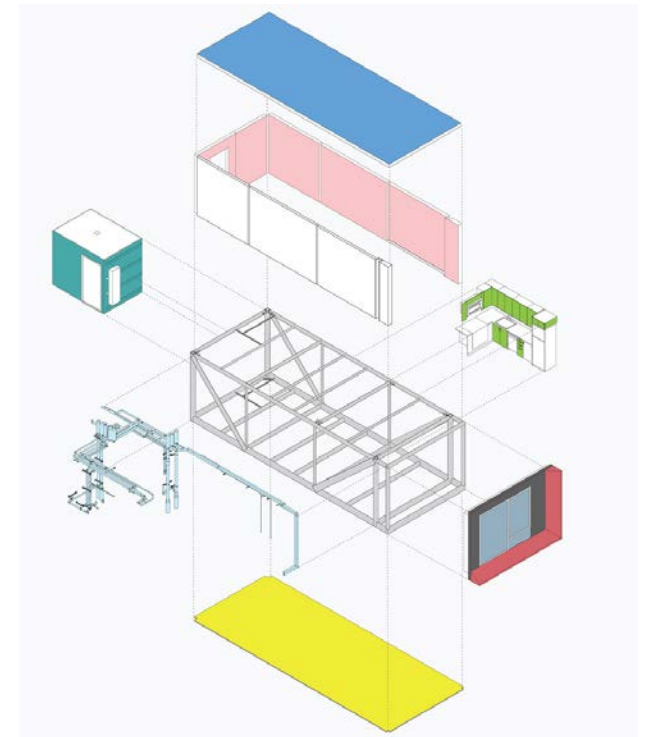


Acheminement d'un module sur le chantier ▲
Source : SHoP Architects

Stratégie principale

La stratégie de préfabrication a été de préconstruire un étage après l'autre. Pour ce faire, du point de vue logistique, l'espace disponible de l'usine a été divisé en 5 zones correspondant aux 5 parties du bâtiment. La volumétrie complexe du bâtiment a été décomposée en 5 zones qui sont organisées avec des compositions de volumes légèrement différentes. La zone triangulaire « le wedge » est le secteur qui comporte le plus d'unités différentes pour s'adapter à la forme du site. Chaque volume est ancré horizontalement et verticalement à son volume voisin. Chaque secteur du plan est contreventé par la mega-structure en acier. L'utilisation d'une méthode de préfabrication

et de contrôle des mesures en usines identifiées sous le terme « metrology » est un système de mesure qui dicte l'ensemble de la coordination des grandes dimensions des éléments jusqu'aux plus petites dimensions du bâtiment et permet théoriquement de réduire le risque associé au transfert des modules de l'usine vers le site. En pratique les nuances de dimensions et tolérances entre l'usine et le chantier imposent une série d'ajustements au chantier qui rend certains détails complexes et qui définit une zone grise de responsabilité qui doit être convenue en début de la conception.



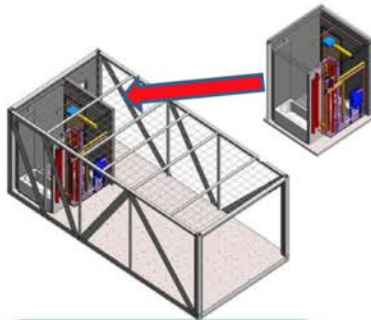
▲ Axonométrie d'un module
Source : SHoP Architects

Partager

MODULAR – The Process



PHASE 1 -
MANUFACTURED
MODULAR STEEL FRAME



PHASE 2 – INTEGRATION
OF SUBASSEMBLIES



PHASE 3 – MEP
INSTALLATION IN
FACTORY



PHASE 4 – MODULE
INTERIOR & EXTERIOR
FINISHES



PHASE 5 – ERECTION &
MATELINE CONNECTIONS

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

Le projet 461 Dean Street est un prototype qui démontre l'importance dans ce type de construction d'établir une logique partenariale au début du projet pour mieux définir les critères de conception, fabrication et construction. Les 225 modules uniques sur un total de 930 modules semblent dès le départ rendre la production trop complexe. De plus, une structure d'acier secondaire de contreventement impose une rigueur de planification qui ne permet pas une grande liberté dans la planification du logement. La tour de logement construite en empilant tout simplement des modules usinés est un mythe, la structure doit être renforcée et la relation optimale entre la structure du module et la structure d'accueil impose une planification définie par le module en plus d'un surcoût important.

Impacts sur le budget

Comme pour l'échéancier, les prévisions de réduction en matière de coût ne se sont pas réalisées; le manque de répétition, le renfort nécessaire à la structure et les ajustements dimensionnels sont identifiés comme les éléments majeurs des dépassements budgétaires.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

Le contrôle qualité des modules en usine permet de réaliser chaque module selon une logique de livraison juste à temps, étage par étage. Cette logistique de construction en usine permet de réussir une coordination améliorée pour les systèmes du bâtiment, les finitions à l'intérieur et de réduire les risques des erreurs de la coordination. Comme pour le budget et l'échéancier, les 225 modules uniques ne permettent pas une réutilisation suffisante des mêmes gabarits et dispositifs de mesurage qui rendraient la construction efficiente sur un nombre total de 930 unités. Ce choix conceptuel en début de projet, s'est traduit oui par une tour qui comporte 23 unités différentes, mais qui au niveau logistique de production est très difficile à justifier.

Impacts sur la durabilité du projet

L'empilement et chaque module contraint par une structure modulaire en acier rend la construction de départ certainement plus claire, plus précise et plus efficiente puisque chaque volume est vérifié et coordonné en usine. Toutefois en matière de durabilité à long terme qui réfère également à la résilience d'une structure, il serait intéressant de comparer une structure modulaire à un plan libre qui permet plusieurs types d'aménagement au cours de la durée de vie du bâtiment. Faire des changements ou des ajustements au cours de la vie de l'édifice devient très complexe avec la construction modulaire. La flexibilité et l'adaptabilité futures de ce genre de stock immobilier seraient à valider par une étude sur plusieurs décennies.

Impacts environnementaux

La stratégie de construction hors site a réduit l'impact environnemental notamment en réduisant la quantité de déchets générés au site. En matière d'empreinte écologique, le fait d'utiliser une usine à proximité du chantier a permis de réduire les distances de transports habituellement requis dans ce type de bâtiment. La réhabilitation d'une usine pour produire des volumes est un des potentiels du projet, qui en principe permettrait de pourvoir des emplois localement et ainsi développer une logique d'approvisionnement locale.

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

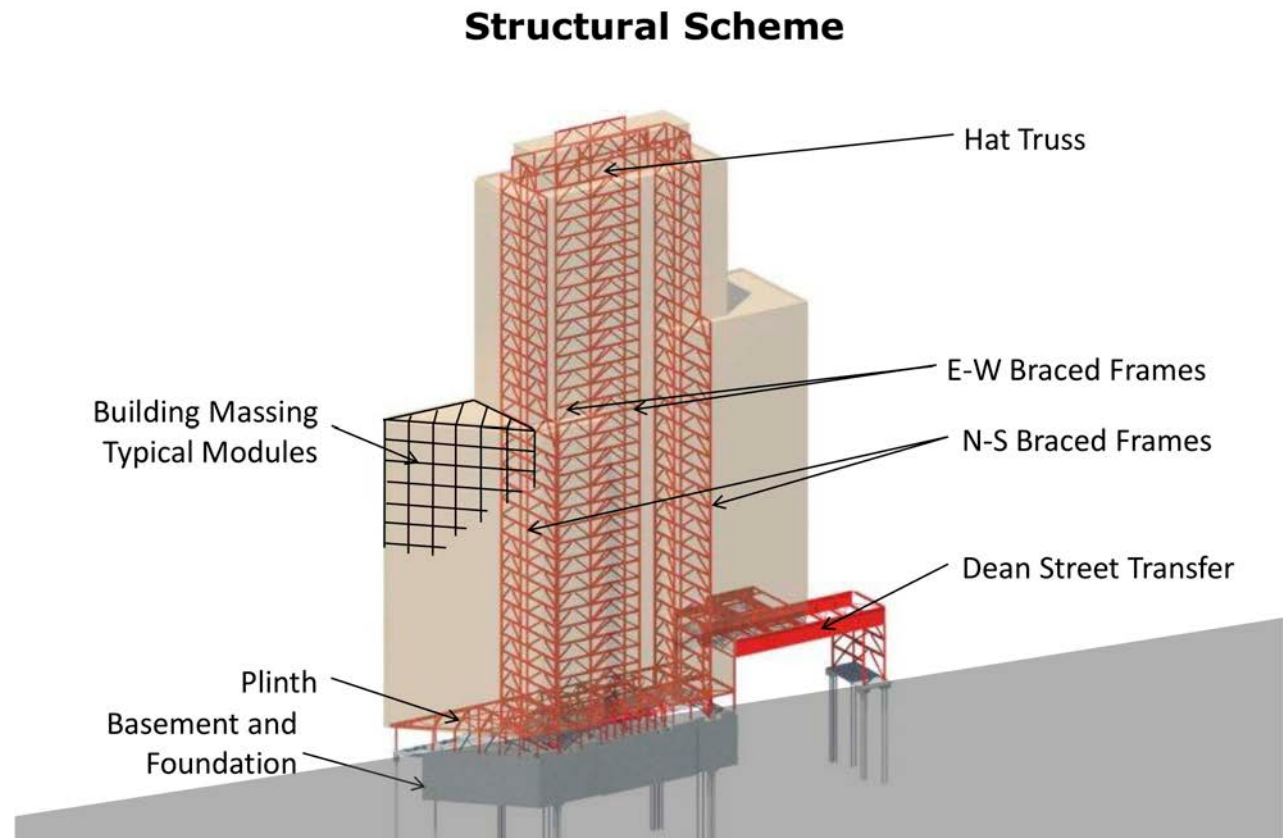
Construire en usine à la hauteur de personnes sans la nécessité de monter des échafaudages est un des avantages de la construction en usine. Une tour de 34 étages assemblés avec 930 modules usinés permet de réduire le risque associé à la construction sur site. Une partie du risque est partagée avec l'usine qui permet d'avoir un meilleur contrôle et suivi sur les stratégies de santé et sécurité au travail.



Système d'acheminement des modules ▲
Source : SHoP Architects

Éléments à retenir

Le développement de l'architecture modulaire appliquée à des structures de grandes hauteurs qui dépasseraient le statut de simple prototype n'est pas chose simple. Depuis le milieu du vingtième siècle, plusieurs acteurs proposent le modulaire comme une réponse idéale aux problèmes de logements. Dean Street nous offre une vitrine sur les enjeux qui ne sont pas simples à régler. Dans le cas de ce projet ambitieux, peut-être que l'ambition était justement un peu trop importante. Établir une usine à proximité du chantier, donner une grande liberté aux architectes, établir un premier partenariat sont les trois éléments qui dans un monde idéal feraient la démonstration d'un potentiel, semblent s'être réunis dans ce projet pour développer un projet qui ne s'est pas réalisé selon l'échéancier et avec des dépassements de coûts importants. La leçon la plus importante à tirer de ce projet est que la construction modulaire impose certaines restrictions conceptuelles, constructives et de production qui doivent être connues et intégrées dès le départ, par l'ensemble des intervenants et par les ententes qui les réunissent.



Pour en savoir plus

- Charles V. Bagli (2016), Developer That 'Cracked the Code' on Modular Building Exits the Business, The New York Times. Tiré de https://www.nytimes.com/2016/10/06/nyregion/developer-that-cracked-the-code-on-modular-building-exits-the-business.html?_r=0
- David Farnsworth, David Edelson (2018), Delivering the World's Tallest Volumetric Modular Apartment Building, Council on Tall Buildings & Urban Habitat. Tiré de <http://tallinnovation2018.ctbuh.org/program/projects-featured/#project81>

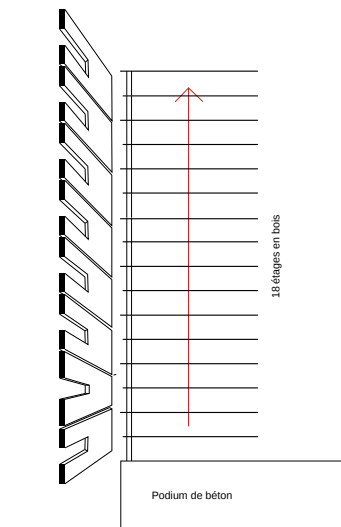


2.10 – Brock Commons

«The total construction duration of the 17 floors of mass timber structure was less than 10 weeks, and the total duration of installation of 16 floors of envelope panels (excluding the ground floor curtain wall) was less than 9 weeks.»

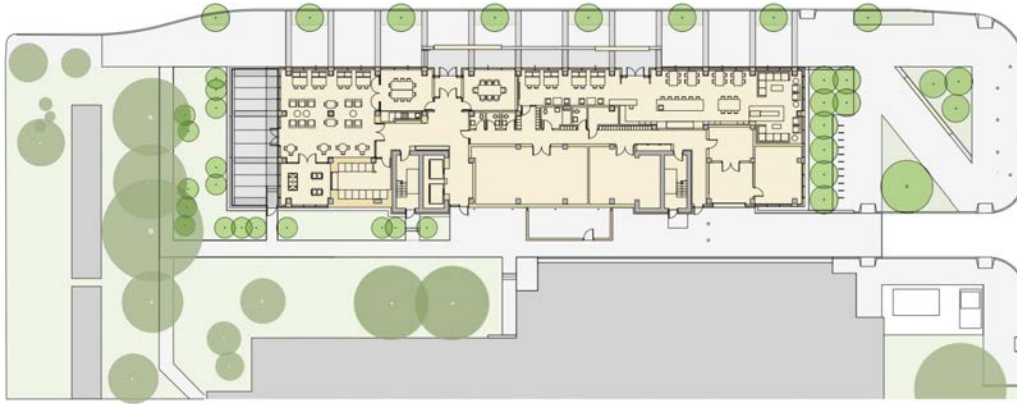
- Russell Acton

Informations générales	Localisation du projet	Université de Colombie-Britannique, Vancouver
	Année de construction	2017
	Superficie	15,115 m2 (18 étages)
	Fonction / Programme	Résidence étudiante (résidentiel)
	Type de construction	Construction neuve
	Coût du projet	\$51.5 M
	Coût de la construction	Prevue à 30\$ M (+/- 2000\$/m2)
	Stratégies de construction préfabriquée	Panneaux de façade préfabriqués
Intervenants	Propriétaire	Université de Colombie-Britannique
	Gestion de projet	UBC Properties Trust
	Architectes	Acton Ostry Architects
	Ingénieurs structure	Fast+Epp structural consultants
	Ingénieurs mécanique	Stantec
	Fabricant des éléments préfabriqués	Centura Building Systems Ltd.
	Constructeur	Urban One Contractors



▲ Schéma d'analyse
Référence Pre[fabrica]tions

Contexte



▲ Plan du rez-de-chaussée
Référence Acton Ostry Architects



▲ Élévation façade
Référence Acton Ostry Architects

La construction de la résidence étudiante Brock Commons a débuté en 2016 et s'est achevée en 2017. Ce bâtiment manifeste, conçu pour l'Université de la Colombie-Britannique, est une structure hybride combinant le bois, le béton et l'acier sur une hauteur de 18 étages. Brock Commons est une réalisation importante dans la mesure où le bois massif utilisé comme matériau de structure pour des bâtiments de grande hauteur fait présentement l'objet de recherches et d'exploration dans le monde entier. Surtout en matière de «kits» de pièces préfabriqués, l'utilisation relativement récente de panneaux et de composants en bois lamellé-collé et en bois lamellé-croisé suscite l'intérêt des constructeurs. Ce type de construction permet des assemblages simples et précis et propose une alternative plus

écologique à la construction en dalles de béton armé. Documentée, notamment par l'architecte canadien Michael Green, qui a publié «Le cas des grands bâtiments en bois» en 2012 explorant ces techniques de construction, la construction en bois inspire aujourd'hui de nombreux architectes et donneurs d'ouvrage pour les avantages en matière de planification, préfabrication et soutenabilité. Différentes études de cas construits dans le monde mettent de l'avant l'utilisation de panneaux de bois lamellé-croisé pour des constructions de type dalles et poutres ou dalles et panneaux. Comparables à la construction en dalles de béton en termes de portées et de dimensionnement des systèmes de plancher, les panneaux de bois lamellés-croisés sont une forme de «hyperplywood»; des couches de planches sont empilées

et liées sous vide et croisées orthogonalement produisant un panneau isotrope (minimum de trois couches) à partir d'un matériau anisotrope. Le bois massif utilisé pour des immeubles de grande hauteur symbolise aujourd'hui la recherche en matière de logements urbains denses avec un matériau optimisé, un processus de production efficace et un système simple de construction en panneaux. Le bois gagne également en popularité, car certains projets tels que Brock Commons offrent une plate-forme de sensibilisation et d'éducation pour les organismes responsables de la réglementation pour faciliter l'intégration des éléments en bois dans les codes de construction. Cette base d'expérimentation avec le bois crée ainsi de nouvelles avenues pour l'innovation dans le domaine.

Description

Inclus dans la partie plus récente du développement de l'Université de la Colombie-Britannique, Brock Commons est un ensemble de logements et de services communs pour 404 étudiants. Le projet est une tour simple avec une esthétique d'inspiration moderniste qui répète le même plan sur 17 niveaux. Les 17 étages de chambres sont organisés autour d'un corridor commun central. La structure hybride de 18 étages comprend un podium en béton et des noyaux verticaux en béton armé qui supportent et contreventent les panneaux et poteaux en bois lamellé-croisé et lamellé-collé plus légers. La structure a été érigée en seulement 10 semaines. En rapport avec leur responsabilité éducative et communautaire, l'université a commandé un bâtiment vitrine qui exposerait la construction en bois comme option viable pour la construction de bâtiment de grande hauteur. L'université par son bras promoteur immobilier (UBC trust) a mandaté l'ensemble des intervenants. Le bâtiment utilise non seulement la préfabrication pour sa structure interne en bois, mais déploie également un système d'enveloppe en panneaux préfabriqués, conçu pour agir comme élément protecteur durant

la construction. Ce bâtiment de grande hauteur à structure hybride a été conçu dans le cadre d'un de concours, une initiative de démonstration des bâtiments en bois de 2013. Une fois achevé en 2017, il était le bâtiment en bois massif le plus haut du monde. Le bois étant encore à l'étude par les organismes qui réglementent la construction comme solution de rechange au béton armé, tous les composants en bois ont été encapsulés, soit avec une chape en béton ou des couches de gypse, ce qui empêche d'avoir le bois de structure exposé dans le bâtiment.

Ce bâtiment de grande hauteur à structure hybride a été conçu dans le cadre d'un de concours, une initiative de démonstration des bâtiments en bois de 2013. Une fois achevé en 2017, il était le bâtiment en bois massif le plus haut du monde.



▲ Espace social et d'étude
Référence Acton Ostry Architects

Objectifs du projet

Dans le but d'associer les intérêts de l'enseignement et de la recherche avec la construction durable et la mise en valeur des nouveaux potentiels pour l'utilisation du bois, le projet vise à démontrer la viabilité économique du bois en tant que matériau de structure pour les projets de logements étudiants. Considérant Brock Commons comme un projet de démonstration, l'ensemble du processus a été documenté et continue d'être étudié afin de garantir qu'il demeure à la hauteur des objectifs initiaux et que la performance durant le cycle de vie du bâtiment montre le potentiel de la construction en bois. Le bois a également été choisi afin de démontrer le potentiel de ce type de construction pour des projets non traditionnellement réalisés en bois. Selon l'approche intégrée, la communauté académique et étudiante de l'université est constamment invitée à mieux saisir les occasions d'apprentissage et d'amélioration durant la durée de vie de l'immeuble. C'est à la fois un bâtiment et un projet éducatif.

Mode de réalisation

Le projet, comme d'autres, réalisés par l'Université de la Colombie-Britannique, utilise une méthode de gestion de la construction dans lequel la société mandatée, Urban One Builders, est supervisée par UBC Properties Trust. UBC Properties Trust supervise la conception, la planification, la construction, la mise en service, et négocie directement avec certains sous-traitants. Ce type de gestion de la construction simplifie la tâche du propriétaire et regroupe d'une façon plus intégrée tous les intervenants impliqués dans le projet dès le début du processus de conception. Cela garantit un réseau de requêtes, demandes et décisions hautement coordonné pour toutes les stratégies et composantes du projet. De plus, une équipe de modélisation virtuelle (Cadmakers inc.) de la conception et de la construction a été mandatée indépendamment des consultants pour finaliser, contrôler et mettre à jour un modèle de bâtiment

virtuel utilisé tout au long du processus. Un processus d'appel d'offres qualitatif a également été mis en place pour s'assurer que certains intervenants clés faisaient partie de l'équipe de départ. L'équipe de VDC (virtual design and construction – conception et construction virtuelle) était essentielle à la conception, mais également à la planification optimale par des simulations animées afin d'informer et garder à jour le budget, le calendrier et les stratégies de construction. Le modèle VDC a permis d'éliminer des problèmes de coordination et de promouvoir l'utilisation d'une gestion intégrée de la chaîne d'approvisionnement, les mêmes fichiers ont pu être utilisés pour la planification, la fabrication, la livraison juste à temps des composants.



▲ Photo de chantier
Référence Archdaily

Systèmes du bâtiment

Fondation

Un podium en béton armé au rez-de-chaussée abrite des espaces de service. Ce podium est utilisé pour supporter une dalle de transfert 600 mm qui permet aux portées du rez-de-chaussée d'être indépendantes des portées des étages supérieurs. Le podium est ancré à une fondation en béton armé composée d'un mur et de semelles filantes. Les noyaux verticaux sont supportés par une dalle radier de 1,6 m de profondeur maintenue en place par quatre ancrages / tirants profonds.

Structure

La structure principale est formée d'un podium de béton qui supporte 17 étages de plateformes composés de panneaux lamellé-croisés et des poteaux lamellés-collés. Le toit du dernier niveau comporte une structure en acier.

Enveloppe

Un système de mur-rideau (enveloppe suspendue avec une stratégie conventionnelle pare-pluie) a été conçu et fabriqué spécifiquement pour le projet. Chaque panneau est fixé à un linteau / rail linéaire structural. Une partie de l'enveloppe est réalisée en usine et une partie est réalisée au chantier. Les panneaux préfabriqués comprennent le revêtement, l'isolation extérieure et les membranes d'étanchéité ainsi que les montants en acier, alors que l'isolation en natte, la barrière pare-vapeur et la finition intérieure sont réalisées au chantier.

Circulation

Cages d'escalier en béton vertical. Le plan d'étage type est organisé par le corridor commun central.

Systèmes intérieurs

L'aménagement intérieur d'un plan d'étage typique comprend 16 studios, 2 appartements pour quatre étudiants en vie commune et un corridor commun. Tous les services de cuisines et de salles de bains sont concentrés et placés dos à dos, rationalisant l'emprise de la mécanique verticalement et horizontalement. Aucune tuyauterie ou plomberie ne passe dans les murs mitoyens, facilitant ainsi une barrière acoustique entre les unités. Le rez-de-chaussée et une partie du 18e étage abritent des services publics et un salon (18e étage).

Stratégies de préfabrication employées

Deux principales stratégies de préfabrication ont été expérimentées sur le projet. Les deux sont des stratégies «kit-of-parts» basées sur l'assemblage facilité des composantes. Le système structural en bois est composé de panneaux lamellés-croisés, de colonnes en bois laminé et de colonnes en lamellé-collé, fabriqués sur mesure pour le projet. Le projet ne comporte que quatre panneaux standards, la plupart des panneaux ont été spécialement conçus pour leur application en matière de positionnement et de résistance structurale. Les panneaux et colonnes ont été coupés selon le besoin, emballés, empilés et livrés juste à temps pour être assemblés sur le chantier. La protection de la structure en bois contre les intempéries durant le chantier a inspiré un système de façade préfabriquée pouvant être suspendue au fur et à mesure de l'avancement des travaux, créant ainsi, à chaque niveau, une barrière de protection. Chaque étage est devenu la plateforme de levage et d'installation de ce mur-rideau. La fabrication des composants en bois en usine incluait toute la sous-traitance des éléments et connecteurs en acier, ce qui a permis d'obtenir des tolérances d'assemblages extrêmement précises de +/- 2 mm. La répétition d'un même plan type est un facteur déterminant pour les gains d'efficacité durant la réalisation du projet. La structure en bois a été montée en 70 jours, soit environ 2 mois plus rapidement qu'une structure en béton

armé comparable (1 dalle / semaine = 119 jours). La préfabrication des composants conçus pour faciliter leur assemblage a également permis de réduire les déchets générés par le chantier de 66%, par rapport à une construction traditionnelle. Le modèle BIM / VDC a également servi à la préparation de certains sous-assemblages mécaniques en usine afin de faciliter l'intégration et la coordination au chantier.

Processus de conception

L'élément clé du processus de conception est l'utilisation du modèle virtuel de conception et de construction (VDC) par tous les intervenants tout au long du projet de la planification à la mise en service en passant par la construction. Un atelier de conception intégré a eu lieu pendant la phase de conception et a rassemblé les principaux sous-traitants avec les intervenants concepteurs afin de discuter des problèmes de construction à l'avance et d'inclure tous les défis comme critères de conception. Ce processus a notamment permis de développer trois stratégies d'enveloppe sur la base d'un même devis de performance.

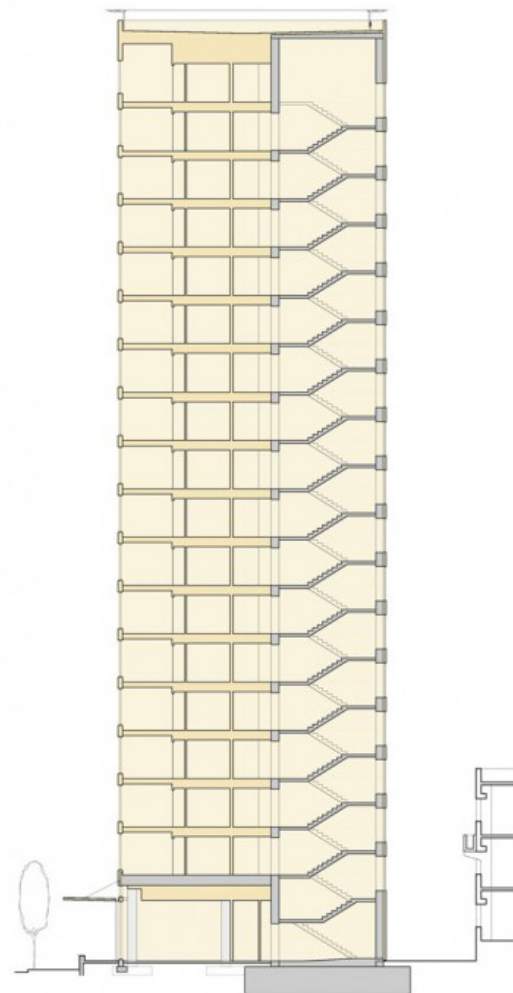
Produites par trois soumissionnaires, les maquettes grandeur réelle pour l'enveloppe ont été testées et analysées pour confirmer un concept de production au moment de compléter la conception – un processus qui a permis l'optimisation du choix

définitif. Un consultant indépendant a travaillé en tant que membre de l'équipe de conception pour contrôler et mettre à jour un modèle virtuel détaillé de tous les composants et systèmes du bâtiment. En plus des avantages évidents pour la coordination et de la détection des conflits, le modèle a également servi pour la fabrication numérique précise de certains composants et pour simuler l'avancée de certains enjeux de la construction. Par exemple, le levage des panneaux a été simulé dans la maquette virtuelle. Les fabricants des panneaux ont utilisé les données recueillies à partir du modèle VDC assurant un flux d'information rationalisé de la conception à la fabrication. Ce modèle virtuel sera également mis à profit tout au long de la durée de vie du bâtiment en tant qu'outil de mise à jour permettant de suivre l'évolution et les adaptations du bâtiment. Une vitrine de la conception intégrée, les organismes de réglementation ont aussi fait partie de l'équipe de prise de décision, dès le début.

Stratégie principale

La majeure partie de la littérature sur Brock Commons se concentre sur les éléments en bois. Les panneaux d'enveloppe pare-pluie ont également été préfabriqués hors site pour répondre à l'échéancier serré, mais surtout pour garantir la fermeture de chaque étage et protéger la structure en bois contre les intempéries lors de la construction. Chaque niveau de façade est assemblé avec 22 panneaux, 2 types aux coins et 12 types plats. Chaque panneau est suspendu à un linteau en acier qui agit comme dispositif d'installation sur un rail linéaire qui détermine la ligne de base horizontale. Chaque panneau est relié également au panneau adjacent avec une garniture d'étanchéité, à la manière d'un mur rideau unitaire. De manière similaire aux composants en bois, les panneaux ont été fabriqués et chargés en séquence pour faciliter le déchargement, la mise en place et l'assemblage sur site. Ce processus a été conçu virtuellement dans le modèle VDC, permettant aux consultants de résoudre tous les problèmes avant qu'ils ne se produisent sur le chantier. Les panneaux de grand format ont été installés à une vitesse surprenante par une petite équipe. La nature simple des panneaux a réduit la main-d'œuvre requise et l'installation à l'aide d'une grue signifie

qu'aucun échafaudage n'était requis. Chaque plateforme d'étage a servi d'échafaud. Bien que les panneaux étaient étanches à l'air extérieur, l'isolation, le pare-vapeur et les panneaux de gypse de finition ont été complétés au chantier. Ce processus hybride facilite le contrôle de la qualité au chantier et permet d'inspecter les panneaux avant de fermer le bâtiment. Des gabarits ont été construits en usine pour obtenir et reproduire la géométrie exacte de chaque panneau, ce qui serait trop dispendieux et prendrait beaucoup de temps sur site, sans réussir la même normalisation. Les fenêtres ont été installées dans les panneaux à l'usine avec les coupe-froid, jonctions pare-air et garnitures d'étanchéité nécessaires. Le panneau structuré avec des montants en acier est une surface modulaire légère, simple à installer et non combustible de 8 x 2,81 m (deux baies de structure) qui se comporte comme un abri de protection pendant la construction. Les panneaux, testés d'abord par les architectes, le fabricant et un consultant en enveloppe, ont été testés par un organisme indépendant en matière de fuite d'air, d'étanchéité à l'eau et de résistance au vent. Des maquettes grandeur nature ont été utilisées pour déterminer la performance avant la production du projet.



▲ Coupe transversale
Référence Acton Ostry Architects

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

Un plancher type est répété 17 fois, voilà la stratégie principale qui maximise les potentiels de la préfabrication. La même efficacité serait difficile à atteindre sur un projet avec une très grande variation entre les éléments. Au-delà de cette normalisation sur la base d'un étage type, le modèle VDC a également permis de tester et de corriger virtuellement tous les éléments avant de les mettre en pratique. La qualité du projet est attribuée au processus continu de conception intégré et itératif qui se met constamment à jour et relève les défis à venir, réduisant les risques et les erreurs habituellement liés à la construction sur site et sans modèle virtuel détaillé. Comme le bois est complètement recouvert de gypse pour répondre à des critères de résistance au feu, il est difficile de déterminer si le bois aurait pu avoir un impact sur la qualité architecturale par sa couleur et sa chaleur. C'est un enjeu majeur de la construction en bois actuelle.

Impacts sur le budget

Estimée par le responsable de la construction à un surcoût de 7%, cette prime liée à l'innovation a été établie en comparant Brock Commons à une construction traditionnelle en béton armé. Bien que cela soit exigé par le code, les revêtements en gypse et en béton nécessaires à la résistance au feu et à l'acoustique constituent 60% de ce surcoût, ce qui réduit considérablement la différence entre cette conception innovante et son équivalent plus classique. C'est dans la planification que le projet se distingue. La séquence d'assemblage qui constituait à monter la structure et l'enveloppe par secteurs de deux étages alliait précision, intelligence d'assemblage et la construction virtuelle en amont pour réduire l'échéancier de 2 mois. Les intervenants identifient précisément un gain de neuf semaines sur une structure similaire en béton. Il est sûrement possible que la prime citée de 7% soit totalement éliminée si une stratégie similaire était utilisée pour un projet similaire et ultérieur, permettant aux intervenants d'apprendre et d'appliquer les leçons apprises à un autre bâtiment.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

Les mesures visant à contrôler la teneur en eau et en humidité des composants en bois constituent un enjeu majeur pour assurer la qualité et la durabilité de la construction en bois. Dans le cas de Brock Commons, la relation étroite entre les composantes de plancher, les panneaux de façade étanche aux intempéries et la chape en béton armé permettaient la protection des matériaux lors de la construction des étages supérieurs. La surveillance du taux d'humidité dans le bois n'est pas seulement un problème de contrôle de la qualité lors de la construction, elle devient également importante pendant la vie du bâtiment. Les éléments de Brock Commons sont sondés en permanence pour aider le propriétaire et ses mandataires à apprendre et à appliquer leurs connaissances pour maintenir le bâtiment dans des conditions optimales.



▲ Photo du chantier
Référence Naturally wood

Impacts sur la durabilité du projet

Le niveau élevé de protection des composants et la réduction du temps d'exposition aux intempéries sont des composants essentiels de la durabilité des composants d'un bâtiment, car toute dégradation rapide doit être évitée. Bien que le bâtiment et ses composants soient relativement récents et qu'aucune dégradation n'ait été constatée, c'est le processus de mise en service établi lors du processus de conception et de construction qui permettra de garantir que le bâtiment fonctionne comme prévu pendant sa durée de vie. Une mise en service améliorée des systèmes mécaniques au cours des 10 premiers mois d'exploitation informera également les intervenants de tout problème. Une durée de vie de 100 ans était le critère de conception du projet au départ. La stratégie simple consistant à créer une enveloppe étanche aux intempéries protégeant une structure en bois massif simplifie certainement toutes les interventions de protection requises sur la structure. Une stratégie de mise en service améliorée et continue pour les éléments autres que les éléments mécaniques contribue également au plan de durabilité mis en place pour l'ensemble des systèmes du bâtiment. Cette pratique de considérer la durée de vie du bâtiment, quoiqu'encore marginale aide à planifier les interventions et l'entretien nécessaires au maintien de l'actif construit.

Impacts environnementaux

La préfabrication de la structure et de l'enveloppe en bois a permis de réduire le temps de construction de 9 semaines, d'optimiser la production et la livraison juste à temps, de réduire les distances de transport, de réduire également la quantité de déchets générés et la pollution (poussière et bruit) associée à la construction sur site traditionnelle. Les propriétés de stockage du carbone du bois réduisent également l'empreinte carbone de ce bâtiment par rapport à son homologue en béton conventionnel.



▲ Photo du chantier
Référence Acton Ostry Architects

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

L'utilisation de chaque étage comme plateforme de construction a permis de réduire les difficultés liées aux échafaudages et au travail en hauteur. L'installation des panneaux avec une grue et l'organisation de leur livraison ont fait appel à une petite équipe. Le processus d'assemblage et de réalisation de chaque plancher est devenu un outil de recherche d'efficacité pour le plancher suivant, dans un processus évolutif d'efficacité. Ce type de planification et d'organisation optimisée réduit les risques associés à la construction sur site. Par exemple, l'installation du premier étage de panneaux a duré 7,3 heures, tandis que le dernier a nécessité 3,1 heures de grue, et il a fallu 12,7 heures de grue pour installer l'enveloppe au premier étage alors que pour le dernier, il en a pris 4,4 heures.



▲ Photo du chantier
Référence Naturally wood

Éléments à retenir

Selon notre entretien avec le concepteur principal, la protection des éléments en bois de l'humidité est l'une des principales préoccupations de la construction d'un projet en bois. En faire un critère de conception dès le départ réduit considérablement le risque que la teneur en humidité devienne un problème. Le mouvement différentiel entre le béton armé et la structure en bois nécessite également plus de recherche; de nombreux composants ont été réajustés en tenant compte du raccourcissement axial des éléments qui ne s'est pas confirmé sur place. Le bois massif étant une matière relativement nouvelle pour les organismes de réglementation, il est important de considérer ces organismes comme partie prenante dès le début du projet. La participation des principaux intervenants à l'étude des maquettes physiques et virtuelles permet de réagir en temps réel aux conditions du projet. Le modèle VDC était une partie importante de l'optimisation du projet et le recours à des intervenants spécialisés en VDC pourrait être considéré comme une stratégie de coordination supplémentaire.



▲ Installation d'un panneau mural
Référence Urban One

Pour en savoir plus

- Bruce Haden (2017), Reaching new heights, Canadian Architect. Tiré de <http://vancouver.housing.ubc.ca/wp-content/uploads/2017/02/Brock-Commons.pdf>
- The University of British Columbia, Brock commons tallwood house. Tiré de <https://sustain.ubc.ca/research/research-collections/brock-commons-tallwood-house>



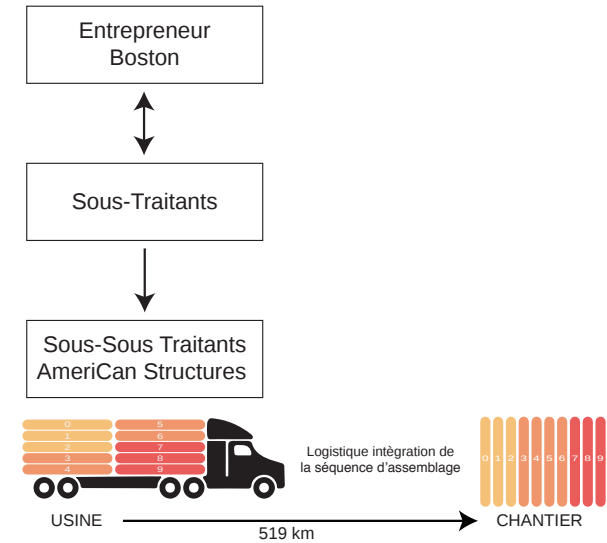
2.11 – East Pier Boston

«Bob Ernst, president of FBN Construction, a high-end construction firm in Boston, said the labor shortage has forced him to increase salaries to retain good talent. “We’ve had to increase salaries significantly in the last five years,” Ernst said. “We generally do what we have to do to keep them. Some of our skilled carpenters are making \$80,000 to \$110,000 a year.»

<https://www.forbes.com/sites/jimmorrison/2018/08/05/construction-labor-shortage-creates-increasingly-lucrative-career-paths/#19f530544cea>

Informations générales	Localisation du projet	Boston, USA
	Année de construction	2018
	Superficie	12 350 m2
	Fonction / Programme	Résidentiel (11 600m2) et commercial (750 m2)
	Type de construction	Construction neuve
	Coût du projet	1,750,000 \$ (panneaux uniquement)
	Coût de la construction	54,000,000 \$ (toutes les phases)
	Stratégies de construction préfabriquée	Panneaux des murs, poutrelles et ferme de toit

Intervenants	Propriétaire	Roseland Property Company
	Gestion de projet	-
	Architectes	Lessard Design, Inc.
	Ingénieurs structure	McLaren Engineering Group
	Ingénieurs mécanique	R.W. Sullivan Engineering
	Fabricant des éléments préfabriqués	American Structures
	Constructeur	Cranshaw Construction



▲ Schéma d'analyse
Référence Pre[fabrica]tions

Contexte

Le développement du secteur « East Pier » à Boston dans l'état du Massachusetts est une opération qui regroupent depuis plusieurs années des acteurs de la municipalité, de la société du Port « MassPort » ainsi qu'un comité consultatif composé de citoyens de East Boston. East Boston est un secteur ouvrier de Boston qui vit une renaissance. Le secteur comporte maintenant plusieurs complexes d'habitations, de services qui visent à profiter de la proximité avec l'eau. Le projet « East Pier » qui comporte plusieurs bâtiments est l'aboutissement d'une vision pour le réaménagement du secteur qui a débuté dans les années 1980. La relation avec l'eau et l'urbanité dynamique de East Boston génère aujourd'hui une forte demande suite à plusieurs années de dégradation des infrastructures portuaires et industrielles.

Les bâtiments 5 et 6 (5 niveaux et de 296 unités de logement) qui nous concernent plus spécifiquement pour cette étude ont été réalisés en 2017. Les deux bâtiments construits avec des méthodes relativement conventionnelles, une ossature en bois légère à plateforme, représentent une production assez typique pour l'entreprise québécoise American Structures qui a fourni un système de panneaux faits en usine pour faciliter la construction du projet. La construction en panneaux pour les murs extérieurs, cloisons intérieures et cloisons de corridor commun ont permis de réduire la main d'œuvre requise au chantier.



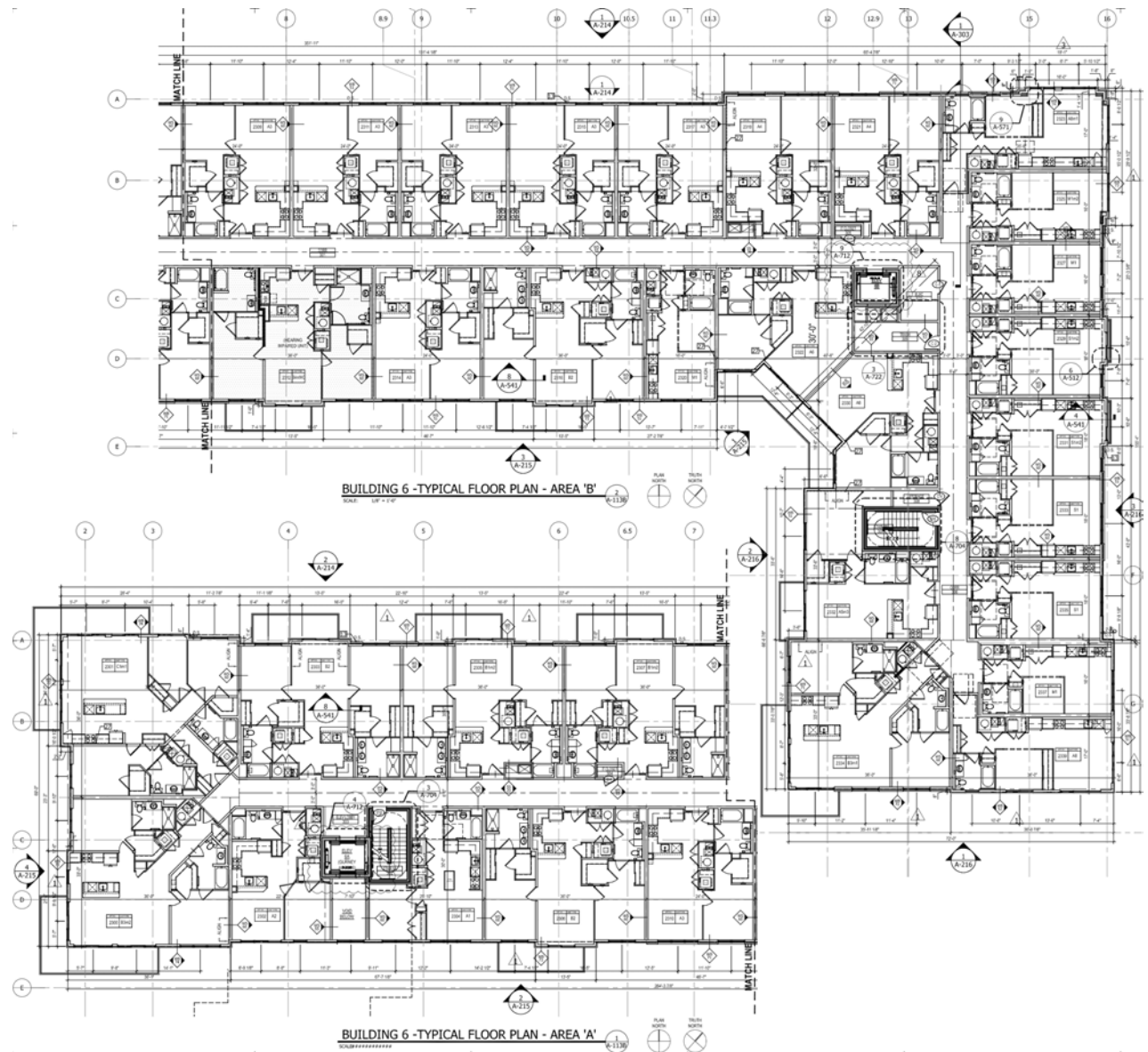
Esquisse du projet ▲
Source : Lessard Design, Inc.

La pénurie de main-d'œuvre qualifiée qui est présente aux États-Unis et à Boston plus précisément a un impact sur les coûts et délais de construction, ce qui force les métiers traditionnels de la construction à chercher des stratégies alternatives. Dans le cas de East Pier bâtiments 5 et 6, American Structures située à quelques 523 km du chantier est un sous-traitant mandaté directement par les « framers » monteurs de structures de bois un sous-métier du syndicat des « United Brotherhood of Carpenters and Joiners ».

La pénurie de main-d'œuvre qualifiée, qui est présente aux États-Unis et à Boston plus précisément a un impact sur les coûts et délais de construction, ce qui force les métiers traditionnels de la construction à chercher des stratégies alternatives.

Description

Implantées à la limite sud de East Boston, les façades sud-ouest des deux bâtiments situés sur des lots adjacents pointent le port de Boston. Les bâtiments 5 et 6 comportent des systèmes de construction similaires et témoignent d'une architecture en lien avec la rénovation du secteur, mais en rupture d'échelle avec le tissu urbain à proximité. Le bâtiment 5, une structure de 5 niveaux comporte 137 unités alors que le bâtiment 6 comporte 159 unités distribuées également sur 5 niveaux. Les unités d'habitation varient de micro-unités de 476 pieds carrés à des unités pour familles de 1489 pieds carrés. Le plan est organisé sur corridor commun et distribue des logements de part et d'autre du corridor. Les logements d'extrémités uniquement ont la double orientation. Le promoteur / propriétaire immobilier Rosedale Property company a agi comme maître d'œuvre sur le projet. Alors que le projet reste très conventionnel dans son apparence, notre intérêt pour le projet porte spécifiquement sur la production des panneaux muraux pour la structure. Une réponse à un problème de main-d'œuvre la préfabrication des panneaux permet de palier à ce manque, mais également d'organiser un chantier efficient et rapide basé sur une livraison « juste à temps ». Sur place les panneaux s'assemblent simplement à la manière d'une ossature à plateforme qui serait réalisée sur place.



Objectifs du projet

Cette réponse à un problème d'approvisionnement local est une stratégie de préfabrication qui est bien connue et déployée dans l'industrie depuis longtemps. Pour East Pier, American Structures a été mandaté pour produire les panneaux muraux et fournir l'ensemble des composantes structurales, les poutrelles de planchers et les fermes pour les toitures. Se basant sur les principes d'efficacité du travail en usine seuls les panneaux muraux sont préassemblés. Il serait également possible de préassembler d'autres éléments, planchers et toits, mais ceux-ci requièrent une logistique plus complexe en usine et en transport jugée non pertinente par l'entreprise pour le moment.



▲ Vue intérieure d'un appartement type
Référence <https://www.apartments.com/portside-at-east-pier-east-boston-ma/3sj3kmg/>



▲ Vue de l'ensemble du bâtiment
Référence <https://www.apartments.com/portside-at-east-pier-east-boston-ma/3sj3kmg/>

Systèmes du bâtiment

Fondation	Un stationnement sous terrain de 488 places en béton armé est construit sur des pieux également en béton armé. Ce « podium » en béton est la base sur laquelle 5 niveaux d'ossature légère sont ancrés. Ce podium avec une résistance au feu de 3 heures sépare le stationnement de l'usage résidentiel. Des puits verticaux d'ascenseurs en blocs de béton participent à la stratégie de contreventement de l'immeuble.
Structure	La structure à ossature légère en bois à plateforme est de 5 niveaux. Les planchers et le toit sont constitués de poutrelles de planchers et de fermes de toiture préfabriqués. Les murs extérieurs et les cloisons porteuses sont des panneaux semi-monocoques (colombages de bois et revêtement de contreplaqué d'un côté uniquement).
Enveloppe	Un écran pare-pluie, toutes les composantes du mur autre que la structure et le revêtement intermédiaire appliqué en usine ont été réalisés sur place avec des modes de construction traditionnels.
Circulation	Le plan est organisé autour d'un corridor commun qui donne accès à des puits d'ascenseurs et des cages d'escalier.
Systèmes intérieurs	Les cloisons des corridors communs ainsi que les murs porteurs ont été préfabriqués alors que les cloisons à l'intérieur des logements ont été construites sur place avec des méthodes traditionnelles.

Mode de réalisation

Un projet fait en mode conception, soumission, construction (design, bid, build), l'entreprise Cranshaw Construction l'entrepreneur général a engagé les sous-traitants spécialisés pour la construction du projet. American Structures connu et reconnu par réputation et pour leur capacité de livraison dans la région de Boston a agi comme un sous-sous-traitant contractant non pas avec l'entrepreneur général, mais avec le sous-traitant « framer » charpentier. La réputation de l'entreprise, le taux de change avec le dollar américain, le taux horaire des travailleurs en usine et leur court délai de production constituent les éléments de compétitivité pour l'entreprise dans un secteur industriel relativement chargé dans le Nord-est des États-Unis. Le mode de construction aussi conventionnel et basé sur un échange de documents à coordonner et à vérifier par les concepteurs du projet a été le seul outil d'échange et de validation d'American Structures avec les intervenants locaux. Les « framers » étant relativement habitués avec les modes de production et de livraison de l'entreprise aucune formation n'a été nécessaire sur place. Les panneaux étaient livrés « juste à temps » et déchargés selon une séquence pour optimiser le travail au chantier. Le processus de coordination avec les intervenants basé sur les dessins d'atelier CAD fourni par American Structures ont été validés par les intervenants concepteurs, une pratique commune dans l'industrie.

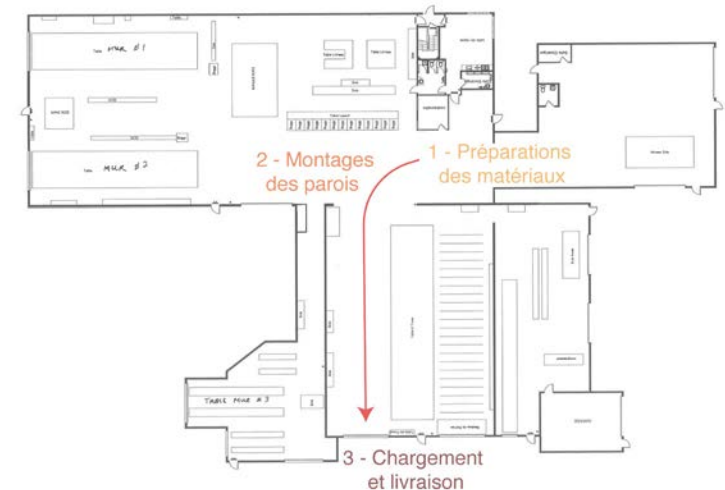
Processus de conception

Au niveau du processus de conception, American Structures étant un sous-sous-traitant des charpentiers, l'entreprise n'a eu aucun lien avec les concepteurs ou le propriétaire durant la phase de conception. American Structures a agi comme fournisseur de matériaux et de systèmes préassemblés. Comme en mode traditionnel le contrat était établi avec le sous-traitant charpentier qui lui répond à l'entrepreneur générale. Le point fort du processus est essentiellement la capacité de livraison d'une entreprise québécoise qui utilise ses facteurs de compétitivité pour servir une demande. L'usine, les méthodes de livraison ainsi que la communication entre les intervenants sur ce projet se sont faites sur la base d'échange de dessins d'atelier dessinés et validés à partir de plans envoyés par les architectes.

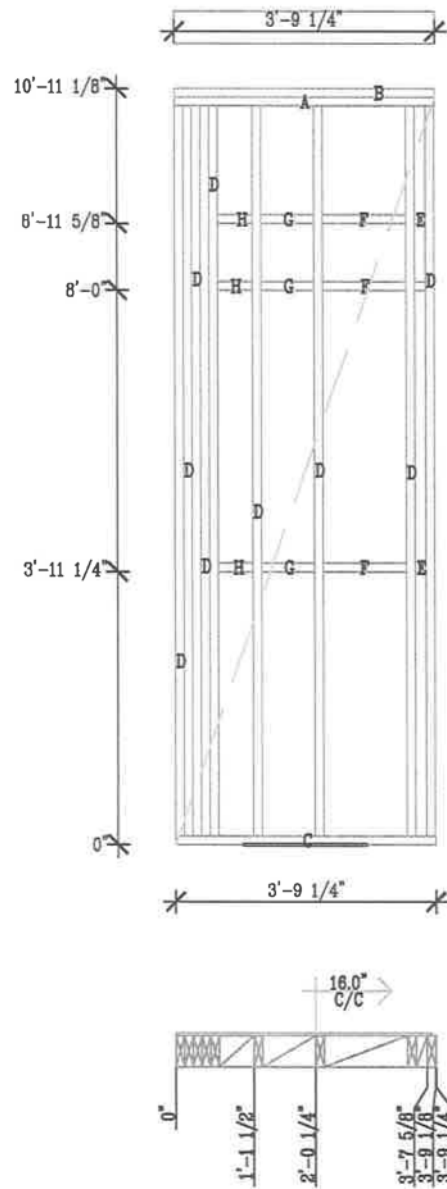
Stratégies de préfabrication employées

American Structures a fourni les panneaux muraux ainsi que les composantes de la structure. Un « kit » de construction qui facilite et optimise la réalisation de la charpente à ossature légère.

Organisation du processus dans l'usine



Stratégie principale



▲ Coupe des panneaux
Référence American Structures

Emballés et livrés à plat, ce système de pré-assemblage de l'ossature et du revêtement intermédiaire ont par la suite été installés au site sur des plateformes en ossatures de bois construites sur place. La préfabrication des panneaux muraux constitue aujourd'hui un secteur de la préfabrication qui est assez commun. Les panneaux réalisés pour ce projet sont essentiellement du même type qui serait construit dans une ossature à plateforme sur le chantier. Les colombages de bois sont le cœur structural de la monocoque.

Le revêtement en contreplaqué placé d'un côté uniquement permet de réaliser les autres systèmes sur place, distribution électrique, plomberie et autre câblage. Alors que les longueurs des colombages sont commandées et organisées en usine pour réduire les pertes, la construction reste très semblable à la construction sur site. Cette

optimisation des longueurs permet de réduire les pertes en usine et au chantier. Présente dans le nord-est des États-Unis depuis 7 à 8 ans l'entreprise a développé des liens avec les syndicats locaux afin de faciliter l'acceptation d'un produit canadien. Le transport de panneaux de 5 à 30 pieds de longueur numérotés et chargés selon une démarche discutée et entendue avec le constructeur rend le processus de livraison « just-in-time » optimisée.

Même si la méthode contribue à réduire les déchets sur le site et faciliter le travail à l'abri des intempéries, la stratégie dans ce projet est essentiellement valorisée pour sa rapidité et son potentielle à réduire la quantité de main-d'œuvre requise au chantier. Non-chiffré dans ce projet, il est évident qu'un sous-traitant qui commande des produits à plus que 500 km de son site y voit un avantage économique.

Impact de la stratégie sur le projet

Impacts sur la qualité architecturale

Les panneaux sont essentiellement une stratégie d'optimisation. L'architecte n'a pas spécifié les panneaux. La méthode a été choisie par sous-traitant en charpente. Aucune différence sur la qualité de la conception ni sur la qualité architecturale autre que la flexibilité à long terme est moins grande due au grand nombre de murs porteurs.

Impacts sur la qualité technique de la réalisation

Les panneaux optimisent uniquement la construction de l'ossature ; l'ensemble des autres systèmes du projet étant réalisés sur place, l'impact positif sur la qualité d'exécution est marginal et se limite à la fabrication des panneaux. Assemblées en usine, emballées et protégées jusqu'à leur mise en place, ces étapes bénéficient d'un contrôle de qualité. Le suivi sur le chantier est laissé au soin des monteurs « framers ». La structure assemblée comporte les mêmes enjeux du chantier qu'une construction traditionnelle : protection du bois, coupes sur le chantier, coordination des systèmes au chantier.

Impacts sur le budget

Un des éléments qui nous semblent importants à relever ici est que l'impact ou le facteur d'éloignement du chantier n'est pas un élément qui est considéré comme problématique dans le processus. Sur un contrat de 1.75 M\$ (coût du contrat de Armerican Structures), 10% des coûts sont liés au transport des composantes. Aux États-Unis le manque de main-d'œuvre cause une pression importante sur la structure financière des projets. Les coûts de construction à Boston dans certains secteurs ont subi une augmentation de 29% depuis les 5 dernières années, presque 6% par année. Alors que l'impact bénéfique de la préfabrication est clair sur l'ossature dans ce projet puisqu'elle a permis au sous-traitant de réaliser le projet, à temps et au budget, il nous semble important de dire que cette initiative d'un sous-traitant semble se propager dans l'industrie, on vit une préfabrication déterminée par les constructeurs et non des concepteurs. La valeur ajoutée d'un panneau mural ou d'une composante manufacturée facile à intégrer est clairement une avenue appréciée par les constructeurs. La construction est une activité 50/50 matériaux et main-d'œuvre, la réduction de la main-d'œuvre et des pertes matérielles peut avoir un impact positif sur la structure financière d'un projet. Dans le cas présent cette économie est cachée dans l'enveloppe du Charpentier.

Impacts environnementaux

La réduction des déchets et de leurs transports hors site est un avantage de la fabrication en usine. Le transport des panneaux sur plus de 500km génère un contrepoids. Alors que ce n'était pas l'objectif, il serait maintenant intéressant de faire une étude comparative, en matière d'empreinte carbone, entre une stratégie conventionnelle et la stratégie employée à East Pier.

Impacts sur la durabilité du projet

Les panneaux et les composantes fabriqués et assemblés en usine permettent de réduire les pertes associées au travail habituel au chantier. En matière de durabilité à long terme, cette stratégie ne semble avoir aucun bénéfice autre que la réduction de la main-d'œuvre sur le chantier.

Impacts sur le travail au chantier, santé et sécurité des travailleurs

Une partie du travail est fait sur le plancher de l'usine dans des conditions optimales pour les travailleurs. Une fois livrés, les panneaux sont déchargés en ordre d'installation qui permet une logistique efficace et qui réduit le temps que les travailleurs passent dans des conditions à risque.



▲ Photo de chantier
Référence : American Structure



▲ Photo de chantier
Référence : American Structure

Éléments à retenir

American Structures en opération depuis 2002, s'est lancé dans l'aventure des murs préfabriqués à panneaux pour faciliter le montage des structures en chantier. Maintenant actif aux États-Unis depuis 8 ans, le processus de préfabrication n'a pas beaucoup évolué. L'apprentissage fait depuis ces années permet à l'entreprise d'être compétitive. Le processus en usine est encore peu automatisé et est basé sur la construction des panneaux sans l'intégration d'autres systèmes. Alors qu'il serait possible d'imaginer un panneau plus complexe, l'entreprise choisit l'agilité et la flexibilité de leur approche comme moyen de répondre à un secteur très développé au Canada et aux États-Unis.

Depuis environ deux ans, les intervenants de conception demandent que le processus de conception et d'échange d'information soit facilité par l'usage de plate-forme de conception BIM. Important pour les concepteurs, dans ce cas précis, l'entreprise n'y voit pas un avantage important pour leur processus.

Pour en savoir plus

- BLDUP (2018), Portside at East Pier Phase Two. Tiré de <http://www.bldup.com/projects/portside-at-east-pier-phase-two>
- Roseland Property Company, Site officiel de Portside at East Pier. Tiré de <https://goeastpier.com>

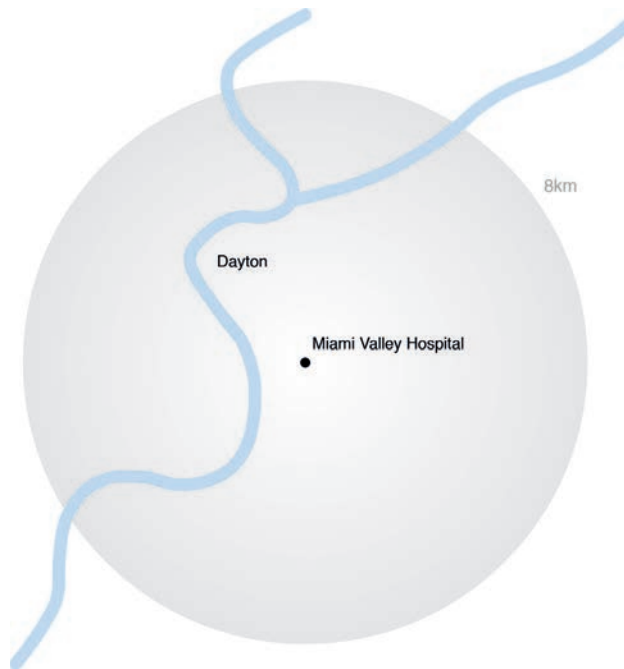
2.12 – Analyse comparative graphique

Acheminement des éléments préfabriqués

Les visuels présentés dans cette section visent à permettre d'identifier la distance entre le chantier de construction et les lieux de production/d'assemblage des éléments préfabriqués spécifiquement visés par l'étude. Si dans la majorité des cas, les usines de fabrication ont pu être identifiées, cela n'a pas été possible pour tous les projets. Ainsi, pour le projet de El Sol Science and Arts Academy, la majorité des composants étaient en provenance de Californie, mais d'autres éléments provenaient d'autres états. Pour Miami Valley Hospital, une usine a été louée dans un rayon de 8 km autour du site du chantier pour l'assemblage des systèmes et composants.

Le critère de distance au chantier a été utilisé pour évaluer la pertinence de la construction usinée par le passé. Aujourd'hui la proximité au chantier est encore valorisée pour les composantes dont le transport est un défi, mais l'industrie est de plus en plus globalisée. Le projet Treet est un exemple important puisque les modules ont été transportés sur une très grande distance.

2.3 – Miami Valley Hospital



- ▲ Stratégie localisée :
Usine louée pour assemblage

2.4 – Résidence Hetherington



- ▲ Stratégie localisée :
modules noyaux de services (NOYO)

2.5 – El Sol Science and Arts Academy



▲ Stratégie localisée :
pièces du Kit de Project FROG

2.5 – Treet



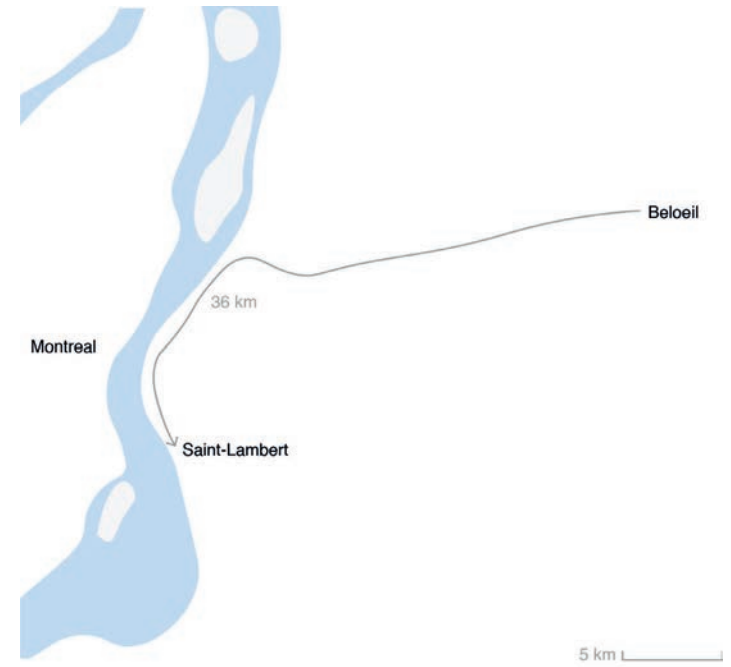
- ▲ Stratégie localisée :
modules d'appartements

2.7 – Patch 22



▲ Stratégie localisée :
planchers techniques

2.8 – Loggia Saint-Lambert



▲ Stratégie localisée :
modules d'appartements

2.9 – 461 Dean Street



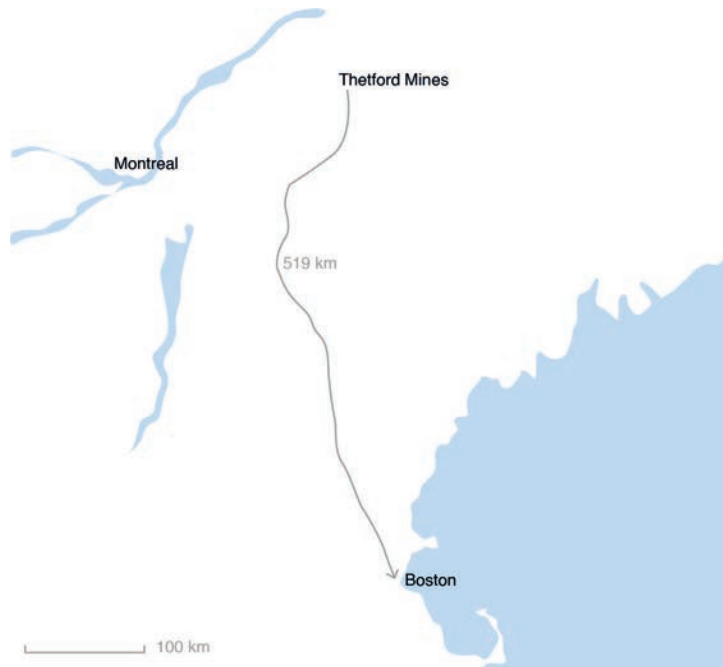
▲ Stratégie localisée :
modules d'appartements

2.10 – Brock Commons



▲ Stratégie localisée :
panneaux de façade

2.11 – East Pier

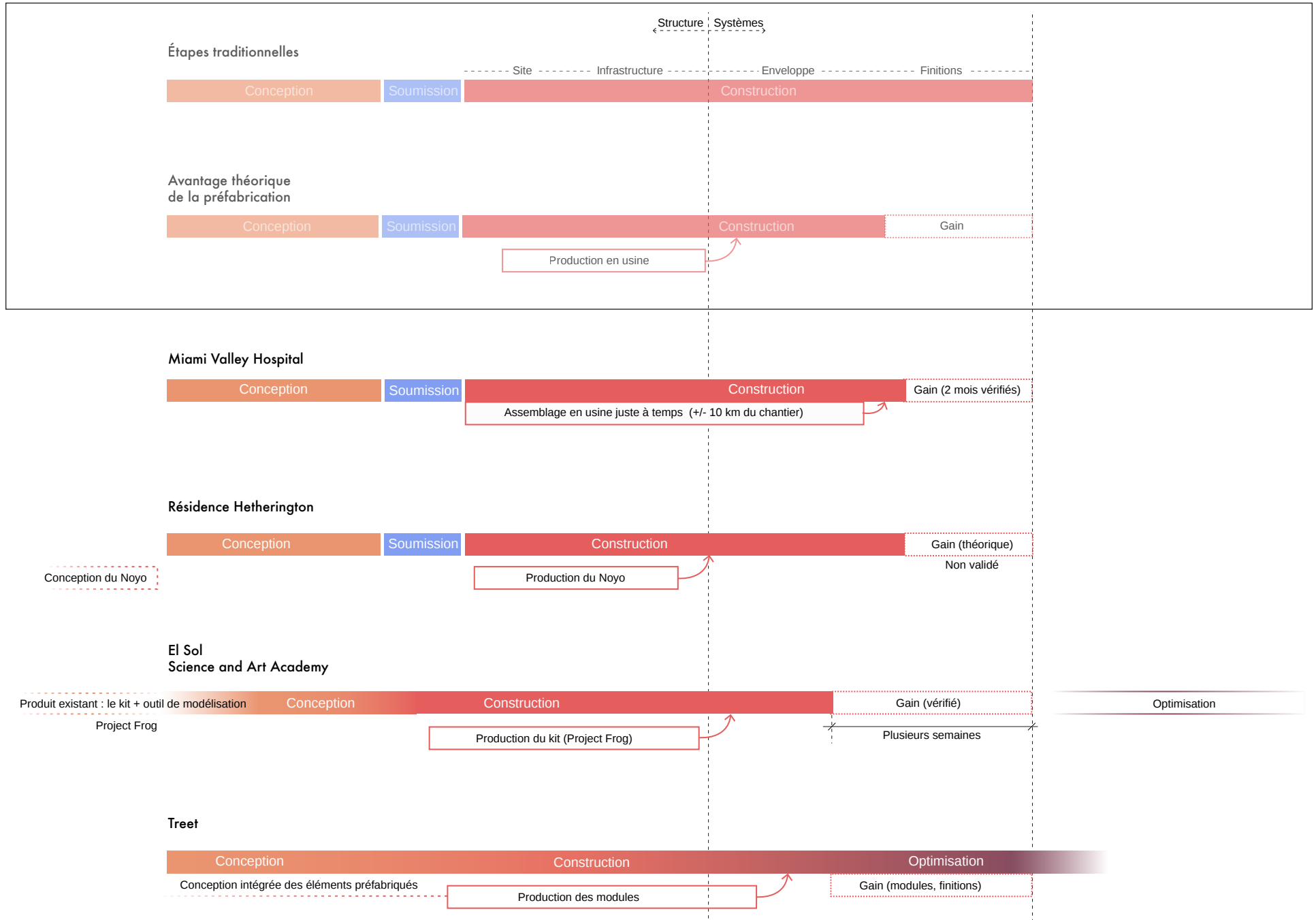


- ▲ Stratégie localisée :
panneaux d'ossature en bois

Impacts sur l'échéancier

Pour mieux percevoir le déploiement dans le temps des neuf projets étudiés, la schématisation d'une frise temporelle pour chaque projet a été réalisée. Chaque frise se lit en deux étapes : le déroulement du projet en lui même, qui inclut les différentes étapes de la conception à la construction ; et l'intégration de l'élément principal préfabriqué qui est étudié ici. L'objectif est d'observer comment différentes stratégies de préfabrication interviennent et influencent ou non le projet dans son ensemble.

Fait important à noter dans les schémas suivants : plus que l'équipe est intégrée et que les décisions conceptuelles et administratives sont partagées plus que les avantages de la construction usinée se manifestent. La construction en usine demeure une simple composante d'un processus à harmoniser par un mode de réalisation qui établit des relations claires et précises entre les intervenants.





3 – Conclusion

Depuis l'industrialisation, la baisse de la productivité du secteur de la construction par rapport aux autres secteurs de production argumente en faveur d'une plus grande utilisation de systèmes de construction manufacturés pour profiter du gain en efficacité. Les avantages en plus du gain en productivité sont bien connus: réduction des déchets produits en chantier, assemblage en climat contrôlé et amélioration des conditions de travail en matière de santé et sécurité. En plus des bienfaits réels, la préfabrication ou la construction «hors-site» (off-site) devrait se traduire théoriquement pas une réduction du temps passé au chantier et une réduction de coûts. Le principe de cette réduction en temps de réalisation est raisonné par le chevauchement des tâches sur et hors site; des composantes spécifiques d'un projet peuvent être produites pendant la préparation de l'emplacement et des fondations. Ce chevauchement des étapes d'un cheminement critique suppose toutefois un travail de planification plus important en amont afin de s'assurer de l'harmonisation virtuelle des systèmes pour faciliter la production en chantier.

Les neuf cas présentés dans ce rapport illustrent la diversité de stratégies employées aujourd'hui dans le domaine à la fois en matière de systèmes constructifs qu'en modes de réalisation. L'objectif premier de l'étude et de la sélection des cas était

une sorte de mise en lumière des enjeux, défis et potentiels d'intégration de la préfabrication dans l'écosystème d'un projet de construction. L'objectif secondaire visait à identifier des thématiques qui pourraient faire l'objet de recherches plus particulières dans une seconde phase de l'étude. La documentation et l'analyse des neuf projets a permis de confirmer les avantages déjà connus de la préfabrication, d'identifier des approches productives en matière d'intégration (le BIM et la préfabrication multi-métier (multi-trade) et surtout, notre analyse a permis de confirmer qu'une intégration réussie passe par un processus de conception et de coordination cohérent de la planification à la construction et à l'opération d'un édifice. Le processus traditionnel associé au fractionnement de la conception et de la construction en deux étapes reliées par une soumission est un facteur de risque important et ce risque est le même, voir même amplifié, dans le cas d'un processus avec la préfabrication. Une zone de responsabilité partagée entre l'usine, le site et les différents intervenants doit être définie au départ.

La considération de la relation construction usinée et traditionnelle au départ permet de situer les zones de conflits potentiels et de les limiter. Les tolérances divergentes de l'usine et du chantier sont un des axes de conflits à déterminer pour

faciliter la coordination systémique sur place.

Présentement, la recherche d'une productivité accrue est certainement affectée par une diminution de la main-d'œuvre qualifiée, d'un manque de relève et par une diminution démographique. Quelques intervenants de notre étude ainsi que la littérature nous informent que le manque main-d'œuvre aux États-Unis met une pression financière importante sur les projets. Le travail en usine, n'est pas garant d'une réduction absolue de coûts ou de la main-d'œuvre, mais permet de construire des procédés plus simples et idéalement répétitifs.

La répétition des systèmes, composantes et de l'organisation des projets restent un des facteurs de succès. Même si les outils de fabrication et de conception permettent d'imaginer une personnalisation importante, la répétition demeure un outil d'optimisation de la conception et de la gestion du chantier.

La simplification des procédés de construction et de coordination en amont et de l'assemblage au chantier passe par une collaboration accrue entre les intervenants. Le BIM (modélisation des données du bâtiment) est un outil de gestion d'information qui permet une meilleure coopération, mais n'est pas une garantie au

succès. Seule la préfabrication multimétier étudié dans le projet d'agrandissement du Miami Valley Hospital semble bien déployer le BIM comme facteur de collaboration, alors que les autres projets dans lequel le BIM a été adopté l'utilise uniquement pour des gains en coordination. La nuance entre collaboration et coordination nous semble être un point important puisqu'elle sépare les succès des échecs.

La collaboration doit être facilitée par un mode de réalisation qui permet une évolution et une remise en question des stratégies au début du projet. La planification en mode conception intégré est un pas dans la bonne direction, mais doit évoluer vers une stratégie de conception et construction intégrées visant à réduire la fracture entre ces deux phases des projets. Cette collaboration accrue facilitera ainsi la coordination systémique nécessaire à l'harmonisation des systèmes. Les neuf cas étudiés nous ont convaincus que la révision fondamentale du processus de construction traditionnel du «design-bid-build» est requise pour permettre une coopération et une intégration adéquate de l'innovation qu'elle implique de la préfabrication ou pas. Surtout dans une démarche qui vise souvent une hybridation sur et hors site, la coopération entre les intervenants des deux types de construction est fondamentale.

Nous avons entamé ce rapport avec une question bien simple: quels sont les défis et potentiels de la préfabrication aujourd'hui ? L'analyse nous a permis de construire une deuxième question: quel serait un mode de réalisation idéalisé pour les projets qui combine la construction sur et hors chantier ?

Pour invoquer un début de réponse nous souhaitons souligner l'apport de trois cas à véhiculer des modes de réalisations bien singuliers, Brock Commons avec le devis de performance pour les panneaux de façade et Patch 22 avec une équipe intégrée entrevoient le rôle d'un maître bâtisseur qui orchestre l'ensemble du projet de son financement à son opération; ce processus définit les règles d'harmonie au début du projet et semble minimiser les conflits.

Un retour au concept du maître bâtisseur semble au départ simpliste, mais l'approche de Skanska pour Miami Valley Hospital démontre tout le potentiel de la démarche ; la préfabrication multimétier (multi-trade) et près du chantier (near) semble déterminer une nouvelle voie pour réorganiser la culture de la construction vers une culture plus collaborative.

