

ORIGINE

ÉCOCONDOS DE LA POINTE-AUX-LIÈVRES
QUÉBEC

© Photo : Stéphane Groleau

Canadian
Wood
Council

Conseil
Canadien
du bois



WOODWORKS!

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois





Au cours des dernières années, la Ville de Québec a connu une croissance démographique importante. Le nombre de mises en chantiers a explosé pour répondre à la constante demande de logements. En 2013, la Ville de Québec a commencé à s'intéresser aux terrains du secteur de la Pointe-aux-Lièvres pour continuer son développement immobilier. Situé aux abords de la rivière St-Charles, tout juste au nord du « Nouvo St-Roch », ce terrain vacant était idéal pour construire un nouveau quartier. Entre ville et nature, ce lieu était convoité pour créer un milieu de vie dynamique. La Ville de Québec y a ainsi vu une belle occasion de créer un nouveau quartier mettant en valeur le développement durable. Les promoteurs retenus par la Ville pour développer le secteur devaient adopter cette vision en proposant des solutions éco-responsables. L'utilisation du bois dans ces projets y était donc naturelle.

Le coup d'envoi est donné: trois projets ont été lancés dans l'écoquartier et Origine est le bâtiment phare de ce nouveau développement.

Du haut de ses 13 étages, le bâtiment de 92 unités se démarque tant par son architecture que par ses prouesses d'ingénierie. La volonté du groupe NEB formé de Nordic Structures, EBC et Synchro Immobilier était de repousser les limites du matériau bois. La grande innovation d'Origine réside dans son système de résistance latérale entièrement en bois. C'est d'ailleurs grâce à cette innovation qu'Origine, du haut de ses 41 m, peut se targuer d'être le plus haut bâtiment moderne avec une structure 100% en bois massif.

Le groupe NEB espère ainsi créer un précédent et paver la voie à d'autres structures semblables. La ressource forestière est abondante au Québec, et le savoir-faire des professionnels de la construction se développe. Origine a démontré la faisabilité technique et la sécurité de l'utilisation du bois pour ce type de bâtiment.

Ressources naturelles Canada (RNCan), bien conscient des obstacles techniques inhérents à la conception et la construction de structures modernes en bois de grande hauteur, a instauré un programme de financement destiné au soutien des projets de démonstration faisant appel aux produits du bois d'ingénierie novateurs et aux systèmes de construction connexes.

En 2013, RNCan a annoncé la mise sur pied d'un soutien financier en vue de promouvoir l'acceptation commerciale et réglementaire de la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada: l'Initiative de démonstration de bâtiments en bois de grande hauteur (IDBBGH). L'IDBBGH et le tout récent Appel d'expression d'intérêt envers le programme CVBois de RNCan, présenté en 2017, aidera les promoteurs, constructeurs et intervenants de l'industrie à surmonter quelques problèmes importants en matière de conception et de construction inhérents aux structures en bois de grande hauteur.

Suite à son évaluation, le projet Origine a été désigné comme l'un des deux projets dignes de recevoir le financement fédéral offert par l'intermédiaire de l'IDBBGH. Ces fonds étaient essentiels pour combler l'écart de financement rencontré lors de la phase de conception, d'approbation et de construction préliminaire du projet. Les connaissances techniques connexes obtenues seront plus qu'utiles aux futures équipes de conception et de construction de structures en bois massif, et contribueront à l'adoption et à l'avancement des bâtiments en bois de grande hauteur au Canada.

Dans l'écoquartier naissant de la Pointe-aux-Lièvres, à Québec, se dresse le bâtiment Origine. Avec ses 13 étages de haut, il est l'emblème de ce quartier à vocation environnementale. Il est aussi le plus haut bâtiment en bois dans l'est de l'Amérique du Nord. Et si ailleurs au Canada et dans le monde d'autres bâtiments dépassent ses 41 mètres (134 pi), Origine demeure à ce jour le plus haut bâtiment avec une structure 100 % en bois.

Cette première mondiale est l'œuvre du groupe NEB, constitué de Nordic Structures, d'EBC et de Synchro Immobilier. L'architecture est signée Yvan Blouin Architecte. Le bâtiment vise une certification LEED Argent.

Visite rapide des lieux

Situé aux abords de la rivière Saint-Charles et facilement accessible par l'autoroute Laurentienne, Origine est un bâtiment résidentiel localisé à proximité de tous les services essentiels. Le Stade Canac, le centre commercial Fleur de Lys et le Centre Vidéotron sont tous trois à moins de 1,5 km de distance. Origine abrite 92 unités d'habitation allant du studio de prestige au trois chambres, toutes agencées et aménagées différemment. Chaque unité dispose également d'une terrasse ou d'un balcon offrant une vue saisissante sur la Ville de Québec et les parcs voisins. Une piste cyclable traverse le parc adjacent de la Pointe-aux-Lièvres et se poursuit le long du parc linéaire de la Rivière-Saint-Charles.

La structure de 13 étages et d'une superficie de 890 m² (9580 pi²) se démarque dans ce paysage tant par sa hauteur que par son apparence visuelle. Le revêtement extérieur du rez-de-chaussée est en maçonnerie et en profilés d'acier blanc aux étages suivants. Des éléments architecturaux en aluminium de couleur rouge viennent dynamiser la façade grâce à leur volume et à leur couleur contrastante. Seuls le sous-sol et le rez-de-chaussée sont constitués d'une structure en béton armé pour abriter le stationnement, le hall d'entrée et d'autres commodités.

Le bois prend toute sa place à partir du 1^{er} étage, et ce, jusqu'au 12^e étage. Les murs porteurs, les murs de refend, les planchers et le toit sont constitués de panneaux de bois lamellé-croisé (*cross-laminated timber*, CLT). Des poutres et des colonnes de bois lamellé-collé complètent le système structural. Toutes ces pièces de bois d'ingénierie sont fabriquées à l'usine de Chantiers Chibougamau dans le Nord québécois à partir de bois d'épinette noire certifié FSC. Le toit est recouvert d'une membrane d'étanchéité blanche pour assurer une meilleure réflexion solaire et ainsi réduire le développement d'îlots de chaleur. Chaque étage mesure 3 m (10 pi) de haut, de plancher à plancher, pour permettre une hauteur libre de 2,6 m (8 pi 6 po).

Le bâtiment dispose d'un système central de chauffage au gaz qui fournit l'eau chaude domestique et alimente le réseau de tubulures des planchers radiants. En plus d'assurer le confort, le chauffage au gaz des planchers radiants permet d'envisager des économies de l'ordre de 30 % sur les coûts liés au chauffage par rapport à un système électrique usuel. La climatisation, elle, est optionnelle et est assurée par des unités individuelles dans chaque appartement. L'alimentation électrique et les tubulures sont néanmoins prévues dans toutes les unités d'habitation pour faciliter une installation ultérieure de la climatisation.



Unité type studio de prestige
© Yvan Blouin Architecte



Unité type une chambre
© Yvan Blouin Architecte



Unité type deux chambres
© Yvan Blouin Architecte

Le bâtiment dispose d'un système de recyclage et d'élimination des déchets efficace et facile d'usage pour les résidents. Le bâtiment est équipé d'une double chute pour séparer les matières recyclables et les déchets. Grâce au soutien financier du Programme de vitrine technologique pour les bâtiments et les solutions innovantes en bois de la Ville de Québec, chaque unité est équipée du système Solucycle pour la valorisation des matières organiques. L'évier de cuisine est pourvu d'un broyeur pour recevoir les résidus de tables, lesquels sont aspirés dans un réservoir au sous-sol. Après décantation, la partie aqueuse est acheminée vers l'usine de traitement des eaux usées, tandis que la partie solide est envoyée en valorisation par biométhanisation ou compostage.

Les travaux d'excavation ont débuté en juin 2016 et l'érection de la structure a commencé en décembre 2016 pour s'achever en avril 2017. En octobre 2017, les premières unités d'habitation étaient livrées alors que se finalisaient les travaux de finition des derniers étages.

Toutefois, avant la première pelletée de terre, pour que NEB reçoive son permis de construction, le bois a dû faire ses preuves.

Un pionnier dans la construction en bois de grande hauteur

Pour parvenir à l'exploit de construire 12 étages en bois, les concepteurs ont dû mettre au défi le Code de construction du Québec. En effet, au début du projet, en 2014, les solutions acceptables du Code alors en vigueur stipulaient qu'un bâtiment de plus de 4 étages devait être de construction incombustible, ce qui excluait le bois.

Ainsi, il fallait développer des solutions alternatives, aussi appelées « mesures équivalentes », afin de démontrer que les objectifs de performance et les énoncés fonctionnels du Code étaient respectés. Une demande de mesures équivalentes devait par la suite être approuvée par la Régie du bâtiment du Québec (RBQ). Cette démarche avait déjà été réalisée pour construire un bâtiment en bois de 5 ou 6 étages, et la RBQ avait publié en 2013 des directives en ce sens. Mais avec ses 12 étages en bois, Origine nécessitait de réitérer la démarche à plus grande échelle. Ce processus, habituellement long et coûteux, rebute les concepteurs et restreint l'essor du bois dans la construction de bâtiments de grande hauteur. Pour encourager le développement d'utilisations innovantes du bois et démontrer la faisabilité technique d'un tel projet, Ressources naturelles Canada et le Conseil canadien du bois ont lancé, en 2011, l'*Initiative de démonstration des bâtiments en bois de grande hauteur*¹, un appel d'offre de projets assorti d'une enveloppe budgétaire pour soutenir les promoteurs et les professionnels désirant innover en ce sens. Origine fut l'un des deux projets sélectionnés dans tout le Canada, le deuxième étant Brock Commons sur le campus de l'Université de la Colombie-Britannique à Vancouver.



© Régie du bâtiment du Québec

Grâce à un soutien gouvernemental adéquat, les concepteurs ont pu entreprendre un processus de recherche et d'essais en laboratoire pour développer des solutions constructives en bois et démontrer qu'un tel bâtiment de 13 étages atteignait les objectifs du Code. Pour mener cette démarche, les concepteurs d'Origine se sont adjoint les services de Technorm et de GHL Consultants et ont réalisé des essais dans les laboratoires de FPInnovations et du Conseil national de recherches du Canada, entre autres.

Il fallait donc démontrer qu'un bâtiment en bois de 12 étages pourrait être aussi performant et sécuritaire qu'un bâtiment construit selon les exigences prescriptives du Code, soit à partir d'une construction incombustible; le bâtiment doit présenter le même niveau de sécurité en cas d'incendie. Il devait aussi procurer un confort acceptable pour les occupants, comme l'isolation sonore entre les unités, et limiter les vibrations dues aux occupants et au vent. À l'issue d'essais

¹ *Construction d'habitations en bois de 5 ou 6 étages. Directives et guide explicatif*, Régie du bâtiment du Québec, 2013.

probants, les concepteurs ont présenté la demande de mesures équivalentes à la RBQ, qui l'a acceptée. La RBQ a consigné une grande partie de ces nouvelles mesures dans un guide intitulé *Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages*², qui fournit des lignes directrices pour construire des bâtiments en bois conformes au Code de construction du Québec. En suivant ces lignes directrices dans leur intégralité, un concepteur n'a plus à développer de mesures équivalentes et à les faire approuver par la RBQ. Le guide se veut essentiellement une solution de rechange provinciale « préapprouvée ».

Pourquoi construire en bois?

Il aura fallu deux années de recherche et de développement à l'équipe de projet pour démontrer qu'Origine allait être aussi sécuritaire en bois que s'il avait été construit à partir d'une construction incombustible.

Pourquoi, dans ce cas, se donner cette peine d'investir temps et argent pour construire en bois, alors qu'une structure en béton armé ou en acier serait plus facile à réaliser?

Une première réponse est apportée par les attributs environnementaux du bois. En plus d'être une ressource locale et renouvelable, le bois contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. D'une part, le procédé de fabrication des pièces de bois d'ingénierie est moins énergivore que celui d'autres matériaux et d'autre part, le bois séquestre le gaz carbonique (CO₂) absorbé par la photosynthèse de l'arbre pendant sa croissance. Ainsi, les 3111 m³ (109 864 pi³) de bois qui composent la structure d'Origine séquestrent 2295 tonnes de CO₂ et leur utilisation en substitution à d'autres matériaux a évité l'émission de 1000 tonnes d'équivalent CO₂. De plus, la fabrication des pièces de bois d'ingénierie à partir

de têtes d'épinettes noires, autrefois inutilisées, permet d'optimiser et de valoriser la ressource forestière du Nord-du-Québec.

Une deuxième réponse, plus technique, vient des contraintes admissibles du sol dans le secteur. Aux abords de la rivière Saint-Charles, le sol est de faible capacité portante. Comme le bois est plus léger que le béton, il a été possible de construire Origine sur un radier en béton d'un mètre d'épaisseur coulé au niveau de la nappe phréatique sans recourir à un coûteux système de pieux. Dans les faits, le bâtiment en bois pesant le même poids que le sol excavé pour la construction, la charge locale supportée par le radier n'a pas changé. Par contre, comme l'équivalent d'Origine en béton aurait été presque deux fois plus lourd, le radier n'aurait pas pu le supporter. Construit en béton, le bâtiment n'aurait pu comporter que six étages et aurait donc été moins rentable. Sur un sol de faible



L'utilisation des panneaux de CLT permet d'atteindre de nouveaux sommets

© Photo : Stéphane Groleau

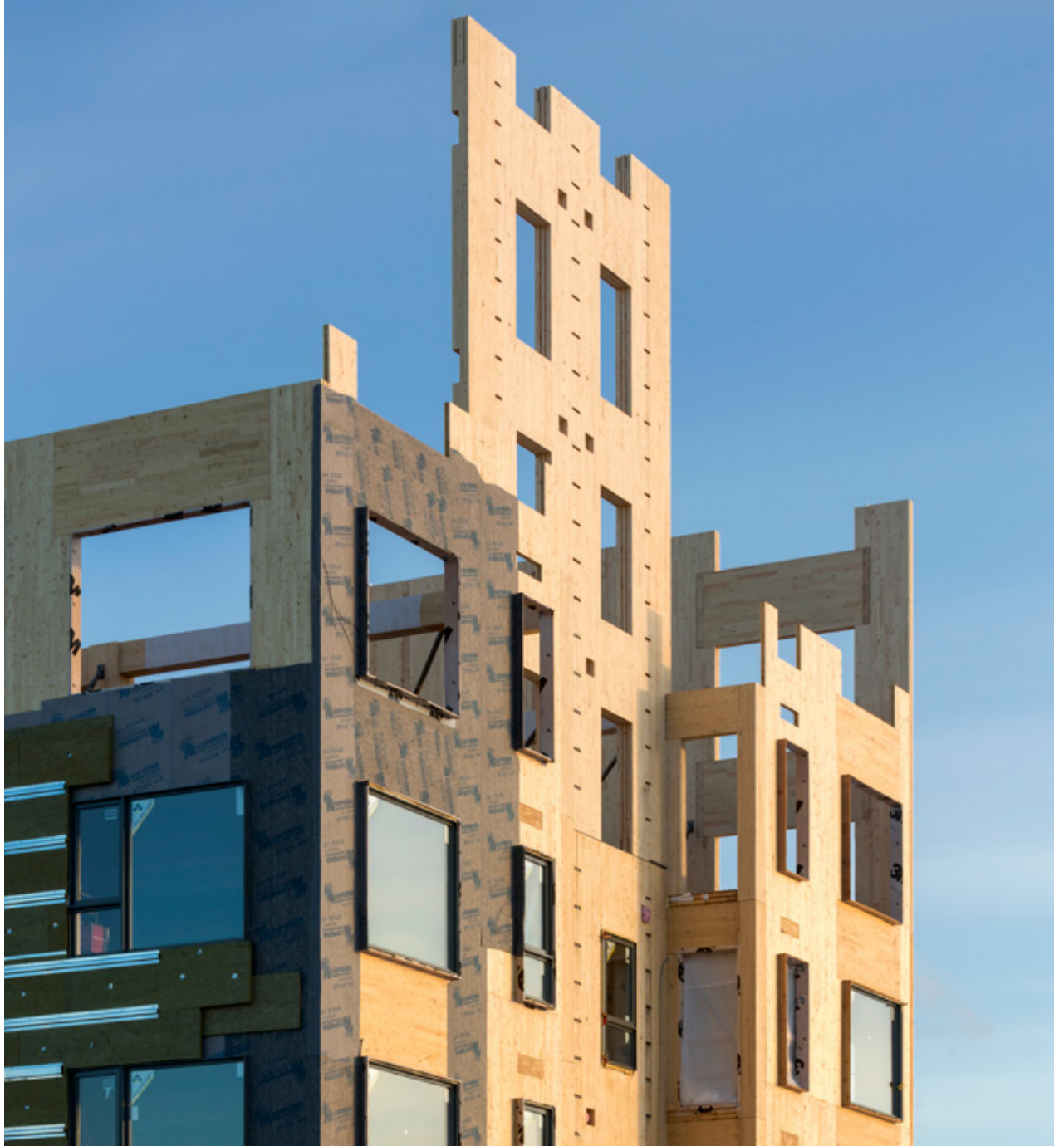
² *Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages. Directives et guide explicatif*, Régie du bâtiment du Québec, 2015.

capacité portante, le bois permet de construire plus haut et d'offrir plus d'unités d'habitation à moindre coût unitaire.

Une troisième réponse réside dans la rapidité d'installation et la réduction de coûts subséquente. Les pièces de bois arrivent préusinées sur le chantier, prêtes au montage; il n'est pas nécessaire d'attendre le mûrissement du béton pour faire entrer les autres corps de métier sur les étages inférieurs pour installer les fenêtres, les cloisons et les équipements mécaniques. Il n'aura fallu que quatre mois, de décembre 2016 à avril 2017, pour monter la structure en bois, pour une durée de chantier totale de 16 mois entre l'excavation et les dernières finitions. Selon l'architecte Yvan Blouin, un projet d'une envergure équivalente en béton aurait pris quatre à six mois de plus.

De plus, le caractère innovant du projet a exigé des partenaires qu'ils apprennent au fur et à mesure certaines étapes du chantier, comme le montage de la structure: il aura fallu trois mois pour monter les sept premiers planchers et seulement un mois pour poser les cinq planchers restants ainsi que le toit. L'expérience acquise et quelques petits ajustements en cours de route ont grandement accéléré la vitesse de montage.

En bref, l'expérience acquise par l'équipe de projet et les travaux de recherche menés pour ce bâtiment innovant pavent la voie à d'autres concepteurs, qui pourront profiter des multiples avantages du matériau bois.



© Photo: Stéphane Groleau

Douze étages inébranlables en bois

La grande originalité d'Origine réside dans son système de résistance latérale aux charges de vent et de séisme. Ce système est entièrement assuré par du bois massif, contrairement à d'autres édifices en bois de grande hauteur qui fondent leur résistance latérale sur des éléments en béton armé. Tout comme le système de résistance latérale, le système de résistance gravitaire qui supporte le poids du bâtiment, les charges d'usage et la neige sont également en bois massif. Cette innovation distinctive du système de résistance latérale vaut à Origine d'être actuellement le plus haut bâtiment avec un système structural 100 % en bois (40,9 m (134 pi) de haut, dont 36,6 m (120 pi) entièrement en bois).

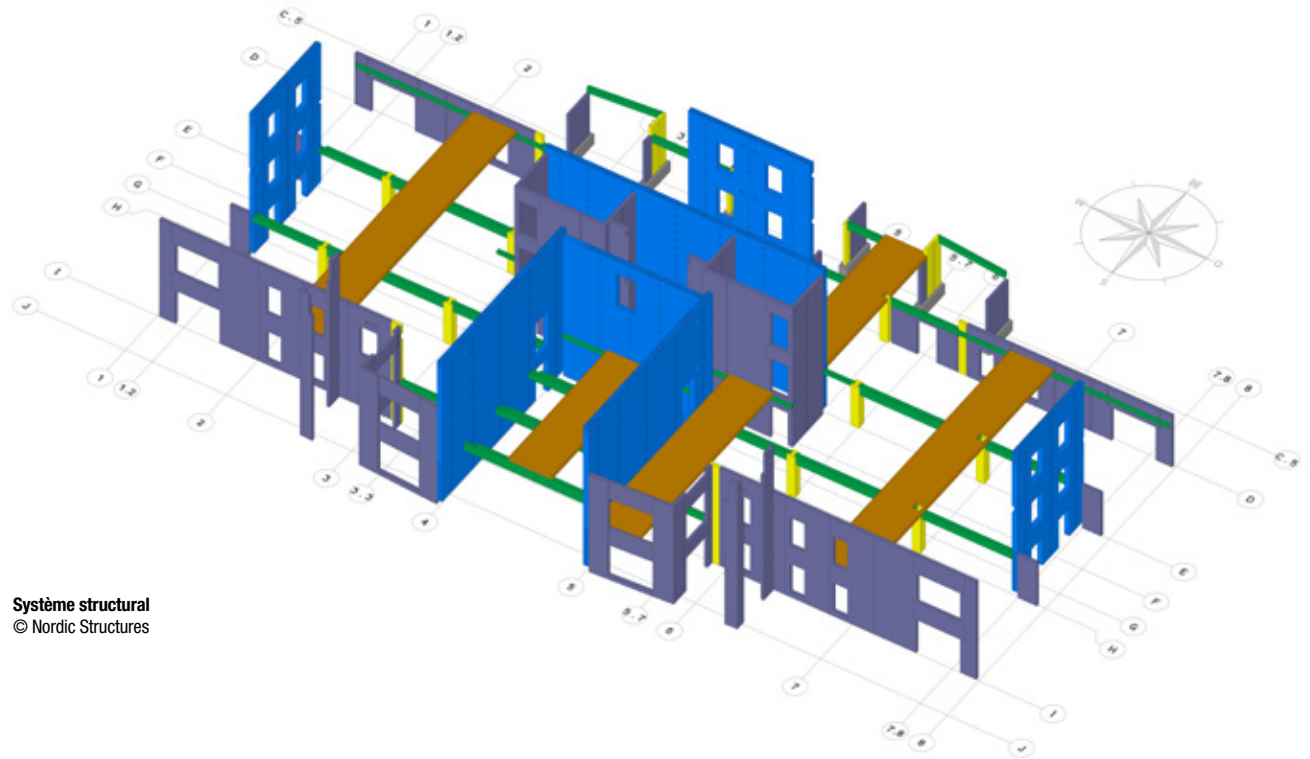
Pour élaborer la structure d'Origine, les ingénieurs se sont appuyés sur la plus récente version de la norme de calcul des charpentes en bois (CSA O86), qui permet de calculer les dimensions des pièces de bois en fonction de la résistance recherchée, incluant la résistance au feu. Ils ont ensuite procédé à des essais, entre autres dans les laboratoires de FPIinnovations à Québec, pour valider les niveaux de résistance (par exemple la flexion, le cisaillement dans le plan, les murs de refend, les connecteurs, etc.).

Plan d'ensemble

Le système de résistance aux charges latérales se compose de sept murs de refend principaux en CLT (voir en bleu dans l'illustration ci-dessous): les trois murs du hall d'entrée, le mur du fond des cages d'escaliers d'issue et d'ascenseurs, la partie centrale du mur nord et la partie centrale des murs est et ouest. Les planchers (illustrés partiellement en brun) transfèrent les charges latérales vers ces murs de refend en agissant comme diaphragme.

Le système de résistance aux charges gravitaires se compose de murs porteurs en CLT (en violet) et de deux axes de poutres et de colonnes en bois lamellé-collé (en jaune et en vert) qui traversent le bâtiment d'est en ouest. Des lambourdes ont été fixées sur les murs porteurs et sur les murs de refend afin de servir d'appui pour les dalles de plancher et de compléter le système de résistance gravitaire.

Les côtés des murs est et ouest (non représentés) sont aussi en CLT et servent seulement à transmettre la charge de vent au diaphragme, jouant donc un rôle secondaire dans le système structural.



Système structural
© Nordic Structures

Le système de résistance aux charges gravitaires

Les sept murs de refend qui servent aussi de murs porteurs sont constitués de panneaux de CLT de 2,44 m (8 pi) de largeur et de 9 m (29 pi 6 po) de hauteur, ce qui correspond à une hauteur de trois étages. Comme les charges latérales et gravitaires auxquelles les murs de refend doivent résister diminuent avec la hauteur, leur épaisseur décroît avec les étages. Les murs de CLT sont aussi encadrés de chaque côté par des pièces de bois lamellé-collé de même épaisseur pour augmenter la résistance en compression et ajouter de la rigidité au mur.

Étages	Nombre de plis	Épaisseur
1 à 3	9	291 mm (11½ po)
4 à 6	7	245 mm (9 5/8 po)
7 à 12	5	175 mm (6 7/8 po)

Épaisseur des panneaux de CLT dans les murs de refend selon les étages

Les autres murs porteurs sont constitués de panneaux de CLT de 5 plis (épaisseur de 175 mm ; (6 7/8 po), sur 2,4 m (8 pi) de largeur et de 6 m (19 pi 8 po) de hauteur). Leur épaisseur, contrairement à celle des murs de refend, est constante sur toute la hauteur du bâtiment. En effet, l'épaisseur de 175 mm qui assure la résistance aux charges gravitaires en bas du bâtiment doit être maintenue à tous les étages pour assurer une résistance au feu de deux heures.

Les portions des murs extérieurs est et ouest qui ont un rôle structural secondaire sont aussi en CLT (3 plis, 78 mm, 3 1/8 po).

À l'intérieur du bâtiment, la charge gravitaire est supportée par les poutres et les colonnes en bois lamellé-collé. La longueur des colonnes est de un étage et leurs dimensions varient avec les étages en fonction des charges appliquées. Celles du bas, qui doivent supporter une charge plus importante, mesurent 456 mm x 456 mm (18 po x 18 po). Les dimensions diminuent progressivement jusqu'à 279 mm x 279 mm (11 po x 11 po) au dernier étage.

Au 1^{er} étage, les premières colonnes en bois du bâtiment sont fixées au plancher de béton armé par des plaques métalliques ancrées dans le béton à l'aide de tiges d'acier de 3,6 m (12 pi) de long.



Essais de résistance sur des éléments en CLT chez FPInnovations
© Photos : FPInnovations

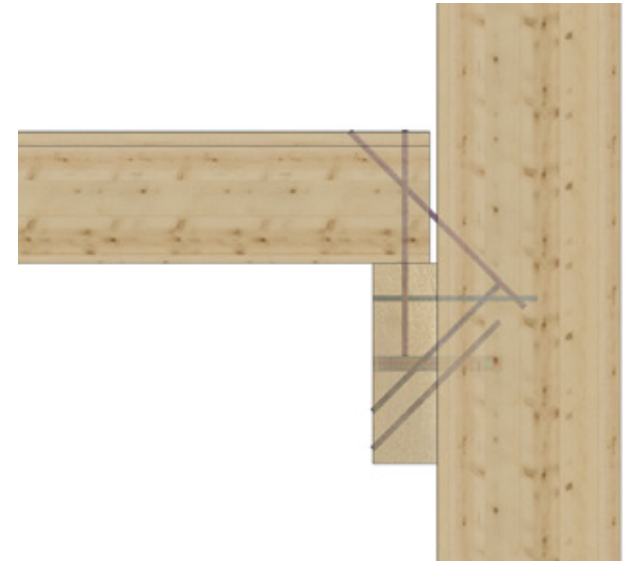
Les poutres ont une section moyenne de 279 mm x 502 mm (11 po x 19 ¾ po) et une portée allant de 4,1 m (13 pi 6 po) à 7 m (22 pi 10 po) selon leur emplacement dans le bâtiment. Elles sont encastrées et vissées dans les colonnes sans plaques métalliques à l'aide de tiges autotaraudeuses. Selon cette configuration, les colonnes sont en continuité sur les 12 étages en bois du bâtiment et reprennent à elles seules les charges gravitaires des colonnes sans solliciter les poutres. La continuité des colonnes permet de limiter la compression perpendiculaire au fil et, par suite, le mouvement vertical de la structure.

Les lambourdes fixées au mur pour supporter les dalles de plancher jouent le même rôle. Elles assurent la continuité des murs pour qu'ils reprennent leur propre charge sans solliciter les dalles de plancher et restreindre le mouvement vertical de la structure.

La trame de poutres et de lambourdes supportent le plancher constitué de panneaux de CLT de 5 plis (175 mm; 6 7/8 po) de 2,4 m (8 pi) de large sur 19,5 m (64 pi) de long qui traversent tout le bâtiment du nord au sud.

Au lieu d'utiliser des joints à mi-bois, les panneaux de CLT sont assemblés par des languettes de contreplaqué. Cette astuce a accéléré l'usinage en évitant de retourner les panneaux sur la machine à commande numérique pour usiner le joint sur le deuxième côté.

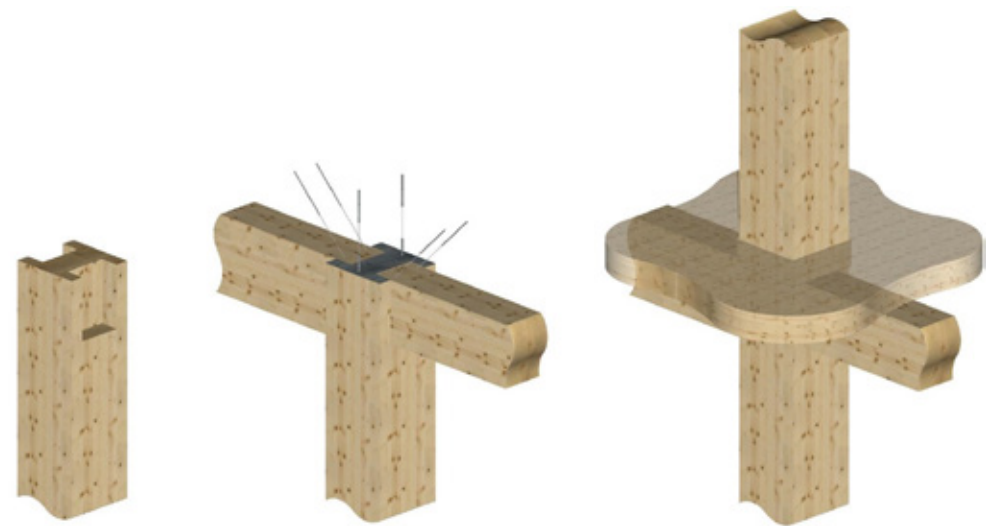
Les panneaux prennent appui sur les poutres au centre du bâtiment et sur des lambourdes en bois lamellé-collé vissées contre les murs extérieurs. La portée de plancher est de 5,7 m (18 pi 10 po) entre une poutre et un mur et de 5,5 m (18 pi 2 po) entre les deux poutres.



Assemblage des planchers en appui sur une lambourde fixée sur le mur
© Nordic Structures



Assemblage poutre-colonne
© Photo: Stéphane Groleau



Continuité des colonnes d'un étage à l'autre
© Nordic Structures

Défis	Solutions innovantes développées
Dimensionnement des pièces	Au commencement de la conception d'Origine, la norme CSA 086 n'incluait pas encore le CLT pour la conception de bâtiments en bois. Les concepteurs ont donc dû se référer au Manuel CLT de FPInnovations ainsi qu'à d'autres normes reconnues dans le monde et à des résultats d'études expérimentales.
Fabrication	La fabrication de CLT 9 plis était une première pour les Chantiers Chibougamau. La difficulté résidait surtout dans le temps de montage du panneau pour respecter le délai de réaction de la colle. En optimisant la séquence de montage, il a été possible de réduire de plus de 40% le temps d'assemblage des panneaux de CLT.
Compression perpendiculaire au fil	Pour limiter le mouvement vertical de la structure causé par la compression perpendiculaire au fil, les concepteurs ont développé des connexions qui assurent la continuité des pièces verticales. Par exemple, les poutres se joignent aux colonnes par des embrèvements, de sorte que ce sont les colonnes qui reprennent les charges gravitaires de la colonne de l'étage supérieur au lieu de la poutre. De même, les planchers sont appuyés sur des lambourdes fixées sur les murs porteurs et non sur le dessus du mur lui-même.



Machine à commande numérique à l'usine des Chantiers Chibougamau Ltée.
© Nordic Structures

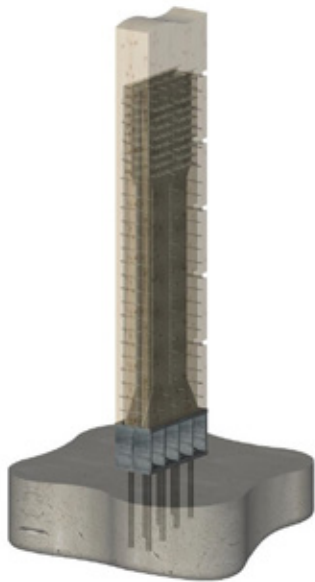


Installation d'une dalle de plancher, dont une petite portion viendra s'appuyer sur la lambourde fixée sur le mur
© Photo : Stéphane Groleau

Le système de résistance aux charges latérales

Le système de résistance aux charges latérales utilisé dans ce projet est de type « claire-voie ». Les murs se prolongent sur plusieurs étages (deux à trois pour Origine) et les planchers sont attachés aux murs par l'intermédiaire de lambourdes en bois fixées aux murs. Par opposition, dans un système de type « plate-forme », les étages sont montés un à la fois.

Les murs de refend sont aussi appelés « murs de cisaillement » parce que les forces latérales exercées par le vent et les séismes imposent des forces de compression et de traction de directions opposées qui génèrent du cisaillement. Les panneaux de CLT doivent donc être retenus au sol et attachés entre eux pour contrer ces efforts de cisaillement. En même temps, les connexions doivent donner à la structure la rigidité suffisante pour lui permettre de se déformer et d'absorber l'énergie sans se rompre en cas de séisme.



Plaque métallique interne pour transférer les charges latérales aux fondations
© Photo : Nordic Structures

Au sol, les murs de refend sont retenus par des plaques d'acier verticales soudées à une poutre d'acier qui fait la longueur du mur. La poutre est ancrée dans le béton par des ancrages mécaniques et des clés de cisaillement prises dans le béton. Les plaques d'acier verticales s'encastrent dans des fentes prévues à cet effet à la base des panneaux de CLT et sont serrées par des goujons qui traversent le panneau. C'est la déformation de ces goujons qui absorbe en grande partie l'énergie émise par les forces sismiques. Les mêmes plaques sont utilisées pour assembler les panneaux entre les étages.



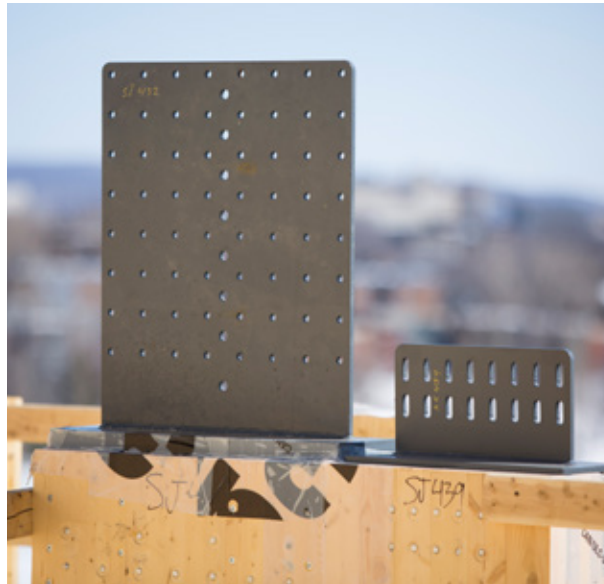
Mur de refend mis à l'essai chez FPIinnovations
© Photo : FPIinnovations

Pour assembler des panneaux adjacents, la coutume est de clouer des plaques métalliques de part et d'autre de la jonction entre deux panneaux pour reprendre les efforts de cisaillement. Dans le cas d'Origine, il aurait fallu des centaines de clous par plaque pour reprendre les efforts de cisaillement particulièrement élevés en raison de la hauteur du bâtiment. De plus, les plaques sont parfois difficiles d'accès, notamment à l'intérieur des cages d'escaliers et d'ascenseurs. Il aurait été difficile d'installer un échafaudage sur les 13 étages du bâtiment. Pour remédier à la situation, les concepteurs ont développé un système de clés de cisaillement en acier. Ces clés traversent les panneaux dans toute leur épaisseur pour les empêcher de glisser l'un contre l'autre lorsqu'ils subissent un cisaillement et une déformation sous l'effet des forces latérales. Elles facilitent et accélèrent considérablement le montage, car une clé remplace 400 clous.

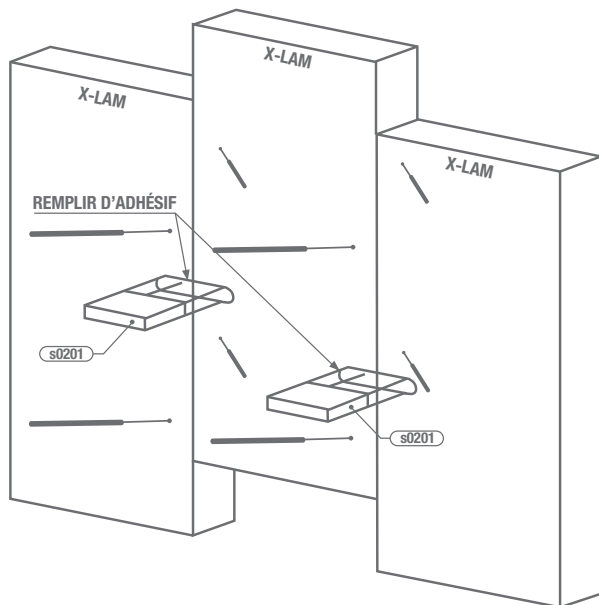


Insertion des clés de cisaillement dans un mur de refend et essais chez FPIinnovations
© Photo : FPIinnovations

Dans le bâtiment, les charges latérales sont transférées aux murs de refend par les planchers (effet diaphragme). Dans l'axe nord-sud, le transfert des forces de cisaillement entre les panneaux de CLT du plancher est en partie assuré par des pièces de contreplaqué clouées de 6 à 13 mm d'épaisseur ($\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ po) et, en de rares endroits, en haut du bâtiment, par une bande de CLT de 78 mm ($3 \frac{1}{8}$ po). Dans l'axe est-ouest, le transfert est assuré par des plaques métalliques qui joignent les dalles de plancher au niveau des murs de refend.



Plaques de connexion pour relier verticalement les panneaux de CLT et des murs de refend © Photo : Stéphane Groleau



Insertion des clés de cisaillement dans un mur de refend
© Nordic Structures



Plaque métallique de jonction
© Nordic Structures

Défis	Solutions innovantes développées
Transfert des charges latérales dans le diaphragme du plancher	Les efforts latéraux à reprendre dans le diaphragme du dernier étage sont énormes. Un simple contreplaqué ne suffisait pas à reprendre la charge entre les panneaux dans la direction nord-sud. Les concepteurs ont donc utilisé des languettes de CLT pour reprendre cette charge imposante.
Transfert des efforts de cisaillement entre les panneaux des murs de cisaillement	L'utilisation de clés de cisaillement a permis d'éviter l'installation de grandes plaques métalliques clouées, réduisant ainsi les coûts d'installation.
Assemblage pour relier les panneaux de CLT verticalement	L'utilisation de plaques de jonction métalliques avec des trous oblongs permet de résister aux efforts de cisaillement, sans restreindre les efforts de traction.
Résistance dans le plan des panneaux de CLT	La « vraie » valeur de cisaillement dans le plan des panneaux de CLT était jusqu'alors inconnue. Elle avait été déterminée par calcul, avec un certain facteur de sécurité. Des tests effectués chez FPIinnovations ont permis de réduire de trois fois ce facteur, permettant ainsi la conception optimale des murs de cisaillement.
Ancrage au sol	Les concepteurs ont conçu un système d'attaches métalliques avec des clés de cisaillement ancrées dans le béton pour reprendre les efforts dans le bas des murs de refend.
Rapidité de montage	L'utilisation du CLT a permis d'installer des pans de mur de trois étages de haut, accélérant ainsi la cadence du chantier.



© Photo: Stéphane Groleau

Sécurité incendie : le bois massif, naturellement sécuritaire

Pour un bâtiment de plus de six étages, la division B du Code de construction exige que la structure des planchers et des éléments qui les supportent (murs, poteaux) offre un degré de résistance au feu de deux heures. Cette mesure a pour but de maintenir l'intégrité structurale, de permettre aux occupants d'évacuer les lieux ainsi qu'aux services d'urgence d'intervenir de façon sécuritaire. Plus spécifiquement, offrir une résistance au feu aux éléments de construction vise à prévenir l'effondrement des éléments structuraux ainsi qu'à confiner l'incendie à son point d'origine par le biais d'éléments séparatifs (ex. : murs et planchers).

La résistance au feu inclut aussi la compartimentation, grâce à des séparations coupe-feu qui ont pour fonction d'empêcher la propagation des flammes et de la fumée. Elles doivent aussi être isolantes pour limiter l'augmentation de la température de part et d'autre de la séparation. Selon l'emplacement dans le bâtiment, le Code prescrit, pour les séparations coupe-feu, un degré de résistance au feu d'une ou de deux heures.

Dans leur recherche de solutions de rechange, les ingénieurs ont donc dû développer des solutions structurales, incluant les assemblages entre les pièces de bois, et des compositions de murs et de planchers pour atteindre le degré de résistance au feu prescrit. Ils ont dû le démontrer par des essais en laboratoire et des calculs structuraux, le tout en suivant les normes prescrites par le Code.

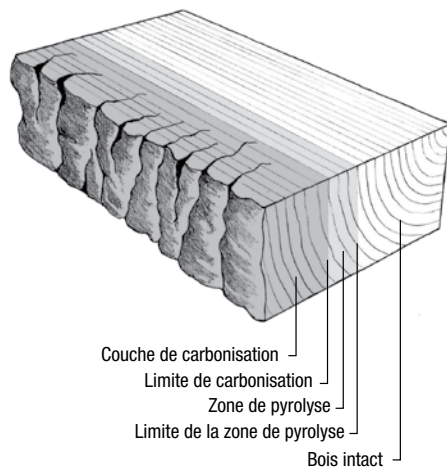
Un principe de calcul et des normes à suivre

Le bois brûle, mais, ce faisant, il produit une couche carbonisée qui protège pendant un certain temps l'intérieur des éléments en bois contre l'effet des flammes et de la chaleur. En connaissant la vitesse de combustion, il est possible de calculer et de dimensionner une pièce de bois pour que, carbonisée après deux heures d'exposition au feu normalisé selon CAN/ULC-S101³, la section résiduelle maintienne son intégrité structurale.

Le calcul s'effectue en suivant la méthode présentée à l'annexe B de la norme CSA O86-14. La méthode de l'annexe B a été développée afin de déterminer analytiquement la résistance structurale d'un élément en bois massif exposé au feu normalisé. Il est à noter que tous les matériaux de construction devant offrir une résistance au feu doivent être calculés ou évalués à partir de cette norme.

³ ULC, CAN/ULC-S101 : « Méthodes d'essais normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2014.

Il aurait cependant été très coûteux et inefficace de dimensionner tous les éléments en bois en leur allouant une section sacrificielle leur permettant d'atteindre une protection de deux heures par la seule carbonisation du bois. C'est pourquoi les concepteurs ont opté pour une solution hybride : dimensionner les pièces de bois pour qu'elles offrent une résistance au feu de une heure et les encapsuler dans des plaques de gypse de type X. L'encapsulation par le gypse retarde la prise en feu du CLT et par conséquent limite la contribution du CLT à la croissance et à la dynamique d'un incendie pendant cette période. Le gypse augmente d'une heure la résistance au feu de l'assemblage et c'est la somme des éléments de bois et de gypse qui fournit donc les deux heures de résistance requises.



Couche de carbonisation
 Source : adapté de CSA 0177

Ce principe permet de concevoir les éléments structuraux en bois massif (murs, planchers, systèmes poteaux-poutres, toits), tout en protégeant les attaches.

Un assemblage complet de mur ou de plancher ne se résume cependant pas à un panneau de CLT encapsulé de gypse. Il comporte aussi de l'isolant, des ferrures, des revêtements intérieurs et extérieurs, etc. Il faut donc pousser la démonstration de la résistance au feu avec des assemblages complets. De plus, les assemblages sont parfois percés de trous pour laisser passer des équipements techniques et les jonctions parfaites. Pour empêcher les flammes et la fumée de se propager par ces orifices et interstices, il faut les obturer par des manchons ou du scellant coupe-feu et appliquer la méthode d'obturation ou de scellage conformément à la norme CAN/ULC-S115⁴.

Des essais concluants

Tout au long de leur démarche, les ingénieurs ont donc réalisé des essais dans les laboratoires d'Intertek pour vérifier que les éléments du bâtiment se comportent comme prévu selon leurs calculs et déterminer les solutions répondant aux objectifs de sécurité incendie du Code.

Des essais supplémentaires ont été réalisés sur un mur et un plancher en suivant la norme CAN/ULC-S101 pour en vérifier la résistance structurale et le transfert de température à travers les matériaux⁵. Le mur consistait en un panneau de CLT de 5 plis (175 mm, 6 7/8 po) et il était encapsulé par deux panneaux de gypse de type X de 16 mm (5/8 po) de chaque côté. Le plancher consistait également en un panneau de CLT de 5 plis couvert de laine de verre et d'un panneau de gypse de type X de 16 mm (5/8 po) du côté exposé au feu, simulant les coupes de murs et de planchers du projet Origine. Les deux essais ont été concluants : le mur a résisté pour une durée de 3 h 39 min et le plancher a résisté pendant 2 h 08 min.⁶

Intérieur



Extérieur



Mur type après deux heures de test de résistance au feu, température de plus de 1000 °C
 © Photo : Nordic Structures

⁴ ULC, CAN/ULC-S115 : « Méthode normalisée d'essais de résistance au feu des dispositifs coupe-feu », Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2011.

⁵ Su, Joseph; Roy-Poirier, Audrey; Leroux, Patrice; Lafrance, Pier Simon; Gratton, Karl; Gibbs, Eric; Berzins, Robert, *Fire Endurance of Cross-Laminated Timber Floor and Wall Assemblies for Tall Wood Buildings*, Conseil national de recherches du Canada, 2014.

⁶ L. Osborne, C. Dagenais et N. Bénichou, *Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report (Project No. 301006155) – Final Report 2012/13*, Ottawa (Ontario) : FPInnovations, 2012.

Par ailleurs, puisque le bâtiment proposé est essentiellement similaire à un bâtiment de construction incombustible, à l'exception des éléments structuraux qui sont en bois massif, un essai de comportement au feu des murs extérieurs a été réalisé conformément à la norme CAN/ULC-S1347. L'essai a démontré que, même si l'élément structural est de CLT, l'utilisation de matériaux incombustibles pour l'isolation et le revêtement extérieur permet de demeurer sous les limites permises de propagation de la flamme et de flux de chaleur au-dessus de l'ouverture (représentant une fenêtre extérieure)⁸.



Scellant rouge assurant le degré de séparation coupe-feu autour des pièces d'équipement qui traversent un panneau de CLT
© Photo: Stéphane Groleau

⁷ ULC, CAN/ULC-S134 : « Méthode normalisée des essais de comportement au feu des murs extérieurs », Toronto (Ontario): Underwriters Laboratories of Canada, 2013.

⁸ E. Gibbs et J. Su, *Full Scale Exterior Wall Test on Nordic Cross-Laminated Timber System – Client Report A1-006009.1*, Conseil national de recherches du Canada, 2015.

⁹ ITS, *Horizontal Through-Penetration Firestop Systems through Cross Laminated Timber Panels (CLT) – Report No. 102389123COQ-006 Rev.01*, Intertek Testing Services, 2016.

¹⁰ L. Osborne, C. Dagenais, *Full-scale Mass Timber Shaft Demonstration Fire – Final Report*, FPIInnovations, 2015

Les dispositifs de scellement entre les panneaux de CLT et d'obturation autour des équipements qui traversent les murs ou les planchers ont été testés selon la norme CAN/ULC-S115⁹. Les scellements ont reçu la cote FT requise par le Code, signifiant que la fumée ne traversait pas les panneaux (F) et que la température au côté non exposé demeurait en dessous du seuil exigé (T) par la norme CAN/ULC-S115. Les dispositifs d'obturation autour des équipements ont reçu la cote F requise.

La preuve la plus éloquente de la performance de résistance au feu d'un bâtiment en CLT a été toutefois l'organisation d'un feu de démonstration réalisé par FPIInnovations au Conseil national de recherches du Canada et financé par le ministère québécois des Forêts, de la Faune et des Parcs¹⁰. Cette démonstration a été réalisée en présence des concepteurs du projet et, entre autres, de représentants des gouvernements du Québec et de l'Ontario, des Villes de Montréal, Ottawa et Québec et des services d'incendie des Villes de Québec et de Montréal. L'objectif était de démontrer qu'advenant un feu dans le bâtiment, la cage d'issue en bois massif resterait sécuritaire.



Montants métalliques pour réduire la charge combustible
© Photo: Stéphane Groleau

Un studio encapsulé par deux couches de gypse de type X (16 mm, $\frac{5}{8}$ po d'épaisseur) et une cage d'issue de 9 m de haut ont été construits en CLT (5 plis – 175 mm, $6 \frac{7}{8}$ po d'épaisseur). Le studio était aussi meublé avec un lit, des chaises, des étagères, un comptoir de cuisine et d'autre mobilier, ainsi que des palettes de bois pour représenter une charge calorifique équivalente au 95^e percentile de la charge combustible résidentielle, soit un des pires cas de charge dans un appartement résidentiel. La cage d'issue était pressurisée de 12 Pa au-dessus de la pression ambiante.

Un feu a été déclenché dans le studio, faisant monter rapidement la température ambiante à 1100 °C (2012 °F). Après deux heures à cette intensité, le CLT à l'intérieur de la cage d'issue était intact, aucune fumée n'y était détectée et la température à sa surface intérieure, toujours à température ambiante, n'avait pas augmenté de façon significative.

La preuve a été faite qu'une cage d'issue en bois massif est aussi sécuritaire qu'une cage construite à partir de matériaux incombustibles.

Les résultats de ces travaux de recherche ont permis d'élaborer un ensemble de mesures de sécurité incendie qui ont été mises en œuvre dans Origine. Ils ont aussi servi à établir les directives du guide Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages¹¹ de la RBQ.



Montage test de démonstration au feu à grande échelle
© Photo: Nordic Structures



Charge combustible correspondant au 95^e percentile
© Photo: Nordic Structures



Allumage de la charge combustible
© Photo: Nordic Structures

¹¹ Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages-
Directives et guide explicatif, Régie du bâtiment du Québec, 2015.



Test de démonstration à grande échelle après 10 minutes
© Photo : Nordic Structures



Test de démonstration à grande échelle quelques minutes avant la fin
© Photo : Nordic Structures



Intérieur de la cage d'escaliers à la fin du test de démonstration
© Photo : Nordic Structures

Principales mesures de sécurité incendie mises en œuvre dans Origine

- Le système porteur, incluant les connexions et les assemblages, fournit un degré de résistance au feu d'au moins deux heures. Les pièces de bois sont dimensionnées pour apporter une heure de résistance au feu et leur encapsulation sous deux couches de panneaux de gypse de type X apporte une heure supplémentaire.
- Dans les appartements, les cloisons qui ne sont pas des murs porteurs sont en ossature légère métallique de façon à réduire la charge combustible à l'intérieur du bâtiment.
- Pour empêcher la propagation du feu, certains murs non porteurs et les planchers forment des séparations coupe-feu respectivement de une et de deux heures. Ainsi, les logements forment des compartiments qui offrent une résistance au feu d'une heure.
- Le bâtiment Origine est entièrement protégé par un système de gicleurs automatiques conçu et installé conformément à la norme NFPA 13¹².
- Les vides techniques sont remplis avec de la laine isolante de verre ou de roche incombustible.
- Les balcons sont en béton afin de limiter la propagation d'un incendie par l'extérieur.
- Le revêtement extérieur est en matériau incombustible.

Avec ces mesures, Origine répond aux exigences du Code de construction pour un bâtiment de plus de six étages, pour lequel une construction incombustible est exigée. Afin de démontrer l'équivalence de la sécurité incendie avec un bâtiment de construction incombustible, les concepteurs ont ajouté les mesures suivantes.

- Le toit a un degré de résistance au feu d'une heure.
- La tuyauterie du système de gicleurs est en matériau incombustible.
- Les portes des logements ont un degré pare-flamme de 45 minutes au lieu de 20 minutes, tel qu'habituellement requis par le Code.
- Les corridors et les cages d'escaliers d'issue et d'ascenseurs sont maintenus à une pression de 12 Pa au-dessus de la pression ambiante pour empêcher la propagation de la fumée dans les moyens d'évacuation.

Défis	Solutions innovantes développées
Démontrer la résistance mécanique du système de résistance gravitaire pour deux heures de résistance au feu	Dimensionnement des pièces de bois pour offrir une heure de résistance au feu et encapsulation de ces éléments par des plaques de gypse de type X pour procurer une heure additionnelle.
Démontrer l'intégrité et l'isolation des planchers, des murs porteurs et des autres séparations coupe-feu	Développement de systèmes coupe-feu pour les joints et les éléments techniques qui traversent les séparations coupe-feu au moyen d'essais selon la norme CAN/ULC-S115.
Faire la démonstration de la résistance au feu	Effectuer des tests selon la norme CAN/ULC-S101, comme exigé dans le code du bâtiment – la norme de calcul (annexe B de la norme CSA 086) n'étant pas publiée ni adoptée à ce moment.
Confondre les sceptiques	Réaliser un test de démonstration à grande échelle simulant un incendie dans un cas extrême.

¹² NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems, National Fire Protection Association, 2016.

Le souci du confort acoustique

Dans un bâtiment, les résidents peuvent être dérangés par les bruits aériens et les bruits d'impact. Les bruits aériens sont générés par une source extérieure au logement, comme la circulation routière ou la radio que le voisin écoute trop fort. Les bruits d'impact, comme leur nom l'indique, sont causés par un impact direct sur le mur ou le plafond, comme une balle qui rebondit sur un mur ou des pas dans l'appartement du dessus. Ces deux types de bruits pourraient, selon leur intensité, traverser le mur ou le plafond et importuner les voisins.

Le confort acoustique d'un bâtiment (entre deux logements) est mesuré en laboratoire selon deux indices : l'indice de transmission du son (*Sound transmission class* - STC) pour les bruits aériens et l'indice d'isolation aux bruits d'impact (*Impact insulation class* - IIC) pour les bruits d'impact. Dans le bâtiment, ils sont mesurés respectivement par les indices ASTC et AIIIC (A pour « apparent »).

Le Code national du bâtiment 2015 demande, pour les bruits aériens, un indice ASTC d'au moins 47 entre les logements, ou encore que toutes les séparations entre deux logements aient un STC d'au moins 50. Aussi, une unité d'habitation séparée d'une cage d'issue ou d'une chute à déchets doit posséder une séparation ayant un STC d'au moins 55. Le Code national du bâtiment 2015 recommande, sans l'exiger, un indice IIC d'au moins 55 pour les planchers séparant deux unités, testé nus, sans tapis (NRC, 2015).



© Photo : Stéphane Groleau

Pour fournir le meilleur confort acoustique possible dans un bâtiment en CLT, les concepteurs ont testé dans les laboratoires du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) diverses compositions de murs et de planchers selon les normes ASTM E90 (mur) et ASTM E492 (plancher)¹³.

Plusieurs assemblages de murs et de planchers constitués d'une dalle de CLT de 5 plis et de diverses combinaisons de gypse, de chape de béton, de contreplaqué, de membrane acoustique, de plancher flottant, etc. ont été testés.

Toutefois, il s'agit là de mesures en laboratoire pour des éléments de murs et de planchers pris séparément. Or, dans le bâtiment, le son peut se propager par tous les interstices : à la jonction entre deux panneaux de CLT, entre les poutres et les planchers, autour des tuyaux, des conduits électriques, etc. Pour y remédier, les concepteurs ont veillé à sceller les vides aux endroits où pourrait voyager le bruit. Les interstices sont colmatés avec un scellant acoustique et une laine minérale remplit la cavité des plafonds suspendus.



Laine minérale insonorisante installée dans les cavités du plafond
© Photo : Stéphane Groleau

Le bruit peut encore se propager par transmission indirecte par la structure. Par exemple, un objet qui tombe sur le plancher du 5^e étage serait perçu comme un bruit d'impact par les voisins d'en dessous, au 4^e étage, mais le choc pourrait aussi être transmis du plancher aux murs adjacents et ainsi être perçu aux étages inférieurs et supérieurs. Pour bloquer au maximum cette transmission indirecte, il faut désolidariser les éléments, c'est-à-dire empêcher le contact direct des éléments de la structure susceptible de conduire le son. Une membrane acoustique a donc été insérée entre la chape de béton et le CLT du plancher et cette membrane remonte le long du CLT mural pour limiter la transmission du son entre la chape de béton et le mur en CLT.

Une fois le bâtiment construit, des essais réalisés *in situ* ont confirmé la bonne performance acoustique des appartements (ASTC et AIIIC).



Joints acoustiques entre panneaux de CLT en membrane insonorisante sur le plancher
© Photo : Stéphane Groleau

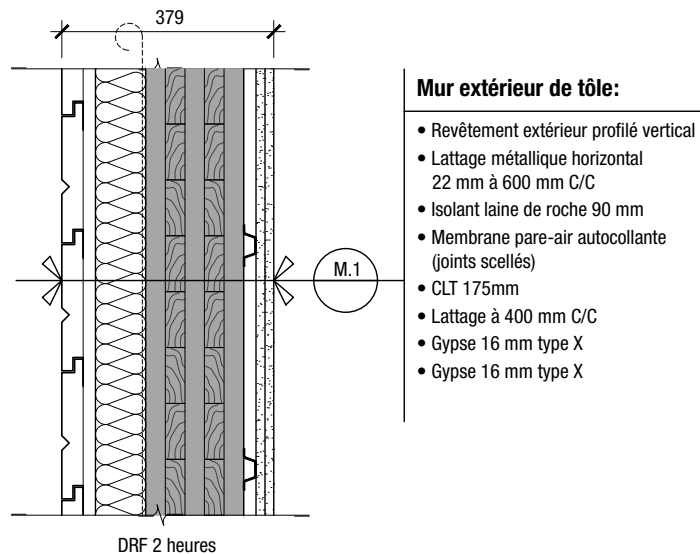
Défis	Solutions innovantes ou originalités du projet
Choisir des assemblages de plancher et de mur assurant une bonne performance acoustique	Faire des essais de ces assemblages avec de nombreuses variantes, afin de choisir les solutions optimales.
Assurer le confort acoustique	Assurer la qualité de la mise en œuvre et réaliser des essais <i>in situ</i> afin de confirmer la performance acoustique.

¹³ Sabourin, *Measurement of airborne sound insulation of 8 wall assemblies measurement of airborne and impact sound insulation of 29 floor assemblies*, Conseil national de recherches du Canada, 2015.

Gros plan sur quelques compositions de murs et de planchers

Composition d'un mur extérieur

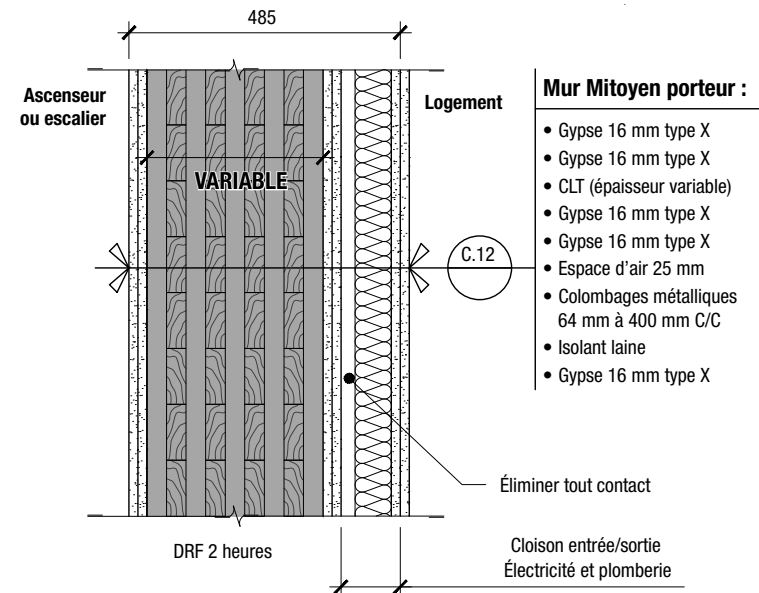
Tous les murs extérieurs sont en CLT. Ils sont encapsulés de gypse à l'intérieur et comportent à l'extérieur un isolant en laine de roche et un revêtement d'acier, d'aluminium ou de maçonnerie, soit des matériaux incombustibles, comme l'exige le Code. Le tout offre une résistance thermique RSI de 4,2 (R 23,9) et limite grandement les ponts thermiques. C'est l'avantage d'un mur en CLT par rapport à un système poteaux-poutres avec des murs en ossature d'acier, où les colombages en acier léger qui traversent le mur sont autant de ponts thermiques potentiels.



© Yvan Blouin Architecte

Composition du mur des cages d'ascenseurs et d'escaliers d'issue

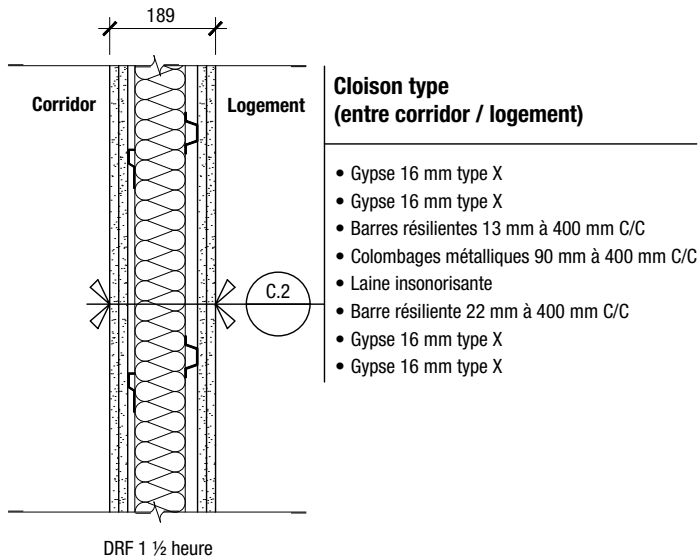
Les murs mitoyens entre les cages d'ascenseurs et d'escaliers d'issue et un appartement comprennent un panneau de CLT, de 5 à 9 plis selon les étages, encapsulé de chaque côté par deux panneaux de gypse de type X. Afin d'améliorer le confort acoustique dans l'appartement, le mur comprend en plus une lame d'air, une laine d'isolant acoustique et deux autres panneaux de gypse. Cet assemblage assure un degré de résistance au feu de deux heures et un indice STC de 61.



© Yvan Blouin Architecte

Composition des murs intérieurs non porteurs

Les murs intérieurs non porteurs ne sont pas en CLT, mais en colombages métalliques remplis de laine acoustique et encapsulés de deux panneaux de gypse de type X de chaque côté. Le mur entre un logement et le corridor est simple, tandis que le mur mitoyen entre deux logements comporte une double épaisseur de laine acoustique de part et d'autre d'une lame d'air pour atténuer la transmission des bruits entre les deux appartements. Cette configuration dépasse les exigences du Code national du bâtiment pour l'indice STC.

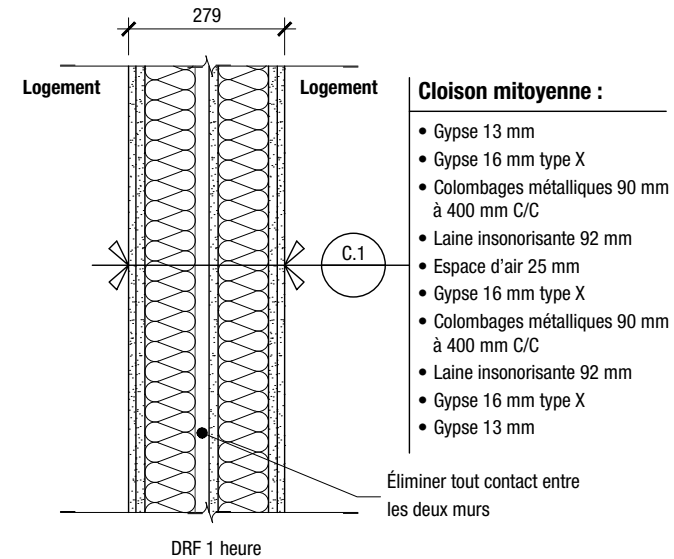


© Yvan Blouin Architecte



Encapsulation du bois par des panneaux de gypse

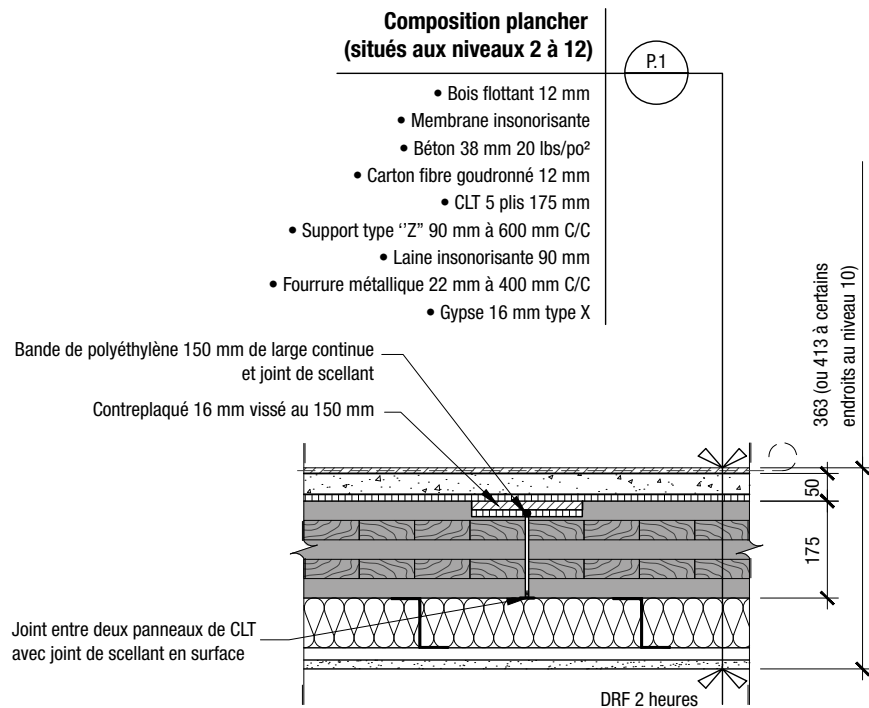
© Photo : Stéphane Groleau



© Yvan Blouin Architecte

Composition du plancher

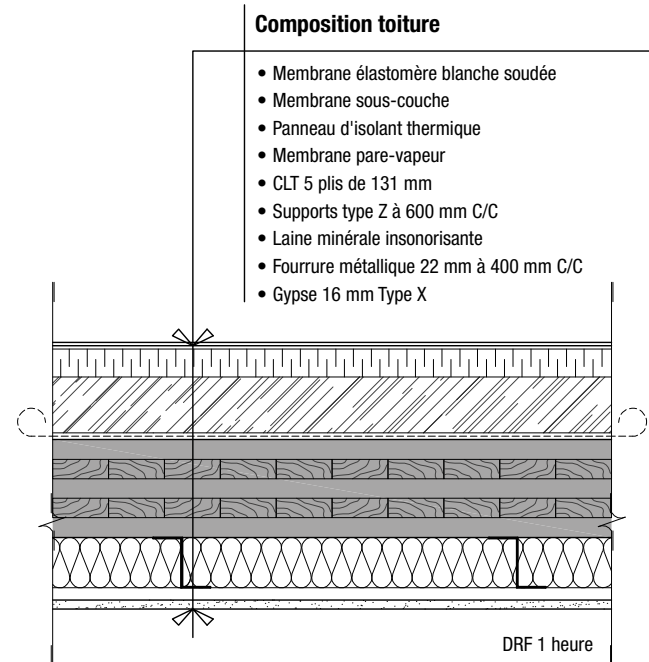
Le plancher est composé de dalles de CLT de 5 plis (175 mm, 6 7/8 po) jointes par une bande de contreplaqué vissée. De la laine insonorisante et une couche de gypse sont fixées sous le CLT. Au-dessus, le CLT est recouvert d'un carton de fibre goudronné, d'une chape de béton (non structurale) qui comprend le chauffage radiant puis d'une membrane insonorisante. La finition est constituée de plancher flottant, de tapis ou de céramique. L'assemblage fournit deux heures de résistance au feu et des indices STC de 69 et IIC de 58.



© Yvan Blouin Architecte

Composition du toit

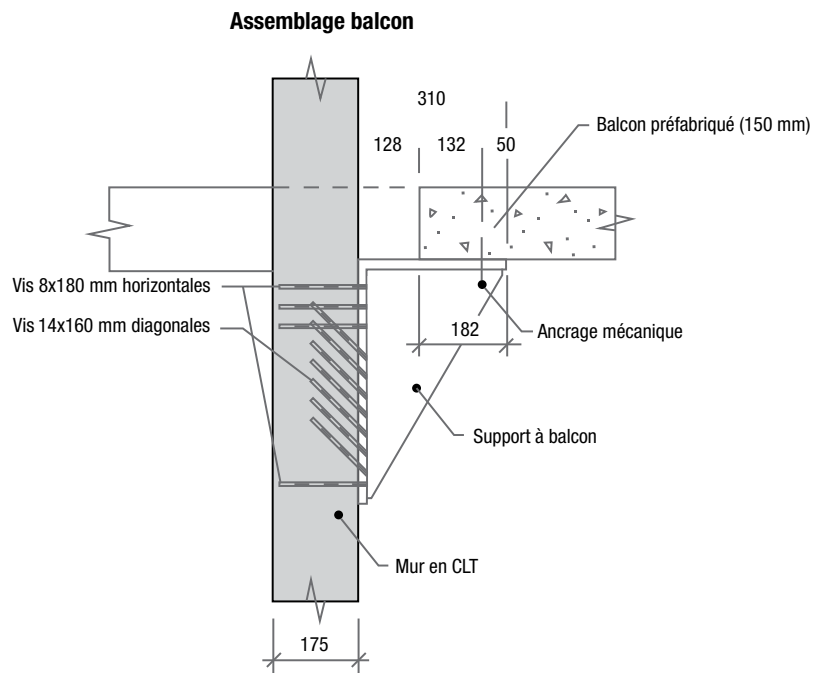
Le toit est composé d'une dalle de CLT de 5 plis (175 mm, 6 7/8 po). Il est isolé par des coussins en laine de roche et recouvert d'une membrane d'étanchéité réfléchissante blanche dans le but de réduire l'effet d'îlot de chaleur. À l'intérieur, au plafond, un panneau de gypse est appliqué sous le panneau de CLT. L'assemblage fournit une heure de résistance au feu et une résistance thermique RSI de 7,6 (R 43,2).



© Yvan Blouin Architecte

Balcons

Les balcons sont en béton préfabriqué. Cependant, contrairement à un bâtiment en béton où le balcon serait une extension du plancher vers l'extérieur, causant une déperdition de chaleur, les balcons d'Origine n'ont aucun contact direct avec le mur du bâtiment. Ils sont appuyés sur des cornières métalliques qui maintiennent un espace entre le balcon et le mur.



Connecteur pour les balcons
© Photo : Stéphane Groleau



Balcons
© Photo : Stéphane Groleau

Coup d'œil sur le chantier

Les pièces de bois sont préusinées à l'usine de Chantiers Chibougamau, où elles sont découpées avec une précision de un millimètre par des outils de coupe à commande numérique à partir de fichiers 3D. Elles arrivent sur le chantier avec les ouvertures et les découpes, prêtes à être installées. Pour faciliter et accélérer le montage de la structure, les pièces sont numérotées et empilées sur le camion selon l'ordre de montage. Les poutres et les colonnes sont déchargées des remorques sur le site, mais les panneaux de CLT sont levés directement de la remorque vers la structure par la grue du chantier.



Les pièces de bois arrivent préusinées sur le chantier avec toutes les ouvertures et découpes
© Photo : Stéphane Groleau

La séquence de montage de la structure

La séquence débute par le montage des éléments de reprise des charges latérales, soit les cages d'escaliers et d'ascenseurs, les murs du hall d'entrée et les murs de refend est et ouest. Ces éléments sont des panneaux de CLT continus sur trois étages. Les murs porteurs, quant à eux, sont toujours continus sur deux étages, à l'exception du premier mur nord. Ce dernier, d'une hauteur d'un niveau, crée un décalage d'un étage qui sera conservé jusqu'au sommet entre les murs nord et sud. Ensuite, les poutres, colonnes et lambourdes qui supportent le plancher sont installées. Chaque niveau est complété par l'installation des dalles de plancher. Ce processus est répété jusqu'au 12^e étage.



Le système claire-voie permet le travail à hauteur d'homme
© Photo: Stéphane Groleau

Le décalage entre les murs porteurs dégage un espace qui facilite la pose des dalles de plancher à chaque étage. En effet, la dalle repose d'un côté à mi-hauteur d'un mur porteur et de l'autre côté au sommet du mur opposé, simplifiant l'opération de levage.

Pour améliorer la précision et la rapidité de montage, des perçages de positionnement ont été usinés sur les murs et les lambourdes afin de les aligner précisément à l'aide de goujons sur le chantier. Ce concept permet l'installation des lambourdes par un seul ouvrier.

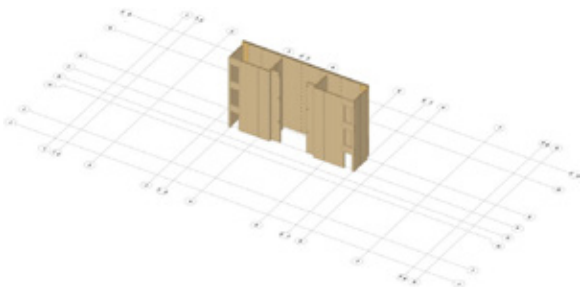


Les ferrures de levage sont retirées une fois le panneau CLT en place
© Photo: Stéphane Groleau

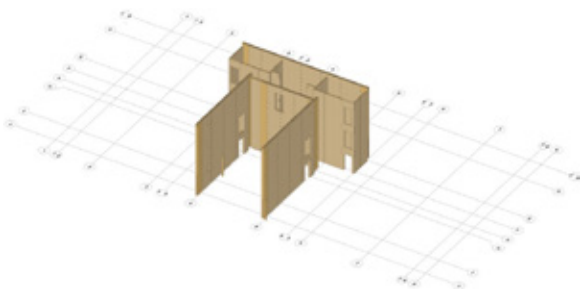
L'assemblage entre les panneaux de planchers par des languettes de contreplaqué plutôt que par des joints à mi-bois a également permis d'accélérer le montage. Cette technique permet d'exploiter les panneaux sur toute leur largeur en conservant la portion qui serait perdue par le chevauchement du joint à mi-bois. Compte tenu de l'envergure du projet Origine, cette optimisation a permis de réduire le nombre de panneaux, et par conséquent le nombre de maintenances en usine et en chantier.

Séquence de montage de la structure de bois

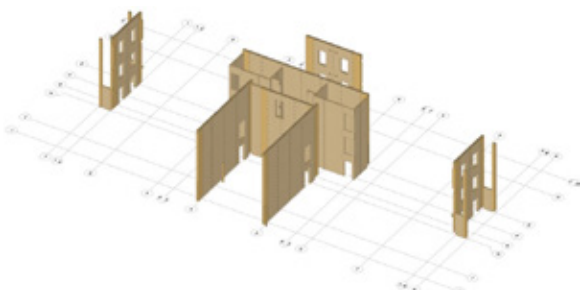
① Murs des cages d'escaliers d'issue et d'ascenseurs



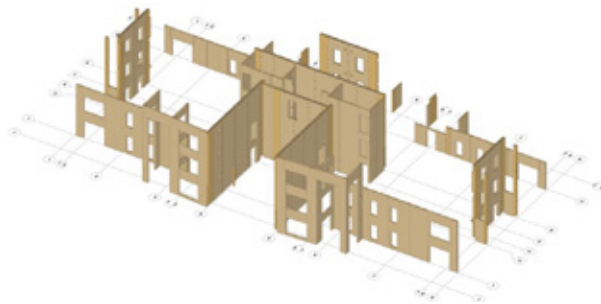
② Murs du hall d'entrée



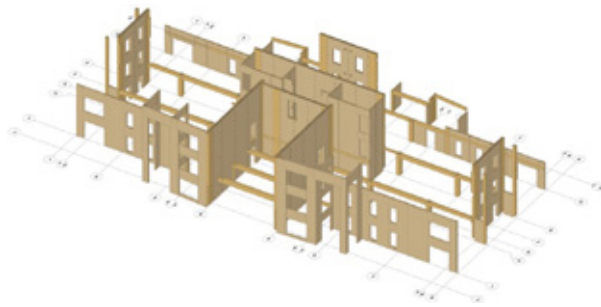
③ Murs de refend est et ouest



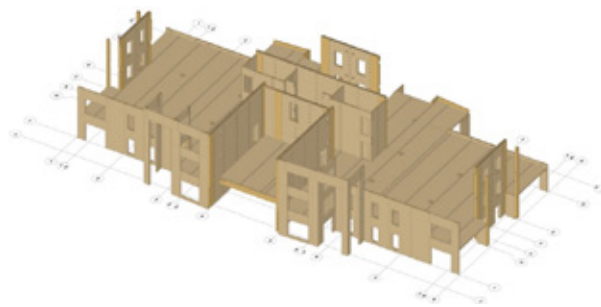
④ Autres murs porteurs, murs nord de l'étage 1, murs sud des étages 1 et 2



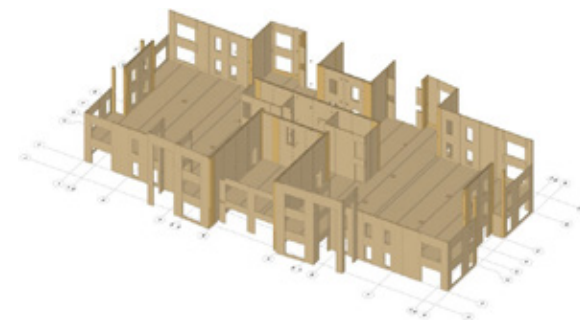
⑤ Poutres et colonnes pour le 1^{er} plancher



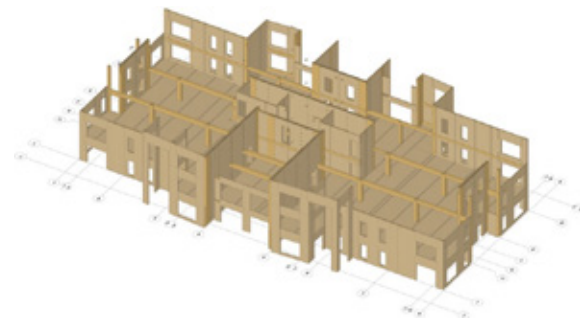
⑥ 1^{er} plancher



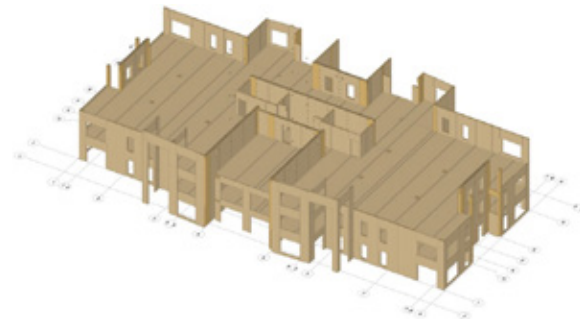
⑦ Murs porteurs nord des étages 2 et 3



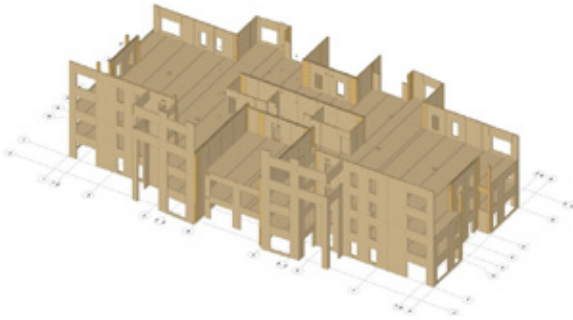
⑧ Poutres et colonnes pour le 2^e plancher



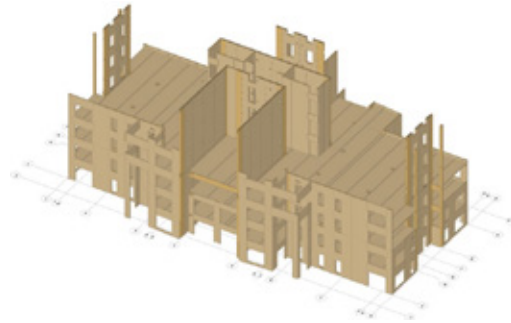
⑨ 2^e plancher



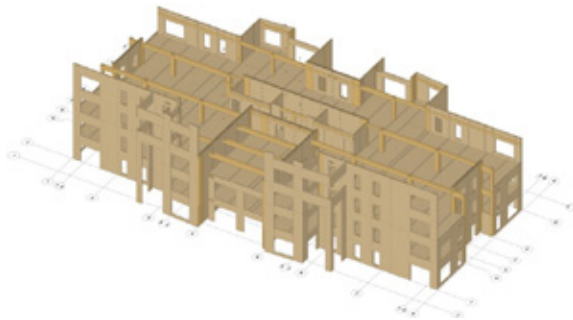
10 Murs porteurs sud des étages 3 et 4



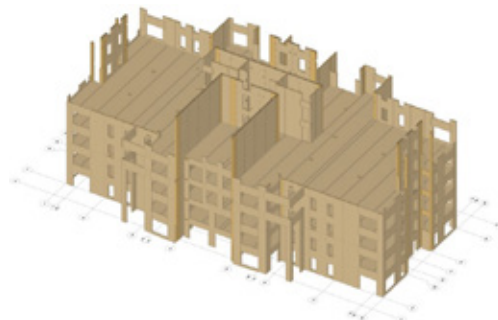
13 Murs de refend des étages 4, 5 et 6



11 Poutres et colonnes pour le 3^e plancher



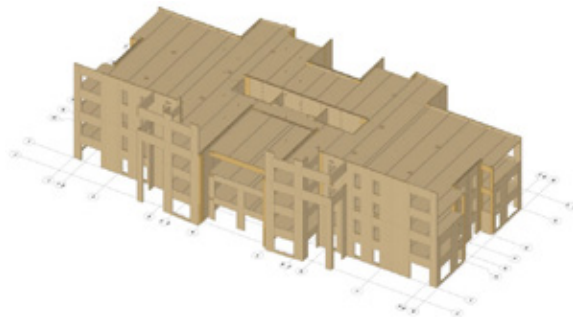
14 Murs porteurs nord des étages 4 et 5 avec 4^e plancher



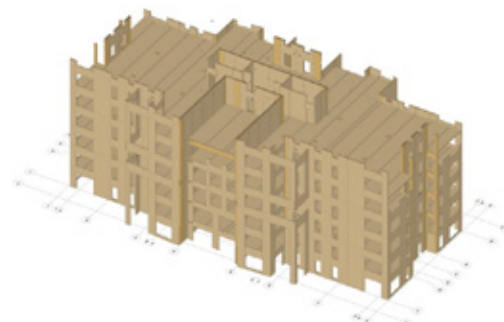
16 Séquence complète



12 3^e plancher



15 Murs porteurs sud des étages 5 et 6 avec 5^e plancher



La séquence d'installation de la finition intérieure

De décembre 2016 à avril 2017, il n'a fallu que quatre mois pour ériger la structure de bois. Mais à l'intérieur, les travaux avaient commencé bien avant que le toit ne soit posé. Les corps de métier se sont succédé en une séquence qui s'est répétée d'étage en étage.



Coulage de la couche de béton sur le plancher radiant
© Photo : Stéphane Groleau

Les premiers ouvriers à entrer ont posé l'isolation sur les murs et les tuyaux du chauffage radiant au sol. Venait ensuite le moment de couler la chape de béton sur le plancher. Une fois le béton sec, les divisions des unités étaient montées, puis venait le tour des plombiers et des électriciens. Une fois les tuyaux et les câbles en tous genres installés, il fallait remplir les vides techniques de laine isolante et installer les panneaux de gypse sur les murs et les plafonds.

Il restait à poser la finition au plancher (céramique dans les cuisines et les salles de bain, tapis dans les corridors communs et les planchers flottants ailleurs) et à peindre les murs et les plafonds.

Dans cette séquence, il fallait six à huit semaines à l'ensemble des corps de métier pour finir un étage. Lorsque la dernière touche de finition fut apposée, dix mois s'étaient écoulés depuis le début du montage de la structure en bois.



Montage des derniers panneaux
© Photo : Stéphane Groleau

Un chantier sous contrôle

La vitesse de montage ne compromet nullement les diverses mesures de qualité et de sécurité des travaux.

Contrairement au béton armé, qui requiert un coffrage et un temps de mûrissement assez long, nul besoin d'attendre que le bois sèche pour construire les étages supérieurs. La teneur en humidité du bois doit pourtant être contrôlée, car le bois est un matériau hygroscopique et, selon les conditions d'humidité ambiante, il absorbe ou évapore l'eau. Ce faisant, il gonfle ou se rétracte avec des conséquences possibles sur la structure. Au Québec, le bois doit avoir une teneur en humidité de l'ordre de 10 à 12 % pour être en équilibre avec les conditions de température et d'humidité à l'intérieur et conserver ses dimensions. Le bois est donc

séché à l'usine de Chantiers Chibougamau à environ 12 % et est livré au chantier avec ce taux d'humidité.

Comme le chantier n'était pas protégé contre les intempéries, on a dû mesurer le taux d'humidité des pièces de bois à l'aide d'un humidimètre pour s'assurer qu'elles ne soient pas encapsulées avec une humidité supérieure à ce qui est souhaitable.

Également, sur le chantier, des mesures particulières ont été prises en prévention contre le feu et pour protéger la structure des risques d'incendie durant la construction. Une colonne d'eau était montée au même rythme que les étages et demeurait prête à être activée au moindre événement. De plus, des extincteurs étaient disposés à des endroits stratégiques pour parer à toute éventualité. Tous les em-

ployés sur le chantier avaient reçu une formation sur les mesures de sécurité incluant la sécurité incendie.

Enfin, un autre aspect notable du chantier est la prévention contre les chutes des travailleurs. Le Code de sécurité pour les travaux de construction stipule qu'un travailleur doit être protégé s'il risque de tomber de plus de trois mètres (10 pieds) et l'une des mesures de prévention préconisée est la pose d'un garde-corps. Les ingénieurs d'Origine ont eu la bonne idée de concevoir les pans de murs de façon à ce qu'ils dépassent le niveau des planchers. La section qui dépassait pouvait donc servir de garde-corps et il ne restait qu'à poser des garde-corps temporaires devant les ouvertures des fenêtres ou des portes. C'est une autre façon de réduire l'échéancier du chantier tout en étant très sécuritaire.



Le panneau du mur émerge au-dessus du plancher, faisant ainsi office de garde-corps

© Photo : Stéphane Groleau



Vues de la terrasse du dernier étage
© Photo : Stéphane Groleau



Hall d'entrée
© Photo : Stéphane Groleau



Appartement modèle
© Photo : Stéphane Groleau

Quelles leçons pour le prochain édifice ?

Quelques pistes de réflexion ont été suggérées. Elles portaient sur le choix des matériaux et sur des méthodes qui faciliteraient le montage de la structure et qui réduiraient ainsi les coûts, par exemple :

- Les conduits horizontaux des gicleurs pourraient être en matériau combustible comme le Code l'autorise pour les bâtiments de construction incombustible.
- Plusieurs trous sont percés dans les planchers pour faire passer le câblage électrique. Chacun de ces trous doit recevoir un traitement coupe-feu. Dans les bâtiments de construction incombustible, le Code autorise d'acheminer tout le câblage dans un puits mécanique commun. Un puits mécanique qui regrouperait tout le câblage électrique ou une partie de celui-ci et qui serait traité pour la protection incendie comme la chute à déchets faciliterait les travaux.

Par ailleurs, l'utilisation des outils informatiques de modélisation du bâtiment (BIM) en amont du projet s'est révélée très importante pour la bonne coordination de tous les corps de métier.

© Photo : Stéphane Groleau



Tableau récapitulatif

Principales mesures de protection de l'environnement

- 3111 m³ de bois certifié FSC de provenance québécoise
- Séquestration de 2295 tonnes métriques de CO₂
- Émission évitée de 1000 tonnes métriques d'équivalents CO₂ grâce à l'utilisation du bois en substitut à un autre matériau
- Performance thermique améliorée grâce à une réduction des ponts thermiques
- Technologie Solucycle pour la récupération des déchets organiques
- Membrane de toit réfléchissante



© Photo : Stéphane Groleau

Le bâtiment

- Classe du bâtiment: Groupe C
- Hauteur : 40,9 m (134 pi)
- Surface des étages en bois : 890 m² (9580 pi²)
- Nombre d'étages :
13 (12 en bois sur un podium en béton armé)
- Principaux produits de bois d'ingénierie :
Panneaux de CLT Nordic X-Lam
de 5, 7 et 9 plis (de 175 à 291 mm)
Poutres et colonnes en bois lamellé-collé
Nordic Lam
- Coût du projet : 25 M\$
- Structure érigée en 4 mois

Équipe de réalisation

- Promoteur :
Groupe NEB
- Architecte :
Yvan Blouin Architecte
- Consultants en code :
Technorm, GHL Consultants
- Ingénierie :
Ingénierie Structure de bois : Nordic Structures
Génie mécanique : Genecor Experts-Conseils
Génie civil : Groupe conseil SID inc.
- Fournisseur de bois massif :
Nordic Structures
- Entrepreneur général :
EBC
- Monteur de la charpente :
Les Constructions FGP
- Laboratoires :
FPInnovations et Conseil national
de recherches du Canada

Comité de rédaction:

Valérie Levée, Gérald Beaulieu, Christian Dagenais, Caroline Frenette, Audrey Latulippe et Simon T. Bellavance

Comité de révision:

Yvan Blouin, François Chaurette, Julie Frappier, Sylvain Gagnon, Simon Gallagher, Kévin Gazeau, Kim Lajoie et Richard Poirier

La présente étude de cas est basée sur des informations rassemblées par **Cecobois** et ses représentants. L'étude représente l'interprétation des faits et informations que nous avons reçus au sujet du projet Écocondos de la Pointe-aux-lièvres, mieux connu sous le nom d'Origine. **Cecobois** souligne et remercie Ressources Naturelles Canada et Wood WORKS! pour leur soutien, ainsi que les équipes de FPInnovations, Yvan Blouin Architecte, EBC Inc. et Nordic Structures pour leur expérience, leur expertise et leurs ressources techniques.

Cecobois remercie Ressources Naturelles Canada pour sa contribution au financement de cette étude de cas.

PARTENAIRES

Forêts, Faune
et Parcs

Québec



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

CertainTeed
SAINT-GOEMIN



StructureCraft

STRUCTURLAM
Intelligence In Wood

western archrib
structural wood systems



Guardian Structures



Weyerhaeuser



AcoustiTECH
PERFORMANCE CREDIBILITY EXPERIENCE



Dépôt légal Bibliothèque nationale du Québec
Dépôt légal Bibliothèque nationale du Canada

2018

cecobois

Centre d'expertise
sur la construction
commerciale en bois

www.cecobois.com