

Neuf cas d'intégration de systèmes de construction préfabriqués

Version abrégée du rapport - 4 juin 2019

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



2 – Les projets étudiés

Version abrégée du rapport - 4 juin 2019

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.

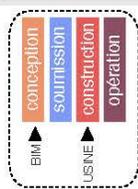
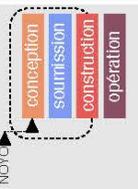
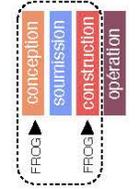
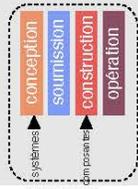
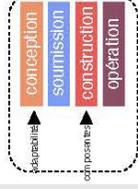
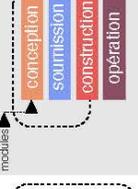
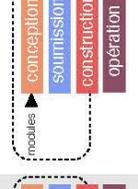
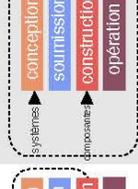
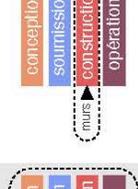
En complément de ces analyses de différents projets, nous avons réalisé entre le 11 janvier 2019 et le 27 février 2019 neuf entrevues avec différents acteurs des projets. Limité par un cadre temporel bien précis (31 mars 2019), il est possible d'entrevoir une suite à ce projet puisque les contraintes 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.

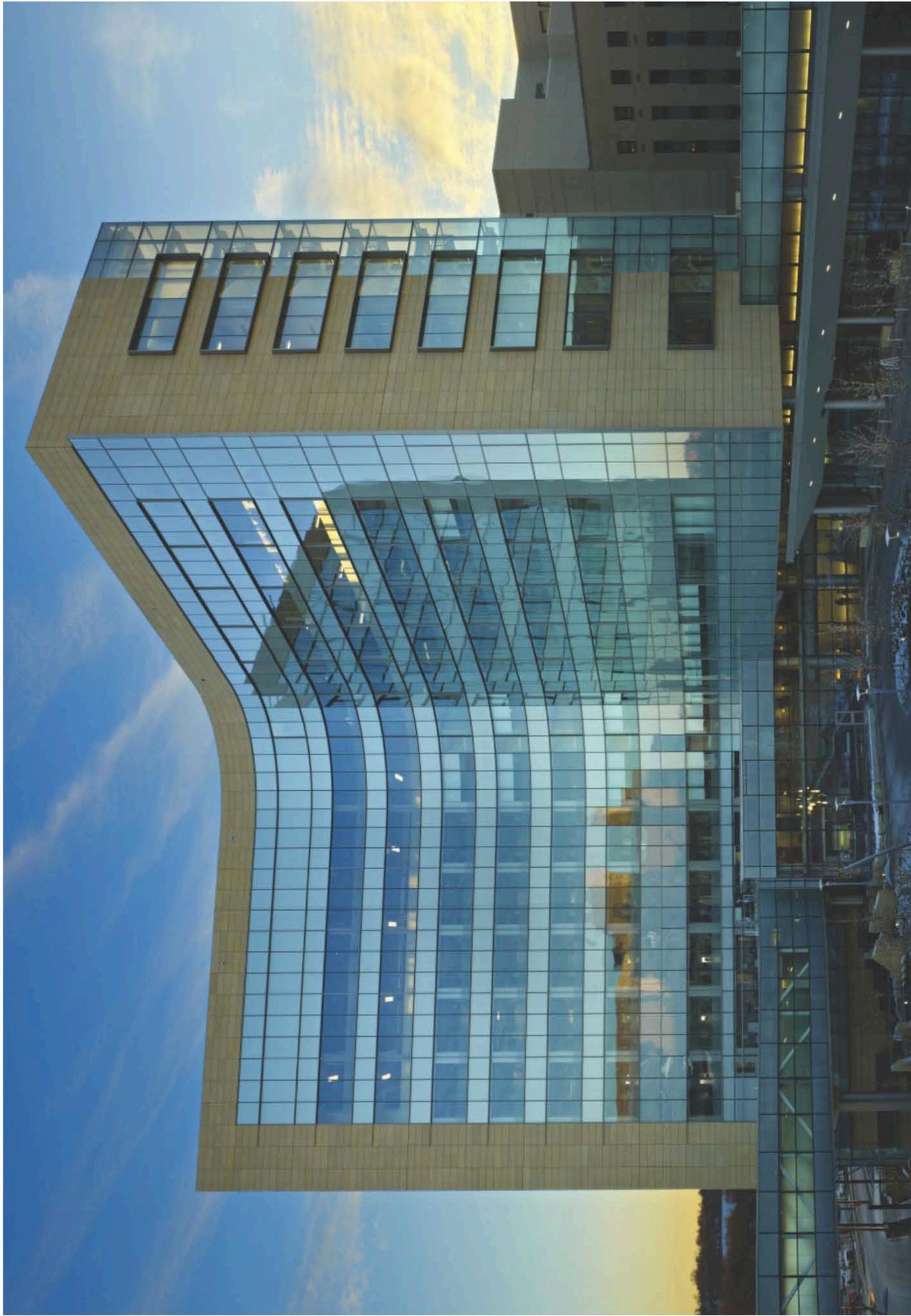
Ces entrevues non dirigées ont permis de confirmer certains aspects difficiles à documenter dans les projets et ont également permis d'identifier que le mode de réalisation est un facteur déterminant dans le succès de l'intégration du projet.

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	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



2.3 — 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

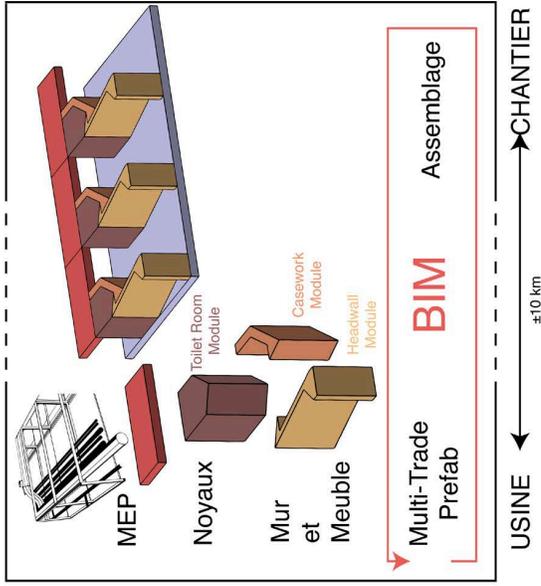
Informations générales

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



▲ Schéma d'analyse
 Référence Prefabricajlions

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.

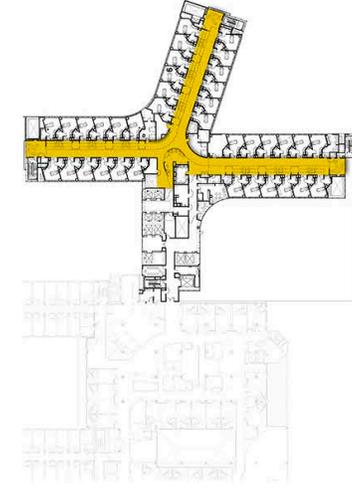
Ce centre cardiaque de 12 étages fournit 178 chambres, et permettra l'ajout futur de 72 chambres supplémentaires, pour les patients par rapport à l'ancien centre. Ce bâtiment dispose d'un nouveau hall d'entrée pour les patients et les visiteurs, de deux niveaux de stationnement souterrain et d'un quai 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



▲ 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.



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

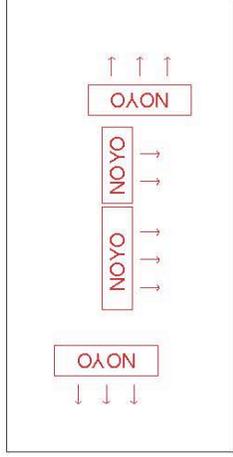
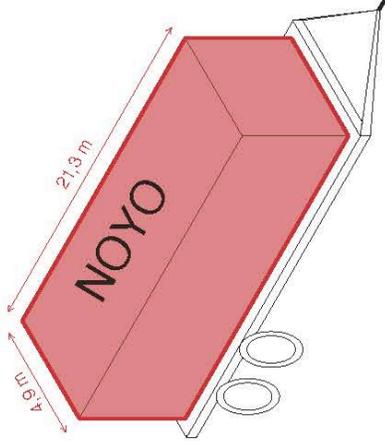
Informations générales

Localisation du projet	Malartric, Canada
Année de construction	2013
Superficie	1319 m ² - 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





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

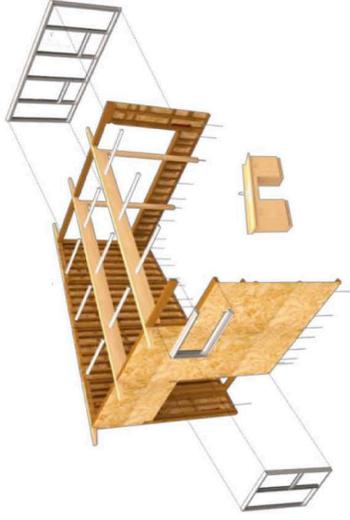
Localisation du projet	Santa Ana, Californie
Année de construction	2014
Superficie	Campus Nord 1400 m2 / campus Sud 2800 m2
Fonction / Programme	Scolaire (école publique)
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	\$18 million
Coût de la construction	-

Stratégies de construction préfabriquée

Éléments modulaires - Kit

Intervenants

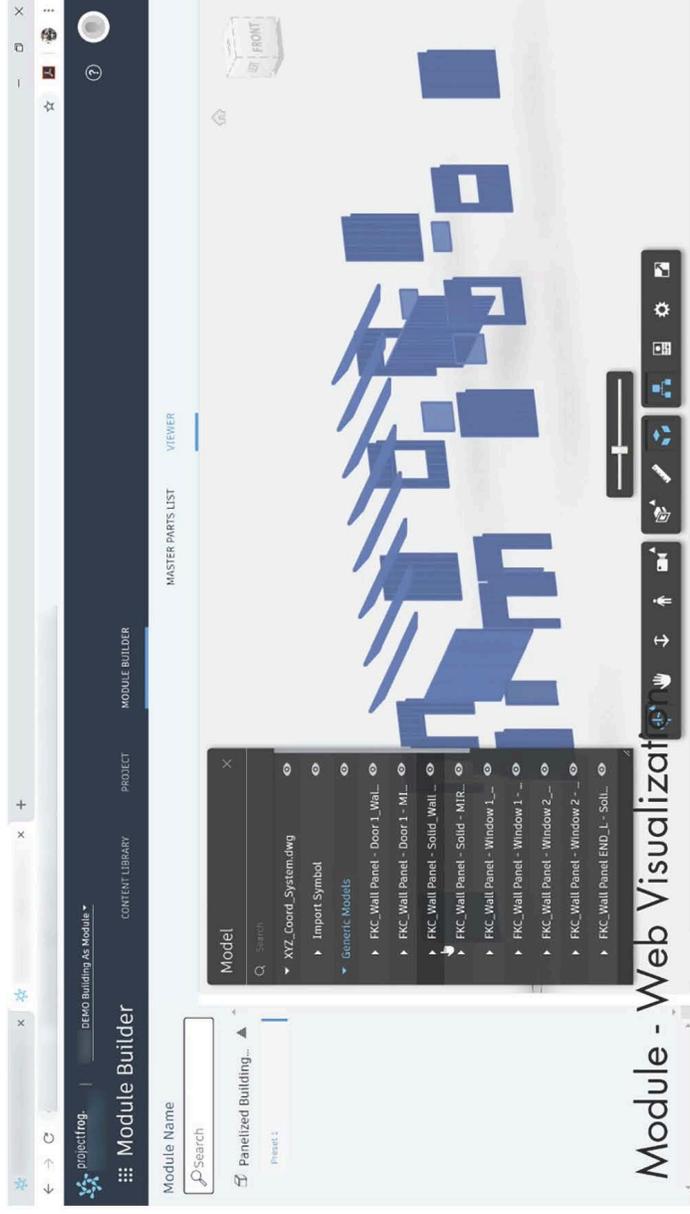
Propriétaire	El Sol Science and Arts Academy
Gestion de projet	Bernard's
Architectes	HMC Architects
Ingénieurs structure	Project Frog/Tipping/KPFF
Ingénieurs mécanique	TTG Engineers
Fabricant des éléments préfabriqués	Project Frog
Constructeur	Bernard's



▲ Vue modélisée des différents éléments du kit
Référence Project Frog

Stratégies de préfabrication employées

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.



Module - Web Visualizat

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

Stratégie principale

<p>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.</p>	<p>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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. <p>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</p>	<p>le bâtiment (éléments structurants, enveloppe isolante...) sont mis à disposition et peuvent être disposés de manière libre. La conception se présente alors plutôt à un jeu de variation de paramètres qu'à une conception architecturale libre.</p> <p>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</p>
---	--	---

Impacts environnementaux

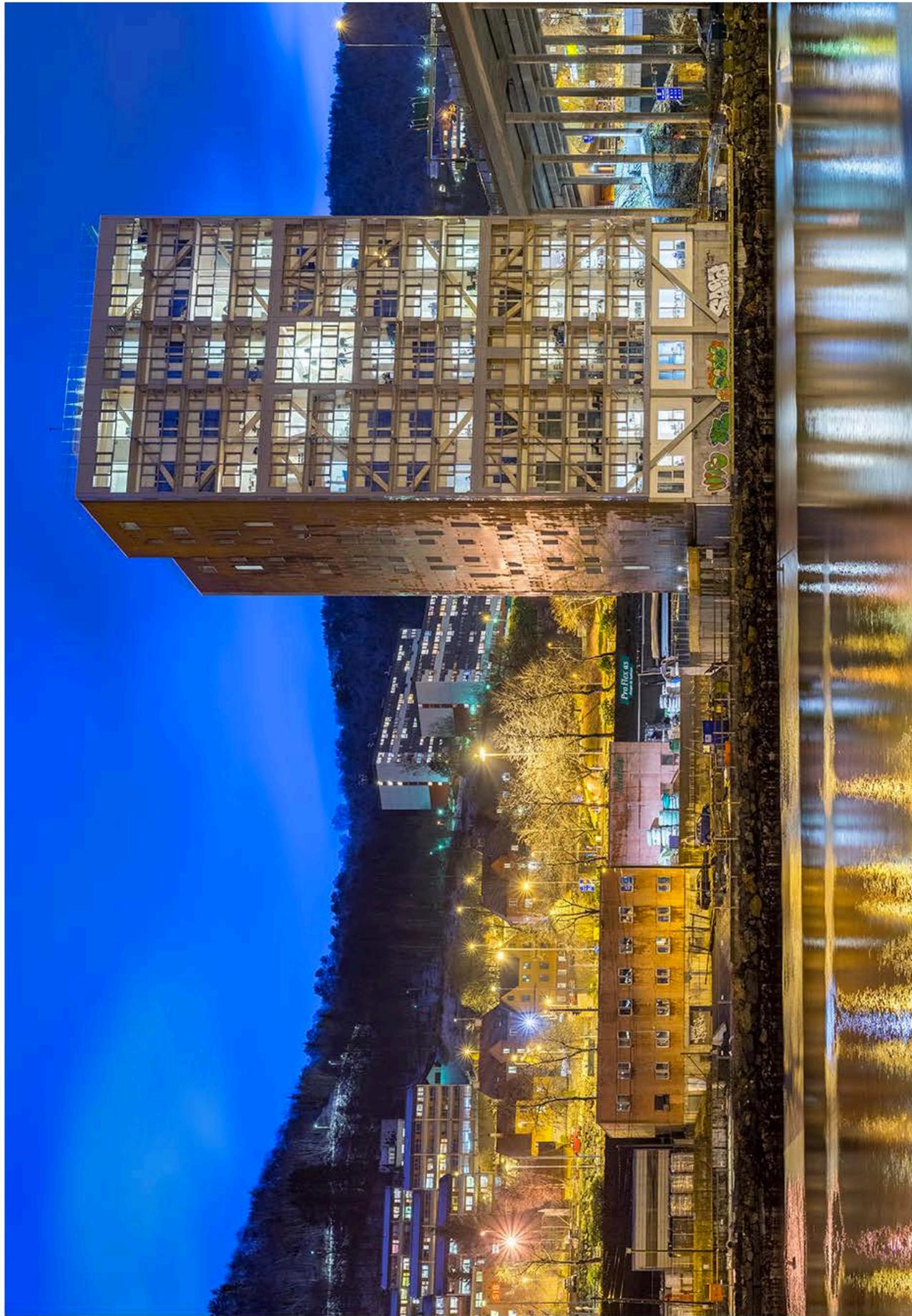
Plusieurs arguments sont avancés par Project Frog pour défendre les avantages environnementaux du kit : (dans le «kit» seulement) prise en compte de l'ensoleillement pour développer au mieux un modèle passif, utilisation de matériaux qui n'émettent pas de composés organiques volatils, emploi de matériaux 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'oeuvre puisque le kit permet de réduire par trois le nombre d'ouvriers.



▲ Installation du kit sur le chantier
Référence Project Frog



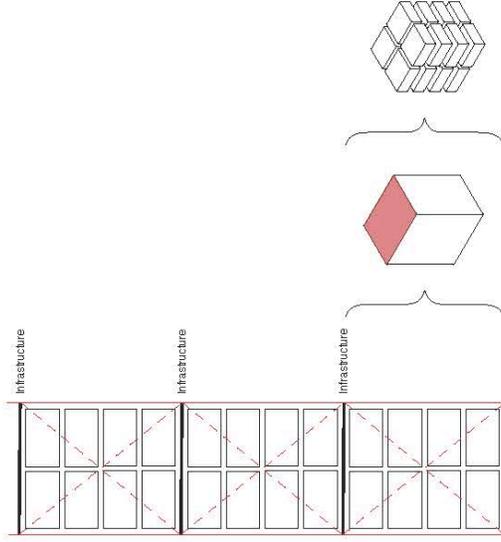
2.6 – Treet

« 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

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



2.7 – Patch 22

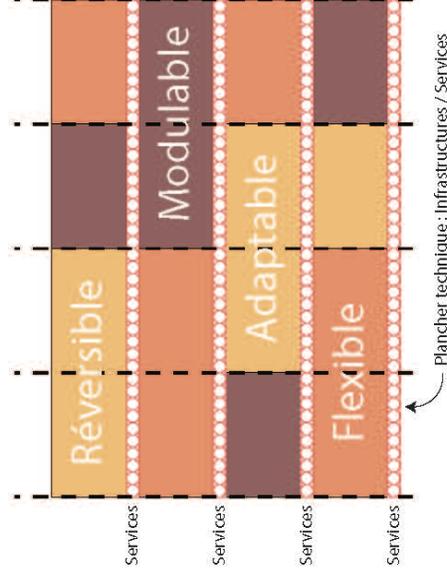
« We aimed at creating a structure in which all buyers would be able to build their own villa. On the other hand we didn't want to create just an anonymous facilitating structure because the renewal of this post-industrial area needed a landmark to show the city that transformation has begun. It turned 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 creditcrunch 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

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 agissait 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.

Mode de réalisation

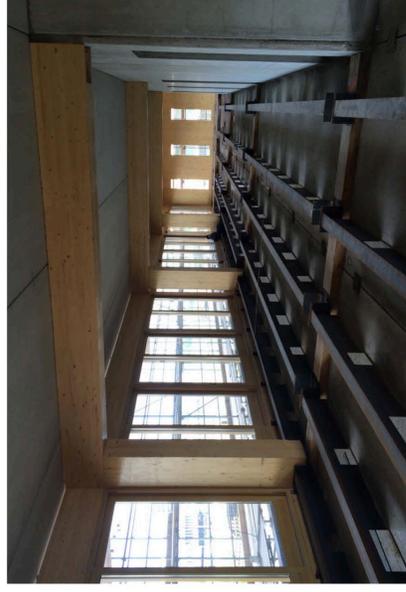
Agissant à titre d'architecte, promoteur, développeur et gestionnaire de construction, ce projet a pu bénéficier d'une vision sans les compromis liés à la séparation habituelle des objectifs de chaque acteur. Le point focal d'atteindre un immeuble flexible et qui fait la démonstration d'une stratégie 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.

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 movement» 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.



▲ Photo de chantier
Référence Lemmiskade



▲ Photo de chantier
Référence Lemmiskade



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

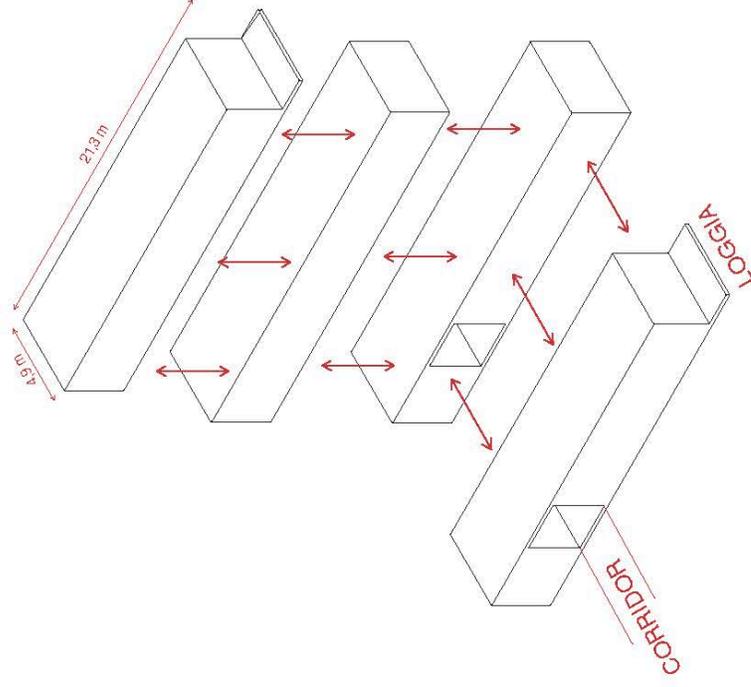
Localisation du projet	Saint-Lambert, Québec
Année de construction	2016
Superficie	240 unités d'habitations
Fonction / Programme	Résidentiel
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	-
Coût de la construction	-

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



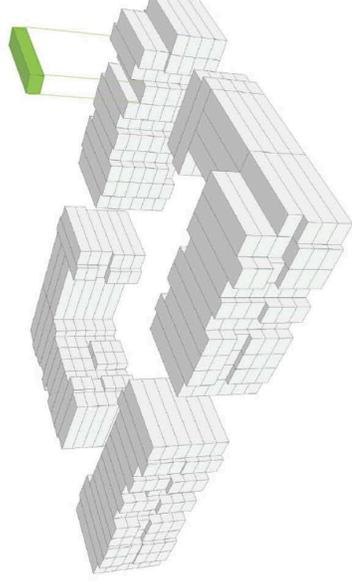
Description

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.

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.



▲ Schéma d'implémentation
Référence Bonneville



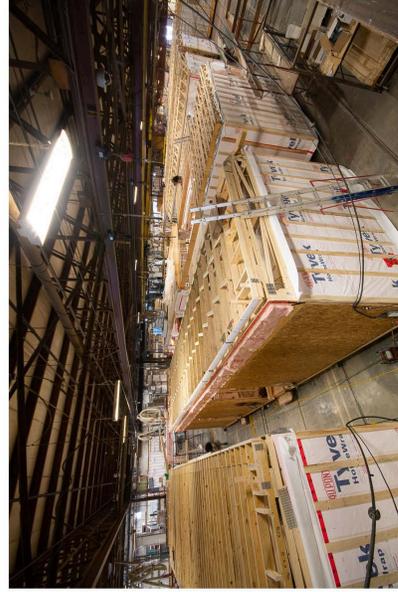
▲ Référence Bonneville

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 multi-logement, l'entreprise a formé un partenariat avec un développeur reconnu (LSR Gesdev) et une entreprise de fonds d'investissement (Ipsofacto). 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 est 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.



2.9 – 461 Dean Street

Informations générales

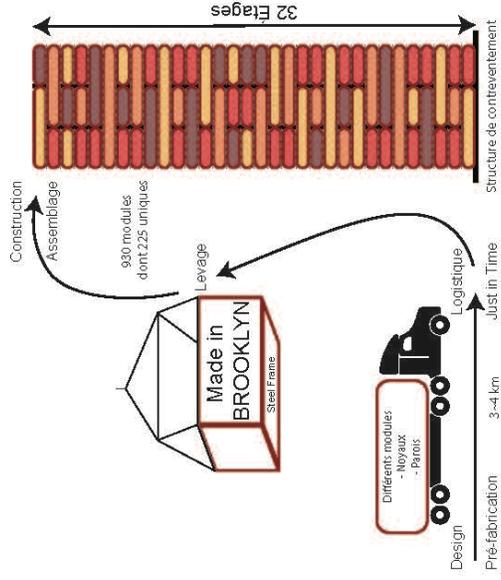
Localisation du projet	Brooklyn, NY, USA
Année de construction	2016
Superficie	32 500 m ² , 34 étages
Fonction / Programme	Résidentiel et commercial au RDC (400 m ²)
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	-
Coût de la construction	dépassement de plusieurs millions de \$

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)

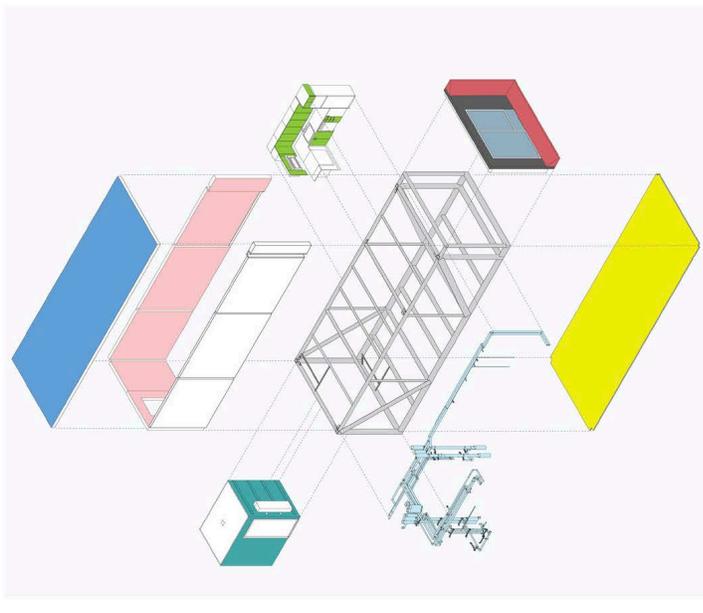


▲ Schéma d'analyse Référence Préfabrifications

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



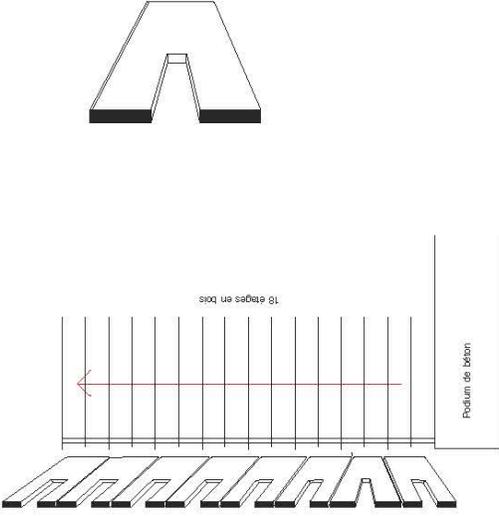
2.10 – Brock Commons

«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

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

Éléments à retenir

Selon notre entretien avec le concepteur principal, la protection les 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/2018/06/05/construction-labor-shortage-creates-increasingly-lucrative-career-paths/#16f50544cea>

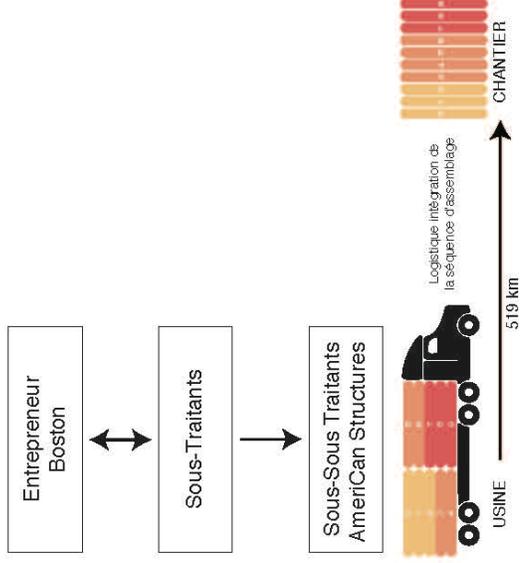
Informations générales

Localisation du projet	Boston, USA
Année de construction	2018
Superficie	12 350 m ²
Fonction / Programme	Résidentiel (11 600m ²) et commercial (750 m ²)
Type de construction	Construction neuve
Coût du projet	1,750,000 \$ (panneaux uniquement)
Coût de la construction	54,000,000 \$ (toutes les phases)

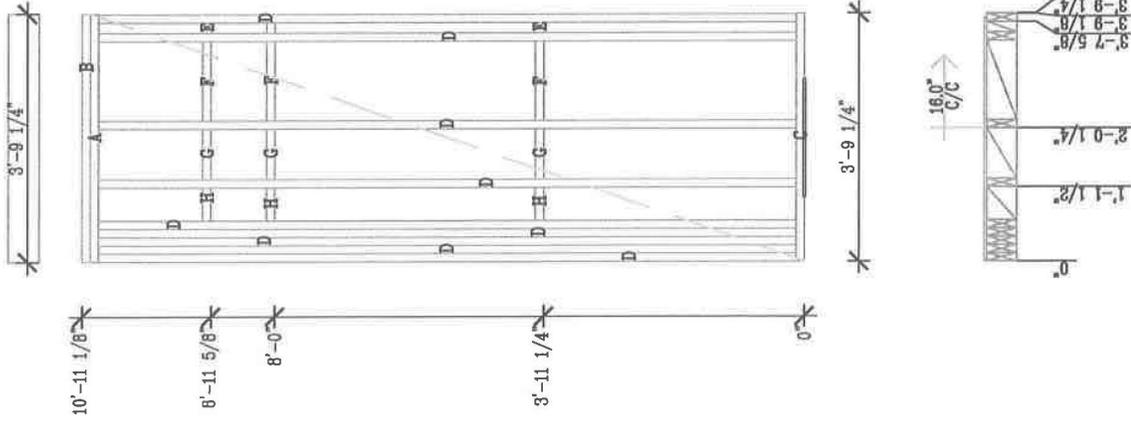
Stratégies de construction préfabriquée : Panneaux des murs, poutrelles et ferme de toit

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



Stratégie principale



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

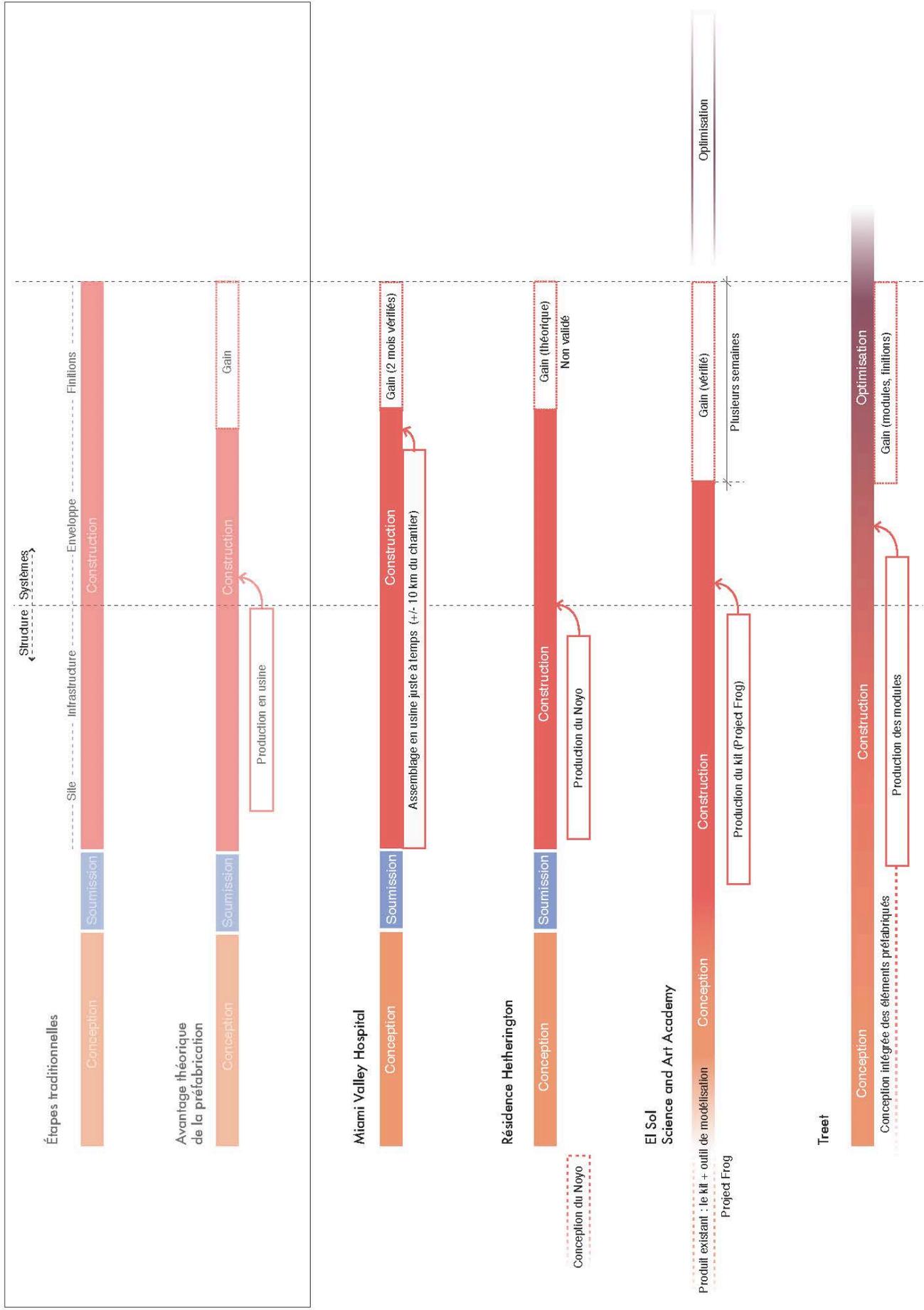
optimisation des longueurs permet de réduire les pertes en usine et au chantier. Présente dans le nord-est des États-Unis depuis 7 à 8 ans l'entreprise a développé des liens avec les syndicats locaux afin de faciliter l'acceptation d'un produit canadien. Le transport de panneaux de 5 à 30 pieds de longueur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

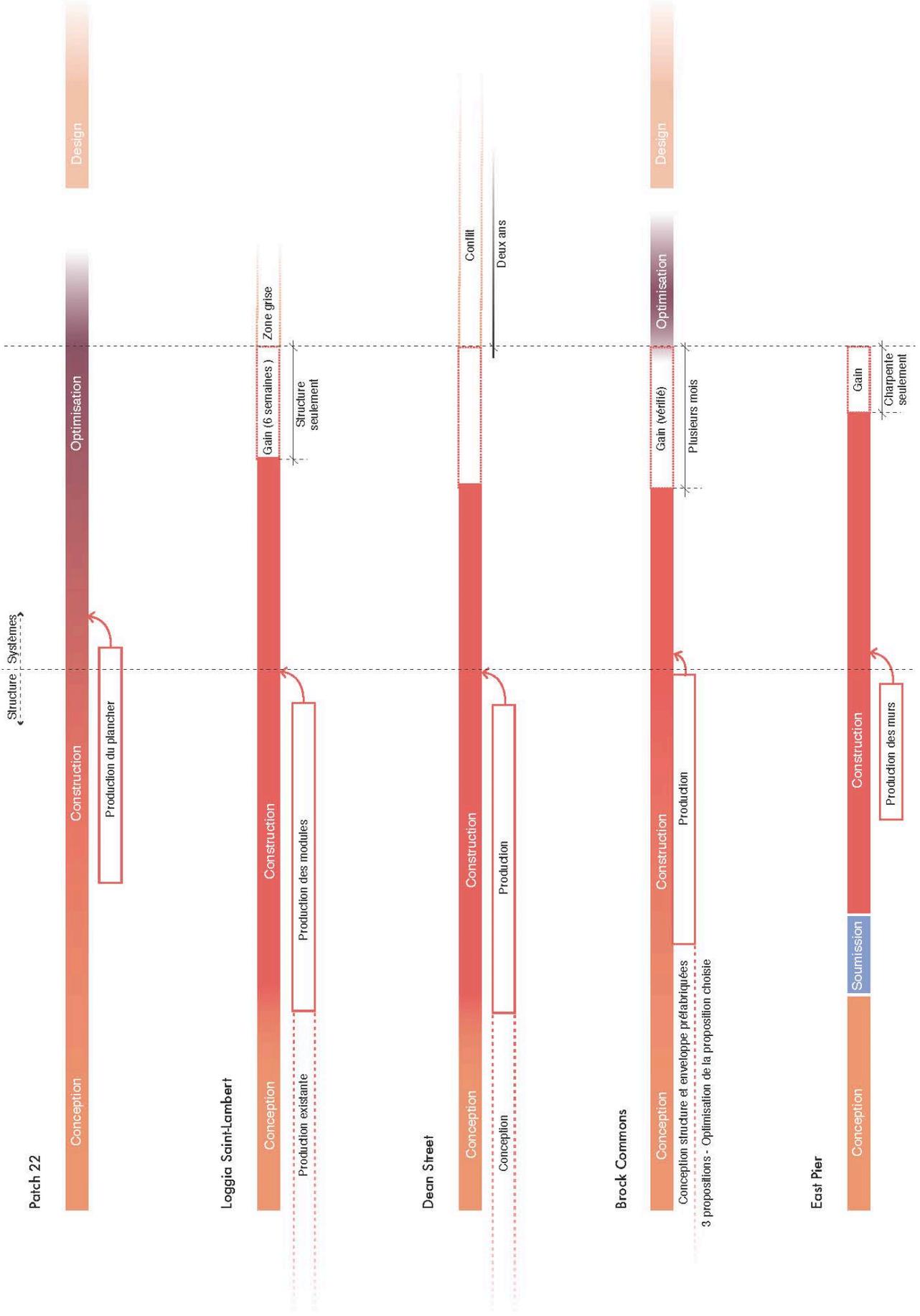
Même si la méthode contribue à réduire les déchets sur le site et faciliter le travail à l'abri des intempéries, la stratégie dans ce projet est essentiellement valorisée pour sa rapidité et son potentielle à réduire la quantité de main-d'œuvre requise au chantier. Non-chiffré dans ce projet, il est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

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

Version abrégée du rapport - 4 juin 2019

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 par 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'oeuvre 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'oeuvre 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'oeuvre, 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.