

« 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

« 27 juin 2025 »

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.....	2
2.2.2 Échéancier global et durée.....	3
2.2.3 Budget global	3
2.2.4 Partenaires.....	3
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	7
3.1.2 Méthodologie : Structure Hybride	7
3.1.3 Résultats et analyse : Structure Hybride	8
3.2 Introduction et hypothèses de départ : Acoustique	12
3.2.1 Objectifs : Acoustique.....	14
3.2.2 Méthodologie : Acoustique	15
3.2.3 Résultats et analyse : Acoustique	16
3.3 Introduction et hypothèses de départ : Balcons	21
3.3.1 Objectifs : Balcons.....	21
3.3.2 Méthodologie : Balcons	21
3.3.3 Résultats et analyse : Balcons	21
3.4 Introduction et hypothèses de départ : Modèle reproductible	24
3.4.1 Objectifs : Modèle reproductible	25
3.4.2 Méthodologie : Modèle reproductible	25
3.4.3 Résultats et analyse : Modèle reproductible.....	26
3.5 Conclusions	27
3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	28
3.7 Recommandations	28
4. Bibliographie.....	29

5. Annexes	29
------------------	----

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Ce rapport présente la conception 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 sera 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 servira d'exemple aux futurs

bâtitseurs 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 sera 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 proposera 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 sera construite au-dessus du sous-sol existant, qui contient le stationnement commun aux 5 phases du complexe. 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.

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	Juillet	2025

Durée approximative du projet : ±19 mois

Durée de début : Novembre 2023

Durée de fin : Juillet 2025

Durée de mise en service du bâtiment : Juillet 2025

2.2.3 Budget global

Le coût total estimé du projet s'élève à 24 150 000\$ incluant le terrain, les honoraires des professionnels, la construction et tous les aspects administratifs. Le budget de construction estimé s'élève à 18 460 000\$.

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

2.2.5 Défis et risques généraux

Les risques généraux du projet découlent de sa nature novatrice, notamment en raison des défis techniques associés à la nature du bois massif et de la courbe d'apprentissage de l'équipe de conception. L'intégration de nouvelles pratiques de construction et l'adoption de solutions innovantes peuvent entraîner des périodes d'adaptation, affectant potentiellement les détails, les coûts et l'optimisation des solutions constructives. Un défi pour le projet ANDAS consistera à communiquer efficacement auprès des futurs occupants sur la performance acoustique du bâtiment hybride bois-acier. Comme démontré dans d'autres projets novateurs en bois massif tels qu'Arbora, convaincre les utilisateurs finaux que les performances acoustiques d'un bâtiment en bois massif exposé sont équivalentes, voire supérieures, à celles des constructions traditionnelles en béton ou en acier représente un défi important.

Les risques techniques du projet sont les suivants :

- Défis liés à la connexion des murs de contreventement en acier à haute ductilité avec les diaphragmes en bois, tout en assurant la ductilité requise et la protection sismique ;
- Conception d'un assemblage de plancher novateur dépassant les exigences acoustiques minimum, considérant le défi que représente l'utilisation du bois massif, en plus d'avoir un plafond de bois totalement exposé dans les espaces de vie des logements ;
- Utilisation de produits acoustiques novateurs dans un usage multi-résidentiel ;
- Précision d'exécution des assemblages et jonctions, essentielle pour garantir l'atteinte du niveau de performance acoustique souhaité ;
- Protection incendie des connexions entre la structure en bois et en acier dans un contexte de structure exposée ;
- Complexité d'exécution en chantier, liée à la gestion des intempéries et à la protection adéquate du bois massif ;
- Coordination accrue des systèmes MEP ;
- Rareté de la main-d'œuvre qualifiée ;
- Gestion serrée de l'échéancier d'exécution et de la séquence des travaux.

Les risques financiers du projet sont les suivants :

- La petite taille du projet rend sa rentabilité plus complexe à atteindre ;
- Le système de construction en bois massif est plus coûteux qu'un autre système structurel conventionnel ;
- Les coûts des matériaux des systèmes sous-jacents, engendrés par l'utilisation d'une structure en bois massif, engendrent des coûts collatéraux supplémentaires ;
- La conception d'un plafond en bois exposé, tout en garantissant un niveau de performance acoustique conforme, requiert l'achat de produits acoustiques supplémentaires, générant des frais supplémentaires ;

- La disponibilité limitée de certains produits acoustiques spécifiques sur le marché québécois peut entraîner des coûts plus élevés ou des délais prolongés dans l'approvisionnement ;
- Le temps de coordination accru pour intégrer les systèmes MEP à la structure préfabriquée peut allonger les délais de conception ;
- Le temps de formation et de collaboration requis par tous les intervenants du projet, lié à la courbe d'apprentissage, peut générer une implication accrue de l'équipe ;
- Les coûts imprévus liés à la coordination sur le chantier, en raison de la faible flexibilité du système préfabriqué, peuvent également augmenter les dépenses globales et délais du projet.

Plusieurs stratégies seront utilisées au cours du projet pour réduire les risques :

- Architecture modeste et contrôlée, sans grande complexité volumétrique ;
- Architecture à l'intérieur du cadre réglementaire (aucune demande de mesures différentes auprès de la RBQ) ;
- Prioriser un rapport judicieux entre le coût et les bénéfices ;
- Assurer un suivi serré pour la sélection des matériaux ;
- Utilisation de la modélisation BIM « *Building Information Modeling* » pour permettre une coordination accrue en amont des systèmes MEP ;
- Présence accrue dans la surveillance de chantier ;
- Alliance avec des spécialistes en acoustique qui possèdent de l'expérience dans la construction en bois massif ;
- Établissement de canaux de communications clairs et réguliers avec toutes les parties prenantes ;
- Rigueur technique et mise en place de processus de contrôle qualité ;
- Formation accrue de tous les intervenants (professionnels, gestionnaires, ouvriers, etc.) ;
- Participation à des ateliers et conférences sur la construction en bois massif ;
- Développement d'un réseau d'experts en construction en bois massif ;
- Visites de projets résidentiels en bois massif.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ : Structure Hybride

L'approche souhaitait principalement introduire le bois massif et assurer une répétabilité d'un modèle multi-résidentiel de 6 étages ou moins pour notre industrie. L'approche initiale était une structure hybride combinant le bois massif et des murs de refend en béton préfabriqué. La décision de remplacer le béton par un système de contreventement en acier a été évaluée selon le cheminement suivant :

1. Selon les axes longitudinaux et un système poutres-poteaux, l'optimisation du matériau CLT impose une distance d'environ 6 mètres entre les axes principaux et une épaisseur de 175mm. Cette trame tient aussi compte d'une structure en béton optimisée au sous-sol respectant à la fois un programme fonctionnel et efficace de stationnement automobile et l'intégration d'une

superstructure en bois. Ce remplacement du béton par le bois uniquement au-delà du rez-de-chaussée est fondamental pour tirer le meilleur parti de chaque matériau et rendre l'usage du bois viable. Il permet d'éliminer des transferts et sur-excavation au profit d'une réelle efficacité.

2. Les conditions géotechniques étant spécifiques à chaque contexte, il demeure crucial pour l'indice de répétabilité d'élargir les possibilités en considérant des sites ayant des classifications sismiques plus défavorables. Un site de classe A versus E pour la région de Montréal peut entraîner une différence d'effort sismique de 400%.
3. Nous avons opté pour le béton préfabriqué pour gérer la résistance latérale du bâtiment. Chemin faisant, nous avons de nouveau comparé cette option de mur de refend en béton préfabriqué avec celle du béton coulé, et même celle du contreventement en acier.
4. Le mur de refend coulé peut être intéressant pour un bâtiment de plus grande hauteur, ce qui permet d'ériger cet élément de structure en avance sur la structure de bois et d'accélérer le chemin critique. Cet avantage n'est pas pertinent en raison de la hauteur de bâtiment de 6 étages.
5. Le mur de refend préfabriqué retenu est intéressant, car il introduit un aspect de rapidité. L'enjeu principal de ce système réside dans le fait que les codes actuels ne permettent pas d'utiliser le matériau à son plein potentiel. L'utilisation de coupleur mécanique d'étage en étage pour assembler les panneaux entre eux limite la ductilité et donc la réduction des efforts sismiques potentiels.
6. Les contreventements en acier, par contre, deviennent intéressants comme nouvelle solution pour la répétabilité, étant un système très ductile se comportant plutôt bien lors d'un événement sismique. La solution restera pleinement viable si la classification d'un site est de classe E, qui requiert un système plus ductile pour réduire les efforts latéraux et maintenir le même système de structure hybride pour la portion hors sol.
7. Nous pouvons ouvrir le raisonnement sur le futur des codes et ce qui se fait dans le monde au niveau de la résilience. Actuellement, le CNBC exige un système offrant une ductilité définie qui permet de rendre les bâtiments sécuritaires lors d'événements sismiques. Les codes actuels ne considèrent pas l'aspect de réhabilitation du même bâtiment post-séisme. La majorité des codes dans le monde s'orientent vers une approche de résilience compte tenu des enjeux économiques majeurs. Pensons à la ville de Christchurch en Nouvelle-Zélande, où tous les nouveaux bâtiments sont maintenant conçus avec des systèmes de contreventements en acier à cause de la facilité de la réhabilitation suite à un séisme. Ces systèmes permettent donc de rendre les bâtiments réutilisables après un séisme, en comparaison avec des murs de refend en béton où la majorité des bâtiments doivent être démolis, étant donné qu'aucun travail simple n'est possible pour réparer ceux-ci.
8. Au Canada, nous voyons l'introduction dans le CNBC 2020 d'une approche de résilience des bâtiments selon les catégories sismiques et les types de bâtiments. On comprend donc que

l'innovation d'utiliser de l'acier plutôt que du béton préfabriqué nous permet de nous aligner avec les futurs codes pour une vision pérenne.

3.1.1 Objectifs : Structure Hybride

L'objectif est d'évaluer des systèmes de contreventement innovants et répliquables pour des projets futurs. Dans le cas des bâtiments multi-résidentiels, l'utilisation de systèmes bois massif/acier ou bois massif/béton préfabriqué représentent des concepts d'intérêt pour une structure de 6 étages. L'étude a donc comparé ces deux systèmes.

3.1.2 Méthodologie : Structure Hybride

Un système hybride vise à utiliser chaque matériau de manière optimale en exploitant ses propriétés à leur plein potentiel, dans le but d'optimiser la structure. La performance, la résilience, la durabilité, l'empreinte carbone et l'économie sont autant d'éléments qui nécessitent une analyse approfondie pour garantir la viabilité d'un projet.

Les paramètres suivants ont été étudiés pour assurer une structure hybride optimale :

- **Rigidité** : La stratégie sismique pour un bâtiment de 6 étages consiste à obtenir une structure suffisamment rigide pour satisfaire les exigences de déformation du Code national du bâtiment du Canada (CNBC), tout en restant assez flexible pour éviter l'amplification des efforts. L'acier présente une performance supérieure au béton préfabriqué dans ce contexte.
- **Résilience** : Lors d'un séisme, un mur de refend en béton préfabriqué dissipe l'énergie par la plastification de l'armature en flexion, ce qui entraîne des fissurations nécessitant des réparations majeures après l'événement. En revanche, un système de contreventement en acier se révèle plus résilient et, en fonction de l'intensité du séisme, peut être remplacé avec des moyens plus modestes.
- **Diaphragme** : L'utilisation de panneaux CLT au niveau des planchers assure une bonne rigidité latérale pour maîtriser les déplacements. L'emploi d'un système en acier ou en béton préfabriqué n'affecte pas le comportement ni l'efficacité du diaphragme. L'intégration de collecteurs en bois connectés aux deux systèmes offre des résultats similaires, avec des détails de connexion comparables.
- **Assemblages** : L'acier est plus efficace, car les connexions peuvent être dissimulées dans le bois, répondant ainsi aux exigences de résistance au feu sans avoir recours à de la peinture intumescente. Cela ajoute une valeur esthétique et élimine le besoin de retombées en gypse.
- **Nombre d'éléments** : Le même nombre d'éléments est nécessaire.
- **Empreinte carbone** : L'acier, en fonction du volume requis pour le contreventement, présente un bilan carbone inférieur à celui du béton.

- **Singularité** : Une partie du bâtiment est construite au-dessus d'un bâtiment existant, avec la cage d'ascenseur adjacente aux fondations actuelles. L'utilisation d'un système de contreventement en béton préfabriqué aurait nécessité des travaux structuraux importants sur le bâtiment existant pour intégrer un nouveau radier. En revanche, les contreventements en acier ont pu être positionnés au-dessus de l'allée de circulation sans réduire les hauteurs libres des sous-sols, qui doivent respecter les normes pour les personnes à mobilité réduite. Cette configuration a permis de positionner les nouvelles fondations plus loin de la zone existante, optimisant ainsi la stratégie d'excavation et minimisant les travaux additionnels. Cette solution n'aurait pas été envisageable avec le système initial en béton, en raison de la nécessité de poutres additionnelles, ce qui aurait imposé une excavation plus profonde du sous-sol.
- **Échéancier** : La mise en place de béton préfabriqué exige des ouvertures dans les murs, remplies par coulis, avec un délai pour que le béton atteigne sa pleine capacité. En revanche, les contreventements en acier et leurs connexions sont installés mécaniquement, ce qui améliore la productivité. Une découverte importante a été que l'acier peut être installé directement par le fournisseur de bois massif, qui engage des monteurs d'acier certifiés afin d'assurer une installation conforme aux exigences de la CCQ. Cette coordination simplifiée entre les lots contribue à accroître la rapidité d'exécution sur le chantier en réduisant le nombre de sous-traitants.
- **Logistique de chantier** : Compte tenu des dimensions restreintes du site (situation assez fréquente), l'utilisation d'équipements de levage de grande capacité représentait une contrainte. Les contreventements en acier, plus légers, n'exigent pas de tels dispositifs.
- **Aménagement** : L'utilisation de murs de refend en béton préfabriqué nécessite une emprise plus importante, réduisant ainsi l'espace locatif. En revanche, les contreventements en acier peuvent être intégrés dans les cloisons mitoyennes entre les logements.
- **Économique** : L'acier étant utilisé à grande échelle, il bénéficie d'une disponibilité accrue et d'un réseau de fournisseurs plus vaste que celui du béton préfabriqué. Malgré nos recherches, l'industrie du béton préfabriqué ne répond pas aisément aux défis de coûts compétitifs en fonction de la valeur connue au m³ du béton préfabriqué. Par ailleurs, la possibilité de coordination directe avec le fournisseur de bois massif permet de réduire les coûts de main-d'œuvre et de simplifier l'installation. L'analyse comparative des coûts a ainsi démontré que les contreventements en acier offrent une solution plus avantageuse sur le plan économique.

3.1.3 Résultats et analyse : Structure Hybride

L'étude met en évidence les avantages indéniables de l'utilisation d'un système hybride en bois massif et acier pour un projet de 6 étages. L'objectif principal était d'évaluer des solutions innovantes et répliquables, susceptibles de servir de modèles pour des projets multi-résidentiels futurs. Après avoir comparé les deux systèmes hybrides, les bénéfices du système combinant le bois massif et l'acier sont apparus comme étant particulièrement évidents. Voici un résumé des principaux avantages observés :

- L'acier offre une performance supérieure en termes de rigidité par rapport au béton préfabriqué ;
- En cas de séisme, l'acier présente une résilience accrue, car il permet un remplacement plus facile et moins coûteux que le mur en béton préfabriqué ;
- Les assemblages sont optimisés, car les connexions peuvent être dissimulées dans le bois, offrant une finition plus esthétique et un montage plus rapide ;
- L'acier présente un bilan carbone plus favorable en fonction du volume nécessaire pour le contreventement, contribuant ainsi à un impact environnemental réduit ;
- La productivité est améliorée pendant l'échéancier, car les contreventements en acier et leurs connexions sont installés mécaniquement ;
- Les contreventements en acier peuvent être intégrés directement dans les murs mitoyens, maximisant ainsi l'espace disponible dans les logements.

Ces avantages font de l'utilisation de l'acier un choix stratégique pour des constructions efficaces, durables et adaptées aux défis du secteur multi-résidentiel.

Les figures ci-dessous démontrent les détails conçus pour le projet en utilisant un système hybride en bois massif et acier :

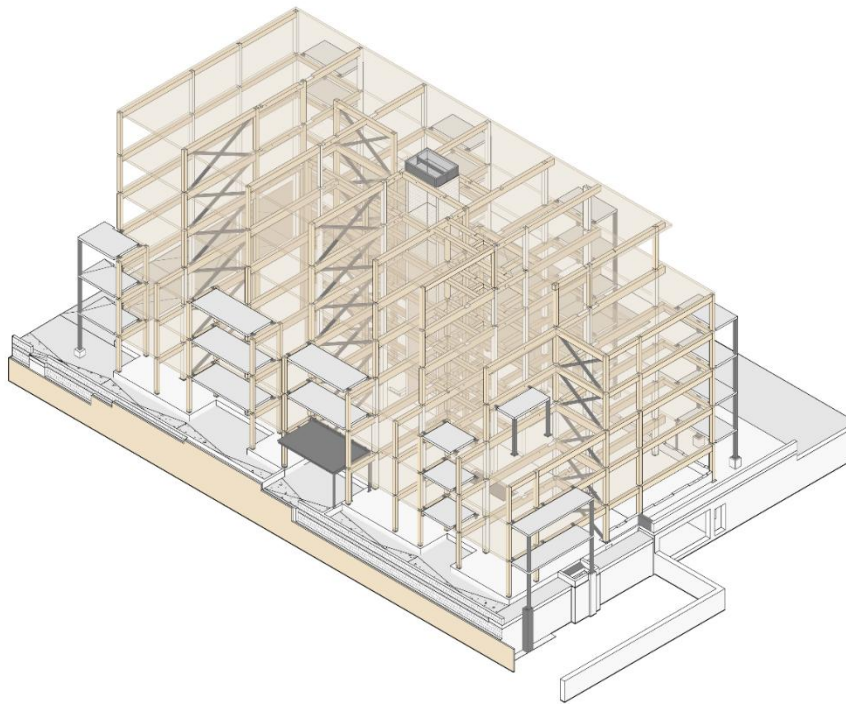


Figure 1: Axonométrie structure hybride bois-acier

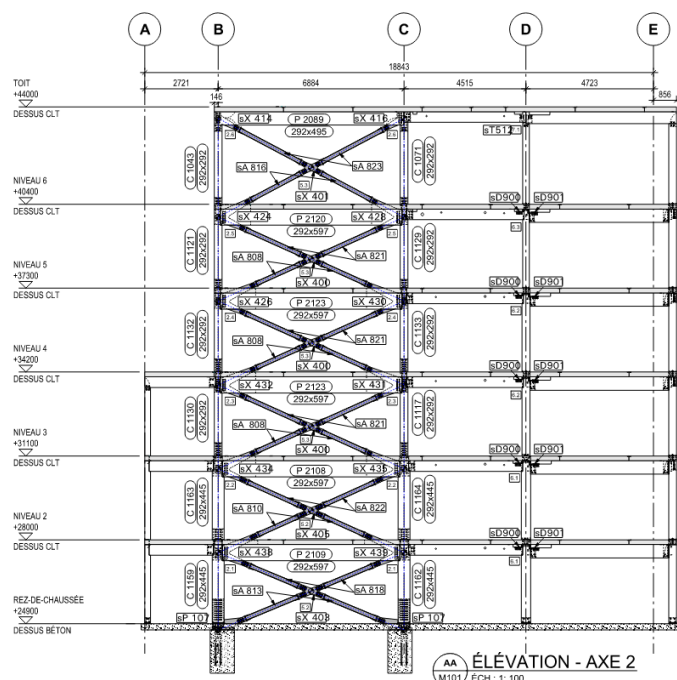


Figure 2 : Élévation structure de bois avec contreventement en acier

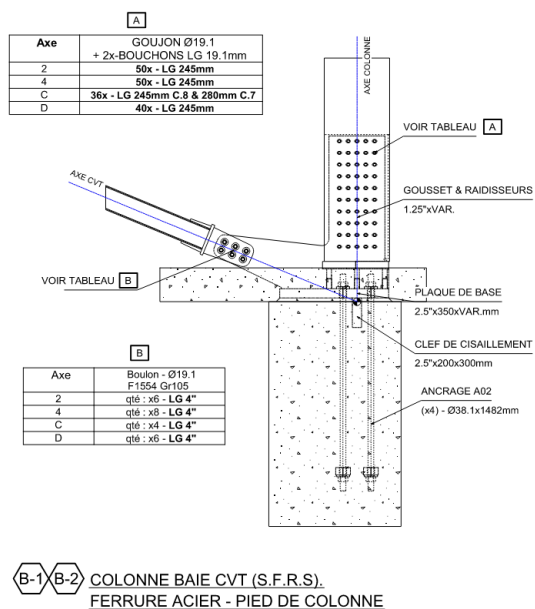


Figure 3 : Jonction contreventement au rez-de-chaussée (bois – acier – béton)

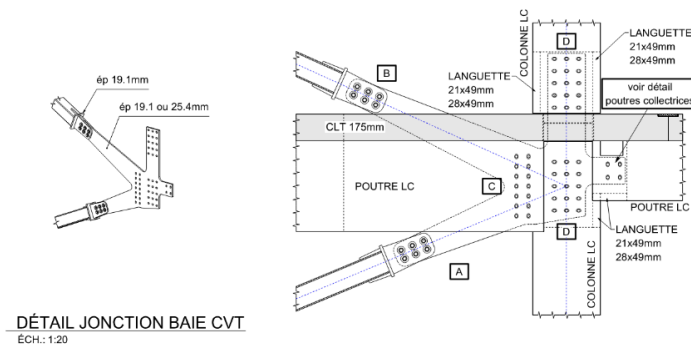


Figure 4 : Jonction structure de bois et contreventement en acier

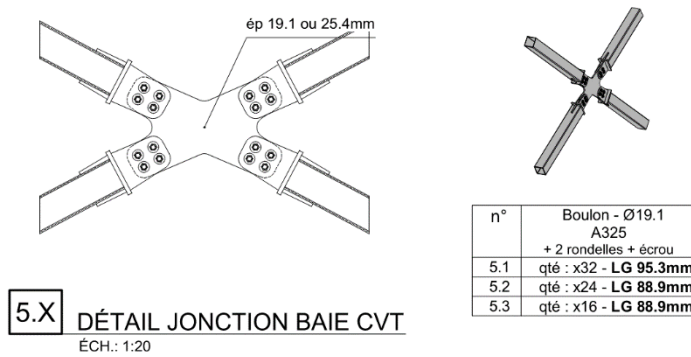


Figure 5 : Jonction contreventement en acier

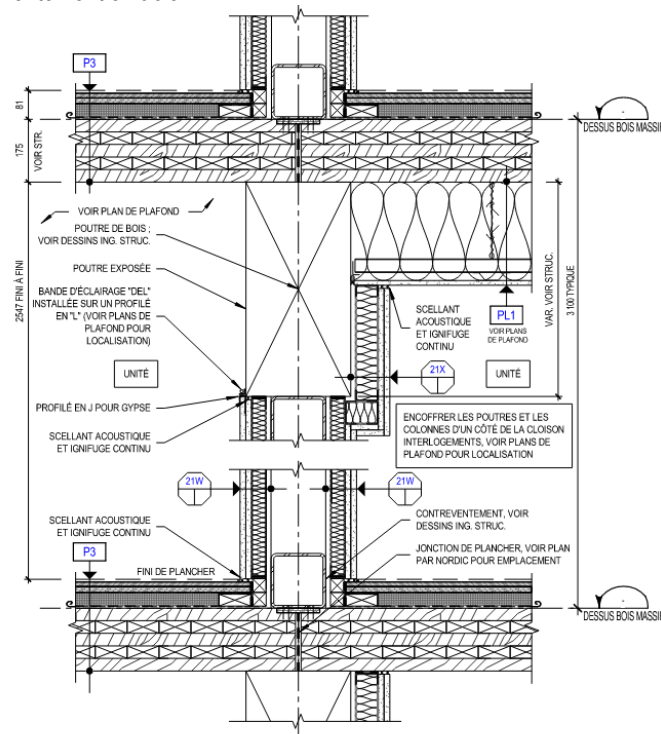


Figure 6: Soufflage sur contreventement

3.2 Introduction et hypothèses de départ : Acoustique

Le bois est reconnu pour être moins performant au niveau acoustique comparativement à une structure traditionnelle de béton. 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 de 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.

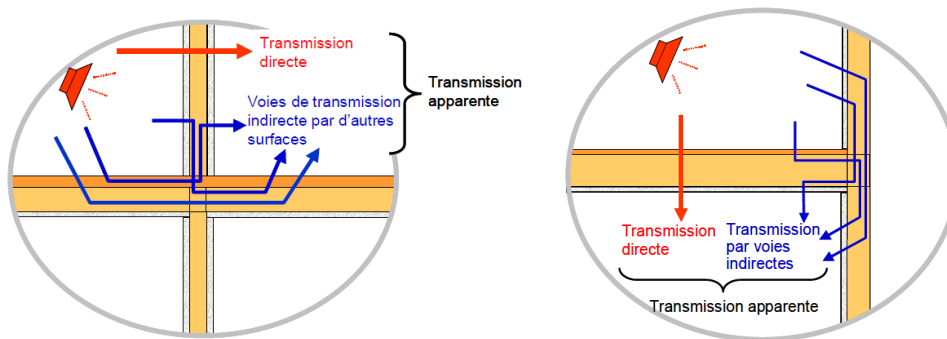


Figure 7: Illustrations des voies de flanquements pour deux pièces séparées horizontalement et verticalement (CNRC, Guide sur l'isolation acoustique des bâtiments à ossature en bois Mars 2006)

Des solutions innovantes pour le traitement de certaines voies de flancements 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 8) 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.

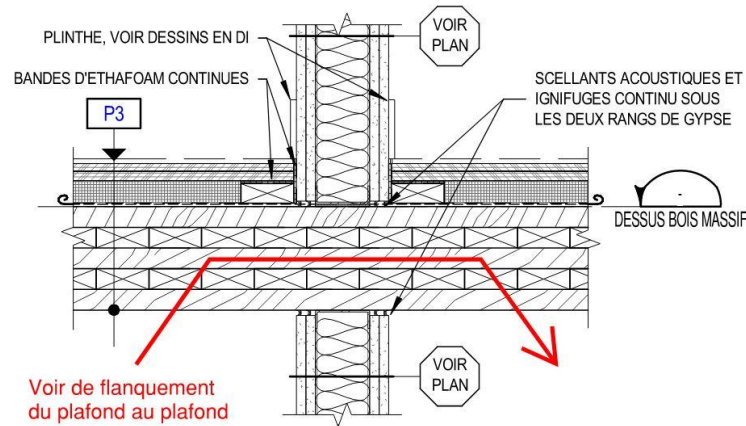


Figure 8 : Voie de flancement du plafond au plafond en condition de panneau de CLT continu sur deux logements

Une approche pour traiter la voie de flancement 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 amélioration de la performance acoustique en flancement grâce à l'assemblage sec est attendue, bien que son ampleur demeure incertaine.

Une autre approche pour traiter la transmission sonore par flancement à travers des panneaux CLT continus consiste à des retombées de plafond localisées (caissons, figure 9), 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 flancement sont extrêmement limitées, ce qui entraîne un manque d'assurance pour les équipes de conception cherchant à éviter le flancement dès les premières étapes du projet.

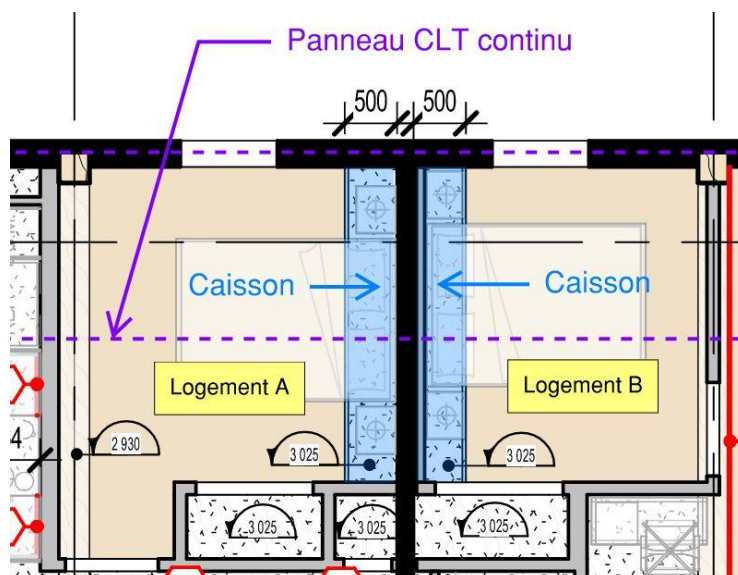


Figure 9 : Intégration de retombées de plafond (caissons) de part et d'autre d'un mur mitoyen

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, apporteraient 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 flanking, 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.

3.2.1 Objectifs : Acoustique

L'objectif est de concevoir un assemblage de plancher « sec » permettant de préserver une structure en bois exposée dans les espaces de vie des logements, et répondant aux cibles de performance acoustique prescrites au Code.

En remplaçant la chape de béton par cet assemblage, le poids de la structure est significativement réduit, ce qui permet d'optimiser les fondations et de rendre le concept répliquable sur des sites aux capacités portantes moins favorables. Cette réduction de masse diminue également les efforts sismiques, directement liés au poids du bâtiment, améliorant ainsi la performance globale de la structure. Par ailleurs, cette approche vise à accélérer le séquençage des travaux, à simplifier la construction en évitant les complications liées à la cure du béton, et à réduire l'empreinte carbone associée à son utilisation.

En parallèle, le traitement des voies de flanquement sera impérativement intégré afin de garantir la performance acoustique de l'assemblage de plancher innovant.

3.2.2 Méthodologie : Acoustique

Les critères techniques suivants ont constitué les fondations de l'évaluation, servant de référence pour analyser et comparer les différentes solutions :

- Performance acoustique ;
- Empreinte carbone ;
- Échéancier ;
- Logistique de chantier ;
- Indice de répétitivité du territoire (réplicabilité).

Le Code national du bâtiment du Canada (CNBC) stipule qu'une unité d'habitation doit être séparée des autres espaces dans un bâtiment par une construction offrant un indice de transmission du son (bruit aérien) d'au moins ITSA 47, ou ITS 50 avec des constructions contiguës conformes à l'article 9.11.1.4 du CNBC (qui ne s'applique pas au bois massif avec plafonds exposés). Aussi, une cloison séparant un logement d'un ascenseur ou d'un vide-ordures doit avoir un indice de transmission du son d'au moins ITS 55.

Le CNBC n'a pas d'exigence spécifique pour le bruit d'impact (IIC), mais recommande une valeur d'indice d'isolement aux bruits d'impact (IIC) de 55 dB ou mieux.

Les normes ci-dessous ont été utilisées lors de l'étude :

- Calculs et modélisations :
 - ISO 12354-1:2017 Acoustique du bâtiment - Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments - Partie 1 : Isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux;
- Mesures sur site :
 - ASTM E336-20 - Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Attenuation between Rooms in Buildings;
 - ASTM E1007-21 - Standard Test Method for Field Measurement of Tapping Machine Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies and Associated Support Structures.
 - EN ISO 10848 – Acoustics - Laboratory and Field Measurement of Flanking Transmission for Airborne, Impact, and Building Service Equipment Sound Between Adjoining Rooms

- Mesures en laboratoire :
 - ASTM E90-09 - Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements
 - ASTM E492-09 - Standard Test Method for Laboratory Measurement of Impact Sound Transmission Through Floor-Ceiling Assemblies Using the Tapping Machine

Tests en chantier :

Suite à la construction, des tests de validation des performances acoustiques seront effectués :

- Mesures de l'isolation acoustique aux bruits d'impact pour les murs et assemblages plancher/plafond : niveaux de bruits d'impacts (ISPL) pour l'assemblage plafond-plancher, mesurés selon les normes ASTM E1007-21 et calcul des indices ISR, IICA et NISR;
- Mesures de l'isolation acoustique au bruit aérien pour les murs et assemblages plancher/plafond, affaiblissements sonores apparents (ATL) mesurés selon les normes ASTM E336-20 et calcul de l'indice de transmission sonore apparente ITSA;
- Mesures de l'isolation acoustique des assemblages de planchers aux basses fréquences (50-250 Hz) pour les bruits aériens et d'impact, non inclus dans les normes ASTM E336 et ASTM E1007;
- Mesures des indices de réduction des vibrations Kij : pour une ou plusieurs jonctions avec un traitement des voies de flanquement spécifique, des tests seront réalisés pour mesurer les indices Kij selon la norme EN ISO 10848.

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. Cette hypothèse pourra être confirmée suivant les tests acoustiques qui auront lieu au chantier. 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.

Les assemblages de plancher retenus sont décrits à la figure 10. 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.

L'assemblage P3 présente l'assemblage de plancher typique du projet, qui intègre le produit Sofix d'AcoustiTECH (figure 11). 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.

Les tests acoustiques de l'assemblage de plancher sec (P3) ont été réalisés sur le chantier de Waverly Avenue à Brooklyn (par HGC Bruit Vibrations Acoustique et AcoustiTECH) pour valider ses performances. Des mesures Kij ont été réalisées entre les deux faces d'un panneau CLT continu, tant avec qu'en l'absence de l'assemblage de plancher Sofix installé à l'étage au-dessus du panneau CLT. Sans cette composition, les mesures Kij ont prédit une classification ITSA d'environ ITSA-44 pour le chemin de flanquement de plafond à plafond, ce qui concorde avec la théorie et les essais en laboratoire pour ce chemin sans assemblage isolé au-dessus ; ce résultat demeure inférieur aux exigences minimales du code canadien. Là où l'assemblage Sofix était installé, la classification ITSA du chemin de flanquement de plafond à plafond s'est améliorée pour atteindre environ ITSA-46, ce qui reste légèrement en deçà des exigences du code canadien. En combinant l'amélioration apportée par l'assemblage acoustique et par les caissons, on prévoit que la performance dépasserait les exigences du code.

En plus des mesures Kij, des mesures ITSA ont été effectuées sur l'ensemble plancher/plafond (avec l'assemblage Sofix) à Waverly, et tous les résultats ont satisfait ou dépassé les critères minimums ITSA stipulés dans les documents du code.

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 12) ;
- 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 13 et 14) ;
- Intégration d'un plafond avec suspentes acoustiques dans la salle à déchets (figures 15 et 16) ;

Les figures ci-dessous démontrent les détails et assemblages utilisés pour assurer la performance acoustique :

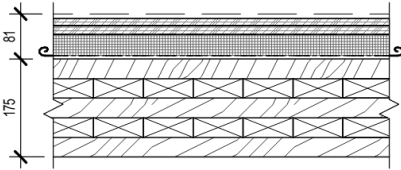
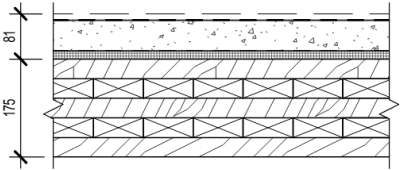
	P3 PLANCHER DE CLT TYPIQUE, ÉTAGES 2 À 6 • PLANCHER STRATIFIÉ 8mm; • CONTREPLAQUÉ 12,7mm; • CONTREPLAQUÉ 15,9 mm; • PANNEAU DÉSOLIDARISANT "SOFIX" D'ACOUSTITECH, 38mm; • MEMBRANE INSONORISANTE "LEAD 6" D'ACOUSTITECH, 6mm; • DALLE DE CLT 175mm, VOIR ING. EN STRUC., AVEC FINI DE PROTECTION APPLIQUÉ SUR LES FACES EXPOSÉES, VOIR DEVIS.
	P4 PLANCHER DE CLT DANS LES SALLES DE BAINS • 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. 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.

Figure 10 : Assemblages de planchers typiques

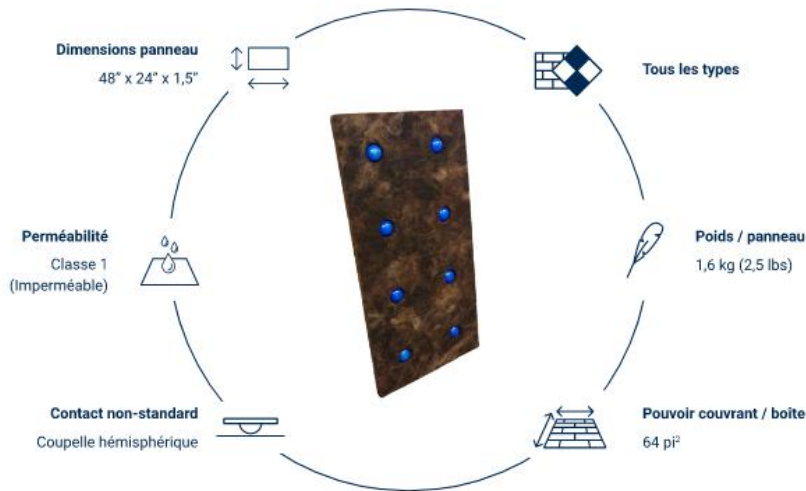


Figure 11 : AcustiTECH Sofix

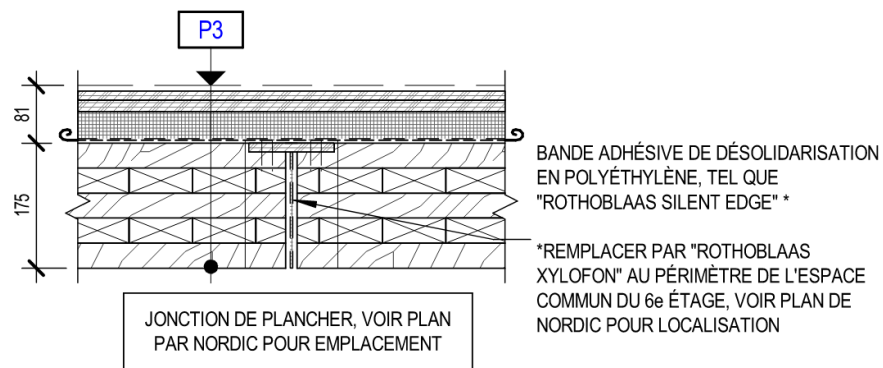


Figure 12 : Jonction des panneaux de CLT avec bande désolidarisante Rothoblaas

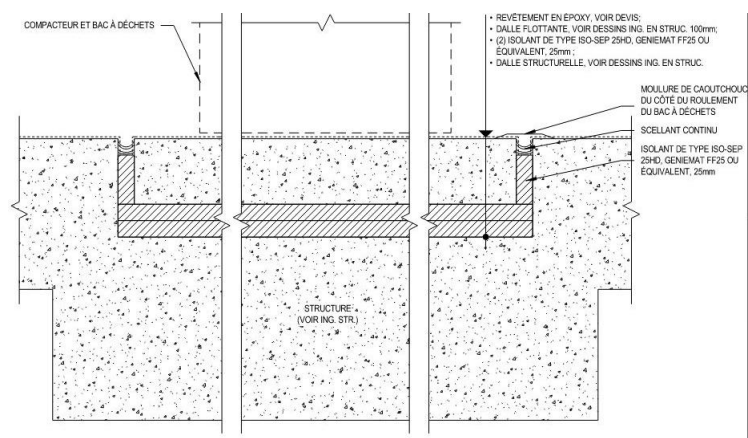


Figure 13 : Dalle isolée pour compacteur à déchets–

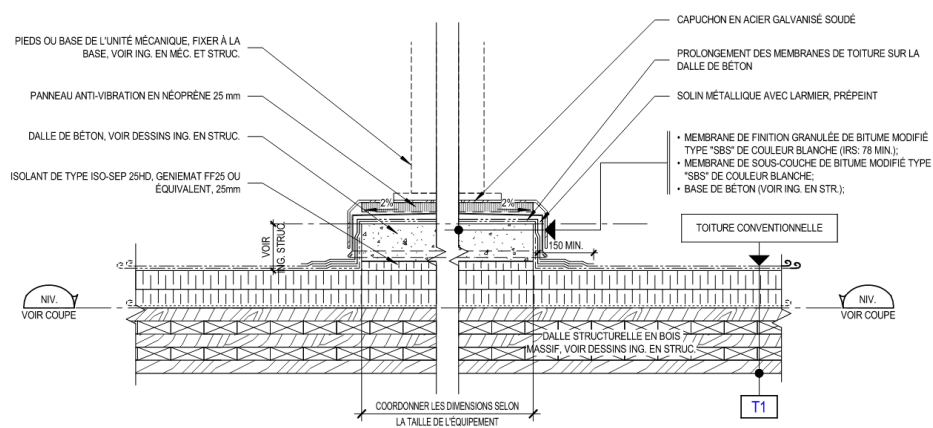


Figure 14 : Dalle isolée au toit pour équipements mécaniques

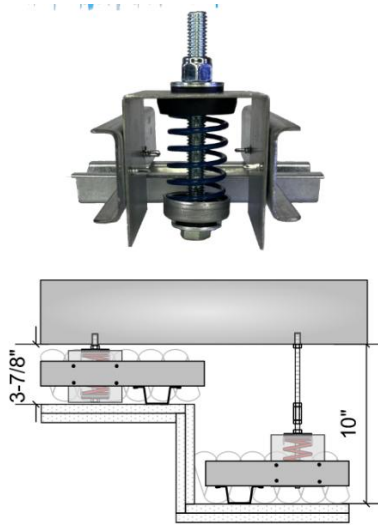


Figure 15 : Suspente acoustique pour plafond de la salle à déchets (produit RSIC-SI-CRC2 LP de PAC International)

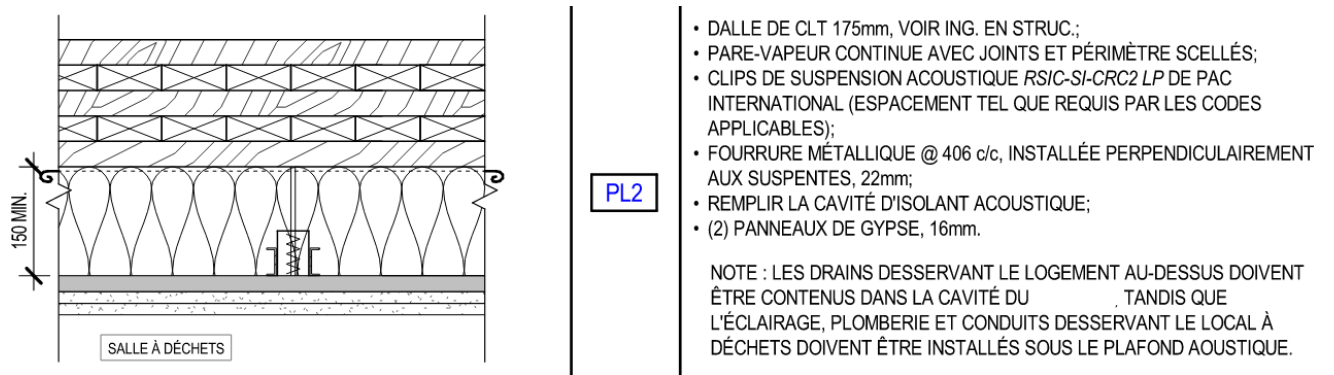


Figure 16 : Assemblage de plafond de la salle à déchets

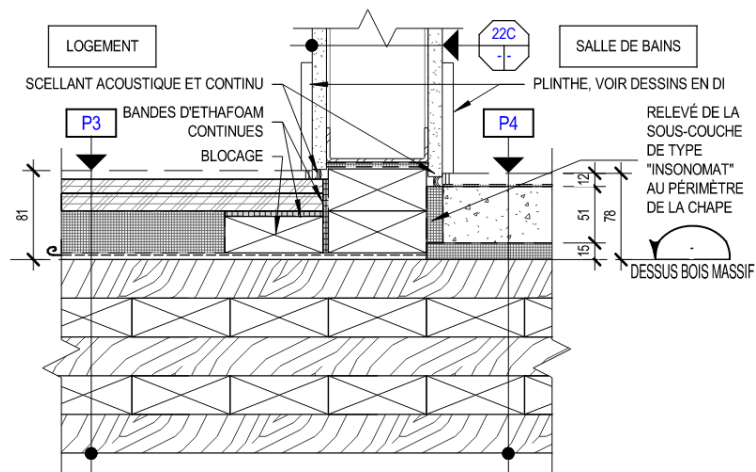


Figure 17 : Jonction des planchers à la cloison de la salle de bains

3.3 Introduction et hypothèses de départ : Balcons

La conception des balcons et de leur ancrage constitue un défi complexe dans les bâtiments en bois massif. Le projet aspire à développer une solution à la fois économique et durable, inspirée des bâtiments à ossature légère en bois.

Afin de réduire les coûts, l'hypothèse de départ consiste à supporter les balcons en béton préfabriqué à l'aide de poteaux d'acier extérieurs, ce qui permet d'éliminer l'utilisation de tiges flexibles. Ces dernières sont des éléments métalliques traversant l'enveloppe pour suspendre les balcons à la structure du bâtiment, et sont couramment utilisées dans les bâtiments multi-résidentiels en bois massif. En contrepartie, l'ajout de poteaux extérieurs permet de reprendre directement les charges des balcons en permettant de moins solliciter la structure intérieure. Dans les situations où cette conception n'est pas possible, par exemple sur les façades en retrait, nous avons prévu une alternative en ancrant les balcons à des poteaux intégrés directement dans l'enveloppe du bâtiment, ces poteaux étant solidement ancrés aux dalles de CLT. Dans les deux cas, l'ancrage sera réalisé à l'aide de connecteurs avec bris thermique.

La composition de ces balcons incombustibles permet entre autres d'éviter l'utilisation de gicleurs à sec et minimise également les percements dans l'enveloppe.

3.3.1 Objectifs : Balcons

L'objectif de la conception des balcons est de trouver un équilibre optimal entre efficacité économique, durabilité et flexibilité. La solution retenue doit offrir une conception harmonieuse, polyvalente et adaptée aux balcons multi-résidentiels. Elle doit également s'intégrer aux spécificités d'une structure en bois massif. Par ailleurs, l'intégration d'un bris thermique est essentielle pour garantir une performance thermique optimale.

3.3.2 Méthodologie : Balcons

La conception des balcons a été réalisée en tenant compte des critères techniques suivants :

- Rigidité ;
- Résilience, entretien et réparation ;
- Performance thermique ;
- Simplicité des connecteurs ;
- Empreinte carbone ;
- Singularité et intégration architecturale ;
- Logistique de chantier ;
- Aménagement ;
- Indice de répétitivité du territoire (réplicabilité).

3.3.3 Résultats et analyse : Balcons

La conception des balcons repose sur un détail de connexion de type corbeau d'acier avec bris thermique (figure 17), garantissant une simplicité constructive et une cohérence architecturale sur

l'ensemble du projet. Ce principe est appliqué uniformément à tous les types de balcons, à l'exception des « Juliettes ».

Il est à noter que les balcons en saillie (sans poteaux) ont été remplacés par des balcons de type « Juliette » (figure 15). Cette modification a permis d'éliminer le détail d'ancrage alternatif initialement prévu, qui intégrait des HSS dans l'enveloppe du bâtiment, pour simplifier l'approche constructive.

L'approche retenue permet d'atteindre un résultat harmonieux tout en intégrant trois options de balcons typiquement utilisés pour un projet multi-résidentiel : Juliette, sur poteaux et en loggia (figure 15).

La conception finale repose sur les principes suivants :

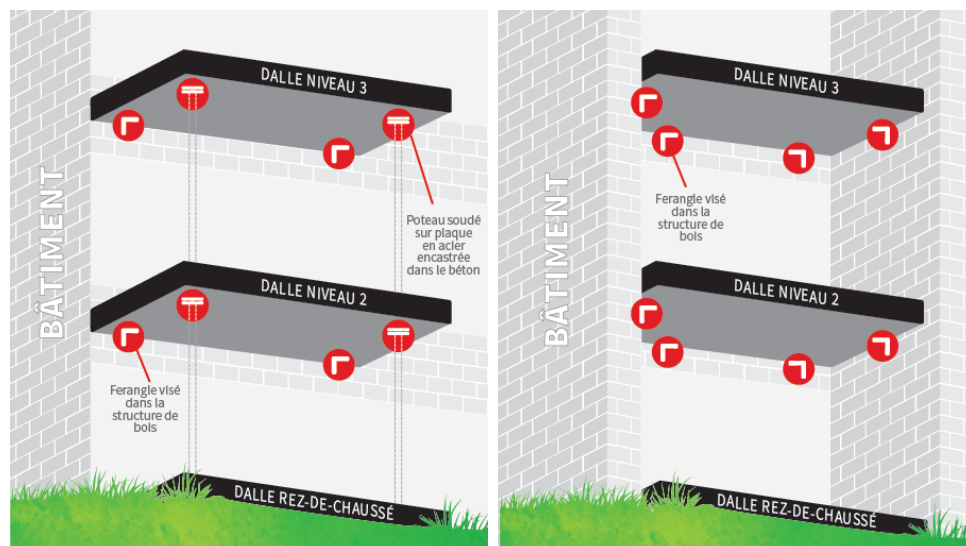
- **Intégration de balcons de béton préfabriqué** : Un matériau robuste pour assurer une durabilité accrue ;
- **Appui de type « corbeau »** : Un connecteur simple et efficace, adapté à une structure en bois massif ;
- **Optimisation de l'efficacité énergétique** : Intégration d'un bris thermique de type *Fabreeka* à la jonction avec le bâtiment pour améliorer la performance thermique ;
- **Colonnes aux extrémités du balcon** : Réduction des charges aux points de connexion avec la structure en bois, assurant une meilleure répartition des efforts ;
- **Dégagement en rive de bâtiment** : Maintien de l'espace nécessaire pour l'installation continue de la brique sur les trois étages inférieurs, avec appui sur la fondation.

Des mesures sont prévues pour limiter le transfert thermique au niveau des connexions. De l'isolant sera installé sur les plaques d'ancrage fixées au CLT afin d'assurer une isolation continue entre l'enveloppe et les balcons. De plus, un bris thermique de type *Fabreeka* sera inséré entre la plaque d'ancrage et le fer angle supportant les dalles de béton préfabriqué (figure 17). Cette pièce agit comme une barrière thermique, réduisant la conduction de chaleur ou de froid à travers l'assemblage métallique. Ensemble, l'isolant et le bris thermique permettent d'atteindre une performance thermique conforme aux exigences du projet, en évitant les concentrations de froid qui pourraient nuire à l'efficacité énergétique globale ou engendrer de la condensation dans l'enveloppe.

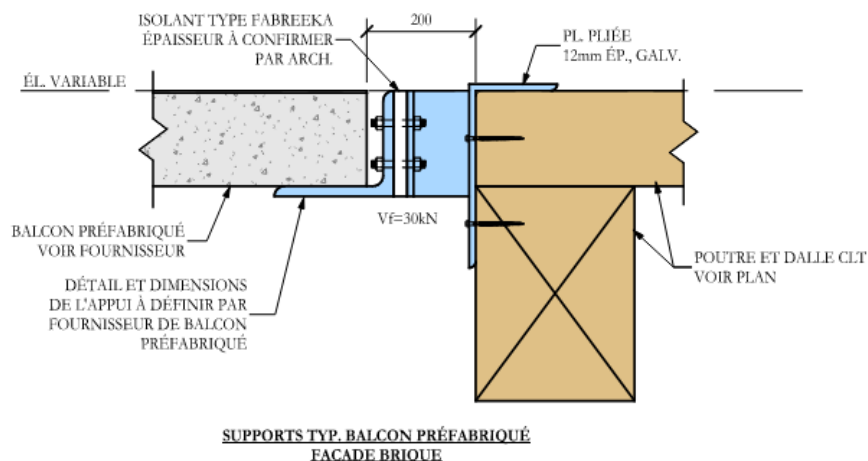
Les figures ci-dessous illustrent les détails de balcons développés :



Figures 15 : Schéma des différents types de balcons. Juliettes en rose, balcons sur poteaux en bleu, et loggias en vert.



Figures 16 : Principe d'ancrage des balcons sur corbeaux et poteaux (gauche), et balcons en loggia sur corbeaux (droite)



Figures 17 : Détail de corbeau avec bris thermique (applicable à tous les balcons à l'exception des Juliettes)

3.4 Introduction et hypothèses de départ : Modèle reproductible

Le quatrième axe d'innovation repose sur la conception d'un modèle reproductible de bâtiment multi-résidentiel en bois massif exposé de 6 étages. L'objectif principal est de concevoir une structure qui soit non seulement esthétiquement remarquable, mais également facilement répliquable et économiquement viable grâce à des stratégies d'architecture sérielle bien réfléchies. Malgré les défis inhérents qu'une structure de bois exposée représente, il est prévu que le projet respecte les limites du cadre réglementaire en vigueur. Cette démarche stratégique est entreprise afin de simplifier le processus de conception et d'augmenter les chances de reproductibilité du modèle, inscrivant ainsi le projet dans une perspective durable et conforme aux exigences normatives.

Diverses stratégies de conception ont été mises en œuvre pour parvenir à ce prototype reproductible. Au cœur de l'élaboration de cette preuve de concept, l'optimisation des coûts par rapport aux bénéfices a été érigée comme principe directeur fondamental, guidant chaque étape du processus avec rigueur afin de garantir tant la viabilité économique que la qualité de ce projet novateur.

Les stratégies d'architecture sérielle retenues sont détaillées ci-dessous :

- **Échelle du projet :** De par sa taille modeste de 6 étages de hauteur, le projet se veut d'un prototype permettant de tester un modèle de construction reproductible en bois à prix compétitif en comparaison avec une structure plus traditionnelle telle que le béton. Avec cette échelle et ce type d'usage, une construction combustible est permise à l'égard du Code selon la classification 3.2.2.50. Ceci facilite donc le processus d'acceptation du projet.
- **Volumétrie :** La relative simplicité volumétrique du bâtiment permet de faciliter la mise en œuvre et ainsi, diminuer les surcoûts afin de rencontrer les demandes réelles du marché local. À l'exception de trois retraits d'enveloppe qui favorisent une intégration urbaine harmonieuse,

la volumétrie proposée est simple et régulière, permettant ainsi de faciliter la reproductibilité du système.

- **Enveloppe** : Afin de réduire les risques financiers et diminuer les surcoûts engendrés par des connexions en métaux ouvrés supplémentaires, l'enveloppe en maçonnerie est préconisée uniquement aux étages composant le basilaire, c'est-à-dire aux niveaux 1, 2 et 3. Cette solution permet d'éviter l'ajout de linteaux structuraux et la complexité inhérente de l'assemblage à la structure en bois massif.
- **Balcons** : L'utilisation de balcons de béton préfabriqués vise à réduire les coûts globaux grâce à des délais de construction plus courts, à des coûts de main d'œuvre réduits et à une réduction des déchets de matériaux. De plus, le processus de préfabrication permet de minimiser les erreurs, contribuant ainsi à des économies de coûts supplémentaires.
- **Structure hybride bois-acier** : Face à la réalité actuelle du marché au Québec, notamment à Montréal, une structure hybride combinant un système de contreventement en acier à un système structural en bois massif (poutres, poteaux & planchers) est développée. Cette stratégie vise à atténuer les risques financiers tout en limitant substantiellement l'usage de matériaux à forte empreinte carbone.

3.4.1 Objectifs : Modèle reproductible

L'objectif principal est de concevoir une structure à la fois esthétiquement remarquable, facilement reproductible et économiquement viable, en s'appuyant sur des stratégies d'architecture sérielle rigoureusement élaborées. Une évaluation approfondie des innovations mises en œuvre sera réalisée à la fin du chantier, permettant ainsi d'en mesurer pleinement les impacts et d'affiner le prototype grâce aux résultats obtenus.

3.4.2 Méthodologie : Modèle reproductible

Une analyse technico-économique est en cours afin de comparer l'utilisation d'une structure en bois massif à celle d'une structure traditionnelle en béton. Cette étude comparative vise à établir un précédent significatif, à enrichir la littérature dans le domaine et à favoriser le partage de connaissances au sein de l'industrie de la construction. Plus spécifiquement, elle a également pour but de mieux outiller les intervenants d'un projet, les dotant d'informations utiles pour favoriser l'adoption du bois massif dans des projets multi résidentiels de moyenne hauteur.

Le prototype innovant est comparé à un bâtiment dit « référence », dont la conception respecte en tout point une structure traditionnelle en béton. Cette étude comparative est menée sous différents angles, notamment :

- Analyse coût-bénéfice pour reproductibilité du modèle ;
- Analyse financière comparative entre modèle hybride vs. 100% béton ;
- Analyse comparative de l'empreinte carbone ;
- Délais d'exécution ;
- Défis de chantier.

Cette démarche permettra de tirer des enseignements concrets sur la faisabilité et la viabilité du bois massif dans le contexte du marché multi-résidentiel actuel.

3.4.3 Résultats et analyse : Modèle reproductible

Les budgets préliminaires du projet à structure de bois massif et acier (prototype innovant) vs. 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	17 579 702 \$	15 517 987 \$
Contingences	878 985 \$	775 899 \$
Sous-total coûts directs	18 458 687 \$	16 293 886 \$
Coûts indirects	1 178 485 \$	1 016 446 \$
Grand total	19 637 172 \$	17 310 332 \$

La différence budgétaire s'élève à 2 326 840 \$, soit 13.4% de plus pour la structure bois-acier comparée à une structure 100% béton avec un degré de finition standard. 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 18 464 472 \$, réduisant ainsi l'écart à 6,7 % par rapport à l'option en béton.

Le rapport préliminaire des émissions de GES révèle une réduction de 43 % de CO₂ pour le scénario en bois en comparaison avec celui en béton (voir rapport GES pour la ventilation du calcul). Cette évaluation préliminaire inclut la structure du bâtiment (sous-sol + hors-sol) ainsi que les assemblages de plancher acoustique.

Les défis de chantier pourront être confirmés en fin de projet, mais les enjeux anticipés concernent surtout la gestion des conditions climatiques et les travaux de reprise de marques sur le bois, afin d'assurer une finition intérieure de haute qualité.

L'étude en cours permet également d'anticiper un gain de temps d'environ deux mois dans l'exécution des travaux grâce à l'utilisation du bois massif. Cette accélération s'explique notamment par la rapidité d'installation de la structure ainsi que l'absence d'étaisements et de temps de cure, contrairement au béton. Ces facteurs permettent d'entamer plus tôt la construction de l'enveloppe et des systèmes intérieurs, optimisant ainsi l'ensemble du chantier. Bien qu'il soit complexe d'attribuer une valeur monétaire précise à cette accélération, il est indéniable que la réduction des

frais généraux du chantier et la mise en service anticipée du bâtiment constituent des avantages financiers significatifs. Il est important de souligner que les frais directs du budget préliminaire n'ont pas été ajustés pour refléter ces gains de temps, ce qui signifie que l'estimation actuelle demeure conservatrice sur ce plan.

Les défis de chantier seront évalués plus précisément en fin de projet, mais les principales contraintes anticipées concernent les coûts liés à la gestion des intempéries ainsi que la reprise des marques sur le bois pour assurer une finition de haute qualité.

Compte tenu des résultats préliminaires – un surcoût de 6,7 % en présence du PICB, une réduction des GES de 39 % pour la structure, un échéancier potentiellement plus court de deux mois, ainsi que les avantages esthétiques et biophiliques du bois – il nous apparaît clair que le scénario bois-acier présente une valeur ajoutée justifiant pleinement son investissement initial.

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 accrue 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. Les tests acoustiques en cours viendront valider ces stratégies, qui pourraient servir de guide de conception pour de futurs projets similaires.

La conception des balcons repose sur une approche cohérente et optimisée, garantissant durabilité, efficacité énergétique et simplicité de mise en œuvre. Le recours à des balcons en béton préfabriqué appuyés sur un système de corbeaux d'acier avec bris thermique améliore à la fois la performance thermique et la stabilité structurelle. L'intégration réfléchie des balcons Juliettes, sur poteaux et en loggia offre une flexibilité architecturale tout en réduisant les complexités d'ancrage dans l'enveloppe du bâtiment.

Sur le plan économique, bien que la structure bois-acier engendre un surcoût initial de 13,4 % par rapport au béton, la subvention PICB permet de réduire cet écart à 6,7 %. Cette approche offre cependant des bénéfices environnementaux majeurs, avec une réduction de 43 % des émissions de CO₂ par rapport à une structure béton. Par ailleurs, le projet pourrait bénéficier d'une réduction du calendrier de construction d'environ deux mois, grâce à une installation rapide de la structure en bois massif et à l'élimination des temps de cure et d'étalement requis pour le béton. Bien que certains défis liés à la gestion des intempéries et aux finitions du bois restent à anticiper, l'ensemble de ces facteurs positionne le scénario bois-acier comme une solution viable et avantageuse, justifiant pleinement son investissement initial.

Ce projet constituera ainsi une référence innovante pour le secteur multi-résidentiel, démontrant que l'utilisation du bois massif en combinaison avec l'acier représente une alternative efficace, durable et économiquement compétitive aux méthodes traditionnelles de construction.

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

ANDAS contribuera à une meilleure compréhension de la valeur ajoutée des structures hybrides combinant bois massif, acier et béton. Cette approche permettra 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 sensibilisera 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. Cette visibilité permettra d'influencer les décideurs et d'encourager une transition plus rapide vers des modèles de construction durables.

Pour conclure, ANDAS se positionnera 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 jouera 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 et entrepreneurs.

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.

Ces recommandations, bien que préliminaires, visent à encourager une transition durable dans l'industrie. À mesure que le projet avancera vers sa réalisation, des ajustements et des enseignements supplémentaires viendront enrichir cette réflexion. Des recommandations techniques plus précises pourront être formulées après la phase de construction, une fois que les méthodes mises en œuvre auront été pleinement éprouvées sur le terrain.

4. Bibliographie

Membrane acoustique AcoustiTECH SOFIX | AcoustiTECH. (s. d.). <https://www.acoustitech.com/produits/details/acoustitech-sofix-122>

SELF-ADHESIVE STRIP FOR PERIMETER SEPARATION | SILENT EDGE | ROTHOBLAAS. (s. d.-b). <https://www.rothoblaas.com/products/soundproofing/resilient-profiles/silent-edge>

PROFIL RÉSILIENT à HAUTES PERFORMANCES POUR L'ISOLATION ACOUSTIQUE. (s. d.). <https://www.rothoblaas.fr/produits/feu/xylofon>

PAC International, LLC. (2024, 21 mai). *RSIC-SI-CRC2 LP | Real Solutions in Construction.* Real Solutions In Construction |. <https://pacinternationalllc.com/rsic-si-crc2-lp/>

Patio Drummond. (2024, 6 mars). *Balcon en béton préfabriqué.* <https://patiodrummond.com/boutique/beton-prefabrique/immobilier/balcon/balcon/>

5. Annexes

N/A