

Rapport technique

Bâtiment municipal en gros bois d'œuvre selon la norme Passivhaus

Réalisé par Dominique Laroche, architecte
BGLA architecture design urbain



ARCHITECTURE | DESIGN URBAIN

et

Thibaut Lefort, ing. / Anna Ciari, ing.
Latéral Conseil Inc.

latéral.

Dans le cadre du Programme d'innovation en construction
bois du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

16 septembre 2025

Dominique Laroche
architecte, BGLA

Auteur

Thibaut Lefort
Ingénieur, latéral

Auteur

Anna Ciari
Ingénieure, latéral

Auteur

Avis de non-responsabilité

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le bénéficiaire de subvention au Programme d'innovation en construction bois (Programme). Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) ainsi que le Fonds d'électrification et de changements climatiques (FECC) ne sont pas responsables du contenu de ce document.

Chacune des sections de ce rapport est expliquée dans le *Protocole de quantification des émissions de gaz à effet de serre attribuables à la fabrication de matériaux de structure pour divers scénarios de bâtiments* (Protocole).



Table des matières

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude.....	4
2. Introduction	4
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	5
2.2.3. Analyse budgétaire.....	6
2.2.4. Partenaires	9
2.2.5. Défis et risques généraux	9
3. Détails de l'étude	10
3.1. Introduction et hypothèse de départ	10
3.2. Objectifs	14
3.3. Méthodologie	14
3.4. Résultat et analyse.....	15
3.5. Conclusions	21
3.6. Retombées et rayonnement des solutions proposées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	21
3.7. Recommandations	22
4. Bibliographie	23
5. Annexes	23

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Dans son appel d'offres pour services professionnels dans le cadre de la construction d'un nouvel Hôtel de Ville, la municipalité de La Pêche dévoilait déjà son ambition de réaliser un projet qui s'inscrirait dans le courant actuel des bâtiments écologiques. Notamment, l'utilisation d'une structure en bois et l'objectif d'efficacité énergétique supérieure de 25% aux normes en vigueur étaient bien inscrits dans le devis de la municipalité.

Notre équipe a souhaité aller plus loin et, vu la vision et l'ouverture de l'administration en place, a proposé de concevoir le bâtiment selon la norme Passivhaus avec des compositions de murs 100% bois, ce qui permet un plus grand contrôle des ponts thermiques et une empreinte carbone intrinsèque réduite.

Aussi, l'expérience de l'équipe de professionnel avec le bois lamellé-croisé (CLT) a rapidement inspiré un concept structural qui utiliserait ce matériau unique d'une façon innovante en réalisant des caissons en dents-de-scie d'une portée de 18m résultant du même coup en une architecture marquante.

2. Introduction

2.1. Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Nouvel Hôtel de ville Passivhaus de La Pêche
99 Route Principale Est, La Pêche
J0X 2W0

2.2. Description du projet de construction

2.2.1. Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

Le bâtiment présente une structure en bois massif traditionnel pour l'étage avec colonnes et poutres en lamellé-collé et platelage en bois lamellé-croisé (CLT) et une structure de toit innovante avec panneaux-poutre-caisson de longue portée en CLT en dents-de-scie et une enveloppe constituée de murs et toitures hyper isolées de composantes presque 100% bois. Il abrite les fonctions habituelles propres à un Hôtel de ville, incluant des espaces de bureaux individuels et en aire ouverte, des salles de rencontre pour le personnel, une grande salle multifonctionnelle pour le conseil et autres événements publics, un comptoir de paiement pour les taxes et permis, un hall d'accueil lumineux ainsi que les espaces de services habituels.

Le bâtiment de deux étages (rez-de-chaussée et étage) a une forme parfaitement rectangulaire en plan (39.1m x 18.1m). Il offre une superficie au sol de 700 m², et une superficie totale de plancher de 1330 m². Il est constitué d'une structure apparente en gros bois d'œuvre sur un radier de béton armé. Le contreventement de la structure est assuré par des diagonales en bois lamellé-collé situées sur les quatre façades du bâtiment ainsi que des tirants en acier pour le deuxième niveau de la façade sud qui est constituée d'un mur rideau porteur en bois.

Les deux innovations principales du bâtiment sont les suivantes:

1. **La construction du toit** : le toit franchi une portée de 18m sans poutres, solives ou appuis intermédiaires. Ce sont des panneaux de CLT 5-plis de 175mm d'épaisseur, connectés entre eux en dents-de-scie qui forment la structure du toit, en analogie à un caisson de grande profondeur. Du point de vue technique, les *plaques* en CLT - inclinées les unes vers les autres à un angle de 40 degrés - travaillent de façon bidirectionnelle, tirant profit de la capacité du CLT dans les deux directions. Historiquement, cette topologie de structure a été exploitée pour des charpentes en béton pour réaliser des structures dites en *plaques pliées (Folded Plate)*, mais est sous-utilisée en bois. Nos recherches d'antécédents ne nous a pas permis de trouver de précédents – tout au moins en Amérique du Nord. En plus de son attrait esthétique et sa logique structurale, ces longues portées permettent d'éviter complètement les colonnes au deuxième étage et d'offrir une grande flexibilité des aménagements pour toute la durée de vie du bâtiment.
2. **La conception *Passivhaus*** : le bâtiment est conçu selon cette norme internationale d'efficacité énergétique qui permet d'économiser environ 70% de l'énergie de chauffage et de climatisation. Il deviendra le premier bâtiment institutionnel certifié *Passivhaus* au Québec. L'atteinte de la norme dépend de plusieurs facteurs, dont les principaux sont : la forme simple du bâtiment et son ratio avantageux enveloppe / aire de plancher, l'isolation supérieure de ses murs et de sa toiture, la quantité de fenêtres selon l'orientation, son grand brise-soleil sud pour contrôler la surchauffe, l'étanchéité à l'air exceptionnelle (qui sera assurée par des tests d'infiltrométrie à différents stades d'avancement au chantier) et les composantes architecturales clés certifiées par le *Passivhaus Institute* allemand.

2.2.2. Échéancier global et durée

Mai 2021 : choix de l'équipe de professionnels (BGLA et collaborateurs), signature du contrat et début de la prestation de services.

Septembre 2021 : dépôt du concept schématique.

Décembre 2021 : dépôt du concept.

Avril 2022 : dépôt des plans et devis préliminaires.

Novembre 2022 : dépôt des plans et devis définitifs et lancement de l'appel d'offres pour la construction.

Janvier 2023 : réception et analyse des soumissions.

Février 2023 : signature du contrat avec l'entrepreneur.

Février-Mars-Avril 2023 : mobilisation de l'entrepreneur.

Avril 2023 : début des travaux de construction.

Novembre 2024 : livraison du bâtiment.

2.2.3. Analyse budgétaire

Chronologie

Les documents d'appel d'offres pour services professionnels, publiés en janvier 2021, faisaient état d'un budget de construction de 7,6M\$ incluant les taxes ainsi que l'administration et profits de l'entrepreneur, pour une superficie de 1417 m.ca nette selon le programme fonctionnel et technique élaboré par Lapalme Rhéault architectes. Les coûts directs¹ de construction étaient alors chiffrés à 5,75M\$.

Lors de la préparation d'une première estimation classe D le 16 juillet 2021 et vu l'extrême volatilité du marché de la construction², les professionnels ont proposé une contingence de construction de 10% et une contingence de risque additionnelle de 20%, ce qui portait le budget à 9,9M\$ avec des coûts directs de 5,75M\$.

En avril 2022, l'estimation classe B présente des coûts directs de 6,48M\$. À ce moment, l'équipe est en attente du résultat de l'analyse du projet au MFFP. L'obtention de la subvention permettrait de combler l'écart entre les coûts directs initiaux et ceux estimés à ce moment. Le 10 mai 2022, l'octroi de la subvention est confirmé.

À cette période, les coûts du bois sont volatils et les carnets de commande des manufacturiers de lamellé-collé et CLT se remplissent très rapidement. Afin de réduire les risques pour le projet en termes de budget et échéancier de construction, les professionnels proposent de procéder à un préachat de la structure de bois de manière à assurer une livraison de la structure à temps et pouvoir apposer un prix fixe dans l'estimation pour ce poste budgétaire important. En mai 2022, l'appel d'offres pour le préachat de la structure est lancé.

En octobre 2022, l'estimation classe A déposée avec les plans et devis à 99% présente des coûts directs de 7,30M\$, incluant un coût forfaitaire de 1,78M\$ pour la structure de bois. L'augmentation des coûts directs par rapport à l'estimation précédente est majoritairement attribuable à l'agrandissement de l'emprise du stationnement. Le nombre de cases de stationnement souhaitées par la municipalité est effectivement passé de 20 à 52. À ce moment, les coûts incluant les taxes ainsi que l'administration et profits de l'entrepreneur sont estimés à 9,65M\$. Vu la surchauffe dans le marché qui se maintient à des niveaux historiques, la municipalité opte pour une contingence de risques de 15% ainsi que des frais de surveillance de chantier additionnelle de 177K\$, pour un total de 11 273 888\$ toutes taxes, profits et administration de l'entrepreneur inclus.

L'appel d'offres est lancé en novembre 2022. Quatre entreprises déposent une offre. Le plus bas soumissionnaire conforme est Ed Brunet et associés, dont le montant de la soumission est de 11 379 754\$, soit un surcoût de 0,94% par rapport à la dernière estimation des professionnels. Le contrat est octroyé en mars 2022 et la mobilisation de l'entrepreneur débute immédiatement.

¹ Les coûts directs représentent les coûts avant les taxes, avant les profits et administration de l'entrepreneur et avant les contingences de risque et de construction.

² Selon les experts, la volatilité et surchauffe du marché s'expliquent par une augmentation des grands chantiers au Québec (école, maison des aînés, REM, hôpitaux, grands projets d'infrastructures) qui génère pénurie de main d'œuvre et de ressources. Plusieurs articles publiés dans différents médias en 2022-23 font état de cette situation économique difficile pour les donneurs d'ouvrages publics.

Au moment du lancement de l'appel d'offres, la surchauffe du marché bat toujours son plein² et occasionne des coûts de construction par mètre carré à des hauts historiques. Finalement, bien que les coûts par mètre carré de la soumission retenue soient élevés, il se comparent à plusieurs soumissions reçues lors de la même période pour des bâtiments institutionnels d'envergure similaires, notamment des écoles.

Passivhaus

Afin d'atteindre la performance *Passivhaus*, certaines composantes architecturales représenteront un surcoût par rapport à un bâtiment conventionnel, notamment:

- Niveau d'isolation supérieure;
- Membranes et systèmes d'étanchéité robuste et de qualité supérieure;
- Portes et fenêtres certifiées *Passivhaus*.

La valeur de ces composantes représente généralement environ 8% des coûts de construction dans un bâtiment standard. Par exemple, une hausse des coûts de ces composantes de l'ordre de 50% aura un effet d'environ 4% sur le coût total. Pour l'Hôtel de ville, les portes et fenêtres en bois et aluminium ont dû être importées d'Allemagne puisqu'il n'existait pas, au moment de l'appel d'offres pour la construction, de manufacturier Québécois qui offrait ces produits certifiés *Passivhaus*; ceci peut avoir représenté un surcoût additionnel.

En contrepartie, l'atteinte de la performance *Passivhaus* est facilitée et souvent conditionnelle à ce que le bâtiment présente une forme simple qui optimise le ratio enveloppe / aire de plancher. Cette approche présente une forme d'économie intrinsèque puisqu'elle limite la quantité de décrochés en plan et en élévation. Cette rationalisation et simplification du périmètre de l'enveloppe du bâtiment a un effet à la baisse sur les coûts de construction.

Également, les coûts des équipements mécaniques dans un bâtiment *Passivhaus* devraient être moins élevés puisque la demande en termes de chauffage et climatisation est grandement réduite. Dans le cas de l'Hôtel de ville, les coûts de soumission en électromécanique représentent 19,5% du coût total, un pourcentage inférieur à ce qui est généralement observé dans un bâtiment conventionnel (environ 30%).

Il y a encore très peu d'expérience au Québec en construction *Passivhaus*. Cet état de fait engendre un risque additionnel pour les entrepreneurs généraux et certains sous-traitants impliqués, qui comptabiliseront des contingences de risques plus élevées que pour une construction standard.

À mesure que le marché nord-américain adoptera plus largement le *Passivhaus*, on peut imaginer que ces contraintes de choix de produits et équipements et ce manque d'expérience chez les ouvriers de la construction disparaîtront progressivement.

Tout ceci étant dit, la littérature disponible sur les bâtiments *Passivhaus* parle de coûts additionnels de l'ordre de 5 à 10%. Ceci ne devrait pas décourager les donneurs d'ouvrages, surtout si les architectes adoptent d'abord la piste de réduction des coûts liée au questionnement du programme et à l'optimisation des plans du bâtiment afin de réduire les mètres carrés construits; on peut aujourd'hui aspirer à construire à la norme *Passivhaus* à coûts nuls.

Stratégies de réduction des coûts et conclusion

Afin de maintenir les coûts à un niveau acceptable pour le client, nous avons questionné les superficies présentées dans le programme fonctionnel et technique initial fourni par la municipalité. Ainsi, la superficie de plusieurs bureaux et espaces communs a pu être réduite grâce à des études d'aménagement et des échanges avec les usagers qui ont permis d'assurer la fonctionnalité des espaces tout en réduisant les mètres carrés construits. La proposition d'offrir des toilettes non-genrées a aussi permis une réduction des mètres carrés. On dit que l'énergie la plus verte est celle que l'on n'utilise pas; on pourrait aussi dire que les mètres carrés les plus économique sont ceux que l'on ne construit pas !

Par ailleurs, une analyse comparative de la consommation énergétique du nouvel Hôtel de ville a été effectuée par Pageau Morel.

	Intensité énergétique PHPP annuelle estimée		Consommation énergétique annuelle estimée	Coût énergétique annuel estimé
	GJ/m ²	kWh/m ²	kWh	\$
Hotel de ville - Passive House	0.27	75.6	84 859	9 445
Bureau - Code ajd	0.76	211.1	236 909	26 368

Les chiffres pour la consommation de l'Hôtel de ville sont tirés de la modélisation énergétique PHPP (Passive House Planning Package) qui mèneront à la certification *Passivhaus*. Les chiffres pour un immeuble à bureaux aux normes d'aujourd'hui reflètent l'application du Chapitre I.1 du Code de Construction du Québec, en vigueur depuis le 27 décembre 2021³. Les coûts énergétiques annuels sont basés sur une hypothèse de 0,11\$ / kWh pour l'énergie et la puissance. Des économies annuelles de 16 923\$ sur la facture énergétique sont attendues, soit une réduction de 64%.

Lorsqu'on compare le nouvel Hôtel de ville à la moyenne canadienne pour un immeuble à bureaux selon *ENERGY STAR PortfolioManager* (2018), c'est une réduction de 73% (0,99GJ/m²).

Enfin, lorsque comparé à la loi précédente sur l'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments (1983) qui était en application jusqu'en 2021, c'est une réduction de 85 à 90% qui est observée.

Il va sans dire que les coûts d'électricité au Québec ne constituent pas le plus grand incitatif à économiser l'énergie. Il est plus intéressant de considérer les économies d'énergie engendrées par un bâtiment *Passivhaus* dans une perspective de réduction des GES, surtout si l'hydro-électricité économisée peut être vendue à nos voisins dont les sources de production d'énergie sont généralement plus polluantes.

En conclusion de cette analyse budgétaire, il est important de garder en tête que, dans le cas du projet du nouvel Hôtel de ville de La Pêche, l'impact à la baisse sur la production de GES lié à l'utilisation du bois pour toutes les composantes principales du bâtiment est peut-être encore plus grand que l'impact de la réduction de la consommation énergétique liée à la performance *Passivhaus*. Mais

³ Tout projet dont la construction a débuté après le 27 décembre 2021 doit respecter le Chapitre I.1 du Code de Construction du Québec..

avant d'arriver à une telle conclusion, cette hypothèse devrait faire l'objet d'une étude approfondie en analyse de cycle de vie.

2.2.4. Partenaires

Architectes

BGLA architecture design urbain

Ingénieurs structure :

Latéral Conseil

Ingénieurs mécanique et électricité :

Pageau Morel et associés

Ingénieur civil :

Gravitaire

Consultants *Passivhaus* :

Malcolm Isaacs et Jim Iredale

Certificateur Passivhaus :

Peel Passive House

Entrepreneur général :

Ed Brunet et associés

Fabricant de la structure de bois :

Ambiance Bois / Nordic

2.2.5. Défis et risques généraux

Conception structurelle du toit longue portée

La conception et la modélisation de la structure s'est effectuée avec le logiciel spécialisé RFEM. Ce logiciel d'analyse et de conception en structure (analyse par éléments finis) est particulièrement bien adapté à la conception de structure de bois, et notamment pour l'analyse et la conception de CLT. Dès les premières esquisses, architectes et ingénieurs en structure ont travaillé de concert afin de valider les intentions de départ ainsi que la faisabilité du concept avec différents manufacturiers de CLT. Le processus de conception intégrée s'est poursuivi jusqu'aux plans et devis définitifs.

Augmentation du prix du bois et disponibilité

Les incertitudes liées à la surchauffe du marché et à la disponibilité des matériaux (notamment le bois lamellé-collé et lamellé-croisé) ont mené au lancement d'un appel d'offres séparé pour la structure du bâtiment (préachat ou pré-sélection). De cette façon, le fournisseur et le prix de ce poste de dépense important ont pu être sécurisés avant l'appel d'offres général et intégrés au contrat de l'entrepreneur général. Le choix anticipé d'un fournisseur pour la structure de bois a aussi permis aux consultants de terminer la conception ainsi que les plans et devis avec les propriétés et dimensions réelles optimales des éléments de structure en bois.

Atteinte de la norme *Passivhaus*

Les consultants *Passivhaus* se sont impliqués en amont pour bien expliquer les principes et présenter les contraintes à partir desquelles les concepteurs devraient travailler. Des rencontres de conception intégrée avec toutes les parties prenantes (incluant le client et les usagers) ont permis de démystifier la norme et d'orienter la conception du projet à la fois vers l'atteinte des cibles *Passivhaus* et la satisfaction des besoins du client en termes de programmation. Les consultants *Passivhaus* ont guidé les architectes dans l'élaboration de détails techniques qui minimisent les ponts thermiques et facilitent l'étanchéisation à l'air du bâtiment.

3. Détails de l'étude

3.1. Introduction et hypothèse de départ

Dans le contexte du dérèglement climatique, le choix du bois pour la construction des bâtiments est une réponse logique - le bois constituant un excellent puits de carbone - dans la mesure où la ressource provient de forêts bien gérées.

En Amérique du Nord, l'ossature légère en bois est depuis longtemps implantée dans le secteur de la construction résidentielle, mais son utilisation dans le secteur institutionnel demeure marginale. Aussi, l'utilisation d'isolant à base de bois, telle la cellulose ou les panneaux de fibres, n'est pas très fréquente dans le secteur institutionnel, bien que la performance thermique de ces matériaux soit comparable à d'autres types d'isolants parmi les plus utilisés.

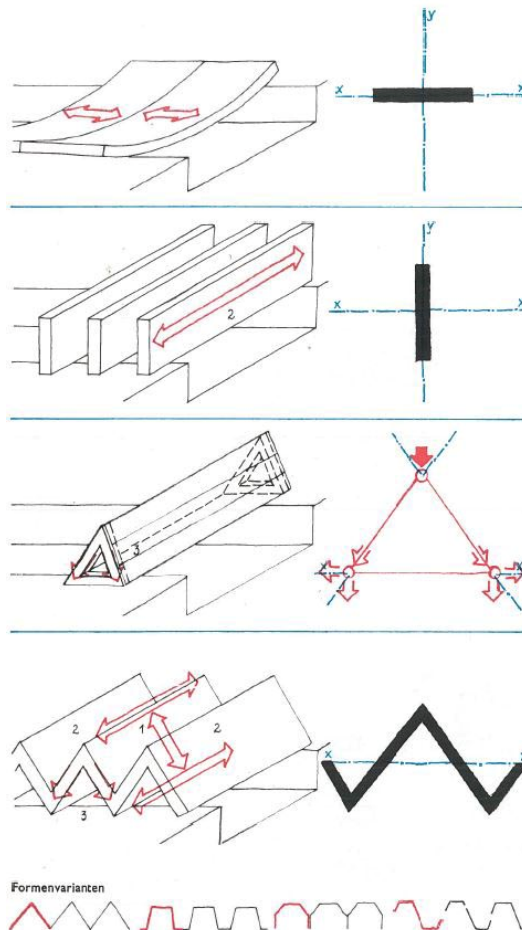
Par ailleurs, l'utilisation du bois massif pour la structure des bâtiments est une avenue de plus en plus considérée afin de le substituer à l'acier et au béton dont l'empreinte carbone est nettement supérieure.

Toit longue portée en plaques pliées

Bien que les poutres et poteau en bois lamellé-collé fassent partie de l'environnement bâti depuis plusieurs décennies, les panneaux en bois lamellé-croisé - ou *cross laminated timber* (CLT) - sont relativement récents sur le marché. Le produit a été inventé il y a environ 25 ans, notamment grâce à des recherches à l'Université de Graz en Autriche dans les années 90. Ce type de plâtrage est souvent utilisé de façon traditionnelle pour porter à l'horizontale de poutre à poutre. Cependant, dans ce type d'utilisation traditionnelle, les propriétés bi-directionnelles du CLT ne sont pas utilisées. En réponse à cette sous-utilisation des propriétés bi-directionnelles du CLT, la structure du toit a été conceptualisée comme des plaques pliées en CLT avec une portée libre de 18m. Cette structure repose sur les murs extérieurs constitués de poutres et de colonnes en lamellé-collé. Le plancher de l'étage est un système

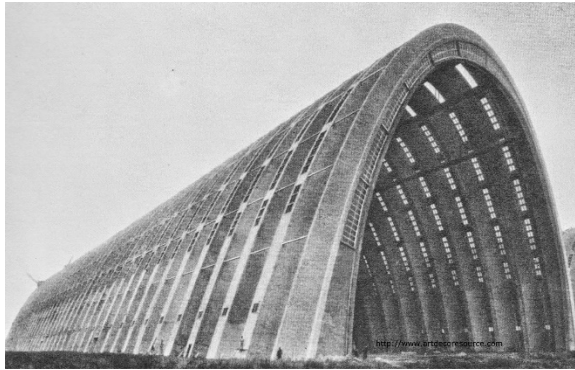
conventionnel avec colonnes, poutres et solives en lamellé-collé avec platelage CLT. Le bâtiment repose sur un radier en béton armé de 400mm d'épaisseur sur isolant rigide (*Foundation Tray*). La protection contre le gel du radier est assurée par une jupette en isolant.

Le concept des structures de plaques pliées se base sur l'idée de combiner la fonction de l'enveloppe et la structure, la forme architecturale et la structure étant les mêmes et parfaitement intégrés. Le toit franchi la portée de 18m sans poutres, solives ou appuis intermédiaires. Ce sont les panneaux de CLT seuls, connectés entre eux en dents-de-scie qui forment la structure du toit – en analogie à un caisson de grande profondeur. Du point de vue technique, les plaques en CLT - inclinées les unes vers les autres à un angle de 40 degrés - travaillent de façon bidirectionnelle, tirant profit de la capacité du CLT dans les deux directions. L'image suivante en explique le principe:



Ce type de structure trouve ses origines historiquement au début du siècle dernier, quand les innovations du matériau béton armé (et de la précontrainte) ont permis d'inventer de nouvelles structures plus performantes, optimales et élégantes.

Déjà en 1915, en Europe, l'ingénieur Freyssinet a conçu la première structure en coque plissée de forme parabolique en béton, à Orly, avec une portée de 80m. Plus tard, dans les années 50, Pier Luigi Nervi impressionne avec une autre structure importante de plaques pliées en béton armé, soit pour le bâtiment UNESCO à Paris.



Freyssinet à Orly, 1915



Pier Luigi Nervi, Unesco Paris, 1958

Initialement, le béton armé était le seul matériel qui se prêtait à réaliser des structures de plaques pliées avec de grandes portées, étant donné la nature bidirectionnelle de ce système de construction. Avec le développement du bois lamellé croisé, le CLT permet également de concevoir des structures de surfaces pliées de longues portées de ce type. Il serait même le matériau idéal pour le faire.

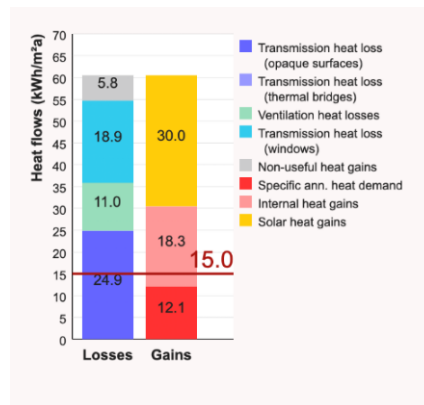
Le système est aussi particulièrement bien adapté à la préfabrication, la portée sans appui étant limitée uniquement par la longueur de fabrication en atelier (typiquement jusqu'à 22m) – et même de plus grande portée en réalisant des épissures ou connexions entre panneaux. Les éléments caissons peuvent être préassemblés en atelier par pignon ou au chantier, et mis en place très rapidement. La possibilité de préinstaller l'isolant et la membrane en atelier est aussi attrayante.

Enveloppe tout en bois et norme *Passivhaus*

La norme *Passivhaus* est basée principalement sur 2 critères de performance, soit une consommation énergétique équivalente à 15kWh / m²*année et une étanchéité à l'air de 0,6 CAH @ 50Pa. Afin d'atteindre ces cibles ambitieuses, les stratégies solaires passives doivent impérativement orienter le concept architectural.

Dans notre climat nordique, la plus grande partie de la demande énergétique est pour le chauffage en hiver. Incidemment, l'énergie brute que l'on peut tirer du rayonnement solaire en hiver constitue la

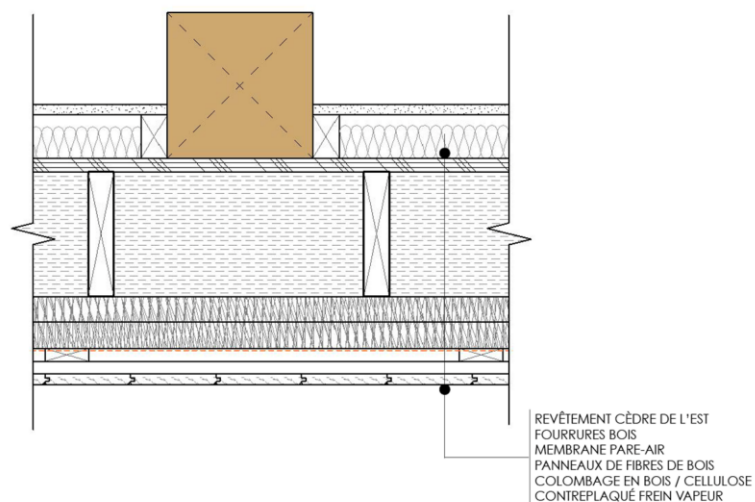
principale source de chauffage pour le bâtiment, comme on peut le constater dans le graphique ci-bas (en jaune).



Gains et déperditions thermiques. Source : logiciel de modélisation *Design PH*

Cependant, il faut aussi considérer le rayonnement direct en été qui, s'il n'est pas bien contrôlé, contribuera à augmenter les charges de climatisation et pourrait empêcher l'atteinte des cibles *Passivhaus*. Cette approche a dicté une façade sud largement fenestrée avec un brise-soleil savamment étudié afin d'admettre le rayonnement solaire direct en hiver et bien le contrôler en été.

L'enveloppe proposée, constituée presque à 100% de matériaux en bois, permet non seulement de réduire l'empreinte carbone du bâtiment mais aussi de construire des murs en panneaux dont les composantes structurales sont très performantes du point de vue des ponts thermiques (le bois étant lui-même dans une certaine mesure isolant plutôt que conducteur comme l'acier et le béton).



Détail en plan : composition de mur typique

Finalement, l'utilisation de fenêtres tout en en bois certifiées par le *Passivhaus Institute* avec recouvrement en aluminium du côté extérieur aide aussi à l'atteinte des cibles *Passivhaus*. Ces cadres de fenêtres en bois performant naturellement mieux que des cadres de fenêtres en aluminium, en plus d'avoir une énergie intrinsèque nettement inférieure.

3.2. Objectifs

Les objectifs du projet étaient :

1. La réalisation d'un aménagement sans colonne à l'étage (rendu possible par les grandes portées);
2. La préfabrication et l'installation en accéléré de la toiture;
3. L'optimisation du volume de bois de la structure du toit par l'utilisation d'un système en plaques pliées de longue portée;
4. La création d'un système architecturalement marquant;
5. L'utilisation d'un matériau local et à faible énergie intrinsèque qui contribue à la séquestration du carbone (le bois en structure / ossature légère / isolation / parement);
6. L'atteinte des cibles fixées par la norme *Passivhaus*;

3.3. Méthodologie

Les rencontres de conception intégrée initiales (2) ont réuni toutes les parties prenantes, tant au niveau de l'équipe de professionnels et consultants qu'au niveau du client et futurs usagers du bâtiment. Ces rencontres ont permis à tous de bien comprendre les contraintes et opportunités liées au site et à mieux saisir l'importance d'une juste implantation du bâtiment. Elles ont également permis de mieux définir les attentes en termes de programmation et développement durable et d'expliquer les grands principes du *Passivhaus*. Toutes les parties prenantes ont participé à l'optimisation du concept en partageant leurs idées, leurs expériences et leurs attentes au tout début du processus.

À la suite de ces rencontres initiales, des rencontres régulières se sont tenues entre les professionnels afin de faire évoluer le projet vers l'atteinte des objectifs décrits plus haut.

La modélisation en 3d des données du bâtiment (BIM) a permis une coordination précise entre les disciplines d'architecture, structure, électricité et mécanique et permettra d'éviter les écueils majeurs lors de la mise en œuvre.

Architecture

- Analyse du site et du programme
- Élaboration de stratégies d'implantation du bâtiment en vertu de l'orientation
- Définition des hypothèses de départ pour les compositions de murs extérieurs tout bois et autres composantes architecturales de l'enveloppe
- Modélisation 3d de l'enveloppe du bâtiment et analyse préliminaire de l'efficacité énergétique avec le logiciel Design PH
- Itérations des paramètres de l'enveloppe (volumétrie / position des fenêtres / résistance thermique des composantes) et analyse dans Design PH jusqu'à l'atteinte des cibles *Passivhaus*
- Exportation des données de la modélisation 3d vers PHPP (Passive House Planning Package)
- Validation des calculs préliminaires par le certificateur *Passivhaus*
- Raffinement de la modélisation énergétique dans PHPP et finalisation des paramètres du projet.

Structure

Tout au long du processus, il y a eu des échanges de modèles 3D (BIM) avec les autres professionnels du projet. Ceci permettait de voir tôt des éventuels conflits avec les éléments en structure et l'architecture / mécanique.

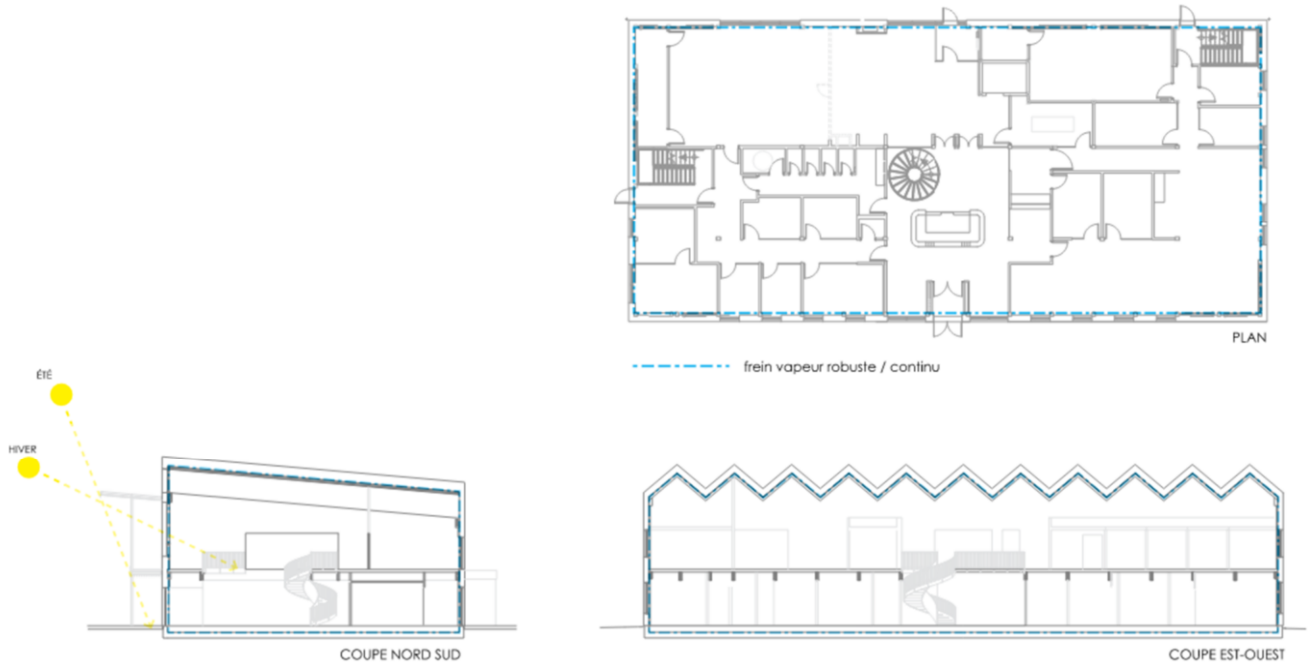
- Validation de la faisabilité et analyse de la structure du toit à partir des premières modélisations en architecture, incluant la conception de l'assemblage du porte-à-faux et la faisabilité des joints de panneaux pour des panneaux moins longs (certains fabricants n'étaient pas capables de les produire en longueurs de 18m).
- Conception du système de contreventement du bâtiment en étroite collaboration avec l'architecte. Plusieurs options comme des murs qui travaillent en cisaillement (panneaux dérivés du bois ou CLT) et des contreventements en lamellé-collé ont été examinés. Préparation des documents préachat bois : dimensionnement de tous les éléments structuraux en gros bois d'œuvre pour plusieurs fabricants du marché nord-américain (en considérant les différents grades et les différentes sections disponibles).
- Conception du radier en béton armé.
- Finalisation de la conception de la structure une fois le fabricant de bois choisi.

3.4. Résultat et analyse

Architecture

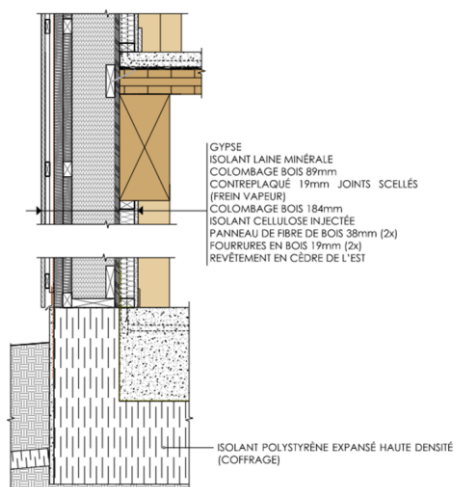
Le concept architectural et l'élaboration des détails techniques reposaient sur les principes propres à la norme *Passivhaus*.

Nous avons choisi de travailler avec une forme rectangulaire simple afin d'accroître le ratio aire de plancher / enveloppe et éviter les saillies et redents, des déterminants importants pour la performance énergétique. Aussi, la géométrie simplifiée du bâtiment permet des jonctions faciles à mettre en œuvre lors de la construction afin d'assurer l'étanchéité à l'air minimale très élevée exigée par la norme Passivhaus (0,6 CAH) et validée obligatoirement par un test d'infiltrométrie.

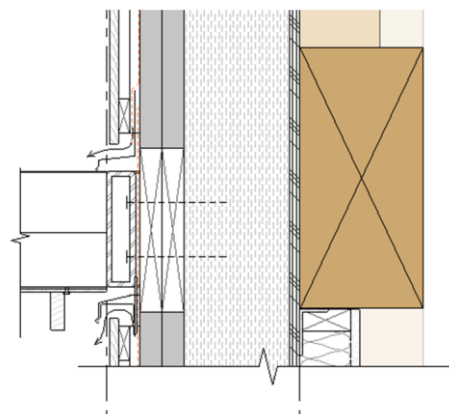


Plan et coupes illustrant la simplicité géométrique et la continuité du frein vapeur

Toujours du point de vue de l'enveloppe, les détails de construction ont été élaborés afin d'éliminer pratiquement tous les ponts thermiques. La structure est maintenue à l'intérieur du bâtiment. Le frein vapeur et barrière principale pour l'étanchéité à l'air est constitué d'un contreplaqué qui enveloppe la structure en bois massif par l'extérieur, ce de façon continue. Aussi, l'ancrage du brise-soleil au bâtiment est réalisé avec des fonds de vissage en bois et de longs tire-fonds.



Coupe de mur typique

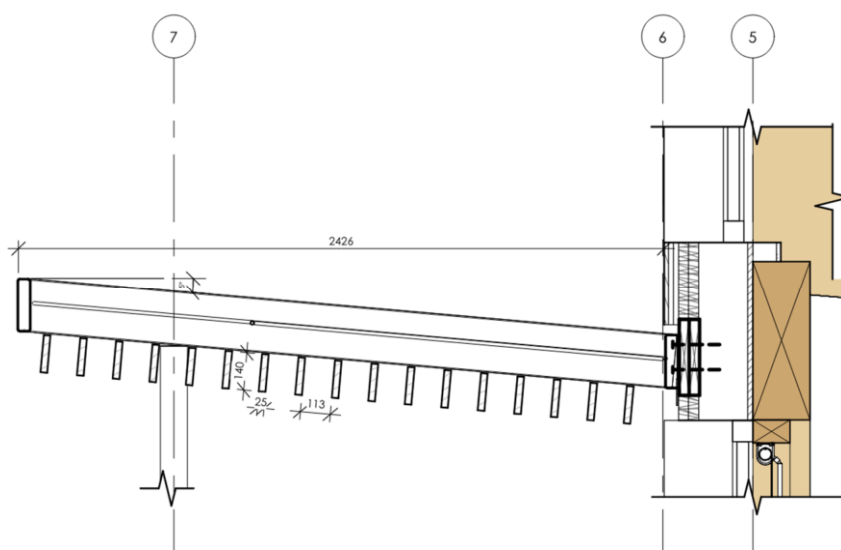


détail d'ancrage du balcon / brise-soleil sud

Les dimensions et localisations des fenêtres ont été déterminées en fonction de l'orientation solaire; à titre de rappel, la modélisation énergétique a démontré que la source de chauffage la plus importante pour ce projet était le rayonnement solaire direct, d'où le choix de la façade sud pour positionner le grand mur rideau en bois. Aussi, afin de contrôler le rayonnement solaire en été sur cette façade et maintenir les charges de climatisation à un niveau très bas, le grand brise-soleil sud a été conçu avec précision et intégré à la modélisation énergétique. La surchauffe est ainsi réduite au minimum et le projet répond aux exigences Passivhaus pour le confort des occupants.



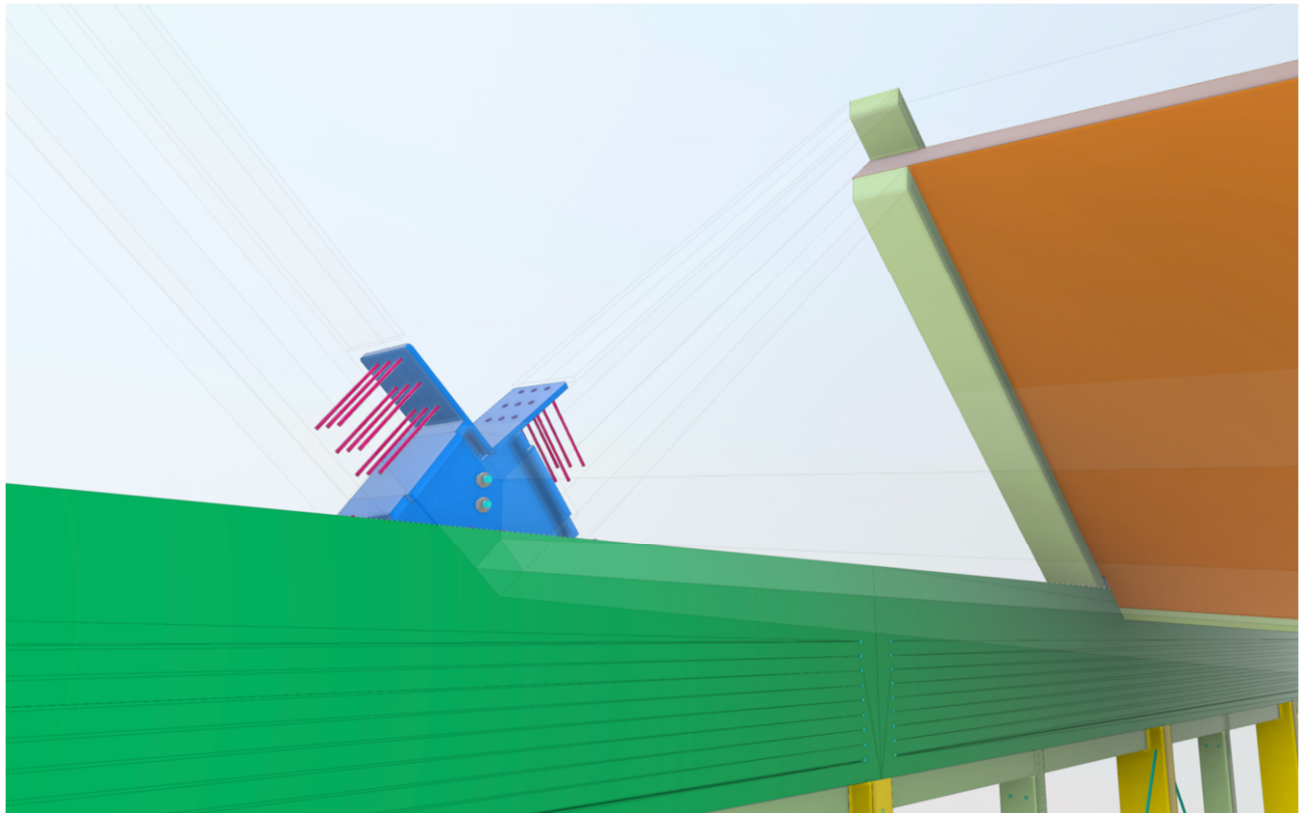
Élévations montrant le pourcentage d'ouvertures selon l'orientation



Coupe du brise-soleil

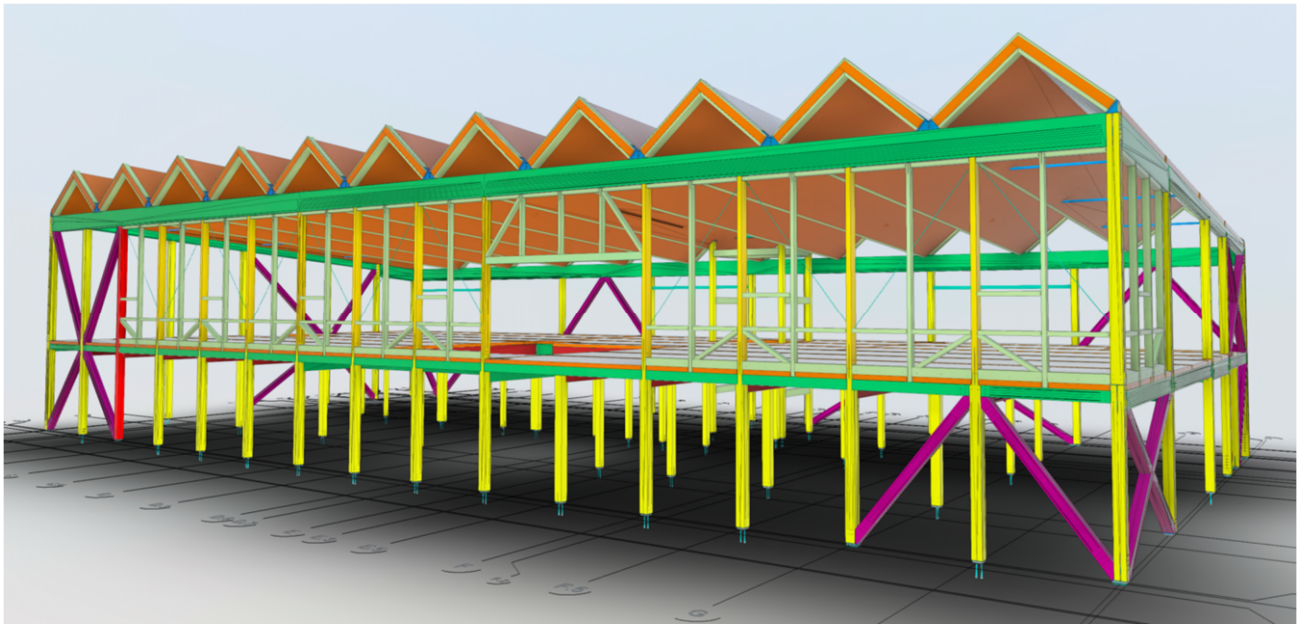
Structure

La structure du toit a été conçue avec des panneaux de 5 plis d'une épaisseur totale de 175mm. Le fabricant choisi (Ambiance Bois, avec un approvisionnement chez Chantiers Chibougamau / Nordic) était en mesure de les produire de pleine longueur, ce qui épargne la nécessité d'un joint / épissure dans les panneaux. Les points cruciaux sont les appuis très ponctuels des vallées des pignons sur les deux poutres gouttières en avant et en arrière. Une connexion discrète en acier permettant de transférer aux poutres de rive les charges gravitaires verticales, ainsi que les charges sismiques et de vent horizontales a été développée.



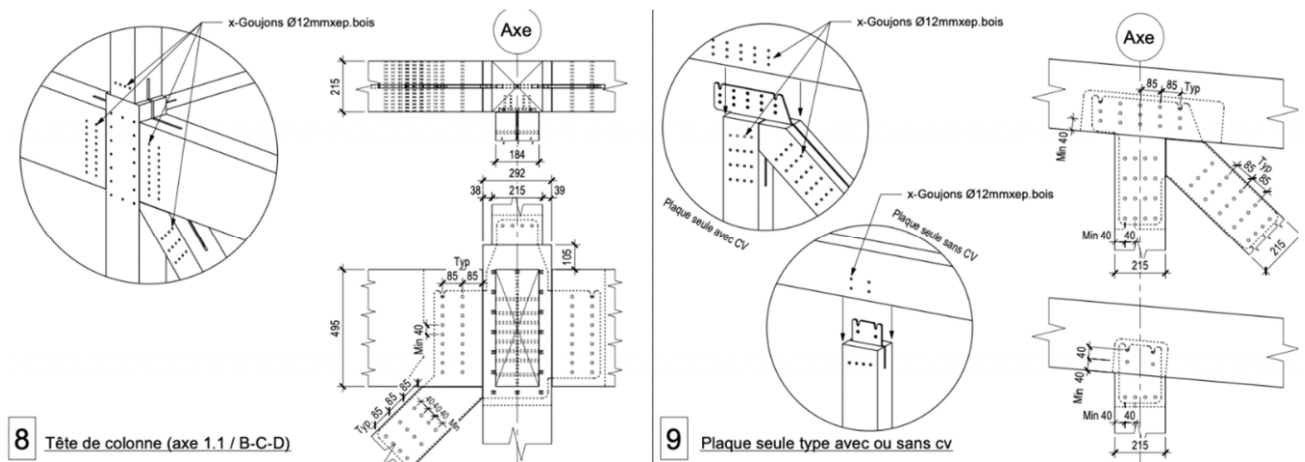
Détail d'assemblage des caissons CLT à la poutre périphérique en bois

Le système de contreventement du bâtiment est constitué de diagonales en lamellé-collé au niveau du rez-de-chaussée et à l'étage. La façade sud, qui constitue en majorité du mur-rideau, est additionally contreventée par des tiges en acier de 12.7mm de diamètre. Tous ces éléments sont apparents et leurs connexions dissimulées dans le bois.



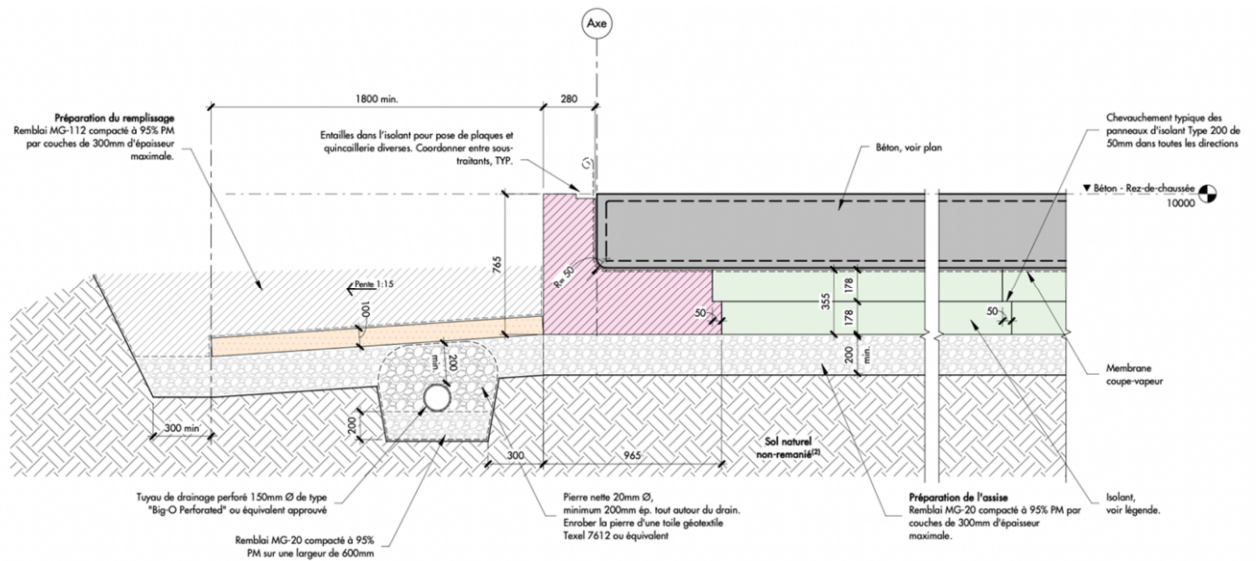
Maquette tridimensionnelle de fabrication de la structure de bois montrant les contreventements en bois et en acier.

La structure de l'étage est constituée de poutres et colonnes également en majorité apparentes, avec des connexions dissimulées dans le bois.



Assemblages typiques poutres-colonnes et contreventements

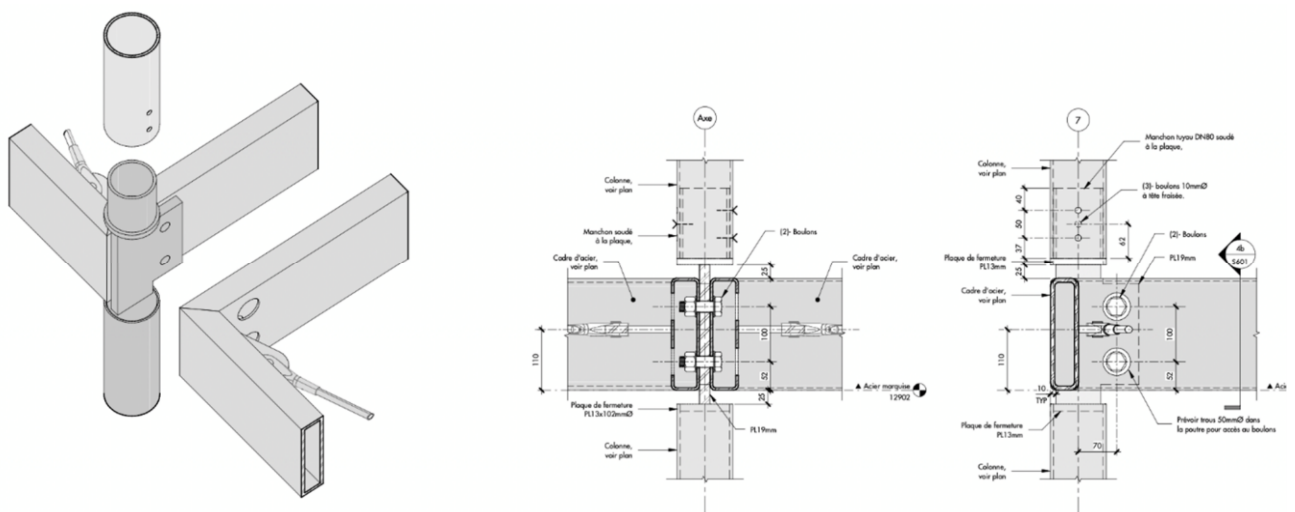
Le radier en béton armé est enrobé sur les côtés et le dessous d'un isolant en polystyrène expansé, pour garantir l'efficacité thermique du bâtiment. Le principe d'un tableau de fondation (*Foundation Tray*) a été choisi pour obtenir une certaine continuité de l'isolant aux bords et aux coins du radier et afin de faciliter la coulée du béton. En fait, les panneaux de l'isolant servent comme coffrage.



Principes d'installation de l'isolant (Foundation Tray) et conditions d'assise au périmètre du radier.

Les estimations budgétaires nous ont amené à remplacer les murs de CLT initialement souhaités en périphérie du bâtiment par des poteaux, poutres et contreventement en lamellé-collé. Au niveau des contreventements, de fins tirants en acier harmonieusement intégrés à la structure de bois ont aussi été introduits dans la façade sud afin de ne pas obstruer la vue panoramique sur les collines du parc de la Gatineau.

Par ailleurs, les coûts associés à l'extension de la structure de la toiture pour créer un porte-à-faux que nous pensions utiliser pour le contrôle des gains solaires au sud nous ont amené vers une solution différente. Nous avons ainsi proposé une structure extérieure en acier galvanisé et lattes de bois, attachée latéralement au bâtiment avec un détail qui réduit au minimum les ponts thermiques. Cette structure d'acier a été délicatement dimensionnée et détaillée par souci d'esthétique.



Détails d'assemblage de la marquise d'acier

3.5. Conclusions

Les objectifs suivants, soit la réalisation d'un aménagement sans colonne à l'étage, l'optimisation du volume de bois de la structure du toit par l'utilisation d'un système en plaques pliées de longue portée, l'utilisation d'un matériau local à faible énergie intrinsèque, l'atteinte des cibles fixées par la certification *Passivhaus* et la création d'un système architecturalement marquant ont été atteints.

Les hypothèses de départ se sont donc toutes révélées réalisables, à l'exception du porte-à-faux sud initialement envisagé pour contrôler les gains solaires qui a été remplacé par une structure extérieure en acier et bois, et les murs périphériques en CLT qui ont été remplacés par des éléments en lamellé-collé.

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

Toit longue portée en plaques pliées

Le concept de plaques pliées en toiture pourrait inspirer d'autres concepteurs à utiliser le CLT de façon innovatrice et optimale pour permettre de réaliser des grandes portées dans le cadre de projets d'envergure, ou tout simplement pour offrir aux clients, en vertu de l'absence de colonnes, une liberté et une flexibilité totale dans l'aménagement des espaces.

D'un point vue acoustique, les études ont aussi démontré que la géométrie de la toiture et ses 22 versants juxtaposés auront un effet de dispersion et d'atténuation bénéfique à l'acoustique d'ensemble, un autre avantage lié à ce concept structural.

Enveloppe tout bois

Le principe de composition de murs tout en bois - incluant les isolants - offre un grand potentiel de développement pour l'industrie du bois. Notamment, les panneaux de fibres de bois de grandes épaisseurs et les portes et fenêtres en bois atteignant la norme *Passivhaus* pourraient être fabriqués au Québec.

Le développement de ces produits à très haute valeur ajoutée permettrait d'enrichir et de diversifier l'industrie québécoise en augmentant le nombre et la variété des entreprises de sous-produits du bois pour la construction.

Les possibilités liées à la construction en atelier des assemblages de murs et toitures proposés dans le cadre de ce projet pourraient aussi intéresser l'industrie de la préfabrication.

Les compositions et détails de murs tout en bois conçus pour une performance *Passivhaus* sont alignés avec les objectifs de carboneutralité pour 2050. Le Québec a toutes les ressources pour développer cette expertise ainsi que les industries connexes.

3.7. Recommandations

Ce projet démontre que le CLT est un matériau avec beaucoup de potentiel – autant architecturalement que structurellement. L'action bidirectionnelle du CLT peut et doit être plus exploitée afin de réaliser des ouvrages efficaces et de longue portée, et permettre de laisser une structure apparente architecturale signature. Nous recommandons d'encourager le développement de ce type de structure dans le futur.

En ce qui a trait à l'approche *Passivhaus*, nous croyons que l'expertise Québécoise est à développer tant au niveau professionnel qu'au niveau manufacturier. Lors de la conception du projet, il n'y avait aucun fabricant québécois de portes et fenêtres en bois avec recouvrement d'aluminium extérieur dont les produits étaient certifiés *Passivhaus*. Nous avons dû rechercher des fenêtres en Europe et c'est un manufacturier allemand qui a fourni les portes et fenêtres pour le projet. Aujourd'hui, il y a maintenant un manufacturier Québécois qui distribue de telles fenêtres.

De manière générale, une aide financière plus généreuse serait la bienvenue pour soutenir les professionnels dans leurs projets de recherche et d'innovation. Ce déficit de financement constitue un frein important dans une industrie que l'on pourrait qualifier de conservatrice et pour qui le respect des coûts est toujours la priorité numéro un.

Aussi, afin que l'industrie manufacturière québécoise puisse s'inspirer plus facilement des meilleures pratiques internationales, il serait intéressant qu'elle obtienne un meilleur soutien dans ses négociations et échanges avec les entreprises outre-mer.

Enfin, nous recommanderions qu'un suivi de la conception jusqu'à la réalisation et mise en service du bâtiment soit rendu possible grâce à un financement additionnel. La production d'un rapport étoffé et grand public de tout le processus serait souhaitable et au bénéfice de l'industrie et des prochaines équipes prêtes à se lancer dans une telle aventure. Ce rapport permettrait de tirer des leçons et constituerait une base intéressante pour une série de conférences que nous pourrions donner à différents professionnels de l'industrie et dans certaines institutions d'enseignement, par exemple des écoles d'ingénierie et d'architecture.

Avec les objectifs de carboneutralité présentés et promus aujourd'hui par presque tous les paliers de gouvernance, nous souhaitons que l'approche *Passivhaus* s'implantera rapidement au Québec. Si les grands donneurs d'ouvrages font preuve de leadership et d'ambition en rehaussant leur standard à la hauteur des défis posés par les changements climatiques, le Québec pourrait bien devenir un leader nord-américain en la matière. L'arrondissement de Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension à Montréal a fait figure de pionnier en 2025 en exigeant que sa nouvelle bibliothèque (qui fait l'objet d'un concours d'architecture) soit certifiée *Passivhaus*. Enfin, nous espérons que l'expérience de La Pêche et celle à venir avec la construction de la bibliothèque de Villeray aidera l'industrie québécoises de la construction à évoluer vers les meilleures pratiques internationales en termes de bâtiment durable.

4. Bibliographie

s/o

5. Annexes

- Tableau des quantités de matériaux (.xlsm);
- Lettre de l'estimateur de quantités de matériaux;
- Rapports complets du Gestimat;
- Quantification des émissions de GES par systèmes constructifs du projet construit et de son scénario de référence;
- Rapport de quantification de la réduction des émissions de GES du projet construit en comparaison avec son scénario de référence;