

Pointe-Aux-Lièvres

Rapport de l'expérience



STRUCTURE

Un Toit en Réserve

2017/08/07

TABLE DES MATIÈRES

1	CONTEXTE.....	3
1.1.	Introduction.....	3
1.2.	Site	3
1.3.	Règlementation RBQ	4
1.4.	Projet initial: Bâtiment modulaire	4
1.5.	Projet final: Bâtiment préfabriqué traditionnel	6
1.6.	Chiffres clés	6
2	CONCEPTION	7
2.1.	CONTRAINTES et défis [1].....	7
2.1.1.	Contraintes liées au site	7
2.1.2.	Contraintes courantes de la construction à ossature légère (structure)	8
2.1.3.	Contraintes du Guide 6 étages RBQ	8
2.2.	SYSTÈMES CONSTRUCTIFS et réponses aux contraintes	9
2.2.1.	Système structural.....	9
2.2.2.	Gestion de la compression perpendiculaire et des retraits différentiels.....	11
2.2.3.	Systèmes de contreventement et méthodes de calculs	13
2.3.	PROBLÉMATIQUES vécues en conception et BILANS.....	16
2.3.1.	Difficultés propres à la structure	16
2.3.2.	Collaboration interprofessionnelle.....	16
2.3.3.	"Aide" extérieure (CECOBOIS, FP INNOVATION).....	17
3	RÉALISATION.....	19
3.1.	COORDINATION de la préparation du chantier.....	19
3.1.1.	Avec fabricant (murs/poteaux-poutres/poutrelles et fermes)	19
3.1.2.	Avec entrepreneur.....	20
3.2.	DÉLAIS ET TEMPS DE CHANTIER	21
3.3.	SURVEILLANCE/SUIVI DE CHANTIER et observations	22
3.3.1.	Mise en chantier et problématiques	22
3.3.2.	Surveillance accrue.....	22
3.3.3.	Formation du personnel	23
3.3.4.	Rapports de chantier et liste des observations principales.....	24
3.3.5.	Observations et résolutions	26
3.4.	COUTS LIÉS AUX AVENANTS (partie structure)	38

TABLE DES MATIÈRES

3.5.	BILAN et recommandations.....	39
4	CONCLUSIONS	41
5	ANNEXES.....	43
5.1.	ANNEXE A1 – tableau des coûts des directives de structure	43
5.2.	ANNEXE A2 – tableau de classement des rapports de chantiers par thèmes.....	44
5.3.	ANNEXE A3 –rapports de chantier RCH-1 à RCH-29.....	47

1 CONTEXTE

1 CONTEXTE

1.1. Introduction

Début 2014, Action Habitation met en marche un projet audacieux pour le compte de l'OBNL « Un Toit en Réserve ». L'objectif est de construire un immeuble de 59 logements sur 6 étages en ossature légère de bois, le premier au Québec. Une directive de la Régie du bâtiment vient en effet d'autoriser de dépasser le seuil de 4 étages pour ce type d'édifices.

La prise de conscience écologique, l'engouement pour ce matériau et les nouvelles techniques développées sont à l'origine de cette dynamique palpable de la construction bois et de l'évolution de la réglementation à son égard.

C'est toutefois dans un contexte de réalisation qui se doit économique que s'inscrit ce projet, l'objectif étant de proposer des logements à coûts abordables et permettre l'accès à des familles et personnes seules à revenus modestes.

Le présent rapport vise à témoigner des stratégies mises en place lors de la **conception** et la **réalisation** de ce bâtiment. Cette rétrospection et les enseignements qui en découlent permettront d'aider aux prises de décisions pour une éventuelle répétition de ce bâtiment « prototype ».

1.2. Site

Le projet se situe à QUÉBEC, dans le nouvel écoquartier de la Pointe aux Lièvres, à l'intersection des rues Cardinal-Maurice-Roy et Lee.

Le quartier est bordé par la rivière Saint-Charles et l'autoroute Laurentienne.



Figure 1 - Québec



Figure 2 – Quartier Pointe-aux Lièvres

1.3. Règlements RBQ

Tel que présenté en introduction, la construction de ce bâtiment fut rendue possible par l'adoption (fin 2013) par la Régie du Bâtiment du Québec d'une directive sur la « Construction d'habitations en bois de 5 ou 6 étages ». Depuis, cette directive a été intégrée au « Code de la Construction du Québec (CCQ) ».

Cette évolution majeure a permis d'envisager une densification urbaine via un système constructif qui était jusqu'alors bridé à seulement 4 étages. Cette disposition s'inspire de mesures ayant été adoptées en Colombie-Britannique et ailleurs dans le monde.

Cette directive et le guide explicatif rédigé pour en illustrer plus concrètement les propos, permet l'acceptation légale de la RBQ sous réserve du respect de tous les titres énumérés. Auparavant, un tel bâtiment aurait pu voir le jour mais via un processus long et fastidieux de « demandes de mesure différentes ou équivalentes ».

Les clauses de cette directive mettent surtout l'emphasis sur la sécurité incendie, au travers de restrictions de dimensions, distances et de degrés de résistance au feu exigés. Une liste partielle des contraintes est présentée dans le titre 2.1.3.

En bref, ces deux documents (directive et guide associé) sont des recensements assez exhaustifs des problématiques à anticiper et réfèrent pour chaque titre aux codes, normes et guides pertinents. C'est donc une excellente base, perfectible certes mais qui a le mérite d'encadrer cette autorisation de construire plus haut, avec autant de sécurité et de qualité qu'avec d'autres matériaux non combustibles.

Pourtant, dans la pratique, toutes les clés ne sont pas livrées et un gros travail de conception a été requis pour concrétiser certaines règles très théoriques (voir titres suivants).

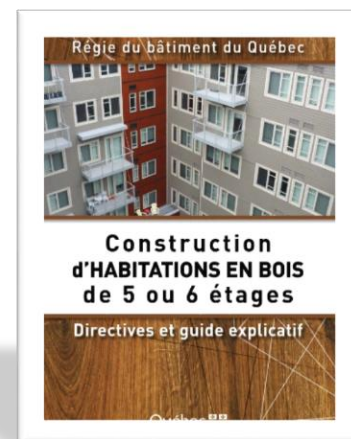


Figure 1 – documents RBQ

1.4. Projet initial: Bâtiment modulaire

Ce projet se voulait non seulement être un fer de lance de la construction de 6 étages en ossature légère de bois, mais il voulait aussi faire la démonstration de la pertinence de le réaliser en préfabrication modulaire. Sur le papier, des économies substantielles étaient donc attendues.

Une conception intégrée entre l'architecte, l'ingénieur mécanique, l'ingénieur en structure et un fabricant de modulaire a permis de mettre sur pied un système convaincant. Il faut dire que le projet PAL6 se prêtait particulièrement bien aux besoins de cette préfabrication modulaire en ce qui concerne sa géométrie, simple, rectangulaire et régulière.



Figure 1 - concept modulaire

TABLE DES MATIÈRES

soumission s'est révélée plus cher que le budget du client, malgré les simulations opérées en conception.

Il nous apparaît certain que ce surcoût ne reflète pas le potentiel du modulaire. Le caractère novateur a probablement conduit à une surévaluation de la part des entrepreneurs généraux (part d'incertitude). L'organisation des fabricants modulaires (regroupement pour améliorer les capacités de production par exemple) est peut-être aussi un point à améliorer pour gagner en compétitivité.

1.5. Projet final: Bâtiment préfabriqué traditionnel

En réaction aux soumissions trop élevées, les acteurs du projet ont consenti à faire des adaptations substantielles au projet. En autres, le sous-sol a disparu et le système modulaire a été remplacé par un système d'ossature légère traditionnelle avec préfabrication de panneaux.

Ce revirement de situation a exigé une réingénierie complète de l'ouvrage. Les acquis, mêmes s'ils venaient du modulaire (développement d'outils de calcul, intégration des contraintes de la RBQ) ont permis de transformer le projet dans des délais serrés (3-4 mois).

Les caractéristiques de celui-ci sont détaillées dans les titres qui suivent.

1.6. Chiffres clés

Pour donner la mesure de ce projet, voici quelques valeurs caractéristiques:

- ✓ 6540m² de planchers
- ✓ 3150ml de murs
- ✓ 1540 ml de poutres
- ✓ 80 tirants (x6 niveaux)
- ✓ 289 pieux vibrés

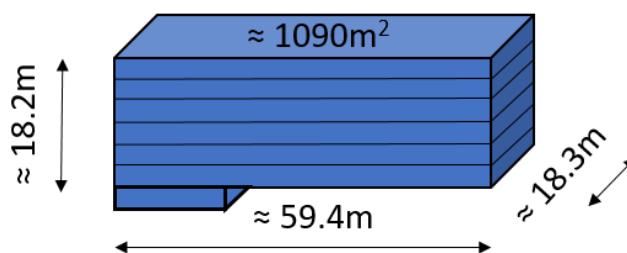


Figure 1 - dimensions

2 CONCEPTION

2 CONCEPTION

2.1. CONTRAINTES et défis [1]

2.1.1. Contraintes liées au site

Les caractéristiques du terrain de la Pointe-aux-Lièvre ont été à l'origine de plusieurs défis. C'est toutefois ces mêmes contraintes qui ont justifié l'emploi d'un tel bâtiment de construction légère.

Les différentes couches présentent en effet

- ✗ Des capacités portantes relativement faibles.
- ✗ Un comportement liquéfiable lors des vibrations d'un séisme.
- ✗ Un classement sismique contraignant, de catégorie E (très haut niveau selon la classification du code).

C'est surtout le deuxième point qui a concentré les discussions pour les fondations et a mené au choix d'utiliser des pieux vibrés qui prennent appui sur la couche profonde non liquéfiable. Un système de radier avait également été envisagé puis écarté pour des raisons techniques et économiques.

Le troisième point a quant à lui amené à considérer de très fortes charges sismiques transmises au bâtiment. Les défis et réponses opérées lors de la conception sont synthétisés dans le titre 2.2.3.

Une décontamination partielle du sol a également dû être planifiée.

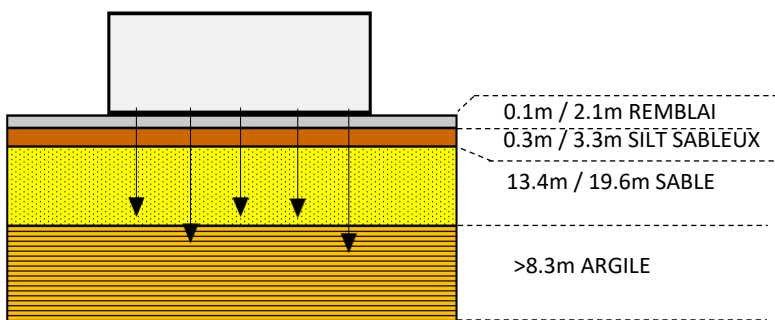


Figure 1 - données de sol

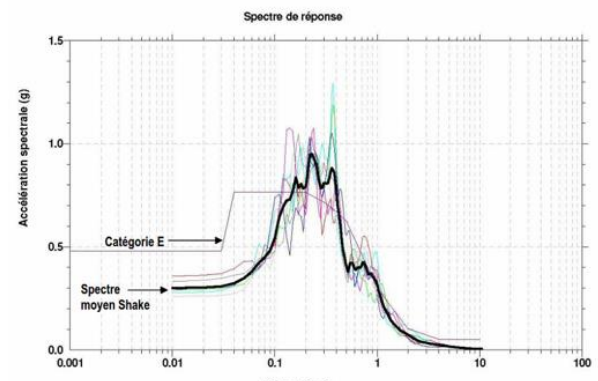


Figure 2 - spectre sismique

2 CONCEPTION

2.1.2. Contraintes courantes de la construction à ossature légère (structure)

L'ossature légère a beaucoup d'avantages mais également son lot d'inconvénients ou de points sensibles auxquels il faut prêter particulièrement attention.

- ✓ Sensibilité à l'eau : le retrait suivant le séchage de la structure doit être compatible avec le reste du bâtiment (gypse, mécanique). Les phases de chantier sont délicates, surtout en hiver.
- ✓ Vulnérabilité au feu pendant le chantier.
- ✓ Éléments de faible dimension rendant parfois complexe le travail d'assemblage (peu de matière pour ancrer des efforts importants)
- ✓ Beaucoup de connexions à gérer.

2.1.3. Contraintes du Guide 6 étages RBQ

En complément des points communs évoqués au titre précédent, citons les principales obligations suivantes (non exhaustives) listées dans la directive de la RBQ (résumé de celles applicables à cette version du projet, sans sous-sol)

- ✓ La superficie max. du bâtiment dans le cas de 6 étages est de 1200m², la hauteur max. du dernier plancher est 18m et la hauteur totale max. du point haut est de 25m.
- ✓ les murs, poteaux, toit doivent résister une heure au feu et les planchers en plus de cela doivent être coupe-feu.
- ✓ Le système de construction doit être de type plate-forme (compartimentation par étage).
- ✓ Le recours aux gicleurs est obligatoire. Les bâtiments d'ossature légère sont assujettis à des exigences encore plus élevées à ce sujet.
- ✓ Des critères d'incombustibilité s'appliquent aux façades et autres matériaux de remplissage.
- ✓ En termes de conception structurale, la partie 3 du guide donne une multitude de règles et méthodes à suivre en termes de chargement, de stabilité latérale (murs et diaphragmes pour le vent et le séisme), de matériaux compatibles et prise en compte de la déformation des composants (raccourcissement des bâtiments, sources de tassement et gestion du retrait différentiel, fluage, etc). Le recours à la norme CSAO86-09 est exigée (à ce moment-là, la version antérieure était encore en vigueur dans le code pour les autres bâtiments).

2 CONCEPTION

2.2. SYSTÈMES CONSTRUCTIFS et réponses aux contraintes

2.2.1. Système structural

L'axonométrie ci-dessous illustre les différents systèmes mis en œuvre pour supporter les charges gravitaires et les charges latérales (vent et séisme)

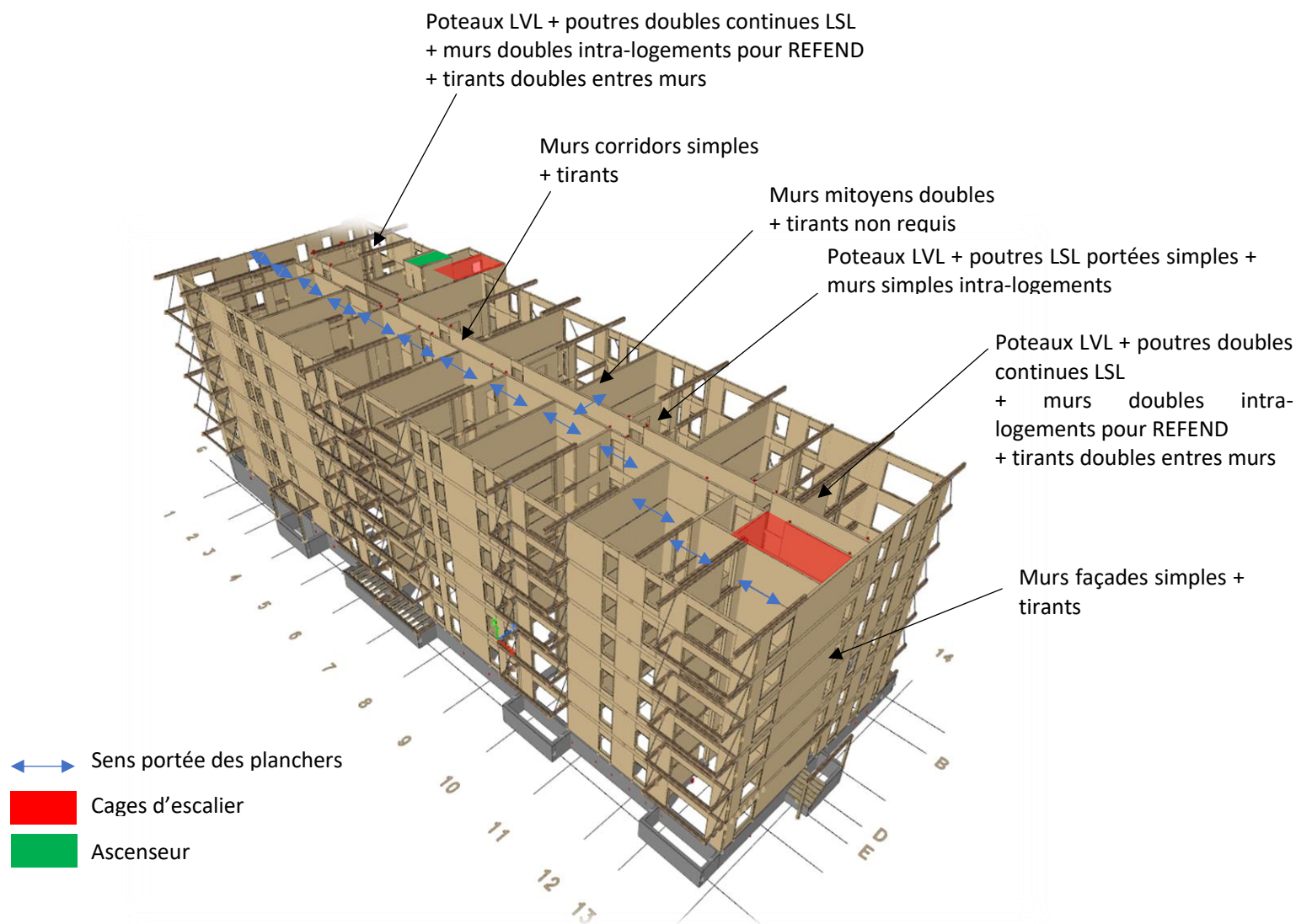


Figure 1 - axonométrie structurale

2 CONCEPTION

Les système constructif général n'est pas une innovation en soit. Des planchers de poutrelles ajourées et des fermes de toit en bois s'appuient soit sur des murs porteurs d'ossature légère, soit sur des poutres et colonnes en bois d'ingénierie. Les différences avec un projet de 4 étages avec des portées et conditions similaires sont donc simplement:

- ✓ Des colombages plus resserrés.
- ✓ Des murs utilisés comme refends plus nombreux.
- ✓ Des poteaux plus forts ou plus nombreux.

Les vraies différences s'observent au niveau des systèmes de contreventement,

- ✓ On a au total 80 tirants d'acier qui équilibrent le basculement des murs de refend
- ✓ Les compensateurs de retrait absorbent la détente des systèmes de tirant lié au retrait de séchage

et au niveau d'éléments de renfort en compression perpendiculaire et pour le retrait :

- ✓ Plaques en T sur poutres.
- ✓ Plaquettes de contreplaqué.

Les autres systèmes porteurs, non directement liés à ce type de bâtiment, mais plutôt à un choix architectural sont les suivants:

- ✓ Suspension des balcons par des tirants fixés dans les poutres et colonnes de façade.

Il est à noter que toute la structure est protégée du feu. Le dimensionnement des éléments et des assemblages n'a donc pas été assujéti à des précautions additionnelles.



Photo 1 - aperçu des systèmes au chantier



Photo 2 - jonction inter modules axes 2 et 13, plaques en T

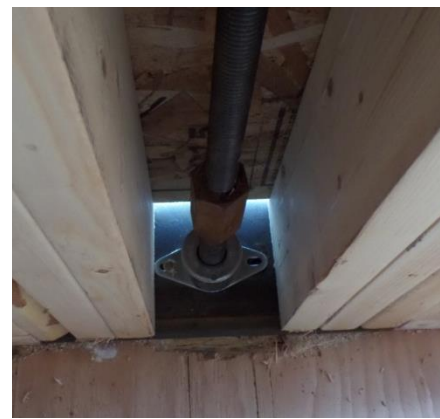


Photo 3 - tirant et compensateur de retrait

2 CONCEPTION

2.2.2. Gestion de la compression perpendiculaire et des retraits différentiels

La résolution de la problématique de retrait/gonflement et de l'écrasement est un nœud central dans la conception d'un tel édifice. Ce phénomène s'observe déjà largement dans une construction de 4 étages, avec généralement un tassement qui peut avoisiner 20mm par étage.

On distingue les tassements liés au séchage du bois (retrait) et ceux liés à l'écrasement de celui-ci sous des charges ponctuelles.

Individuellement, ces mouvements ne sont en soit pas des problèmes directement critiques pour la résistance des éléments qui les subissent. C'est plutôt leur combinaison qui est nuisible car la structure se déforme de manière différentielle. Autrement dit, certains points du plancher descendent plus que d'autres, induisant des contraintes secondaires sur la structure. Tout l'enjeu est donc d'équilibrer ces mouvements pour que tout descende le plus uniformément possible. Il est important de noter que ces mouvements sont aussi très préjudiciables pour les éléments non structuraux tel que le gypse, les cadres de porte et fenêtres et les conduits de mécanique, etc.

En termes de gestion de l'écrasement, plusieurs détails ont été comparés par éléments finis et une solution a été développée. La figure (1) illustre le flux d'effort qui traverse une poutre écrasée par deux colonnes alignées, la surface comprimée correspondant à la section des colonnes. Sur la figure (2), les colonnes appuient sur des plaques épaisses, elles-mêmes appuyées sur la poutre renforcée par des vis pleinement filetées. On voit que le flux d'effort s'élargit un peu au-delà de l'aire d'influence des colonnes. Toutefois, le gain n'a pas été jugé suffisant pour justifier une mise en œuvre onéreuse de telle vis avec des plaques épaisses. Le problème tient au fait que les plaques « plates », même épaisses, ne sont pas assez raides pour bien distribuer la charge. La figure (3) montre le système développé. Le manque de raideur des plaques est résolu par l'emploi d'un raidisseur. La plaque devient un T, bien plus raide et donc bien plus apte à répartir l'effort uniformément sur une plus large surface.

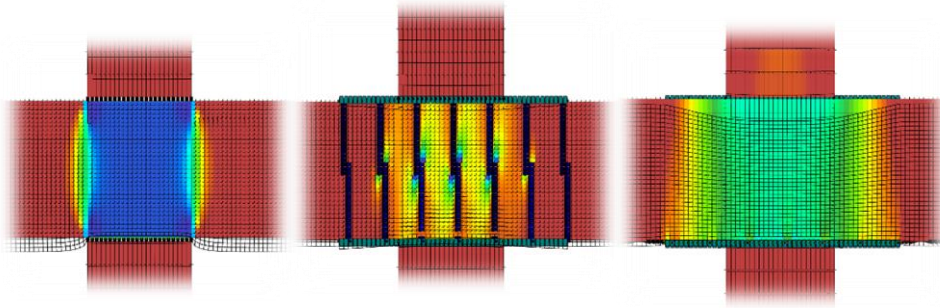


Figure 1 - pas de renfort

Figure 2 - renfort vis

Figure 3 - renforts plaques en T



Figure 4 - renfort plaques en T

2 CONCEPTION

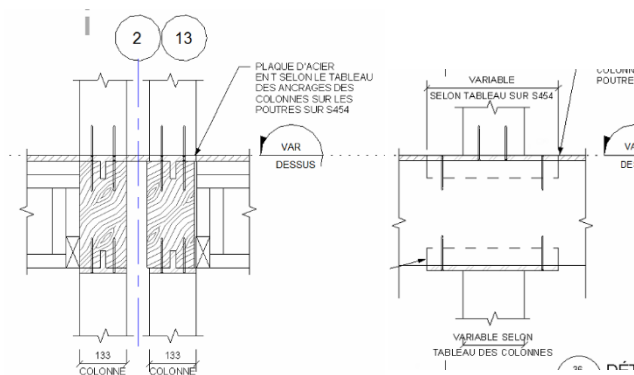


Figure 5 - plaques en T

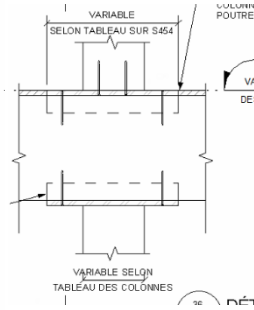


Figure 6 - plaques en T

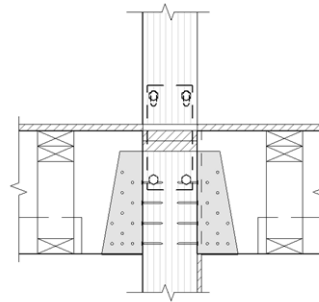


Figure 7 - étrier intérieur



Figure 8 – étrier façade

En réglant un problème, on se confronte à un nouveau. Réduire l'écrasement localement au niveau des poteaux/poutres est un bon point, mais encore faut-il qu'il soit équilibré avec les éléments muraux (colombages, lisses et OSB) avec lesquels ils travaillent. Pour ce faire, il a été décidé d'employer des plaquettes de contreplaqué dont l'écrasement est plus facile à contrôler et dont l'épaisseur a été ajustée pour être en bonne corrélation avec l'ossature.

En ce qui concerne le retrait volumique (séchage), les solutions mises en œuvre sont les suivantes :

- ✓ Réduction du nombre d'éléments horizontaux. Par exemple, les poutrelles appuient sur des lisses contre les poutres, et les sablières ne sont pas doubles lorsque des poutres s'assoient dessus.
- ✓ Utilisation de bois d'ingénierie dont l'humidité de fabrication est très basse (autour de 7%).
- ✓ Emploi de systèmes de compensateurs de retrait sur les tirants de contreventement (voir titre suivant).

2 CONCEPTION

2.2.3. *Systèmes de contreventement et méthodes de calculs*

Le projet PAL6 s'est révélé particulièrement complexe en termes de gestion des forces latérales, c'est-à-dire vis-à-vis du vent et du séisme.

Tel que mentionné au titre 2.1.1, la catégorie sismique du sol est très défavorable. De telles conditions ont pour effet d'augmenter considérablement les efforts transmis à la structure. Le choix d'une structure légère est reconnu comme l'un des meilleurs moyens de limiter l'intensité de ces forces et en ce sens il était tout indiqué pour PAL6.

Les défis étaient les suivants:

- ✓ L'utilisation d'une nouvelle méthode de calcul.
- ✓ Le jugement et le développement de méthodes et d'outils parfois plus cohérents que ceux dictés.
- ✓ L'utilisation de tirants métalliques avec compensateurs de retraits.
- ✓ La gestion de la compression perpendiculaire au fil du bois.
- ✓ La gestion des déformations en regard du nombre d'ouvertures en façade et du caractère flexible des diaphragmes.
- ✓ La création de détails spéciaux.

La méthode de calcul préconisée était celle développée par FP Innovation et en vigueur dans l'APEGBC (Association of Professional Engineer of British Columbia). Deux documents principaux illustrent cette méthode. À noter qu'au moment de la conception du PAL6, celle-ci n'était pas encore incorporée à la norme CSA-O86.

La principale différence entre la norme et cette nouvelle procédure réside dans le traitement du cumul des étages et de l'impact de la rotation cumulée d'un niveau à l'autre. En effet, le soulèvement du coin d'un mur d'un niveau inférieur et la déformation de flexion qu'il subit se répercute sur tous les murs qui le surmontent. Il en résulte des déformations bien plus conséquentes et une plus grande difficulté à respecter les critères usuels.

Toutefois, nous avons éprouvé plusieurs réserves quant l'applicabilité d'une telle méthode. Celle-ci ne regarde en effet qu'un mur à la fois (plusieurs niveaux), comme s'il était strictement indépendant de tous les autres. Parfois cette hypothèse est vérifiée, mais dans la grande majorité des cas, surtout en ossature légère, les murs sont en réalité une partie d'un plus grand ensemble tel qu'une façade ou une paroi de corridor. En d'autres termes, les murs sont plus ou moins solidaires les uns des autres, grâce notamment aux poutres de rives et aux diaphragmes qui les liaisonnent.

Nous avons donc décidé de comparer les résultats issus de cette méthode et ceux issus d'une modélisation fine par éléments finis (qui considère le soulèvement possible entre chaque mur, le glissement, etc) à l'échelle d'une façade complète. Les résultats nous ont permis de rationaliser la méthode manuelle et la pondérer de coefficients plus réalistes, au cas par cas, suivant les façades étudiées.

Un autre point de désaccord partiel réside dans la manière de répartir les charges verticales. La norme et la nouvelle méthode suggèrent toutes deux de soulager ou de surcomprimer les

2 CONCEPTION

colombages d'extrémités par la [charge linéaire] x [la demi longueur du mur]. Autrement dit, que l'on ait un mur de 2m de long ou un mur de 10m de long, les mêmes conditions s'appliqueraient. Nous avons jugé que cette procédure était trop conservatives et pénalisante pour la compression perpendiculaire sous les colombages d'extrémités comprimés, et non réaliste et non sécuritaire pour l'extrémité du mur potentiellement en traction (charge dans le tirant s'il y a lieu). Encore une fois, plusieurs tests comparatifs avec éléments finis nous ont permis d'ajuster la méthode pour la rendre plus réaliste.

Tous ces ajustements ont en réalité permis de rendre le projet plus juste techniquement et économiquement.

L'autre nouveauté présente sur ce type de projet est l'emploi de tirants métalliques couplés de compensateurs de retrait. Tel que mentionné précédemment, on en compte 80 (x6 niveaux) à PAL6. La différence avec les systèmes conventionnels de retenue verticale (holdown) tient au fait que les tirants sont continus et accumulent de fait la charge à chaque niveau. Il suffit donc de connecter le mur d'un niveau i pour l'effort supplémentaire apporté par le diaphragme de ce seul niveau $i+1$. En comparaison, un « holdown » nécessite de transférer le charge d'un niveau à l'autre en se reconnectant systématiquement au bois (discontinu donc). Au vu des efforts importants d'un tel projet, il faudrait dès lors une grande longueur de bois pour pouvoir connecter tous les clous nécessaires, au point où au bout d'un moment, les holdowns en pied et en tête de rejoindraient; ce qui se résume à utiliser un tirant, d'où la pertinence de ce type de système ici.

Plusieurs systèmes de compensateurs de retrait existent. Trois compagnies majoritairement ont développé ce produit. Certains emploient des ressorts pour absorber la détente qui se créent quand le bâtiment fait du retrait, tandis ce que d'autres utilisent un simple système de crémaillère. La facilité, disponibilité et cout de ce dernier s'est révélé tout à fait efficace dans notre cas. À noter que les systèmes plus complexes peuvent pour certains avoir moins d'élongation sous une charge de traction, pouvant aider à diminuer les déformations.

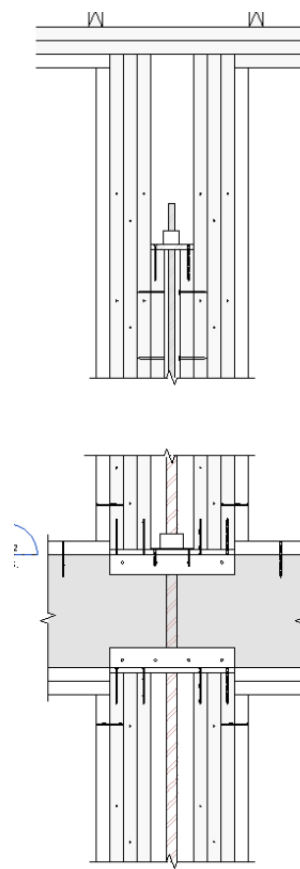


Figure 1 – bloc tirant

Comme mentionné précédemment, la compression perpendiculaire au fil du bois est un défi sur ce projet (en bois en général). Pris au pied de la lettre, il aurait fallu dans certains cas avoir jusqu'à 15 colombages aux extrémités des murs de refend. Notre modélisation et les ajustements pris en conséquence ont permis de diminuer substantiellement ce nombre. Dans le cas contraire, on percevrait clairement la limite du système de paroi ajourée qui tend peu à peu à s'opacifier et devenir un panneau plein. Les problématiques de gestion des ponts thermiques peuvent à cet effet survenir et il est important selon nous que ce point soit révisé.

Enfin, la limitation des déplacements horizontaux a été des plus ardues. Face au séisme, chaque niveau ne doit pas se déplacer d'une valeur supérieure à $H/40$, soit environ 75mm. Pour le vent,

2 CONCEPTION

le critère est moins tolérant, $H/500$ soit environ 6mm, mais les efforts sont bien moindres. C'est au final les critères pour le séisme qui ont été les plus contraignants.

Parmi les composantes les plus sensibles, le clouage, le doublement de revêtement et l'effet de rotation cumulée ont été les points sur lesquels nous avons le plus joué pour donner au bâtiment la raideur suffisante.

Enfin, des détails spéciaux ont été conçus pour accélérer la mise en œuvre et permettre un bon degré de standardisation, qui fait parfois défaut dans ce genre de construction. Nous avons conçu ce qui nous appelons le « bloc tirant » (figure [2]). Plutôt que de changer le nombre de colombages de niveau en niveau (car la charge de compression due au basculement est plus forte aux niveaux inférieurs qu'aux supérieurs), et plutôt que d'élargir et épaissir la plaque d'appui, nous avons employé de manière typique 3 colombages en 2x6 de chaque bord du tirant qui appuient sur une plaque en L (donc plus raide qu'une plaque simple). La grande surface d'appui offerte avec ce système permettait de répondre aux contraintes de compression perpendiculaire partout dans le projet, tout en limitant les surcoûts et en facilitant le travail de préfabrication (standardisation d'étage en étage). À l'origine, ce système avait été pensé pour le projet en modulaire et a été conservé dans la version finale du projet.

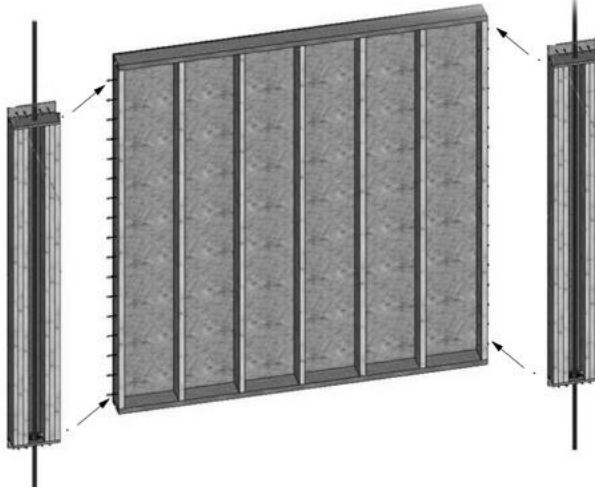


Figure 2 – blocs tirants avant assemblage à l'ossature

TABLEAU DES COMBOS TIRANTS+COMPENSATEUR				
etage	COMBO 1	COMBO 2	COMBO 3	COMBO 4
TIRANTS (lignes filetées)				
N6	6	5	5	2x 6
N5	7	6	6	2x 7
N4	8	7	7	2x 8
N3	9	8	8	2x 9
N2	9H	9	9	2x 9H
N1	9H	9	9H	2x 9H

Figure 3 – tableaux « combos » tirants + compensateurs

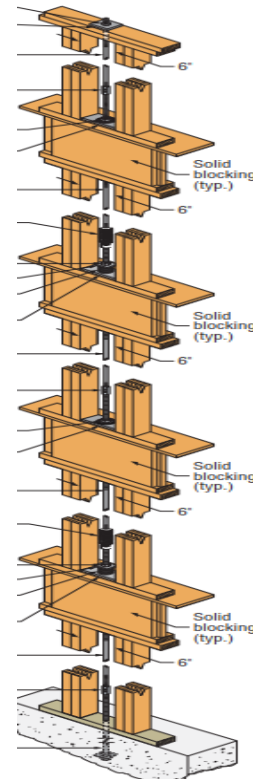


Figure 4 – système classique

2.3. PROBLÉMATIQUES vécues en conception et BILANS

2.3.1. Difficultés propres à la structure

La plupart des difficultés ont été évoquées aux titres précédents. En résumé:

- ✓ La méthode de calcul pour la stabilisation latérale a dû être rationalisée (test éléments finis) pour que certains aspects théoriques non généralisables ne conduisent pas à de coûteux surdimensionnements.
- ✓ Création d'outils complexes à développer au travers d'un délai de conception (mandat) à peine plus élevé que la moyenne.
- ✓ La gestion des tassements différentiels s'est révélée assez ardue.
- ✓ La compression perpendiculaire avec des poteaux et poutres qui doivent rester assez étroits nous a poussée à trouver des systèmes nouveaux.

Il faut s'accorder sur le fait que pour un premier projet de ce type, le temps de calcul et les recherches nécessaires pour rationaliser des méthodes pas toujours pratique a gonflé largement le budget d'heure d'un projet traditionnel. Cela dit, refaire un tel projet avec l'expérience acquise ne prendrait pas nécessairement plus longtemps qu'un projet de 4 étages.

2.3.2. Collaboration interprofessionnelle

La communication entre l'architecte, l'ingénieur en mécanique, l'ingénieur en structure et le client est la clé de voute de la réussite d'un projet. De ce point de vue, nous pensons que l'exercice s'est déroulé de manière productive.

Les aspects principaux à intégrer étaient les suivants :

de la part du client,

- ✓ Développer des solutions économiques pour garantir la réalisation du projet.
- ✓ Garantir le bon fonctionnement en service (limiter déformations) en plus de l'aspect sécuritaire évident.

de la part de l'architecte ,

- ✓ Respecter à tout pris les ouvertures. Nous avons par contre demandé à quelques reprises de décaler celles-ci pour optimiser la longueur efficace de certains murs de refend en façade.
- ✓ Limiter les ponts thermiques.

De la part de l'ingénieur en mécanique,

- ✓ Jeu à accorder lors des tassements verticaux.
- ✓ Déplacements horizontaux.

2 CONCEPTION

2.3.3. "Aide" extérieure (CECOBOIS, FP INNOVATION)

L'expérience 6 étages en ossature légère n'ayant pas d'antécédant au Québec au moment de la conception de PAL6, DOUGLAS a dû s'appuyer avant tout sur sa capacité d'adaptation et à la modélisation interne pour résoudre les problématiques rencontrées. Toutefois, nous n'avons pas nécessairement sollicité d'aide extérieure, même si celle-ci aurait possiblement pu être offerte (partage de réflexions) par le biais d'un contrat.

CECOBOIS a par contre agi en qualité d'observateur pendant la phase de travaux et a pu présenter son ressenti lors de conférences récemment.

Le sentiment d'avoir ouvert les portes à nos risques et péril, tout en focalisant beaucoup d'attention de la part de plusieurs observateurs, est un sentiment qui semble avoir été partagé par tous les acteurs du projet.

3 RÉALISATION

3.1. COORDINATION de la préparation du chantier

3.1.1. Avec fabricant (murs/poteaux-poutres/poutrelles et fermes)

N'importe quel projet requiert une coordination efficace avec le fabricant. Cette étape est cruciale car c'est le premier stade d'interprétation des plans de l'ingénieur.

Dans le cadre du projet PAL6, la présence de plusieurs détails non conventionnels a rendu la tâche d'autant plus critique. Une attention accrue a été portée à la retranscription des détails de clouage, au bon positionnement des systèmes de tirants et à leurs connexions.

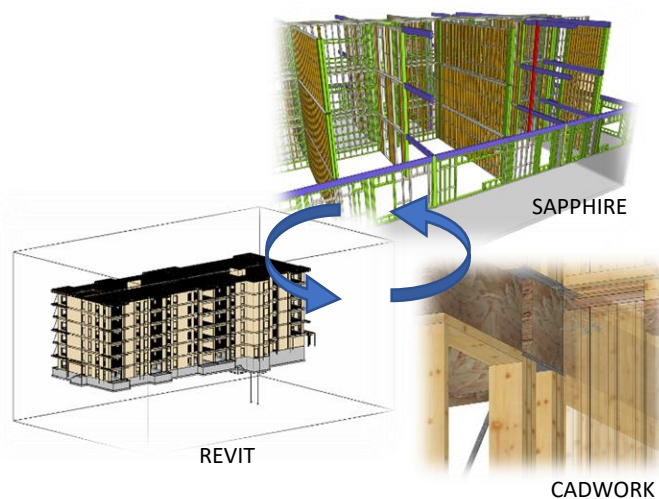


Figure 1 – logiciels utilisés

DOUGLAS a travaillé en étroite collaboration avec ULTRATEC via un échange de modèles 3D.

Du côté de DOUGLAS, les plans généraux étaient traités par REVIT (logiciel BIM) et certains détails d'assemblages ont été dessinés avec CADWORK.

ULTRATEC a utilisé le logiciel SAPPPIRE pour dessiner chaque pièce d'ossature, poteaux et poutres de bois.

Bien que le transfert entre logiciels soit encore loin d'être parfait, force est de constater que cette méthode de coordination a permis d'identifier bon nombre de différences avant qu'un seul morceau ne soit coupé.

Le travail d'échange s'est donc apparenté à une méthode BIM (Building Information Modeling). Le fait d'avoir eu recours à plusieurs logiciels, donc plusieurs modèles, a toutefois atténué les bénéfices. Nous croyons dans ce système et pensons que l'industrie devrait encourager davantage son utilisation.

L'ossature légère requiert beaucoup d'attention car de très nombreux éléments sont à connecter. La liste de vérifications est souvent bien plus longue que sur un projet poteaux-poutres. On doit constamment veiller à ce que les clous ou vis respectent les distances minimales aux bords du bois, ce qui peut s'avérer complexe lorsque l'on se cloue dans la face étroite d'une colonne de 2x6 (ne pas tomber entre 2 morceaux par exemple).

3 RÉALISATION

Le fabricant a fait preuve d'ouverture d'esprit par rapport aux détails conçus, notamment ceux spécifiques à ce type particulier de bâtiment (tirants, etc.). Cette attitude a été l'un des gages d'une bonne coordination.

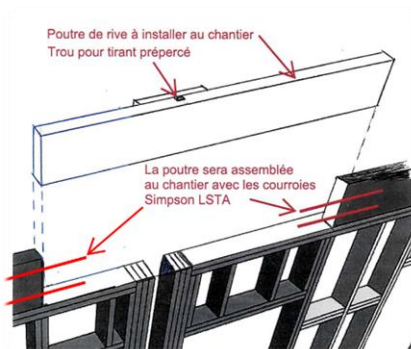


Figure 2 - raccord poutre de rive



Photo 1 - préfabrication ossature



Photo 2 - préfabrication ossature

3.1.2. Avec entrepreneur

La préparation du chantier a été abordée sérieusement. Le surintendant était proactif et cherchait à comprendre les détails développés. Un climat de confiance s'est donc naturellement installé dans ces premiers temps.

Plusieurs discussions ont eu lieu pour valider la faisabilité de leur séquence de montage, dont certaines en présence du fabricant. En effet, certains détails nécessitaient un ordre précis d'assemblage.

Tel que détaillé dans le titre 3.3.3, la communication, surtout au tout début, est une des conditions sine qua none pour le succès du chantier. Il s'agit malgré tout de la faire perdurer tout au long du chantier, ce qui a malheureusement souvent fait défaut par la suite.



3 RÉALISATION

3.2. DÉLAIS ET TEMPS DE CHANTIER

Le période de chantier pour la structure bois s'est étalée de mi-octobre à fin janvier :

- ✓ Érection de la section 1: +/- 1 mois 1/2
- ✓ Érection de la section 2 et corrections: +/- 1 mois 1/2

Soit un total d'environ 12 semaines pour la partie structure bois
Le rythme était d'environ 1 semaine/étage/section.

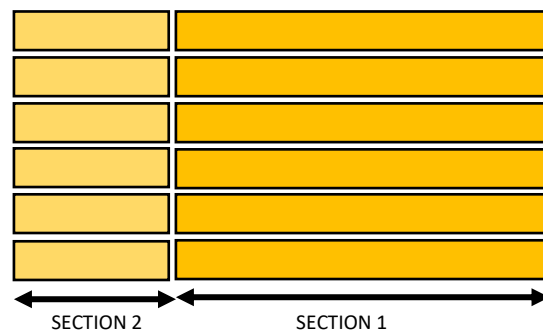


Figure 1 - séquence de montage

L'entrepreneur a fait le choix d'ériger la structure comme deux blocs distincts pour des questions d'enchaînement de tâches avec les autres corps de métiers.

La cadence de montage a été rapide. L'objectif de couvrir la section 1 avant les vacances a été tenu. Toutefois nous allons voir dans les titres suivants que ce fut parfois au détriment d'une réalisation soignée de certains détails majeurs.



3 RÉALISATION

3.3. SURVEILLANCE/SUIVI DE CHANTIER et observations

Seule la partie ossature légère du projet sera traitée dans les titres suivants.

3.3.1. Mise en chantier et problématiques

La mise en chantier a été bien menée par l'entrepreneur, grâce notamment aux discussions pré-chantier (voir 3.1.2).

3.3.2. Surveillance accrue

Un changement de surintendant a dû être opéré par l'entrepreneur pendant la période bouillante de début de travaux et fut selon nous un des éléments déclencheur d'une suite de problématiques.

Le mandat de surveillance initialement convenu avec le client était relativement standard et incluait une visite à chaque étape cruciale de l'érection, même si nous prévoyons nous rendre un peu plus régulièrement pour voir les difficultés et réussites liées à certains aspects de la conception.

Le soin apporté à la réalisation des détails aussi bien typiques que atypiques s'est révélé en dessous de nos attentes assez rapidement et nous a obligé à avertir le client qu'une attention accrue devait être apportée. Un mandat de surveillance quasi-permanent a été nécessaire pour vérifier, rapporter et faire corriger les erreurs identifiées.



7. Surveillance des travaux de construction

Une attestation signée et scellée par un architecte qualifié membre de l'OAQ ou par un ingénieur membre de l'OIQ doit être fournie au propriétaire et à tous les copropriétaires, à la fin des travaux, afin de confirmer que ces derniers ont été réalisés conformément aux lignes directrices de la RBQ, datées de mai 2013 et du Code de construction du Québec – chapitre I, Bâtiment, et Code national du bâtiment – Canada 2005 (modifié). Les modalités de surveillance seront établies par les professionnels.

3 RÉALISATION

3.3.3. Formation du personnel

Avec le recul, il apparaît clairement qu'une emphase réelle aurait dû être accordée à la pédagogie de ce projet quelque peu atypique puisque novateur. Faire comprendre à tout le personnel impliqué au chantier l'importance qui doit être accordée à certains détails est essentiel. Bien que la réunion de démarrage ait permis de poser quelques bases, il semble évident que le message aurait dû aller plus loin, et aurait idéalement permis de déconstruire certaines idées reçues. Entre autres, l'adage récurrent emprunté par certains responsables de toujours avoir construit de cette façon n'est pas recevable. Le chantier de PAL6 sur ce point ne fait pas tout à fait exception dans l'industrie de la construction.

Il nous semblerait également intéressant que non seulement le chargé de projet et le contremaître y assistent mais aussi les chefs d'équipe et les ouvriers permanents. La transmission du message peut se détériorer. En principe, l'entrepreneur devrait s'autogérer mais force est de constater que des manquements peuvent subsister.

Les points majeurs qui nécessitent davantage de formation sont les suivants :

- ✓ Faire comprendre le rôle de la stabilisation horizontale et l'importance des détails qui lui sont liés : clouage, transfert au travers de tous les éléments, etc.
- ✓ Insister sur l'importance des distances de vissage ou clouage sur l'efficacité d'un assemblage.

Les points suivants ne sont pas assez généraux mais auraient dû être observés sur ce chantier :

- ✓ Chaque équipe, à chaque étage, devrait avoir les plans de l'ingénieur, ou une version plus synthétique pour la tâche en cours (isoler l'information) voir titre 3.3.5.1, figure [1]

3 RÉALISATION

3.3.4. Rapports de chantier et liste des observations principales

Au total, 29 rapports de chantiers ont été produits (tous intégrés dans l'annexe [A3]. Certains d'entre eux synthétisaient plusieurs visites. Tel qu'expliqué précédemment, ceci est le fruit d'une surveillance inhabituelle pour un bâtiment d'ossature légère. On va voir par la suite que la part relative à la spécificité des 6 étages n'a pas été particulièrement prédominante.

L'image à droite est un aperçu du tableau de l'annexe [A2] de ce présent rapport. Chaque point d'observation de chaque rapport est mis en lien avec une sous partie de la construction. Chaque sous partie est ensuite décomposée en sous points. Seuls les points en lien avec la construction bois sont détaillés (142 points sur 156 au total).

Le tableau de gauche affiche les statistiques propres à chaque point. Pour une meilleure représentativité des problématiques, certains points similaires retrouvés dans une ou plusieurs sous-parties sont sommés ensemble (couleur similaire). La colonne «#» indique le classement de ces points et distingue donc ceux qui ont suscité le plus d'attention et/ou de problèmes. À noter que les points soulignés sont ceux qui sont directement liés au système de 6 étages.

	n	n _r	%	#
A- POTEAUX-POUTRES				
1. connexion étriers	6	6	4%	#7
2. plaquettes CP ou blocages	8	8	6%	#6
3. renfort T	5	5	4%	#10
4. connexions tête (colonnes)	8	21	15%	#2
5. connexions pied (colonnes)	13			
6. poutres trop courtes sur étriers	9	9	6%	#5
7. autres	6	6	4%	#7
8. fissuration	5	5	4%	#10
B- RIVES				
1. rives	2		3%	
2. autres	1	4	0%	#15
3. diagonales	1		0%	
C- OSSATURE BOIS				
1. fixation revêtement	4	26	18%	#1
2. fixation des lisses	22		0%	
3. défaut préfab	2	2	1%	#20
4. tirants/compensateurs	10	10	7%	#4
5. blocages sur poteaux	3	*		
6. divers	2	2	1%	#20
D- PLANCHER/TOIT				
1. fixation diaphragme	6	6	4%	#7
2. fixation lambourdes d'appui	5	5	4%	#10
3. fixation des corridors	3	3	2%	#16
4. fermes de toit	5	5	4%	#10
E- MODULES				
1. balcons	5	5	4%	#10
2. marquises	1	1	1%	#22
3. modules corridors	3	3	2%	#16
F- DIVERS				
1. humidité	3	3	2%	#16
2. précision montage, équerrage	14	14	10%	#3
3. autres	3	3	2%	#16
points individuels	142			

Tableau 1 - résumé

Tableau 2 – détaillé – Annexe A2

3 RÉALISATION

Dans l'ordre, les points (regroupés) les plus souvent cités sont les suivants:

1. Murs - fixation des lisses et clouage du revêtement: **26 points**
2. Colonnes - connexions en pied et en tête: **21 points**
3. Mixte - précision de montage: **14 points**
4. Colonnes - plaquettes de CP (A2+C5) : 11 points
5. Murs - tirants métalliques: 10 points
6. Poutres - trop courtes: **9 points**
7. Exequo: **6 points**
 - a. Poutres - connexions étriers
 - b. Poteaux/poutres - autres
 - c. Planchers - fixations diaphragme
8. Exequo: **5 points**
 - a. Poutres - renforts en T
 - b. Colonnes - fissuration
 - c. Plancher - fixation lambourde
 - d. Plancher - fermes de toit
 - e. Modules - balcons

RAPPORT DE CHANTIER - STRUCTURE

Entrepreneur: HCHL Inc.
Gérant: Mme Valérie Rivet
Adresse: 104 rue Seigneuriale, Québec (Québec) G1S 1A5
Téléphone: 418-666-1324
Courriel: vriver@hchinc.com

Projet / phase: PAL 6 – 59 logements
Rapport no: RCH-9
Date: 2015-11-17 et 2015-11-16
Temp: ± 3°C

Le présent document comprend 4 pages.

Généralités:

La visite du 16/11 a été complétée par des observations du 17/11. Le contrôle de la fixation des murs de refend et des diaphragmes a fait l'objet d'une attention particulière mais devra être encore davantage documentée.

Suivant les zones concernées, des bandes en plâtré ou en tôle de murs sont laissées découvertes pour permettre le clouage ou vissage de ceux-ci avec les poutres / revêtements de diaphragme / blocages entre poutrelles / bandes contreplaquées. Ceux-ci permettent le transfert des charges horizontales d'un niveau à l'autre lorsque le bâtiment est confronté à des actions de vent et de sismes.

Cas 1 Cas 2 Cas 3 Cas 4

3004, chemin Royal, Québec (Québec) G1E 1G9 • Tél.: 418 660-1221 - Téléc.: 418 660-0050 • Courriel: info@hchinc.com

Page 1 sur 4

RCH-11

Point 1 - Clouage des bas de murs - généralités

Le clouage général des murs au travers des planchers a été jugé potentiellement problématique au rapport RCH-9 de par le non respect des diamètres de clous recommandés et les longueurs de ceux-ci qui ne permettent pas un enfoncement optimal dans les différentes couches à assembler.

Bien que la principale inquiétude relève de la fixation de la sablière dans les blocages de contreplaqués, nous avons tout de même observé le manière dont étaient cloutés les lisses basses dans les blocages (eux-mêmes cloutés dans les contreplaqués).

Relevé des clouages de bas de mur du niveau 5:

Hors crochet: @ = espacement requis
(Dans crochets): @ = espacement observé
(Attention: même si l'espacement est correct, le type de clou n'est pas nécessairement conforme, voir plus bas).

D'une manière générale, l'espacement du clouage des murs intérieurs est plus souvent suffisant qu'insuffisant pour le niveau 5. On a même par endroit plus de clous que requis. Par contre, le clouage présentement en place ne respecte pas les diamètres et longueurs demandés. On ne peut cependant pas conclure que les espacements des niveaux inférieurs sont « aussi bien traités » car le niveau 5 est le dernier à avoir été installé, après les commentaires que nous avons faits. Nous étions donc plutôt optimistes pour ce relevé.

3004, chemin Royal, Québec (Québec) G1E 1G9 • Tél.: 418 660-1221 - Téléc.: 418 660-0050 • Courriel: info@hchinc.com

Page 2 sur 4

RAPPORT DE CHANTIER - STRUCTURE

Entrepreneur: HCHL Inc.
Gérant: Mme Valérie Rivet
Adresse: 104 rue Seigneuriale, Québec (Québec) G1S 1A5
Téléphone: 418-666-1324
Courriel: vriver@hchinc.com

Projet / phase: PAL 6 – 59 logements
Rapport no: RCH-25
Date: 2016-02-02
Temp:

Le présent document comprend 5 pages.

Généralités:

Ce rapport présente les éléments contrôlés lors de la visite du 2 février 2016. L'objectif principal de cette visite était de contrôler les forages pour statuer sur les tassements dans les environs de l'axe 5. Aussi, le contrôle de la mise en œuvre des corrections soulevées dans les rapports de chantier précédents a été réalisé. Finalement, cette visite a révélée certains détails non conformes qui devront être corrigés.

Observations générales:

La structure est entièrement montée. Il reste quelques détails à réaliser et des corrections à apporter. Le montage des divisions est rendu au niveau 4 et la mécanique est avancée aux niveaux 1 et 2.

3004, chemin Royal, Québec (Québec) G1E 1G9 • Tél.: 418 660-1221 - Téléc.: 418 660-0050 • Courriel: info@hchinc.com

Page 1 sur 5

Figure 1 - aperçu de rapports

3 RÉALISATION

3.3.5. Observations et résolutions

Dans cette section, nous allons illustrer les observations principales et identifier celles liées à la conception de 6 étages. Nous tenons à mentionner que les critiques émises au travers de ces points sont formulées dans un seul but pédagogique afin d'améliorer certaines pratiques, qui ne sont pas toutes exclusives à ce chantier. Cela ne reflète donc pas la qualité globale de la construction car l'emphasis est mise quasiment exclusivement sur les problèmes et non sur les points qui se sont bien déroulés. De plus, le suivi rigoureux a conduit à la résolution de toutes les problématiques identifiées et constitue le gage d'une construction finale de qualité.

3.3.5.1. Murs - fixation des lisses et clouage du revêtement

Dans les titres précédents, nous mentionnons l'importance de la stabilisation latérale dans ce projet. En d'autres termes, un soin rigoureux doit être apporté

- ✓ À l'exécution du clouage du revêtement sur les colombages et les lisses
- ✓ À la réalisation des jonctions/interfaces entre murs de refend d'un niveau à l'autre

Pour le premier point, du fait que les murs étaient préfabriqués, c'est surtout lors de la coordination avec le fabricant que l'attention devait être portée. Nous n'avions toutefois pas de mandat de surveillance en usine pour vérifier la bonne mise en œuvre du clouage (diamètre, espacement, enfoncement, etc). Dépendamment du système de fabrication, le niveau de précision est plus ou moins élevé (cloueuses robotisées ou manuelles). Bien que nous ayons dans l'ensemble constaté une bonne réalisation du clouage, on constate qu'un petit pourcentage de clous tombent à côté des éléments dans lesquels ils sont supposés se fixer (photo [1]). C'est un constat assez récurrent sur les chantiers, car la largeur des colombages utilisés en Amérique du Nord ($1\frac{1}{2}''=38\text{mm}$) laisse peu de marge d'erreur pour faire un joint entre panneaux et clouer de chaque bord.

C'est davantage le clouage au chantier des bandes d'OSB amovibles qui fut problématique, celles-ci étant fixées par après pour avoir accès à la lisse basse et réaliser le clouage avec les éléments du dessous (mur béton, rives de bois ou sablières de murs) (photos [2] et [3]). Ces bandes ne sont pas perçues au chantier comme des éléments structuraux et sont donc clouées minimalement pour faire tenir le panneau. Il a malheureusement parfois fallu demander à l'entrepreneur de démonter les lattes et le gypse de certains murs pour les refixer adéquatement.

Le deuxième point fut le problème numéro 1 sur ce chantier. L'incompréhension générale de l'utilité de réaliser un clouage continu d'un niveau à l'autre a engendré de vives discussions et a contraint l'entrepreneur à démonter plusieurs bandes amovibles pour rectifier le tir. La problématique était multiple car à la fois l'espacement requis au plan n'était pas toujours suivi, mais aussi la spécification des clous n'était pas prise sérieusement en considération. Le diamètre des clous et plus grave encore leur longueur ne permettait pas de transmettre le cisaillement à la hauteur de l'intensité calculée. Certains clous ne s'enfonçaient que de quelques millimètres dans les pièces sous-jacentes quand ils étaient alignés. Parfois même, le clouage était tout simplement à côté de l'élément (surtout pour les poutres de rive (photo [5])). Des clous additionnels ont été

3 RÉALISATION

spécifiés à plusieurs endroits (figure [2]). L'agglomérat de clous à un endroit de la paroi plutôt que la distribution régulière de celle-ci a aussi été souvent rencontrée (photo [4]).

Enfin, le premier gage de réussite de ces connexions clouées était peut-être de vérifier dès le début que les hommes en charge de la réalisation avaient à leur étage le set de plans d'ingénierie et les détails qui s'y rattachent. Les problèmes internes de communication évoqués précédemment et la nécessité d'une formation accrue du personnel à ces problématiques précises sont clairement mises en évidence dans cette remarque.

Devant un tel constat, il nous apparaît crucial que l'entrepreneur produise des documents synthétiques et pratiques au chantier, qui retranscrivent étage par étage, mur par mur, le clouage indiqué dans les tableaux et plans de l'ingénieur. Les tableaux et l'organigramme ci-dessous (figure [1]) sont un exemple de retranscription que nous avons employé lors de la surveillance. Ceci s'est révélé très efficace et simple à contrôler.

La dernière remarque de cette thématique serait d'encourager le surintendant de prendre l'habitude de contrôler systématiquement chaque mur d'un étage et qu'une fois cette vérification faite qu'il appelle l'ingénieur pour qu'à son tour il procède immédiatement à sa vérification. C'est trop souvent un manque d'auto vérification qui a conduit à faire plusieurs visites inutiles (clouage pas fini, murs déjà fermés, etc).

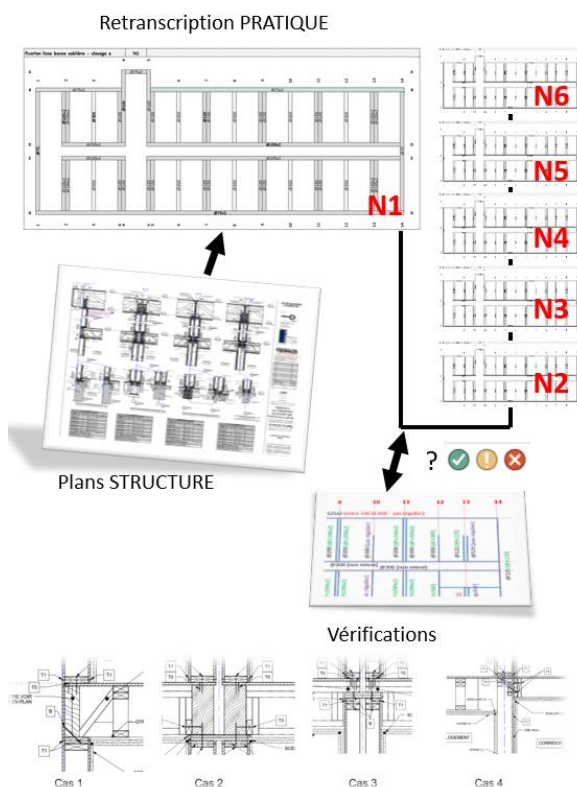


Figure 1 -suggestion d'organisation pour retranscription et contrôle efficace

3 RÉALISATION



Photo 1 – clous qui ne rentrent pas dans la lisse



Photo 2 – bandes amovibles mal fixées



Photo 3 – bandes amovibles

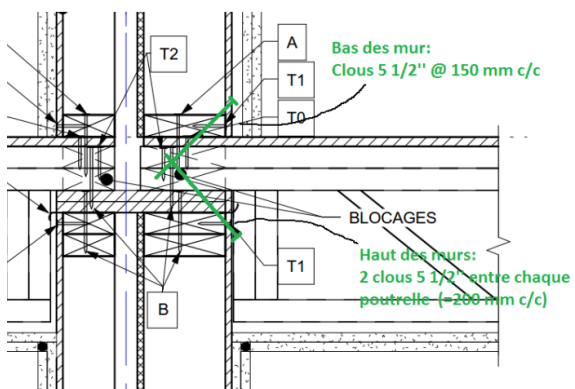


Figure 2 – ajout de clous car clous mis en œuvre trop courts



Photo 4 – agglomérat de clous



Photo 5 – clous verticaux qui manquent la poutre de rive

3 RÉALISATION

3.3.5.2. Colonnes - connexions pied/tête : plaquettes de contreplaqué et plaques en T

Tel que décrit dans la section conception, la connexion longitudinale (bout à bout) des colonnes devait satisfaire plusieurs problématiques.

- ✓ Descendre des charges plus élevées du fait des 6 étages
- ✓ Contrôler l'écrasement et l'étalement pour l'uniformiser avec l'ossature des murs adjacents grâce à l'emploi de plaquettes de contreplaqué.

Dans les faits, et surtout dans les premiers temps, le détail nouveau et donc inhabituel que nous avons adopté a été réalisé de manière parfois inadaptée :

- ✗ Absence de plaquettes (donc colonnes « dans le vide » tenant temporairement grâce un effet de « système », c'est-à-dire au clouage et vissage d'éléments parfois non structurels auxquels ils étaient rattachés) photos [2] et [4]
- ✗ Plaquettes mal ajustées ou d'épaisseurs aléatoires (photo [1])

D'autres détails plus conventionnels ont également parfois été réalisés de manière non constante :

- ✗ Pieds et têtes de colonnes clouées au lieu d'être vissées, et trop près des bords
- ✗ Entailles surdimensionnées pour les connexions de plaques en âme.

Encore une fois, réexpliquer de vive voix l'utilité de certains détails (plaquettes), à tout le monde, s'est révélé efficace puisque l'entrepreneur a bien réajusté ce point aux étages suivants, tout en corrigeant les détails non conformes des deux premiers niveaux. Nous recommandons également d'imposer la préfabrication de ce type de plaquettes (qui pourraient être faites d'un autre matériau, au cas par cas) et idéalement le pré-assemblage en usine de celles-ci aux extrémités de poteaux pour assurer une meilleure qualité.

Pour ce qui est du vissage, une surveillance continue était bel et bien nécessaire, même si ce détail n'avait rien de particulier.

Dans cette même zone de bout de poteaux se fixait à plusieurs endroits des étriers de poutres, via des tirefonds. La mise en œuvre de ceux-ci requerrait de suivre les procédures de pré perçage pour ne pas créer de contrainte de traction transversale et donc de fissuration. Quelques colonnes du premier niveau ont dû être réparées via l'injection de résine ou être changées avant de monter les niveaux suivants. Le suivi rigoureux de la procédure a bien fait ses preuves par la suite (photos [6] et [7]).

Lorsque les poutres étaient continues (axe 2 et 13), le recours à des ferrures en T a été retenu (voir titre 2.2.2) pour limiter l'écrasement entre poteaux. Le choix fait par l'entrepreneur pour les premiers niveaux d'effectuer ces entailles au chantier (à la scie à chaîne...) a donné des résultats très grossiers et contreproductifs (injection de résine a été requise). Pour les étages suivants, celles-ci ont été faites en atelier et n'ont plus posé de problème (figure [1] et [2] et photo [8])

3 RÉALISATION



Photo 1 – blocage pas assez épais



Photo 2 - blocage absent



Photo 3 - blocage parfait



Photo 4 - blocage absent et connexion non conforme1



Photo 5 - connexion non conforme



Photo 6 – fissuration (pré-perçage non conforme



Photo 7 – pré-perçage conforme

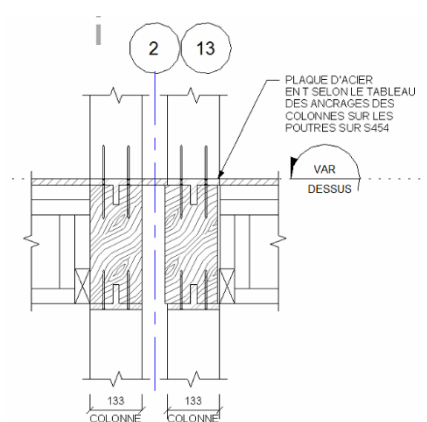


Figure 1 – plaques en T



Figure 2 – plaques en T



Photo 8 – rainure non conforme pour plaque en T

3 RÉALISATION

3.3.5.3. Chantier - précision de montage

Il va sans dire que l'érection d'un bâtiment de 6 étages requiert davantage de précision qu'un 3 ou 4 étages, puisque les défauts peuvent s'accroître avec la hauteur.

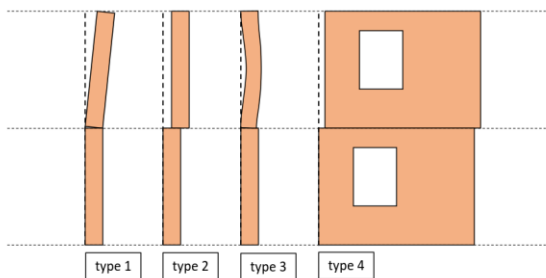
C'est lors de la pose de l'isolation extérieure de façade que des interrogations ont été soulevées par l'architecte quant au respect des limites de déviation. Le client a décidé de faire appel aux services d'un arpenteur pour valider la conformité et aider à la décision d'ajustements au besoin.

Les tolérances de mise en œuvre étaient indiquées à notre devis de structure.

3.5 TOLÉRANCES DE MISE EN ŒUVRE	
.1 Tolérances pour la construction de murs	.1 Espacement des montants +/- 6 mm
	.2 Verticalité +/- 12 mm dans 2440 mm
	.3 Niveau +/- 6 mm dans 1000 mm
	.4 Équerre +/- 9 mm dans 2440 mm
	.5 Variation de la longueur des montants +/- 3 mm
	.6 Hors-plan des montants individuels +/- 3 mm
	.7 Courbe des lisses et sablières +/- 6 mm dans 1000 mm
	.8 Chevauchement des sablières agissant comme cordes de diaphragme +/- 12 mm
	.9 Espacement des clous +/- 6 mm
	.10 Pénétration maximale des têtes de clou dans un panneau 3 mm
.2 Tolérances pour la construction de planchers et toits	.1 Espacement des solives, poutrelles et fermes +/- 6 mm
	.2 Niveau moyen de plancher ou toit +/- 12 mm dans 3000 mm
	.3 Niveau localisé de plancher ou toit +/- 6 mm dans 1000 mm
	.4 Hauteur des poutrelles ou fermes +/- 3 mm
	.5 Espacement des clous +/- 6 mm
	.6 Pénétration maximale des têtes de clou dans un panneau 3 mm
	.7 Verticalité des fermes +/- 6 mm / 1220 mm
	.8 Aire d'appui des fermes et poutrelles +/- 6 mm ²
	.9 Tolérances de fabrication des fermes – telles que TPIC
	.10 Espacement des poutres +/- 6 mm
	.11 Espacement des connecteurs pour poutres composées +/- 3 mm
	.12 Variation de la hauteur d'une poutre individuelle dans une poutre composée +/- 3 mm
	.13 Longueur d'appui d'une poutre +/- 3 mm
	.14 Niveau d'une poutre +/- 12 mm / 2440 mm
	.15 Verticalité de la face latérale d'une poutre +/- 3 mm

Figure 1 – extrait du devis de structure

Les figures ci-dessous sont extraites de nos rapports RCH16 et RCH16.2 et illustrent les différents types d'imperfections que l'on peut rencontrer. À droite, les graphiques illustrent les valeurs de décalage mesurées sur une des façades (axe B).



- Type 1 : les murs penchent vers l'intérieur ou l'extérieur, **perpendiculairement au plan** du mur
 Type 2 : désalignement **perpendiculaire au plan** du mur
 Type 3 : le mur est arqué, **perpendiculairement au plan** du mur.
 Type 4 : le mur est décalé horizontalement **dans le plan** des murs

Figure 2 - imperfections

Façade axe B :

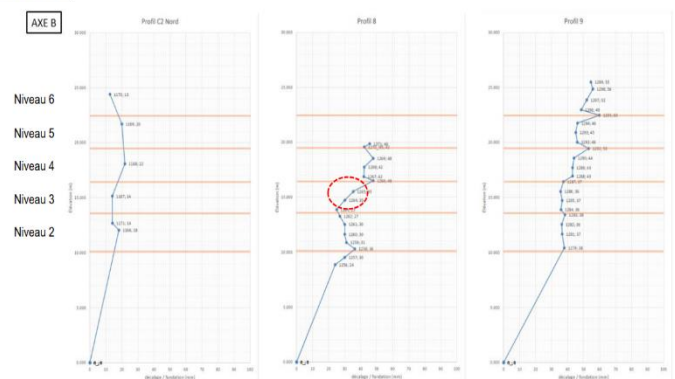


Figure 3 – relevé d'une façade

Bien que l'exigence 3.5.1.2 de verticalité (+/-12mm dans 2440mm) ait été localement dépassée, nous avons jugé que le tout était structurellement satisfaisant, compte tenu du fait que nos calculs considèrent une certaine excentricité ($d/6$ soit $140\text{mm}/6=25\text{mm}$).

Toutefois, nous recommanderions d'ajouter au devis un critère additionnel quant à la déformation maximale combinée. En effet, le critère de verticalité pourrait être respecté mais

3 RÉALISATION

mener à un décalage entre la fondation et le toit de 90mm (pour 18m de haut), ce qui serait tout à fait inacceptable.

Il faut aussi considérer le rôle de l'entreprise qui préfabrique les murs. En effet, si certains murs sont usinés un peu courts ou plus longs, l'assemblage au chantier peut être réellement problématique (perte de temps considérable) et décourager les ouvriers de faire tous les réajustements nécessaires. À de très rares exception, ce problème n'a pas été constaté sur ce chantier.

Enfin, un exemple flagrant de problématique que peut engendrer un mauvais alignement est illustré sur la photo [7]. L'alignement des ferrures de balcons se prenant par rapport au balcon du dessous, des décalages de murs ont créés des problématiques de fixation des étriers sur les colonnes. Des renforts ont dû être adoptés.



Photo 1 - décalage



Photo 2 - décalage



Photo 3 - précision



Photo 4 - précision

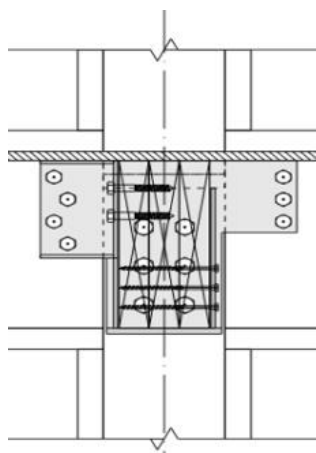


Figure 1 - plan étrier

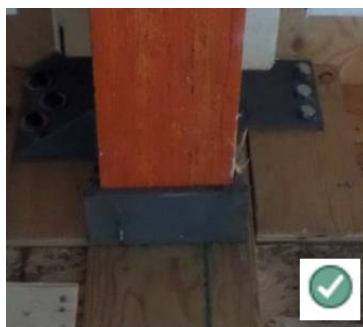


Photo 6 - étrier bien placé

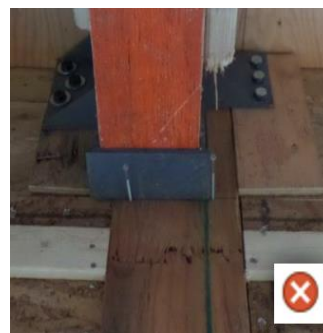


Photo 7 - étrier décalé



Photo 8 - appui insuffisant

3 RÉALISATION

3.3.5.4. Murs - tirants métalliques et compensateurs

La vraie particularité 6 étages de ce projet est l'usage obligatoire de tirants métalliques avec compensateurs de retraits. Les caractéristiques des systèmes employés sont décrites dans le titre 2.2.3.

En termes de mise en œuvre, l'installation de ces tiges filetées, plaques et crémaillère (compensateur) a été tout à fait satisfaisant.

Plusieurs grades de tiges filetées et coupleurs étaient employés au travers du bâtiment. Les vérifications menées ont toutes été conformes. Des marques de couleur ont notamment permis de dispatcher facilement le matériel aux bonnes places.

Au niveau de la fondation, l'arpentage très précis de leur localisation est de première importance (photo [1]). Malgré la flexibilité apportée par la sur-longueur que nous avons fait dépasser du niveau dessus mur, il y a très peu d'ajustement possible. La verticalité à ce stade est donc tout aussi importante que la position pour garantir un bon alignement aux niveaux suivants. Ce point a été bien réalisé.

Le pré-usinage des lisses basses et sablières ne laissent pas de place à l'improvisation, chaque tirant trouvant sa place aux extrémités des murs de refend (photo [3]). La standardisation des dimensions, le « bloc tirant » (voir 2.2.3), a probablement permis d'éliminer des risques d'inversions (plaques en L toutes de la même épaisseur et de la même largeur – photo [2]). Deux axes présentaient toutefois des particularités (axe 2 et 13) car le système était pris entre deux parois (photos [7] et [9]). L'exiguïté de l'espace n'a pas semblé être gênante, si ce n'est pour la solidarisation de la plaque avec le compensateur (voir point suivant).

L'espace réduit (limite mais suffisant) entre les colombages du bloc tirant a conduit l'entrepreneur à souder le compensateur sur la plaque, plutôt qu'à le visser au travers et s'ancrer dans le bois au-dessous. L'option de soudure fonctionnait car la plaque était déjà vissée dans le bois. Toutefois, nous avons manifesté à plusieurs reprises notre inquiétude vis-à-vis du risque d'incendie et l'avons formellement déconseillé. Les mesures adoptées par l'entrepreneur (procédure et inspection en permanence de l'opération) lui ont toutefois permis de procéder en sécurité, avec l'approbation du client (photo [10]).

Lors de la finalisation du montage de la structure, nous avons remarqué que les tiges filetées étaient souvent très détendues. La flexibilité de celles-ci (au regard de la longueur totale) était une des causes. Pour pallier à cela, et éviter qu'un mouvement conséquent soit requis avant d'engager le système (pendant un tremblement de terre, il faudrait que le bâtiment se déforme assez pour absorber la détente et donc avant d'avoir un système de contreventement fonctionnel...), nous avons demandé à l'entrepreneur de serrer un écrou au-dessus du dernier compensateur de chaque ligne de tirants. Cette procédure a très bien fonctionné (photos [11] et [12]).

3 RÉALISATION



Photo 1 - tirant et bloc béton



Photo 2 - bloc tirant



Photo 3 - pré-assemblage en usine



Photo 4 - rives et tirants en attente



Photo 5 - tirants doubles



Photo 6 - bloc tirant



Photo 7 - tirant double/plaque/compensateur



Photo 8 - idem photo 7



Photo 9 - idem photo 7



Photo 10 - soudure compensateur



Photo 11 - réduction détente



Photo 12 - réduction détente

3 RÉALISATION

3.3.5.5. Autres

Voici quelques observations et enseignements supplémentaires tirés de ce chantier.

Ferrures de balcons et grandes vis filetées

La suspension par tirants d'acier des balcons suggère le recours à des connexions fortes ancrées dans divers éléments structuraux de la façade. Plusieurs modèles ont dû être conçus pour s'adapter au type de structure disponible pour la fixation. Pour plusieurs d'entre elles, des longues vis pleinement filetées ont été employées pour s'ancrer dans des colombages d'extrémité en arrière de la poutre de rive ou dans la poutre de toit. En effet, celles-ci développent de très bonnes capacités en arrachement, en cisaillement et qui plus est limitent l'emploi de grosses pièces métalliques créant des ponts froids.

Toutefois, leur installation s'est révélée difficile lorsqu'il s'agissait de traverser les poutres de LSL qui sont très denses. Le fabricant a suggéré d'employer du produit vaisselle et un préperçement pour certaines d'entre elles. Cette méthode en apparence archaïque s'est révélée particulièrement efficace. De plus, leur positionnement doit être très précis (voir titre 3.4.5.3) car les distances de bord peuvent être mises en péril et conduire à une fissuration ou tout simplement se retrouver avec des vis dans le vide. L'expérience a été globalement bonne et nous la recommanderions dans d'autres projets, avec un soin accru dès le départ à la standardisation de la structure d'ancrage pour réduire le nombre de ferrures à créer et limiter le risque d'erreur.

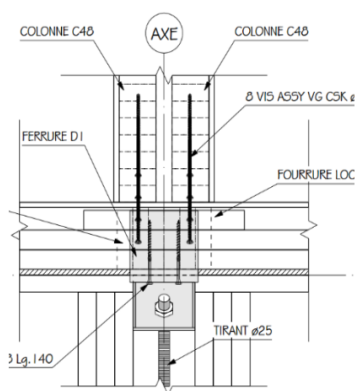


Figure 1 - ferrure balcon



Photo 1 - ferrure balcon



Photo 2 – tirants balcons



Photo 3 - ferrure balcon toit

3 RÉALISATION

Clouage de diaphragme

Le clouage du diaphragme est un des tous premiers maillons de la chaîne de stabilité horizontale. Si les planchers se disloquent lorsque les murs poussent sur ceux-ci lors d'un épisode de vent, ou sous l'influence de leur masse lors d'un séisme, la stabilisation du bâtiment sera tout de suite mise à mal. Le respect des patrons de clouage est donc tout aussi important que le clouage du revêtement des murs ou le clouage entre les murs (voir 3.4.5.1).

Sur ce chantier, nous avons eu très peu de remarques à formuler à l'entrepreneur. Les seuls commentaires ont été concentrés à l'endroit de quelques zones locales, où des découpes spéciales de contreplaqué avaient été faites (photo [3]). Il faut se souvenir que si des ajustements sont nécessaires, il est toujours recommandé de redonner un appui (solive ou latte) aux contours de la feuille de contreplaqué pour ne pas créer de discontinuité dans le transfert de charges.



Photo 1 - clouage conforme



Photo 2 - clouage conforme



Photo 3 - raccords non conformes

Poutres de rives

Les poutres de rive ont non seulement une vocation de transfert des charges verticales d'un mur à l'autre, mais aussi de pièce de traction/compression ou de collecteur pour le diaphragme (contreventement de plancher). La continuité en traction est assurée par des courroies métalliques et la continuité en compression par le contact direct ou indirect contre d'autres éléments (figure [1]). En les rendant continues, elles jouent également un rôle de rigidification des façades qui limite la notion de rotation inter-étage propre à la nouvelle méthode de calculs des déformations (voir 2.2.3).

Pour le premier niveau, l'entrepreneur avait décidé d'installer les poutres de rive au chantier. La décision inverse a été prise pour la suite, car le temps d'installation de ces dernières était trop long et la précision pas suffisante pour envisager de monter 5 niveaux de murs par-dessus. Il ne restait donc plus qu'à glisser une petite poutre de jonction entre deux pans de murs préfabriqués et clouer les courroies par-dessus (figure [2]). Attention toutefois à ce que les morceaux soient coupés parfaitement de longueur, car quelques situations se sont présentées où des espaces plus ou moins importants désolidarisaient les éléments supposés être en contact (photo [1]).

3 RÉALISATION



Photo 1 - jeu extrémités rives

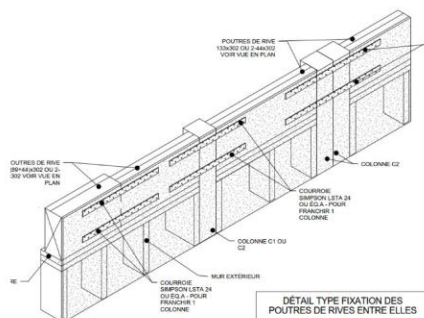


Figure 1 - détail type rive

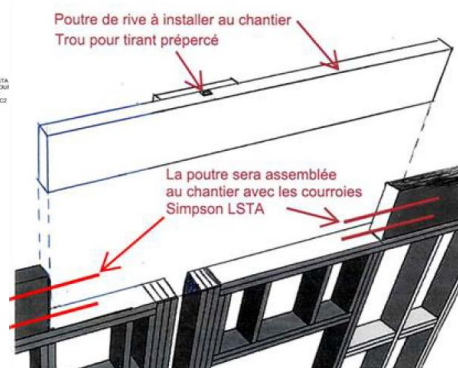


Figure 2 - blocs de rive

Gestion de l'humidité

Cette remarque générale prévaut sur tous les chantiers bois. Bien qu'elle soit parfois difficile à mettre en place, la protection du bois vis-à-vis de l'eau est primordiale. Une mauvaise gestion va entre-autres engendrer des problématiques de séchage/retrait à court/moyen terme, et des risques de pourriture. L'impact pour une structure de 6 étages est d'autant plus grand au regard de la somme des éléments susceptibles de créer du retrait (voir 2.2.2) et conduire à de multiples défauts (fissures de gypse, mécanique, etc).

Nous avons pris la précaution d'employer des matériaux moins sensibles (lisses en douglas plutôt qu'en LSL qui est déconseillé en lisse basse car il se comporte comme une éponge), mais ceci ne doit pas être vu comme une solution à elle seule. L'égouttement au travers de planchers a créé quelques situations de stagnation d'eau sur les planchers et dans une moindre mesure sur certains murs (gel sur photo [1]) et sur quelques poutres (photo [2]). Des mesures de protection additionnelles et le séchage progressif de ces zones affectées ont été exigées. Parfois, le remplacement du contreplaqué a été nécessaire.

Le chauffage et le contrôle de l'humidité une fois la structure assemblée semble avoir été géré correctement.



Photo 1 - glace/écoulement



Photo 2 - excès d'humidité



Photo 3 - stagnation d'eau

3.4. COUTS LIÉS AUX AVENANTS (partie structure)

Le détail des directives de structure est présent à l'annexe [A1].

Les observations et commentaires qui peuvent être formulés sont les suivants :

- ✓ Les directives de structure s'élèvent à environ 250.000\$, soit 3% du prix total révisé du projet complet (+/- 8.500.000\$)
- ✓ 22 des 37 directives de structure (60%) sont relatives à la structure bois et aux connexions associées, mais elles ne représentent qu'environ 26% du montant total (+/- 65.000\$)
- ✓ Parmi ces 22 directives, 6 d'entre elles sont liées aux systèmes développés pour l'ossature légère de 6 étages, pour un peu moins de 31.000\$, soit +/-0.4% du prix total révisé du projet complet.

À la lumière de ces chiffres, nous pouvons conclure que les imprévus liés à ce type de bâtiment ont engendré très peu d'extras en comparaison avec une construction plus conventionnelle.

3 RÉALISATION

3.5. BILAN et recommandations

Voici en résumé les points abordés et les recommandations afférentes aux titres de la partie « 3-RÉALISATION » :

- ✓ La coordination avec le fabricant a été efficace grâce à l'échange de modèles 3D et au travail rigoureux de vérification avant l'usinage. Un vrai travail BIM aurait été encore plus efficace, mais doit idéalement impliquer l'ensemble des acteurs (architecte, mécanique, fabricants et entrepreneur général).
- ✓ L'entrepreneur doit être ouvert à comprendre les particularités d'un tel projet. Une pédagogie approfondie doit être donnée par les concepteurs. Celle-ci doit être entendue et comprise par tous les « constructeurs » (patron, chargé de projet, surintendant, chef d'équipe et ouvriers).
- ✓ En amont, les organismes de formation devront intégrer ces nouvelles réalités et mieux faire comprendre le rôle des éléments de stabilisation latérale.
- ✓ La construction a été rapide (parfois trop), mais a été ralentie par le besoin de reprendre certains travaux.
- ✓ Le travail de surveillance a été complexe. Une surveillance quasi permanente a été requise et a conduit à la rédaction de 29 rapports de chantier étoffés (Annexe 3).
- ✓ Le clouage des murs de refend, la réalisation des connexions de colonnes (incluant de détail spécial de plaquettes de contreplaqué) et la précision de montage ont constitué les problématiques majeures sur ce chantier.
- ✓ Pour le clouage, retenir qu'un soin particulier doit être apporté au clouage de l'OSB dans les colombages (préfabrication), au clouage de la bande amovible et au clouage des murs d'un niveau à l'autre.
- ✓ Des documents de synthèse devraient être produits par l'entrepreneur et mis à disposition des ouvriers pour les espacements de clous. Le contrôle en est simplifié également. En conception, nous recommandons d'uniformiser du mieux possible le clouage pour ne pas avoir trop de cas différents.
- ✓ Les détails spéciaux, s'ils requièrent une bonne précision (plaquettes de contreplaqué ou entailles par exemple), devraient absolument être préparés en atelier.
- ✓ Des désalignements en façade ont été observés. La précision de montage se doit d'être accrue pour 6 étages. Un critère additionnel sur le cumul des désalignements devrait être ajouté aux devis.
- ✓ L'installation des systèmes de tirants et compensateurs de retraits, caractéristique phare d'un bâtiment de 6 étages, ne s'est pas révélé particulièrement complexe à mettre en œuvre (bonne planification en amont requise et arpentage précis).
- ✓ La détente des tirants doit être éliminée avant de refermer les murs.
- ✓ L'emploi de vis pleinement filetées de fort diamètre est difficile à mettre en œuvre dans du bois d'ingénierie dense. Des astuces fournies par les fabricants ont bien fonctionné.
- ✓ Les poutres de rive doivent être perçues comme des éléments installés sans jeu pour la stabilisation horizontale. Des espaces ont dû être comblés

3 RÉALISATION

- ✓ Comme pour tout autre chantier bois, des mesures rigoureuses doivent être prises pour limiter l'absorption d'eau par le bois, pour limiter les phénomènes de tassement.
- ✓ Les coûts des extras attribuables au fait que la structure comporte 6 étages (au lieu de 4 par exemple) est relativement faible, en autant que les demandes d'extras formulées par l'entrepreneur soit bien contrôlées.

Près d'un an après la fin de la partie structurale du chantier, nous avons recueilli des commentaires positifs par la personne responsable de la gestion des bâtiments pour Action Habitation. Celle-ci rapporte que la structure se comporte de façon remarquable, sans aucune fissuration nulle part (qu'il est habituellement courant de rencontrer pour des structures de 3 ou 4 étages).

4 CONCLUSION

4 CONCLUSIONS

Construire au Québec des bâtiments d'ossature légère en bois de 6 étages n'est désormais plus une utopie. La réalisation du premier d'entre eux à Pointe-aux-Lièvre et de ceux qui se sont construits depuis sont des preuves tangibles que ce système constructif est adapté aux contraintes structurelles de la province.

PAL 6 est le fruit d'un long travail de conception, qui s'est orienté vers la construction modulaire dans un premier temps puis finalement vers la construction traditionnelle d'ossature préfabriquée. La directive de la RBQ et son guide ont dictés les grandes lignes, notamment du point de vue de la sécurité incendie, des phénomènes de tassement et des méthodes de calcul de stabilité latérale. La concrétisation de cette théorie s'est révélée plus longue qu'à l'accoutumée, car elle a poussé les concepteurs à développer des outils spécifiques et à créer des détails atypiques. Les conditions de sol contraignantes ont même permis de tester les limites du système. Nous pouvons ainsi conclure, s'il a été possible de réaliser 6 étages sur ce sol particulièrement sismique, que ce type d'édifice est tout à fait reproductible sur la grande majorité du territoire. Nous anticipons d'ailleurs que le temps additionnel qui fut requis pour la conception de ce prototype devrait s'estomper significativement pour les prochains développements. Les simulations entreprises (éléments finis, comparaisons, etc) ont finalement illustré un besoin de rationaliser certaines méthodes de calculs qui peuvent s'avérer peu réalistes et coûteuses au final.

Au niveau de la réalisation, le bilan global est positif, mais il a fallu déployer beaucoup d'énergie lors de la surveillance pour encadrer l'entrepreneur. Bâtir vite pour justifier un prix de plus bas soumissionnaire nous amène à questionner sérieusement cette méthode de sélection. Dans tous les cas, nous observons qu'une emphase accrue doit être accordée dès le départ à la pédagogie des systèmes de connexion latérale et des détails atypiques.

Au final, nous constatons que bâtir jusqu'à 6 étages ajoute certes un besoin de précision de montage accrue, mais que les systèmes qui leur sont propres (tirants, compensateurs) ne sont aucunement un défi en soit. Les temps de chantier sont proportionnellement en phase avec des constructions de 4 étages et les extras identifiés en relation avec ces deux niveaux additionnels sont minimes, d'autant plus dans un contexte de première réalisation.

La démarche de conception intégrée, avec l'implication plus en amont des fabricants (tel que vécu dans la première phase modulaire) ainsi que les recherches sur la modularisation efficace d'un tel bâtiment devraient être davantage encouragées. Des solutions encore plus économiques et de qualité devraient inévitablement émerger.

En somme, l'expérience PAL6 est très prometteuse. Les chantiers peuvent être rapides et les coûts conformes aux attentes du marché, même dans un contexte de bâtiment communautaire.

Émis le 7 août 2017 à Québec

Vivien Mollard, Concepteur en structures, DOUGLAS CONSULTANTS, chargé de projet du PAL6 (structure bois).

Signature :



5 ANNEXES

5 ANNEXES

5.1. ANNEXE A1 – tableau des coûts des directives de structure

DIRECTIVES STRUCTURE

numéro	description sommaire	date d'émission	montant payé	matériau													directives bois en lien avec 6 étage		
				peux	béton	acier	bois	seul	pot-poutres	poutrelles ossature	fermes	t tirants et PL	clouage rfd	balcons	autres				
DS-01 R1		2015-06-15	992.38				x	x	x			x	x				992.38 \$	+	992.38 \$
DS-02	Divers pieux et fondations	2015-08-11	36 115.72 \$		x				-										- \$
DS-03	Décontamination des sols	2015-08-06	19 084.28 \$	x					-										- \$
DS-04	Divers béton et bois	2015-08-07	1 535.38 \$		x		x	-	x					x					- \$
DS-05	Refends et corridors	2015-09-02	12 284.18 \$				x	x					x				12 284.18 \$	++	12 284.18 \$
DS-06	Ajout pieux	2015-09-16	21 758.54 \$	x					x										- \$
DS-07 R1	Ajout pieux	2015-09-22	5 434.77 \$	x					-										- \$
DS-08	Imperméabilisation fosse	2015-09-23	1 560.58 \$		x				-										- \$
DS-09 R1	Pieux et béton	2015-09-25	39 228.76 \$	x					-										- \$
DS-10	Cheminée drain agricole	2015-09-25	3 647.60 \$	x					-										- \$
DS-11	Enlèvement sol mauvaise qualité	2015-09-28	718.40 \$	x					-										- \$
DS-12	Remblai sous patios	2015-09-28	12 034.58 \$	x					-										- \$
DS-13	Pieux sous semelles	2015-09-28	16 420.67 \$	x					-										- \$
DS-14 R1	Spécification armature	2015-09-29	2 601.96 \$		x				-										- \$
DS-15	Connexions balcons	2015-09-28	16 226.78 \$				x	x							x		16 226.78 \$	non	- \$
DS-16	Divers bois	2015-09-28	14 962.36 \$				x	x	x				x				14 962.36 \$	++	14 962.36 \$
DS-17	vis SDS	2015-10-01	7 106.44 \$				x	x	x	x							7 106.44 \$	non	- \$
DS-18 R1	Jonction poutrelles et mur de béton (axes 4 et 5)	2015-10-06	326.32 \$				x	x	x	x							326.32 \$	non	- \$
DS-19 R1	Remplacement des débris contaminés	2015-10-07	- \$	x															- \$
DS-20	Mise à jour plans balcons	2015-10-16	2 130.72 \$				x	x							x		2 130.72 \$	non	- \$
DS-21	Étriers (poutre sous-sol, sous escalier)	2015-10-19	1 024.87 \$			x			-										- \$
DS-22	Plaques en âme des poteaux	2015-10-20	(666.00) \$				x	x	x								(666.00) \$	-	(666.00) \$
DS-23	Coulis sans retrait sous colonne refends axe 2	2015-10-26	1 290.56 \$				x	x	x				x				1 290.56 \$	+	1 290.56 \$
DS-24	Étriers linteaux entre 4 et 5	2015-10-26	636.53 \$				x	x	x								636.53 \$	non	- \$
DS-25	hauteur fermes de toit	2015-11-16	- \$				x	x					x				- \$	non	- \$
DS-26	prolongement de la dalle sur sol des balcons (niveau 1)	2015-11-17	9 144.13 \$		x				-										- \$
DS-27	adaptation cornière du module de balcon	2015-11-27	412.28 \$				x	x							x		412.28 \$	non	- \$
DS-28	ferrures E1 et E2 manquantes au niveau 2	2015-11-30	1 180.88 \$				x	x						x			1 180.88 \$	non	- \$
DS-29	fixation soufflages	2015-12-08	(1 043.02) \$				x	x							x		(1 043.02) \$	non	- \$
DS-30	décalage d'ouvertures corridor	2015-12-08	2 148.52 \$				x	x				x					2 148.52 \$	non	- \$
DS-31	vis à angle connexion poteau-ossature	2015-12-14	- \$				x	x	x	x							- \$	non	- \$
DS-32	soutènement tuyau	2015-12-15	15 000.00 \$		x				-										- \$
DS-33	soudure tirants de balcons	2016-01-05	4 873.79 \$				x	x					x				4 873.79 \$	non	- \$
DS-34	élimination de la détente des tirants	2016-01-12	1 244.72 \$				x	x						x			1 244.72 \$	++	1 244.72 \$
DS-35	fixation des étriers aux pieux des balcons et marquises	2016-01-25	1 218.89 \$				x	x	x								1 218.89 \$	non	- \$
DS-36	plaques renfort des poutres axe 2	2016-03-26	- \$				x	x	x				x				- \$	++	- \$
DS-37 R1	béton en pied de colonne	2016-06-01			x		x	-	x									non	- \$
			250 636.57 \$														65 326.33 \$		30 108.20 \$
																	26%		12%

26%

12%

5 ANNEXES

5.2. ANNEXE A2 – tableau de classement des rapports de chantiers par thèmes

[illegible]

5 ANNEXES

[illegible]

5 ANNEXES

[illegible]

5.3. ANNEXE A3 –rapports de chantier RCH-1 à RCH-29

Voir document pdf. séparé (162 pages) intitulé :

« PAL6 - rapport de l'expérience - DOUGLAS (STR) - annexe 3 »

