

# Bâtiments de construction massive en bois encapsulé d'au plus 12 étages

## Directives et guide explicatif

Version  
révisée 2022

## **Recherche et rédaction**

Anne Pelletier, ing., Régie du bâtiment du Québec  
Nathalie Lessard, arch., Régie du bâtiment du Québec  
Sylvain Gagnon, ing., FPInnovations  
Christian Dagenais, ing., Ph. D., FPInnovations

## **Édition**

François Jaworski

## **Révision linguistique**

Cendrine Audet

## **Graphisme**

Isabelle Cayer

## **Remerciements**

La Régie du bâtiment du Québec souhaite remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce document produit en collaboration avec les experts du centre de recherche FPInnovations ([www.fpinnovations.ca](http://www.fpinnovations.ca)), notamment Marjan Popovski, P.Eng, Ph. D., Erol Karacabeyli, P.Eng., M. Sc., Jieying Wang, Ph. D., Samuel Cuerrier-Auclair, ing., M. Sc. et Cassandra Lafond, ing., M. Sc.



## **Note importante :**

Le présent document s'adresse spécifiquement aux professionnels travaillant dans la construction de bâtiments en bois d'au plus 12 étages. Un tel bâtiment conçu et construit en respectant les conditions déterminées à la partie 1 – Lignes directrices et en tenant compte des spécifications techniques décrites à la partie 2 – Guide explicatif du présent document est présumé satisfaire aux normes prévues au chapitre I, Bâtiment, du Code de construction 2015. Cela ne dispense toutefois pas le requérant d'obtenir toute autre autorisation requise par toute loi ou tout règlement, le cas échéant.

Dépôt légal - 2022

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2022

Bibliothèque et Archives Canada, 2022

ISBN (PDF) : 978-2-550-91135-7

Tous droits réservés. La reproduction, par quelque procédé que ce soit, la traduction ou la diffusion du présent document, même partielles, sont interdites sans l'autorisation de la Régie du bâtiment du Québec. Cependant, la reproduction partielle ou complète du document à des fins personnelles et non commerciales est permise à condition d'en mentionner la source.

© Gouvernement du Québec, 2022

## Avant-propos

La Loi sur le bâtiment a pour objectifs d'assurer la qualité de construction d'un bâtiment et de certains équipements ainsi que la sécurité du public qui y accède. Cette loi regroupe, dans un même cadre législatif, l'ensemble des lois et des règlements qui sont sous la responsabilité de la Régie du bâtiment du Québec (RBQ). En application de cette loi, un bâtiment doit être conçu et construit conformément aux exigences décrites au chapitre I, Bâtiment, du Code de construction du Québec.

La construction en bois d'au plus 6 étages a été introduite dans l'édition du Code national du bâtiment (CNB) 2010 modifié par le Québec, et qui est reconduite dans l'édition du CNB 2015 modifié. Dans ce présent document, le terme « Code » fait référence au chapitre I, Bâtiment, du Code de construction du Québec et Code national du bâtiment – Canada 2015 (modifié). Le terme « CNB » fait référence au Code national du bâtiment – Canada 2020. Il est permis de construire un bâtiment à charpente en bois d'au plus 6 étages sous certaines conditions décrites à la division B du Code. Les prescriptions du Code ne font pas de distinction quant au système constructif. Les dispositions s'appliquent à tous les systèmes de construction combustible, soit la construction à ossature légère, les systèmes de poutres et colonnes, le bois d'ingénierie structural, le *bois lamellé-collé*, le *bois lamellé-croisé* ou la *construction hybride* (bois, béton et/ou acier).

**Dans ce document, le terme « Code » fait référence au Code de construction du Québec, Chapitre I – Bâtiment et Code national du bâtiment – Canada 2015 (modifié). Le terme « CNB » fait référence au Code national du bâtiment – Canada 2020.**

Malgré l'introduction des dispositions permettant la construction en bois d'au plus 6 étages, le Code impose tout de même certaines limites à l'utilisation du bois. L'expérience et les recherches effectuées ont démontré qu'il était possible de construire des structures sécuritaires de *construction massive en bois encapsulé* à des hauteurs supérieures à 6 étages.

Le document *Bâtiment de construction massive en bois d'au plus 12 étages – Directives et guide explicatif* publié en 2015 par la RBQ en collaboration avec FPInnovations était une démonstration de ces recherches.

Les travaux de recherche sur la performance au feu de systèmes de construction en bois se sont poursuivis depuis la publication du document en 2015. Ce document vous présente donc une mise à jour des lignes directrices sur la *construction massive en bois encapsulé* d'au plus 12 étages.

Présentement, les dispositions du Code ne tiennent pas compte des particularités de chaque système constructif ; la limite de 6 étages s'applique à toute construction combustible, peu importe le système constructif. Un concepteur qui souhaite faire construire un bâtiment de plus de 6 étages en bois doit déposer une demande de mesures équivalentes à la RBQ, et cette demande doit comporter la démonstration que les objectifs du Code sont atteints.

En vertu de l'article 127 de la Loi sur le bâtiment, la RBQ peut approuver, aux conditions qu'elle détermine, « une méthode de conception, un procédé de construction de même que l'utilisation d'un matériau 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 ». Ainsi, la RBQ peut déterminer les conditions permettant l'utilisation du bois en tant que matériau différent de ce qui est prévu par le Code pour la construction d'un bâtiment de plus de 6 étages.

Ces conditions sont présentées sous la forme de lignes directrices, développées en collaboration avec les experts du centre de recherche FPInnovations. La RBQ et ses experts sont d'avis que les concepteurs et les constructeurs qui respectent les lignes directrices du présent document ainsi que les autres normes et exigences applicables du Code, entre autres, pourront concevoir et construire des bâtiments de *construction massive en bois encapsulé* qui offriront le même niveau de qualité et de sécurité que les bâtiments conçus avec d'autres matériaux.

Les documents suivants ont été consultés dans le cadre du développement des lignes directrices et de la partie 2 :

- Alberta Municipal Affairs, *12-Storey Encapsulated Mass Timber Construction – Standata Users Guide (19-BCV-014/19-FCV-019)*, 2020.
- Architectural Institute of British Columbia et Engineers & Geoscientists British Columbia, *Joint Professional Practice Guideline – Encapsulated Mass Timber Construction up to 12 Storeys (version 1.0)*, 2021.
- BC Office of Housing and Construction Standards, *British Columbia Building Code*, 2018.
- FPInnovations, *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada (GBBGH)*, 2022.
- International Code Council, *International Building Code*, 2021.
- National Research Council Canada, *Alberta Building Code*, 2019.
- Ville de Montréal, *Planification de la sécurité incendie sur les chantiers de construction massive en bois d'un bâtiment d'au plus 12 étages*, 2016.

Les lignes directrices présentées à la partie 1 de ce document comportent les dispositions minimales à respecter pour assurer la qualité de la construction et la sécurité des occupants. La partie 2 – Guide explicatif fournit des renseignements et des conseils utiles pour guider les concepteurs et les constructeurs de bâtiments en bois de grande hauteur. Lorsqu'une particularité ou une disposition n'est pas explicitement ou directement énoncée dans ce document, les dispositions du Code s'appliquent.

Ce document est basé sur les modifications qui seront apportées au Code national du bâtiment 2020 et au Code national de prévention des incendies (CNPI) 2020.

Afin de faciliter l'utilisation équitable du bois dans la construction au Québec, la RBQ permet la construction d'un bâtiment d'au plus 12 étages de *construction massive en bois encapsulé* sans qu'il ne soit nécessaire de déposer une demande de mesures équivalentes, si toutes les lignes directrices énoncées à la partie 1 du présent document sont respectées et que les éléments énoncés au Guide explicatif sont considérés.

La publication de ce document abroge celui publié en 2015.

# Table des matières

<b>Liste des figures et tableaux</b> .....	<b>6</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>9</b>
<b>Généralités</b> .....	<b>10</b>
<b>Définitions</b> .....	<b>10</b>
<b>Partie 1 Lignes directrices</b> .....	<b>13</b>
1.1. Conditions de base .....	15
1.2. Usages mixtes .....	16
1.3. Degré de résistance au feu .....	17
1.4. Encapsulation .....	17
1.5. Bois apparent.....	19
1.6. Pénétrations techniques dans les séparations coupe-feu.....	20
1.7. Vides techniques verticaux et cages d'escalier .....	20
1.8. Système de gicleurs .....	20
1.9. Éléments combustibles permis .....	21
1.10. Vides de construction.....	22
1.11. Séparation des milieux différents .....	22
1.12. Règles de calcul, structure et attaches.....	23
1.13. Sécurité et protection incendie durant la construction .....	25
1.14. Directives d'ordre administratif .....	25
<b>Partie 2 Guide explicatif</b> .....	<b>27</b>
2.1. Conditions de base .....	29
2.2. Usages mixtes .....	33
2.3. Degré de résistance au feu .....	33
2.4. Encapsulation .....	39
2.5. Bois apparent.....	43
2.6. Pénétrations techniques dans les séparations coupe-feu.....	45
2.7. Vides techniques verticaux et cages d'escalier .....	47
2.8. Système de gicleurs .....	47
2.9. Éléments combustibles permis .....	48
2.10. Vides de construction.....	48
2.11. Séparation des milieux différents .....	49
2.12. Règles de calcul, structure et attaches.....	63
2.13. Sécurité et protection incendie durant la construction .....	75
2.14. Directives d'ordre administratif .....	77
<b>Partie 3 Équipe de travail et coordination des travaux</b> .....	<b>79</b>
<b>Partie 4 Entretien et maintenance du bâtiment</b> .....	<b>83</b>
<b>Partie 5 Autres lois et règlements applicables au projet</b> .....	<b>89</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>93</b>
<b>Références</b> .....	<b>96</b>

## Liste des figures et tableaux

Tableau 1	Dimensions minimales des éléments porteurs pour une <i>CMBE</i> . . . . .	15
Figure 1	Systèmes de construction en bois. . . . .	30
Figure 2	Calcul de la hauteur du bâtiment pour une <i>CMBE</i> . . . . .	31
Figure 3	Construction d'une seule tour dans une <i>CMBE</i> . . . . .	32
Figure 4	Usages permis pour une <i>CMBE</i> d'au plus 12 étages. . . . .	33
Figure 5	Configuration de joints entre panneaux <i>CLT</i> , telle que proposée dans le CNB 2020. . .	35
Figure 6	Assemblages et attaches métalliques entièrement dissimulés avant encapsulation .	36
Figure 7	Assemblages et attaches métalliques recouverts de bois avant encapsulation. . .	36
Figure 8	Protection jugée acceptable selon la norme CSA O86-19 . . . . .	37
Figure 9	Exemples d'assemblages et d'attaches utilisés dans une construction massive en bois où les assemblages ne sont pas requis de fournir une résistance au feu (encapsulation non illustrée). . . . .	38
Figure 10	Exemples d'assemblages et d'attaches utilisés dans une construction massive où les assemblages peuvent être requis de fournir une résistance au feu (encapsulation non illustrée). . . . .	38
Figure 11	Encapsulation complète directement fixée sur les éléments en bois. . . . .	40
Figure 12	Installation de la première couche d'encapsulation (source : J.-F. Grandmont, 2017). . . . .	40
Figure 13	Encapsulation à membrane suspendue . . . . .	41
Figure 14	Installation des panneaux de gypse en « escalier ». . . . .	42
Figure 15	Poutres, colonnes et arches exposées à l'intérieur d'une suite ou d'un compartiment résistant au feu . . . . .	43
Figure 16	Combinaison d'éléments massifs en bois exposés à l'intérieur d'une suite . . . . .	44
Figure 17	Murs exposés à l'intérieur d'une suite . . . . .	44
Figure 18	Configuration non permise (p. ex. : coins ou murs face à face) . . . . .	45
Figure 19	Dispositifs coupe-feu pénétrant du <i>bois lamellé-croisé</i> et évalués selon la norme CAN/ULC S115 (source : Intertek). . . . .	45
Figure 20	Protection d'une pénétration technique dans un élément vertical . . . . .	46
Figure 21	Plans de protection de l'enveloppe du bâtiment et leurs fonctions barrières associées . . . . .	51
Figure 22	Application d'une membrane pour protéger le <i>CLT</i> à l'humidité dégagée par la chape de béton . . . . .	55
Figure 23	Enduit de revêtement entre la chape de béton et la surface du <i>CLT</i> ainsi que scellement des extrémités du <i>CLT</i> et des insertions en contreplaqué . . . . .	56
Figure 24	Utilisation de couvertures chauffantes pour favoriser le séchage des éléments de toiture lorsque les conditions ambiantes ne sont pas favorables (source : Wang, 2020). . . . .	57
Figure 25	Ossature à colombages de bois avec isolation fractionnée (centre) et mur en <i>CLT</i> isolé par l'extérieur (gauche et droite) . . . . .	59

Tableau 2	Assemblages de murs extérieurs respectant les critères de performance de l'article 3.1.5.5. lorsqu'évalués conformément à la norme CAN/ULC S134 (comme proposé dans le CNB 2020) . . . . .	60
Figure 26	Stratégies d'isolation de toit en pente . . . . .	61
Figure 27	Principales pistes pour l'analyse et la conception des structures en bois de grande hauteur . . . . .	67
Figure 28	Cheminement simplifié pour l'établissement des surcharges des bâtiments dues au vent . . . . .	68
Figure 29	Protection des ouvertures lors de la construction (source : GHL Consultants Ltd.) . . . . .	77
Figure 30	Relation entre programme d'entretien et programme de maintenance . . . . .	85

Note : les photos et les figures de ce document sont la propriété de FPInnovations, sauf indications contraires.



# Introduction

Le présent document est une mise à jour du document *Bâtiment de construction massive en bois d'au plus 12 étages – Directives et guide explicatif*, publié en 2015, qui devient caduc. Il contient les indications nécessaires afin que les concepteurs de bâtiments de *construction massive en bois encapsulé* de grande hauteur, soit d'au plus 12 étages, puissent réaliser leurs travaux de conception et de préparation des plans et devis.

Cette mise à jour se fait dans un contexte de croissance de l'utilisation du bois dans la construction ainsi que de lutte aux changements climatiques. Il est pertinent de souligner que cette réalisation constitue un pas vers l'atteinte de l'objectif 3 (Faire évoluer la réglementation québécoise) de la Politique d'intégration du bois dans la construction. De plus, la production de cet ouvrage s'inscrit aussi au Plan pour une économie verte 2030, spécifiquement à la mesure 1.7.2 (Favoriser l'utilisation de matériaux de construction écoénergétiques et à faible empreinte carbone) de l'objectif 1.7 (Transformer les pratiques de construction et de rénovation).

Ce document fournit donc aux concepteurs les renseignements et les concepts généraux ainsi que les éléments et les détails à prévoir pour respecter les lignes directrices auxquelles un projet doit se conformer en tout si le concepteur désire ne pas déposer de demande de mesures équivalentes auprès de la RBQ.

**Le projet doit respecter intégralement les dispositions énoncées à la partie 1 du document.**

La partie 1 – Lignes directrices comporte plusieurs sections, dont l'une porte sur les conditions de base, qui décrivent les conditions générales minimales pour tout projet de *construction massive en bois encapsulé* d'au plus 12 étages. Les sections suivantes comportent, quant à elles, des dispositions particulières qui précisent et complètent les conditions de base. Le projet doit respecter intégralement les dispositions énoncées à la partie 1 du présent document.

À titre de complément, la partie 2 – Guide explicatif apporte des précisions techniques et des explications supplémentaires pour chacune des dispositions énoncées dans la partie 1 – Lignes directrices.

Les parties 3, 4 et 5 fournissent, quant à elles, des renseignements et des exigences additionnels concernant l'équipe de travail et la coordination des travaux, l'entretien du bâtiment et les autres lois et règlements applicables au projet.

Par ailleurs, des recommandations techniques complémentaires sont disponibles dans l'édition révisée 2022 du *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada*, publié par FPInnovations. Ce document est disponible en cliquant sur le lien suivant : [Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada](#).

# Généralités

Les solutions acceptables de la division B du Code limitent l'utilisation d'éléments de charpente en bois aux bâtiments d'au plus 6 étages et ayant une superficie maximale. Ce document présente des dispositions à respecter en ce qui concerne la *construction massive en bois encapsulé*. Tous les éléments de conception et de construction non cités dans ce document doivent satisfaire aux exigences s'appliquant aux bâtiments de construction incombustible et aux bâtiments de grande hauteur énoncées au Code.

**Tous les éléments de conception et de construction non cités dans ce document doivent satisfaire aux exigences s'appliquant aux bâtiments de construction incombustible et aux bâtiments de grande hauteur énoncées au Code.**

La conception d'un bâtiment en bois de plus de 6 étages nécessite une perspective beaucoup plus large que la simple mise en place d'une approche structurale et de résistance au feu. Les équipes de conception doivent tenir compte de l'intégration de tous les systèmes du bâtiment, de son enveloppe et de leurs niveaux de performance, et ce, dès le début du processus de conception. De plus, une surveillance étroite des travaux durant les étapes de construction est nécessaire pour assurer la conformité aux plans et devis. Ce document aborde ces aspects et présente les principes et les solutions pour aider les concepteurs et les équipes de construction à naviguer à travers une conception intégrée et multidisciplinaire.

## Définitions

Afin de bien comprendre ce document, il est essentiel de connaître certains termes qui ne sont pas explicitement présentés dans le Code. Les termes définis ci-dessous sont présentés en caractères *italiques* dans le présent document et s'appliquent aux lignes directrices qui y sont énoncées. Il est à noter que ce document utilise les mêmes termes que le Code et, par conséquent, les mêmes définitions s'appliquent.

**Construction massive en bois encapsulé (CMBE)** : Type de construction dans lequel un certain degré de sécurité incendie est assuré grâce à l'utilisation d'éléments massifs en bois encapsulé ayant un *degré d'encapsulation* ainsi qu'une épaisseur et une section transversale minimales pour les éléments structuraux et autres ensembles de construction.

Les éléments structuraux d'une construction massive en bois sont notamment un système structural à poutres et colonnes de bois massif, de *bois lamellé-collé* ou de *bois de charpente composite*, ainsi qu'un système de dalles massives en *bois lamellé-croisé*, en *bois lamellé-collé*, en *bois de charpente composite* ou en *bois lamellé mécaniquement*. Ce type de construction ne doit pas être confondu avec la construction en gros bois d'œuvre de la division B du Code.

**Degré d'encapsulation** : Temps en minutes pendant lequel un matériau ou un assemblage de matériaux retarde l'inflammation et la combustion des éléments massifs en bois encapsulés dans des conditions déterminées d'essai.

**Bois de charpente composite** (*structural composite lumber, SCL*) : Bois d'ingénierie structural (bois en placage stratifié [LVL], bois reconstitué de longs copeaux parallèles [PSL], bois de copeaux laminés [LSL] ou bois de copeaux orientés [OSL]) préalablement approuvés par le Centre canadien de matériaux de construction (CCMC), fabriqués pour une utilisation structurale et évalués conformément à la norme ASTM D5456.

**Bois lamellé-collé** (*glue-laminated timber, glulam*) : Bois d'ingénierie structural obtenu par collage sous pression de lamelles classées dont le fil est essentiellement parallèle, qui satisfait à la norme CSA 0122 ou qui est préalablement approuvé par le Centre canadien de matériaux de construction, et fabriqué en usine conformément à la norme CSA 0177.

**Bois lamellé-croisé** (*cross-laminated timber, CLT*) : Bois d'ingénierie structural préfabriqué conformément à la norme ANSI/APA PRG 320, à partir d'au moins 3 couches orthogonales de bois de sciage ou de *bois de charpente composite*, laminées à partir du collage des couches longitudinales et transversales à l'aide d'un adhésif structural afin de former un élément structural de forme rectangulaire, droit et plane, destiné à des applications de toit, de plancher ou de mur.

**Bois lamellé mécaniquement** (*mechanically-laminated timber, MLT*) : Bois d'ingénierie structural préfabriqué à partir de bois de sciage reliés solidement à partir d'attaches mécaniques afin de former un élément structural de forme rectangulaire, droit et plane destinés à des applications de toit, de plancher ou de mur. Cette catégorie inclut notamment le bois lamellé-cloué (*nail-laminated timber, NLT*), le bois lamellé-vissé (*screw-laminated timber, SLT*) et le bois lamellé-goujonné (*dowel-laminated timber, DLT*). Au moment de rédiger ce document, une norme CSA est en préparation pour encadrer la production et la qualification des fabricants de *MLT* au Canada.

**Construction hybride** : Type de construction mixte composé d'éléments structuraux de construction massive en bois, de béton, de maçonnerie ou d'acier (p. ex. : dalle composite bois-béton).

**Niveau moyen du sol** : Le plus bas des niveaux moyens définitifs du sol, mesuré le long de chaque mur extérieur du bâtiment qui doit donner sur une rue conformément à la sous-section 3.2.2 de la division B du Code.





PARTIE 1  
**Lignes directrices**





## 1.1. Conditions de base

- 1.1.1. Le bâtiment peut être de *construction massive en bois encapsulé* ou de *construction hybride*.
- 1.1.2. Sauf indication contraire dans une autre section du présent document, tous les éléments de conception et de construction du bâtiment doivent être conçus pour satisfaire aux exigences d'une construction incombustible.
- 1.1.3. Le bâtiment doit être du groupe C (habitation), du groupe D (établissement d'affaires) ou une combinaison de ces deux usages.  
D'autres usages sont permis aux étages inférieurs à certaines conditions (voir la section 1.2 – Usages mixtes); cependant, le bâtiment ne doit pas constituer un établissement de traitements ou de soins (groupe B, division 2 ou 3).
- 1.1.4. La hauteur de bâtiment doit être d'au plus 12 étages en *construction massive en bois encapsulé* ou en *construction hybride*.  
Aucun des planchers (incluant les mezzanines) ne doit être à plus de 42 m lorsque mesuré entre le plancher du 1<sup>er</sup> étage et celui du dernier étage. Il est à noter que la construction hors toit définie à l'article 3.2.1.1. du Code n'est pas comprise dans ce calcul.
- 1.1.5. L'aire du bâtiment doit être d'au plus 6 000 m<sup>2</sup> pour un bâtiment du groupe C et d'au plus 7 200 m<sup>2</sup> pour un bâtiment du groupe D.
- 1.1.6. Le bâtiment doit comprendre une seule tour.
- 1.1.7. Les éléments porteurs de construction massive en bois doivent avoir une dimension minimale à respecter et être encapsulés. Il est toutefois permis que les éléments porteurs demeurent en bois apparent selon certaines conditions (voir la section 1.5).

**Il est interdit qu'un bâtiment de construction massive en bois encapsulé constitue un établissement de traitements et de soins (groupe B, division 2 ou 3).**

**Tableau 1 Dimensions minimales des éléments porteurs pour une CMBE**

Éléments porteurs en bois	Épaisseur minimale, mm	Largeur x profondeur minimales, mm x mm
Murs servant de séparations coupe-feu ou murs extérieurs (exposition au feu sur 1 côté)	96	-
Murs requis de fournir un degré de résistance au feu, mais qui ne sont pas des séparations coupe-feu (exposition au feu sur 2 côtés)	192	-
Planchers et toits (exposition au feu sur 1 côté)	96	-
Poutres, colonnes et arches (exposition au feu sur 2 ou 3 côtés)	-	192 x 192
Poutres, colonnes et arches (exposition au feu sur 4 côtés)	-	224 x 224

- 1.1.8. Il n'est pas nécessaire de comptabiliser la dimension vis-à-vis d'une boîte de sortie électrique, mais il est interdit qu'une boîte électrique soit séparée de moins de 600 mm d'une autre boîte électrique située sur la face opposée.
- 1.1.9. Toutes les exigences relatives à un bâtiment de grande hauteur s'appliquent aux bâtiments de *construction massive en bois encapsulé* ou de *construction hybride* dont le plancher du dernier étage est à plus de 18 m du *niveau moyen du sol*.
- 1.1.10. La couverture du toit doit être de classe A lorsque celui-ci est situé à plus de 25 m de hauteur par rapport au 1<sup>er</sup> étage.
- 1.1.11. Le service de sécurité incendie de la municipalité doit être consulté dès la planification du projet au sujet de sa réglementation particulière et des besoins pour la lutte contre l'incendie, notamment pour le plan de sécurité incendie durant la construction.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.1 du présent document.

## 1.2. Usages mixtes

Le bâtiment peut abriter un usage principal du :

- Groupe A, division 2 (établissement de réunion) jusqu'au 3<sup>e</sup> étage ;
- Groupe E (établissement commercial) jusqu'au 2<sup>e</sup> étage ;
- Garage de stationnement jusqu'au 4<sup>e</sup> étage.

De plus, dans un bâtiment du groupe D (établissement d'affaires), les 2 premiers étages peuvent comporter un usage principal du groupe F, division 2 ou 3 (établissements industriels à risques moyens ou faibles).

Il est permis que les étages occupés par ces usages soient en *construction massive en bois encapsulé* à l'exception du garage de stationnement, lequel doit être réalisé conformément à la norme CSA S413 « Ouvrages de stationnement », qui vise essentiellement la construction en béton et en acier.

L'aire d'un garage de stationnement distinct au sens du Code ne peut excéder la limite d'aire de bâtiment permise dans le présent document et il doit n'y avoir qu'une seule tour de *construction massive en bois encapsulé* au-dessus du garage de stationnement.

Le degré de résistance au feu des séparations coupe-feu séparant les différents usages principaux doit être d'au moins :

- 1 heure entre le groupe C et le groupe D ;
- 1 heure entre le groupe D et les groupes E ou F, division 2 ou 3 ;
- 2 heures entre le groupe C et les groupes A, division 2, ou E ou un garage de stationnement ;
- 2 heures entre le groupe D et le groupe A, division 2.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.2 du présent document.

### 1.3. Degré de résistance au feu

- 1.3.1. Les planchers doivent former une séparation coupe-feu ayant un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures.
- 1.3.2. Les mezzanines doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure.
- 1.3.3. Les murs, les poteaux, les arcs porteurs ainsi que les assemblages et les attaches doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures.
- 1.3.4. La résistance au feu pour un matériau, un assemblage de matériaux ou un élément structural d'une construction massive en bois ou d'une *construction hybride* doit être déterminée à partir de l'une des références suivantes :
  - 1.3.4.1. La norme CAN/ULC-S101 « Résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction » ;
  - 1.3.4.2. L'annexe B de la norme CSA O86-19 « Règles de calcul des charpentes en bois » ;
  - 1.3.4.3. L'annexe D du Code.
- 1.3.5. Il est permis qu'une construction incombustible soit supportée par une *construction massive en bois encapsulé*.
- 1.3.6. Dans un bâtiment comportant des logements occupant plus de 1 étage, les planchers qui sont situés entièrement à l'intérieur de ces logements, y compris ceux au-dessus de sous-sols, doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 1 heure, mais il n'est pas obligatoire qu'ils forment une séparation coupe-feu.
- 1.3.7. Le toit doit avoir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures s'il comporte un usage.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.3 du présent document.

### 1.4. Encapsulation

- 1.4.1. Sauf indication contraire de la présente section et de la section 1.5, tous les éléments structuraux d'une *construction massive en bois encapsulé* doivent être entièrement protégés par un matériau ou un assemblage de matériaux offrant un *degré d'encapsulation* d'au moins 50 minutes.
- 1.4.2. Le matériau ou l'assemblage de matériaux consiste en du gypse, une chape de gypse-béton ou de béton, un matériau incombustible ou un matériau conforme à l'article 3.1.5.1. 2) à 4) du Code.
- 1.4.3. Le *degré d'encapsulation* d'un matériau ou d'un assemblage de matériaux doit être déterminé à partir des résultats d'essais réalisés conformément à la norme CAN/ULC S146 « Standard Method of Test for the Evaluation of Encapsulation Materials and Assemblies of Materials for the Protection of Structural Timber Elements ».

- 1.4.4. Les matériaux suivants, servant d'encapsulation, sont reconnus comme aptes à offrir un *degré d'encapsulation* d'au moins 50 minutes :
- 1.4.4.1. Une chape de gypse-béton ou de béton d'au moins 38 mm d'épaisseur lorsqu'installée au-dessus d'un plancher ou d'un toit de construction massive en bois ;
- 1.4.4.2. Deux couches de panneaux de gypse de type X de 12,7 mm (½ po) lorsqu'installées sur des éléments massifs en bois, à la condition que :
- les panneaux soient attachés à partir d'au moins 2 rangées de vis à chaque couche
    - directement aux éléments massifs en bois avec des vis d'une longueur suffisante pour pénétrer les éléments massifs en bois d'au moins 20 mm et espacées d'au plus 400 mm, et positionnées entre 20 mm et 38 mm des extrémités des panneaux, ou
    - au moyen de bandes de clouage (lattes, fourrures) ou barres résilientes d'au plus 25 mm d'épaisseur et espacées d'au plus 400 mm sur les éléments massifs en bois
  - les panneaux soient installés de manière que les joints de chaque panneau soient en quinconce avec ceux des panneaux de la couche adjacente,
  - les panneaux soient installés conformément à ASTM C840 « Application and Finishing of Gypsum Board », à l'exception que les joints n'ont pas à être recouverts au moyen de rubans et finis, et
  - les panneaux soient conformes à :
    - ASTM C1396/C 1396M « Gypsum Board », ou
    - CAN/CSA-A82.27-M « Gypsum Board ».
- 1.4.5. Il n'est pas requis que les éléments structuraux en bois soient encapsulés dans les vides de construction créés :
- 1.4.5.1. Par la fixation du matériau d'encapsulation à la condition que l'épaisseur du vide de construction soit d'au plus 25 mm ;
- 1.4.5.2. À l'intérieur des éléments porteurs lorsque les vides de construction sont :
- giclés et compartimentés par des pare-feu (voir la section 1.10),
  - entièrement remplis d'isolant incombustible conforme à CAN/ULC-S702 « Mineral fibre thermal insulation for buildings » et ayant une densité d'au moins 32 kg/m<sup>3</sup>,
  - horizontaux, protégés par une plaque de gypse de type X de 12,7 mm d'épaisseur, ou
  - verticaux, protégés par une plaque de gypse de type X de 12,7 mm d'épaisseur et compartimentés par des pare-feu conformément à la section 1.10 de ce document ;
- 1.4.5.3. Au niveau de la découpe pour l'installation de boîtes de sortie électrique.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.4 du présent document. Pour l'encapsulation du toit, des précisions sont également fournies à la section 2.11.

## 1.5. Bois apparent

- 1.5.1. Sous réserve de la sous-section 1.5.4, dans une suite ou un compartiment résistant au feu autre qu'une issue, il est permis que les poutres, colonnes et arches de construction massive en bois présentent du bois apparent (sans encapsulation) sous les conditions suivantes :
  - 1.5.1.1. La surface totale de bois apparent doit être d'au plus 10 % de la surface totale des murs périphériques du compartiment résistant au feu ou de la suite ; et
  - 1.5.1.2. L'indice de propagation de la flamme de toutes les surfaces de bois exposé est d'au plus 150.
- 1.5.2. Dans une suite, les murs de construction massive en bois peuvent présenter du bois apparent (sans encapsulation) sous les conditions suivantes :
  - 1.5.2.1. Les murs porteurs avec bois apparent font face vers la même direction ; et
  - 1.5.2.2. L'indice de propagation de la flamme de toutes les surfaces de bois exposé est d'au plus 150.
- 1.5.3. La surface totale de bois apparent à l'intérieur d'une suite, comme cela est permis aux sous-sections 1.5.1 et 1.5.2, ne doit pas dépasser 35 % de la surface totale des murs périphériques de la suite.
- 1.5.4. Dans une suite, les sous-faces d'une dalle de construction massive en bois (les plafonds) peuvent présenter du bois apparent (sans encapsulation) sous l'une des conditions suivantes :
  - 1.5.4.1. La surface totale de bois apparent représente au plus 10 % de la surface totale du plafond de la suite lorsque l'indice de propagation de la flamme des surfaces exposées est d'au plus 150 ;
  - 1.5.4.2. La surface totale de bois apparent représente au plus 25 % de la surface totale du plafond de la suite lorsque l'indice de propagation de la flamme des surfaces exposées est d'au plus 75 et qu'il n'y a pas de murs de construction massive en bois apparent dans la suite.
- 1.5.5. Dans un bâtiment de *construction massive en bois encapsulé*, les indices de propagation de la flamme du Code pour un bâtiment de construction incombustible doivent être appliqués en plus des exigences du présent document.  
Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.5 du présent document.

## 1.6. Pénétrations techniques dans les séparations coupe-feu

- 1.6.1. La continuité d'une séparation coupe-feu doit être maintenue à sa jonction avec une autre séparation coupe-feu, un plancher, un plafond, un toit ou un mur extérieur par des produits homologués pour l'usage particulier désiré.
- 1.6.2. Les murs, cloisons ou planchers doivent former une séparation coupe-feu et être construits de façon à constituer un élément continu.
- 1.6.3. Les ouvertures dans une séparation coupe-feu doivent être protégées par des dispositifs d'obturation, des gaines ou d'autres moyens conformes aux sous-sections 3.1.8, 3.1.9 et 3.2.8 de la division B du Code.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.6 du présent document.

## 1.7. Vides techniques verticaux et cages d'escalier

- 1.7.1. Les murs des cages d'escalier d'issue et des vides techniques verticaux peuvent être entièrement ou en partie de *construction massive en bois encapsulé* s'ils ont les dimensions minimales inscrites au tableau 1 à la sous-section 1.1.7.
- 1.7.2. Les escaliers d'issue doivent être isolés les uns des autres et du reste du bâtiment par une séparation coupe-feu étanche à la fumée ayant un degré de résistance au feu au moins égal à celui qui est exigé pour le plancher qu'ils traversent.
- 1.7.3. Les escaliers en ciseaux ne sont pas permis dans une *construction massive en bois encapsulé* ou dans une *construction hybride*.
- 1.7.4. Les vides techniques verticaux, incluant les chutes à déchets, doivent être isolés du reste du bâtiment par une séparation coupe-feu ayant un degré de résistance au feu équivalent à au moins ce qui est exigé dans le Code.
- 1.7.5. Les marches et paliers d'escalier dans les issues doivent être en matériaux incombustibles. Cette exigence ne s'applique pas dans le cas d'un escalier situé à l'intérieur d'une suite.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.7 du présent document.

## 1.8. Système de gicleurs

- 1.8.1. Le bâtiment doit être entièrement protégé par gicleurs. Le système de gicleurs doit être conçu, installé et mis à l'essai selon la norme NFPA 13.
- 1.8.2. Les balcons extérieurs ayant une profondeur de plus de 610 mm mesurée perpendiculairement au mur extérieur doivent être protégés par gicleurs. Pour la conception des balcons, voir la section 1.11 – Séparation des millieux différents.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.8 du présent document.

## 1.9. Éléments combustibles permis

- 1.9.1. Les cloisons peuvent être de construction massive en bois d'au moins 38 mm d'épaisseur ou en ossature légère en bois si les conditions suivantes sont respectées :
- 1.9.1.1. Les cloisons ne forment pas les parois des issues ou des vides techniques verticaux ; et
- 1.9.1.2. Les cloisons sont protégées par :
- une plaque de gypse de type X d'au moins 12,7 mm d'épaisseur dont les joints sont appuyés ou recouverts au moyen de ruban et finis, ou
  - un bois ignifugé d'une épaisseur minimale de 19 mm. Dans le cas d'une ossature légère, les vides dans la cloison doivent être remplis d'isolant incombustible.
- 1.9.2. Les exigences portant sur les revêtements intérieurs de finition combustibles sont semblables à celles requises dans une construction incombustible. Cependant, les éléments porteurs comportant du bois apparent ne sont pas visés par ces exigences. De plus, il est permis que le revêtement combustible du plafond se compose de bois ignifugé d'au plus 25 mm d'épaisseur.
- 1.9.3. Les bandes de clouage en bois sont permises seulement pour la fixation :
- 1.9.3.1. Des matériaux servant à l'encapsulation et créant un vide de construction d'au plus 25 mm d'épaisseur ;
- 1.9.3.2. D'un revêtement de finition intérieur créant un vide de construction d'au plus 50 mm à la condition que :
- l'indice de propagation de la flamme des surfaces exposées dans le vide de construction soit d'au plus 25, ou
  - le vide de construction soit entièrement rempli d'isolant incombustible.
- 1.9.4. Les bandes de clouage en bois servant de pare-feu dans les vides de construction n'ont pas à être testées selon la norme CAN/ULC-S101 « Résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction ».
- 1.9.5. Les exigences sur les éléments de plancher combustibles sont semblables à celles exigées dans une construction incombustible. Il est toutefois permis que l'encapsulation requise de la face supérieure d'une dalle massive en bois et sur laquelle s'appuient les pièces de bois d'un plancher surélevé ne soit réalisée qu'entre ces dernières.
- 1.9.6. Les exigences portant sur les matériaux de couverture combustibles sont semblables à celles exigées dans une construction incombustible. Il est toutefois permis que l'encapsulation requise de la face supérieure d'une dalle massive en bois soit réalisée entre les supports de couverture seulement.
- 1.9.7. Les châssis et cadres de fenêtres combustibles dans les murs extérieurs sont autorisés aux mêmes conditions que pour une construction incombustible. Il est permis qu'un mur extérieur soit de construction massive en bois à la condition qu'il respecte les dimensions minimales requises à la sous-section 1.1.7 du présent document.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.9 du présent document.

## 1.10. Vides de construction

- 1.10.1. À l'exception des vides de construction horizontaux dans un plancher ou d'un toit, les exigences portant sur les pare-feu dans les vides de construction sont semblables à celles exigées pour une construction incombustible.
- 1.10.2. À l'exception des vides sanitaires conformes au Code et des vides de construction horizontaux dans les éléments porteurs de construction massive en bois, les vides de construction horizontaux dans un plancher ou un toit doivent être compartimentés et :
  - 1.10.2.1. Soit protégés par gicleurs ;
  - 1.10.2.2. Soit encapsulés ;
  - 1.10.2.3. Soit entièrement remplis d'isolant incombustible. L'espace d'air de 50 mm n'obligeant pas l'installation d'un gicleur entre le dessus de l'isolant et le dessous du pontage selon la norme NFPA 13 n'est pas applicable.
- 1.10.3. Les compartiments dans les vides de construction horizontaux dans un plancher ou un toit doivent être :
  - 1.10.3.1. Soit d'au plus 600 m<sup>2</sup>, sans dimension supérieure à 60 m, si les matériaux exposés dans ces vides ont un indice de propagation de la flamme d'au plus 25 ;
  - 1.10.3.2. Soit d'au plus 300 m<sup>2</sup>, sans dimension supérieure à 20 m, si les matériaux exposés dans ces vides ont un indice de propagation de la flamme supérieur à 25.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.10 du présent document.

## 1.11. Séparation des milieux différents

- 1.11.1. La conception des assemblages agissant comme séparation des milieux différents doit être réalisée en conformité avec la partie 5 « Séparation des milieux différents » du Code.
- 1.11.2. L'enveloppe extérieure doit être conçue de façon à contrôler la condensation potentielle et à gérer adéquatement les transferts de chaleur, d'air et d'humidité dans l'enveloppe du bâtiment, et à s'adapter aux mouvements potentiels du bâtiment.
- 1.11.3. Les balcons en construction massive en bois doivent être recouverts d'une membrane d'étanchéité. Il est à noter que leur dimension doit être conforme aux dimensions minimales requises des éléments structuraux massifs en bois (voir le tableau à la section 1.1.7).
- 1.11.4. Le revêtement des murs extérieurs doit être :
  - 1.11.4.1. Soit en matériaux incombustibles ;
  - 1.11.4.2. Soit conforme aux exigences de l'article 3.1.5.5. du Code lorsque soumis à l'essai conformément à la norme CAN/ULC S134.
- 1.11.5. La construction des façades de rayonnement doit être en matériaux incombustibles ou conforme à la norme CAN/ULC-S134 « Essais de comportement au feu des murs extérieurs ».

Il est à noter que de nouveaux assemblages de murs extérieurs en bois respectent les exigences de la norme CAN/ULC-S134 et sont donc permis dans un bâtiment de *construction massive en bois encapsulé* (voir la section 2.11 pour plus d'information).

- 1.11.6. Les exigences relativement aux saillies et au retrait pour les murs extérieurs d'un garage de stationnement considéré comme un bâtiment distinct, appliquées à une construction combustible, s'appliquent également à une construction massive en bois.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.11 du présent document.

## 1.12. Règles de calcul, structure et attaches

- 1.12.1. Conformément au Code, partie 4, les éléments structuraux du bâtiment doivent être conçus de manière à offrir la capacité et l'intégrité structurales requises pour résister de façon sécuritaire et efficace à toutes les charges et à leurs effets ainsi qu'aux contraintes auxquelles on peut raisonnablement s'attendre pendant la durée de vie utile prévue du bâtiment. Entre autres, les bâtiments et leurs éléments structuraux doivent être conçus pour garantir leurs résistances ultimes (résistance et stabilité) et leurs tenues en services (déformation et vibration). Les effets du retrait du bois dans une *construction massive en bois encapsulé* ou une *construction hybride* doivent également être pris en compte en tout temps.
- 1.12.2. La conception des structures et des attaches en bois doit être conforme à la norme canadienne CSA O86-19 « Règles de calcul des charpentes en bois » et à l'article 4.3.2 de cette norme, « Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction ».
- 1.12.3. La disposition des éléments du système structural et leurs interactions doivent assurer la résistance à l'effondrement généralisé du système en cas de défaillance localisée, et ce, conformément à l'article 4.3.3, « Intégrité structurale », de la norme CSA O86-19.
- 1.12.4. Le système porteur des charges de gravité des bâtiments en bois de grande hauteur doit être conçu conformément à la norme CSA O86-19 et s'adapter à la déformation latérale associée à la réponse au vent et aux séismes des bâtiments. L'ensemble du système structural doit être conçu pour maintenir les effets  $P-\delta$  prévus.
- 1.12.5. Les systèmes de gicleurs doivent être conçus pour s'adapter aux fléchissements ou à la déformation résultant des charges sismiques et du retrait. Ces systèmes doivent rester fonctionnels après un séisme afin de limiter les dommages causés par les incendies qui pourraient se produire suivant un séisme.
- 1.12.6. Les éléments structuraux des bâtiments doivent être conçus pour résister à l'effet le plus critique déterminé en fonction des charges latérales dues au vent et des charges sismiques. Toutefois, le système de résistance aux forces latérales doit également être conçu pour tenir compte des charges et des effets sismiques (voir Système de résistance aux forces sismiques [SRFS], section 2.12), et ce, conformément à la sous-section 4.1.8. du CNB.

- 1.12.7. Les charges dues au vent et leurs effets doivent être évalués, et ce, conformément à la sous-section 4.1.7. du Code. Le commentaire I du *Guide de l'utilisateur – Commentaires sur le calcul des structures* indique la procédure qui peut être utilisée pour effectuer une analyse d'un bâtiment soumis à des surcharges dues au vent. Les articles 4.1.7.1. et 4.1.7.2. du Code exigent l'utilisation de procédures dynamiques ou expérimentales pour les bâtiments dynamiquement sensibles. Ces types de bâtiment sont ceux dont :
- 1.12.7.1. La fréquence propre la plus basse est inférieure à 1 Hz, mais supérieure à 0,25 Hz ;
  - 1.12.7.2. La hauteur est supérieure à 60 m ; ou
  - 1.12.7.3. Les bâtiments dont la hauteur dépasse quatre fois leur largeur effective minimale.  
Pour les bâtiments très dynamiquement sensibles ou pour ceux qui peuvent être soumis à des effets de turbulences de sillage et de couloir causés par des bâtiments avoisinants, le Code exige l'utilisation d'une procédure expérimentale. Les bâtiments très dynamiquement sensibles sont ceux dont :
    - 1.12.7.4. La fréquence propre la plus basse est inférieure à 0,25 Hz ; ou
    - 1.12.7.5. Les bâtiments dont la hauteur dépasse six fois leur largeur effective minimale.
- 1.12.8. Les charges et les effets sismiques doivent être évalués conformément au CNB. Les valeurs  $R_d$  et  $R_o$  ainsi que les restrictions correspondant aux systèmes utilisés doivent être conformes au tableau 4.1.8.9. du CNB. Pour les autres types de SRFS qui ne sont pas inclus dans le tableau, les valeurs de  $R_d$  et  $R_o$  peuvent être déterminées en utilisant l'approche de l'équivalence des performances conformément au paragraphe 4.1.8.9. 5) du CNB. De plus, les facteurs  $R_d$  d'un nouveau système peuvent être déterminés à l'aide de la nouvelle procédure du Centre canadien de matériaux de construction (NRC 2021) ou d'une modification de la procédure FEMA P-695 pour les sites canadiens. De plus, le groupe de travail  $R_d R_o$  du Comité permanent du calcul parasismique travaille à l'élaboration d'une telle méthodologie. Autrement, les facteurs  $R_d = 1,0$  et  $R_o = 1,0$  doivent être utilisés, comme le précise le tableau 4.1.8.9. du CNB pour les SRFS autres que ceux définis.
- 1.12.9. Le calcul sismique doit être conforme aux objectifs généraux du CNB, c'est-à-dire assurer la résistance aux fortes secousses afin de protéger la vie et la sécurité des occupants du bâtiment et le public en général, limiter les dommages au bâtiment lorsque des secousses faibles à modérées se produisent et faire en sorte que les bâtiments de protection civile (bâtiment où sont fournis des services essentiels en cas de catastrophe) puissent continuer à être occupés et rester fonctionnels après une forte secousse, et ce, même si un minimum de dommages est prévu pour ce type de bâtiment.
- 1.12.10. Le concept de calcul fondé sur la capacité doit être utilisé pour la conception sismique des bâtiments en bois de grande hauteur. Cette approche de conception est basée sur une compréhension simple de la manière dont une structure peut résister à des déformations importantes lorsqu'elle est soumise à des séismes importants.

- 1.12.11. Les plans soumis par l'ingénieur en structure et par l'ingénieur du fournisseur de composants structuraux doivent clairement identifier les charges appliquées aux éléments structuraux pour le type de bâtiment proposé et l'emplacement prévu, incluant les surcharges et les accumulations (p. ex. : neige).

Des informations techniques et des clarifications supplémentaires se trouvent à la section 2.12 du présent document. Cette section contient également des exigences supplémentaires relativement aux éléments des plans et devis. Il convient de noter que ces exigences supplémentaires font également partie des lignes directrices et doivent être respectées.

## 1.13. Sécurité et protection incendie durant la construction

- 1.13.1. Prévoir un dégagement de 6 m entre un matériau combustible et une bouilloire.
- 1.13.2. Prévoir un dégagement de 3 m entre les boîtes à rebuts pour matériaux combustibles et les issues.
- 1.13.3. Lors de travaux de construction, s'assurer que la chute à déchets est de matériaux incombustibles ou se termine à 2 m de la boîte à rebuts.
- 1.13.4. S'assurer que l'alimentation en eau, exigée à l'article 3.2.5.7. du Code, est fonctionnelle avant le début de la construction.
- 1.13.5. Clôturer le chantier afin d'en restreindre l'accès, tout en s'assurant de maintenir un accès aux véhicules d'urgence.
- 1.13.6. Prévoir un escalier permettant l'accès à tous les étages en tout temps durant la construction du bâtiment.
- 1.13.7. Prévoir des voies d'accès menant au chantier de construction pour les véhicules du service d'incendie et les maintenir en bon état.

Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.13 du présent document.

## 1.14. Directives d'ordre administratif

- 1.14.1. La surveillance des travaux est requise et doit être réalisée sous la supervision d'un architecte et/ou d'un ingénieur, selon le champ d'expertise.
- 1.14.2. Le concepteur responsable du projet doit fournir au propriétaire ou au copropriétaire les recommandations sur l'entretien du bâtiment sous la forme d'un programme d'entretien, notamment pour la gestion des dégâts d'eau, l'entretien de la structure, l'infiltration d'eau et l'effet du retrait de bois ; il doit aussi mentionner l'importance de garder les éléments structuraux en bois complètement encapsulés, entre autres (voir la partie 4 – Entretien et maintenance du bâtiment, dans le présent document).
- 1.14.3. Le programme d'entretien remis au propriétaire ou au copropriétaire doit être consigné dans un registre conservé sur les lieux.
- 1.14.4. Les plans doivent fournir les renseignements relatifs au *degré d'encapsulation* des éléments de construction massive en bois.

- 1.14.5. Des attestations signées par les professionnels (architecte et ingénieur) qui assurent la responsabilité de la surveillance des travaux doivent être fournies au propriétaire ou au copropriétaire à la fin des travaux. Ces attestations doivent confirmer que les travaux ont été réalisés conformément aux directives d'ordre technique énoncées dans le présent document et aux plans et devis de construction. Des compléments d'information technique et des précisions peuvent être obtenus à la section 2.14 du présent document.



PARTIE 2  
**Guide explicatif**





La partie 2 – Guide explicatif apporte des précisions techniques et des explications supplémentaires pour chaque section de la partie 1 – Lignes directrices du présent document. Ces renseignements et ces conseils utiles guideront les concepteurs et les constructeurs de bâtiments en bois de grande hauteur. De plus amples renseignements techniques peuvent également être obtenus dans la version 2022 du *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada*, publié par FPInnovations, en cliquant sur le lien suivant : [Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada](#).

## 2.1. Conditions de base

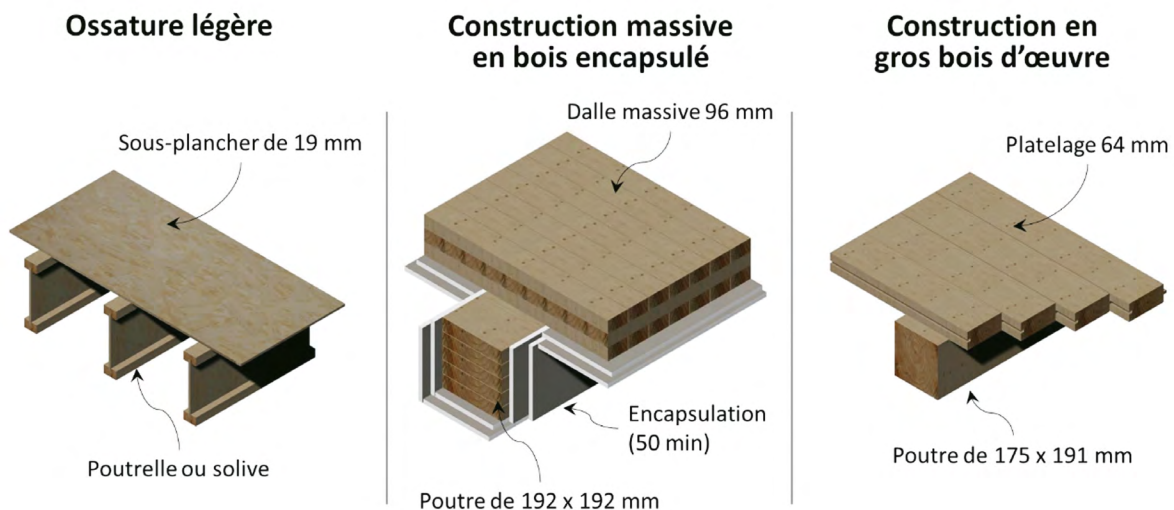
Le bâtiment peut être entièrement de *construction massive en bois encapsulé* ou de *construction hybride*, où on utilise un mélange de bois, de béton et/ou d'acier. Le *bois lamellé-croisé* (*cross-laminated timber*), le *bois lamellé-collé* (*glue-laminated timber*), le *bois lamellé mécaniquement* (*mechanically-laminated timber, MLT*) et les *bois de charpente composite* (*structural composite lumber*) peuvent être employés. Il est interdit d'utiliser des éléments porteurs construits à partir d'une ossature légère de bois dans ce genre de construction. L'utilisation de cloisons en ossature légère de bois est toutefois permise ailleurs dans l'aire de plancher, sauf identifications contraires.

Le niveau de sécurité incendie offert par une *CMBE* fait appel à des dimensions minimales à respecter pour les éléments structuraux, un peu de façon similaire à la construction en gros bois d'œuvre au sens du Code. Dans une *CMBE*, les éléments structuraux doivent fournir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures, dont un *degré d'encapsulation* d'au moins 50 minutes est fourni par un matériau ou un assemblage de matériaux. Ainsi, en présumant un élément massif en bois exposé au feu pendant 70 minutes, tel qu'un mur ou un plancher, et la plus grande vitesse de combustion de 0,80 mm/minute stipulée à l'annexe B de la norme CSA O86-19, une profondeur de carbonisation de 56 mm est obtenue. Afin qu'un élément de bois continue d'agir comme un élément thermiquement épais (c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'augmentation de température à la surface non exposée au feu), l'épaisseur résiduelle doit être d'au moins 35 à 40 mm. Bien que l'annexe B de la norme CSA O86-19 présume une épaisseur de 35 mm, une approche conservatrice de 40 mm a été proposée pour les changements au CNB 2020. La dimension minimale est donc calculée à  $56 + 40 = 96$  mm. Le double est requis si l'exposition au feu provient des 2 côtés parallèles et opposés ( $2 \times 96 = 192$  mm). Les poutres, les colonnes et les arches exposées au feu sur 2 ou 3 faces suivent cette même approche. Les éléments exposés sur 4 faces auront un effet d'arrondis de coin plus prononcés que les éléments exposés sur 2 ou 3 faces puisque la chaleur proviendra de toutes les faces. Ainsi, la profondeur de carbonisation de 56 mm prévaut sur la dimension minimale de 40 mm, et la dimension minimale augmente donc à  $224 \times 224$  mm ( $2 \times (56 + 56) = 224$  mm). Il est à noter que les dimensions minimales ne traduisent pas un degré de résistance au feu donné. Selon les calculs de l'ingénieur en structure, des dimensions supérieures peuvent être requises pour atteindre le degré de résistance au feu exigé.

**Les exigences de dimensions minimales ne doivent pas être confondues avec celles en lien avec le degré de résistance au feu. Bien que les deux concepts soient complémentaires, ils ne sont pas les mêmes et ne visent pas les mêmes objectifs du Code. Le degré de résistance au feu doit en tout temps être validé par un ingénieur en structure puisque de plus grandes dimensions peuvent être requises.**

De plus, il est important de bien comprendre les différences fondamentales entre les divers types de construction en bois reconnus dans le Code, dont l'ossature de bois, la construction en gros bois d'œuvre (au sens du Code) et la *construction massive en bois encapsulé* (figure 1). Bien que la construction en gros bois d'œuvre exige des dimensions minimales à respecter dans le Code, celles de la *construction massive en bois encapsulé* sont supérieures. Ce dernier type de construction fait également appel à la notion d'encapsulation, ce qui n'est pas le cas pour la construction en gros bois d'œuvre. Également, la résistance au feu des éléments d'une construction massive en bois doit être calculée, alors que celle de la construction en gros bois d'œuvre ne l'est pas. Ce dernier type de construction est présumé acceptable pour les bâtiments où une construction combustible d'au plus 45 minutes est permise, mais sans y assigner explicitement un degré de résistance au feu.

**Figure 1 Systèmes de construction en bois**



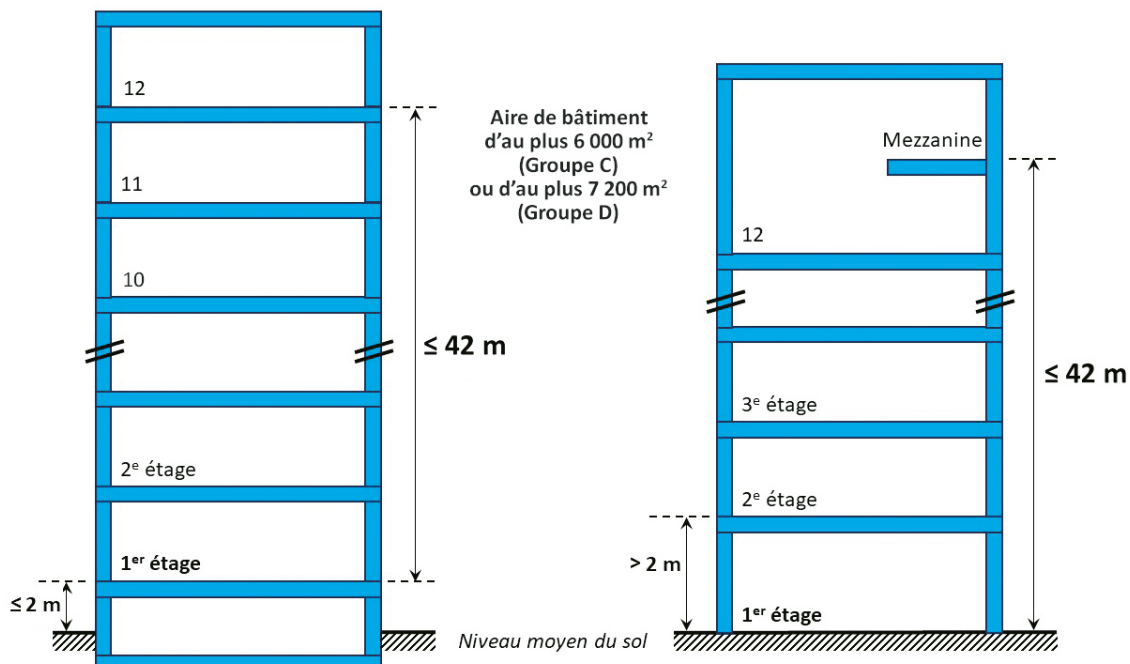
Conformément aux termes définis dans le Code, un bâtiment dont l'usage est du groupe C (habitation) désigne un bâtiment, ou une partie de bâtiment, où des personnes peuvent y dormir, sans y être hébergées en vue de recevoir des soins ou des traitements, et sans y être détenues. Un bâtiment dont l'usage est du groupe D (établissement d'affaires) désigne, quant à lui, un bâtiment, ou une partie de bâtiment, utilisé pour la conduite des affaires ou la prestation de services professionnels ou personnels. Il n'est donc pas permis d'abriter un établissement de soins et de traitements (groupe B, division 2 ou 3), ce qui inclut une résidence privée pour aînés soumise à la Loi sur les services de santé et les services sociaux (chapitre S-4.2) appliquée par le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS).

Le Code reconnaît que le niveau de risque augmente avec la hauteur et l'aire des bâtiments. Traditionnellement, les solutions prescriptives de la sous-section 3.2.2 de la division B du Code déterminaient les superficies de bâtiments proportionnellement à la hauteur en nombre d'étages, peu importe le type de construction. Par ailleurs, aucune limite de superficie ou de hauteur n'est imposée aux bâtiments de plus de 6 étages, qui traditionnellement devaient être de construction incombustible. Dans ces bâtiments, les éléments porteurs et les planchers doivent posséder un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures afin de fournir un niveau de compartimentation jugé acceptable.

Les hauteurs et les aires de bâtiment de ces lignes directrices sont les mêmes que celles proposées par le Comité permanent sur la protection incendie de la Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies (CCCBPI) lors de l'élaboration du Code national du bâtiment du Canada 2020 pour la *CMBE*. Le CNB a historiquement utilisé une méthode au prorata entre l'aire de bâtiment et le nombre d'étages, conservant ainsi l'aire de bâtiment totale constante. Pour les bâtiments de 6 étages de construction incombustible, ayant au moins 1 heure de degré de résistance au feu et entièrement protégés par gicleurs, des aires maximales de bâtiment de 6 000 m<sup>2</sup> et 7 200 m<sup>2</sup> sont spécifiées à la division B pour les usages des groupes C et D, respectivement. Lorsque ces bâtiments sont de moindre hauteur (en nombre d'étages), ils peuvent être d'une plus grande aire de bâtiment. Au-delà de 6 étages, ces bâtiments de construction incombustible doivent offrir au moins 2 heures de degré de résistance au feu et être protégés entièrement par gicleurs, sans limites imposées à la hauteur ou à l'aire de bâtiment.

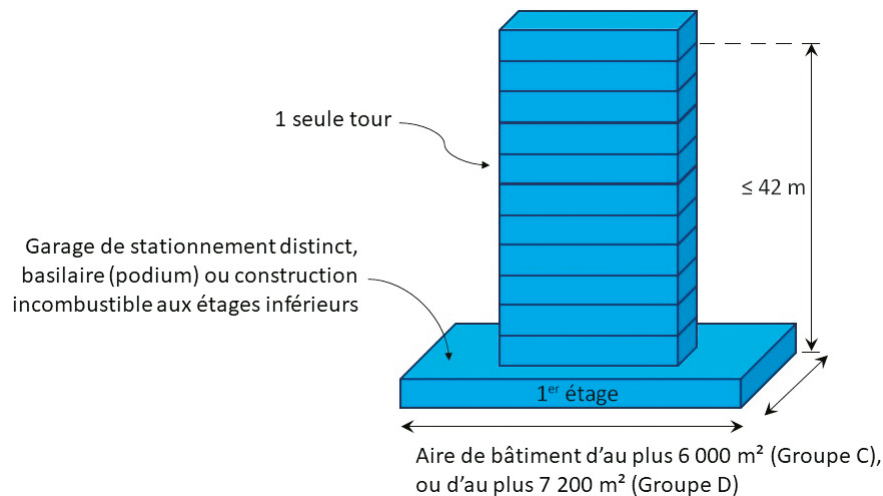
Les aires maximales de bâtiment de la *CMBE* ont été fixées à 6 000 m<sup>2</sup> et 7 200 m<sup>2</sup> pour les usages des groupes C et D, respectivement, et ce, pour un bâtiment de 1 à 12 étages peu importe le nombre d'étages construits. Une limite de hauteur de 42 m entre le plancher du premier étage et celui du dernier étage a cependant été ajoutée (figure 2). Ces aires de bâtiments sont les mêmes que celles d'un bâtiment de construction incombustible de 6 étages, ayant au moins 1 heure de degré de résistance au feu et entièrement protégés par gicleurs, malgré le fait que la *CMBE* devra offrir au moins 2 heures de degré de résistance au feu et être entièrement protégée par gicleurs. Combinées aux autres exigences de protection contre l'incendie détaillées dans ces lignes directrices, et qui sont basées sur le CNB 2020, les aires de bâtiments et la limite de hauteur de 42 m pour une *CMBE* seront adéquates pour limiter la probabilité de risques inacceptables de blessures et de dommages (objectifs OS et OH du CNB). Ces limites ont été développées à partir de bâtiments de plus de 6 étages préalablement construits ou en construction dans le monde, des hauteurs et aires de bâtiment contenues dans le *International Building Code 2021* des États-Unis, et des hauteurs inter-étages couramment utilisées dans les constructions métalliques et en béton. Au moment de rédiger ces lignes directrices, une carte interactive des bâtiments de construction massive en bois a été publiée par le ministère des Ressources naturelles du Canada (RNCan). La carte peut être consultée en cliquant ici : [carte interactive](#).

**Figure 2 Calcul de la hauteur du bâtiment pour une *CMBE***



Les complexes immobiliers comprenant plus d'une tour ne sont pas permis selon les exigences émises dans ce document, et ce, même sur un garage de stationnement distinct, sur un basilaire ou sur une construction incombustible aux étages inférieurs (figure 3).

**Figure 3 Construction d'une seule tour dans une CMBE**



Dans un bâtiment conçu selon les lignes directrices de ce document, les exigences de protection incendie d'une construction incombustible s'appliquent, à l'exception des exigences particulières à la CMBE détaillées dans ce document.

Par ailleurs, toutes les exigences visant les bâtiments de grande hauteur énoncées à la sous-section 3.2.6. du Code doivent être respectées dans le cas d'un bâtiment de CMBE dont la hauteur du dernier plancher est à plus de 18 m du *niveau moyen du sol*, et ce, même si le bâtiment abrite un usage du groupe D. Cette exigence vise à réduire les risques de propagation de la fumée et de contamination par la fumée pour ses occupants et les intervenants du service de sécurité incendie. Il est à noter que les autres exigences du Code concernant les bâtiments de grande hauteur, dont la protection des câbles électriques, s'appliquent.

Le niveau de performance jugé admissible selon les solutions acceptables de la division B du Code est basé sur diverses hypothèses, parfois implicites, dont la nécessité d'une alimentation en eau adéquate et la capacité d'intervention du service d'incendie dans un délai raisonnable. De plus amples détails peuvent être obtenus à l'annexe A-3 du Code.

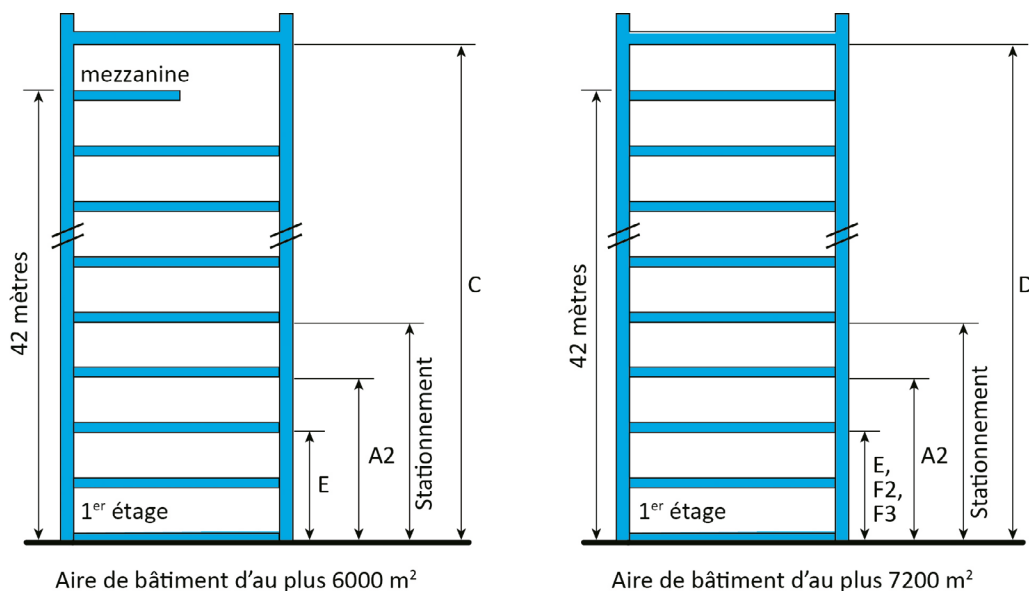
Ainsi, bien que la RBQ énonce ces lignes directrices, il est de la responsabilité des concepteurs et/ou constructeurs de consulter le service municipal de protection incendie ainsi que la municipalité dès la planification du projet, ceux-ci pouvant appliquer des exigences de construction supplémentaires sur leur territoire ainsi que des exigences particulières dans le plan de sécurité et de protection incendie durant la construction.

## 2.2. Usages mixtes

L'utilisation d'usages mixtes dans un bâtiment est une pratique courante, notamment en milieu urbain, afin de maximiser l'espace du terrain et la volumétrie du bâtiment, et pour offrir de plus amples services de proximité. Ainsi, certains usages principaux sont permis aux étages inférieurs seulement pour un bâtiment d'au plus 12 étages en *CMBE*, comme illustré à la figure 4.

La construction d'un garage de stationnement doit être conforme à la norme CSA S413. Cette dernière vise essentiellement les constructions en béton et métalliques. Ainsi, une demande de mesures équivalentes doit être présentée à la RBQ si un garage de stationnement est à réaliser en utilisant un autre type de construction que ceux prévus dans la norme.

**Figure 4 Usages permis pour une *CMBE* d'au plus 12 étages**



## 2.3. Degré de résistance au feu

Tous les planchers et les éléments porteurs des bâtiments de *CMBE* de plus de 6 étages doivent avoir un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures afin de répondre aux objectifs et énoncés fonctionnels du Code [F03-OS1.2, OP1.2] et [F04-OS1.2, OS1.3, OP1.2, OP1.3]. Ces énoncés visent à limiter la probabilité que les éléments structuraux et séparatifs subissent une défaillance prématurée ou s'effondrent avant que les occupants aient été déplacés vers un endroit sûr et que les intervenants d'urgence aient accompli leurs tâches, et la probabilité que ces éléments causent ainsi des blessures à des personnes et des dommages au bâtiment. Les énoncés fonctionnels F03 et F04 sont directement liés aux notions de compartimentation des bâtiments. Ainsi, les notions de résistance au feu et d'intégrité des séparations coupe-feu sont fondamentales dans l'atteinte du niveau de performance défini par les objectifs.

Selon l'article 3.1.7.1. de la division B du Code, le degré de résistance au feu d'un matériau, d'un assemblage ou d'un élément structural doit être déterminé en fonction des résultats d'essais effectués selon la norme CAN/ULC S101 ou d'après l'annexe D de la division B. Pour un bâtiment conçu selon ces lignes directrices, le degré de résistance au feu d'un élément peut également être déterminé selon les méthodes de calculs fournies à l'annexe B de la norme CSA 086-19.

De plus, lorsque la résistance au feu est calculée selon la norme CSA 086-19, la fonction séparative (intégrité et isolation) des éléments de murs, planchers et plafonds devra être fournie en suivant les nouvelles exigences qui seront ajoutées dans le CNB, et décrites ci-après.

À l'exception d'éléments de construction massive en bois en *CLT*, les côtés non exposés au feu des planchers et des toits doivent être recouverts d'un panneau OSB ou de contreplaqué d'au moins 12,5 mm d'épaisseur dont les joints sont décalés par rapport à ceux des éléments massifs en bois, d'une chape de béton d'au moins 38 mm ou d'une chape de béton et de gypse d'au moins 25 mm. Pour les assemblages construits à partir de platelage de bois (p. ex. : *MLT*), le côté non exposé au feu doit être recouvert par l'une des méthodes fournies à l'article B.10.4 de la norme CSA 086-19. Les murs intérieurs doivent être protégés sur au moins un côté par l'utilisation d'un panneau OSB ou de contreplaqué d'au moins 12,5 mm ou d'un panneau de gypse de type X d'au moins 12,7 mm, dont les joints sont décalés par rapport à ceux des éléments massifs en bois. Puis, les murs extérieurs doivent être protégés sur au moins un côté par l'utilisation d'un panneau OSB ou de contreplaqué d'au moins 12,5 mm, d'un panneau de gypse de type X d'au moins 12,7 mm, d'un revêtement en plaque de plâtre d'au moins 12,7 mm appliqué au côté extérieur, ou d'au moins 50 mm d'isolant en fibres de roche ou de laitier appliqué au côté extérieur. Dans tous les cas, les joints doivent être décalés de ceux des éléments massifs en bois.

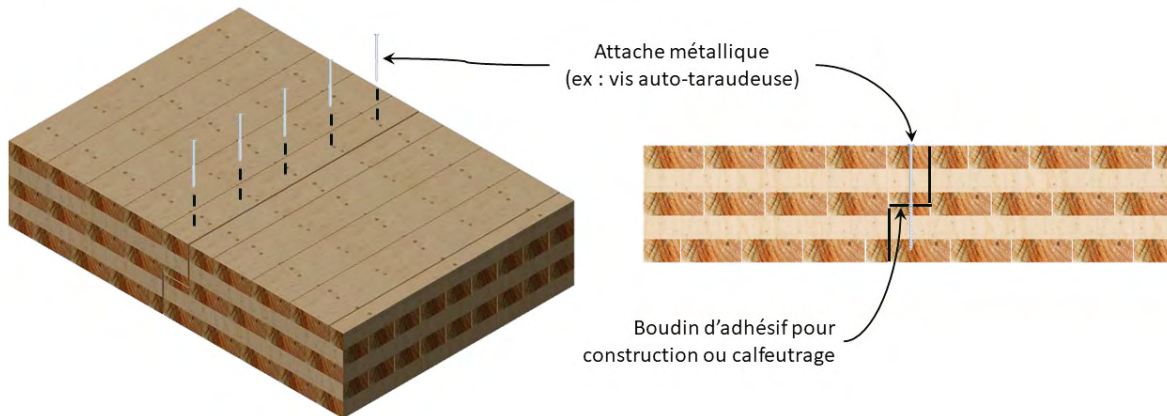
Il n'est pas requis de protéger les éléments de construction massive en bois en *CLT* selon les diverses méthodes décrites au paragraphe ci-dessus, à la condition que les joints de panneaux *CLT* soient à mi-bois ou à rainure de surface, comme illustré à la figure 5. Si la fonction séparative des éléments en *CLT* est fournie en suivant les méthodes de protection décrites au paragraphe ci-dessus (p. ex. : utilisation d'une chape de béton de 38 mm), toute autre configuration des joints de panneaux *CLT* est permise.

Il est cependant à noter que le joint de panneaux de type « rainure de surface » illustré ci-dessous devrait être utilisé pour des éléments où l'exposition au feu provient uniquement du côté opposé à cette languette, tel qu'un plancher ou un toit où l'exposition au feu provient du dessous. Dans le cas d'un mur où l'exposition au feu peut être d'un côté ou de l'autre, un joint symétrique comme celui à mi-bois est à privilégier. Autrement, la performance au feu d'un joint asymétrique doit être démontrée pour une exposition au feu des deux côtés.

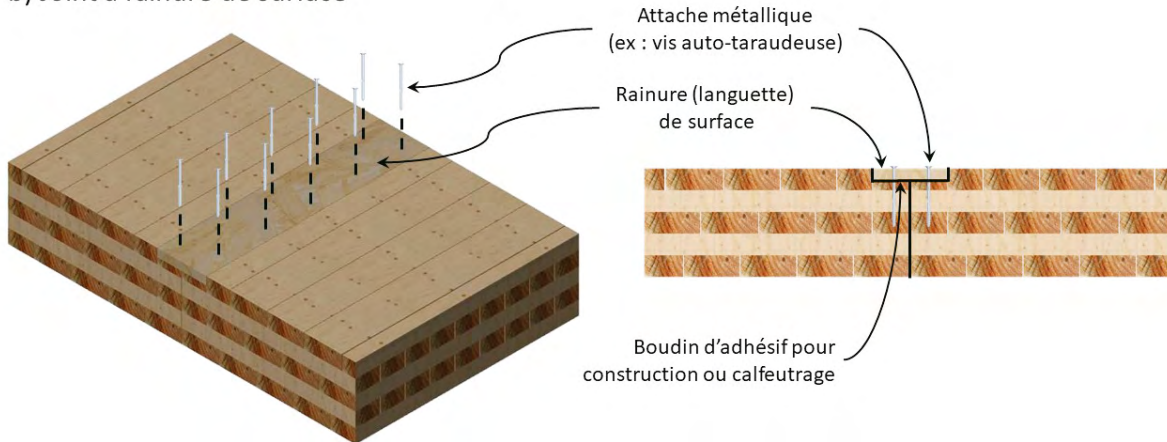
Les joints de panneaux avec un mince espace (au plus 1 mm) ne requièrent habituellement pas de précaution additionnelle, surtout lorsque le côté non exposé au feu est protégé par l'une des méthodes détaillées précédemment. Une attention particulière doit cependant être portée lorsque l'espace devient plus important, incluant les joints entre les poutres et les colonnes. Ces joints devront être scellés à l'aide d'un dispositif ou d'un scellant coupe-feu adéquat, sauf lorsqu'il est démontré que ces espaces ne sont pas une faiblesse à l'intégrité de l'élément et de l'assemblage.

**Figure 5 Configuration de joints entre panneaux CLT, telle que proposée dans le CNB 2020**

a) Joint à mi-bois



b) Joint à rainure de surface



Il faut également noter que les assemblages et les attaches utilisés pour résister aux charges gravitaires agissant sur la structure doivent avoir au moins le même degré de résistance au feu que les éléments qu'ils supportent. La méthode la plus simple pour augmenter la résistance au feu des attaches métalliques consiste à les dissimuler (figure 6) ou à les protéger contre une exposition au feu par l'emploi d'une épaisseur suffisante de bois (figure 7) ou de tout autre matériau de recouvrement préalablement approuvé pour le degré de résistance recherché.

Le chapitre 6 de la version 2022 du GBBGH fournit de plus amples renseignements quant au calcul de la résistance au feu d'éléments structuraux et quant aux critères d'intégrité et d'isolation d'éléments séparatifs tels que les murs, planchers, toits et cloisons.

**Figure 6 Assemblages et attaches métalliques entièrement dissimulés avant encapsulation**



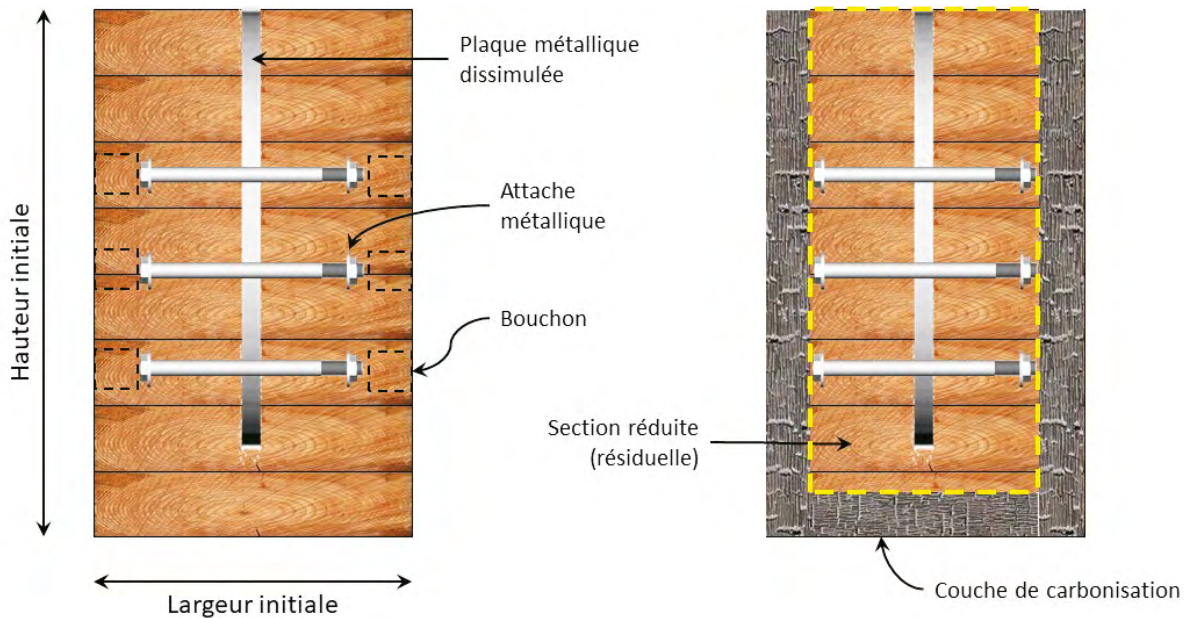
**Figure 7 Assemblages et attaches métalliques recouverts de bois avant encapsulation**



La résistance au feu d'éléments structuraux d'une construction massive en bois requiert de calculer la section réduite selon le temps d'exposition au feu et la vitesse de carbonisation, puis de vérifier la résistance résiduelle de cette section réduite. Cette méthode de calcul de la section réduite est détaillée dans l'annexe B de la norme CSA 086-19 et au chapitre 8 du [Manuel sur le bois lamellé-croisé, édition canadienne de 2019](#).

Si les pièces métalliques d'un assemblage se situent entièrement à l'intérieur de la section réduite d'un élément structural en bois, il est considéré dans la norme CSA O86-19 que les assemblages sont adéquatement protégés puisque le bois formant la section réduite protégera les éléments métalliques contre les effets du feu. La figure 8 illustre un exemple où les attaches sont entièrement situées à l'intérieur de la section réduite après le temps d'exposition au feu. Il est important de noter que les têtes des attaches doivent être protégées par l'utilisation, par exemple, de bouchons de bois d'une épaisseur suffisante pour prévenir leur exposition au feu pendant la durée requise (habituellement égale à l'épaisseur calculée de carbonisation).

**Figure 8 Protection jugée acceptable selon la norme CSA O86-19**



Le degré de résistance au feu de 2 heures requis par les lignes directrices implique que la protection des attaches fasse l'objet d'une étude attentive et détaillée selon le type de construction retenu pour le projet.

Dans une construction massive en bois de type plate-forme, les attaches servant à relier les éléments porteurs aident habituellement à fournir un cheminement des charges latérales (vent et séisme) et ne nécessitent généralement pas de fournir un degré de résistance au feu puisque la défaillance (peu probable) des attaches n'engendrera pas la défaillance structurale du système de résistance aux charges gravitaires. La figure 9 illustre des situations où il n'est pas nécessaire de protéger les attaches contre l'incendie (en presumant qu'aucune encapsulation n'est exigée).

**Selon la conception du système de résistance aux charges latérales, il se peut que les systèmes de résistance aux charges latérales offrent une partie de la stabilité structurale au système de résistance aux charges gravitaires. Dans cette éventualité, les exigences de résistance au feu s'appliquent également à ces systèmes latéraux.**

Cependant, dans le cas des assemblages qui résistent aux charges gravitaires, comme ceux illustrés à la figure 10, les attaches doivent être protégées contre les effets d'un incendie afin de fournir le degré de résistance au feu requis. Dans une *construction massive en bois encapsulé* de plus de 6 étages conçue conformément aux lignes directrices, les attaches doivent être protégées puisque les éléments structuraux doivent être protégés par des matériaux offrant un *degré d'encapsulation* d'au moins 50 minutes. Par ailleurs, les attaches d'une construction autre que de type plate-forme doivent être dissimulées ou recouvertes afin de fournir un degré de résistance au feu suffisant pour que l'assemblage complet offre un degré de résistance au feu total d'au moins 2 heures. Dans les situations où il est permis de laisser des éléments massifs en bois apparents (se référer aux exigences décrites à la section 1.5 de ces lignes directrices), les assemblages et les attaches doivent pouvoir offrir au moins 2 heures de résistance au feu.

**Figure 9 Exemples d'assemblages et d'attaches utilisés dans une construction massive en bois où les assemblages ne sont pas requis de fournir une résistance au feu (encapsulation non illustrée)**

a) Plaques métalliques servant au transfert des charges latérales



b) Cornières métalliques servant au transfert des charges latérales



**Figure 10 Exemples d'assemblages et d'attaches utilisés dans une construction massive où les assemblages peuvent être requis de fournir une résistance au feu (encapsulation non illustrée)**

a) Planchers en *CLT* supportés par des cornières métalliques (protégées par gypse de type X par la suite)



b) Plancher en *CLT* supporté par une lambourde en *bois lamellé-collé* dimensionnée afin de fournir une section résiduelle adéquate



L'utilisation d'assemblages et d'attaches innovants est permise, à la condition que, lorsqu'ils sont exposés à la courbe de température spécifiée à la norme CAN/ULC S101, il soit possible de démontrer que ces assemblages permettent de supporter les charges appliquées pendant la durée requise. Obtenir un rapport d'évaluation du Centre canadien de matériaux de construction est fortement recommandé afin de documenter la performance de ces attaches, notamment pour que les valeurs de résistances structurales soient conformes à la norme CSA O86-19.

## 2.4. Encapsulation

Tous les matériaux de construction subissent des effets thermomécaniques lorsqu'ils sont exposés à un flux de chaleur (dégradation des résistances mécaniques et/ou physiques en fonction de la température). Ainsi, selon le matériau utilisé, il existe plusieurs méthodes pour améliorer leur performance au feu, dont l'encapsulation. Cette méthode est une approche fondamentale dans la protection contre les incendies de tous les matériaux de construction. Elle permet de retarder les effets thermomécaniques d'un incendie sur les éléments structuraux, comme c'est le cas pour la construction incombustible traditionnelle, en plus de retarder la contribution des éléments structuraux en bois à l'incendie.

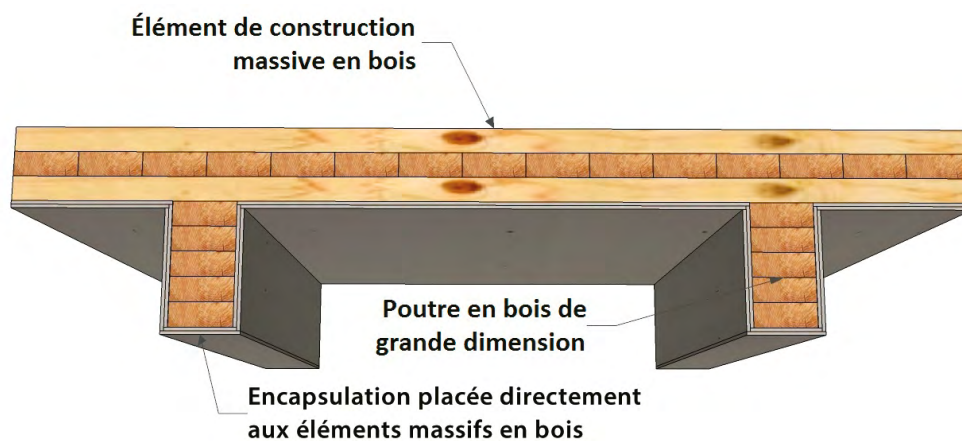
Afin d'évaluer le *degré d'encapsulation* des matériaux ou assemblages de matériaux aux éléments massifs en bois, une nouvelle norme CAN/ULC S146 a été développée conjointement avec le Conseil national de recherches du Canada (CNRC), FPInnovations et le Conseil canadien du bois (CCB). En résumé, cette norme exige qu'un assemblage horizontal d'au moins 13,4 m<sup>2</sup>, dont aucune dimension est inférieure à 3600 mm, soit exposé par le dessous au feu normalisé CAN/ULC S101. La performance de l'encapsulation est mesurée à partir de neuf thermocouples placés stratégiquement à l'interface entre le substrat en bois massif et les matériaux d'encapsulation. La période d'encapsulation est déterminée au moment où l'un des thermocouples atteint une augmentation de température de plus 270 °C au-dessus de la température initiale, ou lorsque la température moyenne atteint une augmentation de température de plus 250 °C au-dessus de la température moyenne initiale. En présumant une température initiale de 20 °C, l'encapsulation est donc limitée à une température ponctuelle de 290 °C, ce qui est inférieure à la température de carbonisation du bois de 300 °C.

À partir d'essais de feux réalisés conformément à la norme CAN/ULC S101 et de feux de compartiments réalisés au cours des dernières années, il est facile de démontrer que l'utilisation de deux panneaux de gypse de type X de 12,7 mm (½ po) permet de respecter les critères de température de la norme CAN/ULC S146 pendant au moins 50 minutes. L'utilisation d'une chape de béton et de gypse d'au moins 38 mm est également jugée satisfaisante pour offrir le *degré d'encapsulation* requis à la face supérieure des éléments de plancher. Comme discuté précédemment à la section 2.3, l'utilisation d'une chape de béton d'au moins 38 mm permet également à la fonction séparative des planchers et des toits d'être respectée.

L'encapsulation est requise pour tous les éléments structuraux d'une *construction massive en bois encapsulé*. Deux méthodes d'encapsulation sont permises, soit l'encapsulation complète ou l'encapsulation à membrane suspendue. L'encapsulation complète consiste à fixer la quantité requise de matériaux d'encapsulation directement sur les éléments de bois (figures 11 et 12), comme deux panneaux de gypse de type X de 12,7 mm d'épaisseur.

**Il est fondamental de bien comprendre et distinguer les concepts de résistance au feu et d'encapsulation. Bien qu'ils soient complémentaires, les temps assignés à l'un ne correspondent pas nécessairement aux mêmes temps assignés à l'autre. Par exemple, un degré d'encapsulation de 50 minutes est attribué à l'utilisation de deux panneaux de gypse de type X de 12,7 mm d'épaisseur, alors que leur contribution à la résistance au feu d'un élément structural massif en bois selon la norme CSA O86-19 est de 60 minutes.**

**Figure 11 Encapsulation complète directement fixée sur les éléments en bois**

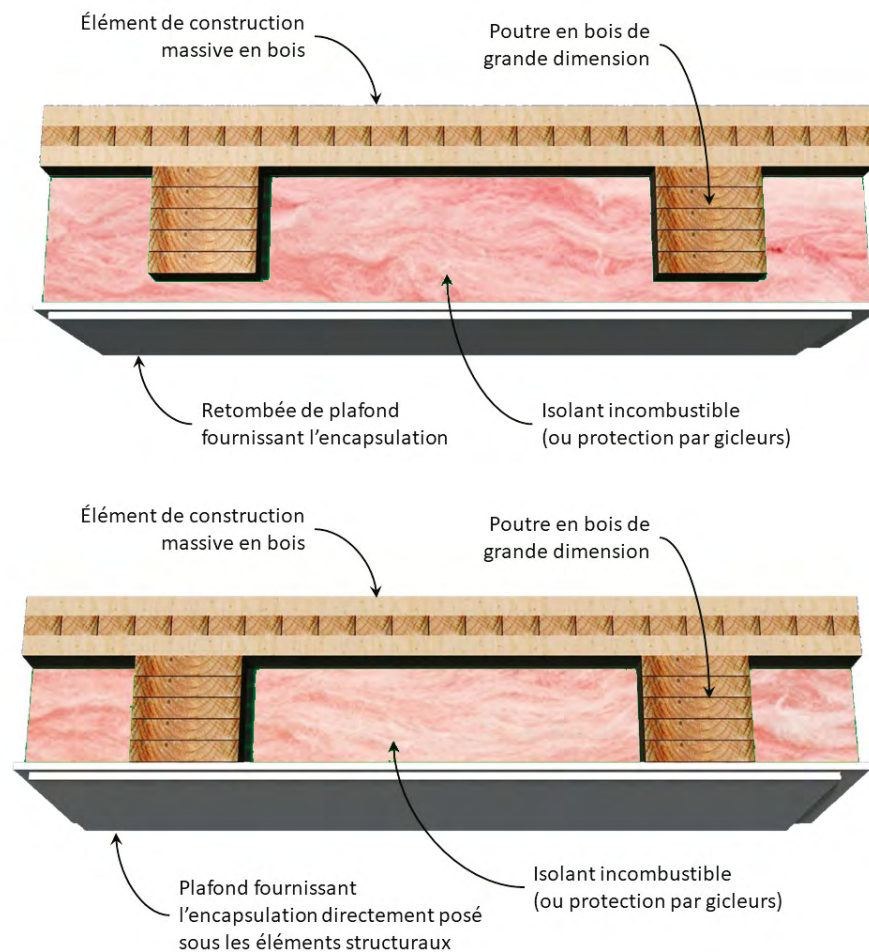


**Figure 12 Installation de la première couche d'encapsulation (source : J.-F. Grandmont, 2017)**



L'encapsulation suspendue consiste, quant à elle, à utiliser des matériaux ou des assemblages qui ne sont pas fixés directement sur les éléments de bois, mais qui permettent de respecter les critères de performance de la norme CAN/ULC S146 pendant au moins 50 minutes (figure 13). On pourrait considérer ici un gypse posé sur des fourrures ou à un plafond suspendu. Cependant, il est à noter que pour cette méthode d'encapsulation suspendue, l'assemblage doit avoir été soumis à l'essai normalisé CAN/ULC S146. Il est également obligatoire que le vide de construction horizontal situé entre la membrane de gypse servant d'encapsulation et l'élément massif en bois soit entièrement rempli d'isolant incombustible ou protégé par gicleurs. Il est à noter que des panneaux de gypse installés sur des fourrures créant un espace d'air d'au plus 25 mm est permis dans une *CMBE*. Il n'est donc pas requis de tester cette configuration selon la norme CAN/ULC S146.

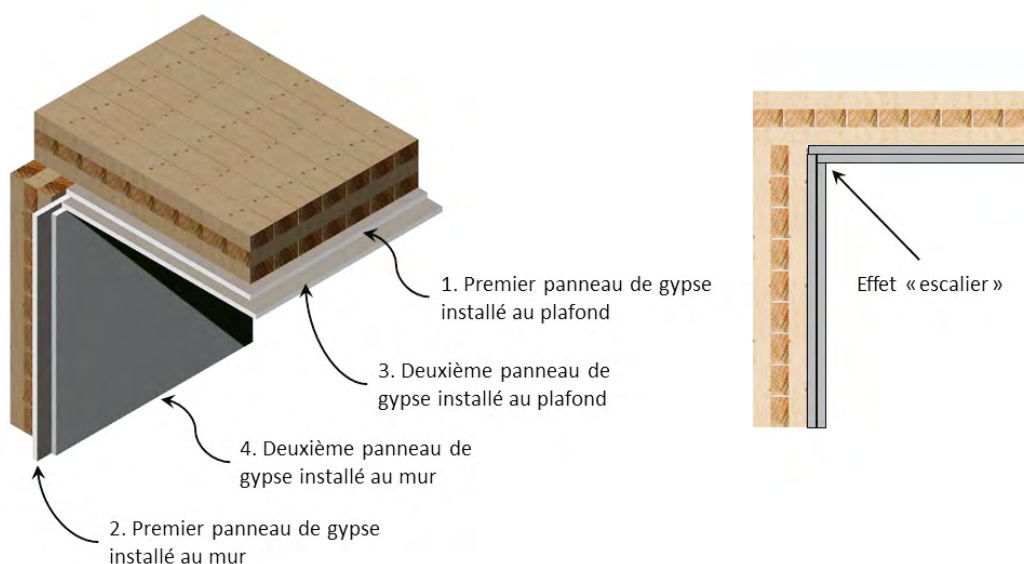
**Figure 13 Encapsulation à membrane suspendue**



Par exemple, lorsque plusieurs couches de panneaux de gypse de type X sont utilisées, seuls les joints de la couche de surface et les têtes de vis doivent être recouverts de ruban et composés à joints. Lorsque possible, les extrémités des panneaux doivent être décalées d'au moins 400 mm par rapport à ceux des couches sous-jacentes. Les attaches doivent être décalées d'au moins 100 mm dans les deux directions orthogonales par rapport aux attaches des couches sous-jacentes. À la jonction d'un mur et d'un plafond, les panneaux de gypse doivent être installés séquentiellement de manière que le panneau du plafond soit installé en premier, suivi de celui du mur et ainsi de suite. Cet agencement en « escalier » permet aux extrémités des panneaux du plafond d'être supportées par les panneaux du mur (figure 14). À la jonction entre deux murs, tous les panneaux à appliquer sur le mur devant offrir le plus grand degré de résistance au feu doivent être installés en premier, suivis de ceux installés sur l'autre mur.

**L'installation de matériaux offrant le degré d'encapsulation doit être effectuée de façon séquentielle et adéquate afin que ces matériaux offrent le niveau de performance requis.**

**Figure 14** Installation des panneaux de gypse en « escalier »



## 2.5. Bois apparent

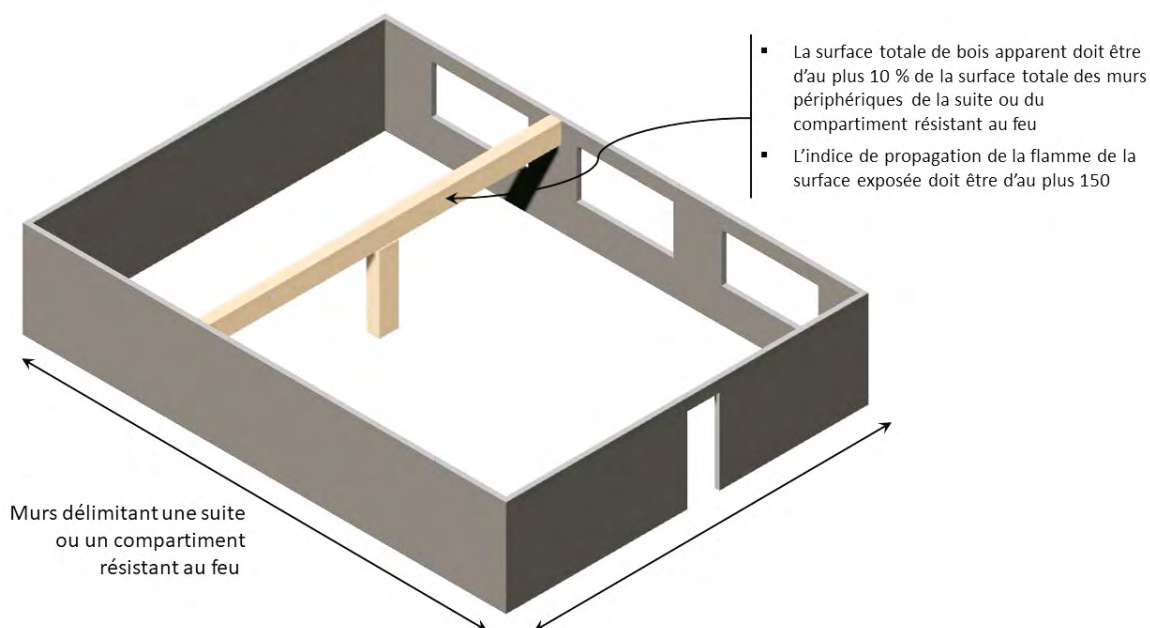
Un incendie peut être divisé en deux étapes fondamentales, soit 1) l'inflammation et la croissance (étape précédant l'embrasement général) et 2) le développement complet (étape suivant l'embrasement général). Après l'embrasement général, le feu est principalement contrôlé par des facteurs de ventilation (apport en oxygène limité), de sorte que la présence d'éléments massifs en bois ou combustibles supplémentaires n'augmentera pas de façon notable la température ou l'effet sur les séparations coupe-feu. Cependant, elle peut augmenter la durée de l'incendie jusqu'à l'épuisement des flammes.

Un bon nombre d'essais de feux de compartiments ont été réalisés au cours de la dernière décennie, notamment par le CNRC et Carleton University au Canada, le USDA Forest Products Laboratory aux États-Unis et RISE en Suède (autrefois appelé SP Technical Research Institute of Sweden), pour ne nommer que ceux-ci. Ces essais ont servi à évaluer les effets d'éléments massifs en bois exposés sur la dynamique incendie et à déterminer des paramètres acceptables afin que cette dynamique soit similaire à celle d'un compartiment construit à partir d'une construction incombustible où, comme présumé implicitement dans le Code, un incendie s'éteindra de lui-même à la suite de la combustion complète de la charge combustible se trouvant à l'intérieur d'un compartiment résistant au feu.

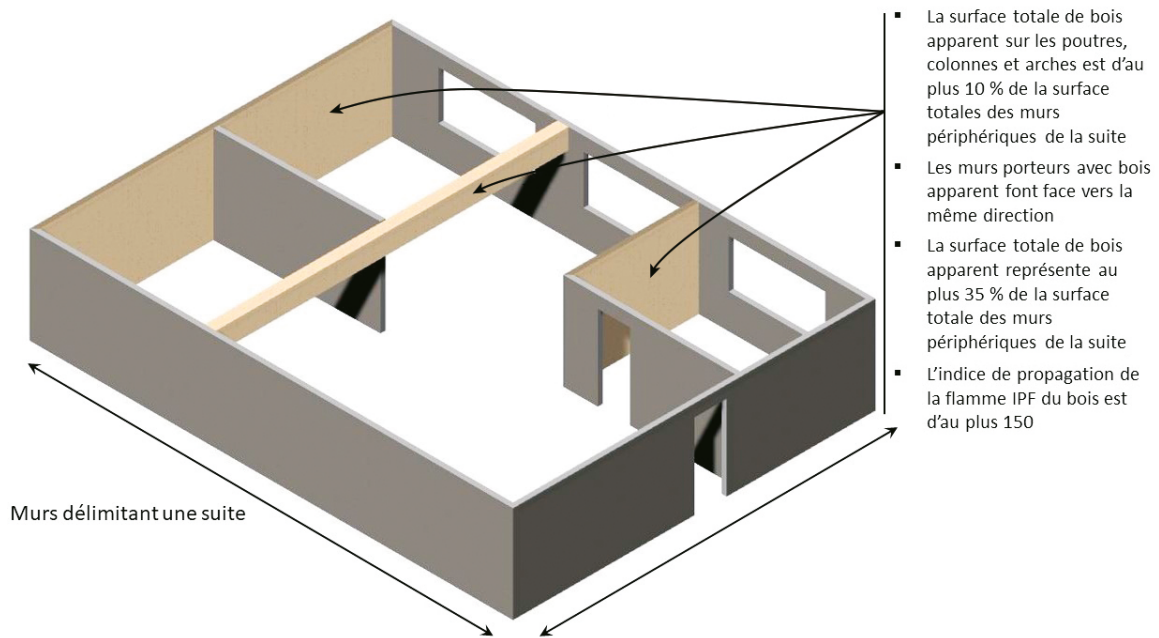
**À partir des résultats de recherche, une quantité de surfaces exposées a été déterminée pour la construction massive en bois encapsulé permettant de respecter les objectifs du Code.**

Si les poutres, les colonnes, les murs et/ou les plafonds demeurent exposés, différentes proportions doivent être respectées, comme illustré aux figures 15 à 17. Également, dans le but de limiter le rayonnement thermique émis par la combustion des surfaces exposées, les murs exposés dans une suite doivent être positionnés de façon que les faces exposées soient orientées dans la même direction (figure 18). Une demande de mesures équivalentes doit être présentée à la RBQ si plus de surfaces exposées ou d'autres configurations sont souhaitées.

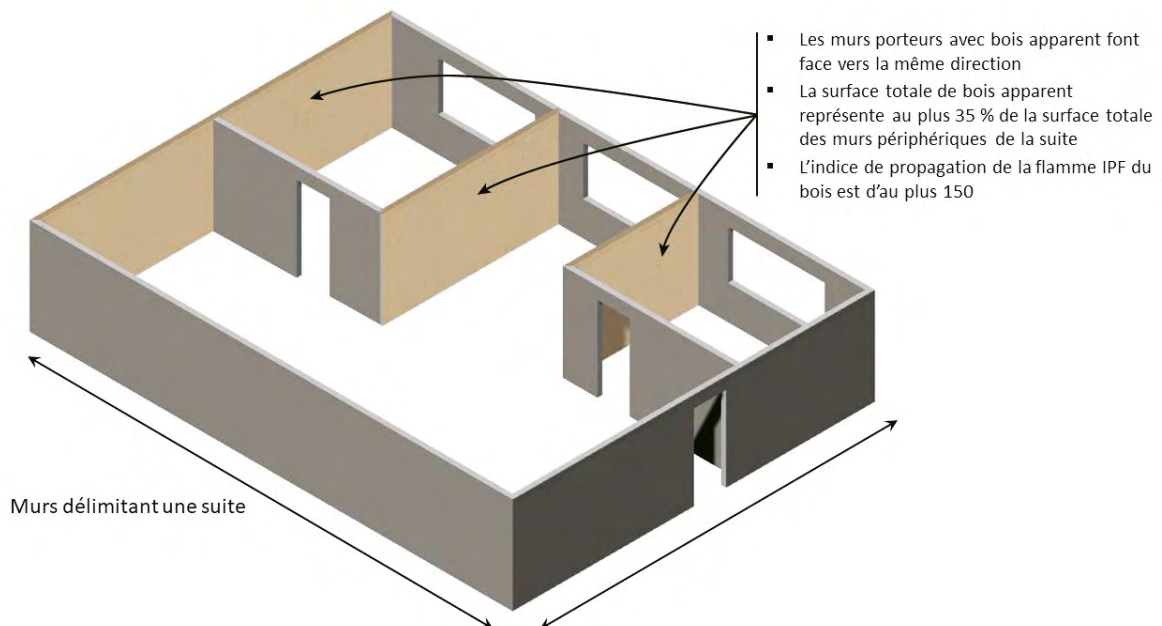
**Figure 15 Poutres, colonnes et arches exposées à l'intérieur d'une suite ou d'un compartiment résistant au feu**



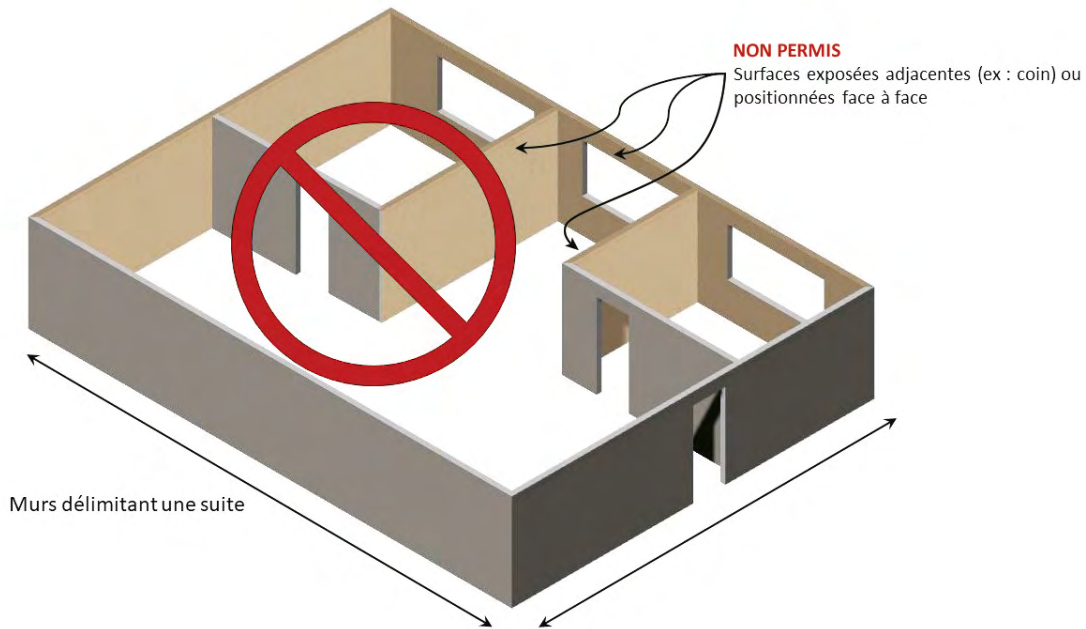
**Figure 16 Combinaison d'éléments massifs en bois exposés à l'intérieur d'une suite**



**Figure 17 Murs exposés à l'intérieur d'une suite**



**Figure 18 Configuration non permise (p. ex. : coins ou murs face à face)**



## 2.6. Pénétrations techniques dans les séparations coupe-feu

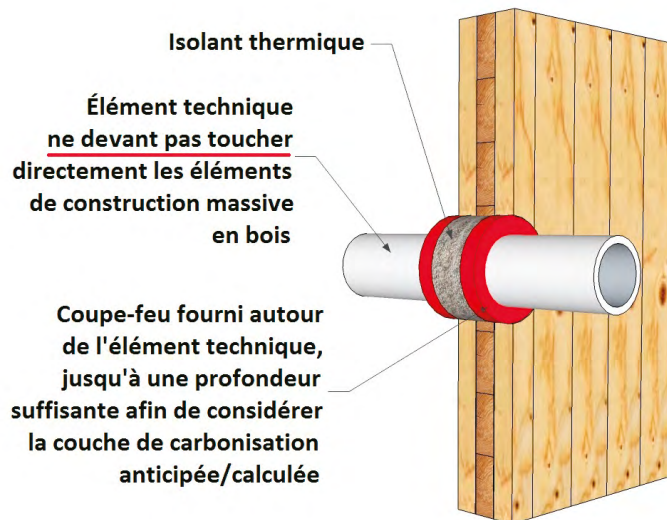
Afin de préserver l'intégrité et la continuité d'une séparation coupe-feu, il convient de s'assurer que toute pénétration traversant une séparation coupe-feu ou une paroi faisant partie d'un ensemble de construction pour lequel un degré de résistance au feu est exigé soit obturée par un coupe-feu qui, lorsqu'il est soumis à l'essai selon la norme CAN/ULC S115 (figure 19), obtient une cote F au moins égale au degré pare-flamme exigé pour les dispositifs d'obturation dans une séparation coupe-feu verticale conformément au tableau 3.1.8.4 de la division B du Code ou une cote FT dans le cas d'une séparation coupe-feu horizontale.

**Figure 19 Dispositifs coupe-feu pénétrant du bois lamellé-croisé et évalués selon la norme CAN/ULC S115 (source : Intertek)**



Bien que le concept de protection soit identique pour tous les types de construction, il est important de porter une attention particulière aux détails d'installation des éléments traversant la séparation coupe-feu, afin d'empêcher que la chaleur induite puisse entraîner une carbonisation prématurée du bois et facilite le passage de flammes. Cet aspect est tout particulièrement important pour les éléments verticaux où il est pratique courante de laisser les éléments pénétrants s'appuyer sur l'élément structural ou non structural avant de sceller l'ouverture. La figure 20 illustre une méthode d'installation où un isolant thermique incombustible est installé tout autour de l'élément pénétrant afin de limiter la conduction thermique à l'élément en bois.

**Figure 20 Protection d'une pénétration technique dans un élément vertical**



Certaines compositions de mur ou de cloison de construction massive en bois comportent un espace d'air entre le panneau de bois et les montants pour des raisons d'isolation sonore, mais également pour permettre un meilleur ajustement des matériaux. À la jonction de tels murs avec un plafond comportant une retombée en gypse, l'espace d'air à l'intérieur du mur ne doit pas communiquer avec le vide technique horizontal, puisque le mur doit se prolonger jusque sous la dalle de plancher.

Toute porte utilisée pour fermer une ouverture dans une séparation coupe-feu est considérée comme un dispositif d'obturation, au sens du Code, et doit être installée conformément à la norme NFPA 80 « Fire Doors and Other Opening Protectives » et être évaluée à partir de la norme CAN/ULC S104 « Standard Method for Fire Tests of Door Assemblies ». Une attention particulière doit cependant être apportée quant aux détails au périmètre de ces portes afin de limiter le transfert de chaleur et la carbonisation aux éléments massifs en bois. L'utilisation de laine incombustible (de roche) et d'un scellant coupe-feu peut s'avérer nécessaire afin de remplir les cavités pouvant induire de la chaleur ou faciliter le passage de gaz chauds ou de flammes. De plus amples informations sont fournies au chapitre 8 du [Manuel sur le bois lamellé-croisé, édition canadienne de 2019](#).

**Une surveillance des travaux est exigée lors de la construction, notamment afin que la protection aux pénétrations techniques et aux dispositifs d'obturation soit assurée de façon adéquate et minutieuse.**

## 2.7. Vides techniques verticaux et cages d'escalier

Il existe une variété de méthodes de construction pour réaliser les vides techniques verticaux et pour atteindre le niveau de performance requis. Dans certains cas, une construction de type plate-forme est utilisée, et les éléments constituant les parois du vide technique sont ainsi discontinués à tous les planchers. Lors d'une construction à « claire-voie », les parois du vide technique sont continues en hauteur et les planchers sont reliés sur le côté de ces parois à partir d'assemblages métalliques, de lambourdes ou de murs porteurs situés le long des parois. Dans tous les cas, l'étanchéité des jonctions entre les planchers et les murs formant la paroi du vide technique doit être assurée par l'emploi d'un matériau scellant préalablement évalué selon la norme CAN/ULC S115.

De plus, il faut concevoir les éléments, y compris les assemblages, les attaches et leurs supports, de manière que leur défaillance en cas d'incendie ne menace pas l'intégrité du vide technique vertical (intégrité structurale et étanchéité contre les flammes et la fumée). Le commentaire C du *Guide de l'utilisateur – Commentaires sur le calcul des structures* fournit des renseignements utiles sur l'intégrité structurale des murs coupe-feu, dont la philosophie s'applique entièrement aux vides techniques verticaux comme les gaines d'ascenseur et les escaliers d'issue. Il est fortement recommandé aux concepteurs d'étudier ce commentaire afin de bien concevoir les assemblages et leurs attaches.

Les escaliers d'issue font partie des moyens d'évacuation du bâtiment et permettent aux occupants d'atteindre un endroit sécuritaire non exposé au feu provenant du bâtiment. Ces escaliers d'issue servent également de chemin d'accès pour les intervenants d'urgence. Bien que les escaliers en ciseaux puissent être plus attrayants d'un point de vue architectural, ils ne sont pas permis dans ces types de bâtiment, puisqu'ils peuvent compromettre l'étanchéité à la fumée en raison des percements possibles d'un escalier à l'autre. Advenant qu'un des escaliers en ciseaux ou l'intégrité des parois deviennent compromis, l'autre escalier deviendra fort probablement compromis lui aussi. Ainsi, l'utilisation de cages distinctes et séparées les unes des autres permet de fournir un moyen plus sécuritaire d'évacuation des occupants et un chemin d'accès sécuritaire aux intervenants.

## 2.8. Système de gicleurs

Tous les bâtiments de plus de 6 étages doivent être entièrement protégés par gicleurs, conformément à l'article 3.2.2.18. de la division B du Code. Par ailleurs, le système de gicleurs doit être conçu, construit, installé et mis à l'essai conformément à la norme NFPA 13 afin de respecter les objectifs et énoncés fonctionnels [F02, F04-OS1.2, OS1.3, OP1.2, OP1.3], et ce, pour tous les types de construction.

Conformément à la norme NFPA 13, lorsqu'une cage d'escalier d'issue est construite à partir d'une charpente en bois, au moins une tête de gicleur automatique doit être installée sous tous les paliers des escaliers d'issue, alors que seulement deux têtes au total sont requises lorsque la cage d'escalier est de construction incombustible. De ce fait, le niveau de protection active contre l'incendie est accru à l'intérieur de la cage d'escalier d'issue. La norme NFPA 13 (2019) fournit de plus amples informations quant aux exigences de protection par gicleurs dans les cages d'escalier.

L'ingénieur en structure doit également concevoir les attaches du système de gicleurs afin qu'elles résistent aux forces sismiques, conformément à l'article 4.1.8.18. de la division B du Code et aux exigences stipulées dans la norme NFPA 13. Des détails d'installation supplémentaires doivent ainsi être élaborés pour soutenir adéquatement la tuyauterie dans les sens gravitaire et latéral. De plus amples renseignements sur le calcul des effets attribuables aux séismes et sur les exigences de l'article 4.1.8.18. peuvent être obtenus dans le *Guide de l'utilisateur – Commentaires sur le calcul des structures*.

## 2.9. Éléments combustibles permis

Le Code permet une quantité d'éléments combustibles dans un bâtiment requis d'être de construction incombustible, ceci basé sur l'hypothèse que ces éléments auront une contribution peu significative sur la dynamique incendie. Ainsi, sous réserve de la section 1.9 de ce document, la majorité des éléments combustibles permis dans une construction incombustible sont aussi permis dans une *construction massive en bois encapsulé*.

L'utilisation de traitement de surface peut s'avérer une option intéressante pour les concepteurs désirant laisser le bois apparent et pour répondre aux exigences les plus strictes du Code en matière d'indice de propagation de la flamme. Bien que les fournisseurs de ces traitements de surface aient effectué des essais normalisés conformément à la norme CAN/ULC S102 pour démontrer l'efficacité de leur produit (IPF d'au plus 25), plusieurs essais ont été réalisés uniquement avec des planches de sapin Douglas. Par conséquent, il est primordial de consulter les fournisseurs afin de s'assurer d'obtenir une confirmation que le produit est compatible avec le produit à traiter (p. ex. : essence de bois, masse volumique, etc.) et d'obtenir les méthodes d'entretien pour assurer la durabilité à long terme (p. ex. : dégradation aux UV, lessivage, etc.).

Par ailleurs, il est stipulé dans le Code que certaines exigences d'indice de propagation de la flamme (IPF) dans les issues s'appliquent à toute surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens. Cette exigence vise essentiellement à limiter l'utilisation de traitements de surface pour répondre aux exigences d'IPF.

Lorsque la démonstration de la performance de l'IPF dans n'importe quel sens n'est pas exigée, l'utilisation d'un traitement de surface pour conserver des surfaces apparentes devient permise, incluant les éléments structuraux et les bois de finition intérieure.

Il est à rappeler que plusieurs produits sont testés conformément à la norme américaine ASTM E84, qui n'est pas tout à fait équivalente à la norme canadienne CAN/ULC S102. Une attention particulière doit être portée afin d'évaluer la transférabilité et la validité de résultats d'essais américains en contexte canadien, et d'obtenir l'approbation de la RBQ par le biais d'une mesure équivalente.

**Un bois ayant un traitement de surface pour réduire son indice de propagation de la flamme ne satisfait pas aux exigences d'un bois ignifugé, au sens du Code.**

## 2.10. Vides de construction

Les exigences stipulées au Code et dans ce document visent à limiter le risque de propagation d'incendie dans les vides de construction, et par conséquent de propager un incendie au-delà de son point d'origine. Ainsi, des principes de compartimentation dans ces vides de construction ont été établis afin de respecter les objectifs du Code. Les vides de construction doivent respecter un maximum de volumétrie et être adéquatement compartimentés à partir de matériaux pare-feu.

Par ailleurs, bien que la norme NFPA 13 permette l'omission de protection par gicleurs dans les vides de construction selon certaines conditions, un espace d'air de toute dimension doit être entièrement rempli par un isolant incombustible ou protégé par gicleurs en vertu de ce document. Cette protection par gicleurs n'est pas requise lorsque les surfaces exposées dans le vide de construction sont encapsulées ou si l'espace d'air créé par des bandes de clouage est d'au plus 25 mm.

## 2.11. Séparation des milieux différents

### Gestion de l'humidité

Une gestion appropriée de l'humidité est d'une grande importance afin d'obtenir une performance durable des bâtiments en bois. Les principales sources d'humidité dans les enveloppes des bâtiments sont la pluie, la neige et la glace, l'humidité du sol, l'humidité intrinsèque des matériaux de construction et la vapeur d'eau. La neige et la glace sont des sources potentielles d'eau et contribuent au risque de pénétration de l'eau et de dommages matériels (charges de neige ou glace sur le toit). L'humidité du sol est le facteur déterminant pour la conception des assemblages sous le niveau du sol, qui sont généralement construits en béton. Un niveau de détails élevé doit être porté à la conception des composants structuraux en bois près du niveau du sol ou en contact avec le sol dans le cas des grands bâtiments en bois. Les occupants génèrent également une quantité importante d'humidité intérieure, qui devrait être prise en considération dans la conception.

La relation entre l'environnement intérieur et l'enveloppe du bâtiment est influencée par de nombreux facteurs, y compris les détails d'assemblage ; l'étanchéité à l'air ; la conception et le fonctionnement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) ; l'aménagement de l'espace intérieur ainsi que le type d'utilisation et d'occupation de l'espace. En raison de la nature de l'occupation et des systèmes de ventilation typiques utilisés, les bâtiments résidentiels ont tendance à avoir des niveaux d'humidité intérieurs plus élevés que les bâtiments commerciaux ou institutionnels et, par conséquent, les conceptions d'enveloppes de bâtiments résidentiels doivent généralement considérer un mouillage provenant de sources internes plus élevé.

### Retrait du bois et incidence sur l'enveloppe

Le retrait du bois entrant dans la construction d'immeubles de grande hauteur est un phénomène de première importance. Il est attribuable aux changements des dimensions des pièces de bois en réponse à la variation de leur teneur en humidité (TH). Dans les bâtiments en bois de grande hauteur, il faut porter une attention particulière au retrait du bois en raison de l'effet cumulatif de la variation des dimensions d'éléments en bois.

Avec le temps, la TH atteint un équilibre avec l'humidité relative de l'air entourant le bois. La TH du bois d'ingénierie qui est utilisé dans la construction massive en bois se situe dans une plage de 12 à 16 %, soit un taux bien inférieur au point de saturation de la fibre (environ 30 %), mais supérieur au degré d'humidité d'équilibre que l'on trouve à l'intérieur des bâtiments (environ de 5 à 15 % en fonction des saisons).

Par conséquent, il faut prévoir une période de retrait initial des éléments en bois des bâtiments à *construction massive en bois encapsulé*, puis une variation de leurs dimensions durant l'année compte tenu de la variation de l'humidité relative à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment. L'humidité relative moyenne de l'air intérieur est habituellement plus élevée durant l'été que durant l'hiver, en raison du chauffage en période froide. La TH du bois peut alors varier de 15 à 5 % (et peut varier davantage dans les murs extérieurs). Ainsi, le bois présent dans les éléments d'un bâtiment se dilate durant l'été et se rétracte durant l'hiver. Il est donc important de prévoir le mouvement potentiel dû au retrait dans l'ensemble des composants structuraux et non structuraux susceptibles d'être affectés.

## Transport de l'eau sous forme liquide et de vapeur

La conception et la construction d'une enveloppe de bâtiment, aux fins de la gestion de l'humidité, constituent un processus d'équilibre entre les mécanismes d'entrée d'humidité (mouillage) et les mécanismes d'élimination de l'humidité (séchage). Les mécanismes de mouillage comprennent l'humidité extérieure (pluie, eaux souterraines, neige, verglas, vapeur) et l'humidité intérieure pendant la durée en service du bâtiment, ainsi que l'humidité générée lors de la construction. Les mécanismes de séchage comprennent le drainage, le débit d'air et la diffusion de la vapeur. Le bois a une capacité intrinsèque de stocker l'humidité ou d'agir comme tampon d'humidité. Cette capacité de stockage de l'humidité permet, à des niveaux modérés, l'augmentation saisonnière ou soudaine de l'humidité jusqu'à ce que le séchage se produise.

Un déséquilibre dans le mouillage, le séchage et le stockage sécuritaire peut entraîner une accumulation d'humidité et une détérioration de matériaux sensibles à l'humidité. Le transfert de chaleur à travers l'enveloppe d'un bâtiment joue un rôle important dans la détermination de l'équilibre de ces mécanismes. Les enveloppes de bâtiment à haute performance énergétique sont potentiellement plus sensibles à l'accumulation d'humidité et ont sans doute une plus petite tolérance à l'humidité que les enveloppes moins isolées, en raison de la réduction du flux de chaleur à travers l'assemblage, des températures plus basses des composants extérieurs et du potentiel de séchage plus faible qui y est associé. Pour améliorer l'équilibre en faveur du séchage, des stratégies telles que placer l'isolation sur le côté extérieur de la structure en bois sont employées, car elles aident à maintenir le bois chaud et habituellement plus sec en raison d'un plus grand potentiel d'évaporation et de diffusion. Les larges éléments en bois comme le *CLT*, *SCL*, *MLT*, et *bois lamellé-collé* ont une section transversale beaucoup plus élevée que les éléments à ossature légère et les revêtements en contreplaqué, et ont donc une capacité de stockage d'humidité plus élevée. Il est établi que l'humidité absorbée dans un assemblage massif en bois séchera à un rythme beaucoup plus lent qu'une ossature légère et un revêtement en panneau mince.

Pour éviter la dégradation du bois, il est essentiel de bien concevoir les assemblages afin d'éloigner les éléments de l'eau liquide et de l'humidité élevée. Une enveloppe de bâtiment bien conçue protégera les éléments en bois une fois qu'elle sera entièrement construite. L'exposition à l'humidité et le mouillage du bois lorsqu'il est exposé pendant la construction peuvent être importants et avoir des incidences à long terme sur l'assemblage. Par conséquent, la protection contre l'humidité en phase de construction est à considérer.

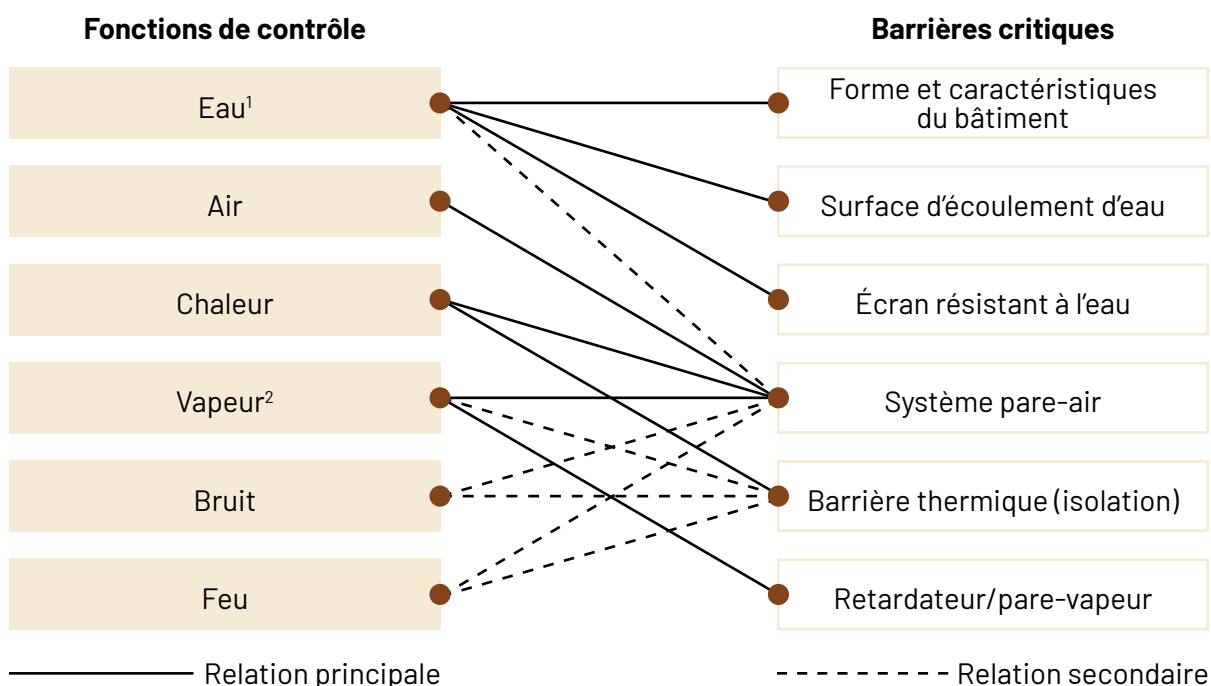
## Plans de protection

Divers détails et matériaux sont utilisés dans les assemblages afin d'effectuer des fonctions spécifiques de contrôle. Les propriétés des matériaux et la fonction voulue dicteront leur emplacement. La notion de fonctions de contrôle, et plus spécifiquement de plans de protection, peut être utilisée pour expliquer la fonction des différents matériaux et composants dans les enveloppes de bâtiment. Les fonctions de contrôle suivantes sont généralement considérées : l'eau (précipitations, sol), la vapeur d'eau, l'air, la chaleur, le son, le feu, la lumière et les contaminants. La finition intérieure et extérieure peut également être considérée comme fonction de la couche de contrôle.

Le terme « barrière critique » est utilisé pour décrire les couches et les composants qui doivent être essentiellement continus pour que l'enveloppe remplisse ses fonctions de contrôle. Des barrières critiques spécifiques sont également définies à l'intérieur d'une enveloppe, comme un retardateur/pare-vapeur ou un pare-air. Une surface d'écoulement d'eau (premier plan de protection, selon la terminologie du Code) et une barrière résistante à l'eau (deuxième plan de protection) servent de stratégies de contrôle de la pénétration de l'eau. En plus du retardateur/pare-vapeur, du pare-air et des couches primaires de contrôle de l'humidité, l'isolation thermique, la forme et les caractéristiques du bâtiment peuvent être évaluées. Les couches de lutte contre le bruit et le feu pourraient également être évaluées de la même façon.

Pour établir le lien entre le concept de fonctions de contrôle et la barrière critique connexe, la figure 21 montre les relations primaires et secondaires connexes.

**Figure 21 Plans de protection de l'enveloppe du bâtiment et leurs fonctions barrières associées**



1. Eau désigne ici les précipitations (pluie, neige, grêle, etc.) et l'eau de surface.

2. Vapeur désigne ici, de façon distincte, la vapeur d'eau dans l'air et la condensation d'humidité.

Dans les grands bâtiments en bois, de nombreux assemblages et détails seront nouveaux ou peu familiers aux équipes de conception et aux entrepreneurs. L'application du concept de barrière critique aidera toutes les parties à mieux comprendre le rôle et l'importance ou les fonctions de certains matériaux et détails.

## Surface d'écoulement

En général, la surface d'écoulement de l'eau est la surface extérieure des assemblages, des interfaces et des détails qui dévieront et/ou draineront la grande majorité de l'eau extérieure de l'assemblage. Certaines surfaces d'écoulement effectuent également une fonction barrière résistante à l'eau. La surface d'écoulement réduit la charge de pluie sur les éléments sous-jacents de l'assemblage. Pour les assemblages muraux, la surface d'écoulement est la surface de revêtement extérieur ; pour les toits conventionnels, c'est la membrane de toiture ; et pour les toits à membrane protégée, c'est la surface supérieure de l'isolant. Les concepteurs doivent considérer le pouvoir d'écoulement et d'éloignement de l'eau des différents revêtements disponibles sur le marché. Pour des raisons architecturales, certains revêtements présentent des joints ouverts, et des stratégies supplémentaires de protection peuvent être nécessaires afin d'assurer la fonction barrière de ce premier plan de contrôle de l'eau. La surface extérieure de l'enveloppe du bâtiment est également exposée au rayonnement solaire et aux rayons UV et sert de fonction de contrôle solaire.

## Écran résistant aux intempéries

L'écran résistant aux intempéries (ÉRI) est aussi parfois appelé *barrière contre l'humidité*. L'humidité qui pénètre au-delà de la surface d'écoulement de l'eau ruissellera sur la face arrière du parement, soit les lattes, l'isolant extérieur ou la dernière ligne de protection, l'écran résistant aux intempéries. L'ÉRI a une fonction intégrale de contrôle de l'eau et est souvent utilisé pour que les assemblages restent étanches.

Dans les murs isolés par l'extérieur, l'ÉRI peut être la surface de l'isolant si elle est collée et scellée, ou bien il peut s'agir d'une feuille ou d'une membrane de revêtement liquide installée derrière l'isolant sur le panneau de revêtement intermédiaire ou sur la structure en bois. Pour ce faire, il est essentiel que la continuité de l'ÉRI soit maintenue par du ruban et des adhésifs de qualité, et parfois par des projections telles que des solins pour dévier l'eau et assurer le drainage.

Pour de nombreux assemblages muraux standards, l'ÉRI sera la membrane de revêtement et le ruban d'étanchéité en combinaison avec le solin – le plan qui jette toute humidité fortuite hors de l'assemblage. Lorsque l'ÉRI fait également partie du système d'étanchéité à l'air, il sera étanche à l'air par des rubans adhésifs, des joints d'étanchéité et d'autres composants étanches à l'air.

## Système d'étanchéité à l'air

Le pare-air est un système en trois dimensions de matériaux qui contrôle l'écoulement de l'air à travers l'enveloppe du bâtiment, que ce soit de l'extérieur vers l'intérieur ou vice versa. Le débit d'air a une incidence significative en ce qui concerne le flux de chaleur, la condensation interstitielle de vapeur et le contrôle de pénétration de la pluie. Un bon contrôle du débit d'air est particulièrement important pour les enveloppes de bâtiment à base de bois à efficacité thermique élevée. Le système pare-air nécessite d'être continu, avec chevauchement des matériaux imperméables à l'air ou scellement à tous les joints et pénétrations des conduites et tuyaux. La gestion efficace du flux d'air dans l'enveloppe aide également à minimiser les transferts du son, de la fumée, du feu, des particules aériennes et des contaminants.

## Isolation thermique

La mise en place et la continuité de l'isolation thermique sont des facteurs importants d'une enveloppe de bâtiment efficace thermiquement. Bien qu'ils ne soient généralement pas considérés comme une barrière critique et davantage comme une fonction de contrôle, les matériaux d'isolation thermique et la continuité de la ligne d'isolation sont nécessaires dans leur apport au système d'enveloppe. L'identification de cette continuité permet d'établir où sont les ponts thermiques ou les discontinuités thermiques qui devraient être traitées dans la conception par un souci d'isolation supérieure. À l'intérieur d'un bâtiment en bois, la principale résistance au flux de chaleur est fournie par les matériaux traditionnels d'isolation thermique ; toutefois, les éléments de bois de grande dimension, comme les panneaux CLT, fournissent une certaine valeur isolante et, de par leur nature, sont souvent installés de façon continue. Une attention particulière doit être portée aux attaches métalliques qui présentent une conductivité thermique plus élevée et qui sont susceptibles de créer des ponts thermiques et de la condensation, ce qui entraînerait de la dégradation à long terme.

## Pare-vapeur

La couche de contrôle de la diffusion de la vapeur est constituée d'un matériau qui retarde ou arrête (fonction barrière) l'écoulement de la vapeur d'eau en raison des différences de pression de vapeur entre les couches de l'enveloppe. Dans les climats froids, comme au Canada, un retardateur de vapeur ou un pare-vapeur est habituellement placé à l'intérieur de la couche isolante (du côté chaud ou à haute pression de vapeur) pour contrôler la diffusion de la vapeur de l'intérieur (côté chaud) vers l'extérieur (côté froid) tout au long des saisons où le chauffage est prédominant. Il est à noter que la direction du débit de vapeur peut être inversée en été, surtout lorsqu'un climatiseur est utilisé. La couche témoin de diffusion de la vapeur (c'est-à-dire le pare-vapeur ou le retardateur) n'est généralement pas considérée comme une barrière critique. Selon la partie 5 du Code, les couches de contrôle de la diffusion de la vapeur ne sont pas requises dans l'enveloppe si la diffusion incontrôlée de la vapeur n'affecte pas la santé ou la sécurité des occupants du bâtiment, l'utilisation prévue du bâtiment ou l'exploitation des services du bâtiment. La continuité de la couche de contrôle de la vapeur n'est pas requise pour contrôler adéquatement la diffusion de la vapeur dans la plupart des cas. Le contrôle de la diffusion de la vapeur ne doit pas être confondu avec le contrôle du débit d'air (pare-air). La continuité et l'étanchéité des détails des pare-air sont très importantes. Par conséquent, si le même matériau est utilisé pour contrôler à la fois la diffusion de vapeur et le débit d'air, il doit être ensuite scellé comme le pare-air.

## Caractéristiques architecturales

La forme et les caractéristiques du bâtiment, y compris les porte-à-faux, les balcons, les auvents et autres éléments en saillis, jouent également une fonction importante de l'enveloppe. Ces éléments détournent la pluie, fournissent un ombrage du soleil et redirigent le vent. La protection offerte par ces éléments peut permettre l'utilisation d'autres stratégies de contrôle de l'eau dans les aires protégées. Pour cette raison, des éléments comme les auvents et les grands porte-à-faux peuvent être considérés comme faisant partie de l'analyse des barrières critiques. À l'inverse, les balcons et autres éléments architecturaux extérieurs peuvent s'avérer constituer des configurations propices aux infiltrations d'eau, à moins qu'ils soient soigneusement conçus pour l'empêcher. La criticité de la forme du bâtiment dépend également des caractéristiques climatiques, en particulier des précipitations. Dans les zones climatiques chaudes et sèches, la nécessité d'envisager la forme des bâtiments du point de vue de la gestion des eaux de pluie est moins critique. Le *Joint Professional Practice Guidelines* (2021) présente des détails de conception et d'assemblages recommandés pour la présence de balcons dans une *construction massive en bois encapsulée*.

Les barrières critiques (c'est-à-dire pare-air, retardateurs de vapeur, barrières résistantes à l'eau, surface d'expulsion de l'eau et isolation) doivent être présentes non seulement dans chaque assemblage de l'enveloppe, mais aussi aux interfaces et à travers les détails entre les assemblages, ainsi qu'aux pénétrations à travers ces assemblages. C'est l'une des tâches les plus complexes auxquelles sont confrontés les concepteurs et les constructeurs.

## **Gestion de l'humidité en chantier**

Les stratégies de gestion de l'humidité en chantier doivent avoir pour but de maintenir la teneur en humidité du bois au-dessous du seuil de détérioration et de développement de moisissure. De plus, il faut éviter les variations soudaines de la teneur en humidité afin de réduire au minimum les changements dimensionnels et les tensions à l'intérieur du bois.

### **Planification et conception**

La gestion de l'humidité doit être décidée dès le début de la conception du projet. Selon la conception envisagée, certains risques de mouillage peuvent être amoindris. Le climat et le temps de l'année durant lequel la structure sera érigée peuvent dicter quel type de conception est à éviter, ou au contraire, à privilégier. Les assemblages doivent être conçus afin d'éliminer le potentiel d'accumulation d'eau sur les surfaces horizontales et de toujours permettre un écoulement de l'eau hors de la structure. Une attention doit être portée sur la capacité d'assèchement des parois afin d'assurer une évacuation de l'humidité vers l'extérieur. Les techniques de gestion de l'humidité dans les constructions doivent être étendues sur un maximum des étapes de la réalisation du projet.

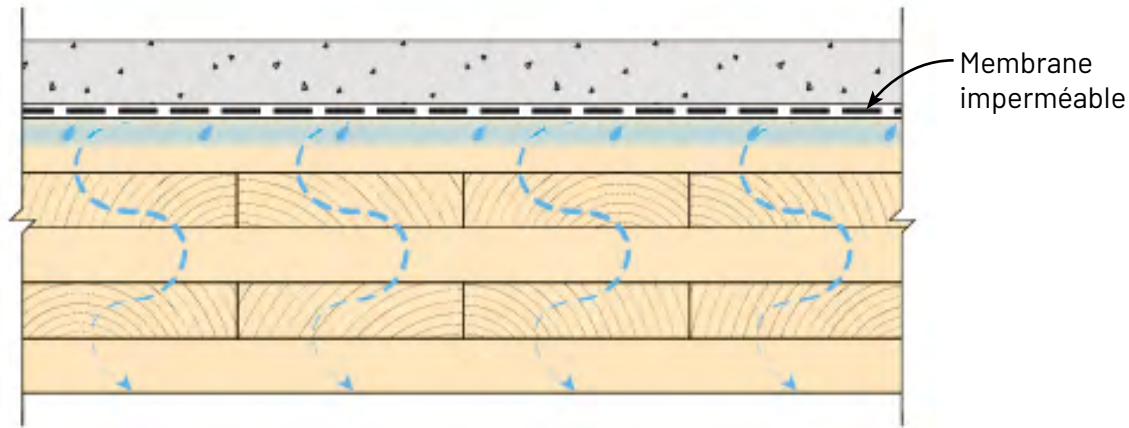
Au stade de conception, il est important de quantifier la période durant laquelle les éléments muraux, de plancher ou de toit de construction massive en bois seront exposés aux intempéries. Le climat, le temps de construction et le stockage sur site sont des facteurs qui permettent de déterminer cette variable. Plus le niveau de préfabrication des panneaux est élevé, plus le temps d'érection de la structure peut être estimé à la baisse. La vitesse d'installation du toit au-dessus d'une structure en bois aura également et fortement une incidence sur le temps d'exposition à la pluie des éléments.

Lorsque le séchage du bois n'est pas limité par une membrane ou un environnement clos après l'installation, une exposition d'un élément de construction massive en bois à la pluie durant quelques semaines n'est pas problématique. Toutefois, lorsque les surfaces horizontales sont laissées durant des mois aux intempéries, l'humidité aura pénétré profondément dans le bois et il sera peu probable d'effectuer un séchage convenable avant le recouvrement des éléments. Les éléments verticaux sont moins susceptibles au mouillage en raison de l'absence d'eau stagnante sur leur surface. Toutefois, les bouts devraient être protégés correctement puisque la perméabilité est largement supérieure dans le sens des fibres du bois. Également, les extrémités près du sol, en contact avec les fondations, sont à risque d'un haut taux d'humidité.

Le séquençage de l'installation des sections du bâtiment est un élément clé d'une bonne gestion de l'humidité. Appliquer un revêtement sur le plancher ou la toiture une fois posé est fortement recommandé. Il peut être temporaire dans le cas d'une membrane de protection, pourvu que celle-ci soit conçue afin d'éviter les infiltrations, c'est-à-dire que cette membrane doit être robuste. Les risques de moisissures sont fort probables si l'eau se retrouve prise entre le bois et la couche de protection alors que le séchage n'est pas réalisable rapidement dans l'échéancier. Pour ce qui est des systèmes de planchers, le moment de pose des membranes acoustiques et des dalles de béton sur les panneaux de bois est un critère à prendre en compte. Tant que les murs extérieurs et le plancher de l'étage supérieur ne sont pas installés, les surfaces horizontales sont exposées aux intempéries. Dans le cas des chapes de béton autonivelantes, un haut taux d'humidité assure une réactivité du béton et des précautions sont

nécessaires. Ainsi, afin de protéger le bois de cet apport en eau non désiré, une membrane imperméable doit être installée à l'interface bois-béton (figure 22). Si le panneau de bois est recouvert par un fini de plancher imperméable lorsque sa teneur en humidité est trop élevée, le séchage sera pratiquement inexistant et prendra des mois ou même des années à s'effectuer. Il ne faut jamais encapsuler les éléments de construction massive en bois lorsque la teneur en humidité est supérieure à 19 %. Il est recommandé de prendre des lectures d'humidité avant d'installer le revêtement final.

**Figure 22 Application d'une membrane pour protéger le CLT à l'humidité dégagée par la chape de béton**

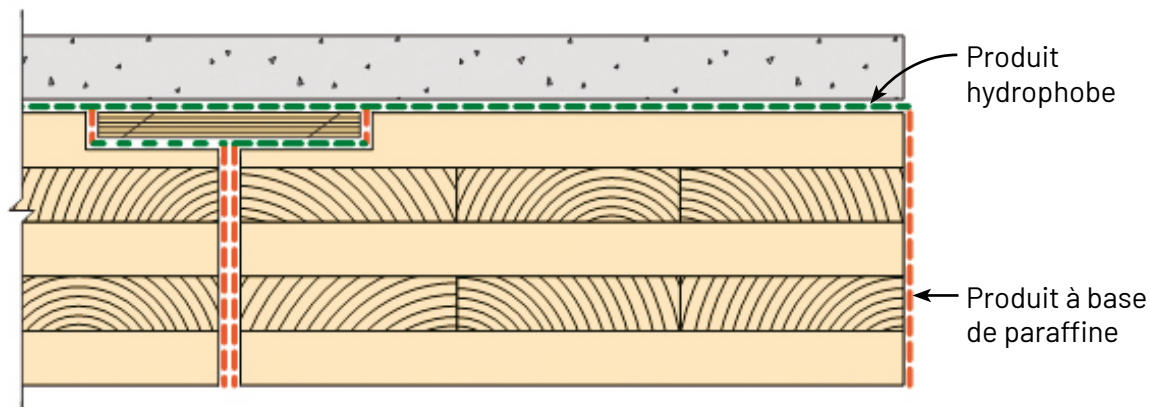


### Méthodes passives

Parmi les méthodes de protections passives, l'ajout d'un enduit hydrophobe applicable directement à l'usine du fabricant ou rapidement après la livraison sur chantier est envisageable. Son utilisation s'avère utile pour les endroits qui sont les portes d'entrée à une forte prise d'humidité. Particulièrement, le scellement des bouts des panneaux où le bois est exposé dans le plan transversal au fil du bois peut être effectué en usine à l'aide d'un produit à base de paraffine. Ce type d'enduit peut servir comme premier plan d'étanchéité dans les trous usinés pour les portes, les fenêtres, les systèmes mécaniques et la plomberie, mais également dans les gerces et fentes visibles des éléments en bois. Sur les surfaces supérieures exposées des panneaux de plancher et de toit, un enduit peut être étendu afin de limiter la pénétration de l'eau. Le produit doit avoir les caractéristiques d'être hydrophobe, tout en adhérant au bois et tout en possédant aussi une certaine perméabilité à la vapeur d'eau afin de garantir le séchage après mouillage ; il doit également permettre de respecter les exigences d'indice de propagation de la flamme, si applicables. L'application en usine est préférable puisqu'elle ne ralentit pas le déroulement du chantier.

Avec la propension à absorber une plus grande quantité d'humidité, les insertions de languettes de contreplaqué utilisées dans les joints de panneaux doivent être protégées de façon plus soutenue (figure 23). Il est suggéré d'utiliser le contreplaqué en raison de sa meilleure stabilité dimensionnelle. Un contreplaqué traité peut même être envisagé.

**Figure 23 Enduit de revêtement entre la chape de béton et la surface du CLT ainsi que scellement des extrémités du CLT et des insertions en contreplaqué**



### Abris physiques

Toujours dans les méthodes de protection passives, l'installation d'abris sur chantier a été utilisée sur divers chantiers, de plus ou moins grande envergure et principalement en Europe. Ces solutions non permanentes sont offertes sous la forme de tentes, de bâches tendues, de toitures temporaires ou d'abris gonflables, et s'adaptent mieux aux bâtiments de petite et moyenne hauteur. Certains systèmes permettent toutefois une adaptabilité sans contrainte de hauteur. Le choix d'installer ce type d'équipement permet d'éviter les risques de mouillage et les délais imprévus liés au temps de séchage des matériaux avant de finaliser l'enveloppe du bâtiment. Une analyse de risques est recommandée en début de projet selon le climat du site de construction, le temps d'exposition prévu des éléments aux intempéries et le séquençage du projet afin d'évaluer si l'ajout d'un abri physique est optimal. Un avantage de ce type de protection est d'offrir un environnement plus favorable aux travailleurs et des possibilités d'érection de structures à tout temps de l'année.

### Solutions actives

Les solutions de gestion de l'humidité dites actives sont de type réactif et non préventif. En effet, lorsqu'il y a une accumulation d'humidité à l'intérieur des panneaux de CLT ou autre élément de construction massive en bois, celle-ci doit être évacuée passivement ou activement. Le séchage du bois à l'air sans intervention de l'homme est lent même lorsque le bois n'est pas recouvert par une membrane. Pour une exposition à la pluie de quelques semaines, les éléments de construction massive en bois peuvent prendre plusieurs semaines à s'assécher. Les conditions favorables au séchage nécessitent une humidité relative ambiante inférieure à 65 %.

Très simples et communes, les fonctions de balayer et d'essuyer les surfaces horizontales en réponse aux précipitations de pluie et de neige sont des méthodes de gestion de l'humidité actives. Une solution qui reste simple, mais moins fréquente, est l'installation de drains temporaires pour diriger l'eau accumulée à l'extérieur de la structure. Lorsque la teneur en humidité de l'air ambiant est trop élevée ou que la température est faible, l'utilisation d'un séchage forcé peut être envisagée. Des ventilateurs poussant de l'air chaud, l'installation de couvertures chauffantes ou d'un déshumidificateur sont d'autres solutions actives de gestion de l'humidité (figure 24).

**Figure 24 Utilisation de couvertures chauffantes pour favoriser le séchage des éléments de toiture lorsque les conditions ambiantes ne sont pas favorables (source : Wang, 2020).**



## Transfert de chaleur

La réduction de la consommation en énergie utile au chauffage des espaces intérieurs est une fonction principale de l'enveloppe du bâtiment. Bien que le flux de chaleur à travers l'enveloppe du bâtiment ne puisse jamais être entièrement éliminé, il peut être contrôlé afin de réduire la consommation totale d'énergie et d'améliorer le confort des occupants. Pour ce faire, la combinaison d'une isolation thermique et d'une étanchéité à l'air constitue la stratégie fondamentale pour réaliser un bâtiment efficace sur le plan écoénergétique.

Il y a trois aspects principaux dans le contrôle du flux de chaleur de l'enveloppe des bâtiments en bois :

- **Réduire les gains solaires en été et recueillir des gains solaires utiles en hiver** en considérant les propriétés de vitrage, l'utilisation du site et les caractéristiques du bâtiment et de son voisinage ;
- **Minimiser le flux de chaleur conductif** à travers les enveloppes opaques en utilisant des matériaux isolants et en évitant les ponts thermiques (comme les attaches de revêtement, les dalles de plancher et les colonnes structurales) afin de former une couche de contrôle thermique continue, y compris l'utilisation de cadres de fenêtres et de vitrages thermiquement efficaces ;
- **Limitier le débit d'air involontaire** à travers l'enveloppe du bâtiment en construisant des assemblages étanches à l'air (une couche de contrôle continue du débit d'air).

Afin d'assurer un contrôle efficace du débit thermique, il faut veiller à la continuité de l'isolation thermique et concevoir des détails spécifiques pour réduire les ponts thermiques. En raison de la conductivité thermique modeste du bois (environ 400 fois moins que l'acier et 20 fois moins que le béton), les grands bâtiments en bois présentent des avantages en ce qui concerne le contrôle des ponts thermiques dans l'ossature structurale. Ceci est également pertinent pour les murs et les toits de construction massive en bois, où la structure est souvent installée en plan continu, contribuant ainsi à la résistance thermique globale de l'assemblage (environ R-1,2/pouce).

La mise en place de l'isolant joue un rôle clé dans l'efficacité thermique et la performance hygrothermique d'un assemblage d'enveloppe de bâtiment. À l'intérieur d'une structure à ossature de bois, l'isolation peut être placée entre les éléments structuraux, généralement des montants en bois (isolation intérieure), à l'extérieur de la structure (isolation extérieure) ou divisés entre l'espace du montant et l'extérieur de la structure (isolation fractionnée).

Plus la proportion de l'isolant total situé à l'extérieur de la structure est grande, plus la valeur R effective est élevée (car il y a moins de ponts thermiques à travers la charpente structurale). Cela signifie qu'en général les ensembles isolés à l'extérieur seront plus durables que les ensembles isolés à l'intérieur, bien que ces derniers puissent également obtenir des performances satisfaisantes. L'approche à isolation fractionnée peut être un bon compromis en matière de coût (l'isolation des cavités est moins chère que l'isolation extérieure) et d'épaisseur de paroi ; toutefois, un tel assemblage exige une conception minutieuse. La performance hygrothermique d'un mur à isolation fractionnée dépendra de l'épaisseur et du type d'isolation extérieure, du climat et des conditions intérieures. La conception des murs à ossature de bois à isolation fractionnée devra répondre aux exigences de performance incendie mentionnées à la section D du CNB et est couverte dans de nombreux documents référencés, y compris le GBBGH, le *Joint Professional Practice Guidelines - Encapsulated Mass Timber Construction Up to 12 Storeys* (2021), le *Guide for Designing Energy Efficient Building Enclosures* (2013) ainsi que le *Mass Timber Building Enclosure Best Practice Design Guide* (2020).

## Contrôle du bruit et transmission du son

L'enveloppe du bâtiment contrôle la transmission de la pollution sonore extérieure indésirable vers les espaces intérieurs. Les bruits urbains causés par la circulation automobile, les trains, les avions, les usines et les voisins, entre autres, sont indésirables à l'intérieur et ils nuisent à la concentration et à de nombreuses activités comme la conversation et le sommeil. Les composants de l'enveloppe du bâtiment, avec leurs propriétés en matière de masse d'insonorisation sonore, de propriétés d'amortissement et d'étanchéité à l'air, ont une incidence sur la transmission du bruit provenant de l'extérieur. Le choix d'assemblages appropriés de fenêtres, de murs et de toitures ainsi que certains détails d'interface de l'enveloppe du bâtiment doivent être pris en compte dans la conception de l'isolation sonore.

Toutefois, il n'existe actuellement aucune exigence de contrôle du bruit pour l'enveloppe extérieure du bâtiment dans les codes canadiens du bâtiment. Les seules exigences incluses dans ces codes couvrent le contrôle du bruit à l'intérieur des bâtiments, plus particulièrement entre les unités d'habitation ou les espaces couverts. Comme cela est stipulé dans la partie 5 de la division B du Code, chaque logement doit être isolé, par une construction ayant un indice de transmission du son d'au moins 50, de toute autre partie du bâtiment où du bruit peut se produire. Par ailleurs, la construction séparant un logement d'une gaine d'ascenseur ou d'un vide-ordures doit avoir un indice de transmission du son d'au moins 55. Un aspect important à considérer dans les constructions en bois est la transmission indirecte du son. Bien que la transmission directe du son au travers des parois (murs et planchers) semble obtenir de bons résultats en service, le phénomène de transmission indirecte peut influencer grandement sur le rendement « apparent » de l'indice de transmission du son (*apparent sound transmission*

class, ASTC). Les concepteurs doivent ainsi porter une attention particulière à la transmission indirecte aux jonctions des murs et des planchers. Il est à noter que, depuis l'édition 2015 du CNB, la transmission indirecte est adressée en exigeant un indice de transmission du son d'au moins 47 pour l'isolation sonore des murs et des planchers.

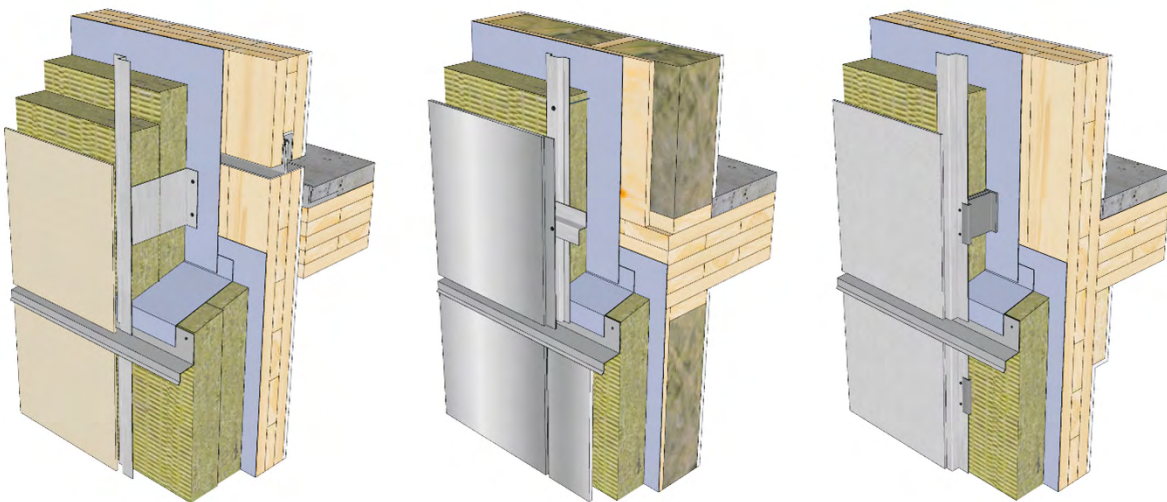
De plus amples renseignements sur le contrôle de l'isolation sonore des bâtiments sont fournis au chapitre 5 du GBBGH.

## Conception de l'enveloppe

### Murs extérieurs

Les murs opaques appropriés pour un grand bâtiment en bois seront généralement constitués d'un revêtement pare-pluie, d'une isolation extérieure ou d'une conception à isolation fractionnée afin de se conformer aux exigences minimales de performance thermique et aux exigences minimales pour atteindre les objectifs de durabilité (pour garder la structure en bois au chaud et au sec). Des murs à ossature de bois à cavité avec isolation entre les colombages et avec des systèmes de revêtement drainés et ventilés peuvent être utilisés (voir les exigences de sécurité incendie dans ce document). La figure 25 montre différentes façons de fixer le revêtement extérieur tout en minimisant les ponts thermiques lorsque l'isolation est posée à l'extérieur. Pour de plus amples détails, voir le chapitre 7 du GBBGH.

**Figure 25 Ossature à colombages de bois avec isolation fractionnée (centre) et mur en CLT isolé par l'extérieur (gauche et droite)**







La conception et le choix des assemblages muraux appropriés nécessitent le contrôle de l'humidité extérieure (surface d'écoulement et écran résistant aux intempéries), une stratégie d'étanchéité à l'air appropriée, l'évaluation de l'emplacement et des propriétés de l'isolation, les attaches du revêtement et le type de support derrière l'isolation extérieure ainsi que le contrôle du flux de vapeur. Le flux de chaleur conductif sera régi par la quantité et l'emplacement des ponts thermiques dans l'assemblage, et un soin des détails doit être dirigé sur les points de pénétration dans la structure. Les documents de référence, le GBBGH (2022), le *Guide for Designing Energy Efficient Building Enclosures* (2013) ainsi que le *Mass Timber Building Enclosure Best Practice Design Guide* (2020) fournissent un aperçu des assemblages de murs à ossature de bois et structures de construction massive en bois. Lorsque les assemblages sont utilisés dans des bâtiments de grande hauteur, il est recommandé d'utiliser des membranes et des adhésifs plus robustes ainsi que des revêtements plus appropriés pour un bâtiment de grande hauteur.

## Murs extérieurs non porteurs

Le Code permet, selon certaines conditions, l'utilisation de composants combustibles dans les murs extérieurs de construction incombustible. Ces mêmes exigences peuvent être transposées à la *construction massive en bois encapsulé*. Le tableau 2 décrit de nouvelles coupes de murs extérieurs respectant les critères de performance de l'article 3.1.5.5. de la division B du Code.

**Tableau 2 Assemblages de murs extérieurs respectant les critères de performance de l'article 3.1.5.5. lorsqu'évalués conformément à la norme CAN/ULC S134 (comme proposé dans le CNB 2020)**

Mur extérieur	Éléments structuraux	Matériau isolant	Panneau intermédiaire	Revêtement extérieur	Assemblage
EXTW-2	Montants en bois de 38 x 140 mm espacés aux 400 mm <sup>(1)(2)</sup>	Fibres de roche ou de laitier de 140 mm d'épaisseur dans les cavités formées par les montants <sup>(3)(4)</sup>	Panneau de gypse d'au moins 12,7 mm d'épaisseur	Revêtement extérieur incombustible	
EXTW-3	Montants en bois de 38 x 140 mm espacés aux 400 mm <sup>(1)(2)</sup>	Fibres de roche ou de laitier de 140 mm d'épaisseur dans les cavités formées par les montants <sup>(3)(4)</sup>	Panneau de contreplaqué traité ignifuge d'au moins 15,9 mm d'épaisseur <sup>(5)</sup>	Revêtement extérieur incombustible	
EXTW-4	Montants en bois de 38 x 140 mm espacés aux 600 mm et attachés au mur en CLT d'au moins 38 mm d'épaisseur <sup>(1)(6)(7)</sup>	Fibres de verre, de roche ou de laitier de 140 mm d'épaisseur dans les cavités formées par les montants <sup>(3)</sup>	Panneau de gypse d'au moins 12,7 mm d'épaisseur	Revêtement extérieur incombustible	
EXTW-5	Barres métalliques en Z espacées aux 600 mm et attachées au mur en CLT d'au moins 105 mm d'épaisseur <sup>(7)</sup>	Fibres de roche ou de laitier de 89 mm d'épaisseur dans les cavités formées par les barres en Z <sup>(3)(4)</sup>	-	Revêtement extérieur incombustible attaché sur les fourrures métalliques verticales de 19 mm et espacées aux 600 mm	

Notes :

- (1) Les dimensions des montants sont les valeurs maximales. Lorsque des montants de plus petite profondeur sont utilisés, l'épaisseur du matériau isolant placé dans la cavité formée par les montants doit être réduite en conséquence.
- (2) Des blocages horizontaux entre les montants verticaux ou les lisses horizontales doivent être installés à des intervalles verticaux d'au plus 2 324 mm, afin que la longueur libre maximale entre les blocages horizontaux ou les lisses soit de 2 286 mm.
- (3) Le matériau isolant doit être conforme à la norme CAN/ULC-S702 « Mineral Fibre Thermal Insulation for Buildings ».
- (4) Le matériau isolant doit avoir une masse volumique d'au moins 32 kg/m<sup>3</sup>.
- (5) Le panneau de contreplaqué traité ignifuge doit être conforme aux exigences de l'article 3.1.4.5. du CNB.
- (6) Des blocages horizontaux entre les montants verticaux ou les lisses horizontales doivent être installés à des intervalles verticaux d'au plus 2 438 mm, afin que la longueur libre maximale entre les blocages horizontaux ou les lisses soit de 2 400 mm.
- (7) Une membrane résistante à l'eau doit être attachée à la face du mur en CLT.

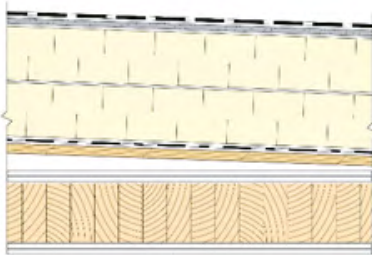
## Assemblages de toits

Les grands bâtiments utilisent habituellement des toits à faible pente. Les toits inclinés peuvent être incorporés comme distinction architecturale, mais sont moins communs. Dans la construction massive en bois, la structure de toiture se comportera comme un élément de diaphragme résistant à la charge latérale. Cette utilisation d'ossature plus lourde, plutôt que de solives et de contreplaqué utilisés dans la construction à ossature légère, dicte certaines approches pour ce type de bâtiment.

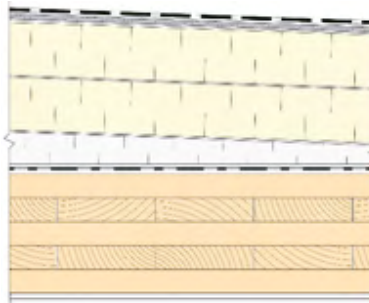
L'isolation est généralement placée à l'extérieur de la structure massive en bois, et un assemblage de toiture à membrane conventionnelle ou protégée (aussi appelé inversé) est recommandé pour les toits et les terrasses de toit (figure 26). Les toits à membrane protégée offrent une meilleure protection de la membrane de toiture et sont recommandés pour les terrasses de toit ou les toits où la circulation est élevée. Les espaces vides des toits avec structure en pente doivent être encapsulés, lorsqu'applicable, conformément aux exigences de la section 1.4 de la partie 1 de ce présent document.

**Figure 26 Stratégies d'isolation de toit en pente**

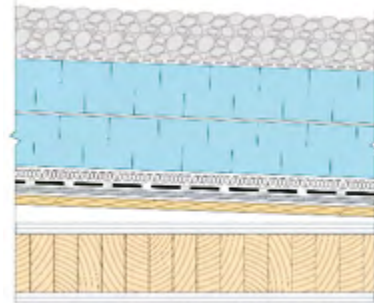
Conventionnelle  
(structure en pente)



Conventionnelle  
(isolation en pente)



Inverse/membrane  
de protection  
(structure en pente)



Les assemblages de gauche et de droite doivent répondre à la clause 1.4 pour la protection incendie des vides de construction.

Les assemblages de toit conventionnel et inversé anticipent dans les deux cas le contrôle total de l'humidité à la membrane imperméable au-dessus de la structure et de l'isolation. À la différence d'un assemblage de mur, la surface de la membrane imperméable à l'eau et la surface primaire de drainage sont les mêmes. L'assemblage est sensible à l'humidité extérieure qui pénètre dans la structure lorsqu'il y a une fuite dans la membrane de toit puisque l'eau peut migrer dans la structure/isolation et saturer rapidement le toit si la fuite n'est pas détectée. Les toits plats des bâtiments de construction massive en bois nécessitent des systèmes de toiture robustes, de même que des détails minutieux et des pentes adéquates et uniformes pour faciliter le drainage. Typiquement, un système de membrane à deux plis de bitume est employé comme membrane de toit. Il peut s'agir de systèmes collés et/ou scellés à la chaleur. Lorsque les membranes de toit scellées à chaud sont employées sur le bois, une couche de protection d'asphalte fixée mécaniquement, une membrane ignifuge adhérente ou un panneau de gypse est exigé pour protéger le bois contre la combustion. De plus, comme tous les matériaux de toiture à faible pente sont imperméables à la vapeur, ils ne doivent être appliqués que si le bois est sec (inférieur à 19 % de teneur en humidité) et que la capacité de sécher à l'intérieur est facilitée dans la conception du toit.

Pour des toits de *construction massive en bois encapsulé*, la pente vers les drains (minimum 2 % recommandé) peut être obtenue soit par un ensemble d'isolation en angle, soit par un substrat de revêtement secondaire effilé au-dessus du tablier de bois respectant les normes de sécurité incendie en vigueur ou encore par une inclinaison de la structure. Afin de détecter et d'isoler les fuites avant qu'une détérioration majeure de la structure du bois ne se produise, il convient d'installer des systèmes de surveillance de l'humidité et de détection des fuites sous la membrane du toit ou dans la structure en bois.

Les documents de référence, le GBBGH (2021), le *Guide for Designing Energy-Efficient Building Enclosures* (2013), le *Timber Building Enclosure Best Practice Design Guide* (2020) et le *Joint Professional Practice Guidelines – Encapsulated Mass Timber Construction Up to 12 Storeys* (2021) fournissent des examens approfondis des ensembles de toit appropriés et des matériaux recommandés, ainsi que des valeurs R efficaces calculées et des détails typiques.

## Réglementations énergétiques

Au Canada, deux codes modèles nationaux précisent les dispositions relatives à la conception des enveloppes du bâtiment et de l'efficacité énergétique des bâtiments : le CNB et le Code national de l'énergie pour les bâtiments (CNÉB). Ces codes nationaux sont adoptés avec ou sans modification par chacune des provinces et chacun des territoires ; ceux qui sont modifiés par chaque province sont identifiés comme des codes du bâtiment provinciaux. Au Québec, le chapitre I.1, Efficacité énergétique du bâtiment, du Code de construction du Québec réfère au Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2015 auquel des modifications ont été apportées.

### Code de construction du Québec, Chapitre I – Bâtiment, et Code national du bâtiment – Canada 2015 (modifié)

La conception de l'enveloppe d'un grand bâtiment en bois relève de la partie 5 « Séparation des milieux différents » du Code. La partie 5 de la division B du Code concerne principalement l'infiltration d'eau et le contrôle de la condensation dans les composants et les assemblages des enveloppes de bâtiment et les interfaces entre eux. Il couvre également le transfert de chaleur, d'air et de son (bruit), ainsi que les charges structurales secondaires (c'est-à-dire charges de vent, accessoires de revêtement, etc.). L'application de la partie 5 de la division B du Code à un grand bâtiment en bois est semblable à celle d'autres immeubles de grande hauteur.

### Code de construction du Québec, Chapitre I.1 – Efficacité énergétique du bâtiment, et Code national de l'énergie pour les bâtiments – Canada 2015 (modifié)

Ce chapitre porte sur les exigences minimales en matière d'efficacité énergétique. L'enveloppe du bâtiment ainsi que les systèmes mécaniques et électriques doivent travailler ensemble pour atteindre un objectif global minimal d'efficacité énergétique décrit à l'une ou l'autre des méthodes de conformité.

Pour se conformer aux dispositions du chapitre I.1 relativement aux enveloppes de bâtiment, il faut respecter l'une des trois méthodes de conformité des enveloppes de bâtiment. Par ordre de complexité du plus bas au plus élevé, les méthodes de conformité peuvent être classées ainsi : méthode prescriptive, méthode des solutions de rechange et méthode de performance.

## 2.12. Règles de calcul, structure et attaches

L'élaboration des plans et devis de la structure est une partie importante d'un projet impliquant une *construction massive en bois encapsulé* ou de *construction hybride* de plus de 6 étages. Une attention particulière doit être portée à l'analyse et au dimensionnement de la charpente lors de la réalisation des plans et devis de la structure de ce type de bâtiment. Jusqu'à tout récemment, le Code autorisait la construction de bâtiments en bois jusqu'à 6 étages seulement. Il est donc important de tenir compte de certaines particularités de la construction en bois.

Pour des recommandations techniques supplémentaires, y compris des conseils pour le développement de mesures équivalentes pour les bâtiments hors du champ d'application des présentes lignes directrices, consulter l'édition 2022 du *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada*, publié par FPInnovations (Karacabeyli et Lum 2021).

### Code et normes

Le champ d'application de la partie 4 du CNB est décrit à la sous-section 1.3.3. de la division A du CNB. Les bâtiments visés par les présentes lignes directrices présentent une hauteur supérieure à 3 étages et une superficie supérieure à 600 m<sup>2</sup>. Par conséquent, les règles de conception établies dans la partie 4 de la division B du CNB doivent être appliquées.

Selon la sous-section 4.3.1. de la division B du CNB, les charpentes en bois et leurs assemblages (attaches) doivent être conçus conformément à la dernière édition de la norme CSA O86. Au moment de la rédaction des présentes lignes directrices, la dernière édition de la norme CSA O86-19, soit 2019, « Règles de calcul des charpentes en bois », est disponible. L'édition de cette norme contient de nouvelles dispositions importantes qui seront incluses dans la prochaine édition du CNB.

Les bâtiments en bois de grande hauteur et leurs attaches peuvent être conçus conformément à l'article 4.3.2 de la norme CSA O86-19. En effet, l'article 4.3.2, « Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction », stipule que des systèmes nouveaux ou spéciaux de conception ou de construction de structures ou d'éléments structuraux en bois qui ne sont pas déjà visés par cette norme peuvent être utilisés lorsque ces systèmes sont fondés sur des principes d'analyse et d'ingénierie, des données d'essai fiables, ou les deux, qui démontrent la sécurité et l'aptitude au service de la structure résultante pour l'usage prévu.

Comme pour les normes de conception structurale appliquées à d'autres matériaux, la norme CSA O86-19 vise à garantir, de manière acceptable, qu'une structure en bois conçue conformément à cette norme répondra en toute sécurité aux besoins de l'utilisation prévue. La charpente est adaptée à l'usage auquel elle est destinée si la charpente, ses composants et ses assemblages sont conçus conformément aux exigences de l'article 4.3, « Exigences de calcul », et des articles 5.1.2 et 5.1.3, respectivement « États limites ultimes » et « États limites de tenue en service » de la norme CSA O86-19.

De plus, contrairement à la partie 3 de la division B du Code, où la plupart des dispositions techniques et des niveaux de performance sont prescriptifs et de nature qualitative, les dispositions techniques et les niveaux de performance de la partie 4 de la division B du Code sont essentiellement axés sur la performance et la fiabilité (une approche préconisée par la conception des états limites). Ils offrent une plus grande souplesse aux concepteurs pour atteindre les objectifs du Code.

## Assemblages (attaches)

Le chapitre 12 de la norme CSA 086-19 énonce les critères de conception des attaches couramment utilisées dans la construction en bois. Cependant, de nombreux systèmes d'attaches nouveaux et novateurs sont régulièrement utilisés dans la construction massive en bois. Ces systèmes d'attaches doivent être évalués conformément à l'article 4.3.2 de la norme CSA 086-19, « Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction ». Les systèmes d'attaches qui ne sont pas abordés dans le chapitre 12 de la norme CSA 086-19 sont évalués sur la base des données d'essai du manufacturier, les preuves étant interprétées par des organismes d'évaluation de produits tels que le CCMC.

Cet organisme publie des rapports indiquant les valeurs de conception recommandées pour le système testé. Les rapports d'évaluation du CCMC publient des valeurs de conception conformes aux principes de la norme CSA 086 et aux objectifs du CNB. L'ingénieur de projet peut autoriser un système d'attaches novateur, avec ou sans évaluation par un tiers, s'il est convaincu que la diligence raisonnable en matière d'ingénierie a été exercée (conformément à l'article 4.3.2 de la norme CSA 086-19). Toutefois, si une confirmation par un organisme d'évaluation tiers est requise, le rapport d'évaluation du CCMC doit être fourni. Enfin, la procédure de calcul des valeurs de conception des attaches et assemblages novateurs, en fonction des données d'essai, est détaillée dans le GBBGH et doit être compatible avec la norme CSA 086-19.

Le comportement structural des charpentes massives en bois soumises à des charges sismiques est contrôlé, dans une large mesure, par les assemblages qui doivent être ductiles et maintenir leur intégrité en cas de surcharge. Les joints doivent être conçus non seulement pour résister aux charges de calcul, mais aussi pour absorber l'énergie et maintenir l'intégrité structurale du système en cas de surcharge. Ils doivent également présenter une rigidité et une résistance suffisante pour pouvoir satisfaire aux états limites ultimes et de services lorsque le bâtiment est soumis à des surcharges dues au vent.

La teneur en humidité et la durée de la charge sont des facteurs importants dans la conception des assemblages ; les modes de rupture fragile doivent être évités, en particulier dans les zones où le risque sismique est élevé. Il est à noter que les catégories sismiques (SC1 à SC4) seront explicitement définies dans le CNB 2020. Le tableau 4.1.8.9. du CNB présente les quatre catégories sismiques qui seront établies pour les cas IEFaSa(0,2) : SC1 lorsque  $< 0,2$ , SC2 pour  $\geq 0,2$  à  $< 0,35$ , SC3 pour  $\geq 0,35$  à  $\leq 0,75$  et SC4 pour  $> 0,75$ .

L'utilisation d'assemblages dont la résistance est contrôlée par la rupture du bois (rupture fragile, en particulier) doit être évitée et, si possible, les modes de rupture ductiles doivent être ciblés. Lors de la conception des attaches, il est également important de tenir compte de l'humidité et des autres facteurs de service qui influencent la résistance du bois (ou d'autres matériaux). Voir la norme CSA 086-19 et le chapitre 5 du GBBGH pour des recommandations dans ce domaine.

Il est essentiel que tous les assemblages offrent une résistance aux charges présumées dans le processus de conception, mais aussi qu'ils soient capables de permettre les mouvements et la résistance dans d'autres directions qui peuvent se produire pendant la réponse du système structural sans défaillance. Par exemple, si un mur de cisaillement de construction massive en bois est connecté à la fondation avec des dispositifs de retenue aux deux extrémités pour supporter les forces de soulèvement et un connecteur de cisaillement au milieu pour supporter la charge de cisaillement, la défaillance prématurée du connecteur de cisaillement causée par le soulèvement doit être évitée en dotant ce connecteur de caractéristiques spéciales pour permettre le mouvement vertical du joint sans défaillance.

Dans les structures en bois, l'énergie introduite par le vent ou l'activité sismique est dissipée par plusieurs mécanismes, comme le frottement interne, le frottement entre les éléments structuraux et, pour la charge sismique uniquement, par la déformation plastique. Lors d'événements sismiques extrêmes, une grande partie de cette dissipation d'énergie est obtenue par une déformation non linéaire des assemblages. Lorsque le bois est utilisé dans des structures longues, hautes et légères, la réponse dynamique à la charge de vent et aux vibrations artificielles peut être importante, et les assemblages peuvent contribuer de manière significative à la réponse du bâtiment en matière d'amortissement et de rigidité.

Pour de plus amples informations sur les assemblages, voir le chapitre 5 du GBBGH.

## **Disposition des systèmes porteurs**

La disposition des éléments du système structural et leur interaction doivent garantir la résistance à un effondrement généralisé en cas de défaillance localisée. Pour obtenir une intégrité structurale adéquate, les assemblages entre les éléments de structure doivent être ductiles et avoir une capacité de déformation et d'absorption d'énergie relativement élevée dans des conditions de charge anormales. Un détail approprié pour résister aux surcharges dues au vent faible à modéré, et surtout aux charges sismiques, assure généralement une ductilité suffisante.

Il existe plusieurs façons de concevoir la charpente pour garantir l'intégrité nécessaire afin de supporter les charges à proximité des murs, des fermes, des poutres, des colonnes et des planchers gravement endommagés.

Il existe un certain nombre de logiciels d'analyse structurale linéaire élastique qui peuvent être utilisés pour modéliser le système structural, y compris les panneaux muraux et les planchers, afin d'obtenir des charges de conception pour le système gravitaire (des calculs manuels peuvent être utilisés pour vérifier ces charges de conception).

Les étapes de la construction doivent également être analysées pour s'assurer que la conception respecte la séquence de construction. La conception des éléments du système de résistance à la gravité doit être conforme aux exigences de la norme CSA O86-19.

Il est crucial de s'assurer que le système de partage des charges de gravité des bâtiments en bois de grande hauteur puisse s'adapter à la déformation latérale associée à la réponse sismique. La déformation du bâtiment produit des forces et des moments secondaires dans le système gravitaire qui doivent être pris en compte dans la conception. Il convient de noter que plus le système de partage des charges de gravité est grand et rigide, plus son interaction avec le système de résistance aux forces sismiques est importante dans un bâtiment de grande hauteur. L'ensemble du système structural doit être conçu pour maintenir les effets  $P-\delta$  projetés.

En outre, les systèmes de gicleurs doivent être conçus pour s'adapter aux fléchissements ou à la déformation induite par les charges sismiques et le retrait. Les systèmes de gicleurs doivent rester fonctionnels pour limiter les dommages causés par les incendies qui pourraient survenir après un séisme.

Pour de plus amples informations sur la disposition des systèmes porteurs, voir le chapitre 5 du GBBGH.

## Systeme de resistance aux forces sismiques

Le chemin de transmission des charges sismiques doit être défini tout au début de la conception des structures. Les SRFS doivent aussi être clairement définis dans les plans d'ingénierie (c'est-à-dire que les plans doivent préciser les types de SRFS ainsi que la voie de transfert des forces jusqu'aux fondations).

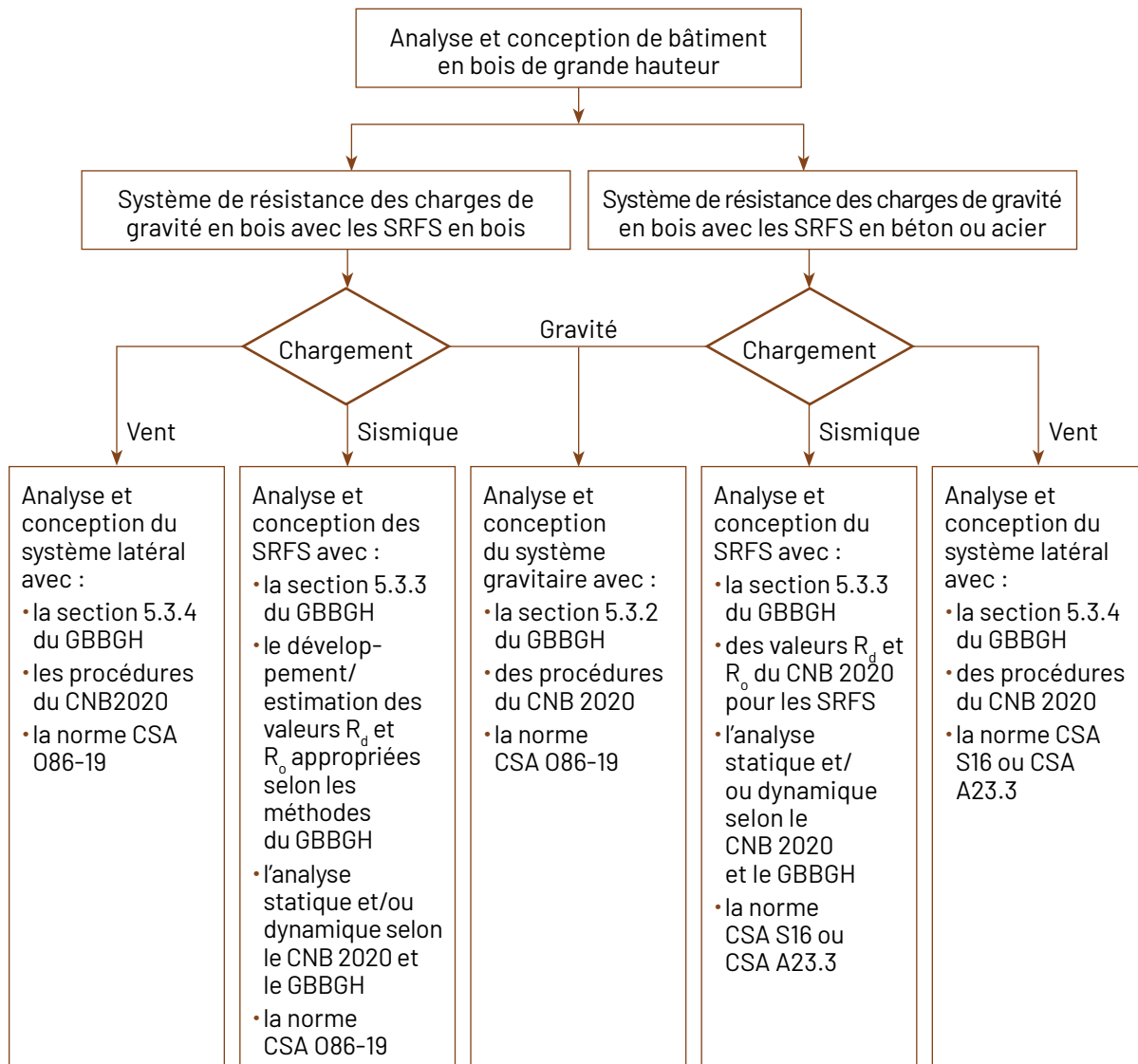
La conception du SRFS doit tenir compte de plusieurs facteurs tels que l'emplacement du bâtiment, le type de sol et la configuration de la structure. La ductilité du SRFS et sa surrésistance doivent être prises en compte dans le calcul des forces sismiques du bâtiment en utilisant les facteurs  $R_d$  et  $R_o$ , respectivement, si le bâtiment est conçu en utilisant l'analyse statique équivalente ou l'analyse dynamique linéaire. Les valeurs  $R_d$  et  $R_o$  ainsi que les restrictions applicables relativement à la hauteur du SRFS se trouvent dans le tableau 4.1.8.9. du CNB. Les hauteurs maximales du SRFS en bois, conçues en fonction de la norme CSA O86-19, peuvent être de 15 m, de 20 m ou de 30 m, selon le type de système utilisé, la catégorie sismique et certaines autres restrictions. Parmi les SRFS, les concepteurs ont maintenant à leur disposition les nouveaux murs de cisaillement en *bois lamellé-croisé* pour la construction de charpentes de type plate-forme ( $R_d = 2,0$  et  $R_o = 1,5$ ). Des comparaisons de codes de certains SRFS (à base de bois et autres) avec leurs facteurs  $R_d$  et  $R_o$  associés sont données au chapitre 5 du GBBGH pour les nouvelles catégories sismiques qui seront introduites dans l'édition 2020 du CNB. Enfin, conformément au paragraphe 4.1.8.9. 5) du CNB, il est possible d'attribuer des valeurs  $R_d$  et  $R_o$  ainsi qu'une hauteur à un nouveau type de SRFS impliquant des systèmes massifs en bois. À cet effet, il faut démontrer à l'aide de tests, de recherches et d'analyses que le comportement du système est au moins équivalent à l'un des types habituels mentionnés dans le tableau 4.1.8.9. du CNB.

Pour de plus amples renseignements, consulter le chapitre 5 du GBBGH.

## Analyse et conception

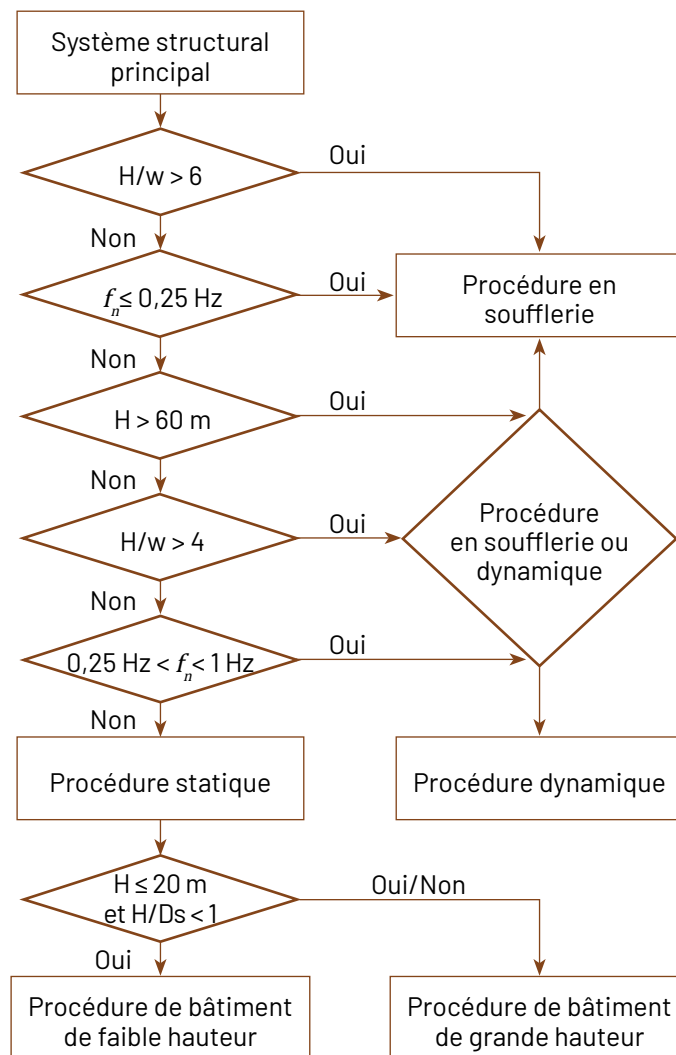
Un processus d'analyse et de conception des bâtiments en bois de grande hauteur est proposé dans le GBBGH. Les principales voies d'analyse et de conception des structures en bois de grande hauteur sont présentées à la figure 27. En outre, un cheminement simplifié pour déterminer les surcharges dues au vent est présenté à la figure 28 (voir également la section 5.3 du GBBGH).

**Figure 27 Principales pistes pour l'analyse et la conception des structures en bois de grande hauteur**



Les sections mentionnées dans cette figure sont celles du GBBGH.

**Figure 28 Cheminement simplifié pour l'établissement des surcharges des bâtiments dues au vent**



La sous-section 5.3.3 du GBBGH présente l'analyse des charges sismiques et les méthodes de conception. Elle fournit également des détails supplémentaires pour déterminer les facteurs de modification des forces  $R_d$  et  $R_o$ . Des méthodes d'analyse sismique reconnues en ingénierie du bâtiment sont décrites au point 5.3.3.2 du GBBGH : procédure statique équivalente, analyses dynamiques linéaires, analyses statiques non linéaires et analyses dynamiques non linéaires. Les données initiales requises pour le développement de modèles numériques de structures en bois lors de la réalisation d'analyses statiques et dynamiques sont traitées en détail dans la section 5.2 du GBBGH. Certains des paramètres les plus importants sont décrits ci-dessous.

## Propriétés des éléments

Les éléments d'un bâtiment en bois de grande hauteur sont fort probablement composés de produits en bois d'ingénierie, utilisés soit comme éléments de poutres ou de colonnes, soit comme panneaux muraux structuraux, ou soit les deux. Dans le cas de bâtiments hybrides, des éléments de structure en acier, en béton ou en maçonnerie peuvent être présents. À des fins d'analyse et de modélisation, la rigidité effective des produits ou des panneaux en bois d'ingénierie, avec ou sans l'effet des connecteurs, doit être déterminée. La limite inférieure, la limite supérieure et les meilleures estimations des propriétés de résistance et de rigidité (courbe principale, rigidité élastique initiale) doivent être déterminées. Cela peut se faire en examinant les données analytiques ou d'essais disponibles dans la documentation (y compris les fiches techniques des produits en bois d'ingénierie fournies par les manufacturiers et les développeurs d'attaches brevetées) ou obtenues en effectuant des essais expérimentaux supplémentaires sur des échantillons représentatifs pour des applications spécifiques (voir le chapitre 5 du GBBGH pour plus de détails).

## Amortissement efficace

L'amortissement visqueux efficace des bâtiments en bois est généralement légèrement supérieur à celui des bâtiments en acier et en béton. Dans une perspective de conception sismique, les modèles numériques des structures en bois peuvent supposer un amortissement visqueux réel de l'ordre de 3 à 5 %, à moins que les données expérimentales ou de terrain disponibles ne justifient l'utilisation de valeurs plus élevées. Dans la perspective de la conception des surcharges dues au vent, lors de l'analyse dynamique, on peut supposer un amortissement visqueux réel de l'ordre de 1 à 3 %. Les résultats des essais de vibration ambiante suggèrent que les bâtiments avec des murs de cisaillement en béton ont un amortissement visqueux réel de l'ordre de 1 à 2 % et que les bâtiments avec des murs de cisaillement massifs en bois (comme le CLT) ont un amortissement visqueux réel de 2 à 3 %.

## Risque sismique et mouvements du sol à analyser

Les données sur le risque sismique pour les principaux endroits du pays figurent dans le Code et dans le commentaire J du *Guide de l'utilisateur – Commentaires sur le calcul des structures*. L'analyse dynamique linéaire, aussi appelée analyse du spectre de réponse, devrait être utilisée comme analyse par défaut selon le CNB. Dans certains cas spécifiques, l'utilisation d'analyses dynamiques non linéaires en fonction du temps peut être nécessaire pour des bâtiments plus complexes ou des bâtiments situés sur des sols plus mous. De telles analyses doivent être réalisées, et ce, conformément aux recommandations du commentaire J. Étant donné que ces analyses sont encore principalement réalisées dans un environnement de recherche, il est essentiel que ces dernières soient examinées par des personnes compétentes et expérimentées dans la prise des jugements et des décisions nécessaires. En outre, la conception qui en résulte doit être examinée par une équipe d'ingénieurs indépendants qualifiés.

Les mouvements sismiques du sol doivent être évalués par un expert en géotechnique pour l'emplacement spécifique du bâtiment et le profil du sol. Des valeurs d'aléa moyen ont été adoptées dans le Code et seront retenues dans le CNB au lieu des résultats d'aléa médian utilisés dans l'édition du code précédent basée sur le CNB 2010. Les valeurs d'aléa moyen sont généralement plus élevées que les valeurs d'aléa médian correspondantes.

L'aléa sismique dans le Code est donné en probabilité de dépassement de 2 % en 50 ans. Les valeurs de l'aléa sismique pour certaines probabilités plus élevées peuvent être trouvées en spécifiant la latitude et la longitude d'un emplacement particulier dans le « Calculateur des valeurs d'aléa » du site Web [Séisme Canada – Tremblements de terre – le Canada](#) du ministère des Ressources naturelles du Canada.

Le CNB comprend une révision et une mise à jour complète des informations relatives à l'aléa sismique sur la base d'une grande quantité de nouvelles données, de nouveaux modèles de mouvements du sol (MMS) et d'une nouvelle approche des effets d'amplification des sites. Le calcul direct de l'aléa sismique pour une gamme de désignations de sites est maintenant mis en œuvre, remplaçant les coefficients de site,  $F(T)$  en 2015 et dans les éditions précédentes du CNB. Les catégories sismiques SC1 à SC4 sont également mises en œuvre et elles sont attribuées aux bâtiments en fonction de leur catégorie d'importance et de l'accélération spectrale de calcul à deux périodes. Des exigences supplémentaires en matière de performance sous l'effet de tremblements de terre plus petits, mais plus fréquents que le DGM de 2 % en 50 ans pour les bâtiments de protection civile et de catégorie d'importance élevée (et pour certains bâtiments de catégorie d'importance normale, en SC4), ont également été introduites.

## **Modèles d'hystérésis pour les joints et assemblages**

Les relations non linéaires charge-déformation pour les parties cédantes du SRFs (joints et assemblages) doivent être obtenues lors de l'analyse dynamique non linéaire. À partir de ces courbes, la rigidité initiale et la rigidité après plastification, la résistance élastique et ultime, ainsi que la résistance cyclique et le comportement/dégradation de la rigidité devront être obtenus. La limite inférieure, la limite supérieure et la meilleure estimation des propriétés de résistance et de rigidité devront être déterminées pour l'analyse de sensibilité. Si les informations de la documentation manquent pour une géométrie et une application spécifiques, des essais doivent être réalisés sur des échantillons représentatifs par des laboratoires accrédités afin d'établir les courbes d'hystérésis appropriées pour l'analyse (voir le chapitre 5 du GBBGH pour plus de détails).

## **Interaction sol-structure**

Dans le cas de bâtiments en bois de grande hauteur, l'interaction entre le sol et les fondations peut toucher la performance globale du bâtiment, en particulier dans le cas de sols mous. Dans de tels cas, l'interaction sol-structure doit être modélisée en conséquence dans des analyses dynamiques linéaires ou non linéaires. Les propriétés du sol sont généralement modélisées avec une série de ressorts horizontaux et verticaux. Il existe des procédures bien établies pour déterminer les propriétés des ressorts verticaux et horizontaux du sol.

## **Méthodes d'analyse et de conception pour les charges sismiques**

Pour l'analyse sismique des bâtiments en bois de grande hauteur, l'analyse statique équivalente fonctionne bien pour certains bâtiments en bois de grande hauteur qui satisfont aux critères d'utilisation d'une telle analyse tels qu'énoncés au paragraphe 4.1.8.7. 1) du Code. De plus, ces structures ne doivent pas présenter de couplage important des modes latéraux et de torsion ni aucune des irrégularités définies dans le Code. Pour les bâtiments où l'on s'attend à ce que les modes supérieurs et les effets de torsion soient importants, une analyse dynamique devrait être utilisée pour spécifier et répartir les forces de conception sismique (pour plus de détails, voir la section 5.3 du GBBGH). Des méthodes de conception sismique connues et acceptables sont présentées dans le GBBGH : calcul basé sur les forces, calcul basé sur les déplacements et calcul basé sur la performance.

Traditionnellement, la conception structurale sismique était principalement établie selon les forces. Les raisons sont largement historiques et liées à la manière dont les concepts sont développés pour d'autres actions, telles que les charges mortes et vives (Priestley et collab., 2007). Dans de tels cas, nous savons que les considérations de force sont essentielles : si la résistance de la structure ne dépasse pas les charges appliquées, une défaillance se produira. Par conséquent, les dispositions relatives à la conception sismique incluses dans le CNB (et dans d'autres codes du bâtiment dans le monde) utilisent actuellement une approche

fondée sur les forces. Toutefois, cette procédure peut présenter certaines lacunes lorsqu'elle est appliquée à des structures en bois de grande hauteur. Pour ces raisons, les deux autres méthodes de conception proposées au point 5.3.3.4 du GBBGH peuvent également s'avérer utiles.

Le CNB ne spécifie pas de niveaux de performance exacts pour la conception basée sur la performance des bâtiments soumis à diverses conditions de charge. Lorsque des solutions de conception basées sur la performance sont utilisées, les concepteurs devraient appliquer des critères de performance appropriés basés sur la documentation disponible. Une analyse détaillée de la conception basée sur la performance est présentée au point 5.3.3.4.3 du GBBGH. Néanmoins, le CNB précise les objectifs et les performances attendus pour la conception sismique (voir les directives de la section 1.12 du présent document et de la section 5.3 du GBBGH).

Le commentaire J stipule également ceci :

« Les dommages causés aux bâtiments par les mouvements sismiques du sol sont une conséquence directe de la flèche latérale du système structural. La capacité d'un bâtiment à résister à ces mouvements du sol découle dans une large mesure de la capacité de son système structural à se déformer sans subir une perte importante de sa capacité portante. L'article 4.1.8.13. du CNB traite à la fois de la détermination des flèches latérales et des limites qui doivent être imposées à ces flèches pour assurer une performance satisfaisante. Dans ce contexte, les flèches latérales sont calculées par rapport au sol, c'est-à-dire du sommet des fondations à la base de la structure. »

Le CNB fournit aussi des moyens explicites d'établir les valeurs réalistes des déformations maximales prévues, y compris les effets de torsion. Le commentaire J précise ce qui suit :

« Le paramètre de déformation qui représente le mieux le potentiel de dommage aux éléments structuraux et non structuraux est la déformation entre étages, aussi appelée glissement entre étages. La flèche latérale au sommet de la structure n'est pas un bon indicateur du potentiel de dommage parce que les divers types de SFRS présentent des profils différents de fléchissement dans le sens de la hauteur. Le paragraphe 4.1.8.13. 3) du CNB impose une limite de déformation entre étages, que l'on appelle limite de glissement, aux plus grandes déformations entre étages à un niveau quelconque de la structure. Ordinairement, la limite de glissement est de  $0,025 h_s$ , où  $h_s$  est la hauteur entre étages, sauf pour les bâtiments de protection civile et les bâtiments de la catégorie de risque "élevé", pour lesquels cette limite est de  $0,01 h_s$  et de  $0,02 h_s$  respectivement. Une déformation entre étages de  $0,025 h_s$  définit un état de dommages importants dans un bâtiment ; les déformations entre étages plus importantes sont du domaine des dommages considérables et doivent être évitées. »

Le commentaire A du *Guide de l'utilisateur - Commentaires sur le calcul des structures* fournit des directives qui devraient être utilisées pour calculer les propriétés de résistance et de rigidité des nouveaux matériaux. Ce commentaire indique que la résistance des nouveaux matériaux doit être définie sur la base d'une limite d'exclusion de 5 % et que leur rigidité doit être définie sur la base d'une limite d'exclusion de 50 %. Lorsque l'échantillonnage statistique est utilisé, un niveau de confiance de 75 % est recommandé pour estimer la limite d'exclusion. Il est également recommandé d'utiliser ces critères pour déterminer la résistance de conception des nouveaux produits en bois et des assemblages qui seront utilisés dans les bâtiments en bois de grande hauteur.

Le concept de calcul fondé sur la capacité est d'une importance majeure dans la conception sismique de bâtiments en bois de grande hauteur. Le calcul fondé sur la capacité est utilisé dans la conception sismique des structures en béton, en acier et en maçonnerie, et doit l'être également dans la conception sismique des bâtiments en bois de grande hauteur. Cette approche de conception est fondée sur la simple compréhension de la façon dont une structure est

capable de supporter des déformations importantes lorsqu'elle est soumise à d'importants tremblements de terre. En sélectionnant certains modes de déformation du système de résistance aux charges latérales, certaines parties de la structure sont choisies, et correctement conçues et détaillées pour céder et dissiper l'énergie lorsque soumises à des déformations sévères. Ces modes critiques du système de résistance aux charges latérales, souvent qualifiées de « rotules plastiques » ou « zones dissipatives », agissent comme dissipateurs d'énergie pour contrôler le niveau de résistance dans la structure. Tous les autres éléments structuraux peuvent être conçus comme non ductiles et sont protégés contre les actions qui pourraient provoquer une défaillance, car ils reçoivent une force supérieure à celle correspondant au développement de la force maximale réalisable dans les régions potentielles de rotules plastiques. En d'autres termes, les éléments non ductiles, résistants à des actions provenant des rotules plastiques, doivent être conçus pour résister sur la base de la surrésistance plutôt que sur celle de la résistance pondérée indiquée par le CNB, cette dernière étant utilisée pour déterminer les forces requises dans les zones des rotules. Cette procédure de calcul de la « capacité » permet d'assurer que les moyens de dissipation d'énergie choisis peuvent être maintenus.

Il convient de noter que le calcul de la capacité n'est pas une technique d'analyse, mais un outil de conception. Il permet au concepteur de « dire à la structure quoi faire » et de la désensibiliser aux caractéristiques du tremblement de terre, qui sont, après tout, inconnues. Un détail judicieux de toutes les zones plastiques potentielles permettra à la structure de répondre aux intentions du concepteur. Une approche de calcul de la capacité permettra d'assurer une réponse inélastique plus prévisible et satisfaisante dans les conditions pour lesquelles même les techniques d'analyse dynamique sophistiquées ne pourront produire davantage que des estimations grossières. Ceci est lié au fait qu'une structure conçue selon un design fondé sur la capacité ne devrait pas développer de déformation inélastique à un endroit indésirable et ne serait donc pas sensible aux caractéristiques du séisme liées à l'ampleur des déformations inélastiques. Le calcul de la capacité, lorsqu'il est combiné à un détail approprié de ductilité, permettra d'obtenir une dissipation maximale de l'énergie par l'intermédiaire de mécanismes plastiques sélectionnés de façon rationnelle. En outre, comme il était indiqué précédemment, les structures conçues ainsi seront extrêmement tolérantes à l'ampleur des exigences de ductilité que les futurs grands tremblements de terre pourraient imposer.

De plus amples renseignements sur les essais et les données analytiques liés à divers assemblages de bois utiles dans l'implantation d'une procédure de calcul de la capacité pour les bâtiments en bois de grande hauteur sont donnés à la section 5.2 du GBBGH et sur la conception sismique à la section 5.3 du GBBGH.

## **Analyse et conception pour les surcharges dues au vent**

Il est généralement admis qu'à mesure que la hauteur du bâtiment augmente, les forces du vent deviennent les charges latérales de conception critique pour les états limites ultimes et de service. En raison de l'utilisation de produits en bois d'ingénierie, par rapport aux bâtiments en béton et en acier, les bâtiments en bois massif sont caractérisés par leur légèreté. Ces propriétés, dans les bâtiments en bois massif de grande hauteur, pourraient entraîner des oscillations dynamiques excessives lorsqu'ils sont soumis à des vents violents. À cet égard, une question récurrente parmi les concepteurs est de savoir à quelle hauteur un bâtiment en bois de grande hauteur peut être construit sans problèmes d'aptitude au service dû au vent. Par exemple, les concepteurs de deux bâtiments de grande hauteur (voir les bâtiments Treet et Mjøstårnet, en Norvège, dans la section 5.1 du GBBGH) ont utilisé des dalles en béton pour mieux contrôler les vibrations induites par le vent.

La réponse dynamique des bâtiments de grande hauteur sollicités par le vent dépend de la vitesse et de la direction du vent, de l'environnement immédiat, des conditions du terrain en amont, de l'aérodynamique du bâtiment et des propriétés structurales dynamiques. Une évaluation et une conception satisfaisantes de la performance des bâtiments en bois massif de grande hauteur sollicités par le vent peuvent être réalisées en utilisant des procédures simples mentionnées dans le CNB ou une procédure plus élaborée d'essais en soufflerie. La sous-section 5.3.4 du GBBGH détaille ces procédures avec des exemples d'études de cas, notamment le bâtiment Brock Commons de 18 étages à Vancouver, en Colombie-Britannique, au Canada, qui met en évidence les défis et présente des approches d'ingénierie éolienne basées sur les performances. Des stratégies d'atténuation telles que l'optimisation de la réponse dynamique au vent et les modifications aérodynamiques pour les mouvements excessifs induits par le vent dans les bâtiments en bois de grande taille sont également décrites.

## Contrôle des vibrations structurales et faibles dommages sismiques

Les propriétaires de bâtiments et le grand public pensent généralement que si un bâtiment satisfait aux dispositions du CNB relativement à la conception sismique, aucun dommage n'est à prévoir lors d'un phénomène sismique. Les leçons tirées des tremblements de terre passés au cours des dernières décennies ont forcé à reconnaître que des dommages, parfois graves, peuvent se produire dans les bâtiments conçus conformément au CNB, et ce, même si l'objectif de sécurité des personnes est satisfait. Ces facteurs ont conduit à l'élaboration de nouvelles solutions et technologies pour la conception sismique des bâtiments qui se concentrent sur la réduction des dommages subis pendant et après des séismes majeurs. Ces solutions garantissent que les dommages infligés lors d'un séisme grave sont relativement faibles et peuvent être facilement et financièrement réparés avec un minimum de perturbations et de temps d'arrêt pour les utilisateurs des bâtiments. Des informations relatives aux systèmes à réglage ultérieur de la précontrainte par basculement et autocentrage et aux systèmes avec amortisseurs à friction qui peuvent être utilisés pour atteindre les objectifs de faibles dommages sismiques sont fournies à la section 5.3 du GBBGH.

## Plans et spécifications

En plus des exigences énumérées dans le Code concernant les dessins techniques (voir la sous-section 2.2.4 de la division C du Code), les documents de conception structurale d'un bâtiment en bois de plus de 6 étages doivent comprendre les renseignements indiqués ci-dessous.

Concernant les systèmes de résistance aux charges gravitaires, les éléments suivants doivent minimalement apparaître sur les dessins de structure :

- a) Les paramètres généraux : l'illustration complète de la répartition des charges de gravité, c'est-à-dire les surcharges dues à l'usage (réparties uniformément et concentrées) et les charges permanentes. Des plans repères montrant les charges en présence pour décrire adéquatement la répartition des charges sur les planchers peuvent s'avérer utiles. En ce qui a trait aux toits, il faut inclure les diagrammes de charges de neige illustrant, notamment, l'accumulation, le glissement et les noues ;
- b) Les spécifications et les normes utilisées concernant les éléments de construction massive en bois : le *bois lamellé-collé*, le *bois lamellé-croisé*, le *bois lamellé mécaniquement*, les produits de bois d'ingénierie (normalisés ou exclusifs), les produits de traitement des matériaux, les matériaux de renfort, les fixations en acier, les boulons d'ancrage et les autres éléments de quincaillerie ou autres matériaux entrant dans la construction du bâtiment ;

- c) Les dimensions des poutres et dalles ainsi que les caractéristiques des assemblages et des éléments de support connexes, comme les modèles de clouage/vissage (types, longueurs, pénétration minimale, espacement, etc.);
- d) Les flux de cisaillement autour des ouvertures et à la jonction des systèmes de résistance aux forces sismiques ;
- e) Les éléments des murs et les poteaux, y compris les détails de leur support ;
- f) Les détails des assemblages plancher-plancher relatifs aux charges de gravité ;
- g) Les détails des assemblages des éléments porteurs aux fondations en béton.

Concernant les systèmes de résistance aux forces latérales (vent et séisme), les éléments suivants doivent minimalement apparaître sur les dessins de structure :

- a) Les paramètres généraux : l'illustration complète de la répartition des charges latérales, c'est-à-dire les données pour le vent (incluant les diagrammes), les données sismiques, les caractéristiques de l'emplacement, la catégorie de risque, le type de SRFS, le coefficient de modification de force lié à la ductilité du SRFS ( $R_d$ ) et le coefficient de modification de force de surrésistance ( $R_o$ );
- b) Les caractéristiques intrinsèques du bâtiment : la période de conception du bâtiment dans chaque direction pour les charges sismiques et les calculs de déformation ;
- c) La force de calcul sismique latérale agissant à la base de la structure et aux étages dans les deux directions ;
- d) Les prévisions de la flèche horizontale du bâtiment due aux charges de vent et aux charges sismiques ;
- e) Les détails des systèmes de résistance aux forces latérales sans égard au calcul des charges de gravité ;
- f) Les élévations des systèmes de résistance latérale, les détails du transfert de cisaillement, les modèles de clouage/vissage (types, longueurs, pénétration minimale, espacement, etc.), ainsi que les ouvertures ;
- g) Les spécifications et les normes utilisées concernant les éléments de construction massive en bois : le *bois lamellé-collé*, le *bois lamellé-croisé*, le *bois lamellé mécaniquement*, les produits de bois d'ingénierie (normalisés ou exclusifs), les produits de traitement des matériaux, les matériaux de renfort, les fixations en acier, les boulons d'ancrage et les autres éléments de quincaillerie ou autres matériaux entrant dans la construction du bâtiment ;
- h) La disposition générale et les détails des dispositifs d'ancrage (y compris les dispositifs de compensation du retrait, s'il y a lieu), ainsi que leur emplacement sur le plan ;
- i) L'emplacement des dispositifs d'ancrage sur les plans de structure des fondations de béton, y compris tout renfort additionnel ;
- j) Les détails des diaphragmes, les éléments de transfert et les détails des membrures ;
- k) Les modèles de clouage/vissage (types, longueurs, pénétration minimale, espacement, etc.) et le blocage (fourrures) des diaphragmes de plancher et de toit ;
- l) Le cheminement des efforts dans les diaphragmes, dans les ouvertures et à la jonction des murs de refend ;
- m) Les détails du cisaillement latéral à travers les planchers.

Concernant les détails supplémentaires à inclure dans les dessins, les éléments suivants doivent également être examinés lors de la conception et apparaître sur les dessins de structure :

- a) Les tolérances de construction ;
- b) Le retrait global prévu, à la suite du retrait de chaque étage ;
- c) Les valeurs de retrait de tous les matériaux structuraux prévus et de tous les autres matériaux en bois susceptibles d'influer sur une déformation verticale du bâtiment découlant du retrait des éléments en bois. Il faut inclure une estimation de la déformation verticale potentielle afin d'assurer la construction d'éléments non porteurs selon des méthodes appropriées ; ces éléments sont, par exemple, des joints d'expansion dans les colonnes de plomberie (les matériaux doivent permettre un certain mouvement) ;
- d) Le système de détermination du retrait normalisé pour le bois entrant dans la construction du projet (hypothèses de calcul : coefficient de retrait, teneur en humidité initiale et finale) ;
- e) Toute entaille réalisée ou réalisable sur les éléments structuraux de plancher, de toiture et de mur.

## **2.13. Sécurité et protection incendie durant la construction**

Les exigences de sécurité et de protection incendie des bâtiments dictées dans le Code et dans ce document font référence à des exigences de protection passive et de protection active entièrement fonctionnelles. La protection passive comprend essentiellement les concepts de résistance au feu (compartimentation et capacité structurale), alors que la protection active consiste à procurer une protection incendie à partir d'un système de détection automatique d'incendie ou de suppression de l'incendie (comme des gicleurs).

Or, durant la construction de bâtiments, ces mesures de protection active et passive ne sont pas nécessairement en place ni opérationnelles. Ainsi, advenant un incendie durant la construction, celui-ci peut croître et se propager beaucoup plus rapidement que dans un bâtiment adéquatement compartimenté par l'utilisation de séparations ainsi que de murs coupe-feu et de gicleurs opérationnels.

Dès la planification du projet, il est essentiel de consulter les services de protection incendie au sujet de la réglementation applicable sur le territoire pendant la construction d'un tel bâtiment. Des dispositions additionnelles, concernant notamment l'élaboration d'un plan de sécurité incendie, le nombre d'extincteurs portatifs requis sur le chantier et les accès pour les véhicules d'urgence, pourraient être exigées. Par ailleurs, il est également possible que le service incendie applique la section 5.6. du chapitre VIII, Bâtiment, du Code de sécurité du Québec, et Code national de prévention des incendies – Canada 2010 (modifié) qui comporte des exigences de sécurité incendie pour tous les types de bâtiment.

Outre les dispositions des lignes directrices du présent document, il s'avère primordial de prévoir un programme de gestion et de contrôle des risques sur le chantier, programme implanté par un directeur des travaux bien informé des exigences du service incendie et des assureurs. Un tel programme devrait notamment aborder les aspects suivants, sans nécessairement s'y limiter :

- Les réchauds portatifs ;
- L'interdiction du chauffage au propane en cours de chantier, ou son balisage pour s'assurer qu'il ne représentera pas un risque d'incendie ;
- La sécurité du chantier (gardien de sécurité, service de patrouille, caméras de surveillance, etc.) ;
- Le travail à chaud (soudure, découpage, pose de toiture à chaud, goudronnage, etc.) ;
- L'entreposage sécuritaire des matériaux combustibles et des carburants ;
- La gestion des déchets et des débris (cueillette journalière, aucun brûlage au chantier, etc.) ;
- L'installation et l'inspection des travaux électriques ;
- La sécurité incendie envers les bâtiments adjacents.

Il est à noter que le CNPI 2020 comporte des dispositions techniques pour réduire les risques d'incendie durant la construction d'un bâtiment de *construction massive en bois encapsulé*. Notamment, il est requis d'installer et de mettre en service un réseau de canalisation d'incendie, selon certaines conditions, dès l'arrivée de matériaux combustibles sur le chantier. De plus, une encapsulation temporaire d'au moins 25 minutes est exigée afin qu'au moins 80 % de la superficie des plafonds de chaque étage et qu'au moins 65 % de la surface des murs soient encapsulés. Cette encapsulation temporaire est requise à tous les étages, au fur et à mesure qu'ils sont construits, à l'exception des 4 étages adjacents supérieurs qui peuvent demeurer apparents. L'utilisation d'un panneau de gypse de type X de 12,7 mm est reconnue comme un matériau acceptable pour fournir ce niveau d'encapsulation temporaire.

Des exigences d'encapsulation temporaire se sont avérées problématiques lors de la construction de certains bâtiments de *construction massive en bois encapsulé*, notamment en lien avec le potentiel d'accumulation d'humidité excessive entre les éléments en bois et cette encapsulation temporaire. Ainsi, une approche par performance est préférable.

À cet effet, le Service de sécurité incendie de Montréal a publié en 2016 un document de planification de la sécurité incendie sur les chantiers de construction massive en bois d'un bâtiment d'au plus 12 étages. Ce document fournit un bon nombre d'aspects particuliers à considérer lors de la construction de ces types de bâtiment et il est fortement recommandé de le consulter et, au minimum, de répondre à tous les aspects demandés dans ce document.

Lors de la construction, les ouvertures pratiquées dans les éléments horizontaux devraient être temporairement protégées afin de limiter l'infiltration d'eau aux étages inférieurs et la propagation d'un feu aux étages supérieurs. Cette protection temporaire sera enlevée lorsque les dispositifs coupe-feu seront installés convenablement (se référer à la section 2.6 de ce document). La figure 29 illustre des ouvertures protégées à partir d'un contreplaqué et d'une membrane étanche autocollante. Des panneaux de gypse ou de fibrociment sont aussi des matériaux acceptables pour protéger temporairement ces ouvertures, à la condition que ces matériaux soient convenablement scellés à leur périmètre.

**Une approche par performance inspirée du CNPI et la consultation du document du Service de sécurité incendie de Montréal sont souhaitables pour élaborer un programme de gestion et de contrôle des risques sur le chantier.**

**Figure 29 Protection des ouvertures lors de la construction**  
(source : GHL Consultants Ltd.)



Finalement, la préfabrication des assemblages de murs et de planchers devrait être privilégiée dès le début du projet. En effet, la préfabrication des éléments diminue grandement les délais de construction, réduit la quantité de déchets de construction sur le chantier et par conséquent réduit le risque d'incendie durant la construction. Également, lorsque les panneaux de gypse sont installés en usine, la probabilité d'incendie au chantier est réduite.

De plus amples renseignements sur les mesures de sécurité et de protection incendie durant la construction peuvent être obtenus dans le chapitre du GBBGH, le CNPI, la norme NFPA 241 et plusieurs manuels de référence du Conseil canadien du bois.

## **2.14. Directives d'ordre administratif**

Il est important que les futurs propriétaires ou copropriétaires soient bien informés des particularités du bâtiment de construction massive en bois, entre autres en ce qui concerne l'importance de conserver les plaques de gypse assurant l'encapsulation des éléments structuraux en bois. C'est pour cette raison qu'un programme d'entretien doit être transmis aux futurs propriétaires.

Le propriétaire ou le copropriétaire doit obtenir, de l'architecte ou de l'ingénieur ayant conçu le projet et ayant la responsabilité de la surveillance des travaux, une attestation indiquant que les lignes directrices énoncées dans le présent document ont été respectées.

L'attestation remise au propriétaire ou au copropriétaire est considérée par la RBQ comme une mesure équivalente et servira à déterminer quels projets sont conçus selon les critères du présent document. Comme cette attestation sera liée au bâtiment tout au long de sa durée de vie utile, il est important qu'elle soit conservée sur les lieux aux fins de consultation.



PARTIE 3

# Équipe de travail et coordination des travaux





La coordination de tous les aspects de la conception et de la construction susceptibles d'avoir une répercussion sur l'intégrité du bâtiment est d'une importance capitale. La tenue d'une réunion de démarrage entre les professionnels et l'entrepreneur est essentielle afin de clarifier certains éléments concernant la réalisation des dessins techniques. Les interactions entre les différents corps de métier, le sujet des percements et des entailles dans les éléments structuraux, lorsqu'ils sont permis, ainsi que les questions pertinentes concernant le retrait dimensionnel et la gestion de l'eau doivent notamment être abordés. Les intervenants des métiers de mécanique du bâtiment (dont l'électricité et la plomberie) doivent aussi assister à cette réunion. Il faut entre autres indiquer clairement à l'équipe que le découpage des éléments structuraux pour faciliter le passage des installations et équipements techniques et des services est formellement interdit sans l'approbation de l'ingénieur en structure responsable du projet. Également, la question du retrait du bois qui compose la charpente du bâtiment doit faire l'objet d'une coordination avec tous les membres de l'équipe de conception, étant donné que le retrait influe non seulement sur la structure et l'enveloppe du bâtiment, mais aussi, par exemple, sur les services verticaux, les systèmes de gicleurs et l'enveloppe du bâtiment.


**La tenue d'une réunion de démarrage entre les professionnels et l'entrepreneur est essentielle.**

Pour atténuer les risques de retrait, de gonflement ou de tassement et leurs effets néfastes sur la conception des bâtiments en bois de grande hauteur, les pratiques suivantes doivent être privilégiées par l'équipe de travail :

- a) Il importe de réduire la teneur en humidité (TH) initiale du bois et des produits du bois pour permettre de diminuer considérablement la quantité de mouvements verticaux pouvant se produire ;
- b) Il est très important de protéger le plus possible le bois et les produits du bois des sources d'eau pendant la construction et la vie utile du bâtiment. L'entreposage extérieur des produits du bois sur le chantier de construction devrait être réduit. Les matériaux devraient être livrés juste à temps pour l'installation afin d'éviter le mouillage potentiel. Tous les produits devraient être emballés lors de la livraison. Des mesures devraient être prises à l'avance pour minimiser le mouillage sur le chantier. Les produits composites à base de bois et de bois d'ingénierie requièrent généralement plus d'attention pendant l'entreposage et la manipulation, la plupart étant fabriqués dans des conditions de très faible TH avec une plus grande exposition des fibres d'extrémité et des autres surfaces et plus d'espaces créés lors de la fabrication. Par conséquent, ces produits peuvent être plus sensibles à l'absorption d'humidité lors d'incidents de mouillage que le bois de sciage traditionnel. Un chantier de construction protégé contre les intempéries est recommandé ;
- c) Une séquence de construction appropriée joue également un rôle important dans la réduction du mouillage, du retrait et des autres problèmes liés à l'humidité qui en résultent. Le gonflement causé par l'humidité créée par les activités de construction comme la coulée d'une chape de béton devrait être pris en considération ; ce type d'activité devrait être achevé aux premières étapes de la construction. L'utilisation d'éléments préfabriqués et séchés à base de bois ou d'éléments en béton est recommandée. Le chapitre 8 du GBBGH fournit des renseignements supplémentaires sur la préfabrication ;

**Il est très important de protéger le plus possible le bois et les produits du bois des sources d'eau pendant la construction et la vie utile du bâtiment.**

- d) Les produits du bois dans des conditions protégées peuvent sécher naturellement lorsqu'ils sont bien aérés et que le niveau d'humidité de l'air n'est pas trop élevé. Un délai suffisant doit être prévu pour le séchage. Dans le cas où les éléments en bois sont exposés à la pluie pendant le transport ou la construction, les murs et les toits ne doivent pas être refermés avant que les matériaux de la structure n'aient eu le temps de sécher pour atteindre un niveau acceptable d'humidité. Dans des conditions froides et humides, l'utilisation de chauffage peut efficacement sécher le bois et améliorer l'efficacité de la construction. Les composants rigides (équipement technique, tuyaux, cages d'ascenseur, parement) devraient être installés aussi tard que la construction le permet afin de minimiser les dommages liés au tassement ultérieur de la structure en bois ;
- e) Outre le retrait, les autres causes de mouvement vertical dans les structures de bois qui devraient être prises en considération par l'équipe de travail lors de la conception incluent les effets des charges verticales (déformation causée par les charges de compression, y compris la déformation élastique instantanée et le fluage) et les effets de la fermeture des espaces entre les éléments (tassement) ;
- f) Le retrait différentiel entre les différents types de produits du bois et entre le bois et les autres matériaux comme l'acier et le béton doit également être pris en compte. Ce type de retrait se produit par exemple là où les éléments en bois de la structure sont reliés à des composants rigides d'autres matériaux, comme la maçonnerie (parement), le béton (cages d'ascenseur), les éléments mécaniques et la plomberie, et là où les produits du bois comme le bois d'œuvre, le bois massif et les produits de bois d'ingénierie sont utilisés. Dans les composants en acier des assemblages, l'utilisation de trous oblongs qui permettent le mouvement des goujons ainsi que l'élimination du contact direct entre le béton, la maçonnerie et les éléments à base de bois sont parmi les détails de conception les plus favorables.



PARTIE 4  
**Entretien  
et maintenance  
du bâtiment**



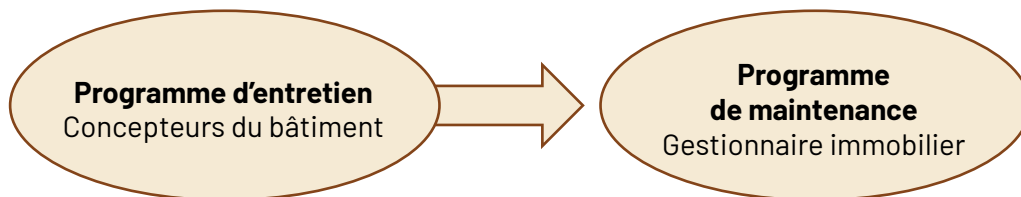


En vertu du chapitre VIII, Bâtiment, du Code de sécurité, un propriétaire a l'obligation de maintenir son bâtiment en bon état de fonctionnement et sécuritaire conformément à la réglementation applicable lors de sa construction (chapitre VIII, Bâtiment, du Code de sécurité du Québec, et Code national de prévention des incendies – Canada 2010 [modifié], art. 345).

## Définitions

Il vaut la peine d'établir la distinction entre le programme d'entretien recommandé par les concepteurs et le programme de maintenance qui est mis en place par le propriétaire du bâtiment. Plus précisément, le programme d'entretien est une série de tâches à exécuter à des intervalles précis qui favoriseront la durée de vie du bâtiment et de ses composants à long terme. Le développement d'un programme de maintenance est, quant à lui, un programme élaboré en fonction de choix stratégiques du propriétaire. Le programme de maintenance pourra faire coïncider certaines tâches d'entretien, omettre certaines tâches ou en augmenter la fréquence. Ces décisions pourront entraîner des répercussions importantes sur la durée de vie des équipements, les coûts engendrés par les pannes et/ou arrêts de services, les investissements en capitaux, etc. Le programme de maintenance devrait en principe être établi à partir du programme d'entretien fourni par les concepteurs.

**Figure 30 Relation entre programme d'entretien et programme de maintenance**



Les tâches d'entretien peuvent être de trois natures comme définies ci-dessous :

- **Entretien préventif** : inspection de routine pour évaluer l'état des composants, éléments et systèmes
- **Entretien correctif** : réparation des composants, éléments et systèmes
- **Réhabilitation** : remplacement des composants, éléments et systèmes à la fin de leur durée de vie

## Inventaire des équipements et des installations à entretenir

La première étape du développement d'un programme d'entretien est de réaliser un inventaire des équipements et des installations. Il est suggéré de suivre la classification Uniformat II, niveau 3 éléments individuels, afin de s'assurer du caractère systématique de l'inventaire. À titre de référence, la classification Uniformat II comprend sept sections qui sont : l'infrastructure, la superstructure et l'enveloppe, l'aménagement intérieur, les services, les équipements et ameublements, les constructions spéciales et la démolition et l'aménagement d'emplacement.

Pour chaque élément, il est suggéré de détailler comme suit :

- La localisation (photographies au besoin)
- Le fournisseur/fabricant
- La fonction
- Le numéro de modèle/série
- Numéro de section Unifomat II (le niveau 3 suffit)
- Les spécifications techniques
- La date d'achat et la période de garantie
- Le coût d'achat
- Le matériel de maintenance de base (p. ex. : type de filtre, joints d'étanchéité, etc.)
- Les manuels et autres documents pertinents.

Dans le contexte d'un bâtiment de construction massive en bois de grande hauteur nouvellement construit, il est possible de s'appuyer sur les plans et devis, les fiches techniques des manufacturiers et un inventaire visuel des lieux avant la livraison pour répertorier les équipements et les installations. L'inventaire évoluera dans le temps. Ce dernier devra être mis à jour par le propriétaire/opérateur du bâtiment lorsque des changements sont apportés.

## **Développement du programme d'entretien**

Le programme d'entretien devrait contenir des informations de base sur le bâtiment et les critères de conception. Parmi ces informations, on devrait retrouver :

- Nom des concepteurs de l'immeuble (architecte, ingénieurs, etc.) et leur affiliation professionnelle
- Nom des entrepreneurs impliqués dans la réalisation des travaux
- Propriétaire de l'immeuble
- Dates de construction et de livraison
- Plans et devis de l'immeuble (tel que construit) scellés par les concepteurs
- Description des paramètres de conception (usages, hauteur, protection par gicleurs, degrés d'encapsulation et de résistance au feu, séparation coupe-feu, édition du Code applicable, etc.)
- Description des conditions environnementales pour lesquelles l'édifice a été conçu, par exemple, températures, précipitations, séismes, vents, conditions de sol.

Un programme d'entretien devrait également porter sur les composants, éléments et systèmes suivants :

- Mécanique du bâtiment (production et distribution)
  - Chauffage
  - Climatisation
- Plomberie et électricité
- Système incendie et sécurité incendie
  - Gicleurs automatiques
  - Maintien du *degré d'encapsulation* à long terme
  - Scellants et gaines
- Ascenseurs, escaliers mécaniques
- Structure du bâtiment
  - Retrait du bois et systèmes de résistances aux charges latérales
  - Structure du bâtiment exposée à l'environnement extérieur ( finition et scellants)
  - Intégrité de la structure (pas un fond de clouage)
- Balcons et projections horizontales
- Enveloppe du bâtiment
  - Toiture
  - Portes et fenêtres (vitrages)
  - Scellants et solins
  - Adhésion de la membrane (relâchement de sève)
  - Détails des façades, parements, supports et ancrages du revêtement extérieur
  - Gestion de l'humidité relative dans le bâtiment
- Garages et stationnements
- Présence d'insectes ou autre rongeur (p. ex. : fourmis)
- Systèmes de sécurité (caméras, poignées, serrures et électricité)
- Aménagement paysager (maintien des pentes pour évacuation de l'eau).

Un programme d'entretien devrait prévoir des tâches d'entretien préventif et des tâches d'entretien correctif incluant le remplacement des éléments de bâtiment lorsque leur durée de vie est excédée ou lorsqu'ils sont usés ou détériorés. Il est donc pertinent de répertorier les durées de vie estimées des éléments du bâtiment. Il relève du concepteur de déterminer quelles sont les durées de vie utiles qui devraient s'appliquer aux différents éléments d'un bâtiment en fonction de ses connaissances. La norme CSA S478-2019 « Guidelines on Durability in Buildings » donne de plus amples informations relativement à l'évaluation de la durée de vie des bâtiments et de ses constituants.

Le CNPI 2020 comporte des exigences spécifiques aux matériaux d'encapsulation endommagés ou enlevés dans les bâtiments de *construction massive en bois encapsulé*. Ainsi, dans l'éventualité où les matériaux ou l'assemblage de matériaux servant à encapsuler les éléments massifs en bois sont endommagés ou enlevés, ils devront être réparés ou remplacés afin que le *degré d'encapsulation* requis soit maintenu. La réparation ou le remplacement des matériaux ou assemblage de matériaux devra s'effectuer conformément aux exigences définies dans ce document dans les plus brefs délais.

Une inspection annuelle générale devrait être prévue afin de recenser le plus tôt possible les détériorations apparues dans l'année. Le programme d'entretien devrait mettre l'accent sur la prévention de manière à s'assurer que le programme ne constitue pas une gestion de fin de vie des éléments, ce qui pourrait entraîner des dommages plus importants (propagation des dommages).

Le programme d'entretien comprendra donc les éléments suivants :

- Section des généralités
- Inventaire des éléments, équipements et composants à entretenir
- Description des principales tâches d'entretien préventif, d'entretien correctif et de remplacement des équipements
- Estimations des durées de vie et intervalles de réalisation des différentes tâches
- Description des conditions environnementales et des agents de dégradation (mécaniques, électromagnétiques, thermiques, chimiques et/ou biologiques) affectant les composants, éléments et systèmes
- Références aux normes, bonnes pratiques et réglementations applicables
- Coûts de réalisation des travaux (à titre indicatif).

## Implantation et suivi du programme d'entretien

Une attention particulière doit être portée à l'implantation du programme d'entretien par le propriétaire (ou les copropriétaires) de l'immeuble. Une fois le bâtiment livré, le propriétaire (ou les copropriétaires) de l'immeuble est responsable de la réalisation des tâches qui seront à exécuter à partir du programme de maintenance à long terme. Dans le cas des condominiums, la charte de copropriété est un bon véhicule pour l'implantation d'un programme de maintenance. Dans de tels cas, il serait pertinent, voire pratique, d'arrimer l'inspection et l'entretien des éléments et composants qui ne sont pas couverts par des normes précises (ou dont l'accès est restreint) avec des éléments dont l'entretien est réglementé et normalisé (p. ex. : inspection annuelle des gicleurs et intégrité des panneaux de gypse). Advenant la vente de l'immeuble, il est impératif que le propriétaire informe l'acquéreur des caractéristiques et des exigences particulières de manière que les programmes d'entretien et de maintenance soient maintenus pour la durée de vie du bâtiment et de l'ensemble de ses composants.

Pour de plus amples renseignements, le lecteur peut consulter le chapitre 9, Surveillance et entretien, du GBBGH.

**Dans l'éventualité où les matériaux ou l'assemblage de matériaux servant à encapsuler les éléments massifs en bois sont endommagés ou enlevés, ils devront être réparés ou remplacés afin que le *degré d'encapsulation* requis soit maintenu. La réparation ou le remplacement des matériaux ou assemblage de matériaux devra s'effectuer dans les plus brefs délais.**

PARTIE 5  
**Autres lois  
et règlements  
applicables au projet**





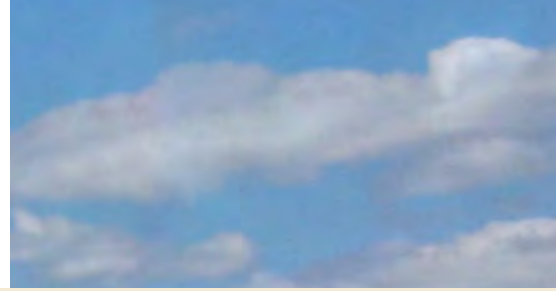
Si toutes les exigences des lignes directrices énoncées au présent document sont respectées, il n'est pas requis d'acheminer une demande de mesures équivalentes à la RBQ. Le bâtiment est ainsi présumé conforme à la réglementation. Toutefois, ceci ne dispense pas les professionnels et les constructeurs de leur obligation de conformité à toutes les dispositions réglementaires applicables. Le demandeur demeure également tenu d'obtenir, le cas échéant, toute autre autorisation requise par toute loi ou tout règlement.

La RBQ pourra en tout temps exiger que les plans et devis ainsi que les rapports de surveillance des travaux et les attestations lui soient remis aux fins de vérification et de contrôle.

Lorsque le chapitre I, Bâtiment, du Code de construction permettra la construction d'un bâtiment de construction massive en bois de plus de 6 étages, ces lignes directrices ne seront plus valides.



# CONCLUSION





Le présent document, destiné aux concepteurs et constructeurs, énonce les conditions déterminées par la RBQ en vertu de l'article 127 de la Loi sur le bâtiment pour approuver l'utilisation du bois en tant que matériau structural différent de ce qui est prévu au chapitre I, Bâtiment, du Code de construction du Québec (CNB 2015 modifié). Un bâtiment conçu et construit en respectant les conditions déterminées par la RBQ et en tenant compte des spécifications techniques décrites dans le présent document est présumé satisfaire aux objectifs du Code et permet d'assurer la sécurité du public.

Rappelons que les systèmes de construction dont il est question dans ce document sont de ces types :

- Poutres et colonnes en gros bois d'œuvre, en *bois de charpente composite (structural composite lumber)* et en *bois lamellé-collé (glue-laminated timber)*;
- *Bois lamellé-croisé (cross-laminated timber)*;
- *Bois lamellé mécaniquement (mechanically-laminated timber, MLT)*;
- Hybride (bois, acier et/ou béton);
- Une combinaison des systèmes précédents.

La RBQ diffuse ce document élaboré en collaboration avec les experts du centre de recherche FPInnovations, qu'elle a mandatés.

Ce document est basé sur les modifications qui seront apportées au Code national du bâtiment 2020, au Code national de prévention des incendies 2020 et les normes y référant, sur le *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada*, à publier par FPInnovations en 2022, ainsi que les dispositions du *International Building Code 2021* des États-Unis. Par le fait même, la RBQ et FPInnovations désirent remercier l'ensemble des auteurs et réviseurs qui ont collaboré à la rédaction du GBBGH.

Le présent document s'appuie également sur divers bâtiments de plus de 6 étages préalablement construits ou en construction dans le monde. Les conditions minimales énoncées dans ce document sont également basées sur les résultats d'essais effectués au Conseil national de recherches Canada en collaboration avec FPInnovations et le Conseil canadien du bois, qui viennent confirmer les niveaux de performance de ce type de construction.

Finalement, le gouvernement du Québec a publié en 2020 une nouvelle politique d'intégration du bois dans la construction ayant pour objectif d'augmenter l'utilisation du bois dans la construction en vue de favoriser le développement durable de toutes les régions du Québec et de réduire l'empreinte carbone des bâtiments. La diffusion de ce document s'inscrit ainsi dans la volonté du gouvernement de permettre une utilisation équitable du bois dans la construction au Québec tout en atteignant le niveau de sécurité exigé par le Code.

## Références

AMA, *Standata 19-BCV-014 |19-FCV-019: 12-Storey Encapsulated Mass Timber Construction*, Edmonton (Alberta) : Alberta Municipal Affairs – Community & Technical Support.

ANSI, *Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber (ANSI/APA PRG 320- 2019)*, Tacoma (Washington, États-Unis) : APA – The Engineered Wood Association, 2019.

AIBC et EGBC, *Joint Professional Practice Guidelines Version 1.0 - Encapsulated Mass Timber Construction Up to 12 Storeys*, Architectural Institute of British Columbia and Engineers and Geoscientists British Columbia, 2021.

ASTM, *ASTM C840-13, Application and Finishing of Gypsum Board*, West Conshohocken (Pennsylvanie, États-Unis) : ASTM International, 2013.

ASTM, *ASTM C1396/C1396M-14, Gypsum Board*, West Conshohocken (Pennsylvanie, États-Unis) : ASTM International, 2014.

ASTM, *ASTM D5456-18, Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products*, West Conshohocken (Pennsylvanie, États-Unis) : ASTM International, 2018.

ASTM, *ASTM E84, Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials*, West Conshohocken (Pennsylvanie, États-Unis) : ASTM International, 2021.

Brandon, D., J. Sjöström, A. Temple, E. Hallberg et F. Kahl, *Fire Safe Implementation of Visible Mass Timber in Tall Buildings – Compartment Fire Testing (RISE Report 2021:40)*, RISE Research Institute of Sweden, Stockholm (Suède), 2021.

CCMC, *Technical guide for structural composite lumber*, Ottawa (Ontario) : Centre canadien de matériaux de construction, 2006.

CCMC, *Technical guide for evaluation of seismic force resisting systems and their force modification factors for use in the National Building Code of Canada with concepts illustrated using a cantilevered wood CLT shear wall example*, Ottawa (Ontario) : Canadian Construction Materials Centre, 2021.

CNRC, *Code de construction du Québec, Chapitre I – Bâtiment, et Code national du bâtiment – Canada 2015 (modifié)*, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2022.

CNRC, *Code de sécurité du Québec, Chapitre VIII – Bâtiment, et Code national de prévention des incendies – Canada 2010 (modifié)*, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2012.

CNRC, *Code national du bâtiment – Canada 2020*, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2022.

CNRC, *Code national de prévention des incendies – Canada 2020*, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2022.

CNRC, *Commentaires sur le calcul des structures (Guide de l'utilisateur – CNB 2015 : Partie 4 de la division B)*, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2017.

CNRC, *National Building Code – 2019 Alberta Edition*, Ottawa (Ontario) : Conseil national de recherches Canada, 2019.

CSA, *CSA A23.3, Calcul des ouvrages en béton*, Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2019.

CSA, *CSA A82.27, Plaques de plâtre*, Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 1991.

CSA, *CSA 0122-16, Structural Glued-Laminated Timber*, Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2016.

CSA, *CSA 0177-06 (R2015), Règles de qualification des fabricants de bois de charpente lamellé-collé*, Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2015.

CSA, *CSA 086-19, Règles de calcul des charpentes en bois*, Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2019.

CSA, *CSA S16-19, Règles de calcul des charpentes en acier*, Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2019.

CSA, *CSA S413-21, Parking Structures*, Mississauga (Ontario) : CSA Standards, 2021.

CWC, *Fire Safety and Security: A Technical Note on Fire Safety and Security on Construction Sites in British Columbia*, Ottawa (Ontario) : Canadian Wood Council, 2012.

CWC, *Fire Safety Design in Buildings*, Ottawa (Ontario) : Canadian Wood Council, 1997.

Dagenais, C., L. Ranger et N. Benichou, *Manuel sur le bois lamellé-croisé* (édition canadienne), chapitre 8, « Comportement au feu des éléments de charpente en bois lamellé-croisé », Québec (Québec) : FPIInnovations, 2019.

Finch, G. et B. Brown, *Mass Timber Building Enclosure Best Practice Design Guide*, RDH Building Science, 2020.

GBC, *BC Building Code*, Victoria (Colombie-Britannique) : Government of British Columbia, 2018.

Karacabeyli, E. et C. Lum, *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada*, 2<sup>e</sup> édition, Pointe-Claire (Québec) : FPIInnovations, 2022.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), *Quantification of building seismic performance factors* (FEMA P-695), Washington (DC), 2009.

ICC, *International Building Code*, Country Club Hills (IL) : International Code Council, 2021.

Medina, A., *Fire Resistance of Partially Protected Cross-Laminated Timber Rooms*, Thèse (Ph. D.), Ottawa (Ont.) : Carleton University, 2014.

McGregor, C., *Contribution of Cross-Laminated Timber Panels to Room Fires*, Thèse (Ph. D.), Ottawa (Ontario) : Carleton University, 2013.

NFPA, *NFPA 13, Standard for the Installation of Sprinkler Systems*, Quincy (Massachusetts, États-Unis) : National Fire Protection Association, 2019.

NFPA, *NFPA 80, Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives*, Quincy (Massachusetts, États-Unis) : National Fire Protection Association, 2019.

NFPA, *NFPA 241, Standard for Safeguarding Construction, Alteration, and Demolition Operations*, Quincy (Massachusetts, États-Unis) : National Fire Protection Association, 2019.

Priestley, M.J.N., G.M. Calvi et M.J. Kowalsky, *Displacement-based Seismic Design of Structures*, Pavia (Italie) : IUSS Press, 2007.

SIM, *Planification de la sécurité incendie sur les chantiers de construction massive en bois d'un bâtiment d'au plus 12 étages*, Service incendie Montréal, 2016.

Sjöström, J., D. Brandon, A. Temple, E. Hallberg et F. Kahl, *Exposure from mass timber compartment fires to facades (RISE Report 2021:39)*, RISE Research Institute of Sweden, Stockholm (Sweden), 2021.

Su, J., P. S. Lafrance, M. Hoehler et M. Bundy, *Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2: Tasks 2 & 3 – Cross-Laminated Timber Compartment Fire Tests*, NFPA Fire Protection Research Foundation, Quincy (MA), 2018.

Su, J., P. Leroux, P.-S. Lafrance, R. Berzins, K. Gratton, E. Gibbs et M. Weinfurter, *Nail Laminated Timber Compartment Fire Tests (Client Report A1-014149.1)*, National Research Council Canada, Ottawa (Ontario), 2019.

Taber, B., G. D. Lougheed, J. Z. Su et N. Bénichou, *Alternative Solution for Mid-Rise Wood Construction: Full-Scale Apartment Fire Test with Encapsulated Cross Laminated Timber Construction*, CLIENT REPORT A1-100035-01.10, Ottawa (Ontario) : National Research Council Canada, 2013.

ULC, *CAN/ULC S101-14-REV1, Méthodes d'essais normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2019.

ULC, *CAN/ULC S102, Test for Surface Burning Characteristics of Building Materials and Assemblies*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2018.

ULC, *CAN/ULC S104, Standard Method for Fire Tests of Door Assemblies*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2015.

ULC, *CAN/ULC S114, Méthode d'essai normalisée pour la détermination de l'incombustibilité des matériaux de construction*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2018.

ULC, *CAN/ULC S115, Méthode normalisée d'essais de résistance au feu des dispositifs coupe-feu*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2018.

ULC, *CAN/ULC S134-13 (R2018), Méthode normalisée des essais de comportement au feu des murs extérieurs*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2018.

ULC, *CAN/ULC S146, Standard method of test for the evaluation of encapsulation materials and assemblies of materials for the protection of structural timber elements*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2019.

ULC, *CAN/ULC S702, Mineral Fibre Thermal Insulation for Buildings*, Toronto (Ontario) : Underwriters Laboratories of Canada, 2014.

Wang, J., *Construction Moisture Management – Cross-Laminated Timber*, Vancouver : FPInnovations, 2020.

Zelinka, S. L., L. E. Hasburgh, K. J. Bourne, D. R. Tucholski et J. P. Ouellette, *Compartment Fire Testing of a Two-Story Mass Timber Building*, USDA Forest Products Laboratory, Madison (WI), 2018.





2405(2022-03)