

Conception d'une Construction multi-résidentielle de 6 étages optimisant la reproductibilité : développement de solutions innovantes pour l'hybridité de la structure bois-acier, la performance acoustique et l'enveloppe du bâtiment

« ANDAS » par
HELISIS

Préparé par :
Sara-Jeanne Dagenais, architecte, NEUF Architect(e)s
Guillaume Gélinas, ing., L2C Experts Conseils
Simon Edwards, ing., HGC Noise Vibration Acoustics

NEUF
ARCHITECT(E)S



L2C
EXPERTS CONSEILS EN STRUCTURE

HGC
NOISE | VIBRATION | ACOUSTICS

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

« 4 mars 2026 »

Sara-Jeanne
Dagenais, architecte

Co-Auteur

Guillaume Gélinas, ing.,
M. ing.

Co-Auteur

Simon Edwards, ing.,
M. ing.

Co-Auteur

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	1
2. Introduction.....	2
2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction.....	2
2.2 Description du projet de construction.....	2
2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante.....	3
2.2.2 Échéancier global et durée.....	3
2.2.3 Budget global	3
2.2.4 Partenaires.....	4
2.2.5 Défis et risques généraux.....	4
3. Détails de l'étude	5
3.1 Introduction et hypothèses de départ : Structure Hybride	5
3.1.1 Objectifs : Structure Hybride	5
3.1.2 Méthodologie : Structure Hybride	5
3.1.3 Résultats et analyse : Structure Hybride	6
3.2 Introduction et hypothèses de départ : Acoustique	9
3.2.1 Objectifs : Acoustique.....	15
3.2.2 Méthodologie : Acoustique	16
3.2.3 Résultats et analyse : Acoustique	18
3.3 Introduction et hypothèses de départ : Balcons	21
3.3.1 Objectifs : Balcons.....	23
3.3.2 Méthodologie : Balcons	23
3.3.3 Résultats et analyse : Balcons	23
3.4 Introduction et hypothèses de départ : Modèle reproductible	27
3.4.1 Objectifs : Modèle reproductible.....	27
3.4.2 Méthodologie : Modèle reproductible	28
3.4.3 Résultats et analyse : Modèle reproductible.....	28
3.5 Conclusions	36
3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	36
3.7 Recommandations	37
4. Bibliographie.....	39

5. Annexes39

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Ce rapport présente les résultats et enjeux techniques des solutions innovantes développées dans le cadre du projet HELISIS PHASE V, renommé **ANDAS** par le propriétaire. Le nom ANDAS étant désormais le nom officiel du bâtiment, il sera utilisé pour l'identifier tout au long du présent rapport.

Le projet est un bâtiment multi-résidentiel de 6 étages comprenant 53 logements. Il se distingue par l'intégration d'une structure en bois massif exposée, illustrant une approche novatrice et durable de la construction, répondant directement aux défis environnementaux actuels et aux objectifs ambitieux du Québec en matière de développement durable et de neutralité carbone.

Le projet multi-résidentiel ANDAS est construit sur l'ancien site de l'usine Daly & Morin, dans l'arrondissement de Lachine à Montréal. Il représente une transition vers une approche plus durable et responsable de l'urbanisme montréalais. Dans un contexte où l'industrie de la construction est responsable d'une part importante des émissions mondiales de GES, le projet ANDAS se positionne comme une réponse innovante aux objectifs climatiques du Plan pour une Économie Verte 2030.

Les solutions proposées par ANDAS ont le potentiel de transformer durablement les pratiques de construction en milieu urbain dense, notamment grâce à leur reproductibilité élevée et à leur intégration facile dans différents contextes géographiques et réglementaires.

Les objectifs du projet sont les suivants :

- Accroître la compréhension de la plus-value d'une structure hybride en bois massif, acier et béton dans le secteur multi-résidentiel de 6 étages et moins, en mettant en lumière ses atouts en matière d'esthétisme, de performance acoustique et de durabilité environnementale ;
- Développer un assemblage de plancher acoustique performant, permettant de laisser la structure de bois apparente afin de la valoriser tout en assurant un confort optimal aux occupants ;
- Concevoir un bâtiment en bois massif exposé qui rencontre toutes les exigences réglementaires en vigueur, démontrant ainsi la faisabilité d'une telle approche dans le cadre normatif actuel ;
- Démontrer la rentabilité du bâtiment proposé, afin d'en faire un modèle reproductible et sériel pour le secteur multi-résidentiel ;
- Encourager une utilisation accrue du bois massif dans la construction multi-résidentielle en vue de contribuer aux objectifs de neutralité carbone et d'accélérer la transition vers des pratiques de construction plus durables.

En somme, le projet ANDAS aspire à démontrer concrètement les avantages du bois massif dans les constructions multi-résidentielles. En tant que référence tangible, il sert d'exemple aux futurs bâtisseurs en encourageant l'adoption de pratiques durables, innovantes et performantes, contribuant ainsi à l'évolution du secteur de la construction vers des solutions plus écologiques et résilientes.

2. Introduction

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Titre du projet : ANDAS ;

Lieu de réalisation : 425, 18^e avenue, Lachine, Montréal (Québec).

2.2 Description du projet de construction

Le projet multi-résidentiel ANDAS est construit sur l'ancien site de l'usine Daly & Morin, dans l'arrondissement de Lachine à Montréal. S'inscrivant dans la continuité des bâtiments existants, il constitue la dernière phase d'un complexe dont les 4 premiers bâtiments ont été réalisés en structure d'acier. Le projet de 6 étages est conçu avec des retraits en hauteur permettant une transition avec le cadre bâti environnant. Composé de 53 logements, le bâtiment propose une offre variée de logements adaptés aux besoins des familles et des individus.

Une particularité notable du projet réside dans le fait qu'une partie du bâtiment est construite au-dessus du sous-sol existant, qui contient le stationnement commun à 4 des 5 phases du complexe, la phase 1 ayant un stationnement indépendant. Cette contrainte a influencé plusieurs choix structuraux et architecturaux, notamment en ce qui concerne l'intégration des nouveaux éléments sans compromettre la performance des installations existantes.

Par son expression architecturale et son langage formel, le projet poursuit la vision des phases antérieures. Son enveloppe, mêlant brique et déclin de fibrociment, établit un lien entre le nouveau bâtiment et l'histoire locale, tout en assurant une intégration harmonieuse au tissu urbain.



Figure 1 – Rendu de la façade principale par Laurier Verdaguer

2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

Le projet se distingue par son choix audacieux d'une structure en bois massif, affirmant ainsi son identité dans le secteur multi-résidentiel. Les six niveaux hors sol sont entièrement conçus en bois, intégrant un système de contreventement en acier, conférant au bâtiment une élégance naturelle et un caractère unique. En complément, une approche réfléchie privilégie l'utilisation du béton pour le sous-sol, la dalle du rez-de-chaussée et les balcons préfabriqués, optimisant ainsi la performance structurelle tout en préservant l'authenticité du bois.

Cette alliance équilibrée des matériaux ne se limite pas à l'esthétique : elle garantit également durabilité et efficacité, faisant du projet une référence en matière d'innovation et de qualité dans le domaine de l'habitation locative.

Les solutions innovantes faisant l'objet du présent rapport sont les suivantes :

- Une structure hors-sol hybride résiliente combinant du bois massif et un système de contreventement en acier ;
- Un plancher insonorisant « sec » de haute performance permettant d'exposer le bois dans les espaces de vie ;
- Des connecteurs avec bris thermique pour l'ancrage des balcons préfabriqués ;
- Une analyse technico-économique visant à maximiser la valeur du bâtiment tout en renforçant sa viabilité et son potentiel de reproductibilité.

2.2.2 Échéancier global et durée

Le tableau ci-dessous montre les étapes et leurs durée planifiée.

	Début			Fin	
Esquisse	Novembre	2023	à	Janvier	2024
Préliminaire (PIIA / CCU)	Février	2024	à	Mai	2024
Dossier définitif / Exécution (permis)	Mai	2024	à	Nov.	2024
Période d'appel d'offres	Mai	2024	à	Janvier	2025
Période de construction / surveillance de chantier	Septembre	2024	à	Sept.	2025

Durée approximative du projet : ± 22 mois

Durée de début : Novembre 2023

Durée de fin : Septembre 2025

Durée de mise en service du bâtiment : Juillet à septembre 2025

2.2.3 Budget global

Le coût total du projet s'élève à 25 180 000\$ incluant le terrain, les honoraires des professionnels, la construction et tous les aspects administratifs. Le budget de construction s'élève à 18 660 000\$.

2.2.4 Partenaires

Le tableau ci-dessous présente l'équipe de conception du projet.

Partenaires	Expertise
Helisis	Promoteur
Gestion Kokolakis	Promoteur
NEUF Architect(e)s	Architecte et Design intérieur
L2C Experts Conseils	Ingénieur Structure
Nordic Structures	Ingénieur Manufacturier
Équipe SP	Ingénieur MEP
F Protection Incendie	Ingénieur Protection Incendie
HGC Bruit vibrations acoustique	Ingénieur Acousticien
Syscomax Immobilier	Entrepreneur Général
Cecobois	Conseiller

2.2.5 Défis et risques généraux

Les risques généraux du projet découlent principalement de sa nature novatrice, notamment en raison des défis techniques spécifiques au bois massif et de la courbe d'apprentissage de l'ensemble de l'équipe de conception et de réalisation. L'intégration de nouvelles pratiques constructives et l'adoption de solutions innovantes ont nécessairement impliqué des périodes d'adaptation pouvant affecter la précision des détails, les coûts globaux ainsi que l'optimisation des solutions mises en œuvre.

Par ailleurs, un enjeu important résidait dans la communication auprès des futurs occupants concernant la performance acoustique d'un bâtiment hybride bois-acier. À l'instar d'expériences reconnues telles que le projet Arbora, convaincre les utilisateurs finaux que les performances acoustiques des structures en bois massif, y compris avec du bois exposé, sont comparables voire supérieures à celles des constructions traditionnelles en béton ou acier, constitue un défi majeur en termes d'acceptabilité et de perception.

Le caractère innovant de ce prototype, conjugué à des objectifs en matière de performance environnementale et acoustique, exposait le projet à des risques accrus de dépassements budgétaires, de complexité technique sur le chantier, ainsi que d'ajustements imprévus en cours d'exécution. Parmi les défis anticipés se retrouvaient notamment : la maîtrise de la transmission sonore entre logements dans une structure légère, la protection du bois pendant la construction, les tolérances d'exécution propres au CLT, ainsi que la nécessité d'une coordination étroite entre architecture, structure, mécanique et acoustique. Les défis techniques spécifiques à chaque innovation font l'objet d'une analyse dans les sections suivantes du présent rapport.

Sur le plan financier, plusieurs risques ont également été identifiés. Le recours à une structure en bois massif engendrait des coûts initiaux supérieurs à ceux des systèmes conventionnels, avec des répercussions notables sur les coûts collatéraux, tels que les solutions acoustiques indispensables pour assurer la performance des plafonds en bois exposé. De plus, l'intégration des systèmes mécaniques, électriques et de plomberie (MEP) au sein d'une structure préfabriquée a nécessité un

investissement significatif en temps de coordination et en formation des intervenants, allongeant les phases de conception et d'exécution.

Enfin, la méconnaissance relative des structures en bois massif dans le contexte québécois multi-résidentiel représentait un risque important, tant en termes de maîtrise technique que d'acceptation des acteurs impliqués. Ce manque d'expérience locale pouvait générer des hésitations, un besoin accru de supervision et de formation, ainsi que des délais supplémentaires liés à la coordination et à la validation des solutions innovantes proposées.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ : Structure Hybride

La première solution innovante mise de l'avant repose sur la conception d'une structure hybride combinant poutres et poteaux en bois lamellé-collé, planchers en panneaux de CLT et contreventements en acier. L'intégration d'un tel système dans un bâtiment multi-résidentiel constitue une première au Québec, marquant une avancée en matière de construction durable et sismiquement performante.

Les contreventements en acier, reconnus pour leur grande ductilité, offrent une réponse particulièrement efficace dans les contextes sismiques exigeants. Leur capacité à absorber les efforts latéraux tout en minimisant les dommages structurels favorise la réhabilitation rapide des bâtiments après un séisme, s'inscrivant ainsi dans une approche de résilience de plus en plus valorisée à l'échelle internationale.

Ce choix structurel s'aligne avec l'évolution des normes canadiennes, comme le Code national du bâtiment 2020, qui valorisent la durabilité et la capacité de réhabilitation post-sinistre, assurant ainsi une solution pérenne et adaptable.

3.1.1 Objectifs : Structure Hybride

Cette étude vise à démontrer la faisabilité, la pertinence et la viabilité économique d'une structure hybride bois-acier dans un contexte multi-résidentiel, en réponse aux exigences croissantes en matière de durabilité, de performance sismique et de résilience. Elle cherche à ouvrir la voie à de nouvelles pratiques constructives plus efficaces, alignées sur l'évolution des normes et des enjeux climatiques et sismiques d'aujourd'hui.

3.1.2 Méthodologie : Structure Hybride

L'étude s'est appuyée sur une démarche comparative et multidisciplinaire. Elle a débuté par la modélisation d'une structure hybride représentative d'un bâtiment multi-résidentiel de six étages, intégrant poutres et poteaux en bois lamellé-collé, planchers de CLT et contreventements en acier.

Différents scénarios structuraux ont été analysés en parallèle, incluant des options en béton coulé, en béton préfabriqué et en acier, afin d'évaluer leur performance selon plusieurs paramètres : rigidité, résilience, empreinte carbone, rapidité de construction, adaptabilité aux codes en vigueur, potentiel de réhabilitation post-sinistre et coûts de construction. Des outils de simulation structurale ont permis de tester la réponse du système aux charges latérales, tandis qu'une analyse comparative des coûts et des délais a permis d'établir la viabilité économique de la solution retenue.

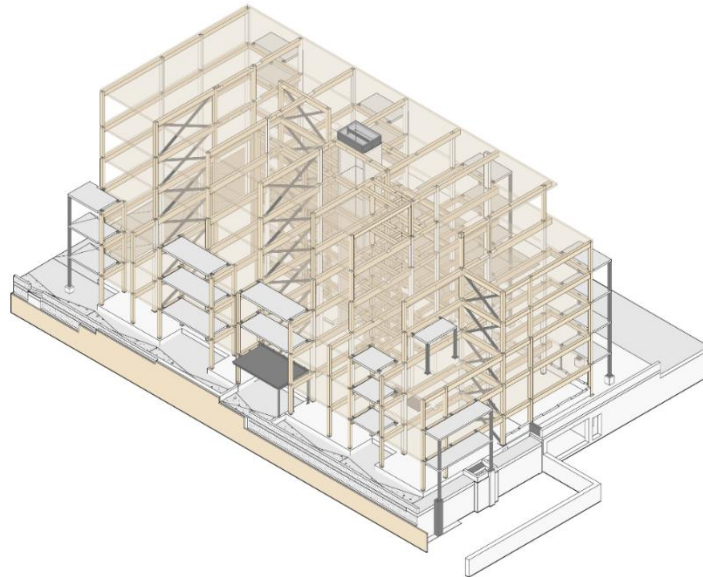


Figure 2 – Axonométrie de la structure hybride finale tirée de la maquette BIM

3.1.3 Résultats et analyse : Structure Hybride

La réalisation de cette structure hybride, combinant bois lamellé-collé, planchers en CLT et contreventements en acier, a permis d'optimiser l'utilisation de chaque matériau selon ses performances spécifiques. L'intégration stratégique de contreventements d'acier s'inscrit dans une approche visant à mettre le bon matériau au bon endroit, dans une perspective de performance structurale et de répétabilité économique. Cette démarche a généré des apprentissages précieux et mis en lumière des leviers d'optimisation transférables aux projets futurs.

Le montage de la structure en bois s'est parfaitement adapté au travail de mise en œuvre des contreventements en acier, réalisée par l'entrepreneur Tergos. Grâce à une coordination étroite et à l'intégration des deux systèmes dès la conception, l'installation s'est faite de manière fluide et rapide, presque comme un assemblage de pièces de Lego. Cette simultanéité a permis de compresser les délais de chantier, évitant les interruptions souvent causées par des dépendances entre corps de métier. Si des murs de refend en béton avaient été privilégiés pour assurer la stabilité latérale, le chantier aurait été ralenti par les étapes de coffrage, de coulage et surtout par le temps de cure nécessaire avant de pouvoir poursuivre l'assemblage de la structure. Le choix de l'acier a donc non seulement permis de maintenir une cadence soutenue, mais aussi de simplifier la logistique sur un site complexe, tout en répondant aux exigences de performance sismique du projet.



Figure 3 – Montage de la structure de bois et d'acier par Tergos

Il est important de souligner que le projet a bénéficié d'une forte implication des sous-traitants dès la phase de conception, un choix stratégique qui s'est avéré particulièrement bénéfique pour la fluidité de l'exécution. En intégrant les parties prenantes clés dès la conception détaillée, l'équipe projet a pu assurer une coordination très fine, valider les percements requis dans les éléments de structure et ajuster les plans d'exécution en fonction des méthodes réelles de mise en œuvre. Cette approche collaborative a permis d'éviter les conflits majeurs sur le chantier, de limiter les reprises et de maintenir un haut niveau de cohérence entre la conception et la réalisation.

La trame structurale d'environ 6 mètres s'est également révélée optimale, résultat d'une analyse rigoureuse en conception. Toutefois, les connecteurs de contreventements ont été utilisés à leur limite de performance — acceptables ici en raison de la bonne classification sismique du sol, mais non transposables à des sites de classe D ou E, qui auraient nécessités une conception plus robuste. Enfin, il faut mentionner que la chape acoustique "sèche", plus légère qu'une chape traditionnelle en béton, a permis d'optimiser la charge sur le CLT, contribuant à une meilleure efficacité structurelle du projet.



Figure 4 – Contreventement en acier en cours d'installation

Une contrainte structurale digne de mention est la présence du sous-sol existant, qui a influencé la disposition des contreventements. Cette configuration n'a pas pu être entièrement optimisée, puisqu'il fallait éviter des interventions structurales importantes dans les dalles existantes. Il va de soi de mentionner que le concept structural aurait pu être davantage optimisé en l'absence du bâtiment existant.

Par ailleurs, l'utilisation d'une structure en bois massif, dont le poids est significativement inférieur à celui d'une structure équivalente en béton (une solution 100 % béton étant de l'ordre de près du double en termes de charges), a permis de limiter considérablement les interventions requises dans les fondations et les éléments porteurs existants. À titre indicatif, une solution en béton aurait vraisemblablement nécessité un renforcement accru des semelles existantes ($\pm 10\ 000$ à $15\ 000$ \$ par semelle, pour deux interventions supplémentaires) ainsi que des colonnes de béton existantes ($\pm 5\ 000$ à $10\ 000$ \$ par colonne, pour quatre interventions supplémentaires). Cet aspect représente une économie importante, contribuant à atténuer l'écart initial entre les deux solutions structurales.

Un des enjeux rencontrés concerne les lignes directrices actuelles relatives aux percements dans les poutres, qui demeurent conservatrices au regard de la norme CSA-O86. Il serait pertinent que la CSA approfondisse cet aspect afin d'offrir aux concepteurs une plus grande flexibilité pour répondre aux contraintes mécaniques des projets. Bien que tous les percements aient été validés en coordination avec les équipes de mécanique, électricité et protection incendie, d'autres non utilisés ont été effectués, nécessitant des interventions correctives pour refermer ces cavités.

En ce qui concerne la structure, l'équipe a dû réagir à des imprévus liés à la charge ponctuelle de certains équipements, notamment la génératrice, dont le poids excédait les prévisions initiales. Bien que les ajustements auraient été relativement simples sur une structure en béton (par ajout d'armature), l'impact sur la structure de bois était plus contraignant. Une surconception du toit aurait pu simplifier la gestion des incertitudes, mais cette approche aurait été en contradiction avec les principes d'optimisation du projet. La solution retenue a été de relocaliser l'équipement et de tenir compte de l'accumulation de neige accrue, liée à l'augmentation de la hauteur des équipements mécaniques.

Certains détails constructifs pourraient également être améliorés, notamment les ouvertures dans le CLT à la base des colonnes, causées par des changements de section. Une standardisation des colonnes ou une coordination plus fine avec l'usage pourrait limiter ce type d'intervention, notamment les exigences coupe-feu associées.



Figure 5 – Ouverture à sceller à la base des colonnes

Pour conclure, il est important de souligner que les contreventements en acier offrent une solution économiquement viable. Une estimation préliminaire, obtenue verbalement auprès d'un fournisseur de murs de refend en béton préfabriqués, suggérait un coût d'environ 2500% plus cher que pour les contreventements en acier. Il est important de préciser que cette estimation du béton préfabriqué n'était pas fondée sur une analyse détaillée du projet, le fournisseur n'ayant pas pris le temps d'étudier les plans en profondeur. Ce comportement est fréquent lorsqu'une solution proposée s'écarte des pratiques usuelles : face à un système moins courant ou perçu comme complexe, les manufacturiers ont tendance à gonfler les prix de manière trop conservatrice, afin de se prémunir contre d'éventuels dépassements ou imprévus. À l'inverse, l'acier, bien maîtrisé dans le milieu, s'est avéré non seulement plus économique, mais aussi plus rapide et simple à intégrer dans une structure hybride en bois massif.

3.2 Introduction et hypothèses de départ : Acoustique

Afin de répondre aux exigences du Code de construction ainsi qu'aux attentes des occupants, une conception rigoureuse a été mise en œuvre pour assurer l'efficacité acoustique souhaitée dans cette structure en bois. Les enjeux acoustiques dans les constructions en CLT sont multiples et complexes. Tout d'abord, la légèreté de la structure bois peut entraîner une transmission sonore plus élevée. De plus, l'utilisation du CLT dans la construction augmente les risques de voies de flanquement qui sont des voies de transmission du son à travers les surfaces des planchers et des murs, appelées aussi voies de « transmission indirecte ».

Les voies de flanquement peuvent significativement réduire l'efficacité acoustique réelle d'une cloison ou d'un assemblage. La performance acoustique testée in-situ (transmission de son globale entre deux logements) dépendra fortement non seulement de la performance acoustique testée en laboratoire, mais aussi de la transmission de son à travers 12 voies de flanquement structurelles;

une voie faible correspondra à une performance acoustique globale faible. Ainsi, il est donc crucial d'incorporer des stratégies de conception visant à soit amortir la réponse structurelle de la transmission de son, soit à isoler les éléments de la structure partout où une voie de flanquement pourrait exister.

L'indice de transmission du son (ITS) pour le bruit aérien et l'indice d'isolement aux bruits d'impact (*Impact Insulation Class*, IIC) sont des indices de conception basés sur des mesures en laboratoire (ne prenant en compte aucune voie de flanquement). La performance acoustique globale entre deux logements, et le confort (ou l'inconfort des occupants), sont davantage corrélés avec l'indice de transmission du son apparent ITSA et l'indice d'isolement aux bruits d'impact apparent (IICA) qui prennent en compte l'effet des voies de flanquements.

Concernant le bruit d'impact, le Code de construction du Québec recommande une cible de IIC-55 sans voie de flanquement. Pour le bruit aérien, le Code prévoit une cible réglementaire de ITSA-47, incluant toutes les voies de flanquement, ou de ITS-50 seulement si les jonctions répondent à certaines exigences. Dans le cas où les panneaux de CLT sont continus à travers un mur de séparation, la jonction mur-plafond ne répond pas à ces exigences; par conséquent, la cible minimum de ITSA-47 s'applique.

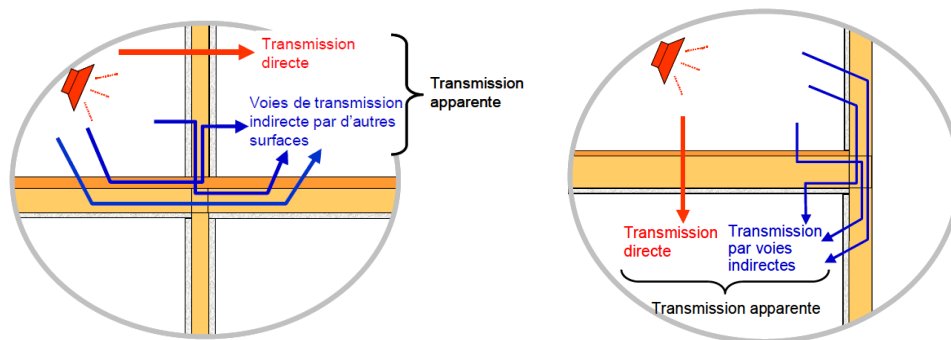


Figure 6 : Illustrations des voies de flanquements pour deux pièces séparées horizontalement et verticalement (CNRC, Guide sur l'isolation acoustique des bâtiments à ossature en bois Mars 2006)

Des solutions innovantes pour le traitement de certaines voies de flanquements existent et sont communément utilisées, y compris des coussins de caoutchouc entre les plancher / plafonds de CLT et murs de CLT. Toutefois, des solutions pour le traitement des autres voies (par exemple, du plafond au plafond dans les panneaux continus, figure 7) sont très limitées et beaucoup moins comprises. Cela conduit souvent au découplage de tous les panneaux aux murs mitoyens, ce qui augmente les coûts de construction et ralentit aussi l'échéancier de construction.

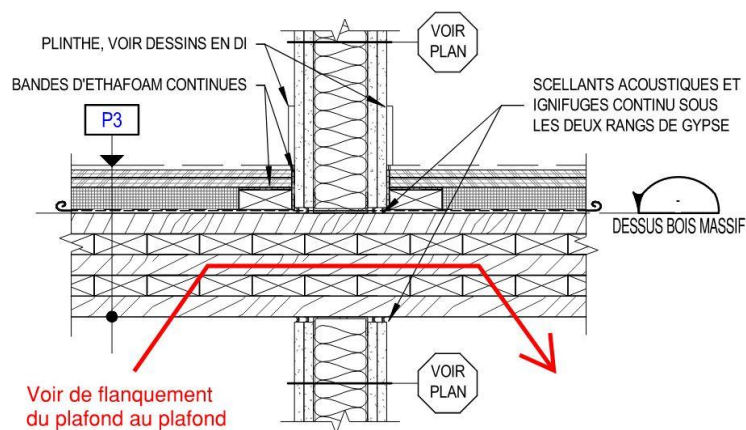


Figure 7 : Voie de flanquement du plafond au plafond en condition de panneau de CLT continu sur deux logements

Une approche pour traiter la voie de flanquement structurale de plafond à plafond consiste à ajuster les propriétés dynamiques de la composition plancher/plafond en CLT grâce à l'application d'un assemblage acoustique sur le plancher de l'étage supérieur. La masse et la rigidité de cet assemblage peuvent influencer la manière dont le son et les vibrations se transmettent à travers le panneau CLT entre les logements adjacents. À ce jour, peu de tests en laboratoire publiquement disponibles ont exploré ce chemin de transmission, et ceux qui ont été publiés n'ont été réalisés qu'en l'absence de tout assemblage acoustique. Quelques tests sur le terrain ont jusqu'à présent démontré une réduction réussie de la transmission sonore entre plafonds grâce aux assemblages en béton isolés et en gypcrete isolés installés sur des panneaux CLT; cependant, les données de test pour des assemblages « secs », comme l'assemblage prévu pour ce projet, sont presque inexistantes.

Une autre approche pour traiter la transmission sonore par flanquement à travers des panneaux CLT continus consiste à des retombées de plafond localisées (caissons, figure 8), lesquels prolongent efficacement le chemin de transmission du son entre deux pièces adjacentes (autrement dit, le son doit parcourir une plus longue distance entre le point d'entrée dans le panneau CLT et celui où il rayonne depuis le panneau dans la pièce adjacente). Les recherches sur l'utilisation de ces caissons, généralement déjà requis pour les services mécaniques, afin de traiter ce trajet de transmission par flanquement sont extrêmement limitées, ce qui entraîne un manque d'assurance pour les équipes de conception cherchant à éviter le flanquement dès les premières étapes du projet.

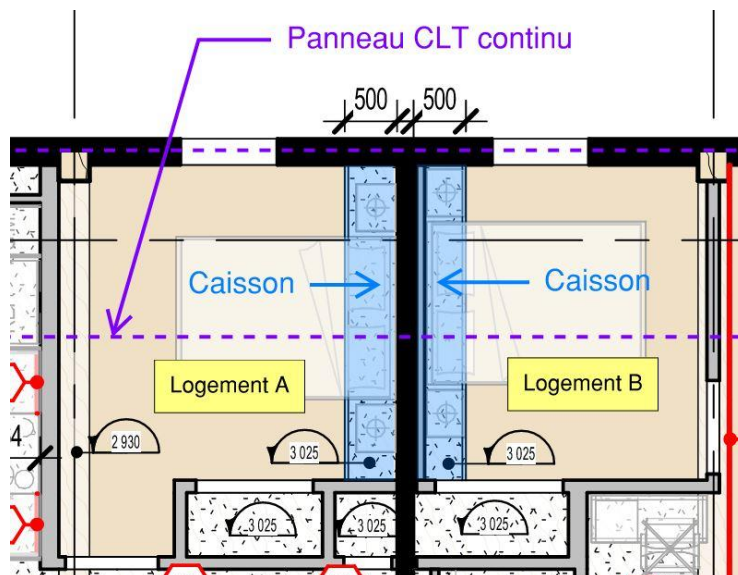


Figure 8 : Intégration de retombées de plafond (caissons) de part et d'autre d'un mur mitoyen

Des recherches sur les effets des caissons placés sur aucun, un seul ou sur les deux côtés du mur mitoyen, en combinaison avec un assemblage acoustique sec sur le plancher, apporteront une valeur significative aux projets qui cherchent à maintenir la continuité des panneaux CLT avec des plafonds apparents, sans courir le risque de problèmes excessifs de transmission sonore une fois la construction réalisée. Ce projet offre une opportunité unique de générer ces données de test innovantes.

En plus de la recherche de solutions pour traiter les voies de flaquement, l'axe d'innovation acoustique suppose le développement d'un assemblage « sec » de plancher, conçu pour contrôler la transmission directe du son à travers les assemblages plancher/plafond en CLT, sans nécessiter l'ajout d'un plafond suspendu en gypse. Cette approche préserve l'esthétique d'une structure en bois exposée et permet d'éviter l'utilisation d'une chape de béton, généralement appliquée sur les planchers de bois pour améliorer l'inertie acoustique. Une chape de béton est une couche mince coulée sur le plancher pour augmenter la masse et réduire les transmissions sonores, mais elle ajoute un poids important à la structure et augmente les délais de chantier en raison du temps de cure. Un assemblage sec, à l'inverse, repose sur l'utilisation de couches légères installées à sec, sans coulage. Il permet une mise en œuvre plus rapide, réduit la charge sur la structure, et présente généralement une empreinte carbone plus faible, tout en maintenant des performances acoustiques comparables.

Les assemblages de plancher retenus sont décrits à la figure 9. Deux projets multi-résidentiels en bois massif ont servi de bancs d'essai pour la validation des assemblages de plancher. Le 283 Green Avenue (Brooklyn) a permis de démontrer la performance du produit acoustique Sofix dans un assemblage de plancher typique. Par la suite, l'assemblage acoustique précis retenu pour le projet a été testé in situ sur le chantier du 118 Waverly Avenue (Brooklyn), confirmant l'efficacité de la solution dans des conditions représentatives d'une construction à grande échelle. Ces projets ont joué un rôle clé dans l'optimisation et la validation des détails techniques mis en œuvre.

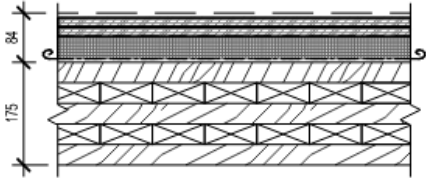
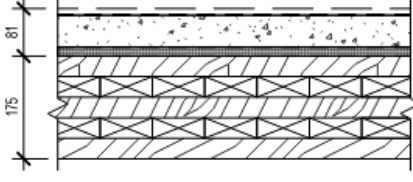
	<p>PLANCHER DE CLT TYPIQUE, ÉTAGES 2 À 6</p> <ul style="list-style-type: none"> • PLANCHER STRATIFIÉ 8mm; • CONTREPLAQUÉ 16 mm; • CONTREPLAQUÉ 16 mm; • PANNEAU DÉSolidARISANT "SOFIX" D'ACOUSTITECH, 38mm; • MEMBRANE INSONORISANTE "LEAD 6" D'ACOUSTITECH, 6mm; • DALLE DE CLT 175mm, VOIR ING. EN STRUC., AVEC FINI DE PROTECTION APPLIQUÉ SUR LES FACES EXPOSÉES, VOIR DEVIS.
	<p>PLANCHER DE CLT DANS LES SALLES DE BAINS</p> <ul style="list-style-type: none"> • PLANCHER DE CÉRAMIQUE, VOIR DESSINS DE DESIGN INTÉRIEUR; • CHAPE DE BÉTON 54mm; • SOUS-COUCHE DE TYPE "INSONOMAT", GRANULES INSTALLÉES DU CÔTÉ DU CLT, 15mm; • DALLE DE CLT 175mm, VOIR ING. EN STRUC., AVEC FINI DE PROTECTION APPLIQUÉ SUR LES FACES EXPOSÉES, VOIR DEVIS. <p>NOTE IMPORTANTE : AJOUTER UNE SOUS-COUCHE ACOUSTIQUE TEL QUE ACOUSTITECH CERAMIC OU GENIEMAT RST05 SOUS LA CÉRAMIQUE LORSQUE LA SALLE DE BAINS EST LOCALISÉE AU-DESSUS D'UN ESPACE DE VIE OU D'UNE CHAMBRE.</p>

Figure 9 : Assemblages de planchers typiques

L'assemblage P3 présente l'assemblage de plancher typique du projet, qui intègre le produit Sofix d'AcoustiTECH. Le produit Sofix a été retenu en raison de plusieurs atouts. D'abord, sa disponibilité locale est un avantage clé, assurant un approvisionnement fiable, rapide et durable, tout en soutenant le savoir-faire d'une entreprise Québécoise. Tel que mentionné précédemment, les performances acoustiques du Sofix ont été démontrées sur le chantier du Green Avenue à Brooklyn, où l'assemblage plancher/plafond a atteint des résultats probants de ITSA 57 et IICA 54, confirmant son efficacité en matière d'isolation aux bruits aériens et d'impact. Enfin, le choix du Sofix s'est également imposé grâce à l'implication du manufacturier, qui a activement participé à la conception de l'assemblage et au mesurage des performances sur site, assurant ainsi une solution optimisée et adaptée aux exigences du projet.

L'assemblage P4 a été conçu spécifiquement pour les salles de bain, où les exigences en matière de résistance à l'humidité sont plus élevées. Il intègre une chape de béton qui permet d'augmenter la résilience du plancher face aux infiltrations et dégâts d'eau potentiels. Bien que l'objectif initial était d'opter pour un assemblage acoustique « sec » dans tout le projet, ce compromis a été accepté en conception afin d'assurer une meilleure durabilité et performance des planchers dans les zones les plus exposées à l'eau, sans compromettre la qualité globale du bâtiment.

Plusieurs moyens additionnels ont été entrepris afin d'assurer la performance acoustique générale du projet :

- Intégration de bandes adhésives de découplage Rothoblaas Silent Edge et Rothoblaas Xylofon aux jonctions des panneaux CLT à certains endroits névralgiques, permettant de désolidariser les panneaux et de réduire les transmissions acoustiques (figure 10) ;
- Installation des équipements mécaniques et du compacteur à déchets sur des dalles de propreté isolées pour limiter la transmission des vibrations aux logements voisins (figures 11 et 12) ;
- Intégration d'un plafond avec suspentes acoustiques dans la salle à déchets (figures 13 et 14).

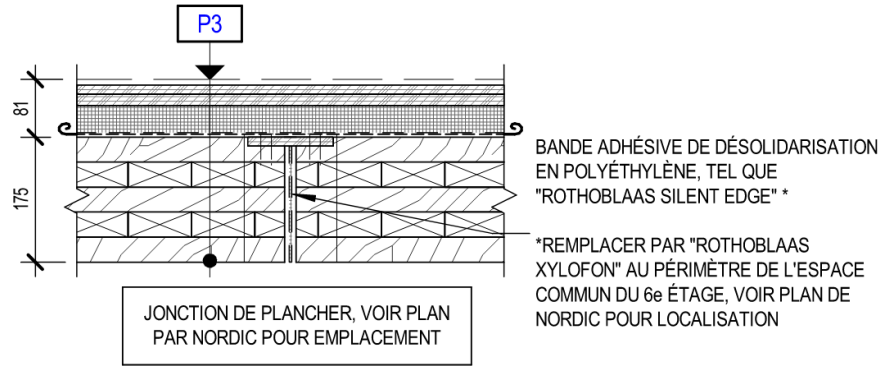


Figure 10 : Jonction des panneaux de CLT avec bande désolidarisante Rothoblaas

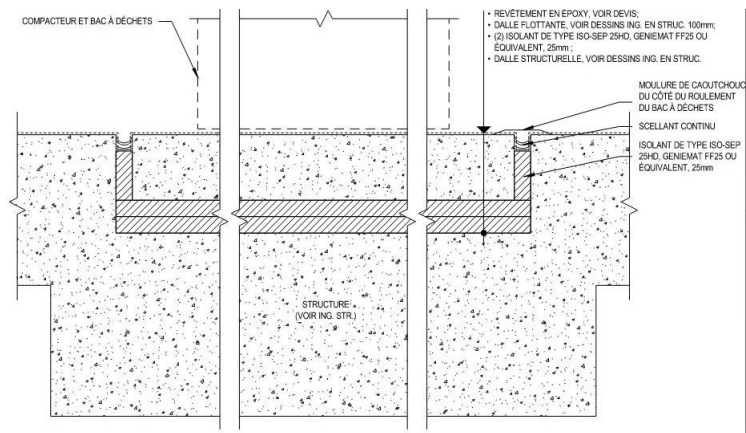


Figure 11 : Dalle isolée pour compacteur à déchets

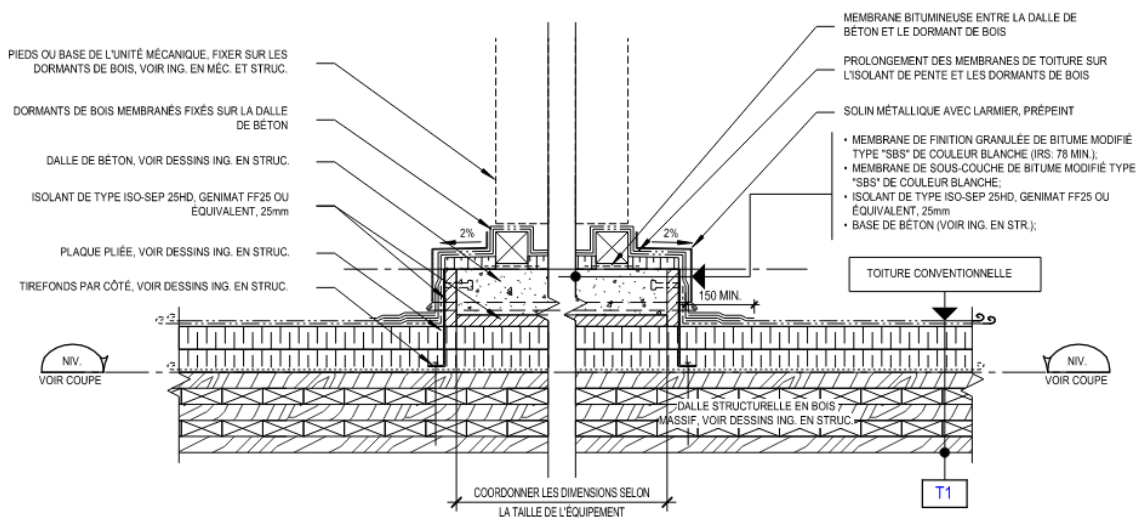


Figure 12 : Dalle isolée au toit pour équipements mécaniques

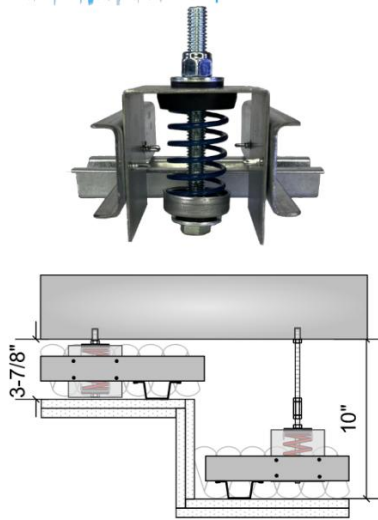


Figure 13 : Suspente acoustique pour plafond de la salle à déchets (produit RSIC-SI-CRC2 LP de PAC International)

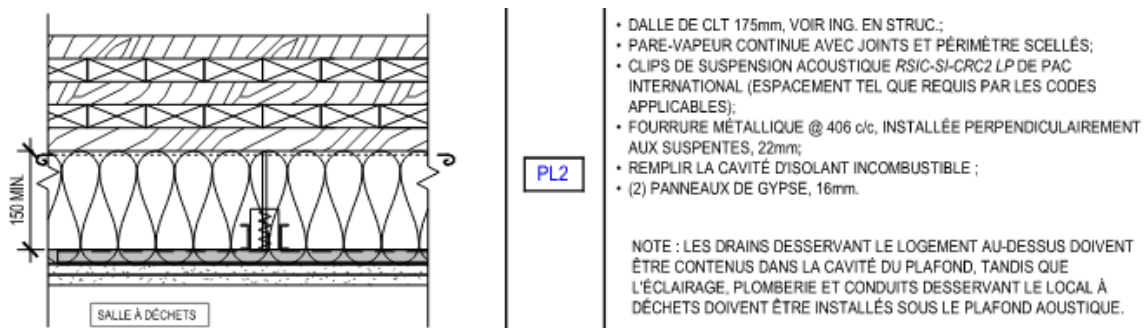


Figure 14 : Assemblage de plafond de la salle à déchets

3.2.1 Objectifs : Acoustique

L'objectif de cet axe d'innovation était de développer et valider un assemblage de plancher "sec", permettant de conserver le bois massif exposé dans les espaces de vie tout en atteignant les cibles de performance acoustique prescrites par le Code. Cette solution devait constituer une alternative au plancher traditionnel avec chape de béton, en offrant des bénéfices structuraux, économiques et environnementaux.

Plus précisément, l'assemblage visait à :

- Réduire la masse globale du bâtiment, optimisant ainsi la conception des fondations et permettant l'implantation sur des sites aux capacités portantes limitées ;
- Améliorer la performance sismique en diminuant les efforts liés au poids de la structure ;
- Simplifier la mise en œuvre en éliminant les délais et contraintes liés à la cure du béton ;
- Réduire l'empreinte carbone associée à l'utilisation du béton ;
- Intégrer un traitement efficace des voies de flanquement afin d'assurer la conformité acoustique de l'assemblage.

Cette approche visait ainsi à combiner performance acoustique, efficacité constructive et reproductibilité, tout en maximisant la valeur ajoutée de la structure en bois massif exposée.

3.2.2 Méthodologie : Acoustique

Indice ITS et ITSA

Le pointage ITS d'une cloison de séparation se mesure en bandes d'octave tierce de 125 Hz à 4000 Hz et ne décrit que le son direct à travers l'assemblage (et non le flanquement), et s'obtient généralement en laboratoire, conformément à la norme ASTM E-90, « Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements ».

Le pointage ITSA d'un assemblage de séparation se mesure selon la norme ASTM E-336, « Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Attenuation Between Rooms in Buildings ». On place une source sonore d'un côté de la cloison de séparation sous essai, on mesure les niveaux sonores à plusieurs emplacements dans la pièce source, puis à plusieurs emplacements dans la pièce réceptrice de l'autre côté de la cloison. On relève aussi le niveau de bruit ambiant dans la pièce réceptrice, et on utilise les mesures de temps de réverbération ainsi que la géométrie de la pièce pour déterminer l'absorption acoustique. Ces données servent ensuite à calculer le pointage ITSA selon la norme ASTM E 413, « Classification for Rating Sound Insulation ».

Quand aucun essai de terrain n'est disponible (p. ex. avant construction ou pour innover sur des projets futurs), le pointage ITSA d'un assemblage de séparation et des constructions adjacentes peut théoriquement se calculer selon l'ISO 12354-1:2017 (qui remplace l'ISO 15712-1:2005, la norme citée dans les documents du Code canadien, comme expliqué ci-dessous) ; notez que pour certaines constructions propriétaires, les données nécessaires au calcul d'un pointage ITSA peuvent manquer. Le pointage ITSA se détermine à partir de la perte de transmission directe de l'assemblage (pointage ITS), du temps de réverbération structural des éléments homogènes (si applicable) et de la différence de niveau de vitesse moyenne (pointage K_{ij}).

Mesures de l'indice d'isolement aux bruits d'impact apparent (IICA)

Comme expliqué précédemment, l'indice d'isolement aux bruits d'impact (IIC) est un pointage entier couramment utilisé pour évaluer en laboratoire la capacité d'une cloison à résister au bruit d'impact structural (pas, déplacement de mobilier) en bandes d'octave tierce de 100 Hz à 3150 Hz. Le pointage IICA correspond au même assemblage testé en conditions de terrain.

La plage de fréquences du pointage IICA n'inclut pas les basses fréquences généralement associées au bruit sourd, qui se corrèle davantage à la perception subjective. Le pointage LIIC (Low-frequency Impact Insulation Class) mesure la capacité d'une cloison à résister au bruit d'impact structural pour les bandes d'octave tierce basses de 50 Hz à 80 Hz, et sert d'indicateur plus représentatif de l'isolation aux impacts à très basse fréquence.

Les essais normalisés en terrain suivent la norme ASTM E-1007, « Standard Test Method for Field Measurement of Tapping Machine Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies and Associated Support Structures ». Pour ces essais, une machine à choc standard est placée

dans la pièce source selon quatre orientations prescrites. Les niveaux de pression acoustique résultants sont mesurés à plusieurs emplacements dans la pièce réceptrice pour chaque orientation, au moyen d'un analyseur de niveau sonore. On relève également le bruit ambiant et les temps de réverbération de la pièce réceptrice. Ces derniers, combinés à la géométrie de la pièce, déterminent l'absorption acoustique présente. Ces informations servent ensuite à calculer le pointage IICA selon la norme ASTM E-989, « Standard Classification for Determination of Single Number Metrics for Impact Noise ».

Mesures de l'indice de réduction des vibrations (K_{ij})

La quantification du chemin de flanquement plafond-plafond dépend des valeurs de K_{ij} , calculées à partir de mesures de différences de niveau de vitesse. Quand le chemin de flanquement inclut des constructions homogènes, des mesures de temps de réverbération structural sont aussi nécessaires pour calculer les valeurs de K_{ij} . Le pointage ITSA du chemin de flanquement se calcule ensuite selon les méthodes de l'ISO 12354-1:2017.

Les essais K_{ij} suivent en général la norme ISO 10848-1, qui implique des mesures de différences de niveau de vitesse entre pièces et de temps de réverbération structural d'éléments lourds homogènes. Les valeurs de différence de niveau de vitesse et de temps de réverbération structural sont combinées à diverses mesures physiques de la géométrie des pièces pour calculer les valeurs de K_{ij} .

Les mesures de différence de niveau de vitesse se font en installant plusieurs accéléromètres piézo-électriques sur les éléments de flanquement dans une pièce source et une pièce réceptrice, puis en excitant l'élément dans la pièce source (par exemple à l'aide d'un marteau) et en mesurant les niveaux vibratoires en bandes d'octave tierce. On inverse ensuite les rôles des pièces (la source devient la réceptrice) et on répète les mesures : la moyenne des deux tests donne la différence de niveau de vitesse direction-moyenne.

Les mesures de temps de réverbération structural consistent à frapper l'élément homogène à plusieurs endroits avec un unique impact (un marteau ici), puis à enregistrer la décroissance rapide de l'accélération vibratoire pour déterminer le temps de réverbération structural en bandes tierce. Ces mesures sont effectuées pour chaque élément lourd homogène inclus dans l'essai K_{ij} (dans la pièce source et la pièce réceptrice).

Critères

Le plus récent Code de construction du Québec fait référence au NBCC 2015 pour toutes les exigences acoustiques, qui exige qu'une unité d'habitation soit séparée de tout autre espace d'un bâtiment susceptible de générer du bruit (sauf puits d'ascenseur et chutes à déchets, pour lesquels une séparation ITS-55 est requise) par :

- a) un assemblage de séparation et les constructions adjacentes avec un pointage ITSA minimal de 47 (vérifié soit par un essai terrain conforme à l'ASTM E-336, soit calculé selon les méthodes décrites dans l'ISO 15712 [décrit à la Partie 5]), ou,
- b) un assemblage de séparation avec un pointage ITS minimal de 50 et des constructions adjacentes conformes à l'article 9.11.1.4.

L'article 9.11.1.4 décrit les configurations spécifiques où le calcul d'un pointage ITSA n'est pas nécessaire pour certifier la conformité du code de l'assemblage de séparation. Dans ces cas, un pointage $ITS \geq 50$ suffit pour répondre aux exigences, indépendamment des détails de jonction. Si seulement une partie des conditions ci-dessous est respectée, il faut calculer le pointage ITSA effectif des chemins de flanquement restants. L'article 9.11.1.4 liste les conditions suivantes pour les plafonds en bois massif afin de s'appuyer sur le pointage ITS (sans calculer l'ITSA) pour la conformité :

- a) lorsque des murs ou plafonds adjacents sont connectés à l'assemblage de séparation, le mur ou plafond en béton doit avoir une densité surfacique $> 300 \text{ kg/m}^2$ (c.-à-d. 125 mm de béton ordinaire).
- b) lorsque des murs ou plafonds adjacents sont connectés à l'assemblage de séparation, le mur ou plafond doit comporter une finition en gypse interrompue à la structure de la cloison ou à l'espace entre deux montants (pour cloisons à montants doubles).

Pour l'assemblage tel que construit à Helisis (panneaux CLT avec recouvrement sec AcoustiTECH SOFIX), ces conditions ne sont pas remplies ; le calcul d'un pointage ITSA (et simultanément d'un pointage K_{ij}) est donc requis.

3.2.3 Résultats et analyse : Acoustique

L'intégration de panneaux de CLT à portée multiple, c'est-à-dire couvrant plus d'un logement, est cruciale pour assurer la viabilité économique du bois massif dans les bâtiments résidentiels. La recherche de solutions innovantes pour traiter la transmission indirecte du son à travers des panneaux de CLT continus représente un des principaux défis en matière de conception acoustique pour ces bâtiments. La solution novatrice d'assemblages de plancher performants combinée à des retombées de plafond stratégiquement localisées le long des murs mitoyens pourrait devenir un guide de conception pour les futurs projets similaires, répondant aux enjeux acoustiques tout en respectant les contraintes budgétaires. Il est toutefois important de noter que le calepinage du CLT a été coordonné afin de séparer les panneaux à certains endroits stratégiques, pour éviter le trop grand risque de flanquement entre les logements.

Résultats des essais à ANDAS des plancher/plafonds

Les essais ITSA, IICA et LIIC de l'assemblage plancher/plafond de type P3 ont été réalisés à deux emplacements chacun. Pour les essais IICA et LIIC, un échantillon d'environ 5'x5' du futur revêtement de sol (plancher SPC de 8 mm d'épaisseur avec une sous-couche en silicone de 2 mm) a été disposé dans chaque suite supérieure au-dessus de l'assemblage plancher/plafond.

Tableau 1 : Résultats des essais Type P3

Numéro d'essai	Pointage ITSA	Pointage IICA	Pointage LIIC
1	ITSA-51	IICA-50	LIIC-44
2	ITSA-55	IICA-48	LIIC-41

Résultats des essais à ANDAS des cloisons

Les essais Kij ont été réalisés pour les chemins de flanquement plafond-plafond entre trois paires de suites empilées. À chaque emplacement, la chappe sèche SOFIX était inclus au-dessus du CLT à 5-plis. Les effets de l'ajout de caissons des deux côtés de la cloison de séparation des suites ont été étudiés en modifiant la configuration des caissons pour chaque essai. Au 2^e étage, un caisson de 500 mm de profondeur a été installé des deux côtés de la cloison de séparation ; au 3^e étage, le même caisson n'a été installé que d'un seul côté ; et au 4^e étage, aucun caisson n'a été posé. Des essais ITSA ont également été effectués sur l'assemblage de séparation entre les mêmes paires de suites utilisées pour les essais Kij, à des fins de comparaison. Des plans annotés des emplacements d'essai aux 2^e, 3^e et 4^e étages sont joints.

La cloison de séparation entre chaque paire de suites est indiquée sur les plans comme étant de type 30E, composée de deux couches de gypse de type X de 16 mm de chaque côté de montants d'acier calibre 25 de 92 mm, avec isolation dans les cavités des montants. Selon le tableau SB-3 du Code national du bâtiment du Canada, ce type de cloison est classé STC-55 (406 mm entre axes) ou STC-56 (610 mm entre axes).

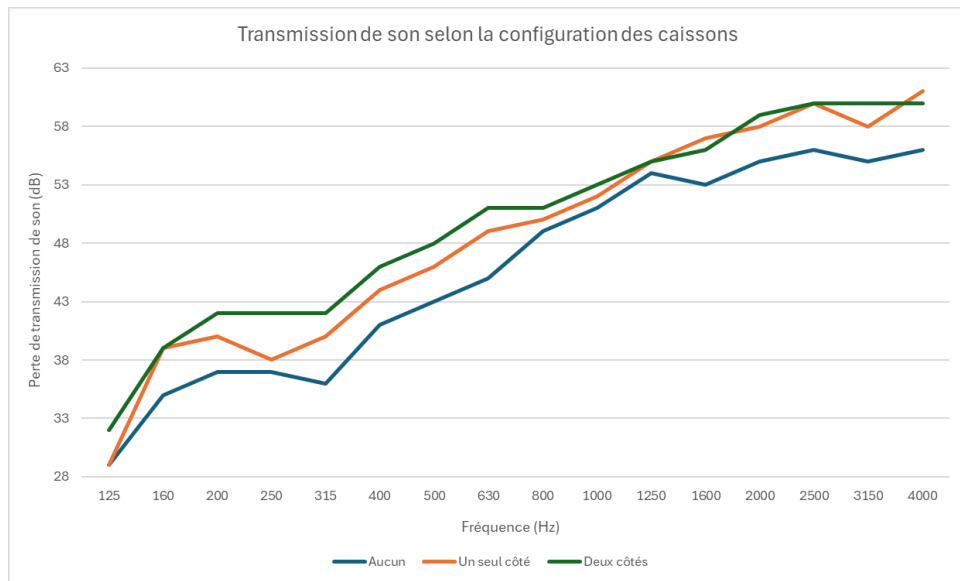
Le pointage ITSA global mesuré pour chaque essai est présenté dans le Tableau 2 ci-dessous. À noter que la valeur ITSA mesurée représente la performance acoustique en état construit de l'ensemble de l'assemblage de séparation (c.-à-d. directement à travers la cloison et indirectement via tous les chemins de transmission potentiels), et non exclusivement le chemin de flanquement plafond-plafond. Sur la base des valeurs Kij mesurées et de la géométrie des pièces, les pointages ITSA calculés correspondant à la transmission du son par le chemin de flanquement plafond-plafond sont présentés dans le Tableau 2. Ces pointages ITSA calculés représentent la transmission sonore uniquement par ce chemin de flanquement, et non l'assemblage global, qui pourrait être limité par d'autres facteurs externes.

Dans le Tableau 2 ci-dessous, deux pointages ITSA calculés à partir des mesures vibratoires réalisées sur site sont présentés. Une méthode suit la norme ISO 10848-1 actuelle, qui moyenne les mesures vibratoires en combinant des techniques de moyennage arithmétique et logarithmique. L'autre méthode suit la méthodologie révisée du groupe de travail ISO 10848-1, dont HGC est membre actif, qui utilise la technique de moyennage géométrique des mesures vibratoires basée sur des recherches en cours ; cette méthode a été validée au sein du groupe de travail et devrait être intégrée dans une future révision de la norme.

Tableau 2 : Résultats des essais ITSA et Kij aux cloisons de séparation des suites

Numéro d'essai	Configuration des caissons	Pointage ITSA mesuré	Pointage ITSA calculé (méthode future)	Pointage ITSA calculé (méthode actuelle)
3	Aucun	ITSA-48	ITSA-47	ITSA-46
4	Un seul côté	ITSA-50	ITSA-48	ITSA-47
5	Deux côtés	ITSA-52	ITSA-50	ITSA-48

Un résumé, des pertes de transmission mesurées est présenté dans le graphique ci-dessous. L'ajout de caissons a eu un effet notable sur la transmission sonore globale entre 315 Hz et 800 Hz, plages où le flanquement plafond-plafond limite les performances de la cloison de séparation. Cela a également corrélé avec une amélioration mesurée de l'ITSA de 2 points par caisson. Bien que les niveaux calculés pour le chemin de flanquement soient légèrement plus faibles, cette recherche innovante démontre que les exigences minimales du Code peuvent être respectées avec un caisson d'un seul côté de la cloison, et sont probablement respectées avec des caissons des deux côtés, pour le même assemblage plancher-plafond CLT.



Finalement, les essais de transmission du son entre des logements séparés latéralement, avec des panneaux de CLT interrompus, ont donné des performances nettement supérieures. C'est cohérent avec les recherches en labo et sur le terrain qui mettent en évidence un potentiel de flanquement par le chemin de transmission plafond-à-plafond lorsque les panneaux de CLT sont continus. L'ampleur du gain acoustique lié au découplage des panneaux adjacents avec du Rothblaas SilentEdge aux chants des panneaux demeure difficile à quantifier, puisque les détails de jonction panneau-panneau varient beaucoup d'un projet à l'autre et même d'un endroit à l'autre dans un même projet (p. ex. présence d'une lame d'air, largeur de la lame, ou absence de lame entre chants).

Cela dit, il est clair que le matériau d'isolation a réduit la transmission du son et des vibrations entre panneaux de CLT adjacents là où il était impossible d'intégrer une lame d'air sur le chantier.

Défis de chantier

Sur le plan acoustique, certains détails de chantier ont représenté des défis particuliers. Les points de liaison entre les montants et les contreventements en acier présentaient un risque de transfert direct du bruit à travers les murs mitoyens. Pour y remédier, l'équipe de construction a intégré des rondelles et coussins en caoutchouc à ces ancrages, réduisant ainsi la transmission indésirable. De plus, l'installation du plafond acoustique de la salle à ordures a été complexifiée par la présence d'un plénum très restreint. Malgré cette contrainte, l'équipe a pu désolidariser le plafond au moyen de suspentes en caoutchouc et sceller soigneusement son périmètre aux poutres, limitant le cheminement du bruit vers les logements situés au-dessus.



Figure 15 : Coussin insonorisant installé au point d'ancrage entre le montant de la cloison de gypse mitoyenne et le contreventement en acier

3.3 Introduction et hypothèses de départ : Balcons

La troisième solution innovante mise de l'avant dans le projet concerne l'ancrage de balcons préfabriqués sur une structure en bois massif, un enjeu technique majeur dans le contexte de la construction multi-résidentielle. Une attention particulière a été portée à la gestion des ponts thermiques générés par ces ancrages, afin de limiter la condensation sur les membrures de bois, qui pourrait autrement entraîner une pourriture et compromettre la durabilité et la performance structurelle du bâtiment. L'objectif était de développer une approche durable, économique et

compatible avec les principes de performance thermique et de constructibilité associés au bois massif.

Inspirée des pratiques issues des bâtiments à ossature légère, la solution proposée remplace les traditionnelles tiges flexibles (système de balcon suspendu) par un système d'appui reposant sur des colonnes d'acier extérieures. Cette stratégie permet de soulager la connexion rigide au CLT et donc simplifier la jonction à la structure de bois. Dans les zones où l'ajout de colonnes n'était pas envisageable, c'est-à-dire dans les loggias, nous avons prévu d'ancrer les dalles de béton préfabriquées sur trois côtés et d'éliminer les poteaux.



Figure 16 – Balcon de coin avec poteau et connecteurs avec bris thermique ancrés au CLT

Dans les deux cas, l'ancrage au CLT est réalisé au moyen de connecteurs dotés d'un bris thermique, assurant la continuité de l'isolation de l'enveloppe. Le recours à des balcons incombustibles en béton préfabriqué permet également de répondre aux exigences de sécurité incendie, notamment en évitant l'installation de gicleurs à sec.

La construction de cette solution sur le chantier a permis de valider plusieurs hypothèses de conception, tout en révélant des enjeux spécifiques liés à la préfabrication, à la coordination interdisciplinaire et à la précision requise pour l'interface bois-acier. Elle ouvre ainsi la voie à une approche reproductible, adaptée aux exigences croissantes en matière d'efficacité énergétique, de résilience et de qualité architecturale dans les projets de bois massif.

3.3.1 Objectifs : Balcons

Cette étude vise à démontrer la faisabilité, la pertinence et la viabilité technique d'une solution novatrice pour l'ancrage de balcons avec bris thermique sur une structure en bois massif. Elle s'inscrit dans une volonté d'optimiser l'équilibre entre performance thermique, durabilité, efficacité économique et intégration architecturale dans un contexte multi-résidentiel. L'approche retenue cherche à répondre aux exigences croissantes en matière de performance énergétique et de rationalisation des détails constructifs, tout en s'adaptant aux particularités des structures en bois massif. La mise en œuvre en chantier visait à confirmer la faisabilité des détails proposés, à évaluer la fluidité de la coordination au chantier, et à identifier les ajustements requis en vue de raffiner et standardiser la solution pour des projets futurs.

3.3.2 Méthodologie : Balcons

La démarche de conception et de mise en œuvre des balcons s'est appuyée sur une approche multidisciplinaire combinant expertise en architecture, ingénierie du bois, préfabrication béton et fabricants de métaux ouvrés. L'objectif était d'élaborer une solution reproductible et cohérente avec les exigences techniques, thermiques et esthétiques d'un bâtiment multi-résidentiel en bois massif.

Le développement de la solution s'est fondé sur une série de critères de performance, établis dès les premières phases du projet. Ces critères incluaient :

- La rigidité structurale des balcons et leur interaction avec la structure porteuse en CLT ;
- La performance thermique aux jonctions, incluant l'efficacité des bris thermiques et la continuité de l'isolation ;
- Le dégagement en rive de bâtiment, permettant le maintien de l'espace nécessaire à l'installation continue de la brique sur les trois étages inférieurs, avec appui sur la fondation ;
- La résilience et la durabilité à long terme des assemblages, notamment en milieu exposé ;
- La simplicité et la reproductibilité des balcons dans un contexte de préfabrication ;
- L'intégration architecturale et la discrétion des systèmes d'ancrage ;
- L'empreinte carbone et la compatibilité des matériaux avec les objectifs de développement durable ;
- La viabilité économique de la solution ;
- La logistique de chantier, incluant la séquence d'installation et la coordination entre sous-traitants ;
- Le potentiel de réplcation dans des projets similaires.

3.3.3 Résultats et analyse : Balcons

La mise en œuvre des balcons préfabriqués sur structure en bois massif a permis de valider la majorité des choix de conception, tout en révélant certains ajustements requis en contexte réel. Cette phase d'exécution a offert un terrain concret pour tester la viabilité économique, la précision des

détails techniques et la coordination interdisciplinaire, dans un cadre de préfabrication et de performance thermique.

Parmi les avantages confirmés en chantier, la rapidité d'installation des balcons préfabriqués s'est distinguée par rapport à un système coulé ou fabriqué en place. L'absence de temps de cure ou de fabrication sur site a permis de libérer rapidement les zones de travail sous-jacentes et d'accélérer l'installation des garde-corps.

Le système d'ancrage de type corbeau a démontré sa pertinence sur le plan structurel, grâce à une connexion simple par boulonnage et une excellente compatibilité avec la structure en bois massif. Toutefois, des conditions spécifiques rencontrées sur le chantier ont mis en lumière plusieurs points d'attention :

1. Système d'ancrage du monte-charge

Le monte-charge temporaire est habituellement ancré sur des balcons en béton coulé. En l'absence de balcons en place lors de certaines phases de levage, l'équipe a dû identifier des zones spécifiques dans les plancher de CLT pour permettre l'ancrage du monte-charge temporaire. Comme l'objectif était de maintenir le CLT apparent à l'intérieur des unités, le fait de s'ancrer directement dans celui-ci impliquait des réparations ultérieures pour corriger les points d'ancrage visibles. L'ancrage par le dessus, recouvert ensuite par le système de plancher acoustique, a donc été privilégié afin d'éviter d'avoir des trous d'ancrage apparents dans les unités en dessous. Cette exigence n'avait pas été anticipée à l'étape de conception, soulignant l'importance de considérer les besoins logistiques du chantier dès les premières phases du projet.

2. Coordination des ancrages avec le sous-traitant en métaux ouvrés

Quelques ajustements aux connecteurs d'acier ont été requis, notamment aux endroits où aucune poutre ne permettait d'ancrer les corbeaux. Dans ces quelques cas, les plaques d'ancrage ont été approfondies et sont devenues visibles à l'intérieur du logement, puisque leur profondeur est devenue plus grande que l'épaisseur du mur extérieur. Un soufflage localisé du mur d'environ 25mm a été nécessaire dans ces cas de figure.

Sur certaines unités à loggia double, le sous-traitant a signalé une portée structurelle trop importante, nécessitant l'ajout d'un support central. Un HSS a alors été inséré dans le mur extérieur, imbriqué dans le CLT, pour reprendre les charges excédentaires. Cette modification a heureusement été intégrée sans compromettre l'esthétique.



Figure 17 – HSS imbriqué aux panneaux de CLT

Cet dernier ajustement reflète une problématique bien connue dans l'industrie : la coordination fine des systèmes est souvent compromise lorsque les sous-traitants clés ne sont pas impliqués en amont de la conception. Leur apport aurait permis d'anticiper plus précisément les limites techniques des connecteurs, et de simplifier la mise en œuvre sur site. Ce constat renforce l'importance d'une conception intégrée et collaborative, notamment dans les projets recourant à des systèmes préfabriqués.

3. Détail d'ancrage avec bris thermique à optimiser

Le détail du connecteur avec bris thermique de type *Fabreeka* a globalement bien fonctionné, mais plusieurs éléments peuvent être bonifiés :

- Réduire la visibilité du matériau *Fabreeka* qui demeure apparent une fois les balcons installés ;
- Ajuster le positionnement du bris thermique afin qu'il soit intégré dans l'isolant d'uréthane, permettant ainsi de réduire davantage le pont thermique ;
- Revoir le détail du solin de protection à la jonction balcon-mur pour améliorer sa durabilité, compte tenu de son exposition aux impacts.

Ces ajustements visent à renforcer la performance de l'ensemble de l'interface enveloppe-balcon, tant sur le plan thermique, esthétique et durabilité.



Figure 18 – Connecteur de balcon avec bris thermique *Fabreeka* en vert

4. Trous des ancrages de levage

Les ancrages de levage sur les balcons ont laissé quatre trous visibles, qui seront bouchés en fin de chantier. Cette intervention, bien que mineure, n'avait pas été anticipée. Il serait intéressant de rechercher une méthode alternative de manutention des balcons pour éviter des trous apparents.



Figure 19 – Trous apparents dans la dalle de balcon préfabriquée

Dans l'ensemble, l'expérience de chantier a confirmé la pertinence d'un système de balcons préfabriqués ancrés à une structure de bois massif à l'aide de connecteurs thermiquement performants. Les ajustements requis ont été circonscrits et maîtrisés, permettant une livraison conforme aux objectifs du projet. L'ensemble des apprentissages réalisés alimente une réflexion plus large sur la standardisation des détails, l'intégration chantier et la reproductibilité des solutions dans des contextes similaires.

3.4 Introduction et hypothèses de départ : Modèle reproductible

Le quatrième axe d'innovation du projet repose sur la mise en œuvre d'un modèle reproductible de bâtiment multi-résidentiel de six étages en bois massif exposé, dont la conception repose sur des principes d'architecture sérielle, de performance économique et de constructibilité optimisée. L'objectif initial consistait à tester une structure dont les caractéristiques géométriques, matérielles et logistiques puissent être répliquées dans différents contextes urbains, tout en respectant les exigences normatives en vigueur.

La stratégie de reproductibilité s'appuyait sur plusieurs hypothèses : une volumétrie simple et régulière, une structure hybride bois-acier, une enveloppe rationalisée, et des composantes préfabriquées telles que les balcons. Cette approche visait à réduire la complexité en chantier, à optimiser les coûts de construction et à minimiser les risques liés à l'innovation technique, tout en assurant une intégration architecturale soignée.

La construction du projet a permis de valider plusieurs de ces hypothèses tout en révélant certains ajustements requis afin d'améliorer la performance économique et d'accélérer l'exécution. Ce retour d'expérience constitue ainsi une base concrète pour raffiner le prototype et renforcer sa pertinence pour des projets futurs.

3.4.1 Objectifs : Modèle reproductible

L'objectif de cet axe était d'évaluer la reproductibilité d'un bâtiment multi-résidentiel en bois massif, à la lumière des résultats obtenus en chantier. Plus précisément, l'étude visait à :

- Confirmer la viabilité technique et économique du prototype développé en phase de conception ;
- Évaluer la rapidité d'exécution, la simplicité de mise en œuvre et la coordination interdisciplinaire dans un contexte réel ;
- Mesurer les bénéfices environnementaux en comparaison à une construction traditionnelle en béton ;
- Identifier les éléments constructifs transposables à d'autres projets de typologie similaire ;
- Mettre en évidence les contraintes spécifiques au chantier ayant affecté la reproductibilité ;
- Proposer des pistes de bonification du modèle initial, en vue d'une meilleure adaptabilité future ;
- Alimenter une base de connaissances appliquée pour favoriser l'adoption du bois massif dans des projets multi-résidentiels de moyenne hauteur.

3.4.2 Méthodologie : Modèle reproductible

La validation du modèle reproductible s'est appuyée sur une analyse comparative confrontant le prototype en bois massif à un bâtiment de référence avec structure traditionnelle en béton coulé.

Les volets suivants ont été analysés :

- Analyse coût-bénéfice, en considérant la valeur ajoutée à la qualité spatiale des espaces intérieurs ;
- Comparaison financière globale entre la solution hybride bois-acier et une structure 100 % béton ;
- Analyse de l'empreinte carbone des deux systèmes structurels ;
- Évaluation des délais d'exécution liés à la coordination interdisciplinaire et à la séquence des travaux ;
- Identification des défis de chantier.

Les résultats de cette méthodologie alimentent une analyse critique qui permettra de bonifier le prototype, en vue d'une utilisation élargie dans le marché du multi-résidentiel de moyenne hauteur.

3.4.3 Résultats et analyse : Modèle reproductible

Analyse des coûts

Les coûts du projet à structure de bois massif et acier (prototype innovant) vs. estimation des coûts du projet en béton coulé (bâtiment de référence) sont présentés au tableau suivant :

	Structure hybride bois-acier <i>Prototype innovant</i>	Structure de béton coulé <i>Bâtiment de référence</i>
Coûts directs	18 115 836 \$	15 549 122 \$
Contingences (5%)	543 475 \$	466 474 \$
Sous-total coûts directs	18 659 311 \$	16 015 595 \$
Coûts indirects	2 322 713 \$	1 880 694 \$
Grand total	20 982 024 \$	17 896 289 \$

La différence budgétaire s'élève à 3 085 735 \$, soit 17,2 % de plus pour la structure bois-acier comparée à une structure 100% béton avec un degré de finition standard. Toutefois, il est important de souligner le niveau de finition supérieur d'Andas ainsi que la valeur ajoutée du bois massif apparent. Le bois contribue à une qualité visuelle exceptionnelle, à un attrait accru pour la clientèle et à un environnement biophilique favorisant le bien-être des occupants. L'investissement

supplémentaire se traduit donc par une différenciation esthétique et fonctionnelle, pouvant influencer favorablement la satisfaction des occupants et la valorisation financière du projet.

Toutefois, afin de pallier les risques associés aux innovations développées, de soutenir l'évolution des connaissances en construction bois et de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, le projet a bénéficié d'une subvention du Programme d'innovation en construction bois (PICB) pour les volets A et B, d'un montant de 1 172 700 \$. Grâce à cette subvention, le coût total du projet en bois est ramené à 19 809 324 \$, réduisant ainsi l'écart à 10,7 % par rapport à l'option en béton.

Le tableau ci-dessous illustre les principaux postes où le bois s'est avéré plus dispendieux pour les coûts directs, tout en tenant compte du niveau de finition souhaité par le promoteur.

Principaux surcoûts d'un bâtiment à structure de bois massif vs. béton coulé

Structure hors-sol	+84 % incluant la grue, l'installation, les bandes acoustiques Rothoblaas aux joints du CLT et les percements de plomberie au chantier
Maçonnerie	+6 % pour l'ascenseur construit en blocs plutôt qu'en béton coulé
Métaux	+288 % incluant les ancrages d'acier et poteaux pour les balcons, les contreventements et les paliers d'escalier métalliques
Toiture	+6 % dû à l'utilisation d'un système de membranes élastomères avec pare-vapeur torché plutôt qu'un système de toiture inversée
Fenêtres	+4 % en raison de la diversité des hauteurs de fenêtres créée par les hauteurs variables des poutres
Finition	+31 % incluant les planchers acoustiques, la laine incombustible dans les plafonds, les scellants coupe-feu à la jonction du CLT et des colonnes, les reprises de marque sur le bois exposé, la teinture 'whitewash' sur les faces de bois exposé, et les joints 'zippés' entre le bois exposé et le gypse
Ébénisterie des cuisines	+10 % en raison de la complexité créée par la présence des poutres
Balcons préfabriqués	Surcoût difficile à isoler, mais impliquant une coordination supplémentaire en amont et sur le terrain, et un surcoût en matériel
Acoustique	Interventions acoustiques dont le surcoût est difficile à isoler, incluant des détails d'assise pour les équipements mécaniques, les suspentes acoustiques pour la plomberie et la ventilation, et le plafond acoustique de la salle à déchets

Bien que l'utilisation du bois massif entraîne majoritairement des surcoûts initiaux, il est important de souligner que sa légèreté par rapport à une structure en béton a permis de réduire considérablement les interventions requises dans les éléments existants du sous-sol. Cette caractéristique a non seulement simplifié la construction, mais elle a également contribué à limiter les travaux supplémentaires et à optimiser l'efficacité économique globale du projet.

Les coûts indirects du projet incluent l'ensemble des frais non liés directement à la construction, mais essentiels à la réalisation et à la mise en marché de l'immeuble. Cette catégorie regroupe notamment les honoraires professionnels des consultants, l'assurance chantier, les frais de permis, les coûts de gestion, ainsi que des dépenses liées à la commercialisation, telles que le marketing, le mobilier des espaces communs et de l'unité modèle, les électroménagers et les stores.

Le choix de fournir stores et rideaux dans tous les logements a été pris par le propriétaire afin d'éviter que les locataires ne percent le bois pour installer leurs propres dispositifs — une décision qui vise à préserver l'intégrité visuelle et physique du bois exposé.



Figure 20 – Finition de l'unité modèle incluant rideaux, bois teint 'whitewash' et poutre imbriquée au garde-manger

Deux postes des coûts indirects se démarquent par leur écart entre les deux scénarios comparés. D'abord, l'assurance chantier s'est révélée 238 % plus coûteuse pour le scénario en bois massif, en raison des perceptions de risque accrues associées à ce mode constructif encore peu répandu. Ensuite, les honoraires professionnels ont été plus élevés pour le projet en bois, principalement en raison de l'importante coordination technique requise en amont, notamment entre l'architecture, la structure, les disciplines électromécaniques et l'acoustique. La participation d'un acousticien a

également été nécessaire afin d'assurer la performance sonore de l'ensemble, un enjeu plus critique avec une structure légère comme le bois.

Analyse de l'empreinte carbone

Le rapport final des émissions de GES révèle une réduction de 43,3 % de CO₂ pour le scénario en bois en comparaison avec celui en béton (voir rapport GES pour la ventilation du calcul). Cette évaluation inclut la structure du bâtiment (sous-sol + hors-sol) ainsi que les assemblages de plancher acoustique. Concrètement, le projet construit présente des émissions de 163 kg éq CO₂ par m², comparativement à 288 kg éq CO₂ par m² pour le scénario de référence en béton, ce qui témoigne de l'avantage environnemental significatif de la solution en bois.

Échéancier

L'échéancier initial prévoyait une exécution en 10 à 11 mois grâce à l'utilisation du bois massif, soit près de trois mois de moins qu'un scénario comparable en béton (14 mois). En réalité, le chantier s'est complété en 12 à 13 mois — un délai similaire à ce qui aurait été observé pour une structure en béton. Plusieurs facteurs imprévus ont contribué à prolonger l'échéancier, notamment un temps supplémentaire requis pour les travaux de fondations (perte d'un mois) ainsi que des ralentissements causés par la présence des fils électriques aériens. Dans ce contexte, il est raisonnable de croire que le scénario de béton aurait également subi des retards similaires, possiblement portant la durée du chantier à environ 16 mois.

Malgré ces ajustements, l'expérience confirme le fort potentiel du bois massif pour accélérer l'échéancier. Cet avantage permet d'envisager une occupation plus hâtive du bâtiment, et ainsi améliorer substantiellement le bilan économique du projet immobilier. L'un des avantages les plus marquants est la possibilité d'optimiser le séquencage des travaux grâce à l'absence de temps de cure et d'étaisements, ce qui permet de libérer plus rapidement les étages pour les corps de métier suivants. Cette opportunité, bien que sous-exploitée sur ce premier projet, représente un levier majeur à valoriser dans le futur. L'installation rapide des balcons préfabriqués offrait aussi un gain appréciable, bien que ralenti cette fois par des enjeux de dégagements électriques.

Amorcer les travaux de structure au début de l'hiver s'est avéré une stratégie pertinente : il est généralement plus facile de composer avec la neige qu'avec l'eau, cette dernière posant davantage de risques pour la qualité des assemblages et la progression des travaux. Cette approche constitue donc une bonne pratique à répéter. Parmi les autres pistes d'optimisation identifiées, l'alignement du gypse extérieur devant la structure de bois représente une amélioration importante pour limiter les risques d'infiltration. Dans le cas d'ANDAS, le gypse extérieur était aligné avec les colonnes et les panneaux de CLT, ce qui laissait des sections exposées derrière le revêtement de maçonnerie. Seules des bandes de membrane d'étanchéité avaient été posées aux jonctions, puisque l'uréthane projeté agissait comme pare-air pour le reste du mur. Or, ces bandes de membrane ont démontré une faible adhérence au bois, entraînant plusieurs infiltrations d'eau en cours de chantier, ce qui a causé des retards dans les étapes subséquentes. Par ailleurs, une planification encore plus rigoureuse du séquencage des étapes critiques permettrait sans doute d'accélérer davantage le chantier. Ainsi, bien que tous les gains anticipés n'aient pu être pleinement concrétisés sur ce premier projet, l'expérience démontre que l'objectif d'un chantier complété en 10 mois demeure

atteignable, moyennant une anticipation des particularités propres au bois massif et des contraintes spécifiques au site.

Défis de chantier

La construction du projet a permis de mieux cerner les particularités et les défis propres à la construction en bois massif, en particulier dans un contexte de premier projet de ce type pour plusieurs intervenants. Parmi les enjeux les plus significatifs, la gestion des intempéries et de l'humidité a occupé une place centrale. Étant donné que les panneaux de CLT forment des toitures plates exposées, il est crucial de les étanchéiser le plus rapidement possible pour éviter toute accumulation d'eau. La solution temporaire de pare-vapeur torché s'est révélée judicieuse, limitant les infiltrations jusqu'à l'étanchéisation complète de la toiture et donc pendant la construction des parapets. Par ailleurs, la météo relativement froide de l'hiver a joué en notre faveur, réduisant la pluie et, donc, les risques d'humidification prolongée.



Figure 21 – Mise en œuvre du système de pare-vapeur sur la toiture

Cependant, des infiltrations sont tout de même survenues, notamment en raison de la faible adhérence des bandes de membrane appliquées sur les surfaces de bois et du retard dans la pose de la membrane pare-air aux étages 4, 5 et 6. Ces infiltrations ont eu des conséquences plus importantes que dans un bâtiment en béton coulé, car le bois est naturellement plus sensible à l'eau et, surtout, parce que l'eau peut s'infiltrer plus facilement dans une structure de bois massif. Les craques entre les panneaux de CLT et les jonctions avec les colonnes créent des points de vulnérabilité qui favorisent les écoulements verticaux. À l'inverse, une structure de béton monolithique comporte peu ou pas de fissures aux assemblages, limitant la propagation de l'eau à travers les étages.



Figure 22 – Bandes de membranes adhérant mal au bois. Il a finalement été décidé de recouvrir l'entièreté des colonnes de bois d'une membrane, de manière à assurer leur pleine adhérence avant l'application de l'uréthane.

La protection du bois contre les impacts en cours de chantier a également exigé une grande vigilance, notamment pour les éléments exposés tels que les coins de colonnes et certaines finitions intérieures en bois laissé apparent. Ces composantes, à la fois structurelles et esthétiques, sont particulièrement vulnérables aux chocs, aux égratignures et à l'humidité durant les phases de construction. L'expérience a mis en évidence la nécessité d'un protocole de protection plus rigoureux, incluant des mesures spécifiques dès la livraison et la mise en place des panneaux, afin de préserver la qualité visuelle et matérielle du bois jusqu'à la livraison finale du bâtiment.



Figure 23 – Protection des coins des colonnes au chantier

Du côté de la coordination d'installation, plusieurs ajustements ont été nécessaires pour adapter les méthodes habituelles aux spécificités du bois massif. Les percements pour la plomberie dans le CLT ont été bien intégrés et n'ont pas ralenti le chantier, mais la gestion de la mécanique au plafond s'est révélée plus exigeante, puisque, contrairement au béton, aucun conduit ne peut être intégré dans la dalle. La séquence d'installation des réseaux mécaniques en parallèle à celle des planchers acoustiques et des cloisons a donc exigé une communication constante entre les disciplines. Heureusement, la modélisation et la coordination réalisées en amont du projet ont porté fruit : aucun conflit majeur n'a été observé entre les poutres de bois et les services électromécaniques.

Le bois massif pose également certains défis structuraux au niveau des ancrages. Il y a plus d'ancrages en métaux ouvrés que dans le béton, donc tout est plus complexe à ancrer (par exemple les balcons, garde-corps...) Le monte-charge temporaire est aussi plus complexe à ancrer dans le bois, puisqu'il doit aller s'ancrer sur le dessus du CLT plutôt qu'en façade (cisaillement plutôt qu'en arrachement). Cette complexité accrue, comparée au béton, renforce l'importance d'une bonne planification des systèmes de fixation.

Enfin, la qualité et l'expérience des sous-traitants choisis ont eu un impact déterminant sur le bon déroulement du chantier. Le recours à des équipes flexibles et ouvertes à adapter leurs méthodes a été essentiel. Le projet a nécessité un encadrement soutenu de la part de l'équipe de gestion, avec une charge importante de coordination. Tel que résumé par l'équipe terrain, environ 40 % du temps était consacré à l'organisation et à la gestion, contre 60 % à l'exécution — un équilibre différent de

celui observé dans des chantiers plus conventionnels, mais qui témoigne de l'attention nécessaire pour réussir un projet en bois massif dans le contexte actuel.

Bilan

Construire en bois massif implique un investissement initial plus élevé, mais offre en retour un bâtiment de plus grande valeur, mieux positionné sur les plans environnemental, esthétique et immobilier.

L'exposition du bois confère aux espaces un caractère unique et chaleureux, contribuant à une qualité visuelle exceptionnelle et à un environnement biophilique favorisant le bien-être des occupants. La finition supérieure du projet et le bois apparent renforcent l'attrait des logements sur le marché, tout en valorisant le bâtiment sur le plan immobilier.

Finalement, il faut rappeler que l'utilisation du bois massif permet d'accélérer l'échéancier de construction, ce qui offre des bénéfices financiers concrets, dont la réduction des frais généraux et d'administration du chantier. Cette mise en marché anticipée permet également de rentabiliser plus vite l'investissement immobilier, renforçant la performance économique globale du projet.

En somme, cette première réalisation confirme la faisabilité d'un modèle multi-résidentiel en bois massif, et met en lumière les conditions nécessaires pour en maximiser les retombées à long terme.



Figure 24 – Espace de vie de l'unité modèle d'ANDAS (Photo par Alexandre St-Jean)

3.5 Conclusions

L'étude menée pour le projet ANDAS met en lumière les avantages stratégiques et innovants d'un système hybride combinant bois massif et acier. Ce choix structurel se distingue par sa rigidité supérieure, sa résilience en cas de séisme, et sa capacité à optimiser les assemblages pour une meilleure efficacité de montage. De plus, il contribue à une réduction notable de l'empreinte carbone tout en améliorant la productivité sur le chantier.

L'intégration d'une combinaison de panneaux de CLT à portée simple ET multiple constitue un levier essentiel pour assurer la viabilité économique du bois massif dans les bâtiments multi-résidentiels. L'optimisation des assemblages de plancher et l'utilisation de solutions acoustiques innovantes permettent d'adresser les défis liés à la transmission sonore, tout en respectant les contraintes budgétaires.

La mise en œuvre des balcons préfabriqués a permis de valider la faisabilité et la pertinence de cette solution dans un contexte réel, tout en identifiant certains ajustements techniques à apporter. L'expérience de chantier a confirmé les avantages et inconvénients en matière de rapidité d'exécution, de coordination interdisciplinaire et de finition. Elle a également mis en lumière l'importance d'une implication précoce des sous-traitants spécialisés et d'une planification logistique intégrée. Ces apprentissages ouvrent la voie à une standardisation et une bonification des détails d'ancrage.

En conclusion, cette analyse technico-économique confirme la faisabilité et la pertinence du bois massif pour les projets multi-résidentiels de moyenne hauteur. Bien que le modèle présente un surcoût initial, celui-ci est compensé par des gains significatifs en performance environnementale, en qualité spatiale et en rapidité potentielle d'exécution. L'expérience du projet ANDAS met en lumière l'importance d'une coordination rigoureuse, d'une planification anticipée et d'une sélection soignée des partenaires pour maximiser les bénéfices du bois massif. Ces apprentissages constituent une base solide pour affiner le modèle, en vue d'une adoption plus large de ces solutions novatrices dans le secteur de la construction durable.

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

ANDAS contribue à une meilleure compréhension de la valeur ajoutée des structures hybrides combinant bois massif, acier et béton. Cette approche permet de mettre en avant les avantages esthétiques du bois massif et son impact positif sur l'environnement. En illustrant concrètement ces atouts, en parallèle à la faisabilité financière et technique du modèle, le projet sensibilise les promoteurs, constructeurs et concepteurs aux possibilités offertes par le bois massif pour les bâtiments de taille similaire. En présentant une alternative concrète aux matériaux traditionnels, ANDAS pourra inspirer une nouvelle génération de projets qui intégrera des solutions écologiques et résilientes.

Par ailleurs, la conception du projet a favorisé le développement d'un réseau de collaborateurs clés de l'industrie du bois. En créant des liens stratégiques avec des manufacturiers, spécialistes et promoteurs, nous avons renforcé notre expertise et notre capacité à concevoir des projets en bois massif. Cette synergie nous permet d'explorer de nouvelles avenues, d'optimiser les solutions existantes et de repousser les limites de l'innovation dans la construction durable.

La diffusion des connaissances issues du projet se fera par le biais de conférences et de publications, assurant ainsi un rayonnement optimal des solutions développées. Le bâtiment a d'ailleurs déjà suscité l'intérêt de plusieurs promoteurs, qui sont venus le visiter afin de mieux comprendre les pratiques mises en œuvre. Ces visites contribuent concrètement au rayonnement des solutions développées, tout en favorisant leur adoption plus large. Cette visibilité permettra d'influencer les décideurs et d'encourager une transition plus rapide vers des modèles de construction durables.

Pour conclure, ANDAS se positionne comme un projet phare pour l'industrie, démontrant le potentiel de reproductibilité du bois massif dans la construction multi-résidentielle et contribuant activement à l'évolution du secteur vers des solutions plus respectueuses de l'environnement. Le projet joue un rôle clé dans la démocratisation de la conception en bois massif, en prouvant que ce matériau peut être utilisé sur des projets multi-résidentiels tout en restant accessible et performant.

3.7 Recommandations

À la suite de la conception du projet ANDAS, plusieurs recommandations émergent afin de maximiser son impact et favoriser la reproductibilité des solutions développées. D'abord, il est important de souligner que tous les collaborateurs ont travaillé en étroite équipe afin d'assurer une coordination efficace dès la phase de conception. Cette collaboration en amont est essentielle pour maximiser les avantages du bois massif et devrait devenir la norme dans ce type de construction. Sans cette étape cruciale, des choix de conception moins optimaux auraient pu être faits, comme une surélévation inutile du bâtiment pour compenser des incertitudes mécaniques. En favorisant une approche intégrée dès le départ, il est possible d'optimiser les performances structurelles et acoustiques, de réduire les coûts et de garantir une exécution fluide du projet.

Ensuite, il est essentiel de poursuivre la sensibilisation et la formation des acteurs du secteur pour faciliter l'adoption du bois massif dans la construction multi-résidentielle. Cela passe par le partage des apprentissages à travers des publications, conférences et études de cas, ainsi que par l'organisation d'ateliers techniques visant à renforcer l'expertise des architectes, ingénieurs, entrepreneurs et sous-traitants.

Une autre clé du succès réside dans l'adoption d'une approche axée sur la simplification du bâtiment et des solutions constructives. En misant sur une standardisation des éléments — telles que les dimensions des colonnes, des poutres, des cuisines et autres composantes répétitives — il devient possible de réduire la complexité, de faciliter la coordination entre les disciplines et d'améliorer à la fois la reproductibilité et la performance économique des projets. Cette démarche ouvre également la voie à une intégration plus systématique de solutions préfabriquées, tout en réduisant les risques

d'erreur sur le chantier. Enfin, une optimisation du séquençage des travaux constitue un levier important pour accélérer la vitesse de construction et d'accroître la rentabilité globale du projet.

Finalement, l'optimisation des solutions hybrides bois-acier-béton doit se poursuivre afin d'améliorer l'efficacité des processus de conception et de construction. L'exploration de nouvelles méthodes d'assemblage, la préfabrication avancée et l'amélioration des performances acoustiques sont des pistes prometteuses pour accroître la compétitivité de ces structures.

4. Bibliographie

1. Code de Construction 2015, Gouvernement du Québec, Québec, 2015.
2. CSA O86:19, Engineering Design in Wood, Canadian Standards Association, Mississauga, ON, Canada, 2019.
3. ASTM E90-19, Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
4. ASTM E336-19, Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Attenuation Between Rooms in Buildings, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
5. ASTM E413-16, Classification for Rating Sound Insulation, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
6. ISO 12354-1:2017, Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2017.
7. ASTM E1007-18, Standard Test Method for Field Measurement of Tapping Machine Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies and Associated Support Structures, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
8. ASTM E989-06(2016), Standard Classification for Determination of Single Number Metrics for Impact Noise, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
9. ISO 10848-1:1998, Laboratory and field measurements of structure-borne sound — Part 1: Impact sources and receivers, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1998.
10. Manuel Canadien sur le CLT, FPInnovations, Québec, Canada, 2019.
11. Acousti-Tech Sofix. Disponible en ligne :
<https://www.acousti-tech.com/produits/details/acoustitech-sofix-122>
12. FrameHome – A Sound Mass Timber Success Story. Disponible en ligne :
<https://framehome.com/content/uploads/2020/12/A-Sound-MassTimber-Success-Story2-1.pdf>

13. Annexes

N/A