

FICHE TECHNIQUE
**MURS COUPE-FEU DE CONSTRUCTION
EN BOIS MASSIF ENCAPSULÉ**

Table des matières

Introduction	2
Cadre réglementaire	2
Mur coupe-feu	3
Développement d'une solution de rechange/mesure équivalente	9
Conclusion et recommandations	18
Références	19

Remerciements

FPInnovations souhaite remercier le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF), la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) ainsi que Cecobois pour leur contribution à la rédaction de ce document.

Introduction

La construction de murs coupe-feu, tout comme les cages verticales d'issues, devrait être compatible avec le type de construction utilisé pour l'ensemble du bâtiment. Historiquement, la construction en bois était d'une hauteur relativement faible (3-4 étages) et l'utilisation d'un mur coupe-feu en béton ou en maçonnerie était requise et jugée comme étant adéquate. Avec la venue de bâtiments en bois de plus grande hauteur, jumeler une construction en béton ou en maçonnerie à une ossature légère en bois ou une construction en bois d'œuvre massif peut créer des problèmes de retrait et de tassements différentiels entre les différents systèmes de construction, ainsi qu'une incompatibilité dans les déformations sous l'effet des charges latérales.

Cette fiche technique met en évidence les caractéristiques essentielles nécessaires pour soutenir le développement d'une mesure équivalente (solution de rechange) afin de construire des murs coupe-feu à partir d'une construction en bois d'œuvre massif encapsulé.

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Code national du bâtiment du Canada

Le Code national du bâtiment (CNB) du Canada est le code modèle élaboré par le Comité canadien de l'harmonisation des codes de construction (CCHCC). Le CNB peut par la suite être adopté par les gouvernements provinciaux et territoriaux, soit sans aucun changement ou avec des modifications destinées à répondre aux besoins spécifiques des provinces et territoires. Ce code modèle n'a pas de force de règlement sauf s'il est adopté par une province ou un territoire.

Le CNB contient les dispositions techniques concernant la conception et la construction de bâtiments neufs, ainsi qu'à la transformation des bâtiments, à leur changement d'usage et à la démolition de bâtiments existants. Ces dispositions techniques sont considérées comme les mesures minimales acceptables permettant d'atteindre adéquatement les objectifs du CNB [3].

Depuis son édition 2005, le CNB est publié comme étant un code modèle national axé sur les objectifs. Ainsi, des objectifs, des énoncés fonctionnels et des énoncés d'intention sont attribués à la plupart des exigences de la division B du CNB.

La conformité au CNB doit être réalisée par :

- a) La conformité aux solutions acceptables pertinentes de la division B; ou
- b) L'emploi de solutions de rechange permettant d'atteindre au moins le niveau minimal de performance exigé par la division B dans les domaines définis par les objectifs et les énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables pertinentes.

La plus récente édition du CNB est celle de 2020, publiée en 2022. Cette édition inclut des changements importants par rapport aux éditions précédentes, dont le nouveau type de construction appelé « construction en bois d'œuvre massif encapsulé ». Le CNB définit ce type de construction comme étant « *un type de construction dans laquelle un certain degré de sécurité incendie est assuré grâce à l'utilisation d'éléments en bois d'œuvre massif encapsulé ayant un degré d'encapsulation ainsi que des dimensions minimales pour les éléments structuraux et autres ensembles de construction.* »

Code de construction du Québec

Lors de la rédaction de cette fiche technique, la Loi sur le bâtiment indique que l'édition du CNB qui s'applique au Québec est la version 2015. Le Code de construction du Québec, chapitre Bâtiment (CNB 2015 modifié – Québec) [4], ci-après appelé « Code », est entré en vigueur le 8 janvier 2022. Étant majoritairement basé sur le CNB 2015, le Code est également axé sur les objectifs et sa conformité doit être réalisée par :

- a) La conformité aux solutions acceptables pertinentes de la division B; ou
- b) L'emploi de solutions de rechange permettant d'atteindre au moins le niveau minimal de performance exigé par la division B dans les domaines définis par les objectifs et les énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables pertinentes et approuvées par la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) ou, s'il s'agit de bâtiments ou d'équipements sur lesquels la Régie n'a pas juridiction, par l'autorité compétente.

C'est au chapitre B-1.1 de la Loi sur le bâtiment que l'on retrouve des informations supplémentaires quant à l'application et l'interprétation de cette loi, ainsi que les pouvoirs attribués à la RBQ en lien avec les approbations des solutions de rechange au Code, ci-après appelées « mesures équivalentes ».

127. La Régie approuve, aux conditions qu'elle détermine, une méthode de conception, un procédé de construction de même que l'utilisation d'un matériau ou d'un équipement différent de ce qui est prévu à un code ou à un règlement adopté en vertu de la présente loi lorsqu'elle estime que leur qualité est équivalente à celle recherchée par les normes prévues à ce code ou à ce règlement.

Il en est de même lorsqu'elle estime que la sécurité du public est également assurée.

Étant donné que le Code de construction en vigueur au Québec est basé sur l'édition 2015 du CNB, il ne contient évidemment pas les nouvelles exigences techniques concernant la construction en bois d'œuvre massif encapsulé.

Norme CSA O86

Dans les deux codes, c'est-à-dire le CNB et celui du Québec, la partie 4 de la division B exige que les bâtiments et les éléments structuraux en bois soient conformes à la norme CSA O86. De par leur édition respective, le CNB réfère à la version 2019 de CSA O86 [5] et le Code réfère à la version 2014, y compris ses errata et ses révisions [6].

MUR COUPE-FEU

Concept

Le Code définit un mur coupe-feu comme étant un « *type de séparation coupe-feu de construction incombustible qui divise un bâtiment ou sépare des bâtiments contigus afin de s'opposer à la propagation du feu, et qui offre le degré de résistance au feu exigé par le CNB tout en maintenant sa stabilité structurale lorsqu'elle est exposée au feu pendant le temps correspondant à sa durée de résistance au feu* ». Ainsi, par sa définition, un mur coupe-feu devrait être de construction incombustible, et par conséquent devrait utiliser des matériaux incombustibles pour les éléments structuraux et autres composants.

De plus, l'utilisation de murs coupe-feu permet de diviser l'empreinte au sol d'un bâtiment en plusieurs bâtiments

distincts, auxquels les exigences de protection incendie peuvent être moindres que celles qui s'appliqueraient si le bâtiment était de plus grande superficie (non-divisé). En effet, l'aire de bâtiment représente la plus grande superficie horizontale du bâtiment au-dessus du niveau moyen du sol, calculée entre les faces externes des murs extérieurs ou à partir de la face externe des murs extérieurs jusqu'à l'axe des murs coupe-feu [7]. Par exemple, l'utilisation d'une construction en bois peut devenir possible en sous-divisant l'aire totale au sol par un ou plusieurs murs coupe-feu afin que les bâtiments distincts respectent les aires de bâtiment permis à la sous-section 3.2.2 de la division B du Code (figure 1).

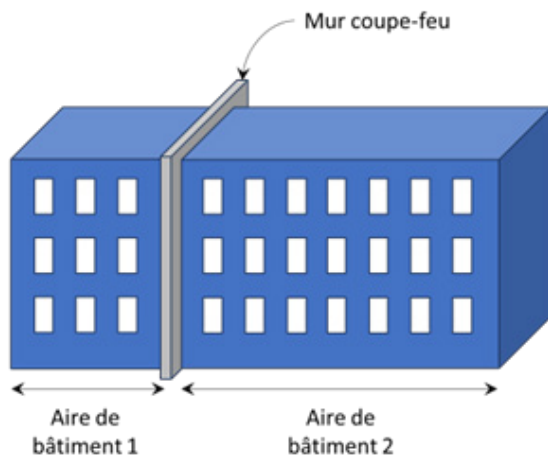


Figure 1. Utilisation d'un mur coupe-feu pour diviser l'aire de bâtiment en deux sous-bâtimENTS distincts

La sous-section 3.1.10. de la division B du Code fournit les exigences techniques en lien avec les murs coupe-feu, notamment la protection contre l'effondrement, le degré de résistance au feu, la continuité des murs, la surélévation des murs, les dimensions maximales des ouvertures, la protection des murs adjacents et les éléments combustibles en saillie. Bien qu'uniquement certaines de ces exigences sont présentées ci-après, toutes les exigences techniques du Code demeurent applicables, notamment celles de la partie 4 de la division B du Code.

Mur coupe-feu double

Comme son nom l'indique, ce type de mur coupe-feu consiste en deux murs parallèles construits à proximité l'un de l'autre, mais sans être reliés structurellement. Le concept de ce type de mur coupe-feu double est que si une structure exposée à un incendie cède, seul l'un des deux murs coupe-feu s'écroulera sans endommager l'autre. Chaque mur coupe-feu est relié à la structure adjacente en suivant les recommandations fournies dans le Commentaire C du *Guide de l'utilisateur – CNB 2015 : Partie 4 de la division B* [9]. Le degré de résistance au feu de chaque mur doit être d'au moins la moitié du degré total de résistance au feu exigé – c'est-à-dire 1 h par mur coupe-feu en ce qui concerne les murs coupe-feu visés par le paragraphe 3.1.10.2.4) de la division B du CNB. L'espace entre les deux murs doit être suffisant pour considérer les effets de dilatation thermique, lorsqu'applicables, et des charges sismiques du Commentaire J. La figure 2 illustre le concept de mur coupe-feu double. Ce type de mur coupe-feu est habituellement utilisé afin de se conformer au paragraphe 3.1.10.1.2) de la division B du Code.

Construction des murs coupe-feu

Par sa définition, un mur coupe-feu doit être construit de manière à pouvoir maintenir sa stabilité structurale lorsqu'il est exposé au feu pendant le temps correspondant à sa durée de résistance au feu. Ainsi, lors de l'effondrement d'un bâtiment situé d'un côté ou de l'autre du mur coupe-feu et exposé à un feu égal en intensité à celui qui remplit les conditions normalisées de l'essai de résistance au feu (CAN/ULC S101 [8]), cela n'engendrera pas l'effondrement du mur coupe-feu [7].

Traditionnellement, les murs coupe-feu étaient construits de blocs de maçonnerie ou de béton. L'utilisation de ces matériaux incombustibles permet de répondre aux exigences de degré de résistance au feu et d'intégrité structurale, en plus de l'exigence d'incombustibilité des matériaux. Depuis la version 2010 du CNB, le paragraphe 3.1.10.2.4) de la division B stipule qu'il n'est pas nécessaire qu'un mur coupe-feu pour lequel un degré de résistance au feu d'au plus 2 h est autorisé soit construit de blocs de maçonnerie ou de béton, sous certaines conditions.

Le Commentaire C du *Guide de l'utilisateur – CNB 2015 : Partie 4 de la division B* [9] présente quatre méthodes conceptuelles qui permettent de satisfaire aux exigences générales d'intégrité des murs coupe-feu.

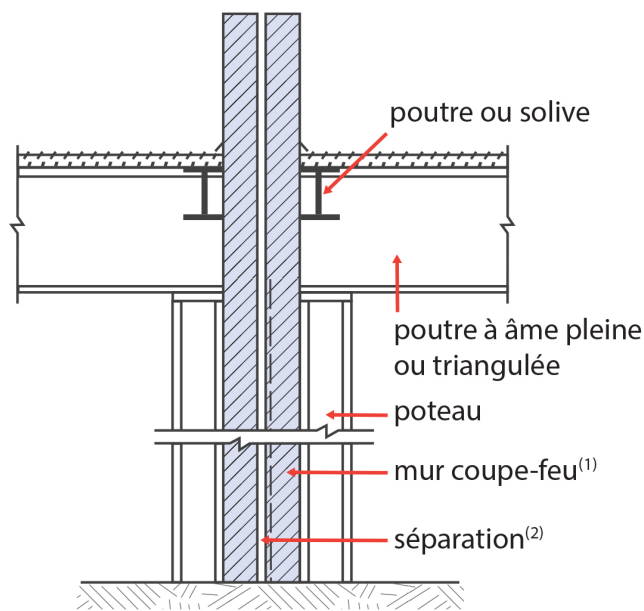


Figure 2. Mur coupe-feu double, tel que présenté dans [9]

Mur coupe-feu en porte-à-faux (sans appui latéral)

Ce type de mur coupe-feu est probablement le plus commun en maçonnerie et en béton. Il consiste à détacher le mur coupe-feu de la structure du bâtiment, ce qui résulte que l'effondrement d'une partie du bâtiment exposé au feu n'entraînera pas l'effondrement du mur coupe-feu. Une attention particulière doit cependant être portée au niveau des ancrages du mur à la fondation. Un espace suffisant entre les structures et le mur coupe-feu peut être requis afin de considérer les déformations et mouvements potentiels, tels que les déformations sismiques et les effets de dilatation thermique, lorsqu'applicables.

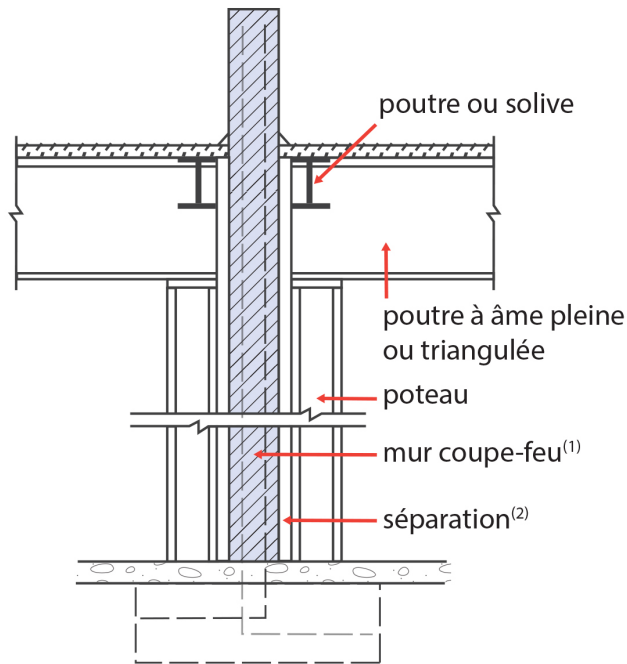


Figure 3. Mur coupe-feu en porte-à-faux (sans appui latéral), tel que présenté dans [9]

La figure 3 illustre le concept de mur coupe-feu en porte-à-faux.

Dans l'éventualité de murs coupe-feu de grande hauteur, il faut porter une attention particulière aux déformations (flèches) au sommet. Afin de contrer des déformations excessives, l'ajout de supports latéraux peut être une option viable, tel que l'ajout de colonnes et/ou pilastres (figure 4).

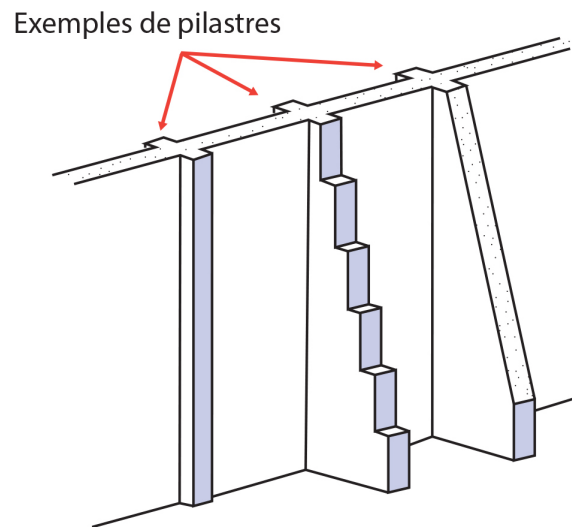


Figure 4. Renforcement latéral d'un mur coupe-feu en porte-à-faux

Mur coupe-feu avec ancrages

Dans le cas d'un mur coupe-feu avec ancrages (figure 5), la structure des deux côtés du mur coupe-feu fournit le support latéral à celui-ci et est ancrée de manière à ce que les forces latérales générées par l'effondrement de la structure exposée au feu soient compensées par la structure située de l'autre côté du mur coupe-feu. Les paragraphes 4 et 5 du Commentaire C du *Guide de l'utilisateur – CNB 2015 : Partie 4 de la division B* [9] fournissent de plus amples informations sur les forces latérales à considérer ainsi que les mesures à prendre pour transmettre ces forces aux éléments situés au côté opposé du mur coupe-feu.

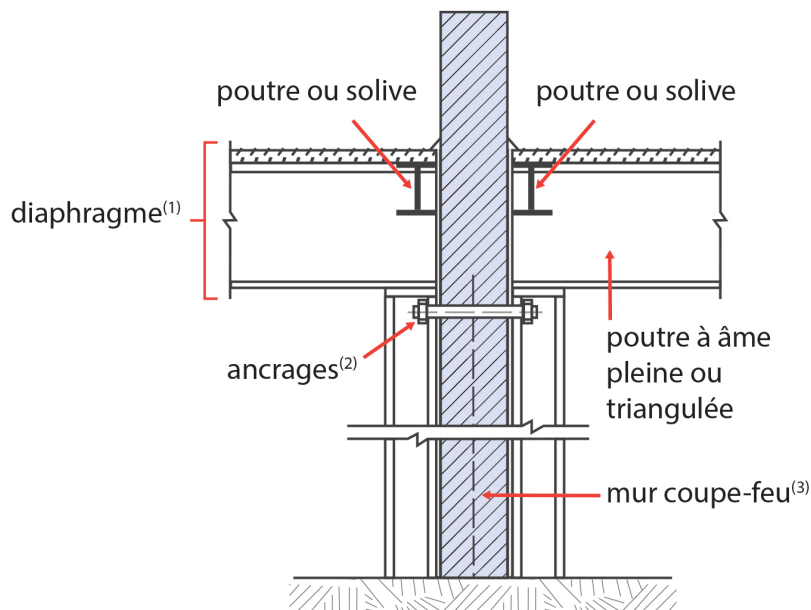


Figure 5. Mur coupe-feu avec ancrages, tel que présenté dans [9]

Mur coupe-feu à liaisons faibles

Le mur coupe-feu à liaisons faibles est le type de mur le plus couramment utilisé dans la construction en bois où les éléments de plancher ne sont pas rattachés au mur coupe-feu, mais plutôt supportés par leur propre structure, tout en étant reliés au mur coupe-feu à partir de liaisons faibles. Avec l'utilisation de liaisons faibles, il faut s'assurer que les éléments de liaison du côté exposé au feu pourront céder, mais ceux de l'autre côté (non exposé au feu) continueront de résister. De cette manière, la structure qui cède peut s'effondrer sans causer de dommages importants au mur. Tout comme le mur coupe-feu avec ancrages, la structure peut également servir de support latéral au mur coupe-feu. Cependant, une attention particulière doit être portée à la performance structurale du mur coupe-feu, notamment pour les forces de soulèvement dues au vent et aux séismes. La figure 6 illustre le concept de mur coupe-feu à liaisons faibles.

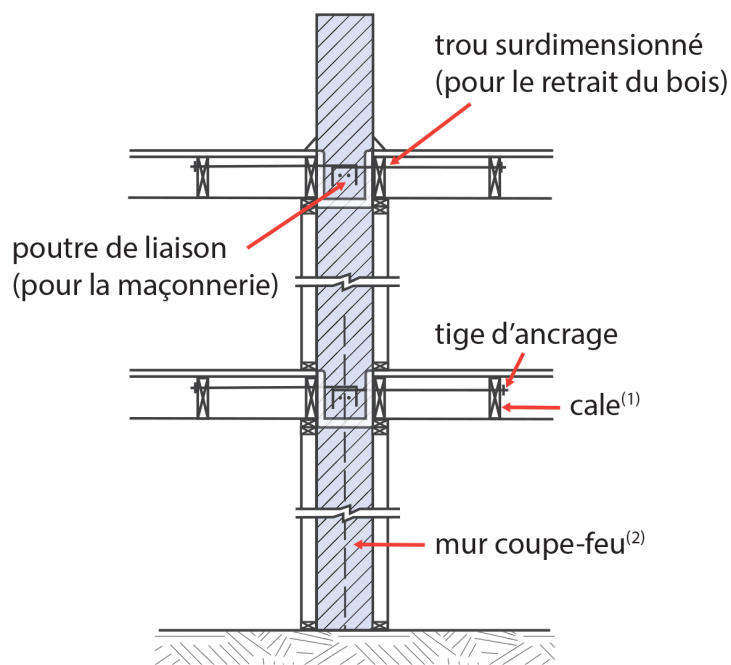


Figure 6. Mur coupe-feu à liaisons faibles, tel que présenté dans [9]

Critères de performance (Parties 3 et 4 de la division B du Code)

Comme mentionné dans le CNB à l'annexe A-3.1.10.2. 4), il est inhérent au but visé par un mur coupe-feu que sa construction doit fournir le degré de résistance au feu exigé tout en étant conçu de manière à résister aux dommages physiques causés par une utilisation normale et qui pourraient compromettre le degré de résistance au feu du mur. Comme mentionné précédemment et par sa définition, la performance d'un mur coupe-feu a historiquement été fournie à partir de matériaux incombustibles, et plus précisément en béton et en maçonnerie.

Degré de résistance au feu

Selon la section 3.2. de ce document et le paragraphe 3.1.10.2. 4) de la division B du CNB, il n'est pas nécessaire qu'un mur coupe-feu pour lequel un degré de résistance au feu d'au plus 2 h est autorisé soit construit en maçonnerie ou en béton, si

- a) l'ensemble assurant le degré de résistance au feu est protégé contre les dommages qui pourraient compromettre l'intégrité de l'ensemble; et
- b) le mur coupe-feu est calculé conformément à l'article 4.1.5.17.

Il est à noter que l'exigence de calcul selon l'article 4.1.5.17 s'applique à tous les murs coupe-feu, peu importe le type de construction utilisé. La note A-3.1.10.2.4) du CNB ajoute que si le mur coupe-feu est constitué d'éléments distincts, il faut déterminer le degré de résistance au feu de l'élément résistant au feu pour le mur même. De plus, si l'élément qui assure la protection contre les dommages est fixé physiquement à l'élément résistant au feu (comme un revêtement sacrificiel), il faut aussi démontrer que la défaillance de l'élément de protection contre les dommages au cours d'un incendie n'entraînera pas de répercussions sur la performance de l'élément résistant au feu. Cette même note du CNB stipule également que le degré de résistance au feu d'un mur coupe-feu peut être atteint par une membrane résistant au feu et aux dommages mise en œuvre sur une ossature.

Par conséquent, il est possible de démontrer qu'un mur coupe-feu de type à porte-à-faux, avec ancrages ou à liaisons faibles construit à partir d'une construction en bois

d'œuvre massif encapsulé permet de respecter les objectifs et les énoncés fonctionnels du Code, et les niveaux de performance présumés aux solutions acceptables de la Division B du CNB. En effet, les matériaux incombustibles d'encapsulation fournissent le minimum de 2 h de degré de résistance au feu, la protection contre les dommages, et sont supportés par la structure de bois d'œuvre massif. De plus, puisqu'il est considéré que le degré de résistance au feu est uniquement fourni par les matériaux d'encapsulation, il faut reconnaître la résistance au feu intrinsèque fournie par le mur en bois d'œuvre massif advenant la défaillance de l'encapsulation. Cette résistance au feu additionnelle est cependant négligée dans cette approche, ce qui augmente considérablement la performance réelle du mur coupe-feu. La figure 7 montre une telle solution de rechange approuvée en Colombie-Britannique et utilisant une construction en bois d'œuvre massif.



Figure 7. Mur coupe-feu de construction en bois d'oeuvre massif construit en Colombie-Britannique (photo: GHL Consultants)

Résistance à l'effondrement

Comme vu précédemment, la définition d'un mur coupe-feu implique qu'il doit maintenir sa stabilité structurale lorsqu'il est exposé au feu pendant le temps correspondant à sa durée de résistance au feu. Par conséquent, il faut concevoir le mur coupe-feu de manière qu'il puisse résister aux forces et contraintes qui pourraient entraîner son effondrement.

Ni le CNB, ni le Code de construction du Québec ne fournissent de lignes directrices pour déterminer la résistance à l'effondrement. L'exigence stipulée au paragraphe 3.1.10.1.1) de la division B est laissée à l'interprétation des concepteurs et autorités ayant juridiction. Cependant, le paragraphe 16 du Commentaire C du *Guide de l'utilisateur – CNB 2015 : Partie 4 de la division B* [9] fournit des lignes directrices pour évaluer la force résultante d'un plancher ou d'un toit de charpente métallique qui est exposé au feu. En étant exposés au feu, les éléments métalliques vont largement se déformer, sans nécessairement s'effondrer, ce qui entraînera des efforts de traction agissant sur le mur coupe-feu. Cette méthodologie est basée sur les pertes de résistance et de rigidité des éléments métalliques exposés à la chaleur. La déformation verticale du plancher ou du toit est ainsi évaluée à partir des coefficients de réduction en fonction de la température fournis à l'annexe K de la norme CSA S16 [10].

Le Guide de l'utilisateur - CNB 1995: Protection contre l'incendie, sécurité des occupants et accessibilité (Partie 3) [7] fournit davantage d'information en lien avec la construction des murs coupe-feu. De l'information additionnelle sur l'intégrité structurale des murs coupe-feu peut être obtenue dans le Commentaires sur le calcul des structures (*Guide de l'utilisateur – CNB 2015 : Partie 4 de la division B*) [9].

Il existe des systèmes d'attaches propriétaires spécifiquement destinés à remplir la fonction des liaisons faibles, notamment le Aluminium Burn Clip et le Fero Break-Away, comme montrés à la figure 8. Ces petites cornières sont conçues spécialement pour se rompre lors d'un incendie, permettant ainsi à la structure de s'effondrer sans entraîner le mur coupe-feu. Ces cornières sont disponibles en géométries et patrons divers de trous oblongs afin d'accommoder les déplacements de la structure en service. D'autres types d'attaches peuvent être utilisées, à la condition qu'ils soient conçus et testés en conséquence pour agir comme liaison faible. Il est à noter qu'à ce jour, il n'existe pas de méthodes d'essais pour évaluer cette performance.

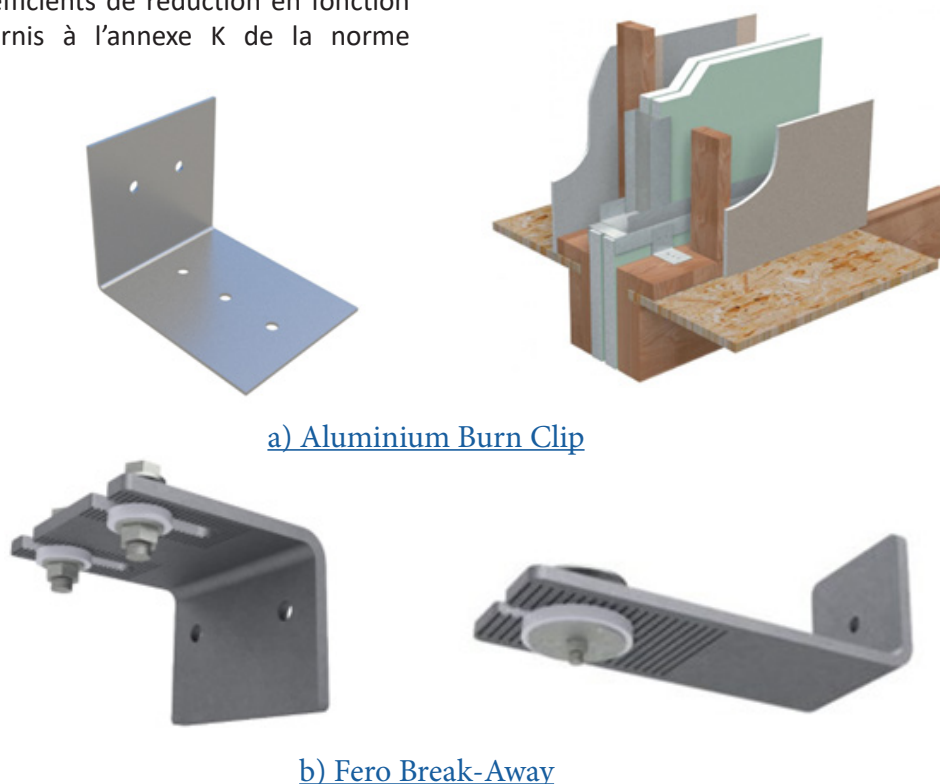


Figure 8. Liaisons faibles pouvant être utilisées pour un mur coupe-feu

Résistance structurale

La résistance structurale d'un mur coupe-feu doit être calculée conformément à l'article 4.1.5.17. de la division B du Code. Cet article mentionne qu'un mur coupe-feu doit être calculé pour résister à l'effet maximal dû :

- a) aux charges latérales appropriées prescrites à la section 4.1. de la division B, tel que les charges gravitaires, de vent et de séismes; ou
- b) à une force latérale pondérée de 0,5 kPa dans les conditions d'incendie, selon certaines conditions.

Advenant que le degré de résistance au feu de la structure soit inférieur à celui du mur coupe-feu, tel qu'il est le cas pour les bâtiments de construction en bois d'au plus 6 étages de 1 h de degré de résistance au feu, les conditions présumées à l'effet d'une force latérale pondérée de 0,5 kPa dans les conditions d'incendie sont qu'il faut :

- a) présumer que l'appui latéral n'est fourni par la structure que d'un seul côté; ou
- b) prévoir un autre système d'appui capable de résister aux charges résultant d'un incendie qui s'exercent d'un côté ou de l'autre du mur coupe-feu.

DÉVELOPPEMENT D'UNE SOLUTION DE RECHANGE/MESURE ÉQUIVALENTE

Bien que le paragraphe 3.1.10.2. 4) du CNB permette l'utilisation de matériaux autres que la maçonnerie et le béton pour la construction de mur coupe-feu pour lequel un degré de résistance au feu d'au plus 2 h est requis, le Code de construction du Québec, chapitre Bâtiment (CNB 2015 modifié – Québec) a supprimé le paragraphe 3.1.10.2. 4) et, par conséquent, n'offre pas cette alternative que l'on retrouve dans le CNB.

Par ailleurs, étant donné la définition d'un mur coupe-feu, ce type de séparation coupe-feu doit être de construction incombustible, donc construite à partir de matériaux incombustibles. Ainsi, une solution de rechange, appelée mesure équivalente au Québec, doit être développée si l'on veut utiliser un mur de construction en bois d'œuvre massif encapsulé comme mur coupe-feu.

Les sous-sections suivantes fournissent une piste de solution pour développer une telle mesure équivalente dans le but d'en obtenir l'approbation par la RBQ. Il est recommandé de consulter le guide publié par la RBQ en lien avec la méthode de présentation d'une mesure équivalente ou différente [2].

Conception par objectifs

Puisque le Code de construction du Québec, chapitre Bâtiment (CNB 2015 modifié – Québec), est largement basé sur le CNB et est par conséquent un code axé sur les objectifs, la première étape est d'identifier les objectifs et les énoncés fonctionnels attribués à l'exigence prescriptive de la division B. Dans ce cas-ci, c'est le paragraphe 3.1.10.2. 4) du CNB qui est visé, ce dernier étant supprimé dans la version

du Québec. La section 3.10 de la division B fournit la liste des objectifs et énoncés fonctionnels attribuables aux diverses dispositions de la Partie 3 de la division B du Code. Les attributions aux paragraphes 3.1.10.2. 4) du CNB et 3.1.10.2. 3) du code du Québec sont :

- F80, F04-OP1.2
- F80, F04-OS1.2
- F80, F04-OP3.1

Ainsi, on remarque que les objectifs sont ceux qui visent :

- à limiter la probabilité qu'en raison de sa conception ou de sa construction, le bâtiment soit exposé à un risque inacceptable de dommages sous l'effet d'un incendie ou d'une explosion touchant des aires au-delà de son point d'origine (OP1.2),
- à limiter la probabilité qu'en raison de la conception ou de la construction du bâtiment, une personne se trouvant à l'intérieur ou à proximité du bâtiment soit exposée à un risque inacceptable de blessures sous l'effet d'un incendie ou d'une explosion touchant des aires au-delà de son point d'origine (OS1.2), et
- de limiter la probabilité qu'en raison de la conception ou de la construction du bâtiment, des bâtiments voisins soient exposés à un risque inacceptable de dommages sous l'effet d'un incendie ou d'une explosion touchant des aires au-delà du bâtiment d'origine (OP3.1).

Les énoncés fonctionnels visent à retarder la défaillance ou l'effondrement provoqué par les effets d'un incendie (F04) et à résister à la détérioration causée par les conditions d'utilisation prévues (F80).

De plus, la définition d'un mur coupe-feu fait référence à la notion de construction incombustible. Les objectifs et énoncés fonctionnels reliés à cette notion sont F02-OS1.2 et F02-OP1.2, ces derniers étant décrits ci-dessous. L'énoncé fonctionnel F02 vise à limiter la gravité et les effets d'un incendie.

Bien que ces attributions fournissent de l'information à haut niveau quant aux objectifs visés, ce sont les énoncés d'intention [11] qui fournissent davantage d'information détaillée, quoique toujours de façon qualitative. Il est à noter que, au moment de rédiger cette fiche technique, les énoncés d'intention reliés au CNB 2020 ne sont pas encore publiés. Les énoncés d'intention du CNB 2015 sont les suivants :

Attributions	Énoncés d'intention
F80, F04-OP1.2	<p>Intention 1. Limiter la probabilité que les matériaux utilisés dans la construction de l'ensemble assurant le degré de résistance au feu d'un mur coupe-feu ne soient facilement altérés ou endommagés au cours de l'utilisation, ce qui pourrait rendre le mur coupe-feu inapte à maîtriser la propagation du feu d'un bâtiment voisin au bâtiment visé et causer des dommages au bâtiment visé.</p> <p>Intention 2. Limiter la probabilité que les matériaux utilisés dans la construction de l'ensemble assurant le degré de résistance au feu d'un mur coupe-feu ne soient facilement endommagés par des débris rejetés lors d'un incendie, ce qui pourrait rendre le mur coupe-feu inapte à maîtriser la propagation du feu d'un bâtiment voisin au bâtiment visé et causer des dommages au bâtiment visé.</p> <p>Intention 3. Exclure certains matériaux de l'application du paragraphe 3.1.10.2. 3) si ces matériaux et leur mise en œuvre atteignent le niveau de performance minimal exigé au paragraphe 3.1.10.2. 4).</p>
F80, F04-OS1.2	<p>Intention 1. Limiter la probabilité que les matériaux utilisés dans la construction de l'ensemble assurant le degré de résistance au feu d'un mur coupe-feu ne soient facilement altérés ou endommagés au cours de l'utilisation, ce qui pourrait rendre le mur coupe-feu inapte à maîtriser la propagation du feu d'un bâtiment à un autre et causer des blessures à des personnes se trouvant dans le bâtiment qui n'était pas initialement touché par l'incendie.</p> <p>Intention 2. Limiter la probabilité que les matériaux utilisés dans la construction de l'ensemble assurant le degré de résistance au feu d'un mur coupe-feu ne soient facilement endommagés par des débris rejetés lors d'un incendie, ce qui pourrait rendre le mur coupe-feu inapte à maîtriser la propagation du feu d'un bâtiment à un autre et causer des blessures à des personnes se trouvant dans le bâtiment qui n'était pas initialement touché par l'incendie.</p> <p>Intention 3. Exclure certains matériaux de l'application du paragraphe 3.1.10.2. 3) si ces matériaux et leur mise en œuvre atteignent le niveau de performance minimal exigé au paragraphe 3.1.10.2. 4).</p>
F80, F04-OP3.1	<p>Intention 1. Limiter la probabilité que les matériaux utilisés dans la construction de l'ensemble assurant le degré de résistance au feu d'un mur coupe-feu ne soient facilement altérés ou endommagés au cours de l'utilisation, ce qui pourrait rendre le mur coupe-feu inapte à maîtriser la propagation du feu du bâtiment à un bâtiment voisin et causer des dommages au bâtiment voisin.</p> <p>Intention 2. Limiter la probabilité que les matériaux utilisés dans la construction de l'ensemble assurant le degré de résistance au feu d'un mur coupe-feu ne soient facilement endommagés par des débris rejetés lors d'un incendie, ce qui pourrait rendre le mur coupe-feu inapte à maîtriser la propagation du feu du bâtiment à un bâtiment voisin et causer des dommages au bâtiment voisin.</p> <p>Intention 3. Exclure certains matériaux de l'application du paragraphe 3.1.10.2. 3) si ces matériaux et leur mise en œuvre atteignent le niveau de performance minimal exigé au paragraphe 3.1.10.2. 4).</p>
F02-OS1.2	<p>Intention 1. Énoncer clairement en quoi consiste une construction incombustible.</p> <p>Intention 2. Limiter la probabilité que les matériaux de construction ne contribuent à la croissance et à la propagation du feu, ce qui pourrait causer des blessures à des personnes.</p>
F02-OP1.2	<p>Intention 1. Énoncer clairement en quoi consiste une construction incombustible.</p> <p>Intention 2. Limiter la probabilité que les matériaux de construction ne contribuent à la croissance et à la propagation du feu, ce qui pourrait causer des dommages au bâtiment.</p>

Performance structurale

Charge sismique

Les murs coupe-feu sont des éléments qui, habituellement, ne font pas partie du système de résistance aux forces sismiques (SRFS), mais qui doivent tout de même être en mesure de résister aux charges sismiques décrites à l'article 4.1.8.18 de la division B du Code applicable aux éléments non structuraux, aux équipements et aux éléments structuraux ne faisant pas partie du SRFS. Dans le cas d'un mur coupe-feu à liaisons faibles, c'est-à-dire retenu par la structure du bâtiment à l'aide d'un système d'attache, ces charges serviront à déterminer la résistance minimale requise du mur dans son plan et hors plan, ainsi que la résistance minimale requise pour ses attaches.

Les charges sismiques applicables dépendent de la valeur de l'accélération spectrale de calcul propre au site pour une période de 0,2 s ($S(0,2)$), du poids (W_p) de l'élément (ou de la composante), du coefficient de risque parasismique du bâtiment (I_E) ainsi que du coefficient de force horizontale (S_p). Ce dernier dépend du type d'élément considéré (c. à d., réservoir, élément de mécanique, murs, parapets, etc.) et de la hauteur à laquelle est situé l'élément ou la composante par rapport à la hauteur totale du bâtiment au-dessus du niveau moyen du sol.

Puisque cette valeur dépend du niveau considéré (coefficient de hauteur A_x), la charge sismique augmentera à chaque étage, jusqu'à atteindre une valeur limite (la valeur de S_p étant limitée à 4.0). Les paramètres de calcul à utiliser pour chaque type d'élément sont donnés au tableau 4.1.8.18. du Code. Les différents types de murs sont couverts par les catégories 1 à 3 du tableau 4.1.8.18. Un mur coupe-feu de type à porte-à-faux, c'est-à-dire non retenu par la structure du bâtiment, fait partie de la catégorie 2 du tableau. Un mur coupe-feu retenu par la structure du bâtiment, soit par ancrages ou liaisons faibles, correspond quant à lui à la catégorie 1, puisque ce type de mur n'appartient pas aux catégories 2 et 3 définies au tableau 4.1.8.18. Les attaches du mur coupe-feu doivent en plus satisfaire aux exigences du paragraphe 4.1.8.18. 7). De façon générale, les attaches devront être en mesure de supporter une charge plus élevée que celle sollicitant le mur. Conformément au paragraphe 4.1.8.3. 6), les murs coupe-feu devront être isolés du reste du bâtiment lors d'une secousse sismique, ou alors il faudra les considérer comme faisant partie du SRFS et devront être conçus en conséquence.

Charge de vent

La résistance hors plan d'un mur coupe-feu doit être validée par rapport aux charges de vent qui s'exerceront sur le mur. La charge de vent applicable est définie à la sous-section 4.1.7 de la division B du Code et du CNB 2020. Une fois le bâtiment en service, les charges de vent seront diminuées puisque la pression extérieure pourra être considérée comme étant nulle, le mur coupe-feu étant enclavé entre les deux bâtiments qu'il sépare. Le mur coupe-feu devra tout de même être en mesure de supporter les charges de vent causées par la pression intérieure. La méthode de calcul utilisée pour la pression intérieure dépendra de la

hauteur du bâtiment, de sa géométrie, de la topographie du site ainsi que de la rugosité de l'emplacement.

L'intégrité du mur coupe-feu sous les charges de vent doit aussi être validée lors des différentes phases de construction. Il est de la responsabilité de l'ingénieur concepteur de juger la période de récurrence applicable en fonction des conditions rencontrées lors de l'érection de la structure. Entre autres, il est important de prendre en compte l'étalement dans le temps des différentes phases de construction des bâtiments. Selon la progression de la

construction, il se peut que le mur coupe-feu soit exposé au vent pendant une période prolongée. Par conséquent, le mur devra pouvoir résister à diverses forces de vent qui peuvent survenir pendant cette période, et ce, jusqu'au

Charges en conditions d'incendie

Selon l'article 4.1.5.17 de la division B du Code et du CNB, un mur coupe-feu doit être conçu pour une force latérale pondérée de 0,5 kPa en conditions d'incendie. Cette charge latérale correspond à une pression appliquée sur le mur coupe-feu du côté où l'incendie prend forme. Le commentaire C de la partie 4 du CNB précise que

Déformations anticipées

Un mur coupe-feu sert à séparer un bâtiment en plusieurs bâtiments distincts en ce qui concerne les exigences de protection incendie de la partie 3 de la division B. Selon l'article 4.1.8.14. de la Division B, des structures adjacentes doivent être séparées ou reliées entre elles. L'utilisation d'un mur coupe-feu implique généralement que les structures soient séparées les unes des autres au moyen d'un joint sismique, c'est-à-dire un espace d'air suffisamment grand permettant les déformations latérales anticipées. La distance requise pour le joint sismique est définie à l'alinéa 4.1.8.14. 1) a). Dans le cas d'un mur coupe-feu de type à porte-à-faux, il doit y avoir un joint sismique de part et d'autre du mur coupe-feu de manière à pouvoir accommoder les déplacements sismiques du mur lui-même ainsi que ceux des deux bâtiments adjacents. Dans le cas d'un mur coupe-feu à liaisons faibles supporté par la structure du bâtiment, il est possible de placer le joint sismique d'un seul côté du mur selon la distance définie à l'alinéa 4.1.8.14. 1) a).

Les attaches devront aussi être en mesure de compenser les déformations latérales sismiques. Celles-ci sont d'autant plus critiques puisqu'un bâtiment à ossature légère de bois peut être contreventé par des murs en bois travaillant en cisaillement (murs de refend) qui possèdent une ductilité appréciable ($R_d = 2,0$ ou $R_d = 3,0$). Cette ductilité permet de réduire les charges sismiques applicables à la structure, mais implique que le bâtiment subira de grandes déformations lors d'un séisme majeur. Puisque l'objectif est généralement de concevoir le mur coupe-feu comme un élément ne faisant pas partie du SRFs, les attaches reliant le mur coupe-feu au bâtiment doivent être conçues pour tolérer la déformation sismique de la structure de bois dans la direction parallèle sur le plan du mur coupe-feu afin qu'il n'y ait aucun transfert d'effort entre les deux.

moment où il deviendra enclavé par les bâtiments qu'il sépare. Une discussion éclairée à ce propos avec les différents intervenants s'avère nécessaire lors de la phase de conception.

l'application de cette charge a pour objectif d'empêcher l'effondrement d'un mur coupe-feu notamment sous l'effet de l'explosion des gaz imbrûlés, les chocs provoqués par la chute d'objets ou de débris, et sous la force des jets de lance des services de lutte aux incendies.

De plus, les attaches devront être en mesure de compenser le mouvement vertical causé par le retrait dû au séchage de la structure de bois. Les produits de bois d'ingénierie structuraux, tels que le bois lamellé-croisé (CLT), sont fabriqués à un taux d'humidité d'environ 12-15 %. Ceci signifie qu'ils seront relativement plus stables volumétriquement en comparaison aux éléments d'une structure à ossature légère de bois. Selon le Code, le bois de sciage traditionnel doit être installé à un taux d'humidité maximal de 19 %, alors qu'il atteindra un taux d'humidité à l'équilibre d'environ 8 % à 10 % en service. Il faut donc s'attendre à ce que la structure de bois subisse un retrait dû au séchage. Le séchage sera d'autant plus grand puisque la structure en bois de sciage possède des éléments disposés à plat, c'est-à-dire perpendiculairement au fil (retrait radial et tangentiel). À ce retrait doit être additionné le fluage que subira la structure sous l'effet des charges permanentes à long terme. La méthode de calcul permettant de prédire le mouvement vertical d'une structure en bois, de même que des pistes de solution pour diminuer le retrait de séchage, sont fournies dans le Guide technique sur la conception de bâtiments de 5 ou 6 étages à ossature légère en bois disponible gratuitement en ligne sur le site internet de Cecobois [12].

Finalement, pour ce qui est des déformations latérales causées par les charges de vent, celles-ci n'ont pas à être compensées puisqu'il n'y a pas de demande en ductilité associée aux charges de vent. Cependant, comme mentionné précédemment, puisque les attaches sont généralement conçues pour compenser les déformations latérales sismiques, les attaches du mur coupe-feu devront être en mesure de tolérer les déformations des bâtiments en bois sous les charges de vent.

Attaches (ancrage au sol, entre panneaux et à la structure)

Ancrage du mur coupe-feu à la structure

Dans le cas d'un mur coupe-feu à liaisons faibles conçu pour être retenu par la structure du bâtiment, celui-ci doit être ancré à la structure de manière à le retenir contre les différents efforts de conception décrits précédemment (vent, séisme, feu). Dans le cas des bâtiments en bois d'au plus six étages, la structure possède un degré de résistance au feu inférieur à celui du mur coupe-feu. Conséquemment, pour les efforts de conception en conditions d'incendie, le Code exige que le mur coupe-feu soit considéré comme étant retenu d'un seul côté, soit celui opposé à l'incendie. Le système d'attache du mur coupe-feu à la structure doit permettre à la structure de se détacher lors d'un effondrement en conditions d'incendie sans compromettre l'intégrité du mur coupe-feu (liaisons faibles ou attaches fusibles).

Le système d'attache doit également être conçu de manière à permettre le mouvement vertical différentiel entre le mur coupe-feu et la structure en raison de la variation du taux d'humidité des différents matériaux. Il faut aussi permettre un mouvement horizontal dans le plan du mur coupe-feu dans le but de ne pas transférer au mur coupe-feu des efforts de séisme provenant de la structure si celui-ci ne fait pas partie du SRFS. Des trous oblongs dans les attaches (cornières ou plaques) peuvent être utilisés à cette fin.

Il est aussi conseillé d'installer le système d'attache dans la partie supérieure des murs à ossature légère en bois afin de favoriser la désintégration de l'attache fusible. En effet, les gaz chauds auront tendance à s'élever par le principe de flottabilité et ainsi on peut s'attendre à une augmentation de température plus élevée au niveau du plafond comparativement à celle au niveau du plancher. Par conséquent, le haut des murs est un endroit plus favorable à la fonte de l'attache fusible comparativement à une installation au bas des murs. On positionne habituellement les systèmes de fixation à la structure au niveau de chacun des étages de même qu'au niveau du toit, mais le positionnement des attaches demeure le choix de l'ingénieur concepteur.

La figure 9 illustre un exemple de détail de fixation entre un mur coupe-feu et une structure en bois au moyen d'attaches fusibles. Il est à noter que les efforts latéraux repris par les attaches doivent cheminer jusque dans les diaphragmes de planchers ou de toiture. Dépendamment de l'ampleur des efforts, des détails additionnels pourraient être requis à cette fin.

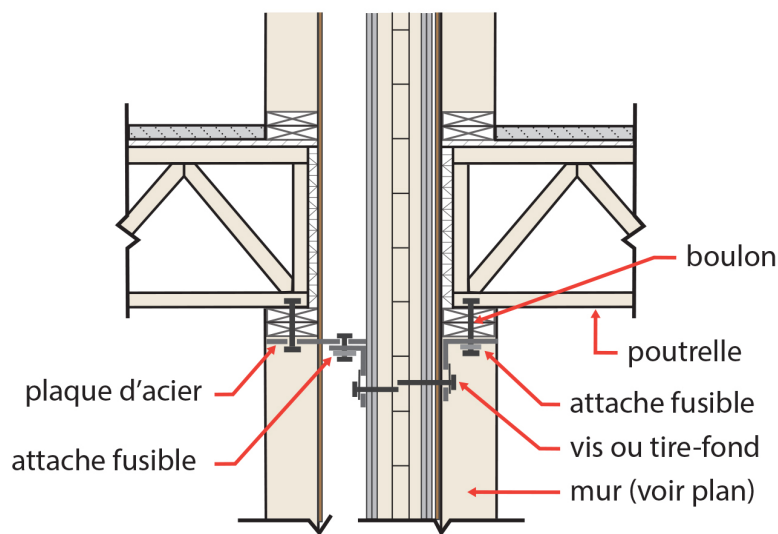


Figure 9. Exemple de fixation entre un mur coupe-feu et une structure en bois au moyen d'attaches fusibles

Ancrage des panneaux en bois massif aux jonctions horizontales et verticales

Selon la hauteur des bâtiments, il est fort probable que les panneaux en bois massif n'aient pas une longueur suffisante pour permettre de franchir la hauteur totale du bâtiment. De plus, pour faciliter le montage, les murs en panneaux massifs sont souvent fabriqués en longueur pouvant couvrir de deux à trois étages, notamment en raison des restrictions de transport routier. Dans ce cas, des joints horizontaux sont à prévoir pour assembler les panneaux entre eux.

Les panneaux en bois massif sont habituellement fabriqués en largeur de $\pm 2,4$ m à 3,0 m (8 à 10 pi). Conséquemment, plusieurs jonctions verticales sont à prévoir entre les différents panneaux. Il existe plusieurs configurations de joint permettant d'assembler les panneaux entre eux, notamment les joints droits, les joints à recouvrement (à mi-bois) ou les joints à languette rapportée. Les différentes configurations sont illustrées dans la littérature des fabricants de panneaux. Le choix du type de joint peut être coordonné avec le fabricant si ce dernier est connu au moment de la conception.

L'assemblage aux jonctions horizontales doit permettre de transférer d'un panneau à l'autre les différents efforts de conception décrits précédemment (vent, séisme, feu). L'assemblage peut se faire au moyen de clous, de vis structurales ou autres attaches régies par la norme CSA O86. Dans le cas des jonctions verticales entre panneaux, il n'est pas requis que l'assemblage soit en mesure de transmettre les efforts d'un panneau à l'autre puisque les panneaux agissent comme un système unidirectionnel vertical, à l'exception que le mur coupe-feu fasse partie du

SRFS. Un assemblage minimal des jonctions verticales est tout de même requis afin d'empêcher qu'une ouverture se crée dans le joint et permette ainsi un passage potentiel des flammes ou des fumées.

Selon que le mur coupe-feu en panneau fasse partie ou non du SRFS, les assemblages aux jonctions horizontales et verticales devront être en mesure de transférer une quantité plus ou moins grande d'efforts de cisaillement dans le plan du mur. Puisque les efforts sismiques varient selon les coefficients de modification de force liée à la ductilité (R_d) et de modification de force liée à la surrésistance (R_o), il est habituellement avantageux de ne pas considérer le mur coupe-feu comme faisant partie du SRFS. Le paragraphe 4.1.8.9. 3) de la division B du Code mentionne que si différents SRFS sont utilisés, la plus faible valeur de $R_d R_o$ associée à ces systèmes est à utiliser pour l'ensemble du bâtiment. Il incombe néanmoins à l'ingénieur en structure de déterminer les composants faisant partie du SRFS et d'utiliser les coefficients R_d et R_o appropriés.

Il est important que les différentes jonctions soient protégées afin de conserver l'intégrité et les propriétés d'isolation thermique du mur coupe-feu lors d'un incendie. Cette protection peut être réalisée en suivant les exigences données à l'annexe D-2.11.4 de la division B du CNB 2020, incluant l'utilisation d'un cordon d'adhésif de construction ou de calfeutrage à l'intérieur du joint de panneaux.

La figure 10 illustre deux exemples de jonction horizontale, soit un joint droit et un joint à recouvrement. Les figures 11 à 13 illustrent des exemples de jonction verticale entre panneaux.

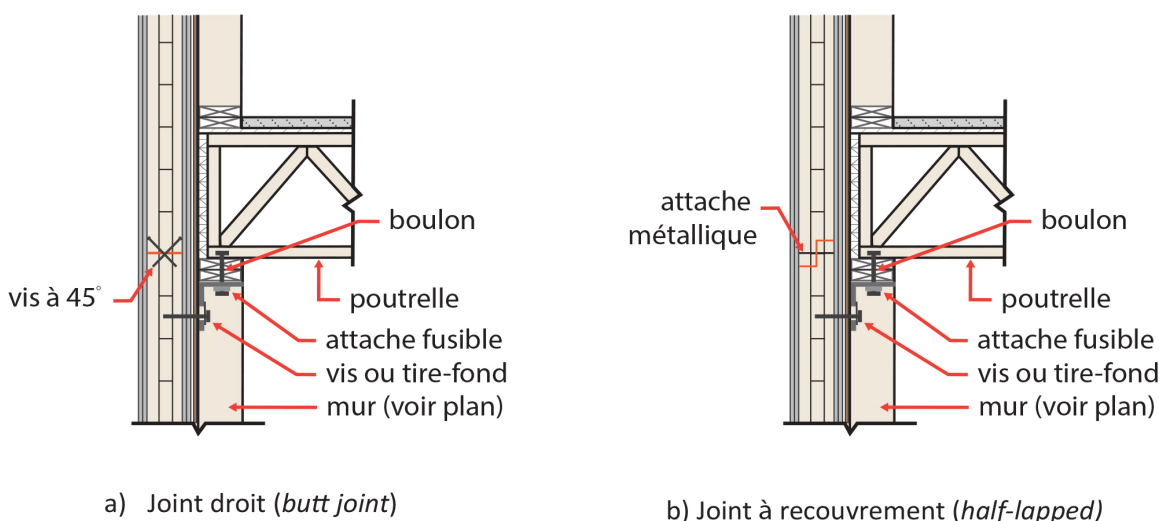
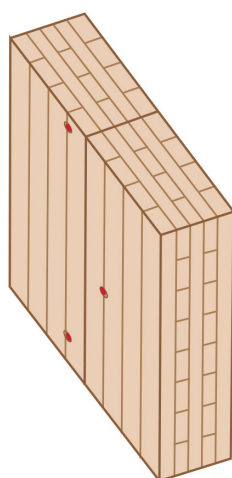


Figure 10. Exemples de jonction horizontale



vis entièrement filetée
selon ingénieur en structure

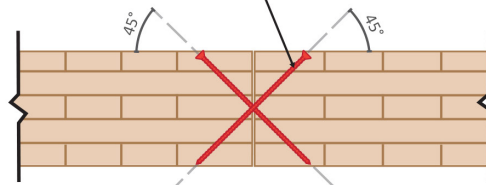
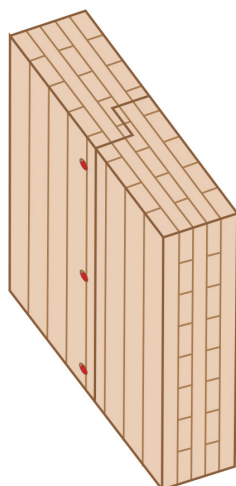


Figure 11. Joint droit entre 2 panneaux



vis entièrement filetée
selon ingénieur en structure

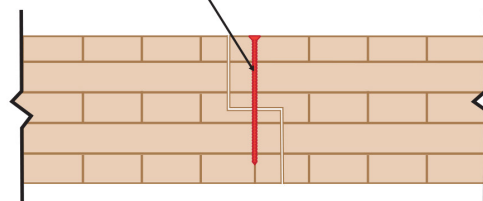
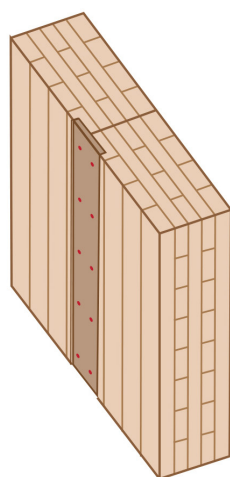
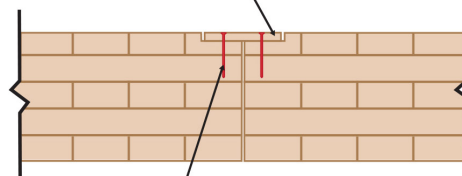


Figure 12. Joint à recouvrement entre 2 panneaux



Languette de surface



Attaches, selon ingénieur

Figure 13. Joint à languette rapportée entre 2 panneaux

Ancrage du mur à sa base

À la base, les murs doivent habituellement être ancrés à un élément en béton armé (dalle structurale ou mur de fondation). Plusieurs options de détail d'ancrage sont disponibles dans la documentation fournie par les fabricants de panneaux de bois massif. Cela consiste en général à ancrer une lisse de bois au béton et ensuite fixer les panneaux de bois massif à cette lisse de bois au moyen de différentes attaches (clous, vis, plaques d'acier, etc.) selon la norme CSA O86.

L'assemblage à la base du mur doit permettre de transférer les différents efforts de conception décrits précédemment

(vent, séisme, feu), de même que les efforts de cisaillement dans le plan du mur attribuables à l'action de refend le cas échéant.

Comme expliqué précédemment, la jonction horizontale à la base du mur doit aussi être protégée afin de conserver l'intégrité et les propriétés d'isolation thermique du mur coupe-feu lors d'un incendie.

La figure 14 et la figure 15 illustrent un exemple de jonction horizontale à la base d'un mur en bois massif.

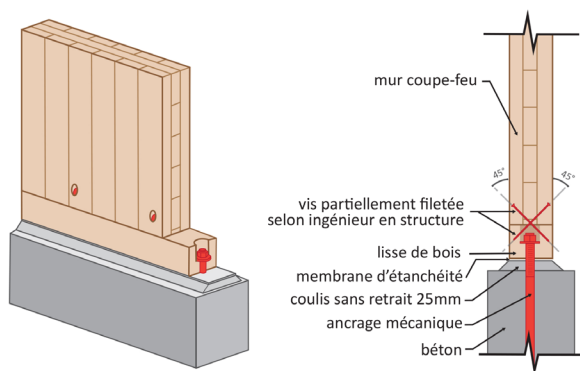


Figure 14. Exemple d'assemblage à la base du mur coupe-feu

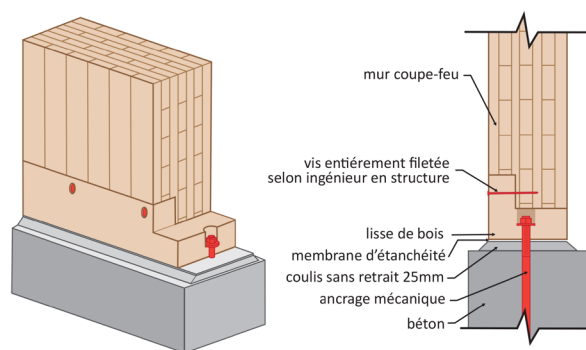


Figure 15. Exemple d'assemblage à la base du mur coupe-feu

Performance au feu

Degré de résistance au feu

Le degré de résistance au feu des éléments de construction doit être évalué à partir de résultats d'essais réalisés conformément à la norme CAN/ULC S101 [8]. Spécifiquement pour les murs coupe-feu, l'exposition au feu doit être de chaque côté, tel qu'exigé au paragraphe 3.1.7.3. 2) de la division B du Code. La construction du mur coupe-feu doit donc être symétrique afin de fournir le même niveau de performance de chaque côté.

À partir d'essais réalisés conformément à la norme CAN/ULC S101, il a été démontré que l'utilisation de 3 couches de gypse Type X de 15,9 mm (5/8") procure au moins 2 h de résistance au feu additionnelles à l'élément de construction

en bois d'œuvre massif qu'elles protègent [13]–[16]. Cette contribution en temps additionnel sera incorporée dans la prochaine édition 2024 de la norme CSA O86.

Ainsi, l'utilisation de matériaux incombustibles pour offrir le degré de résistance au feu requis et pour limiter les dommages au mur coupe-feu, et la conception adéquate du mur de construction en bois d'œuvre massif encapsulé pour fournir la performance structurale permettent de respecter les objectifs et les énoncés fonctionnels du Code, ainsi que les niveaux de performance présumés aux solutions acceptables de la division B.

Portes coupe-feu

Un mur coupe-feu pourrait avoir des portes communicantes. Puisque le mur coupe-feu doit fournir au moins 2 h de degré de résistance au feu, ces portes dites « coupe-feu » doivent offrir un degré pare-flamme d'au moins 1,5 h conformément au tableau 3.1.8.4. de la division B. Ce degré pare-flammes doit être déterminé à partir d'essais conformes à la norme CAN/ULC S104 [17].

Afin d'évaluer la performance de ces portes coupe-feu dans une construction en bois d'œuvre massif encapsulé, des essais ont été réalisés conformément à la norme CAN/ULC S104 [18]. Des portes préalablement approuvées pour un mur coupe-feu en béton ont été testées dans un mur en bois lamellé-croisé (CLT). L'une des configurations comprenait un mur en CLT protégé par deux couches de gypse Type X de

15,9 mm. Les côtés et le dessus de l'intérieur de l'ouverture dans le CLT étaient aussi protégés par une couche de gypse Type X de 15,9 mm. Le bas de l'ouverture était protégé par un panneau incombustible de fibrociment. Tous les joints étaient protégés par un scellant coupe-feu afin de prévenir le passage de gaz chauds et de flammes. La figure 16 illustre quelques étapes de la protection de l'ouverture afin de limiter le passage de gaz chauds et des flammes à la jonction entre le CLT et le cadre de la porte coupe-feu.

Il est à noter que les exigences du Code applicables aux portes coupe-feu doivent être respectées, notamment la conformité à CAN/ULC S104 pour la performance de la porte, du cadrage et du vitrage, si applicable, ainsi que la tolérance des seuils.



a) Installation du scellant coupe-feu dans les jonctions



b) Pose des panneaux de gypse à l'intérieur de l'ouverture



d) Mur en CLT et porte coupe-feu après l'essai CAN/ULC S104

Figure 16. Mur coupe-feu en CLT et porte coupe-feu testés selon CAN/ULC S104 [18]

Vides de construction

Afin de limiter la propagation d'un feu dans les vides de construction, l'article 3.1.6.16. de la division B du CNB exige que seuls les matériaux et composants de construction autorisés dans une construction incombustible peuvent avoir des surfaces exposées dans ces vides de construction.

Ainsi, dans l'éventualité où des vides de construction soient créés par l'utilisation d'un mur coupe-feu de construction en bois d'œuvre massif encapsulé, les mêmes exigences s'appliquent.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette fiche technique présente les principales caractéristiques requises pour appuyer le développement d'une mesure équivalente (solution de rechange) afin de construire des murs coupe-feu à partir d'une construction en bois d'œuvre massif encapsulé.

Par sa définition, un mur coupe-feu doit être de construction incombustible. Ainsi, une solution de rechange doit être développée afin de démontrer de sa conformité avec les objectifs et les énoncés fonctionnels du Code national du bâtiment (CNB) du Canada, ainsi que ceux du Code de construction du Québec, chapitre Bâtiment (CNB 2015 modifié – Québec). Les types de murs coupe-feu et les critères de performance présumés dans le CNB visent à retarder la défaillance ou l'effondrement provoqué par les effets d'un incendie, à résister à la détérioration causée par les conditions d'utilisation prévues et à limiter la gravité et les effets d'un incendie.

À partir des caractéristiques présentées dans cette fiche technique, il est démontré qu'un mur coupe-feu de construction en bois d'œuvre massif encapsulé par 3 plaques de gypse Type X de 15,9 mm de chaque côté du mur permet d'atteindre au moins le niveau minimal de performance exigé par la division B dans les domaines définis par les objectifs et les énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables pertinentes. La performance structurale du mur coupe-feu demeure toutefois à être validée par un ingénieur en structure pour chaque projet.

Cette mesure équivalente doit être préalablement présentée et approuvée par la RBQ lorsqu'elle est appliquée pour la construction d'un bâtiment sous sa juridiction. Le lecteur est invité à consulter les liens suivants :

<https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Publications/francais/guide-de-mande-mesures-equivalentes-diff.pdf>

<https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Formulaires/francais/de-mande-mesures-differentes-equivalentes-batiment.pdf>

Pour plus d'information

Christian Dagenais, ing., Ph.D.
Scientifique leader
Systèmes de construction
christian.dagenais@fpinnovations.ca

Avec la collaboration de:
L2C EXPERTS-CONSEILS

Références

- [1] *Plan de mise en œuvre 2021-2026 de la politique d'intégration du bois dans la construction. Gouvernement du Québec - Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2021.*
- [2] RBQ, *Guide de présentation d'une demande de mesures équivalentes ou d'une demande de mesures différentes.* Régie du bâtiment du Québec, 2016.
- [3] *Code national du bâtiment - Canada.* Ottawa (ON): Conseil national de recherches du Canada, 2022.
- [4] *Code de construction du Québec, Chapitre I - Bâtiment, et Code national du bâtiment - Canada (2015) modifié.* Ottawa (ON): Conseil national de recherches du Canada, 2022.
- [5] *CSA O86-19 Engineering Design in Wood.* Mississauga (ON): CSA Group, 2019.
- [6] *CSA O86-14: Engineering Design in Wood.* Mississauga (ON): CSA Group, 2014.
- [7] CNRC, *Guide de l'utilisateur - CNB 1995: Protection contre l'incendie, sécurité des occupants et accessibilité (Partie 3).* Ottawa (ON): Conseil national de recherches du Canada, 1997.
- [8] *CAN/ULC-S101-14-REV1 Fire endurance tests of building construction and materials.* Toronto (ON): Underwriters Laboratories of Canada, 2019.
- [9] *Commentaires sur le calcul des structures (Guide de l'utilisateur – CNB 2015 : Partie 4 de la division B).* Conseil national de recherches du Canada, 2017.
- [10] *CSA S16 Steel Design Standard.* CSA Group, 2019.
- [11] CNRC, *Supplément au CNB 2015: Énoncés d'intention.* Ottawa (ON): Conseil national de recherches du Canada, 2018.
- [12] *Guide technique sur la conception de bâtiments de 5 ou 6 étages à ossature légère en bois - Volume 1: Renseignements généraux.* Quebec (QC): Cecobois, 2016.
- [13] L. Hasburgh, K. Bourne, C. Dagenais, L. Ranger, et A. Roy-Poirier, « Fire Performance of Mass Timber Encapsulation Methods and the Effects of Encapsulation on Char Rate of Cross-Laminated Timber », présenté à World Conference on Timber Engineering, Vienna (Austria), 2016.
- [14] J. Su *et al.*, « Intermediate Scale Encapsulation Tests (Report No: A1-015805.1) », National Research Council of Canada, Ottawa (ON), 2019.
- [15] « Fire Resistance Testing of CLT Floor/Ceiling Assemblies to Establish Contribution of Gypsum Protection (WFCi Report #17091r1) », Western Fire Center Inc., Kelso (WA), 2017.
- [16] C. Dagenais et L. Ranger, « Expanding Wood Use Towards 2025: Revisiting Gypsum Board Contribution to the Fire-Resistance of Mass Timber Assemblies (Project no. 301014059) », FPIinnovations, Quebec City (QC), 2021.
- [17] *ULC, CAN/ULC S104: Standard Method for Fire Tests of Door Assemblies,* ULC. Underwriters Laboratories of Canada, 2015.
- [18] L. Ranger, C. Dagenais, C. Lum, et T. Thomas, « Fire Performance of Firestops, Penetrations, and Fire Doors in Mass Timber Assemblies », présenté à World Conference on Timber Engineering (WCTE), Seoul (Republic of Korea), 2018.

Info

ISBN 978-0-86488-627-9
2024

web.fpinnovations.ca

FPInnovations 

570, boul. Saint-Jean
Pointe-Claire (Québec)
H9R 3J9