

Conception, réalisation et mise aux normes sismiques d'un bâtiment de groupe A1 de 4 étages en gros bois d'œuvre

Préparé par

Anna Ciari, ing.

Kevin Botchar, architecte OAQ

Thibaut Lefort, ing.

Antonio Di Bacco, architecte OAQ

Lateral Conseil Inc.

Atelier Barda Inc.

lateral.

Atelier Barda

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du Programme
d'innovation en construction bois

14/12/2024

Anna Ciari

Thibaut Lefort

Kevin Botchar

Avis de non responsabilité

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le promoteur du projet. Le ministère des Ressources Naturelles et des Forêts (MRNF), ainsi que le Plan pour une Économie Verte 2030 (PEV) ne sont donc pas responsables du contenu de ce document.

Table des matières

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude	4
2. Introduction	5
2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction	5
2.2 Description du projet de construction	5
2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante	7
2.2.2 Échéancier global et durée	7
2.2.3 Budget global	8
2.2.4 Partenaires	8
2.2.5 Défis et risques généraux	8
3. Détails de l'étude	8
3.1 Introduction et hypothèses de départ	8
3.2 Objectifs	9
3.3 Méthodologie	10
3.4 Résultats et analyse	12
3.5 Conclusions	16
3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	16
3.7 Recommandations	17
4. Bibliographie	17
5. Annexes	18

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Le projet prévoit la construction d'un nouveau centre d'art de quatre étages en gros bois d'œuvre sur le site d'un bâtiment industriel de deux étages au 333 rue Port-Royal, Montréal. Le programme prévoit la construction de salles d'exposition (white box), d'une salle de spectacle (black box), d'espaces de rangement et d'archivage, d'un café, d'un espace éducatif et de bureaux administratifs. Le bâtiment existant de deux étages a vraisemblablement été construit en trois étapes à partir des années cinquante. Une première construction d'un étage a été réalisée avec une toiture en millfloor (NLT) sur poutres d'acier et murs porteurs en maçonnerie de bloc. Une deuxième portion d'un étage a été ajoutée sur le site et est de construction similaire. Enfin, un deuxième étage partiel a été ajouté sur la construction d'origine, vraisemblablement durant les années soixante-dix ou quatre-vingt, et est une construction en acier avec poutrelles d'acier et platelage en acier sur murs porteurs en maçonnerie de bloc.

Étude réglementaire

En vertu de l'article 3.2.2.20. du Code de construction du Québec, un bâtiment du groupe A, division 1, de 4 étages de hauteur de bâtiment doit être de **construction incombustible** telle que l'acier ou le béton. L'objectif principal de l'étude réglementaire consiste donc à autoriser la construction d'un bâtiment du groupe A, division 1, de 4 étages en **construction combustible** telle que le bois. Pour se faire, une demande de mesure équivalente démontrant une résistance aux incendies égale, voire supérieure, à un bâtiment de référence de construction incombustible a été préparée par Technorm, envoyée à et approuvée par la Régie du Bâtiment du Québec (RBQ) dans le but de permettre la construction du bâtiment de 4 étages tel que conçu en construction combustible.

Étude structurale

Le projet prévoit que le bâtiment existant de deux étages soit transformé en un bâtiment de quatre étages. Pour ce faire, la portion existante d'un étage sera déconstruite (NLT, poutres d'acier et maçonnerie de bloc) afin que les éléments soient réutilisés lors de la reconstruction. Les planchers et le toit d'une partie du bâtiment de deux étages seront déconstruits afin de créer une cour intérieure végétalisée. Cette cour intérieure servira à partiellement renaturaliser le terrain qui, à l'origine, était entièrement construit. Enfin, la portion de deux étages conservée sera renforcée avec l'acier déconstruit. Tout ajout au projet ne provenant pas de déconstruction sera en gros bois d'œuvre (lamellé-collé et CLT). La nouvelle construction de quatre étages sera entièrement en lamellé-collé avec platelage en CLT. Un système de contreventement avec amortisseurs à friction sera intégré aux contreventements en bois. L'ensemble repose sur des fondations profondes (pieux).

2. Introduction

Le projet du Centre d'art Battat consiste en la transformation d'un bâtiment existant de caractère industriel de 2 étages construit en 1956 en un édifice de 4 étages. La transformation est conçue d'une façon écologique, avec le but de minimiser les déchets de matériaux de construction et d'optimiser l'empreinte carbone de la nouvelle structure. Plusieurs défis, tant au niveau technique qu'au niveau réglementaire, ont été rencontrés lors du processus de la conception et des solutions innovantes ont été trouvées pour les rencontrer.

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Centre d'Art Battat
333, rue de Port-Royal Ouest
Montréal, QC, H3L 2C1

2.2 Description du projet de construction

Le projet proposé conservera l'enveloppe extérieure et une majeure partie de la structure existante en acier sur laquelle viendra reposer la nouvelle structure en gros bois d'œuvre. Cet ajout densifiera le bâtiment, le faisant passer d'un bâtiment de 2 étages à 4 étages. La structure existante en bois et en acier sera modifiée et renforcée pour accueillir les nouveaux étages au-dessus.

Le bâtiment accueillera une variété d'ateliers, de salles d'exposition et d'espaces pour la création. Des usages secondaires aidant au bon fonctionnement de ces lieux, tels que des bureaux, un café, du rangement, des espaces sanitaires, la salle mécanique et autres sont également prévus.



Figure : Bâtiment existant avant la transformation

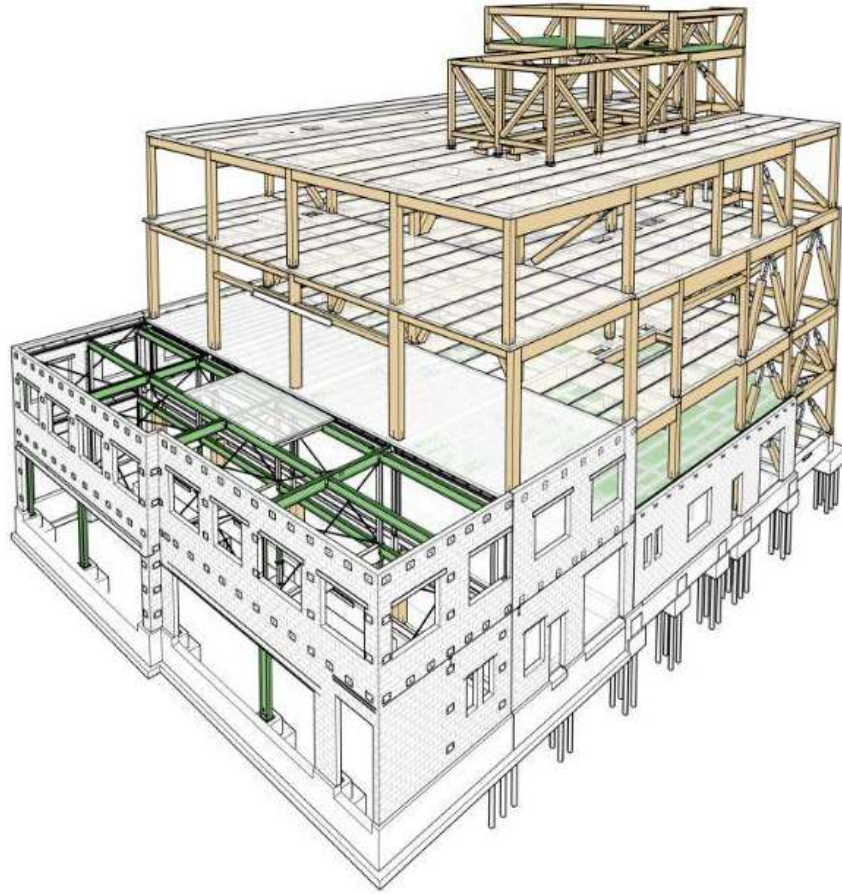


Figure : Modèle 3D du projet tel que proposé

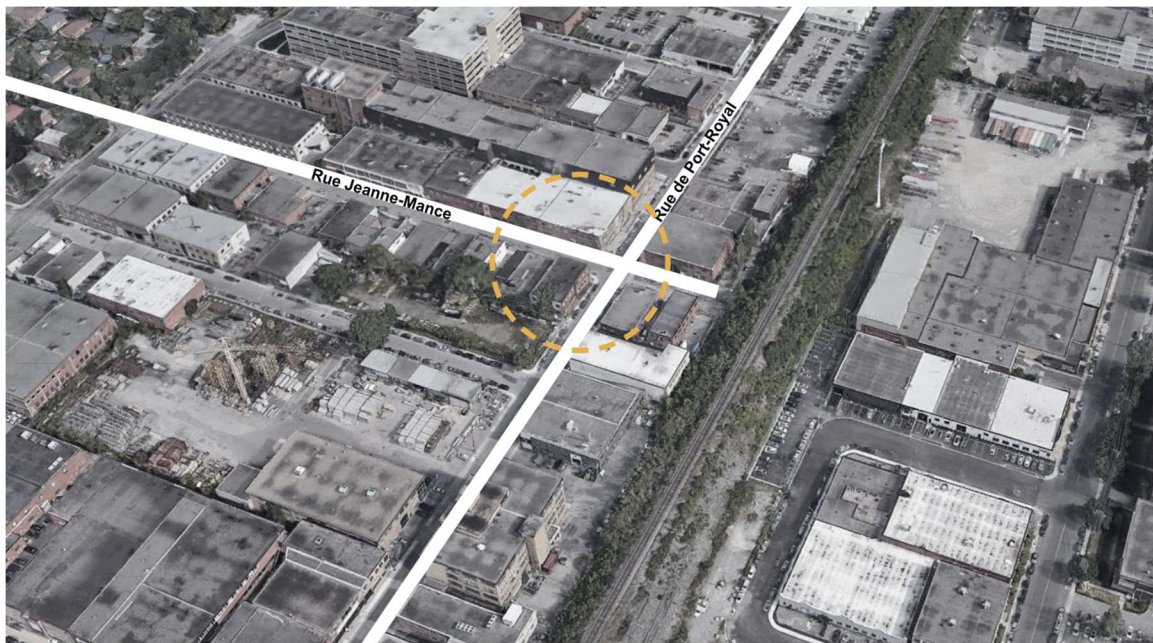


Figure : Le site du projet à l'intersection des rues Jeanne-Mance et de Port-Royal

2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

Le projet de transformation proposé présente plusieurs défis tant au niveau technique qu'au niveau réglementaire.

Réglementation : En vertu de l'article 3.2.2.20. du Code de construction du Québec, un bâtiment du groupe A, division 1, de 4 étages de hauteur de bâtiment doit être de **construction incombustible** telle que l'acier ou le béton. L'objectif principal de l'étude réglementaire consiste donc à autoriser la construction d'un bâtiment du groupe A, division 1, de 4 étages en **construction combustible** telle que le bois. Pour se faire, une demande de mesure équivalente démontrant une résistance aux incendies égale, voire supérieure, à un bâtiment de référence de construction incombustible a été préparée par Technorm, envoyée à et approuvée par la Régie du Bâtiment du Québec (RBQ) dans le but de permettre la construction du bâtiment de 4 étages tel que conçu en construction combustible.

Technique (réhabilitation sismique) : Grâce à l'intégration de contreventements en gros bois d'œuvre muni de freins sismiques à friction (*friction damper*), un système de résistance aux charges latérales qui n'a pas encore été utilisé au Québec, le niveau de résilience du bâtiment est significativement rehaussé. L'intégration des freins sismiques permettent d'une part l'optimisation du dimensionnement des éléments de bois engendrant une réduction monétaire et matérielle et d'autre part, de créer un précédent exemplaire et reproductible en termes de sécurité sismique autant pour de nouvelles constructions que des projets de réhabilitation et de conversion. Une étude de recherche incluant des essais pleine grandeur a été menée afin de démontrer la faisabilité et les bénéfices de ce système innovant.

Environnemental (réutilisation) : Un des buts du projet est de minimiser l'empreinte carbone de la structure. Les solutions innovantes proposées dans le cadre de ce projet touchent notamment la déconstruction et la réutilisation de la structure existante ainsi que le renfort de la structure existante en acier par des éléments en gros bois d'œuvre. La réutilisation inclut la démolition, l'entreposage et la réutilisation des éléments de structure en bois et en acier. Ainsi, la proposition réduit aussi les interventions invasives sur le bâtiment existant afin de respecter le patrimoine et ainsi de valoriser son intégrité commémorative.

2.2.2 Échéancier global et durée

Plans et devis : **janvier 2022 - mars 2025**

Dépôt de la demande de mesure équivalente : **avril 2024**

PPCMOI : **mai 2024**

Dépôt de la demande de permis : **juin 2024**

Obtention de la demande de mesure équivalente : **septembre 2024**

Obtention du permis et PPCMOI : **octobre 2024**

Début du chantier : **octobre 2024**

Fin provisoire du chantier : **décembre 2026**

Mise en service provisoire : **printemps 2027**

2.2.3 Budget global

\$24,336,374.00

2.2.4 Partenaires

Les partenaires externes suivantes ont participé lors de l'étude :

- Fournisseur de bois massif : Ambiance Bois avec Nordic
- Consultants en code : Technorm
- Manufacturier et concepteur de freins sismiques à friction : QuakeTek
- Collaborateur Scientifique : Prof. professeur A. Salenicovich, chercheur en génie du bois à l'Université Laval

2.2.5 Défis et risques généraux

Le projet présentait surtout des défis techniques relevant de la nouveauté de certains systèmes clés, comme l'intégration de freins sismiques à friction à un système de contreventement en bois et de la complexité d'exécution liée à l'objectif de maximiser la conservation de la structure existante.

L'enjeu réglementaire commandait aussi une approche prudente dans le développement de la demande de mesure équivalente auprès de la RBQ et le développement des solutions de rechange. Un refus de la demande de mesure équivalente par la RBQ aurait nécessité une modification quasi complète du système structural du projet en bois à de l'acier ou du béton. En d'autres termes, le défi réglementaire était au cœur du projet d'innovation.

Une conception rigoureuse, appuyée par des essais physiques, ainsi qu'une démarche collaborative tout au long du projet ont permis de relever tous ces défis.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ

Le projet prévoyait la transformation d'un bâtiment existant de caractère industriel de 2 étages à un bâtiment de 4 étages en gros bois d'œuvre.

La première problématique du concept architectural et structural est réglementaire : en vertu de l'article 3.2.2.20. du Code de construction du Québec, un bâtiment du groupe A, division 1, de 4 étages de hauteur de bâtiment doit être de *construction incombustible*, telle que l'acier ou le béton. L'objectif principal de l'équipe de conception consistait donc à demander à la RBQ l'autorisation de construire un bâtiment du groupe A, division 1, de 4 étages en *construction combustible* telle que le bois. Pour se faire, une demande de mesure équivalente devait être préparée dans le but de demander à la RBQ la permission d'un bâtiment de 4 étages en construction combustible. L'étude consisterait principalement en des modélisations incendies et d'enfumage pour démontrer que le

projet proposé en construction combustible offrirait la même protection incendie qu'un bâtiment de référence en acier ou en béton.

La deuxième problématique était technique : le défi se trouvait dans le développement d'un système de résistance aux charges latérales basé sur le principe d'amortissement d'énergie. Étant donné le caractère écologique du projet, l'utilisation d'un système techniquement simple mais efficace, tel que les freins sismiques à friction qui permettent de réduire les sections des éléments structuraux utilisés pour les contreventements et les fondations, semblait le choix le plus logique. La combinaison de ces freins avec les contreventements en gros bois d'œuvre est une première au Québec. Des études complémentaires en collaboration avec un groupe de chercheurs universitaires, appuyé par l'expérience du manufacturier et consultant QuakeTek, seraient nécessaires pour prévoir son comportement et procéder à la conception finale du système.

Enfin, l'équipe de conception souhaitait réutiliser la structure existante afin de réduire les déchets et l'empreinte carbone du bâtiment dans un geste d'économie circulaire. Les nouvelles charges ajoutées lors de la transformation du bâtiment nécessiteraient des analyses approfondies pour permettre de conserver l'existant.

3.2 Objectifs

Globalement, l'objectif du projet est d'offrir une réalisation architecturale exemplaire basée sur les technologies du bois, dont les innovations serviraient de solution alternative et reproductible dans le secteur de la construction des bâtiments.

En détail, les objectifs pour les différents volets sont les suivants:

Réglementation : L'objectif de cette étude est d'analyser le développement d'incendie et la propagation des flammes lors de scénarios probables à l'intérieur d'un bâtiment de construction massive en bois, avec certains éléments de structure en bois apparent. Le bâtiment est un bâtiment existant, qui est transformé et agrandi pour abriter un établissement de réunion destiné à la production et à la présentation d'arts du spectacle de quatre (4) étages, pour lequel une construction incombustible est requise en vertu du Code. L'étude vise à déterminer s'il est possible de conserver différents éléments de la construction massive en bois apparent, et ce, en quelle proportion. Les éléments en bois massif apparents à l'étude sont principalement le platelage au plafond, poutres, colonnes, contreventements et revêtements de finition en CLT ayant une épaisseur de plus de 25 mm. Des modélisations de scénarios d'incendie pour lesquels les paramètres respectent les solutions acceptables du Code seront faites, et elles seront comparées avec des scénarios d'incendie identiques pour lesquels le bâtiment présente les caractéristiques de la solution de rechange.

Technique (Réhabilitation sismique) : L'objectif est de développer un système d'amortisseurs à friction (freins sismiques) intégrés à une structure contreventée en bois lamellé-collé. Ce type de contreventement est inédit dans une structure en gros bois d'œuvre et la présente étude vise à démontrer l'avantage de cette innovation pour le bâtiment à l'étude, mais aussi pour des bâtiments similaires qui seraient situés dans des géographies avec un aléa sismique différent.

Environnemental (Réutilisation) : Dans le contexte d'un changement climatique global, ce projet essaie de minimiser les émissions de gaz à effet de serre en optimisant l'utilisation de nouveaux matériaux et en ré-utilisant la structure existante le plus possible, soit en la laissant en place et en la renforçant, soit en l'utilisant ailleurs dans le projet. Cette stratégie permet ainsi de réduire les déchets de construction ainsi que les intrants de nouveaux matériaux.

3.3 Méthodologie

Selon le volet (réglementaire, technique, environnemental), différentes méthodologies ont été appliquées. Elles sont décrites dans les paragraphes suivants:

Réglementation : Une comparaison par simulation numérique entre la solution acceptable (configuration respectant les exigences réglementaires avec revêtement de finition combustible) et la solution de rechange (configuration envisagée pour le bâtiment transformé avec bois massif apparent) a été réalisée afin de valider que la solution proposée est sécuritaire selon les objectifs de la réglementation.

Les modélisations numériques ont été réalisées au moyen du logiciel Fire Dynamics Simulator (FDS - v.6.8.0.), afin d'évaluer l'impact de la contribution de bois apparent lors d'un incendie considéré comme étant réaliste comparativement à la solution acceptable du CNB 2015 mod. Qc. dans le bâtiment.

L'analyse tient compte de la charge combustible prévue, de l'emplacement des gicleurs automatiques, de la géométrie des espaces concernés, y compris la hauteur réelle entre les foyers d'incendie probables et les éléments combustibles de construction massive en bois, soit les éléments porteurs en bois massif (lamellé-collé), le plancher (lamellé cloué et lamellé-croisé) et les revêtements de murs en bois massif (lamellé-croisé).

Les modélisations d'incendie consistent en l'analyse de 11 emplacements de foyer d'incendie (au centre, dans un coin, au droit d'une colonne). La solution de rechange simule que les foyers d'incendie sont positionnés soit près des colonnes ou directement en dessous des poutres alors que dans la solution acceptable, ils sont situés à au plus 1 m des emplacements correspondants de la solution de rechange. Dans tous les cas, le foyer d'incendie se trouve dans le plan à une distance maximale des gicleurs.

Les modélisations prennent en compte la température d'éclatement des verres des fenêtres de 300 °C pouvant causer l'entrée d'air frais par les fenêtres à l'intérieur.

Le profil d'incendie générique de type t2-fire est employé, incendie typique pour les usages non industriels dont la charge combustible ne comprend pas de quantités importantes de matières inflammables.

Technique (réhabilitation sismique) : Une étude complémentaire a été réalisée en collaboration avec des chercheurs de l'Université Laval afin de pouvoir démontrer l'efficacité des amortisseurs pour différents aléas sismiques pour le bâtiment à l'étude.

Le bâtiment projeté pour le présent projet de transformation a été modélisé de façon détaillée sur la plateforme d'éléments finis ETABS du groupe CSI America. Ce modèle a été analysé pour des charges sismiques correspondant à trois niveaux d'aléa sismique et pour une configuration avec amortisseurs à friction et une configuration avec structure de bois contreventée avec contreventements en acier de type « construction conventionnelle » ($R_d = 1.5$, $R_o = 1.3$). Aux fins d'efficacité de calcul, l'hypothèse conservatrice que le comportement de la structure avec amortisseurs à friction est adéquatement représenté par une analyse de la réponse spectrale en considérant $R_d \times R_o = 4.2$ (équivalent à une ossature ductile à contreventement limitant le flambement / Buckling restrained brace) a été posé. Les trois niveaux d'aléa sismique considérés sont ceux correspondant aux emplacements de St-Laurent, Baie-Saint-Paul et Sherbrooke. Les données sismiques de ces emplacements sont tirées du CNBC 2015.

Environnemental (réutilisation) : Afin de pouvoir réutiliser au maximum la structure existante, un inventaire de tous les éléments structuraux a été créé à la suite de la mise à nu de la charpente. Cet inventaire permettait de classer les éléments selon les besoins dans une des quatre catégories suivantes. Cette classification s'applique aux poutres, aux colonnes et aux planchers de NLT. Un prénom a été donné à chaque colonne et poutre qui sera réutilisée :

- À conserver : L'élément peut rester en place et n'a pas besoin d'être renforcé
- À déplacer : L'élément sera utilisé à un autre endroit du projet, et éventuellement modifié.
- À renforcer : L'élément reste en place et sera renforcé afin de résister à la nouvelle charge.
- À démolir : l'élément ne peut pas être utilisé dans le projet.

Un extrait de l'inventaire est montré dans la figure ci-bas.

Type	Marque	Interventions
		à démolir
W156 exist.	Andy	Déplacer à l'axe X7/A.1, voir F. S102
W156 exist.	Bartolomé	Déplacer à l'axe X5.1/A.1, voir F. S102
W156 exist.	Claude	Déplacer à l'axe X7/XB, voir F. S102
W156 exist.	Donatello	Déplacer à l'axe X5.1/D.9, voir F. S102
W156 exist.	Eugène	Déplacer à l'axe X6/XD, voir F. S102
W156 exist.	Frank	Déplacer à l'axe X7/B.8, voir F. S102
W152 exist.	Giorgio	Déplacer à l'axe 5.3/XB, voir F. S101
W152 exist.	Henri	Déplacer à l'axe 5.3/XC, voir F. S101
W152 exist.	Ivan	Déplacer à l'axe 5.3/XD, voir F. S101
W152 exist.	Jackson	à renforcer, voir DR02/S400
W152 exist.	Kazimir	à renforcer voir DR02/S400
W152 exist.	Leonardo	à renforcer voir DR02/S400
W152 exist.	Michelangelo	Déplacer à l'axe 5.3/A.1, voir F. S101
W100 exist.	N/A	à démolir
W100 exist.	N/A	à démolir
W152 exist.	Normand	Déplacer à l'axe 5.3/D.9, voir F. S101
W152 exist.	Pablo	Déplacer à l'axe X6/C.2, voir F. S102

Figure : Extrait de l'inventaire de l'existant

Très peu de colonnes et poutres ont été démolies sans réutilisation. La majorité des éléments de l'existant ont été réutilisés, soit en les laissant en place et en les renforçant, soit en les déplaçant ailleurs dans le projet.

Les éléments structuraux réutilisés donnent un poids total de presque 20 tonnes d'acier (poutrelles, poutres, colonnes, et plaques) et un volume de bois de 61 m³. À noter que le volume de bois "nouveau" total du projet se calcul à 625 m³, le volume réutilisé représente donc 10% du nouveau volume.

3.4 Résultats et analyse

Les résultats pour les différentes études réalisées sont les suivants :

Réglementation : Selon les résultats de l'analyse effectuée, en termes de sécurité incendie, la présence d'éléments en bois massif apparents (colonnes, poutres et/ou platelage) aux niveaux RDC, 2e et 3e étage du bâtiment s'avère une solution équivalente et même supérieure à la solution considérée comme acceptable selon les exigences du CNB 2015 mod. Qc. Dans la solution de rechange, tous les planchers et leurs éléments porteurs du niveau RDC au 4e étage possèdent un degré de résistance au feu de 2 h.

Pour chaque local ou espace comportant des éléments en bois massif apparents (colonnes, poutres et/ou platelage), un scénario d'incendie a été modélisé. Des scénarios avec des foyers d'incendie au centre d'une pièce, dans un coin d'une pièce et au droit d'une colonne ont été étudiés.

Les scénarios d'incendie débutant au centre des différents espaces ne produisent aucune propagation des flammes, donc dans les deux solutions il n'y a pas d'impact de la présence des éléments en bois massif apparents ou des revêtements intérieurs de finition conformes au Code. En se basant sur les résultats de ces simulations, les deux solutions sont « identiques » avec un tel emplacement d'incendie. Les scénarios d'incendie au centre des « grandes » pièces ne sont donc pas des emplacements critiques lorsqu'un incendie débute dans ces espaces.

Les résultats des scénarios d'incendie débutant dans un coin ou au droit d'une colonne sont ceux « critiques » et exhibant les valeurs de dégagement de chaleur les plus importantes. Les scénarios de la solution de rechange présentent un développement d'incendie plus lent ou au moins équivalent selon le scénario. L'embrasement général est donc retardé dans la solution de rechange par rapport aux scénarios comparatifs acceptables. Dans les scénarios où l'incendie se développe pleinement à une vitesse similaire entre la solution acceptable et la solution de rechange, nous avons pu observer un dégagement de chaleur plus faible dans la majorité des cas ou très légèrement plus élevé dans certaines configurations pour la solution de rechange par rapport à la solution acceptable.

Notons que dans les deux cas, l'effet de l'eau sur le refroidissement des gaz chauds et le mouillage des surfaces en bois ne fut pas pris en compte et donc les simulations sont conservatrices à cet égard.

Technique (réhabilitation sismique) : De façon générale, l'étude a démontré que l'ajout d'amortisseurs à friction à la structure permet de réduire de façon significative la sollicitation sismique

sur les bâtiments étudiés. Cette réduction de la sollicitation sismique se traduit directement par une économie de volume de bois significative (40 à 60%) pour les éléments de contreventements principaux et les éléments adjacents aux baies de contreventement. L'ajout d'amortisseurs réduit les forces de soulèvement, ce qui simplifie le renforcement des fondations dans le contexte d'une réhabilitation sismique. Les déformations inter-étages de la structure sont réduites d'environ la moitié par l'ajout de freins sismiques.

Les images ci-bas, tirées du modèle 3D du bâtiment, montrent l'intégration des amortisseurs sismiques dans la structure du bâtiment et un amortisseur en agrandi.

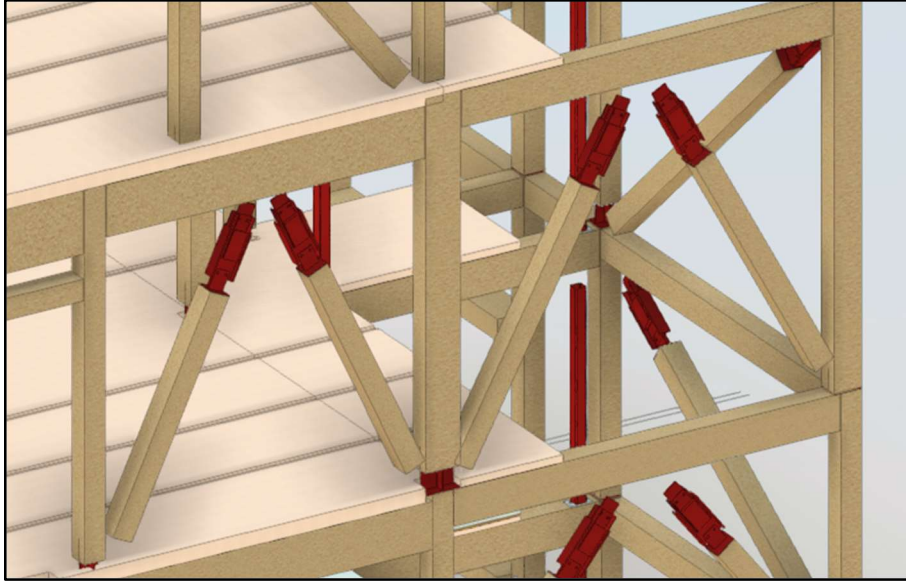


Figure : amortisseurs sur les contreventements en bois massif

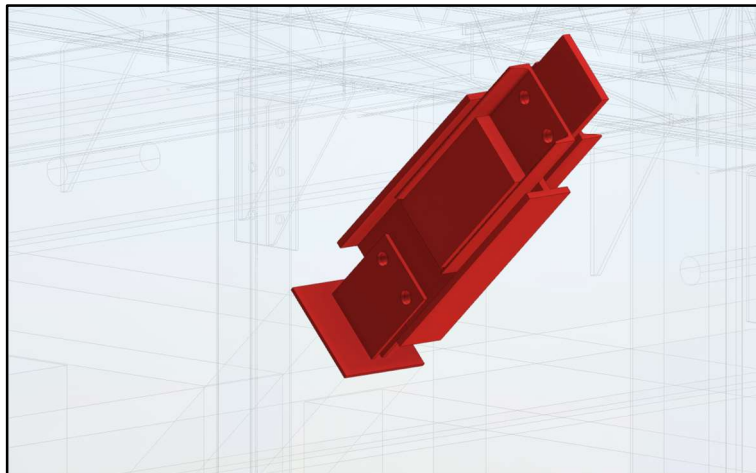


Figure : Agrandi d'un amortisseur

De plus, les amortisseurs à friction agissent comme un fusible dans le système et limitent les efforts transmis au restant de la structure lors d'un événement sismique. Ceci a pour effet d'augmenter la

résilience structurelle du bâtiment et de permettre à la structure de retrouver rapidement sa fonctionnalité après un séisme.

Environnemental (réutilisation) : L'effort investi dans la création de l'inventaire et la grande volonté de l'équipe de conception a effectivement permis de réutiliser la majorité des éléments structuraux du bâtiment existant.

Cette démarche demandait un effort supplémentaire aux concepteurs du projet et plusieurs défis au niveau de l'analyse et de la conception des détails se présentaient. Certains assemblages qui connectent des éléments existants avec les nouveaux éléments sont de grande complexité. La figure ci-bas montre un exemple d'un tel assemblage, où plusieurs éléments, tel que la nouvelle colonne en bois, des poutres existantes, une poutrelle existante renforcée et une colonne existante renforcée se croisent et se connectent.

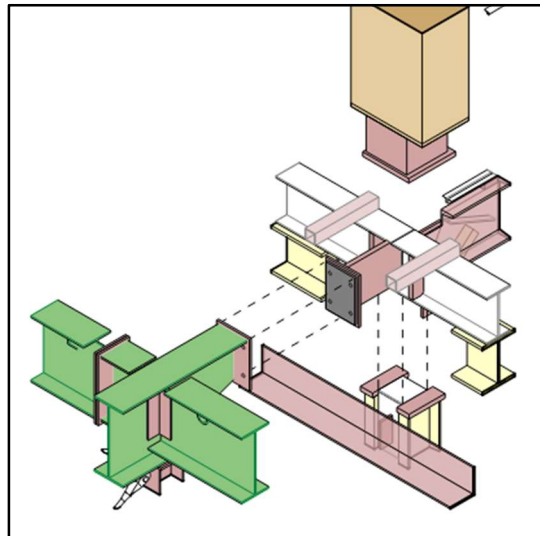


Figure : Assemblage complexe de plusieurs éléments (nouveaux et existants)

Un autre exemple est le renfort d'une poutrelle existante, combiné à l'ajout d'un appui intermédiaire sur une nouvelle poutre en lamellé-collé (voir image ci-bas).

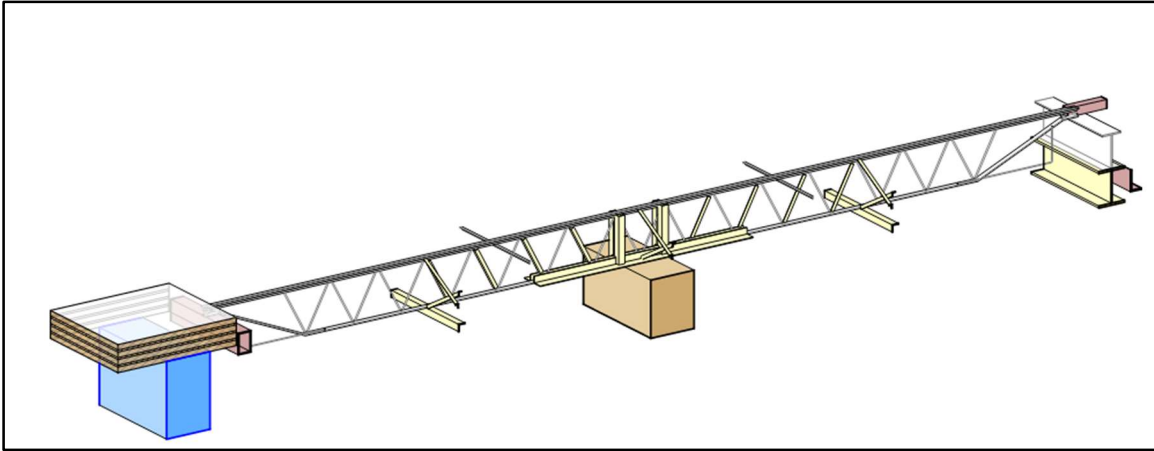


Figure : Renforcement d'une poutrelle et ajout appui intermédiaire

Le bois NLT des planchers existants a également été réutilisé dans le projet. Ainsi, la majorité du plancher en NLT du 2e étage restera en place et servira de coffrage pour la dalle structurale en béton qui sera coulée au-dessus. Une partie du NLT de cet étage sera, quant à elle, démantelée et déplacée à l'étage supérieur afin de servir à cette même fonction. La figure ci-bas montre le détail de la composition du plancher, composé du NLT existant, du contreplaqué existant et de la dalle structurale en béton.

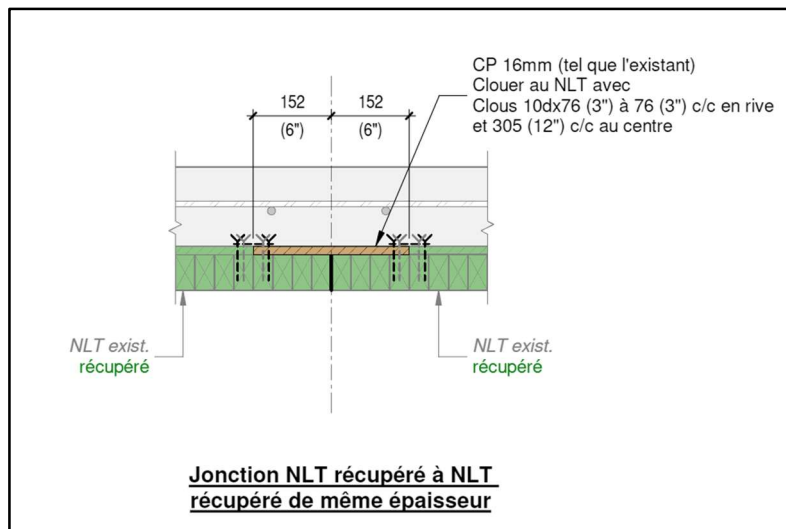


Figure : Composition d'un plancher avec NLT existant réutilisé

3.5 Conclusions

Globalement, le projet satisfait les attentes de l'équipe sur toutes les lignes.

Sur les différents thèmes abordés, les conclusions sont les suivantes :

Réglementation : La tentative de montrer l'équivalence de la performance incendie basée sur des simulations numériques a porté ses fruits : La structure proposée de 4 étages en construction combustible (bois massif) a été approuvée par la Régie du bâtiment du Québec (RBQ), malgré le fait que le code ne permet pas une telle construction. La simulation a même pu démontrer que la performance en incendie du bâtiment proposé est meilleure que celle d'un bâtiment équivalent permis par le code.

Technique (réhabilitation sismique) : L'étude réalisée sur l'utilisation des amortisseurs à friction en combinaison avec des contreventements en gros bois d'œuvre a démontré que la dissipation de l'énergie par les amortisseurs a un impact considérable sur la sollicitation sismique du bâtiment. Ainsi, les efforts dans les contreventements, les poutres collectrices, les colonnes et les fondations pouvaient être réduits considérablement et par conséquent, leur dimensionnement a pu être optimisé.

Environnemental (réutilisation) : Les efforts investis dans la réutilisation des matériaux ont mené à un résultat tout à fait surprenant. Presque tous les éléments structuraux du bâtiment existant datant de 1956 ont été réutilisés. En volume de bois et tonnage d'acier, la structure réutilisée correspond en termes de masse et volume à 20 tonnes d'acier et 61 m³ de bois. Cette économie de matériaux se répercute notamment dans le calcul des GES ainsi que dans l'analyse du cycle de vie du bâtiment (ACV).

3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie

Les innovations du projet permettent plusieurs retombées importantes au Québec :

Réglementation : L'étude réalisée a démontré que certaines exigences du CNB 2015 mod. Qc sont restrictives, voire même, selon l'application, conservatrices. La création d'un précédent réglementaire, d'une référence concrète et construite, pour la construction d'un bâtiment de 4 étages en construction combustible de groupe A1 est une avancée importante pour l'évolution de la réglementation. Cette retombée, nous l'espérons, devrait faire progresser l'utilisation du bois dans la réglementation provinciale (à noter que certaines provinces affichent déjà des avancements considérables dans l'utilisation du bois et la réglementation, là où le Québec affiche un retard) ainsi que chez nos collègues architectes et ingénieurs en leur démontrant les possibilités offertes par le bois.

Technique (réhabilitation sismique) : Le système de contreventements en gros bois d'œuvre combiné avec des freins sismiques à friction est une solution innovante, qui permet d'optimiser la structure, notamment les colonnes, poutres, diagonales et les fondations. Surtout pour des bâtiments à plusieurs étages, et des bâtiments dans des zones à haute sismicité, l'impact de ce système sur

la structure et sur les coûts peut être très significatif. Nous espérons qu'une commercialisation d'amortisseurs sismiques pour les structures de bois, suite au prototypage décrit ci-dessus, aura comme conséquence d'accroître l'utilisation du bois dans les constructions non-résidentielles et surtout dans les projets où une réhabilitation sismique est nécessaire. Rappelons que la technologie des amortisseurs a un impact direct sur la quantité de matériaux nécessaire au contreventement sismique des bâtiments grâce à la réduction des efforts latéraux transmis à la structure, ce qui se traduit ensuite par une réduction des dimensions des sections des éléments structuraux. À l'échelle de la province, cette réduction peut se traduire en une grande économie matérielle.

Environnemental (réutilisation) : Le démantèlement, la déconstruction et la réutilisation, en opposition à la démolition, sont des concepts peu connus, reconnus et employés au Québec, notamment par l'absence d'exemples, d'entreprises spécialisées, de réglementation, d'ouvrages techniques, ainsi que le coût et l'effort nécessaire pour déployer ces concepts. Dans une ère où l'économie de ressources, de matières premières, où l'efficacité énergétique, la production de GES, l'empreinte carbone et le cycle de vie d'un bâtiment et ses composantes sont au centre des discussions et préoccupations, la déconstruction, la réutilisation et la revalorisation du patrimoine bâti existant peut être un outil important pour atteindre les objectifs environnementaux. Nous espérons ainsi que ce projet servira d'exemple à la communauté locale et provinciale en démontrant qu'un déploiement stratégique d'effort, de ressources humaines, matérielles et financières peut d'une part mener à des projets innovants et, d'autre part, participer à l'effort environnemental collectif.

3.7 Recommandations

Compte tenu des restrictions et de l'inflexibilité liées à une demande de mesure équivalente (DME) auprès de la RBQ, nous recommandons à nos pair-e-s d'assurer un avancement adéquat du projet (PFT, approbation clients, permis, etc.), car une fois la DME approuvée, il est très difficile d'effectuer des modifications au projet sans conséquences potentiellement importantes à la demande et le rapport qui le précède.

Un effort considérable est nécessaire à la conception d'un tel bâtiment et une complexité accrue est à prévoir. Nous recommandons ainsi d'assurer la capacité de production et les connaissances des équipes de conception, ainsi que la volonté du client à développer un tel projet (tant au niveau du temps que du financement).

4. Bibliographie

- [La Vitrine linguistique de l'Office québécois de la langue française \(gouv.qc.ca\)](http://gouv.qc.ca)
- Conseil national de recherches du Canada, Régie du bâtiment du Québec, Code national du bâtiment 2015, modifié Québec.

5. Annexes

Annexe 1 : Échéancier de construction

Annexe 2 : Demande de mesure équivalente, rapport des modélisations incendies et approbation de la RBQ.