

L'utilisation efficace du bois dans une structure hybride pour augmenter la flexibilité d'usage d'un bâtiment de moyenne hauteur

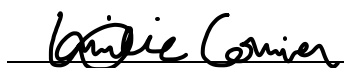
Agrandissement Rayside Labossière

Préparé par

RAYSIDE | LABOSSIÈRE
Architecture Design Urbanisme

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du Programme de vitrine technologique pour les bâtiments et les solutions innovantes en bois

31 janvier 2022



Émilie Cormier

Auteur



Justin Boulanger

Réviseur



Antonin Labossière

Architecte associé

Avis de non responsabilité

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le promoteur du projet. Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs ainsi que le Fonds vert ne sont donc pas responsables du contenu de ce document.

Table des matières

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude	1
2. Introduction	3
2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction	4
2.2 Description du projet de construction	4
2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante	4
2.2.2 Échéancier global et durée	9
2.2.3 Budget global	9
2.2.4 Partenaires.....	9
2.2.5 Défis et risques généraux.....	9
3. Détails de l'étude.....	10
3.1 Introduction et hypothèses de départ.....	10
3.2 Objectifs	12
3.3 Méthodologie	12
3.4 Résultats et analyse	14
3.5 Conclusions.....	19
3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	20
3.7 Recommandations.....	21
4. Bibliographie	21
5. Annexes	21

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

L'objectif de la présente étude est de démontrer une stratégie de structure hybride qui servira de prototype, adaptable à une variété de projets de moyenne hauteur cherchant à augmenter la flexibilité d'utilisation du rez-de-chaussée, et ce, tout en privilégiant l'utilisation efficace du bois comme matériaux de structure. Cette stratégie s'applique très bien à la typologie urbaine très commune d'un bâtiment avec un (ou des) commerce(s) au rez-de-chaussée et des logements aux étages.

Pour ce faire, le projet d'Agrandissement Rayside Labossière s'est vu adresser une contrainte aux multiples défis structuraux, soit de créer un rez-de-chaussée sans colonnes centrales. Ce choix imposa la recherche d'une solution innovante. Une mezzanine devait être suspendue dans l'espace double hauteur du rez-de-chaussée et ses charges ajoutées à celles des 8 logements au-dessus par des éléments qui les transfèreraient vers des colonnes en périphérie.

Afin de déterminer comment mettre en place la stratégie de structure la mieux adaptée au projet et à ses contraintes, de nombreuses discussions et analyses ont été réalisées avec des entreprises potentielles spécialisées dans la conception et la fabrication de structure de bois et/ou d'acier.

Les prises de décision et le cheminement qui en découle reposent sur plusieurs éléments distinctifs : la valorisation du bois, les réactions aux appuis, le budget, les exigences structurales du Code auxquelles le projet doit se conformer et les contraintes d'aménagement propres au projet.

La première stratégie considérée repose sur la mise en place de fermes habitables en bois d'un étage de haut qui viendraient prendre les charges de la mezzanine. La réaction totale pondérée trop élevée et l'absence d'alternative de contreventement suffisante engendrèrent l'élimination de cette option.

L'ossature de bois léger étant écartée, l'alternative du bois d'ingénierie fut introduite. Des fermes en bois lamellé pleines hauteurs auraient imposé de calculer les exigences structurales selon la partie 4 du Code plutôt qu'avec la partie 9 et fort probablement modifier les ouvertures en façade, car les besoins de contreventement sont plus importants pour répondre aux charges sismiques. De plus, les éléments seraient cachés dans les murs interlogement, qui doivent être isolés et recouverts de gypse, quand il serait plutôt logique de maximiser le pourcentage apparent de ce matériau.

Le bois n'étant plus considéré comme étant un matériau aux solutions optimales, il fut décidé de se tourner vers des éléments en acier. Pour les mêmes raisons de code que les fermes pleines hauteurs en bois lamellé, l'option des fermes pleines hauteurs en acier fut éliminée. Cette stratégie maintenant exclue, deux options furent proposées par l'ingénieur attitré au projet : la première avec des poutres à larges ailes et une seconde avec des fermes ajourées, avec des profondeurs d'environ 1m au lieu de l'étage au complet. Tout ça pour éviter d'être assujettis aux exigences structurales (sismiques) de la partie 4 du code.

Des poutres de transfert en acier, par étages, n'étaient pas viables si elles impliquaient des retombées du plafond de la mezzanine. Il n'y avait pas assez de dégagement pour des retombées et les conduits de ventilation. Le dimensionnement avait donc un impact déterminant sur la viabilité

de cette stratégie. Les ingénieurs ont émis deux hypothèses qui pourraient répondre aux contraintes de dégagement : option 1. une poutre au toit et une dans le plancher du 3^e, option 2. une grosse poutre dans le plancher du 3^e. À titre de comparatifs budgétaires, il a aussi été demandé que l'option des fermes ajourées qui concordent à ces poutres en W proposées soit étudiée. La profondeur des fermes, chevauchant les 1 mètre, était trop importante.

Le choix final s'est arrêté sur une stratégie de mise en place de poutres en acier au 2^e et 3^e plancher. Les poutres du 2^e viennent prendre la charge de la mezzanine grâce à des tirants en acier. Ces mêmes poutres sont quant à elles suspendues aux immenses poutres du plancher du 3^e étage grâce à des HSS. Ce sont donc uniquement les charges du 3^e étage et du toit qui sont déposées de façon typique.

Pour compléter le système, une stratégie de diaphragme structurale a été développée avec le platelage de la mezzanine pour consolider une partie de la structure en périphérie. Puisque les deux faces du pontage en bois lamellé allaient être apparentes, dans l'objectif d'éviter l'ajout d'un contreplaqué et un revêtement de plancher, une technique de vissage novateur a été développée.

Les différentes prises de décisions et la structure hybride résultante sont expliquées plus en détail dans les prochains paragraphes.

2. Introduction

Rayside Labossière se consacre avant tout à l'architecture sociale, au développement urbain et communautaire, au développement durable et au design. D'ailleurs, sa mission traduit parfaitement la fibre de son travail : une architecture, un design et un développement urbain engagés, verts, originaux et pertinents.

Le siège social de Rayside Labossière, situé au 1215 rue Ontario Est, compte parmi les édifices les plus écologiques de la ville de Montréal depuis sa construction en 2005; il est respecté à la fois par les architectes et les urbanistes, et fut cité maintes fois dans les médias. Le bureau d'architectes souhaitait emboîter le pas et construire le plus petit bâtiment certifié LEED au Canada. Encore aujourd'hui, une quinzaine d'années plus tard, le projet rayonne. Il a tout récemment réussi à se qualifier comme l'un des 10 premiers bâtiments à Carbone Zéro, et ce, grâce aux stratégies mises en place à une époque où elles n'étaient pas encore d'usage courant. De sa conception à sa réalisation, qui se firent contre vents et marées, ce bâtiment reflète la responsabilité sociale de Rayside Labossière, de même que sa détermination à trouver des solutions innovatrices aux défis sociaux, économiques, politiques et structurels fréquemment rencontrés dans le domaine de l'architecture.

À l'époque, le rez-de-chaussée de 1800 pi² avait été conçu pour accueillir une équipe de 15 employés. La mezzanine était alors l'espace attitré aux rencontres et à l'heure du repas. Seulement 6 ans après la construction, l'équipe s'approchait du triple de cette capacité et les superficies furent rapidement insuffisantes.

Le projet d'agrandissement est l'aboutissement d'une longue réflexion de la compagnie qui a dû composer au courant des dernières années avec une croissance stable et constante. La première conséquence de cette croissance fut la reprise de deux logements au-dessus du bureau, mais cette solution n'était ni idéale ni suffisante. Les possibilités de déménagement ou de bureau satellite furent alors évaluées. L'établissement au cœur du quartier demeurait, évidemment, une de leurs priorités et l'opportunité d'agrandir par l'arrière représentait, une occasion à saisir. Ceci permettrait de conserver pignon sur rue tout en maintenant groupée l'équipe et en permettant, une fois de plus, de participer à vivifier la rue Ontario. De plus, il pourra être possible de recréer deux nouveaux logements dans l'immeuble actuel.

Rayside Labossière souhaite ainsi que ce projet devienne pour la firme et pour le quartier une opportunité de développement, bien sûr, mais une opportunité de développement durable, par des composantes hautement écologiques, tel que leur projet original, certifié LEED. Elle souhaite que l'agrandissement agisse à titre de laboratoire technologique écologique, c'est-à-dire un bâtiment unique qui ne délaisse pas une technologie au détriment d'une autre. La découverte, l'apprentissage et l'innovation sont au rendez-vous. La création d'une typologie d'architecture hyper flexible au rez-de-chaussée est en fait une réponse aux épreuves jadis rencontrées par la firme. Cette dernière permettra d'accommoder les changements dans l'équipe et maximiser le potentiel d'occupation futur de la firme dans ce même local.

Un rez-de-chaussée sans colonnes offre d'impressionnantes superficies sans entraves pour les commerces. La flexibilité de l'espace est maximisée, car les divisions intérieures ne sont pas porteuses et peuvent être ajustées selon les besoins de l'occupant sans être limitées par une trame

structurale; cette flexibilité se traduit par des immeubles qui attirent une plus grande variété d'entreprises. Cette typologie facilite également la rénovation du rez-de-chaussée, ce qui encouragerait des occupants subséquents d'adapter le bâtiment plutôt que de le démolir.

La pandémie du Coronavirus a d'ailleurs relancé de façon plus urgente le besoin de s'adapter au changement, lui qui était déjà guidé par des facteurs importants comme les avancées technologiques et l'état critique de la situation environnementale¹. C'est ce que Ben van Berkel, de UNStudio souhaitait initier dans son rapport² portant sur l'architecture adaptable pour des raisons socioéconomiques, environnementales, et technologiques. Les bienfaits de la super flexibilité et de l'adaptabilité sont nombreux et les différentes façons d'y parvenir le sont tout autant. Prenant pour exemples des projets conçus par la firme, il explique en quoi les bâtiments conçus dès le départ en vue d'un futur changement d'utilisation permettent d'économiser des dépenses et des ressources. Le design flexible et adaptable contribue à une utilisation plus efficace de l'espace et assure une transition plus fluide lorsque vient le temps d'accueillir de nouveaux occupants. Cette tendance assure aussi un meilleur maintien de la valeur économique de la propriété comme les mises à niveau du bâtiment peuvent réduire les coûts des matériaux et la consommation d'énergie dans le futur. Comme quoi l'architecture adaptable est symbole de développement durable.

Dans ce même ordre d'idée, la conception intégrée du projet a commencé très tôt; avant même de confier un mandat en génie, ingénieurs et experts en construction écologiques furent invités pour une séance de remue-méninges pour établir les pistes d'exploration les plus prometteuses. Les documents d'appel d'offres étaient conçus pour laisser de la place aux suggestions de l'entrepreneur pour optimiser la phase de construction.

L'utilisation du bois fut privilégiée dès le départ pour son côté esthétique et son rappel à la nature, mais plus particulièrement pour réduire l'empreinte carbone de la nouvelle construction. Il s'agissait aussi d'un choix aux multiples défis, mais surtout faisant place à l'innovation.

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Titre : Agrandissement Rayside Labossière

Lieu de réalisation : 2013-2045 rue Montcalm, Montréal QC H2L 3H8

2.2 Description du projet de construction

Le projet d'Agrandissement Rayside Labossière s'amorce en 2015 alors que la firme procède à l'achat d'un bâtiment délabré de deux étages et huit logements sur un terrain voisin. Des stratégies de conservation partielle ou de réutilisation de matériaux existants firent partie du processus de conception initiale, mais la présence de contamination à l'amiante a éliminé ces alternatives.

Le nouveau bâtiment à usage mixte de trois étages comprend un sous-sol, un rez-de-chaussée ainsi qu'une mezzanine tous occupée par les bureaux de la firme tandis que les deux étages supérieurs accueillent un total de huit logements locatifs. En toiture prend place un toit vert aménagé surplombé en sa moitié de panneaux solaires.

Au moment de l'achat du terrain, les lots immédiats au bureau existant, sur Ontario, n'étaient pas propices au développement. Le terrain acheté donne alors sur une rue perpendiculaire, ayant seulement quelques mètres de limites partagées où les cours arrière se touchent (voir Figure 1). La nouvelle construction vient donc se joindre au bâtiment existant via un corridor en rez-de-chaussée. En plus d'offrir une vue immersive sur la cour arrière végétalisée, ce lien physique et pratique permet à l'équipe de conserver son espace administratif sur l'artère principale qui lui sert d'accueil. Quoiqu'accessible par la rue Montcalm, la présence de l'espace commercial de l'Agrandissement se fait toutefois subtile dans sa façade afin de s'intégrer dans le contexte de la rue résidentielle tranquille. Au toit, une passerelle relie la nouvelle toiture verte à l'ancienne.

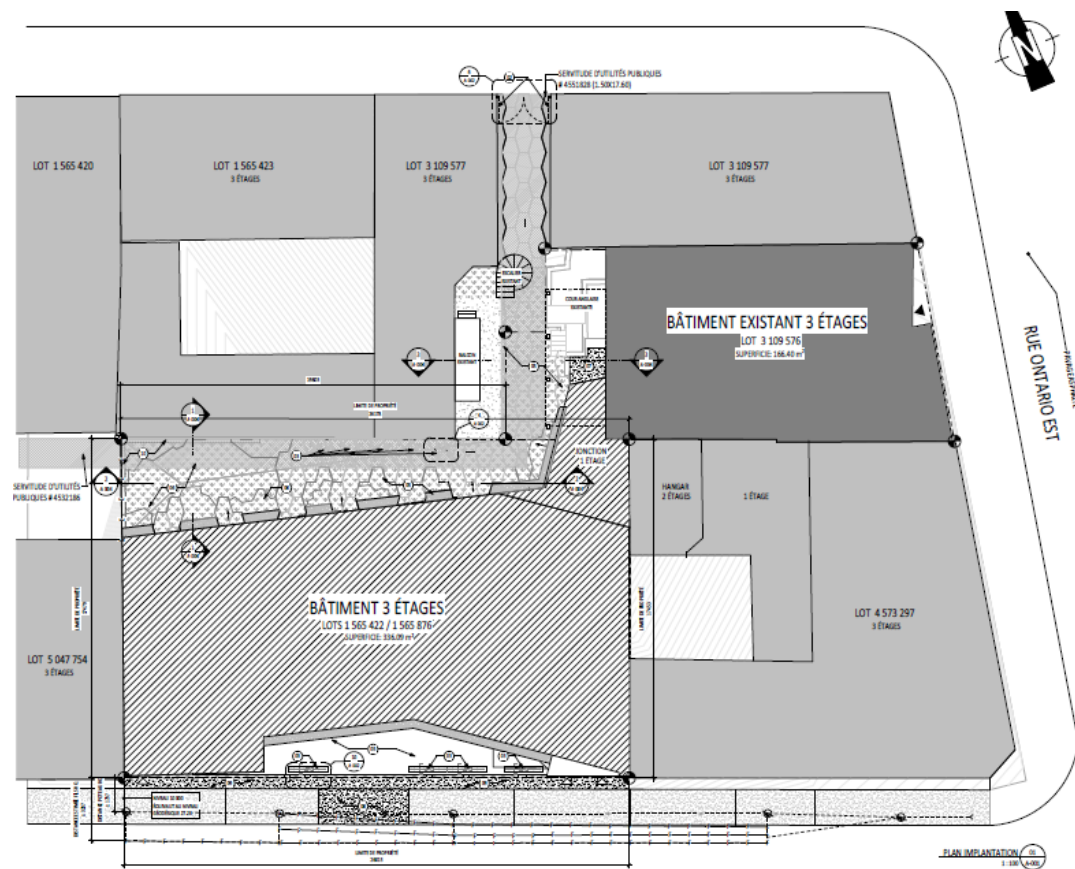


Figure 1. Plan d'implantation, *Rayside Labossière*

À trois étages de haut, le bâtiment maximise la densité urbaine écologique à une échelle humaine. L'analyse de Rémy Barbonne, portant sur l'évolution des comportements de mobilité des résidents du Plateau Mont-Royal³, souligne en quoi les caractéristiques urbanistiques d'un tel quartier se rapprochent de l'idéal-type; un quartier dense, présentant une importante mixité fonctionnelle et offrant un environnement propice à l'utilisation des modes de transport alternatifs. La masse critique de la densité du nombre d'habitants contribue ainsi à la grande desserte en infrastructures publiques et de transport. Notons-le, le Plateau est en majorité occupé par des duplex et des triplex et ses qualités résident dans l'équilibre sain entre densité et hauteurs. La consommation de ressources naturelles, en

espace et en infrastructures, s'en retrouve donc réduite. De plus, la faible hauteur du bâtiment à l'échelle de la rue favorise le contact et l'intensité des relations du voisinage par les éléments de balcon, escaliers et seuil.⁴

La façade est composée de deux formes géométriques emboîtées, revêtues de deux matériaux complémentaires pour faire allusion aux deux usages, et ce, sans strictement les tracer. Le choix de la brique et des tuiles métalliques, non seulement durables, réinterprète la composition des triplex en briques avec fausse mansarde typiques du secteur. La façade avant se replie en retrait plutôt que de s'aligner à la limite du trottoir, laissant place à un aménagement paysager au niveau du sol et à de généreux balcons aux étages supérieurs. La structure métallique de ces balcons se présente sous forme d'arbres et un filet servant de garde-corps s'y accroche en plus d'offrir un support pour un écran végétal.

La typologie architecturale d'espaces ouverts et dynamiques au rez-de-chaussée accueille espaces de travail, une grande salle servant à la fois de salle de réunion et d'aire de diner ainsi qu'une cuisinette (voir Figure 2). Pour cet espace double hauteur avec mezzanine ouverte (voir Figure 3), tout en bois lamellé apparent, on cherchait à éviter toutes colonnes centrales pour maximiser le dégagement et la flexibilité.



Figure 2. Plan du rez-de-chaussée, *Rayside Labossière*

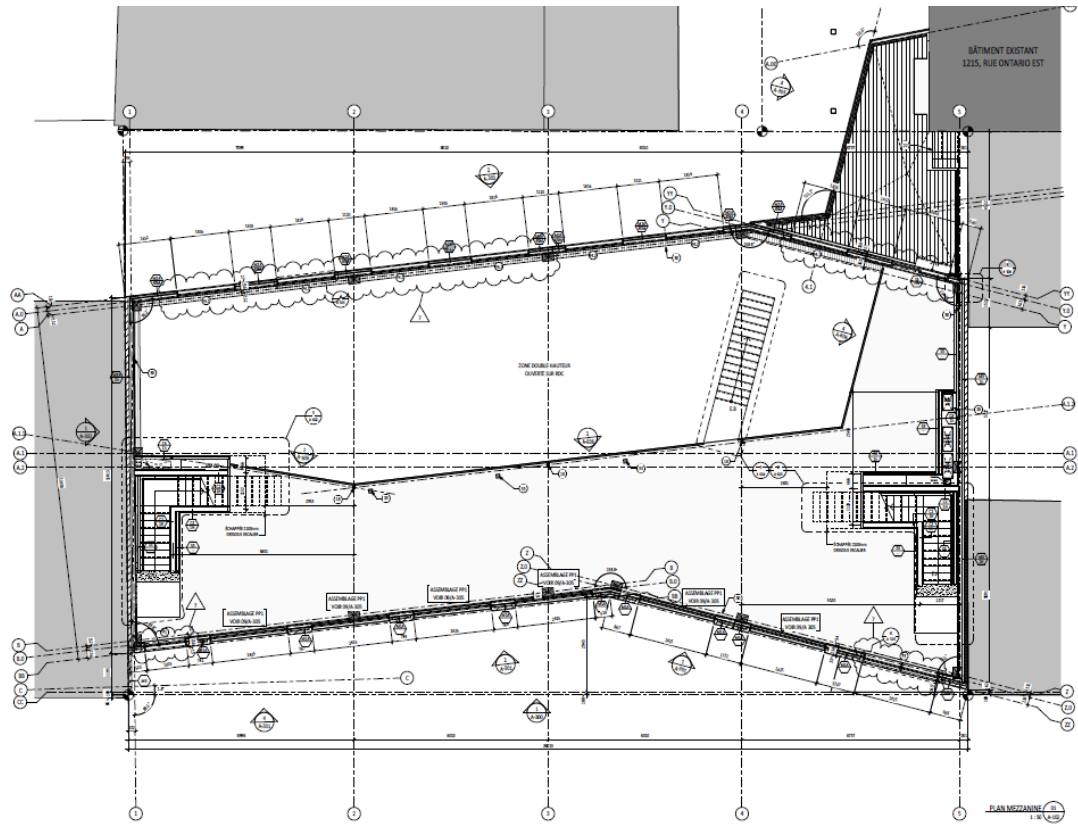


Figure 3. Plan de la mezzanine, *Rayside Labossière*

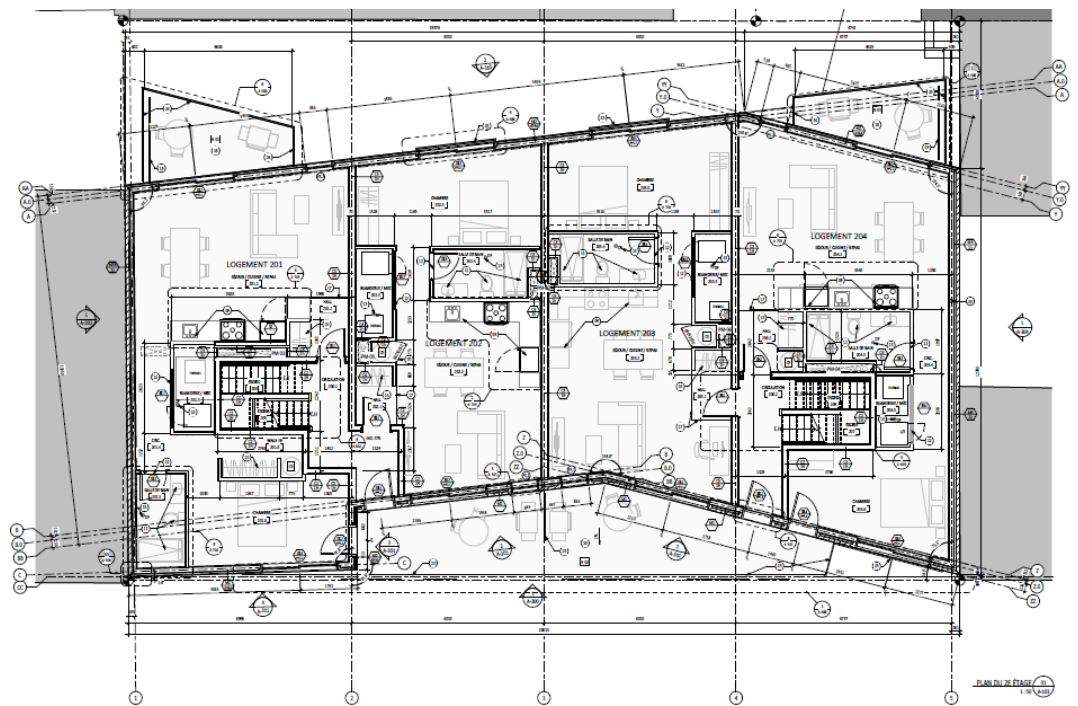


Figure 4. Plan du 2^e étage, *Rayside Labossière*

Un système de géothermie, complété par des panneaux photovoltaïques au toit et une dalle radiante hydronique au rez-de-chaussée, vient répondre aux besoins de chauffage et climatisation.

2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

L'innovation du projet d'Agrandissement Rayside Labossière consiste en la réalisation d'une solution structurale efficace pour un bâtiment de moyenne hauteur qui superpose deux types d'usages, cherche à créer un espace extrêmement dégagé et flexible au rez-de-chaussée, et priorise le matériau bois pour la structure. Cette solution a nécessité une architecture soigneusement raffinée; une structure hybride sophistiquée combinant le bois lamellé, la charpenterie légère, un minimum d'acier; et une stratégie de suspension et transfert de charges cherchant à utiliser différents matériaux de façon efficace et intelligente selon leurs propriétés intrinsèques. L'utilisation du bois lamellé à des endroits stratégiques a permis, lorsque possible, de mettre en valeur ce matériel en l'exposant. L'introduction des autres matériaux (béton et acier) découlait des restrictions techniques ou budgétaires.

La réalisation d'un espace double hauteur avec mezzanine ouverte, dépourvu de colonnes centrales a présenté d'importants défis structuraux, compte tenu des portées envisagées et des charges à supporter en son dessus. Les portées, pour ce bâtiment contigu dont la largeur était plus du double de sa profondeur, étaient donc dictées par la douzaine de mètres entre les murs extérieurs avant et arrière. Les charges cumulées de la toiture, des huit logements, et de la mezzanine suspendue – cette dernière ayant 40% de la superficie du rez-de-chaussée – ont largement dépassé la limite pratique d'une charpente légère et créaient des concentrations de charges atypiques pour cette échelle de bâtiment. La ceinture structurale au rez-de-chaussée a donc été conçue en bois lamellé pour résister aux charges verticales concentrées. L'hypothèse initiale était que le transfert horizontal pourrait se faire par des fermes habitables en bois préfabriquées d'un étage de haut. Or, les portées s'avéraient trop ambitieuses pour des assemblages de bois; même dix plis de fermes légères par axe auraient été insuffisants, et des fermes en bois lamellé n'étaient pas budgétairement viables.

Les charges durent ainsi être enjambées par d'énormes poutres en acier. Instinctivement, ces éléments auraient été installés au plancher du 2e étage pour reposer directement sur les colonnes du rez-de-chaussée, avec des murs porteurs par-dessus pour toutes les charges supérieures et seulement la mezzanine suspendue. Cependant, les poutres étaient tellement profondes qu'elles auraient créé des retombées trop importantes au plafond du bureau, d'où leur positionnement au plancher du 3e étage. Le résultat est qu'en plus de la mezzanine suspendue, le 2e étage est aussi suspendu à ces poutres, alors que seulement les charges du 3e et du toit sont déposées de façon typique par un mur porteur en bois dimensionnel.

Une seconde solution innovante a été développée pour la mezzanine, inspirée par les tabliers cloués (le fameux '*mill floor*') des usines de textiles construites vers le début du 20^e siècle. En augmentant l'épaisseur du platelage en bois lamellé à 125mm d'épaisseur, il était possible d'atteindre des portées de 5 mètres et ainsi d'éviter la nécessité d'avoir une

structure en poutrelles sous ce dernier. L'épaisseur totale du plancher résultante est donc réduite. L'absence de colonnes centrales et de contreventement au centre du bâtiment a nécessité que le plancher de la mezzanine agisse comme diaphragme structural pour deux raisons : 1) soutenir les charges du plancher et les acheminer vers la ceinture; et 2) agir comme contreventement horizontal pour une partie des colonnes de cette même ceinture. Pour des raisons écologiques et esthétiques, il était souhaité d'éviter l'ajout d'un contreplaqué et revêtement de plancher par-dessus le bois lamellé afin que les deux faces restent apparentes.

C'est avec l'aide d'*Art Massif* qu'une stratégie d'installation du platelage de la mezzanine a été développée pour satisfaire les exigences du diaphragme structural, remplaçant la couche de contreplaqué cloué par des paires de vis structurelles dissimulées, inclinées à 45 degrés et -45 degrés. Ce détail représente une affirmation que la structure en bois lamellé est, d'un seul coup, la structure, la surface, et la finition.

Les deux étages de logements, avec leurs dimensions plus typiques, sont en ossature légère de bois. La structure du toit (pontage et poutres) est en bois lamellé apparent au plafond du dernier étage. Les éléments structuraux extérieurs (balcons et œuvre artistique en façade), quant à eux, sont en acier pour répondre aux exigences d'incombustibilité du code de construction, ainsi qu'à la rigueur du climat québécois.

2.2.2 Échéancier global et durée

Le projet s'est échelonné sur une période de 29 mois. Le bâtiment a été mis en service au mois de décembre de l'année 2021.

2.2.3 Budget global

Le coût global du projet est de 8 190 000 \$, incluant l'achat du terrain, les honoraires professionnels, et la construction.

2.2.4 Partenaires

Art Massif : Conception de la partie en lamellé-collé (en concert avec l'équipe), fabrication et installation.

Ambioner : Conception du système électromécanique, simulation énergétique.

L2C : Conception de la structure, suivi du chantier.

Marmott Énergies : Conception et installation du système de géothermie / ventilation / dalle radiante hydronique.

PMC Lachance : Gérance de construction.

2.2.5 Défis et risques généraux

Des longues poutres de transfert sont sujettes à des flexions importantes selon la flèche permise dans le CCQ (L/240). Afin d'éviter le risque de causer des fissures dans le gypse

aux étages supérieurs, les ingénieurs en structure ont proposé une flèche réduite ($L/400$) et le dimensionnement de ces poutres a été ajusté en conséquence.

La jonction entre une structure de bois lamellé et des fondations en béton représente un défi plus important que les autres types de structure. Les éléments de bois lamellé sont typiquement fabriqués en usine avec des tolérances très serrées (dans les millimètres près). Les éléments s'appuient sur, ou s'accroche à, des jonctions métalliques pour lesquels des trous, des encoches, et des fentes sont usinés minutieusement dans le bois. Cette finesse, si appréciée lorsque le tout s'imbrique à l'installation, n'est malheureusement pas facilement corrigible en chantier en cas d'erreur. Conséquemment, la précision requise s'impose sur l'emplacement des ancrages de bases de colonnes coulés dans la fondation – potentiellement par un autre corps de métier que l'installateur du bois lamellé. Puisque la précision *in situ* en construction ne s'approche pas à celle de la préfabrication, une réflexion importante doit être faite lors de la conception des jonctions et bases d'appui pour assurer un ajustement suffisant lors de l'installation. Dans le cheminement critique d'un projet de la sorte, il faut également s'assurer que les détails des bases de colonnes (dimensions, positionnements, spécifications d'ancrages et gabarits d'installation) soient finalisés avant le début des travaux de coffrages, pour éviter des conflits d'armatures.

Le projet comportait aussi quelques risques financiers. La construction du bâtiment a débuté au même moment que la situation COVID-19 a commencé à prendre de l'ampleur au Québec. L'entrepreneur a donc travaillé étroitement avec ses fournisseurs pour rester informé par rapport aux risques. Il était primordial de commander à l'avance lorsque possible pour éviter les difficultés d'approvisionnement et retards qui pourraient causer l'augmentation des prix et délai de livraison des matériaux. Il fut aussi prévu que certains gros éléments du projet (aménagement paysager, toit vert, système photovoltaïque) pourraient se faire en phases antérieures sans compromettre énormément le succès du projet.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ

Rayside Labossière a toujours eu un grand intérêt pour le développement durable. Pionnier sur de nombreux aspects, son premier siège social construit en 2005 est apparu comme une opportunité de faire différent. Au fil des ans, la firme a pu mettre en pratique ses réussites et connaissances sur de nombreux projets. Aujourd'hui, la nouvelle construction se veut encore une fois être une source d'inspiration et d'innovation. En plus de se fixer des objectifs très élevés en matière d'écologie, la firme souhaitait utiliser le bois comme matière première pour la structure.

Pour répondre au besoin de l'espace bureau et à la création d'un aménagement flexible, le rez-de-chaussée de l'agrandissement consiste en un espace double hauteur, dépourvu de colonnes centrales, avec une mezzanine ouverte suspendue ayant 40% de la superficie du rez-de-chaussée. Par-dessus cet espace bureau, deux autres étages sont superposés et accueillent huit logements. La toiture végétalisée contribue également à une surcharge de poids plus important qu'une toiture conventionnelle.

La combinaison de ces contraintes a fait de l'espace au rez-de-chaussée un défi structurel de taille. Les portées, pour ce bâtiment contigu dont la largeur était quatre fois plus grande que sa profondeur, étaient donc dictées par la douzaine de mètres entre les murs extérieurs avant et arrière. Les charges cumulées de la toiture, des huit logements, et de la mezzanine suspendue, ont largement dépassé la limite pratique d'une charpente légère et créaient des concentrations de charges atypiques pour cette échelle de bâtiment. La ceinture structurale au rez-de-chaussée a donc été conçue en bois lamellé pour résister aux charges verticales concentrées. La possibilité de réaliser cette partie en bois lamellé apparent complétait également les aspirations architecturales. Le dimensionnement et la position des éléments en bois lamellé ont très peu changé au cours du développement du projet, car les critères de conception ont été facilement définis et les capacités du bois lamellé bien maîtrisées par l'équipe de conception.

Cette base étant déterminée, la problématique première était donc la méthode de transfert horizontal des charges vers cette ceinture, tout en priorisant le bois pour l'ensemble de la structure, plutôt que de considérer l'acier par défaut. L'hypothèse initiale était que le transfert horizontal puisse se faire par des fermes habitables en bois préfabriquées, d'un étage de haut. Pour s'harmoniser avec l'aménagement architectural, ces fermes devaient s'aligner avec les murs interlogement (voir Figure 5). L'hypothèse de départ repose sur l'avis des ingénieurs impliqués dans le projet. Assurer le transfert des charges par la mise en place de fermes préfabriquées d'un étage de haut en bois léger leur semblait être la solution la plus simple et logique pour le projet.

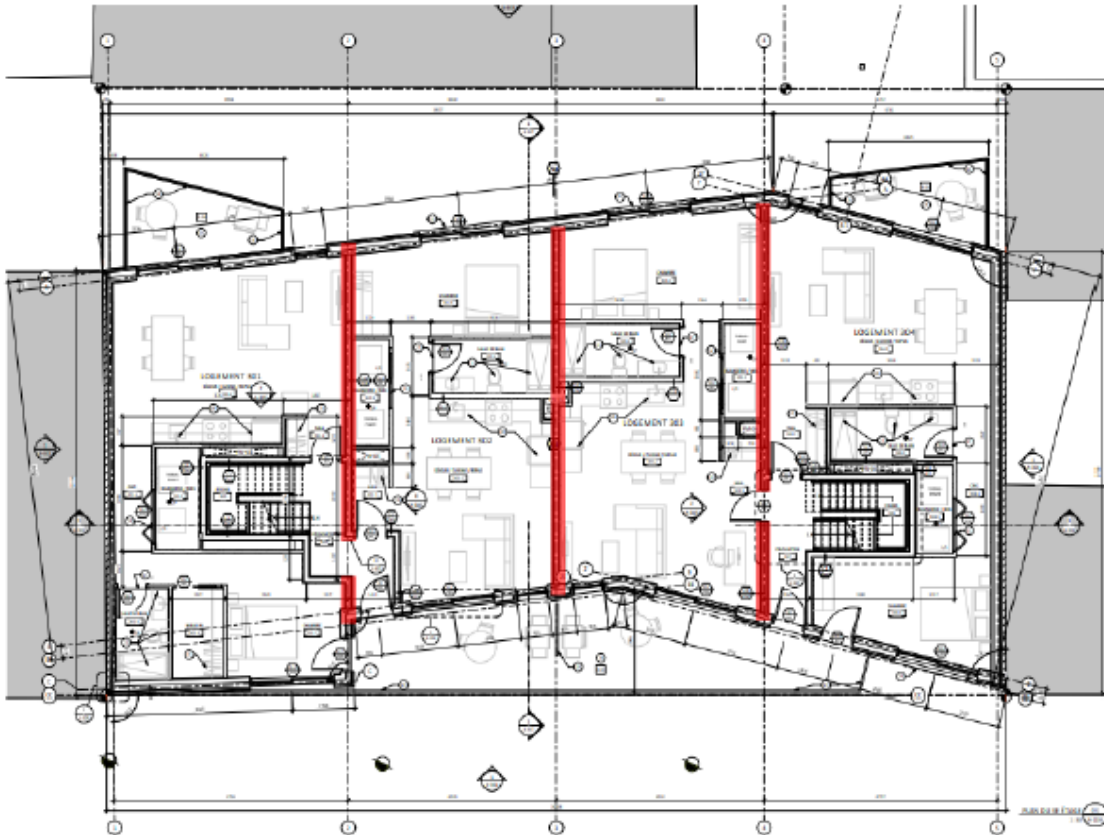


Figure 5. Plan du 3^e étage-Axes 2,3 et 4, Rayside Labossière

De cette hypothèse optimale qui s'est avérée non concluante, de nombreux scénarios ont émergé pour venir tenter de répondre aux différentes contraintes du projet. Un travail s'échelonnant sur plusieurs mois fut entrepris avec quelques fabricants québécois afin de déterminer les alternatives possibles.

Une problématique secondaire est survenue au niveau du plancher de la mezzanine, car l'idée était que ce plancher suspendu soit uniquement composé de poutres en périphérie (sans poutrelle) et d'un platelage uniquement en bois lamellé (sans contreplaqué et revêtement de plancher) aux deux faces apparentes. L'absence de colonnes centrales et de contreventements au centre du bâtiment a nécessité que le plancher de la mezzanine agisse comme diaphragme structural pour deux raisons: 1) soutenir les charges du plancher et les acheminer vers la ceinture; et 2) agir comme contreventement horizontal pour une partie des colonnes de cette même ceinture. Ayant écarté le contreplaqué, typiquement cloué au platelage pour le consolider en diaphragme, il était nécessaire de trouver une autre solution. L'hypothèse initiale avancée par *Art Massif*, était que les charges horizontales soient assumées par le vissage en angle des longueurs de platelage en bois lamellé; il restait à confirmer la quantité et l'orientation optimale des vis.

3.2 Objectifs

L'objectif de cette étude est avant tout de revisiter les standards de l'industrie qui s'appliquent à des bâtiments de moyenne hauteur cherchant des espaces commerciaux très ouverts et flexibles en dessous des étages résidentiels (ou autre) par la démonstration d'une typologie reproductible qui valorise l'utilisation du bois.

3.3 Méthodologie

La conception du projet repose sur un processus de conception intégrée. Les parties prenantes d'un projet ne se limitent pas qu'aux ingénieurs et aux entrepreneurs. L'ensemble des projets de la firme, celui-ci n'échappant pas à la règle, sont développés en collaboration avec les intervenants interpellés et cela en tout début de processus. Pour parvenir à joindre le plus de personnes possible, plusieurs charrettes furent organisées à différentes étapes du projet. Grâce à ces échanges, il fut possible de prévenir les répercussions environnementales, sociales et financières du projet, le tout dans le respect du principe de durabilité. Avant même de confier un mandat en génie, ingénieurs et experts en construction écologiques, dont *Écohabitation* et *Écobâtiment* furent invités pour une séance de remue-méninges pour établir les pistes d'exploration les plus prometteuses. Au moment de l'appel d'offres, les documents laissaient place aux suggestions de l'entrepreneur pour optimiser la phase de construction.

Les paramètres de l'étude reposent sur les critères particuliers de conception du bâtiment :

- Sous-sol habitable
- Bâtiment de 3 étages hors sol
- Espace double-hauteur au rez-de-chaussée sans colonnes centrales
- Mezzanine ouverte suspendue dans l'espace double hauteur, ayant 40% de la superficie du rez-de-chaussée
- Portée libre entre 10.4 à 11.9 mètres,
- Largeur du bâtiment : 26 mètres

- Résistance au feu de la structure de 45 minutes entre les étages (sauf la mezzanine : superficie moins de 40% de la superficie du RDC donc pas besoin de résistance au feu)
- Murs interlogement coupe-feu (3) définissant l'emplacement des éléments de transfert. 2 des 3 murs par étage comporte une ouverture pour une porte (voir plans), ce qui compliquait la conception des éléments de transfert.
- Hauteur plancher/plafond
- Conformité aux règlements et codes applicables, incluant le Code de construction du Québec, chapitre 1 : bâtiment et Code national du bâtiment : Canada 2010 (modifié)

De ces paramètres, les premiers éléments structuraux, que l'on pourrait qualifier par leur invariabilité en cours de projet, ont été établis. Tel que mentionné précédemment, la ceinture structurale au rez-de-chaussée a été conçue en bois lamellé pour résister aux charges verticales concentrées et atypiques pour cette échelle de bâtiment.

Sachant que la toiture serait végétalisée, il a été choisi d'opter pour une composition de toiture inversée qui s'adapte bien au pontage en bois lamellé, comme elle offre la possibilité d'exposer la structure de bois au plafond du dernier étage.

Comme les dimensions des logements étaient assez typiques et que les murs interlogement devaient avoir une résistance au feu et une excellente performance acoustique, il a été choisi d'opter pour une ossature légère en bois pour son adaptabilité, sa simplicité d'installation, et son moindre coût.

Créer un rez-de-chaussée sans colonnes centrales impliqua de trouver une stratégie pour suspendre la mezzanine et transférer ses charges ajoutées à celles des 8 logements au-dessus par des éléments qui les transfèreraient vers des colonnes en périphérie.

À la suite de la première discussion d'ordre structurale, la première hypothèse envisagée pour transférer les charges des étages à la ceinture du rez-de-chaussée est celle impliquant des fermes habitables (3) en bois au 2^e étage. Cette stratégie structurale fut valorisée comme le bois léger est moins cher, écologique et permet de rester en partie 9 du code. Opter pour des matériaux autres comme le bois d'ingénierie ou l'acier nécessite une analyse des éléments de structure selon les exigences de la partie 4 du code de la construction. Cette division comporte davantage d'exigences dont la considération de charges sismiques. Le projet, comme tout autre petit bâtiment, avait avantage à éviter des exigences de conception plus appropriées à de grands bâtiments.

Pour l'analyse approfondie de la question du transfert de charges (fermes préfabriquées), l'équipe de conception a fait appel aux ingénieurs de quelques compagnies de fabricants qui travaillent avec des logiciels spécifiques à leurs produits. L'analyse de la problématique du diaphragme a été réalisée par *Art Massif* avec leurs logiciels internes.

Le concept de la mezzanine est en premier lieu inspiré par les tabliers cloués (le fameux '*mill floor*') des usines de textiles construites vers le début du 20^e siècle. En augmentant l'épaisseur du platelage en bois lamellé à 125mm d'épaisseur, il était possible d'atteindre des portées de 5 mètres et ainsi d'éviter la nécessité d'avoir une structure en poutrelles sous ce dernier. L'épaisseur totale du plancher résultante est donc réduite. Pour des raisons écologiques et esthétiques, il était souhaité

d'éviter l'ajout d'un contreplaqué et revêtement de plancher par-dessus le bois lamellé; les deux faces devaient plutôt rester apparentes.

Cette étude souhaite partager les résultats et conclusions des analyses réalisées par les fabricants potentiels, en collaboration avec les ingénieurs affectés, qui furent contactés simultanément afin de soumissionner sur le projet et évaluer le concept proposé pour l'Agrandissement Rayside Labossière.

3.4 Résultats et analyse

Les résultats de cette analyse se présentent sous forme de cheminement. On tente ici de démontrer quelles ont été les alternatives considérées en cours de processus, les raisons pourquoi elles ont été écartées, et en quoi le système retenu se démarque. Il est possible qu'un autre projet, ayant des contraintes légèrement différentes, puisse appliquer les solutions écartées avec succès à son projet.

L'hypothèse de base, consistant en l'utilisation de fermes habitables en bois léger au 2^e étage avait ses avantages. Cependant, cette option était plutôt loin de répondre à certaines des contraintes du projet. Le système de la mezzanine, quant à lui, initialement prévu comme un assemblage de poutres et platelage suspendu par des HSS fut aussi optimisé.

Fermes en bois léger

Évolution Structures, fabricant et concepteur de produit en bois, procéda à l'analyse de ce concept en se basant sur les charges calculées par L2C. Les axes 2 et 4 sont les plus restrictifs structuralement, car ces fermes comportent une ouverture destinée à accueillir une porte près des appuis, ces dernières étant impossibles à éliminer. L'axe 4 a été choisi pour l'étude préliminaire étant donné qu'il s'agissait de la plus longue et donc plus critique des trois fermes de l'analyse.

En résumé, les charges requises ont été appliquées à une ferme de toit tel que sur le plan de structure avec une descente des charges du niveau du toit, 3^e, et 2^e étage (voir Figure 6). Un maximum de cinq plis par côté a été dessiné pour cette ferme (donc un total de 10 plis par axe). Il est à noter que dix plis de bois de dimension créeraient des murs interlogement de 15 pouces d'épaisseur, et ce uniquement pour la structure.

Fermes en bois d'ingénierie

Le bois léger étant maintenant une stratégie écartée, l'option de fermes en bois d'ingénierie se voulait être une option considérable dans la valorisation de l'utilisation du bois. *Structure Fusion*, a procédé à l'estimation de la différence de coût entre des fermes en bois lamellé et des fermes composées d'éléments en acier. Les fermes en bois lamellé engendraient des coûts deux fois plus élevés que pour des fermes d'acier. Malgré la volonté de prioriser le bois, cette alternative s'avérerait malheureusement trop onéreuse considérant que les éléments, de toute beauté, seraient cachés dans les murs interlogement par la nécessité de les couvrir de gypse et de les remplir de laine insonorisant.

Fermes en acier

Avec l'impossibilité d'utiliser le bois pour de multiples raisons et contraintes, bilan des différentes discussions et analyses, l'utilisation de l'acier fut reconsidérée, et ce, sous plusieurs formes.

La proposition de *Structure Fusion* d'aller vers des fermes pleines hauteurs en éléments d'acier (voir Figure 7), tout comme des fermes en bois lamellé pleines hauteurs, aurait imposé de calculer les exigences structurales plus contraignantes de la partie 4 du code de construction, entraînant d'importantes modifications, entre autres aux ouvertures en façade et aux contreventements du projet.

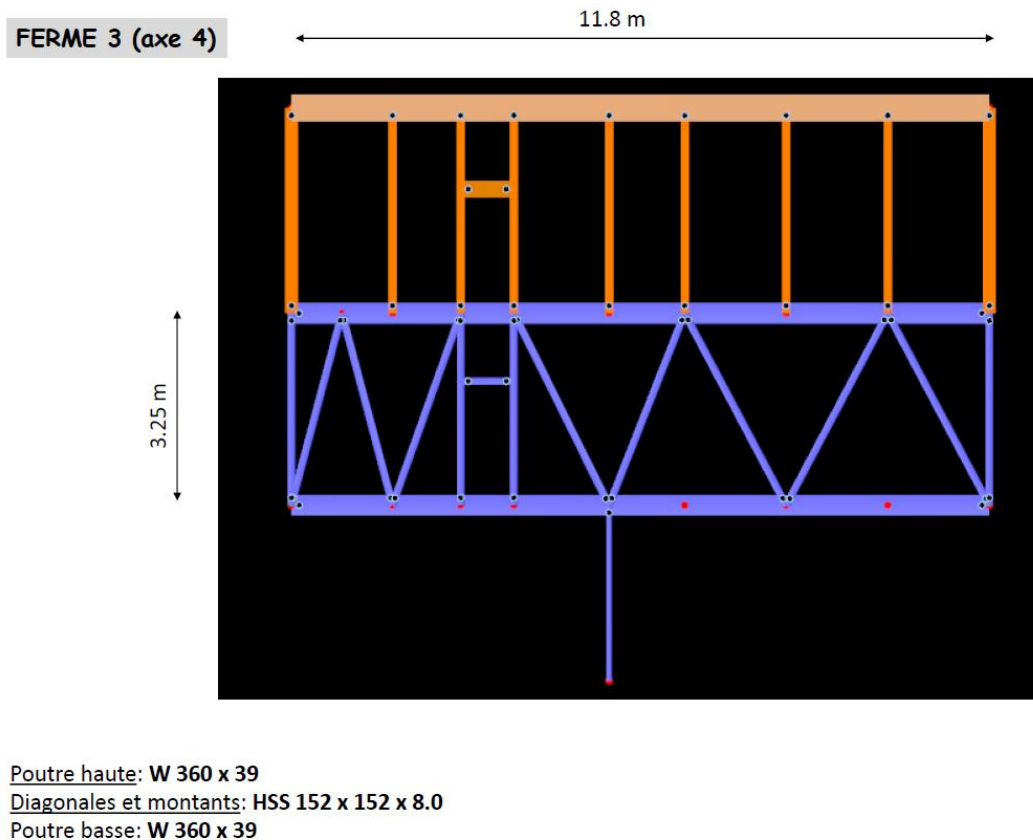


Figure 7. Schéma de la ferme en acier de l'axe 4 et information sur ses composantes, *Structure Fusion*.

Les fermes pleines hauteurs éliminées, deux options qui ne seraient pas assujetties aux exigences de la partie 4 furent proposées par notre ingénieur : la première avec des poutres à larges ailes et une seconde avec des fermes ajourées, avec des profondeurs d'environ 1m au lieu de l'étage au complet.

Poutres en acier

Des poutres de transfert en acier, par étages, n'étaient pas viables si elles impliquaient des retombées du plafond de la mezzanine. Il n'y avait pas assez de dégagement pour des retombées et les conduits de ventilation, qui doivent passer perpendiculairement à ces éléments structuraux. La validation du dimensionnement des poutres était donc assez primordiale. Il était à se demander s'il était possible d'éviter ou de minimiser les poutres au plancher du 2^e étage et d'avoir des poutres plus importantes au toit et au plancher du 3^e afin d'éliminer cette possible problématique. Autrement, les poutres auraient été installées au plancher du 2^e étage, avec des murs porteurs par-dessus pour toutes les charges supérieures.

En dernier recours, s'il s'avérait impossible d'éviter des retombées au niveau de la mezzanine avec des poutres en acier, une solution avec le moins de colonnes possible au rez-de-chaussée, avec l'impact minimal sur l'aménagement aurait pu être considérée; un mélange de structure acier et bois, des colonnes en angle pour éviter des endroits de circulations, etc. On conserverait alors au moins la ferme en bois léger à l'axe 3 pour éviter des colonnes à cet endroit, s'il s'agit d'une option. Cette option viendrait toutefois à l'encontre des grandes intentions du projet.

Les ingénieurs ont donc émis deux hypothèses qui pourraient répondre aux contraintes de dégagement : option 1. une poutre au toit et une dans le plancher du 3^e, option 2. une grosse poutre dans le plancher du 3^e. À titre de comparatifs budgétaires, il a aussi été demandé que l'option des fermes ajourées qui concordent à ces poutres en W proposées soit étudiée. Un tableau résumé des efforts calculés par nos ingénieurs qui confirme le dimensionnement des poutres a été transféré au fournisseur dans cet objectif.

Option 1 : Deux éléments de transfert par axe (un au toit et un au plancher du 3^e)

		Mf	Vf	Ix	hauteur	Poids
		kNm	kN	*10 ⁶ mm ⁴	Mm	kg/m
Étage 3	Poutre :	W840x176			840	176
	Ferme :	fournisseur	1446	368	2460	?
Étage Toit	Poutre :	W760x147			760	147
	Ferme :	fournisseur	887	342	1660	?

Option 2 : Un élément de transfert par axe (au plancher du 3^e seulement)

		Mf	Vf	Ix requis	hauteur	Poids
		kNm	kN	*10 ⁶ mm ⁴	Mm	kg/m
Étage 3	Poutre :	W920x253			920	253
	Ferme :	fournisseur	2329	683	4370	?

Cependant, une vérification rapide a été faite avec l'outil du site web de *Canam* et pour respecter la flèche totale (élément critique en design) il faudrait une ferme de 1000mm de hauteur pour l'option 1 (acier au toit et au 3^e étage) tandis qu'il faudrait une ferme de 1200mm de hauteur pour l'option 2 (acier juste au 3^e étage) ce qui est plus que l'espace disponible au-dessus de la porte.

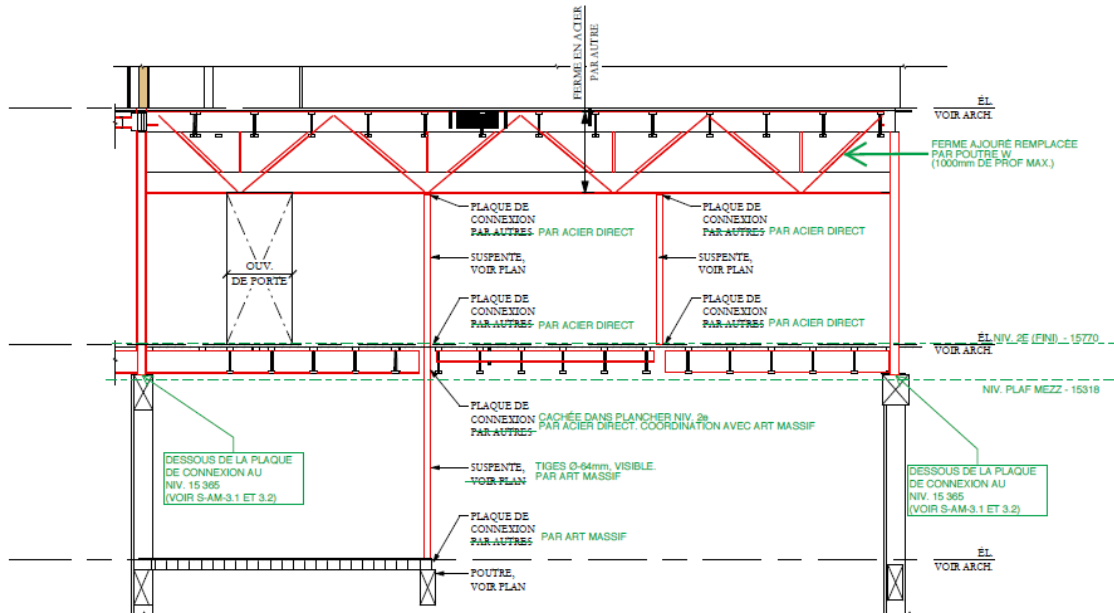


Figure 8. Coupe transversale en cours de coordination, les fermes ajourées ayant été remplacées par des poutres W, L2C.

La profondeur des fermes ajourées en acier étant trop importante, le choix final s'est arrêté sur une stratégie de mise en place de poutres en acier au 2^e et 3^e plancher. Les poutres insérées dans le plancher du 2^e étage servent d'appui pour les poutrelles de plancher du 2^e et de points d'attache pour les tirants d'acier qui supportent la mezzanine. N'assurant pas le rôle de poutres de transfert, elles sont chacune divisées en 3 sections distinctes boulonnées. Ces mêmes poutres sont quant à elles suspendues aux immenses poutres de transfert du plancher du 3^e étage grâce à des HSS. Ce sont donc uniquement les charges du 3^e étage et du toit qui sont déposées de façon typique.

Mezzanine suspendue comme diaphragme structural

C'est avec l'aide d'Art Massif qu'une stratégie d'installation du platelage de la mezzanine a été développée pour satisfaire les exigences du diaphragme structural, remplaçant la couche de contreplaqué cloué par des paires de vis structurales dissimulées, inclinées à 45 degrés et -45 degrés. Ce détail représente une affirmation que la structure en bois lamellé est, d'un seul coup, la structure, la surface, et la finition.

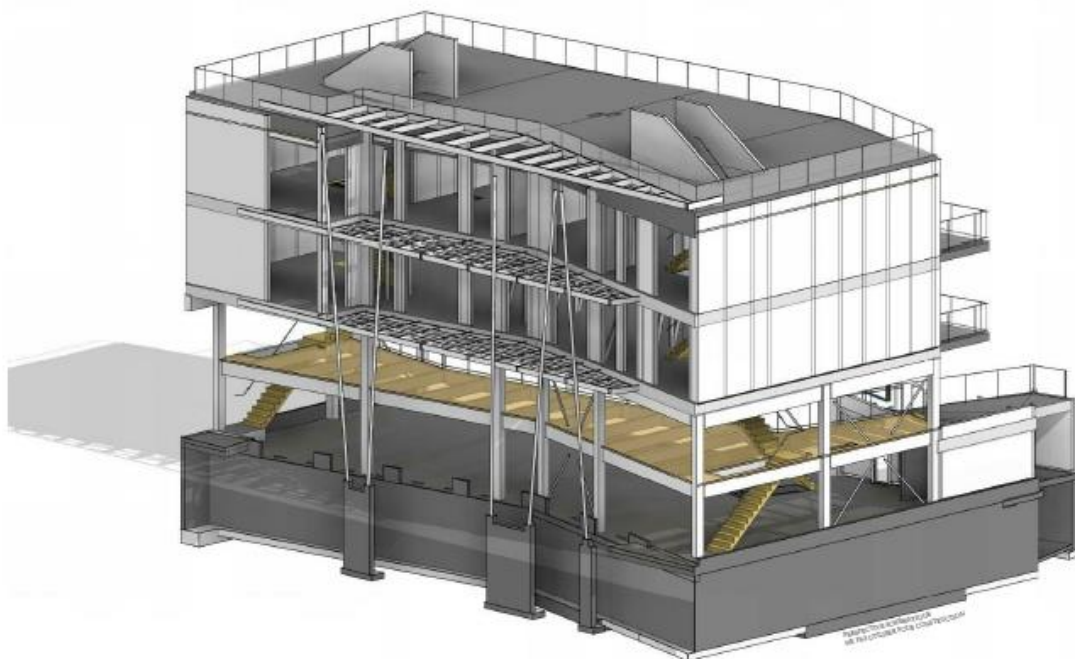


Figure 9. Modélisation 3D du système structural, L2C.

3.5 Conclusions

La conception du bâtiment a nécessité une structure hybride sophistiquée, cherchant à utiliser différents matériaux de façon efficace et intelligente selon leurs propriétés intrinsèques. Le bois – un matériel intrinsèquement renouvelable, à faible empreinte écologique, et d'apparence chaleureuse – a été privilégié comme matière première dès le départ et l'introduction des autres matériaux a découlé des restrictions techniques ou budgétaires.

La réalisation d'un espace double hauteur avec mezzanine ouverte, tout en bois lamellé apparent, dépourvu de colonnes centrales a présenté d'importants défis structuraux, compte tenu des portées envisagées et des charges à supporter. Plusieurs stratégies ont été soulevées pour venir suspendre la mezzanine et solidifier les colonnes en périphérie du rez-de-chaussée.

La mise en place de fermes habitables (3) en bois léger au 2^e étage aurait probablement été la solution la plus abordable et écologique. Cette stratégie ne rencontrait malheureusement pas les exigences en soumettant les membrures à de trop grandes forces de réaction. L'emplacement des portes, trop près des appuis, a eu une grande répercussion sur ce résultat.

Des fermes habitables en bois d'ingénierie s'avèrent trop chères. L'utilisation d'un si beau produit dans des éléments destinés à être recouverts semblait illogique.

L'option des fermes d'acier pleines hauteurs nous aurait imposé de calculer les exigences structurales en partie 4 du code et fort probablement modifier les ouvertures en façade, car les besoins de contreventements auraient été plus importants. Elle fut donc écartée comme elle aurait nécessité un réaménagement des plans intérieurs.

La profondeur des fermes ajourées en métal dépassant le 1 mètre était trop importante pour l'espace disponible au-dessus des portes.

Finalement, c'est l'option de poutres en acier qui fut retenue. Leur profondeur est raisonnable, ce type de structure se conforme aux exigences moins contraignantes du code de construction et leur coût est beaucoup moins élevé.

Au niveau de la mezzanine, la stratégie choisie consiste en une affirmation que la structure en bois lamellé est, d'un seul coup, la structure, la surface, et la finition.

Les résultats de cette étude ne souhaitent en aucun cas fournir une seule et unique réponse à la problématique. Son but est de démontrer l'une des stratégies disponibles pour réaliser un projet aux contraintes semblable à celui de l'Agrandissement Rayside Labossière.

Chaque projet a intérêt à faire sa propre analyse. Une des hypothèses introduites en cours de développement aurait pu répondre aux exigences d'un projet plutôt qu'un autre. La typologie proposée peut varier dans son mode d'assemblage et sa matérialité. Une chose certaine, c'est que le bois a beaucoup plus de réponses qu'il peut sembler en avoir.

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

La stratégie de structure hybride développée dans le cadre du projet servira de prototype pour n'importe quel projet à usage mixte de moyenne hauteur désirant une flexibilité d'aménagement en rez-de-chaussée, et ce, tout en privilégiant l'utilisation efficace du bois comme matériaux de structure.

Cette stratégie s'applique très bien à la typologie urbaine très commune d'un bâtiment avec un (ou des) commerce(s) au rez-de-chaussée et des logements aux étages.

Un rez-de-chaussée sans colonnes offre d'impressionnantes superficies sans entraves pour les commerces. La flexibilité de l'espace est maximisée, car les divisions intérieures ne sont pas porteuses et peuvent être ajustées selon les besoins de l'occupant sans être limitées par une trame structurale; cette flexibilité se traduit par des immeubles qui attirent une plus grande variété d'entreprises.

La stratégie de diaphragme structurale développée avec le platelage de la mezzanine, utilisant des attaches dissimulées, met de l'avant le produit de bois lamellé en lui donnant à la fois un rôle structural et de finition. Une belle façon de valoriser le produit dans son utilisation optimisée.

Chaque pièce d'assemblage constituant les éléments structuraux importants du système n'est pas nouvelle sur le marché. L'effort vient surtout d'un mode d'assemblage ou d'un rôle différent associé à celles-ci. Le potentiel de reproductibilité ou d'adaptation de ce prototype pour l'industrie est donc bien tangible.

3.7 Recommandations

Bien que la firme ait exploré plusieurs solutions pour le projet, certaines contraintes d'aménagement ont tout de même eu une répercussion importante sur les alternatives disponibles. Un espace double hauteur sans mezzanine aurait simplifié les exigences structurales du projet. Aussi, il aurait été idéal si les portes des murs coupe-feu s'étaient retrouvées dans le centre des fermes. La reconfiguration de l'emplacement des escaliers et des espaces intérieurs aurait pu contribuer à réduire les contraintes et la complexité de la stratégie.

Planifier l'aménagement intérieur en toute conscience des risques et contraintes structurales que peut avoir ce type de projet permettrait un plus grand éventail de solutions, et ce peut être à moindre coût.

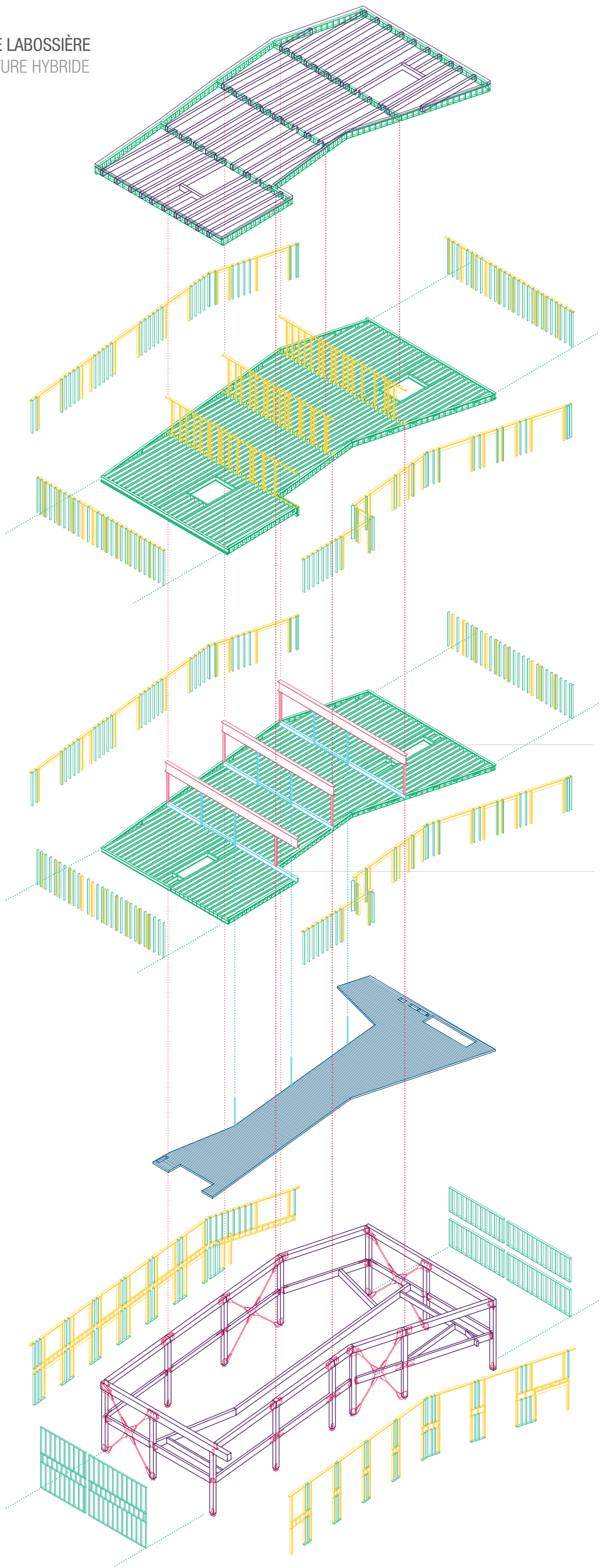
4. Bibliographie

1. VAN BERKEL, Ben. *Post-Corona, the New Age of Architecture is 'Super Flexible'*, [En ligne] 19 octobre 2021. [<https://mailingtool.iwink.nl/webapp.php?rh=permalink&hash=1e4aca&mid=154726235>] (<https://www.linkedin.com/pulse/post-corona-new-age-architecture-super-flexible-ben-van-berkel/>) (Consulté le 26 janvier 2022).
2. UNSTUDIO. *(Post-Corona) Flexibility and Adaptability Report*, [En ligne] 19 octobre 2021. [<https://igsmag.com/features/architecture/post-corona-flexibility-and-adaptability-report-unstudio/>] (Consulté le 26 janvier 2022).
3. BARBONNE, Rémy. *Gentrification, nouvel urbanisme et évolution de la mobilité quotidienne : vers un développement plus durable ? Le cas du Plateau Mont-Royal (1998-2003)*, [En ligne] 5 février 2009. [<https://www.erudit.org/fr/revues/rs/2008-v49-n3-rs2769/019875ar/>] (Consulté le 27 janvier 2022)
4. GEHL, Jan. *Cities for People*, Washington, Island Press, 2010, p.33-46.

5. Annexes

5.1 Diagramme de la structure hybride

AGRANDISSEMENT RAYSIDE LABOSSIÈRE
DIAGRAMME DE LA STRUCTURE HYBRIDE



TOITURE
PLATELAGE ET POUTRES EN
BOIS LAMELLÉ-COLLÉ MASSIF

ÉTAGES 2 ET 3
MURS PORTEURS EN BOIS LÉGER

PLANCHERS EN POUTRELLES
PRÉFABRIQUÉES

POUTRES DE TRANSFERT EN ACIER,
DÉPOSÉES SUR DES COLONNES HSS

POUTRES EN ACIER SUSPENDUES
PAR DES HSS

MEZZANINE
PLATELAGE EN BOIS LAMELLÉ-COLLÉ,
AGIT COMME DIAPHRAGME STRUCTUREL.

SUSPENDUE DU CÔTÉ INTÉRIEUR PAR 3 TIGES EN
ACIER À LA STRUCTURE EN ACIER AU-DESSUS

SOUTÈNE SUR LES CÔTÉS EXTÉRIEURS PAR
LA STRUCTURE EN BOIS MASSIF

REZ-DE-CHAUSSÉE
STRUCTURE DU RDC DOUBLE-HAUTEUR
EN BOIS LAMELLÉ-COLLÉ MASSIF

MURS EXTÉRIEURS NON-PORTEURS
EN BOIS LÉGER