

Utilisation d'un système structural hybride de bois massif apparent et de bois à ossature légère pour un bâtiment résidentiel de 6 étages

Projet Eddy – Logements durables en CLT

Préparé par

Anik Malderis, ADHOC architectes

Martin Cormier, ing., Read Jones Christoffersen Ltd

Charles Benoit, Cargo Développement Immobilier

ADHOC



Ingénierie

CARGO

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

18 Juillet 2025

Anik Malderis
ADHOC architectes
Co-Auteur

Martin Cormier, ing.
RJC Ingénierie
Co-Auteur

Charles Benoit
Cargo
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	2
2.2.3	Budget global	2
2.2.4	Partenaires	2
2.2.5	Défis et risques généraux	2
3.	Détails de l'étude	2
3.1	Introduction et hypothèses de départ	2
3.2	Objectifs	2
3.3	Méthodologie	3
3.4	Résultats et analyse	3
3.5	Conclusions	3
3.6	Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	3
3.7	Recommandations	3
4.	Bibliographie	3
5.	Annexes	3

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Cette étude présente les innovations techniques et environnementales du projet Eddy, un immeuble de 76 logements abordables à Gatineau, construit principalement en bois. Le projet met en avant cinq solutions innovantes : l'intégration de bois apparent (60 % des surfaces visibles), une structure hybride bois massif/ossature légère, un bilan carbone exemplaire, une haute performance énergétique de l'enveloppe et une performance acoustique supérieure.

À la suite d'une phase de recherche approfondie et d'analyse comparative des différentes pistes envisagées, certaines de ces solutions ont été identifiées comme présentant un potentiel d'impact particulièrement élevé pour le projet et pour l'industrie. Les axes prioritaires suivants ont donc été retenus comme objectifs centraux du projet : La maximisation du bois apparent et l'intégration d'une structure de bois hybride. La présente étude détaille la conception, les défis et les résultats obtenus à l'égard de ces objectifs.

L'intégration de bois apparent vise à favoriser le bien-être biophilique tout en réduisant la quantité de matériaux de revêtement utilisés dans les espaces intérieurs. Toutefois, cette approche soulève des enjeux significatifs en matière d'acoustique et de résistance au feu, qui ont pu être surmontés grâce à une conception intégrée et collaborative, mobilisant l'ensemble des disciplines concernées. Les résultats de l'étude appuient l'hypothèse selon laquelle il est possible d'atteindre les niveaux de performance requis, tout en respectant à la fois les intentions architecturales et les objectifs environnementaux du projet.

La structure hybride, initialement envisagée pour optimiser la ressource et réduire l'empreinte carbone, s'est avérée complexe à mettre en œuvre pour les efforts latéraux en raison des contraintes d'aménagement et des différences de rigidité entre le CLT et l'ossature légère. Les analyses sismiques ont montré qu'il est possible de dimensionner les systèmes séparément, mais la distribution des murs limités dans l'aménagement architectural a rendu cette option moins avantageuse économiquement que le CLT pour des bâtiments de cette hauteur.

En conclusion, le projet Eddy a finalement opté pour conserver seulement des murs de CLT servant à la reprise des efforts latéraux, combinés avec des cloisons intérieures secondaires et murs d'enveloppe non structuraux pouvant être détaillés en architecture comme des murs non porteurs standards. Ceci a permis de simplifier la conception et la construction, d'atteindre une réduction de 45 % des émissions de GES et d'augmenter la quantité de bois apparent. L'étude souligne l'importance d'adapter l'aménagement architectural dès le début pour optimiser l'utilisation des systèmes hybrides et recommande des recherches supplémentaires sur l'interaction des rigidités et les essais en laboratoire pour de futures applications.

2. Introduction

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Titre : Projet Eddy – Utilisation d'un système structural hybride de bois massif et de bois à ossature légère pour un bâtiment résidentiel de 6 étages

Lieu : 25 rue Frontenac, Gatineau (secteur Hull)

2.2 Description du projet de construction

Le projet Eddy consiste en la construction de 76 logements locatifs 100% abordables répartis sur 6 étages, d'un rez-de-chaussée avec espaces commerciaux intégrés et deux niveaux de stationnement s'adaptant aux conditions de site. Le projet se compose d'une structure en dalles et murs porteurs de CLT du niveau 2 jusqu'à la toiture, complétée par des murs secondaires et d'enveloppe en ossature de bois léger. Les 2 niveaux souterrains et le rez-de-chaussée sont en structure de dalles et colonnes de béton avec cages d'escaliers et d'ascenseur en béton coulé puis en blocs de béton à partir du niveau 2.

2.2.1. Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

Le projet mise sur le développement de 5 différentes solutions innovantes et complémentaires : maximisation du bois structural apparent (objectif : 60 % de surfaces visibles), utilisation d'une structure de bois hybride, un bilan carbone exemplaire, une enveloppe à haute performance énergétique, et une performance acoustique supérieure.

Bois apparent : La conception du projet s'articule autour de l'intégration d'un maximum de bois apparent aux plafonds et aux murs, visant un minimum de 60 % de surfaces visibles en bois. Au-delà de l'esthétique, cette approche maximise les bienfaits biophiliques du bois, contribuant ainsi à améliorer le bien-être des occupants, à réduire le stress et à renforcer leur connexion avec la nature, pour des espaces de vie plus sains et plus agréables. Cette stratégie permet également de limiter l'utilisation de panneaux de gypse comme revêtement de finition murale.

Structure de bois hybride : La mise en œuvre d'une charpente entièrement en bois est une priorité. Il a été étudié d'utiliser une structure hybride, combinant des systèmes structuraux en bois massif tels que le CLT et le lamellé-collé, ainsi que des murs en bois à ossature légère. Les deux systèmes agissent à la fois comme éléments porteurs et comme contreventement pour la reprise des efforts latéraux. Cette combinaison avait le potentiel d'optimiser la performance structurelle, la rapidité de construction et la durabilité, tout en réduisant l'empreinte carbone globale du bâtiment.

Bilan carbone exemplaire : Dans le but d'atteindre un bilan carbone exemplaire, l'utilisation de matériaux issus de la forêt à faible impact environnemental pour l'ensemble des systèmes secondaires a été privilégiée. Cela inclut spécifiquement les panneaux de fibre de bois, la cellulose pour l'isolation et le contreplaqué qui ont été choisis pour leurs qualités renouvelables, leur faible empreinte en carbone intrinsèque et leur capacité à séquestrer le carbone, contribuant ainsi à un projet de construction durable et respectueux de l'environnement.

Performance acoustique supérieure : Le projet vise des performances acoustiques qui dépassent significativement les exigences minimales du code de construction pour les usages résidentiels. L'objectif est d'atteindre des cibles de performance acoustique égales ou supérieures à 65 STC (Sound Transmission Class) pour l'atténuation du bruit aérien et 65 IIC (Impact Isolation Class) pour l'atténuation du bruit d'impact. Cette approche garantit un confort acoustique optimal pour les occupants, minimisant les nuisances sonores internes et externes.

Enveloppe à haute performance énergétique : La conception de l'enveloppe du bâtiment est axée sur l'atteinte de hautes performances énergétiques. Le projet se conforme rigoureusement au nouveau chapitre I.1, Efficacité énergétique du bâtiment, du Code de construction du Québec - 2015. Cela implique une optimisation de l'isolation thermique, une réduction drastique de la transmission thermique et une élimination attentive des ponts thermiques dans l'ensemble de la construction, afin de minimiser les besoins en chauffage et en climatisation et d'assurer une efficacité énergétique maximale tout au long de la vie du bâtiment.

2.2.2. Échéancier global et durée

La période de conception du projet s'est étendue de 2022 à 2025, pendant laquelle l'équipe de conception intégrée, comprenant architectes, ingénieurs, entrepreneurs et divers consultants acoustiques, énergétiques et financiers, ont collaboré afin de développer le projet. Le processus de conception assistée avec le fabricant de structure de bois, Nordic Structures, a ensuite démarré au printemps 2025 en vue d'une mise en chantier à l'automne 2025.

Les travaux commenceront par la décontamination des sols et l'excavation complexe du site, qui présente une forte pente et se situe en milieu urbain. Une fois les niveaux inférieurs en béton coulé (du niveau -2 au niveau 2) achevés, l'assemblage de la structure en bois massif pourra démarrer. La livraison du projet complet est prévue pour 2027.

2.2.3. Budget global

Coût de construction de 29M\$, budget global de projet de 35M\$.

2.2.4. Partenaires

Le projet a réuni une équipe multidisciplinaire hautement qualifiée, garantissant une expertise complète à chaque étape de sa réalisation. ADHOC Architectes a assumé le rôle d'architecte principal, en charge de la conception et de la vision globale et fonctionnelle du bâtiment. Pour la structure, RJC a apporté son savoir-faire en ingénierie de bois massif, assurant la solidité et la durabilité de l'édifice.

L'expertise technique s'est étendue à toute la conception électromécanique prise en charge par Carbonic, qui a conçu les différents systèmes du bâtiment afin d'optimiser l'efficacité énergétique tout en assurant le confort des occupants. La construction a été confiée à Guimond Construction, entrepreneur général reconnu pour son expertise en construction de bâtiments en bois massif. Au niveau acoustique, deux partenaires spécialisés ont été mobilisés : Sibe Acoustique et Acoustitech, tant pour leur expertise théorique que pratique via leurs connaissances de multiples produits innovants et émergents sur le marché.

Un partenaire clé dans ce projet a été Nordic Structures, spécialiste et fabricant de structures en bois massif, dont l'implication a permis d'optimiser le système constructif et planifier l'assemblage de la structure une fois en chantier.

Enfin, l'engagement envers la durabilité environnementale a été renforcé par la collaboration avec Écohabitation et Cécobois. Ces deux organismes ont joué un rôle essentiel dans le calcul des émissions de gaz à effet de serre (GES) et la réalisation de simulations énergétiques, permettant d'optimiser la performance environnementale du bâtiment et d'assurer son empreinte carbone minimale.

2.2.5. Défis et risques généraux

La conception et la construction d'un immeuble en bois massif avec un maximum de bois apparent et de matériaux biosourcés présente plusieurs défis techniques, économiques et constructifs. Ces défis sont notamment liés aux restrictions réglementaires, à un manque de données liées aux performances et à une expertise encore limitée dans la construction d'immeubles de moyenne hauteur en bois au Québec. Une analyse approfondie des risques par discipline est nécessaire pour anticiper et gérer ces incertitudes. La réussite repose donc sur une conception intégrée, appuyée par des outils de modélisation avancés et une coordination interdisciplinaire rigoureuse dès les premières étapes du projet.

Structure : L'innovation que représente l'intégration d'un système hybride combinant bois

massif et murs à ossature légère porteuse pour réduire le volume de bois globale requis exige de la part des ingénieurs, architectes et consultants une compréhension approfondie des limites et capacités de chaque système, ainsi qu'une collaboration constante pour ajuster les hypothèses. Ce système soulève une série de défis techniques complexes et interreliés :

- L'élaboration de détails constructifs non standards
- Nécessité de gérer le retrait différentiel d'une structure hybride.
- Complexité structurelle due à l'utilisation de deux systèmes distincts pour la résistance aux forces sismiques.
- La conciliation d'exigences souvent contradictoires entre disciplines, notamment : L'optimisation de la volumétrie architecturale versus les contraintes de trame structurale, l'intégration des réseaux électromécaniques et des dispositifs de protection incendie sans compromettre l'intégrité structurale et la résistance au feu des éléments porteurs tout en préservant l'exposition visuelle du bois, souhaitée dans plusieurs espaces du bâtiment.

Enveloppe : Dans un contexte de construction d'un immeuble en bois massif de moyenne hauteur, l'utilisation d'ossatures légères pour l'enveloppe représente également un défi conceptuel et technique, s'écartant des pratiques courantes dans la construction où les structures de béton et d'acier sont généralement privilégiés pour ces typologies de bâtiments. Cette approche implique que les détails constructifs et les solutions d'assemblage habituellement employés ne sont pas directement transférables. Une recherche approfondie et une adaptation rigoureuse des méthodes existantes sont nécessaires pour garantir la stabilité structurelle, le mouvement différentiel des différents systèmes, la performance thermique et acoustique, ainsi que la durabilité de l'enveloppe du bâtiment.

Efficacité énergétique : L'intégration des exigences du nouveau chapitre I.1, Efficacité énergétique du bâtiment, du Code de construction du Québec - 2015, représente un défi supplémentaire lorsque l'utilisation de matériaux biosourcés est préconisée. La validation des performances et du comportement de ces matériaux requiert du temps supplémentaire de recherche et validation comportant des incertitudes quant aux résultats finaux, nécessitant une flexibilité et une adaptabilité dans le processus de conception et de construction.

Acoustique : L'intégration de produits biosourcés dans la construction présente des défis acoustiques notables en raison de leurs indices de transmission du son et des impacts intrinsèquement inférieurs à ceux du béton. Lorsque des surfaces sont laissées apparentes, il devient impératif d'optimiser la résistance acoustique du versant opposé afin d'assurer un confort adéquat, voire supérieur aux exigences du code du bâtiment.

Cela représente un défi de conception complexe qui nécessite une expertise en acoustique du bâtiment. Les solutions typiques ne peuvent être appliquées directement; une recherche approfondie des compositions adéquates est indispensable. Cette recherche implique une collaboration étroite avec un acousticien pour prédire le comportement des matériaux et des assemblages, ainsi qu'une exploration exhaustive des produits et systèmes disponibles sur le marché. Il est crucial d'identifier des solutions innovantes et performantes qui permettent de concilier les avantages environnementaux des matériaux biosourcés avec les impératifs de confort acoustique pour les occupants.

Construction : L'expertise québécoise dans la construction d'immeubles en structure de bois massif est actuellement très limitée, ce qui engendre une rareté notable d'entrepreneurs qualifiés pour ce type de projet. Cette situation a un impact direct sur les coûts : l'assemblage des structures en bois massif peut s'avérer plus onéreux que celui des structures en acier ou en béton, et ce coût est directement proportionnel à l'expérience et à la disponibilité de la main-d'œuvre spécialisée.

Pour pallier ce manque d'expertise, il est souvent nécessaire de faire appel à des entreprises ou des consultants externes, ce qui peut entraîner des frais supplémentaires et des délais de coordination. De plus, la formation de nouvelles équipes et le développement de compétences spécifiques dans ce domaine représentent un investissement significatif en temps et en ressources pour les entreprises de construction locales.

Coûts et financement : Le développement d'un projet de construction en bois innovant présente des défis financiers spécifiques qui nécessitent une planification rigoureuse. Au-delà des considérations habituelles, l'aspect novateur de ces projets peut entraîner des coûts initiaux plus élevés et des délais de développement prolongés.

Un des risques majeurs réside dans la durée du projet. Comparativement à une construction conventionnelle, un projet de bois innovant peut exiger davantage de temps pour la recherche, la conception détaillée et l'approvisionnement en matériaux spécialisés. Chaque jour de retard se traduit par une accumulation de coûts fixes (impôts fonciers, intérêts bancaires, loyers des bureaux de projet, assurances, frais de gestion de projet, etc.), ce qui peut significativement éroder la rentabilité prévue. Par exemple, des études de faisabilité approfondies sur l'intégration de nouvelles techniques de construction en bois, ou l'optimisation des performances énergétiques via des systèmes biosourcés, peuvent rallonger la phase préparatoire.

Par ailleurs, le coût des matériaux biosourcés, bien que bénéfiques pour l'environnement et la performance du bâtiment à long terme, demeure généralement supérieur à celui des matériaux standards.

Enfin, la complexité accrue des projets en bois massif requiert souvent des équipes multidisciplinaires spécialisées (ingénieurs bois, experts en enveloppe du bâtiment, spécialistes en performance énergétique) dont les honoraires peuvent être plus élevés. Les défis liés à la gestion de l'eau en chantier, à la préfabrication précise des éléments et à l'assemblage sur site d'une structure en bois massif apparent, ainsi que la nécessité d'une coordination précise avec les autres corps de métier, rendent indispensable une gestion de projet rigoureuse. Intégrant des méthodologies agiles et des outils de planification avancés, cette gestion est cruciale pour minimiser les imprévus, maîtriser les délais et, par conséquent, les coûts.

Ainsi, le présent rapport explore diverses solutions pour simplifier la conception de futurs bâtiments en bois massif.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ

Lors de la phase initiale du projet, cinq solutions innovantes ont été ciblées afin d'orienter le projet vers des performances autant techniques que environnementales :

1. **Bois apparent** : objectif de 60% ou plus de bois apparent au plafonds et murs afin de tirer profit des bienfaits biophilique de cette matière.
2. **Structure de bois hybride** : une charpente construite tout en bois avec un système structural hybride de bois massif et de bois à ossature légère afin de réduire le volume de bois global.
3. **Bilan carbone exemplaire** : dans les ensembles de construction, utiliser uniquement des matériaux issus de la forêt à faible impact environnementaux pour les systèmes secondaires - tels que les panneaux de fibre, cellulose et contreplaqué.
4. **Performance acoustique supérieure** : Cibles de performance acoustique plus élevées que les exigences du code de construction pour les usages résidentielles atteignant des cibles égales ou supérieures à 65 STC et 65 IIC.
5. **Enveloppe à haute performance énergétique** : Respect du nouveau chapitre I.1, Efficacité énergétique du bâtiment, du Code de construction du Québec offrant une réduction de la transmission thermique et une réduction des pertes dû aux ponts thermique dans les ensembles de construction

À la suite d'une phase de recherche approfondie et d'analyse comparative des différentes pistes envisagées, deux de ces solutions ont été identifiées comme présentant à la fois un potentiel d'impact particulièrement élevé pour le projet (tant sur les plans environnemental, architectural que fonctionnel), et un niveau de documentation technique encore limité dans l'industrie, rendant leur

exploration d'autant plus pertinente dans une perspective d'innovation appliquée. Les deux axes prioritaires suivants ont donc été retenus comme objectifs centraux du projet :

- **Le bois apparent**
- **Une structure de bois hybride**

Bois apparent : potentiel et défis techniques

L'objectif d'intégrer au moins **60 % de surfaces en bois apparent** aux murs et plafonds vise à valoriser les **bienfaits biophiliques** du bois, reconnus pour leur impact positif sur le bien-être psychologique, la qualité perçue des espaces intérieurs et le renforcement du lien avec la nature. Au-delà de l'aspect esthétique et sensoriel, cette approche vise également à réduire l'usage de matériaux de finition supplémentaires, contribuant ainsi à une diminution de l'empreinte environnementale du projet et à une simplification des assemblages intérieurs. Ce choix soulève cependant trois défis majeurs à concilier :

1. Performance acoustique

L'exposition des dalles CLT au plafond des logements soulève des enjeux acoustiques majeurs liés à la transmission du bruit aérien et d'impact entre les étages et les logements. Cette configuration exclut l'utilisation de plafonds suspendus, de caissons acoustiques ou de tout système de correction en sous-face, ce qui réduit significativement les stratégies conventionnelles d'atténuation sonore.

Dans ce contexte, l'entièreté de la performance acoustique verticale doit être assurée par des interventions en surface supérieure de la dalle, soit au niveau des revêtements de plancher et des couches intermédiaires. Cette contrainte, combinée à la volonté de limiter l'utilisation du béton, exige une composition multicouche soigneusement optimisée, combinant matériaux absorbants et résilients. Cependant, très peu de compositions ont été testées en laboratoire dans le contexte d'immeubles de ce type, ce qui entraîne un niveau élevé d'incertitude dans la prévision des résultats et rend nécessaire une collaboration étroite avec des acousticiens spécialisés. En parallèle, les jonctions entre murs porteurs et dalles présentent une autre source critique de perte de performance. L'absence de traitement acoustique en face du CLT rend plus vulnérable la transmission du son.

2. Résistance au feu

L'exposition des dalles de CLT impose un dimensionnement spécifique afin de satisfaire simultanément aux exigences de résistance au feu d'une heure, telles que définies par l'annexe B de la norme CSA O86-14, le Code de construction du Québec, chapitre Bâtiment (CNB 2015 modifié – Québec) et les capacités structurales requises.

3. Bilan carbone exemplaire

L'objectif de réduire au maximum l'empreinte carbone du projet implique une sélection rigoureuse de matériaux biosourcés et à faible impact environnemental. Dans cette logique, l'utilisation de bois apparent soulève un défi acoustique important, car elle limite le recours à des solutions standardisées, telles que les chapes de béton, souvent utilisées pour leur performance mais incompatibles avec les objectifs de légèreté et de bilan carbone réduit.

Face à ces observations, notre première hypothèse repose donc sur le principe que ce triple enjeu (acoustique, résistance au feu et bilan carbone) nécessite une approche de conception intégrée dès les premières phases du projet, afin d'assurer la performance, la conformité et la durabilité globale. C'est en ciblant précisément les zones critiques, où l'exposition du bois est souhaitée mais contraignante, que nous avons pu démontrer la faisabilité d'atteindre les niveaux de performance requis, tout en préservant les intentions architecturales et les objectifs environnementaux du projet. Cette approche permet non seulement de concilier exigences réglementaires et aspirations esthétiques, mais aussi de développer des solutions innovantes et reproductibles pour de futurs projets multirésidentiels en bois massif avec surfaces apparentes.

Structure de bois hybride : optimiser la ressource sans compromettre la performance

Le recours à une structure de **bois hybride**, en combinant bois massif (CLT, lamellé-collé) et ossature légère, permet de réduire la quantité totale de bois utilisée en optimisant chaque composant selon ses fonctions structurelles.

Pour le projet Eddy, l'une des priorités était d'utiliser le bois comme éléments porteurs ainsi que pour le système de reprise des efforts latéraux. Les planchers en panneaux de CLT ont également été priorités. Ceux-ci ont pour caractéristiques d'avoir une distribution bidirectionnelle, mais la direction principale avec l'orientation préférentielle des plis amène des résistances largement supérieures à la direction secondaire. Compte tenu de l'aménagement prévu aux étages en architecture, où la longueur des unités est orientée majoritairement dans le sens Est-Ouest, la première hypothèse est de considérer une trame de bois formée de CLT 5 plis (175 mm) avec une distribution unidirectionnelle orientée Nord-Sud, avec des portées maximales d'approximativement 6 m, et des appuis sur des murs de CLT et des systèmes de poutres et colonnes en bois lamellé-collé. Voir image plus bas pour l'aménagement. En raison de la trame structurale, la 2e hypothèse prise en compte en architecture est de laisser apparents les murs de CLT Est-Ouest d'un seul côté le long des unités.

Suite à la prise de ces décisions, la trame structurale est fonctionnelle pour les charges gravitaires, tandis que la reprise des efforts latéraux est assurée par les murs de CLT dans la direction Est-Ouest. Pour la direction Nord-Sud, l'option la plus simple et la plus couramment utilisée serait

d'utiliser également des murs de CLT pour les efforts latéraux. Cependant, comme il n'était pas prévu d'exposer ces murs, l'idée innovante a été soulevée d'utiliser des murs en ossature légère recouverts de contreplaqué des deux côtés pour le contreventement dans cette direction. Les murs extérieurs ne pouvant pas être utilisés en raison de la présence de trop nombreuses ouvertures pour les fenêtres, la trame suivante a été considérée pour l'analyse du présent rapport, où les murs de CLT apparents sont représentés en bleu dans la direction Est-Ouest, tandis que les murs d'ossature légère détaillés comme murs de refend sont représentés en bleu dans la direction Nord-Sud.

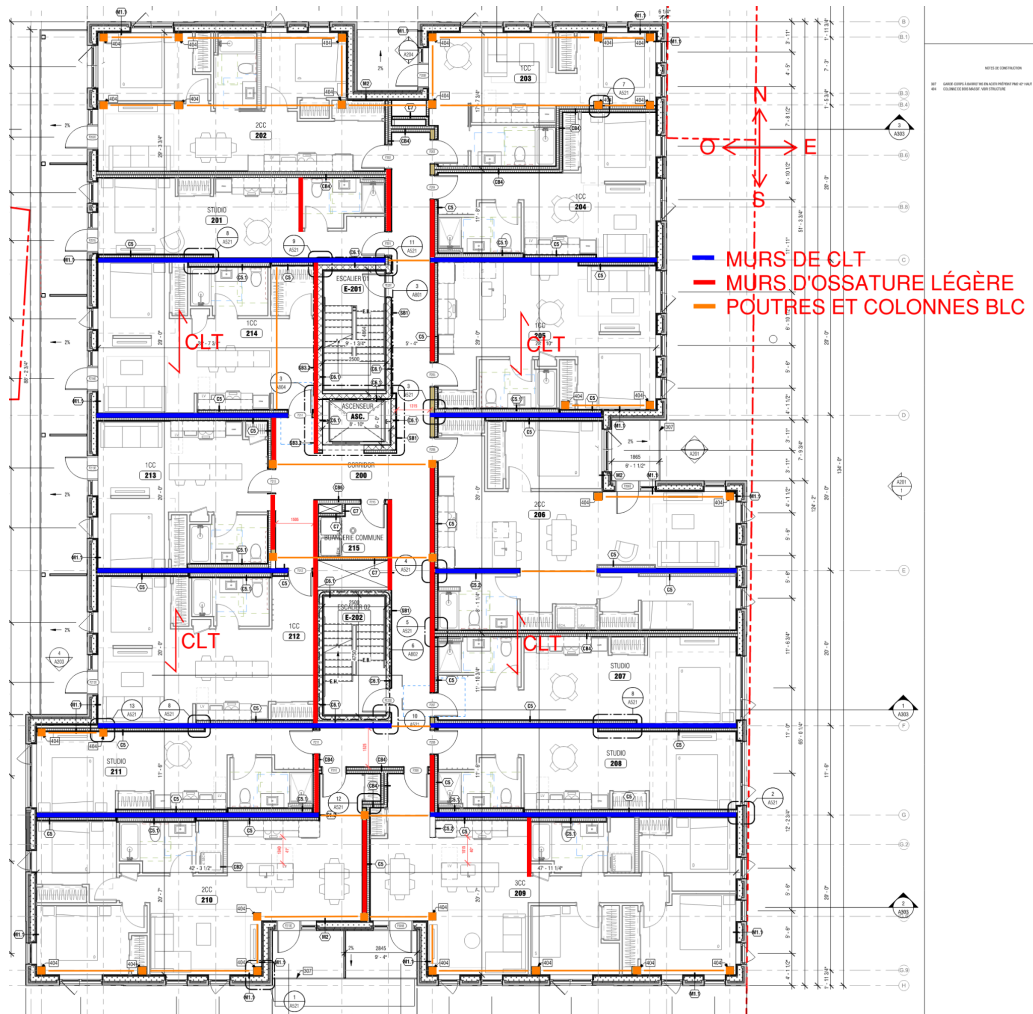


Figure 1. Étage typique du bâtiment Eddy

Rappelons que les dalles de plancher en CLT portent principalement de manière unidirectionnelle dans la direction Nord-Sud. De plus, des murs d'ossature légère dans une structure de bois massif sont typiquement seulement utilisés comme partitions non porteuses et donc sont désolidarisés de la structure à l'aide d'un écart en tête, permettant à la dalle de se déformer sans charger

gravitairement les murs. Cependant, afin de permettre aux diaphragmes de solliciter les murs d'ossature pour la reprise des efforts latéraux, ils doivent également être liés à la structure gravitairement. Des détails permettant de charger latéralement les murs, mais pas gravitairement, pourraient être étudiés, mais il ne s'agit pas de l'objet du présent projet, car il est souhaité d'opter plutôt pour des détails plus simples évitant de devoir désolidariser.

3.2 Introduction et hypothèses de départ

BOIS APPARENT :

L'objectif consiste à atteindre une performance acoustique supérieure pour le confort des usagers tout en conservant un maximum de surfaces de bois apparentes. Des valeurs acoustiques très élevées sont visées, égales ou supérieures à 65 STC et 65 IIC, afin de démontrer que les bâtiments en bois peuvent égaler, ou même dépasser les performances acoustiques des bâtiments en béton, tout en visant un bilan carbone exemplaire, ce qui exclut l'utilisation de chape de béton.

STRUCTURE DE BOIS HYBRIDE :

Évaluer la possibilité d'utiliser un système mixte en bois massif et murs à ossature légère pour la reprise des charges gravitaires et latérales. Les objectifs principaux de cette analyse sont d'optimiser la performance structurelle, la rapidité de construction et la durabilité, tout en réduisant l'empreinte carbone globale du bâtiment.

3.3 Méthodologie

BOIS APPARENT :

L'atteinte d'une performance acoustique élevée dans une structure en bois apparent nécessite une analyse du bâtiment et de son comportement acoustique. Cette analyse acoustique permet d'identifier plusieurs zones particulièrement sensibles à la transmission sonore. **Les murs mitoyens** étant une première source critique, en raison de leur mitoyenneté entre les unités d'habitation et de **l'exigence de conserver une de leur face apparente**. Ensuite, **la jonction entre ces murs mitoyens et les dalles de plancher** représente un second point faible, plus particulièrement en raison des **portées doubles des dalles de CLT**. Celles-ci étant parfois continues d'une unité à l'autre, elles deviennent des ponts acoustiques, favorisant la propagation des sons et vibrations entre unités.

Enfin, les dalles de plancher représentent une voie majeure de transmission des bruits d'impact et des vibrations. Dans un contexte où l'on souhaite préserver un maximum de surfaces de plafond en bois apparent, seule **la composition du dessus du plancher** peut jouer un rôle efficace dans l'atténuation de cette transmission. De plus, l'exclusion volontaire des chapes de béton pour des raisons environnementales impose le recours à des **solutions alternatives encore très peu explorées sur le marché** pour atteindre les performances acoustiques souhaitées.

Ainsi, la combinaison de ces **trois zones critiques – murs mitoyens, jonctions mur/dalle et dalles de plancher** – requiert une approche intégrée de collaboration entre l’architecture, le génie structural, le génie acoustique et l’entrepreneur en charge de la construction et du respect du budget du projet.

Une analyse comparative de différentes compositions de plancher a donc été réalisée afin d’évaluer l’efficacité de divers produits et configurations selon différents critères.

STRUCTURE DE BOIS HYBRIDE :

Afin de déterminer si l’utilisation d’un système mixte de mur à ossature légère et bois massif en CLT peut être prometteur, il faut analyser le comportement du bâtiment et l’interaction des deux systèmes lorsque soumis à des efforts latéraux provenant du vent ou des tremblements de terre. Pour ce faire, le logiciel d’analyse numérique de structure par éléments finis CSI ETABS est utilisé, voir image suivante pour la visualisation 3D.

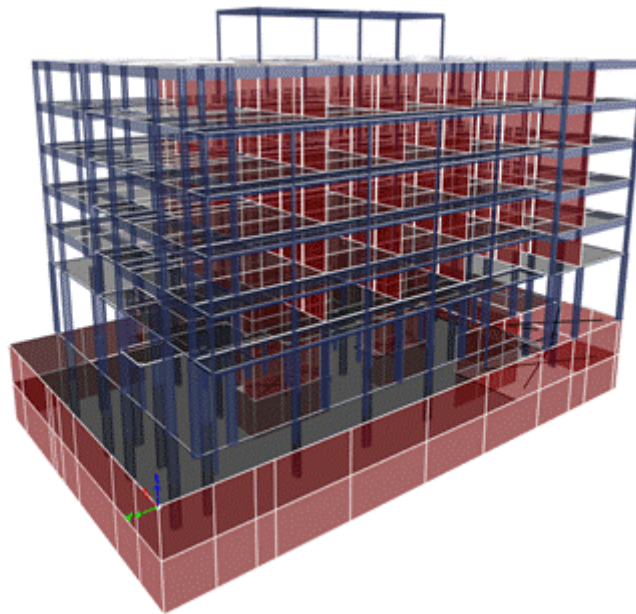


Figure 2. Modélisation par éléments finis du bâtiment Eddy sur CSI ETABS

Pour le projet Eddy, comme il s’agit d’un bâtiment de moyenne hauteur situé à Gatineau, les charges de dimensionnement pour le système latéral sont largement gouvernées par les efforts sismiques. Le bâtiment est conçu en conformité avec la norme CSA O86-14 et le Code de construction du Québec, chapitre Bâtiment (CNB 2015 modifié – Québec). Des analyses dynamiques par superposition modale ont été effectuées en considérant l’aléa sismique du Code national du bâtiment du Canada 2015 pour une catégorie de sol A, tel que spécifié par le rapport géotechnique du projet.

La méthodologie utilisée pour l'analyse sismique est la même que pour un bâtiment conventionnel. La seule particularité est la modélisation et l'interaction des deux systèmes latéraux. Un système en mur de refend formé de panneaux CLT présente une rigidité flexionnelle 5 à 10 fois plus élevée qu'un système de murs en ossatures légères. De plus, les deux systèmes ne présentent pas les mêmes caractéristiques en termes de ductilité. D'après le Code National du Bâtiment, les murs de CLT correspondent à la catégorie de murs travaillant en cisaillement de ductilité restreinte en bois lamellé-croisé, construction de type plate-forme ($R_d = 1,0$; $R_o = 1,3$), tandis que les murs en ossature légère correspondent à celle de murs travaillant en cisaillement cloués, panneaux dérivés du bois ($R_d = 3,0$; $R_o = 1,7$). Les deux systèmes ne sont donc pas compatibles, d'autant plus que des données de laboratoire sont quasi absentes dans la littérature. Pour toutes ces raisons, la méthodologie retenue consiste à analyser chaque système indépendamment pour les deux directions de calcul principales, en négligeant l'apport de rigidité dans la direction perpendiculaire à la direction étudiée. D'un point de vue pratique, cela implique la préparation de deux modèles ETABS pour lesquels la rigidité du système négligé est supprimée dans la définition des éléments « Shell » servant à la modélisation des murs. De cette façon, les efforts de torsion accidentelle associés à une direction de calcul ne seront pas équilibrés par les murs dans l'autre direction, mais seront forcés d'être appliqués dans la direction principale. Il s'agit d'une méthode conservatrice permettant de s'assurer que chaque système est en mesure de reprendre les efforts sismiques dans leur direction de calcul, incluant la torsion accidentelle, sans l'apport d'un système différent. Les efforts ainsi que les déplacements inter-étage seront augmentés par cette méthode et devront donc être validés convenablement dans la partie résultats. Une autre particularité du projet est l'utilisation d'une dalle de transfert en béton armé au niveau 2. Sous ce niveau, la reprise des efforts latéraux est assurée par des murs de refend en béton situés autour des cages d'escalier et d'ascenseur et se poursuivant jusqu'aux fondations. Les murs de béton, étant largement plus rigides que les étages en bois, agissent essentiellement comme des fondations, tandis que la majorité des déformations surviennent dans le CLT et les murs en ossature légère. Par conséquent, pour le calcul des charges sismiques, la partie bois est considérée comme un bâtiment de 5 étages respectant les périodes empiriques associées selon le CNBC. Les efforts sont transférés aux murs de béton et amplifiés de façon à obtenir un $R_d = 1,5$ et $R_o = 1,3$, tel que requis par le CNBC pour des murs travaillant en cisaillement pour une construction conventionnelle.

Finalement, l'analyse numérique est itérative puisque la rigidité des murs dépend de la conception, qui, elle, dépend des efforts provenant d'ETABS. Pour les murs de CLT, l'effet est moins important puisque les panneaux de 5 plies de 175 mm sont constants à chaque étage. Des facteurs de modification provenant de la littérature, afin de tenir compte des glissements inter-panneaux, etc., sont appliqués afin d'obtenir des rigidités flexionnelles effectives, $E_{I_{eff}}$ réalistes. Pour les murs d'ossature légère, le processus est itératif puisque les efforts permettent de déterminer les patrons de clouage, les tiges d'acier de traction ainsi que les éléments de bois de bout pour la compression. Pour les murs de cisaillement utilisant des tiges d'acier continues comme dispositifs de retenue (voir figure ci-dessous), le moment d'inertie transformé doit être utilisé (Newfield et al.

2013). Les rigidités flexionnelles effectives, EI_{eff} , sont calculées pour chaque panneau de mur, et un ratio est appliqué aux éléments « Shell » dans ETABS sous forme de facteurs de modification des propriétés.

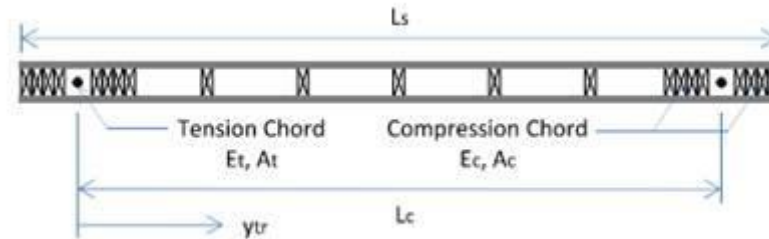


Figure 3. Calcul du moment d'inertie d'un mur en ossature légère (Newfield et al. 2013)

3.4 Résultats et analyse

BOIS APPARENT :

Les recherches et analyses de l'étude ont ainsi permis de cibler les compositions les plus adaptées pour chacun des **trois détails critiques** afin de passer à la phase de tests acoustiques en chantier, prévus dans le cadre du Volet B de l'étude.

Dans ce contexte, une stratégie hypothétique a été développée, consistant à **introduire une retombée périphérique en bordure de mur pour atténuer la transmission latérale entre unités adjacentes**. Les hypothèses pour les tests à réaliser sont basées sur une retombée de 9" d'épaisseur telle que la composition suivante :

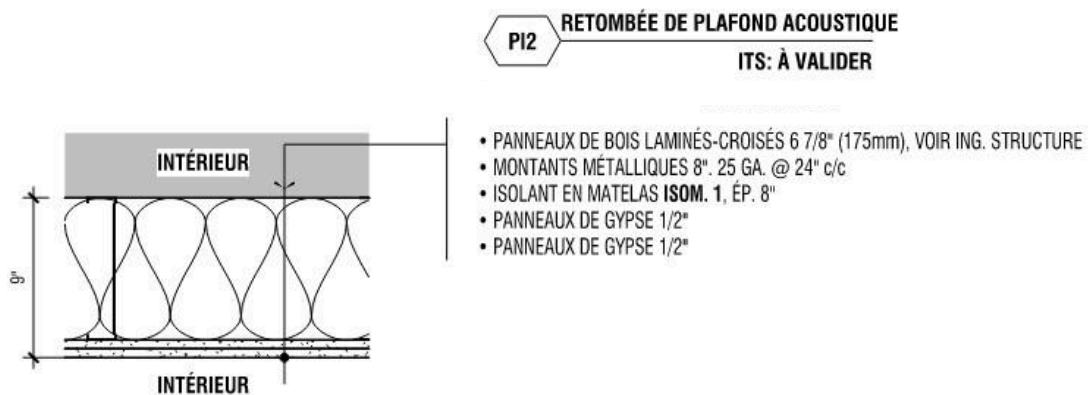


Figure 4. Composition hypothétique de retombée de plafond acoustique

Alors que le détail de retombée périphérique en bordure de mur se base sur une hypothèse de largeur de retombée minimale de 18" tel que le détail suivant :

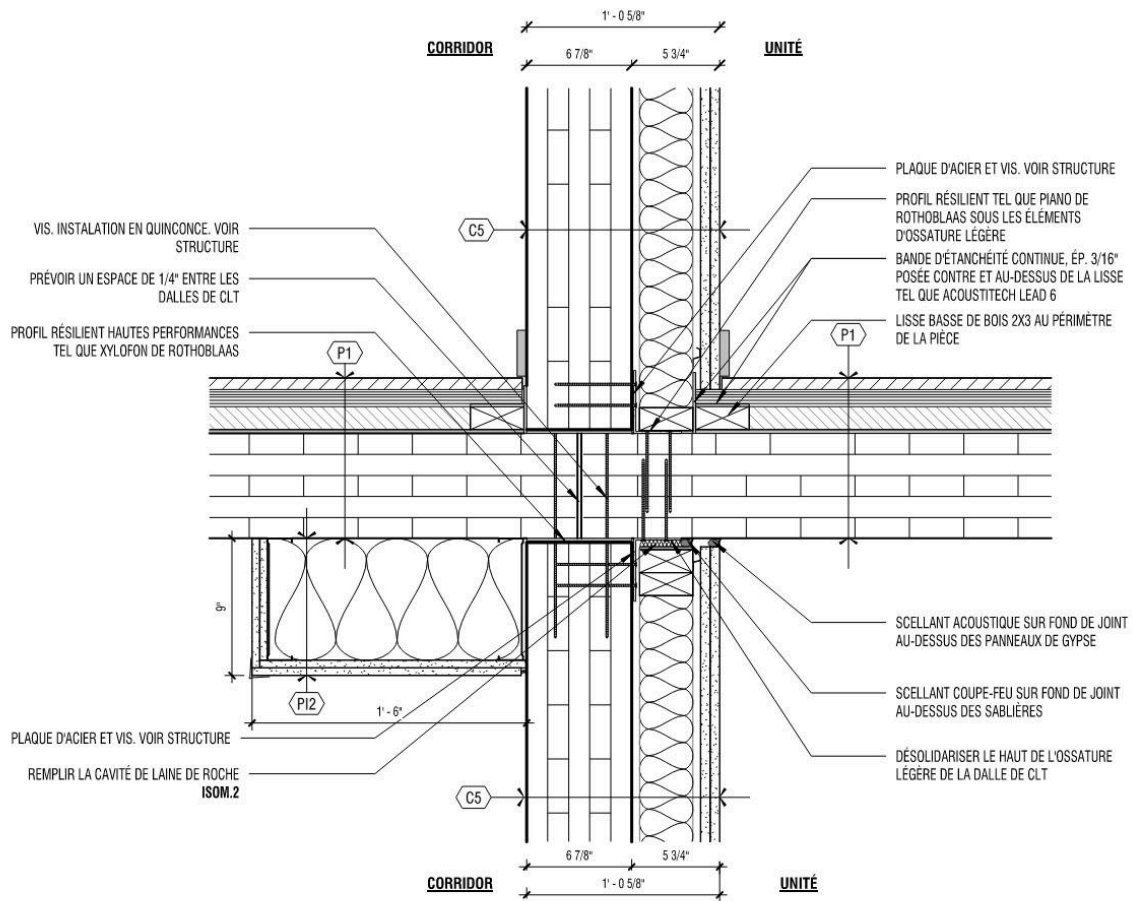


Figure 5. Détail hypothétique de retombée de plafond acoustique en périphérie de murs

Des détails techniques spécifiques ont donc été élaborés afin de répondre simultanément aux exigences de performance acoustique et de sécurité incendie. Notamment, **l'interruption ponctuelle des panneaux muraux** a permis de conserver l'esthétique du bois apparent à l'intérieur de deux unités, tout en limitant la propagation des vibrations et du bruit. Pour ce détail d'interruption des panneaux, les hypothèses pour les tests à réaliser sont basées sur un recouvrement total de par et d'autres du joint de 2'-2" tel que le détail suivant :

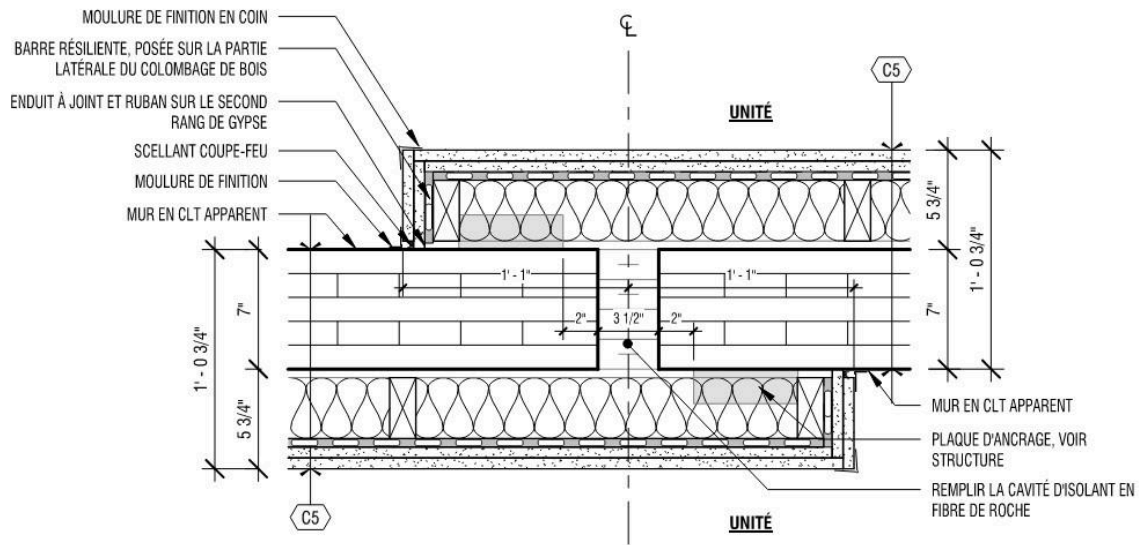
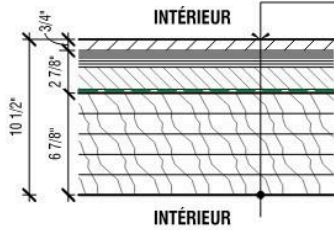


Figure 6. Détail hypothétique de jonction de panneaux muraux apparents

Le développement des détails et des compositions à tester s'est appuyé sur une analyse multicritère intégrant plusieurs paramètres techniques et environnementaux. Le **pooids des matériaux** a été évalué afin de garantir la compatibilité structurelle et **limiter les surcharges**. Les **performances acoustiques** ont été examinées pour s'assurer d'atteindre les cibles établies. La **facilité d'installation** a également été prise en compte, notamment en termes de temps de pose, de complexité de mise en œuvre et de compatibilité avec les autres composantes. En parallèle, le **bilan carbone** des différentes compositions a été étudié, avec une attention particulière portée à l'origine des matériaux, leur cycle de vie, et leur impact environnemental global. Enfin, une **analyse comparative des coûts** a permis de valider la viabilité économique des solutions retenues. Cette approche a conduit à la présélection de compositions techniquement robustes, durables et optimisées pour une phase de test à venir lors de l'élaboration du Volet B de l'étude.

Voici un résumé des différentes compositions de plancher à tester :



P1 **PLANCHER DE LAMINÉ-CROISÉ**

ITS: +/-61 - IIC: +/-58

ASSEMBLAGE SELON ACOUSTITECH

- REVÊTEMENT DE PLANCHER SELON RÉSULTATS DE TESTS ACOUSTIQUES
- MEMBRANE DE SOUS-PLANCHER
- PANNEAU DE CONTREPLAQUÉ EMBOUVETÉ 1/2" COLLÉ, VISSÉ
- PANNEAU DE CONTREPLAQUÉ EMBOUVETÉ 5/8"
- PANNEAUX ACOUSTIQUES TEL QUE ACOUSTITECH SOFIX, ÉP. 1 1/2"
- MEMBRANE ACOUSTIQUE TEL QUE ACOUSTITECH LEAD 6, ÉP. 1/4"
- PANNEAUX DE BOIS LAMINÉS-CROISÉS 6 7/8" (175mm), VOIR ING. STRUCTURE

P1A **PLANCHER DE LAMINÉ-CROISÉ**

ITS: -- - IIC: --

ASSEMBLAGE SELON DCC SOLUTIONS

- REVÊTEMENT DE PLANCHER SELON RÉSULTATS DE TESTS ACOUSTIQUES
- MEMBRANE ACOUSTIQUE
- PANNEAU FERMACELL 2E31 EN FIBRE DE BOIS, ÉP. 1 1/4"
- PANNEAUX DE BOIS LAMINÉS-CROISÉS 6 7/8" (175mm), VOIR ING. STRUCTURE

P1B **PLANCHER DE LAMINÉ-CROISÉ**

ITS: +/---- - IIC: +/----

ASSEMBLAGE SELON SONOMAX25 + FERMACELL

- REVÊTEMENT DE PLANCHER SELON RÉSULTATS DE TESTS ACOUSTIQUES
- MEMBRANE ACOUSTIQUE
- PANNEAU FERMACELL 2E31 EN FIBRE DE BOIS, ÉP. 1 1/4"
- PANNEAU SONOMAX25
- PANNEAUX DE BOIS LAMINÉS-CROISÉS 6 7/8" (175mm), VOIR ING. STRUCTURE

P1C **PLANCHER DE LAMINÉ-CROISÉ**

ITS: -- - IIC: --

ASSEMBLAGE SELON SONOMAX 25

- REVÊTEMENT DE PLANCHER SELON RÉSULTATS DE TESTS ACOUSTIQUES
- MEMBRANE ACOUSTIQUE
- PANNEAU DE CONTREPLAQUÉ 1/2"
- PANNEAU SONOMAX25
- PANNEAUX DE BOIS LAMINÉS-CROISÉS 6 7/8" (175mm), VOIR ING. STRUCTURE

P1D **PLANCHER DE LAMINÉ-CROISÉ**

ITS: -- - IIC: --

- PLANCHER DE BOIS FRANC CLOUÉ OU CÉRAMIQUE OU REVÊTEMENT SOL SOUPLE TYPE FORBO
- MEMBRANE ACOUSTIQUE
- PANNEAU DE CONTREPLAQUÉ 7/8"
- ISOLANT EN MATELAS ISOM. 1
- INSTAFLOOR SONIXX BATTEN CRADLE SYSTEM
- PANNEAUX DE BOIS LAMINÉS-CROISÉS 6 7/8" (175mm), VOIR ING. STRUCTURE

NOTE :
LES COMPOSITIONS DE PLANCHER P1 À P1D SONT EN ÉVALUATION. UNE SEULE OPTION SERA RETENUE EN FONCTION DES RÉSULTATS DE TESTS ACOUSTIQUES.

Figure 7. Compositions hypothétiques de plancher acoustique sur CLT

STRUCTURE DE BOIS HYBRIDE :

Les analyses numériques ont été complétées pour les deux directions de calcul, et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1. Résultats des analyses sismiques pour les deux systèmes

	Murs de CLT	Murs d'ossature légère
Direction	Est-Ouest	Nord-Sud
Période fondamentale	0.57 s	0.48 s
Rd	1	3
Ro	1.3	1.7
Cisaillement à la base, V	1566 kN	429 kN
Cisaillement moyen, par mur	30 kN/m	10 kN/m

Il est possible de constater une grande différence dans le cisaillement à reprendre à la base, celle-ci vient du fait que le mur en ossature légère comporte une capacité ductile supérieure aux murs de CLT, faisant en sorte qu'une grande partie de l'énergie du tremblement de terre est dissipée dans la déformation du système. À noter que bien que la période fondamentale soit plus élevée pour les murs de CLT, cela n'indique pas que le système est plus flexible que les murs d'ossature. En effet, une particularité du projet Eddy est que les cages d'escalier et d'ascenseurs centraux sont en mur de bloc non porteurs. Bien que ces murs ne fassent pas partie du système latéral, ils doivent tout de même être retenus latéralement par les dalles de CLT. Par conséquent, leur apport en rigidité doit être considéré dans les calculs des efforts sismiques, notamment par la période fondamentale, mais les murs sont négligés dans le calcul de la résistance, alors que la totalité des efforts doit être transmise dans les murs de CLT et d'ossature légère.

En ce qui concerne la direction de calcul du CLT, les efforts de flexion et de cisaillement déterminés à l'aide d'ETABS se retrouvent dans les barèmes standards pour un bâtiment de 5 étages. Des connexions conventionnelles ainsi que des tirants de type « hold down » à chaque extrémité des panneaux peuvent être considérés, voir l'image suivante pour exemple :

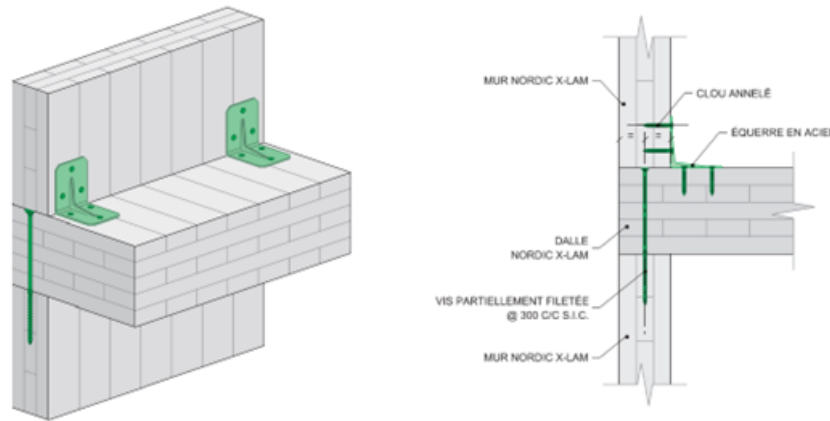


Figure 8. Connexions inter-panneaux pour les murs en CLT (Nordic X-LAM, 2022)

Pour les murs en ossature légère, les efforts de dimensionnement demeurent également standards pour un bâtiment de 5 étages, d'autant plus que l'apport du CLT est négligé pour la reprise des efforts de torsion accidentelle. À la base du bâtiment de bois, au niveau 2, là où les efforts sont les plus critiques, chaque panneau de contreventement dans la direction Nord-Sud doit comporter des tiges d'acier continues « hold down » de type HSR9 (1 1/8") ainsi que des colonnes composites formées de 10 montants de bois (2"x6") à chaque extrémité pour la reprise des efforts de flexion ; voir la figure présentée dans la section méthodologique pour exemple. De plus, pour résister à une charge de cisaillement moyenne de 8 kN/m, les murs doivent être constitués d'un panneau de contreplaqué ou OSB de 12,5 mm d'épaisseur avec un patron de clouage avec clous 3,66mm Ø espacés à 100 mm, offrant ainsi une résistance de 9,2 kN/m. Les efforts diminuent considérablement dans les étages supérieurs, permettant d'espacer le patron de clouage et de diminuer les montants d'extrémité à 6 montants de 2"x6" à partir du niveau 4. Ces montants doivent être conservés jusqu'au toit afin de conserver une rigidité nécessaire pour réduire les déplacements sismiques. Pour ce projet où les efforts sont distribués uniformément sur tous les murs de contreventement, il est recommandé d'utiliser un seul type de patron de fixation par étage afin de simplifier l'exécution et de diminuer le risque d'erreur. Le patron peut cependant être optimisé d'un étage à l'autre.

Suite à la validation des efforts de dimensionnement, une deuxième partie des analyses numériques consiste en l'évaluation des déplacements dans les deux directions de calcul. Selon le Code national du bâtiment, il n'y a pas de déplacement absolu à respecter, mais plutôt un ratio de déplacement inter-étage maximal à ne pas dépasser, soit 2,5% (0,025) ou H/400 pour un bâtiment de catégorie d'importance normale. Les deux figures suivantes montrent les résultats, soit un graphique comparatif de la déformation des deux systèmes pour chaque étage, ainsi qu'une image provenant d'ETABS et montrant la déformation des murs en ossature légère dans la direction Nord-Sud.

Tout d'abord, il est possible de constater que les murs en ossature légère sont plus flexibles que les murs de CLT ; les déplacements maximaux sont de 0,8% et 0,55% pour les murs de CLT. Dans les deux situations, les déplacements sont faibles au niveau 1, puisqu'il correspond au niveau 2 composé de murs de refend en béton. Ensuite, vient une bonne partie de déformation dans les murs d'ossature légère entre le niveau 1 et 2. Cela indique une déformation en cisaillement des murs aux endroits critiques, contrairement aux murs de CLT qui suivent une courbe plus linéaire. Il est possible de remarquer cette déformation accentuée dans le rendu 3D d'ETABS. Les déplacements demeurent sous la limite permise de 2,5% à tout point dans le bâtiment.

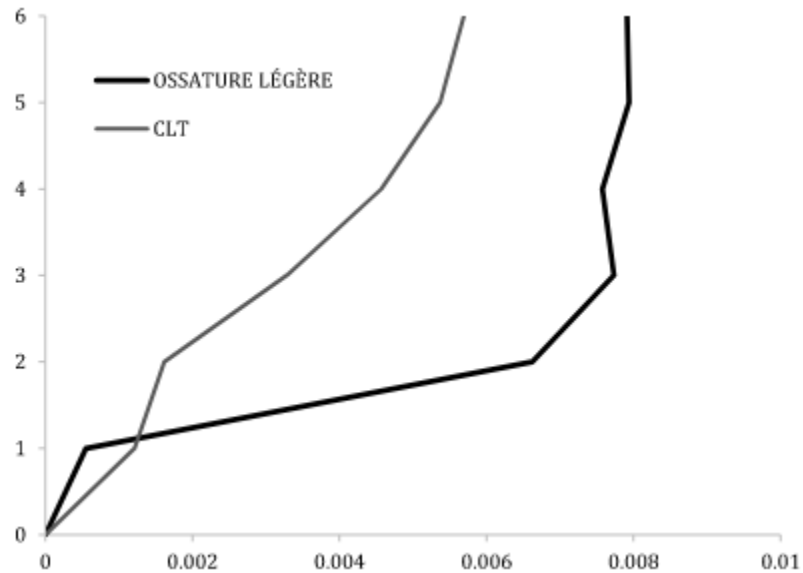


Figure 9. Déplacements inter-étages pour les deux systèmes latéraux (RdRo = 1,0)

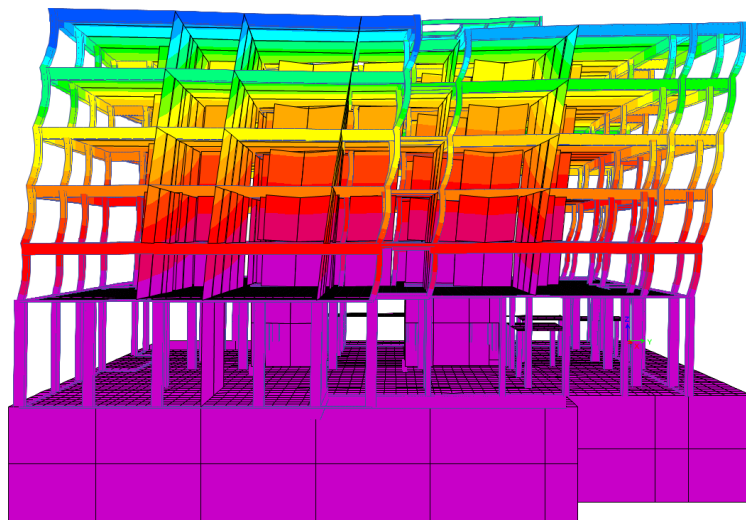


Figure 10. Déplacements dans la direction Nord-Sud, Ossature légère (Facteur 150)

Outre les analyses numériques, des aspects de construction doivent être étudiés. Dans le cas du projet Eddy, bien que les murs d'ossature légère servant de contreventement dans la direction Nord-Sud soient porteurs puisqu'ils ne sont pas désolidarisés, ils ne sont pas essentiels à la reprise des efforts gravitaires. Tel que mentionné à la section des hypothèses, les dalles CLT portent de façon unidirectionnelle jusqu'aux axes de mur de CLT. Par conséquent, la structure peut être montée en entier en premier et les murs d'ossature légère prévus pour contreventer peuvent être ajoutés par la suite. Cela permet à la structure de subir la première portion de déformation due à la charge morte et ainsi de limiter les contraintes de chargement différentiel en raison de la grande différence de rigidité entre un mur de CLT et un mur d'ossature légère. Cela permet également de simplifier les tolérances de construction. Cependant, une contrainte demeure quant au retrait différentiel qui agit différemment dans les deux types de système. Dans une structure de bois, le retrait se produit dans le sens perpendiculaire aux fibres et est plutôt négligeable dans le sens parallèle. Pour une structure en bois massif, la plus grosse proportion du retrait provient donc de la profondeur des poutres et est négligeable pour les colonnes. Pour un mur à ossature légère, le retrait provient plutôt des lisses en tête et en bas des murs à chaque étage. De plus, le retrait peut être jusqu'à 5 fois plus élevé dans un bois de sciage que pour du bois lamellé-collé. Un retrait uniforme est moins dommageable qu'un retrait différentiel comme dans le cas de l'utilisation d'un système mixte. Pour ces raisons, dans un scénario comme le projet Eddy, le retrait des lisses doit être diminué pour les murs servant de contreventement. Une façon de procéder est d'utiliser des essences de bois à faible retrait telles que TimberStrand ou d'autres produits se rapprochant plus des caractéristiques du bois massif.

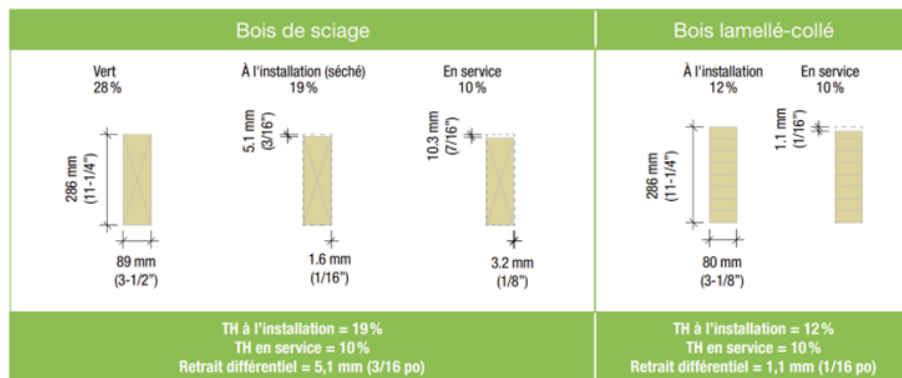


Figure 11. Retrait des éléments en bois dû au séchage (Guide Cecobois, 2020)

3.5 Conclusions

Les analyses numériques réalisées ont permis de démontrer qu'il est possible de considérer l'utilisation d'une structure mixte combinant le bois massif apparent et les murs en ossature légère. Le développement du projet Eddy offrait bien l'opportunité d'étudier l'utilisation d'un système latéral combinant des murs en bois massifs CLT et des murs en ossature légère détaillés comme contreventement. La grande particularité des deux systèmes est la différence de rigidité et du

comportement ductile en cas de tremblement de terre. En séparant les deux systèmes pour chaque direction de calcul principal, Nord-Sud et Est-Ouest, les résultats des analyses indiquent qu'il est possible de détailler les deux systèmes indépendamment en ignorant l'apport de rigidité du système se trouvant dans la direction perpendiculaire. Les efforts de dimensionnement ainsi que les limites de déplacements demeurent acceptables pour un positionnement de mur et un projet de la même envergure que Eddy.

L'utilisation d'un système mixte offre des avantages dont la rapidité ainsi que l'efficacité lors des étapes de construction. Cependant, dans le cas spécifique du projet de Eddy, l'aménagement des étages a fait en sorte que les emplacements et la longueur totale de mur sont limités dans la direction des murs en ossatures légères. De plus, aucun positionnement sur les murs extérieurs n'était possible, diminuant considérablement l'efficacité en torsion dans cette direction de calcul et sollicitant davantage les murs. De ce fait, les murs doivent être détaillés avec de nombreux montants, tiges d'acier ainsi que des panneaux d'OSB avec clouages serrés. Ce type de système devient donc moins intéressant économiquement en comparaison avec des murs de CLT pour des bâtiments de 5 étages. Un système formé uniquement de murs de CLT dans les deux directions offre également une meilleure distribution des efforts et stabilité pour la torsion accidentelle tout en réduisant les risques liés à la déformation différentielle du système mixte. Pour toutes ces raisons, la décision a été prise de poursuivre le projet Eddy avec seulement des murs de CLT servant à la reprise des efforts latéraux, augmentant du même fait la quantité de bois massif apparent, en lien avec l'un des objectifs du projet. Par conséquent, les cloisons intérieures secondaires ainsi que les murs d'enveloppe deviennent donc non structuraux et peuvent être détaillés en architecture comme des murs non porteurs standards. Le bois apparent a ainsi pu être intégré au projet tout en respectant les multiples contraintes identifiées, qu'elles soient acoustiques, environnementales ou liées à la résistance au feu, confirmant la faisabilité d'une solution à la fois performante, durable et architecturale.

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

L'étude réalisée dans le cadre du projet Eddy ouvre de nouvelles perspectives pour le domaine de la construction au Québec, en démontrant la faisabilité et les avantages d'une structure entièrement composée de murs en CLT, tant sur le plan technique que architectural. Les analyses numériques ont permis de mieux comprendre le comportement sismique d'un système mixte combinant bois massif et ossature légère, tout en mettant en évidence ses limites économiques et structurelles pour des bâtiments de moyenne hauteur. Cette compréhension approfondie contribue à améliorer les pratiques de conception en orientant les professionnels vers des solutions plus performantes et cohérentes, notamment dans le choix des systèmes de contreventement. L'adoption d'un système complet en CLT permet non seulement de simplifier les calculs structuraux en réduisant les problématiques liées à la déformation différentielle, mais aussi de diminuer les temps de conception et de coordination entre disciplines. Sur le chantier, cette

approche favorise une exécution plus rapide et plus efficace, réduisant les coûts liés à la main-d'œuvre et à la complexité d'installation.

Par ailleurs, le recours accru au bois massif et à des produits bas carbone a permis une réduction significative de plus de 45% des émissions de GES, contribuant ainsi aux objectifs environnementaux de construction durable. L'intégration du bois apparent dans un contexte multirésidentiel offre également une valeur ajoutée esthétique et biophilique, qui se traduit par une plus grande attraction pour les locataires. L'étude a permis de développer des connaissances techniques spécifiques à la conception de bâtiments multirésidentiels en bois apparent, notamment sur les aspects liés à la sécurité incendie, à la performance acoustique et à la durabilité. Elle a également enrichi l'expertise de l'industrie en matière de sélection et de mise en œuvre de produits performants à faible empreinte carbone dans un contexte résidentiel. Ces retombées permettent d'outiller le secteur pour concevoir des projets plus innovants, compétitifs et alignés avec les attentes du marché, tout en soutenant la commercialisation à grande échelle de solutions constructives basées sur le bois au Québec

3.7 Recommandations

L'utilisation d'un système structural hybride de bois massif apparent et de bois à ossature légère pour un bâtiment de 6 étages présente des avantages prometteurs. Afin de concrétiser ce type de structure, voici les principales recommandations découlant de cette étude :

- Concernant l'analyse numérique du système mixte, une recommandation serait d'approfondir l'analyse de l'interaction entre les différentes rigidités des murs de CLT et des murs en ossature légère. Des essais numériques, mais également des essais en laboratoire, seraient pertinents pour préciser les paramètres à considérer et ainsi éviter de devoir faire des hypothèses de calcul trop conservatrices.
- L'aménagement architectural devrait être adapté dès le début du projet afin d'améliorer l'efficacité des murs d'ossature légère. Par exemple, positionner les murs en plus grand nombre et aux extrémités améliore la stabilité en torsion.
- Prévoir des niveaux de plancher finis plus hauts qu'une structure standard étant donné la composition de plancher acoustique entièrement réalisée par le dessus de la structure de CLT.

4. Bibliographie

1. Newfield, G., Ni, C., Wang, J. 2013. A mechanics-based approach for determining deflections of stacked multi-storey wood-based shearwalls. FPInnovations, Vancouver, B.C. and Canadian Wood Council, Ottawa, Ont.
2. Nordic Structures. 2022. Guide technique Nordic X-LAM, Nordic Structures, Montréal, Québec.
3. Cecobois, Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois, 2020, Guide de conception des assemblages pour les charpentes en bois, 2e édition, Cecobois, Montréal, Québec