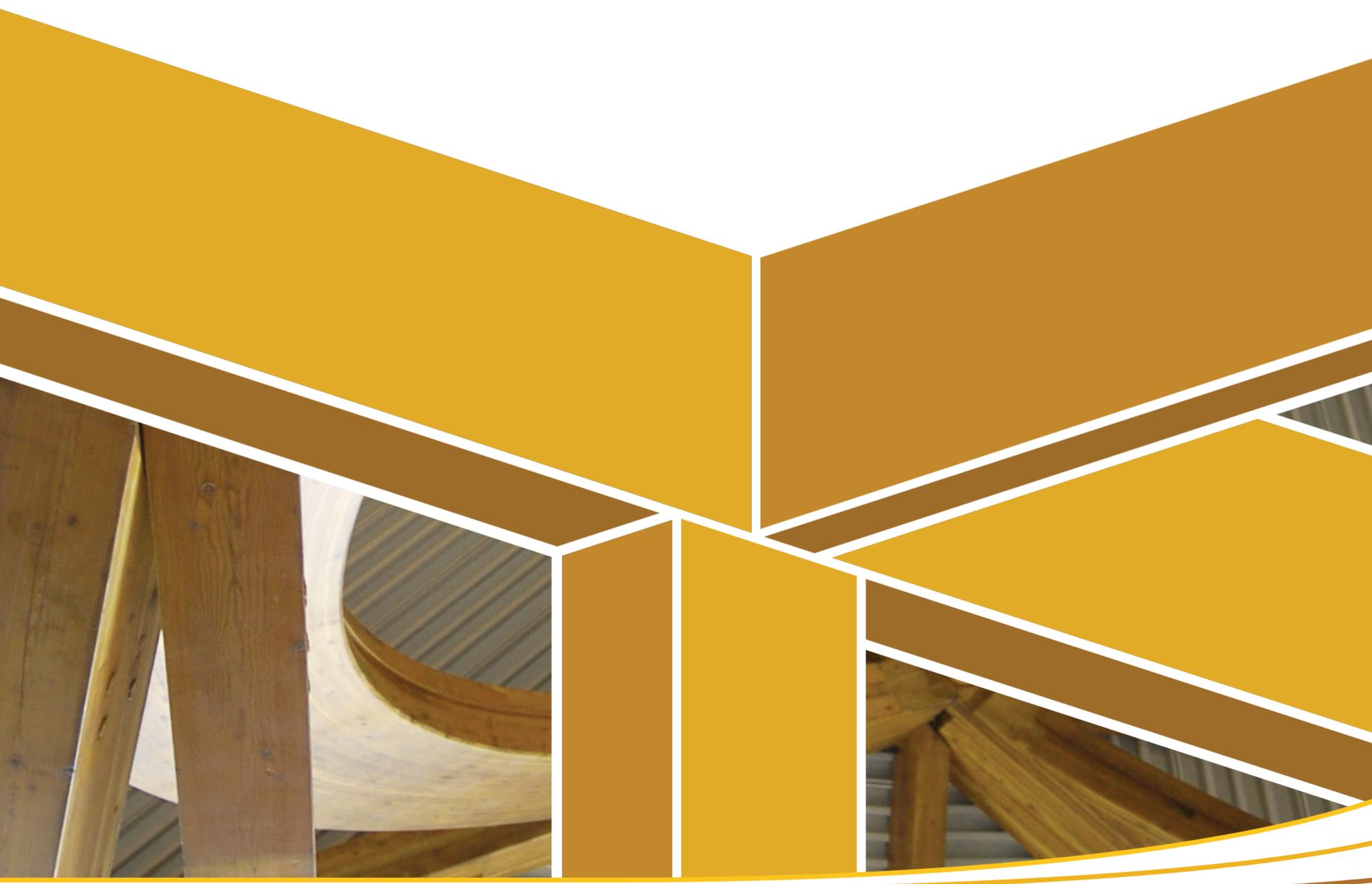


Référence sur les bâtiments en bois de grande hauteur de l'Ontario :

Une ressource technique pour l'élaboration
de solutions de remplacement dans le cadre du
Code du bâtiment de l'Ontario

Octobre 2017



Ministère des Richesses naturelles et des Forêts

Ministère des Affaires municipales

© Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, 2017

ISBN 978-1-7751675-0-1

SOMMAIRE

La présente ressource technique s'adresse aux agents du bâtiment, aux services d'incendie, aux architectes, aux ingénieurs, aux constructeurs, aux experts-conseils en matière de code du bâtiment, aux promoteurs et aux autres parties intervenant dans la conception et l'approbation des bâtiments en bois de grande hauteur dont il est question au tableau 1 ci-dessous. Elle vise à montrer aux demandeurs comment des solutions de remplacement peuvent permettre de concevoir des bâtiments en bois de grande hauteur qui rencontrent le niveau de performance conforme au Code du bâtiment de l'Ontario.

Un bâtiment en bois de grande hauteur est un bâtiment de plus de six étages dont le système structural repose sur la construction massive en bois. Par opposition à l'ossature légère en bois utilisée traditionnellement dans les bâtiments de faible et de moyenne hauteur en Ontario, la construction massive en bois met en œuvre du bois massif de grande taille, du bois lamellé-collé, du bois lamellé-croisé ou d'autres produits de bois de grande dimension mentionnés dans la présente ressource technique. Le bois massif présente l'avantage d'une stabilité dimensionnelle accrue et d'une meilleure résistance aux incendies durant la construction et l'occupation du bâtiment. Les bâtiments en bois de grande hauteur ne sont pas nouveaux en Ontario – de nombreux bâtiments de ce type sont toujours en usage en Ontario après presque 100 ans de service; toutefois, au fil des décennies, les codes du bâtiment et l'adoption de l'acier et du béton pour la construction des immeubles de grande hauteur ont entraîné un recul de la construction de bâtiments en bois de grande hauteur. Grâce à l'arrivée de nouveaux produits du bois et au développement des techniques modernes de protection contre les incendies, des bâtiments en bois de grande hauteur sont de nouveau en construction au Canada. Les nouveaux produits du bois et la façon dont ils sont préfabriqués et construits offrent de formidables possibilités d'améliorer la qualité et la rapidité de construction des bâtiments en Ontario.

Les produits en bois massif comportent également des avantages environnementaux. Les arbres tirent leur énergie du soleil et absorbent le carbone présent dans l'atmosphère. Les arbres emmagasinent le carbone durant leur croissance et, lorsqu'ils sont récoltés de manière durable, le carbone est séquestré dans les produits du bois, ce qui contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le carbone stocké dans le bois n'est pas rejeté dans l'atmosphère au moment de la récolte. Pour remplacer les arbres récoltés, de nouveaux arbres sont plantés qui poursuivront le cycle de stockage du carbone. L'Ontario et le Canada disposent d'importantes ressources forestières qui, combinées à des pratiques d'aménagement forestier durable, font des bâtiments en bois de grande hauteur un choix avantageux par rapport à d'autres matériaux qui n'ont pas ces propriétés.

La présente ressource technique comprend deux principales sections : sécurité-incendie et conceptions structurales. Ces deux grands thèmes sont généralement une préoccupation majeure durant la conception et l'examen des bâtiments en bois de grande hauteur. Comme ils sont aussi parfois inter-reliés, les équipes de conception doivent collaborer avec les services du bâtiment dès les premières étapes de la conception puisque les décisions liées à la structure peuvent avoir une incidence sur la protection contre les incendies, et vice versa. Les sections abordent en détail les aspects de conformité, les méthodes d'analyse, les méthodes de conception et les exigences de performance attendues concernant la sécurité-incendie et la structure. D'autres sujets comme la résistance thermique, la performance acoustique et la constructibilité sont abordés dans les autres références mentionnées tout au long de la présente ressource technique.

MESSAGE DE LA MINISTRE

Les bâtiments en bois de grande hauteur sont la voie de l'avenir. Les avancées technologiques ont permis au bois de redevenir le matériau de prédilection pour la construction des bâtiments de grande hauteur. Le bois est une ressource renouvelable et durable qui contribue à atténuer le changement climatique en stockant le carbone.

En 2014, l'Ontario a modifié son Code du bâtiment de permettre la construction de bâtiments à ossature en bois de six étages. Depuis, l'utilisation du bois et des produits de bois dans la construction suscite un immense intérêt. Cette réaction positive – ainsi que les données probantes de plus en plus nombreuses au sujet des avantages environnementaux de l'utilisation du bois dans la construction – nous a incités à considérer les bâtiments de plus de six étages.

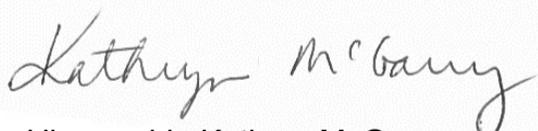
C'est pourquoi je suis fière de présenter le *Référence sur les bâtiments en bois de grande hauteur de l'Ontario : Une ressource technique pour l'élaboration de solutions de remplacement dans le cadre du Code du bâtiment de l'Ontario*.

Le présent document est une ressource qui aidera les architectes, les ingénieurs et les promoteurs à mettre au point des solutions de remplacement pour des projets de construction massive en bois et qui facilitera l'approbation par un chef du service du bâtiment. Il contient des renseignements sur la sécurité-incendie et la conception de structures, parmi d'autres sujets utiles et préoccupants durant le processus de conception et d'examen pour les bâtiments en bois de grande hauteur.

Je souhaite remercier le comité qui a contribué à la préparation du présent document. Les efforts et la persévérance des membres de ce comité ont permis l'élaboration d'un document pratique et utile pour l'industrie.

Je suis fière de collaborer avec nos partenaires afin d'augmenter l'utilisation du bois de l'Ontario provenant de forêts aménagées de façon durable dans des projets de construction d'envergure dans l'ensemble de la province. L'utilisation du bois de l'Ontario contribuera aussi à la lutte contre le changement climatique en permettant le stockage du carbone dans les bâtiments et en contrebalançant les émissions associées aux autres matériaux de construction. Cela est essentiel à la réalisation de notre plan visant à atténuer les effets du changement climatique, tel qu'il est énoncé dans le Plan d'action de l'Ontario contre le changement climatique.

Je vous invite à utiliser le présent document pour vous aider à imaginer et à construire des structures en bois de grande hauteur qui sont inspirantes, novatrices et respectueuses de l'environnement.



L'honorable Kathryn McGarry
Ministre des Richesses naturelles et des Forêts



L'honorable Kathryn McGarry,
Ministère des Richesses naturelles et des Forêts
Bureau 6630, 6e étage, édifice Whitney
99, rue Wellesley Ouest
Toronto (Ontario) M7A 1W3

Madame la Ministre,

Au nom du comité pluridisciplinaire qui a supervisé ce projet, je suis fière de vous remettre une copie du *Référence sur les bâtiments en bois de grande hauteur de l'Ontario : Une ressource technique pour l'élaboration de solutions de remplacement dans le cadre du Code du bâtiment de l'Ontario*.

L'Ontario compte plusieurs bâtiments en bois massif de plus de six étages construits avant l'établissement du premier Code national du bâtiment du Canada en 1941, mais aucune structure de ce type n'y a été bâtie depuis. Toutefois, au cours des dernières années, nous avons constaté un intérêt accru à l'égard des systèmes constructifs en bois massif, notamment en raison du rôle que les bâtiments en bois jouent dans la lutte contre le changement climatique et aussi en raison du développement de produits novateurs qui offrent aux équipes de conception un éventail de nouvelles options.

Le présent document est le fruit des délibérations de plusieurs partenaires dévoués. Il reflète notre engagement commun à l'égard de l'utilisation sécuritaire des systèmes constructifs en bois massif et les efforts que nous déployons pour aider l'Ontario à respecter les engagements de son Plan d'action contre le changement climatique. En tant que groupe, nous considérons que le présent document est un outil important qui aidera les équipes de conception, de même que les responsables municipaux chargés d'examiner ces projets novateurs, à élaborer des solutions de remplacement conformes au Code du bâtiment de l'Ontario.

La présente ressource technique aborde un certain nombre de sujets liés à la sécurité-incendie et à la performance structurale dont les équipes de conception doivent tenir compte lorsqu'elles proposent un bâtiment en bois massif comme solution de remplacement conforme au Code du bâtiment de l'Ontario. Elle offre aussi plusieurs stratégies et ressources que les équipes de conception peuvent utiliser pour élaborer des projets novateurs. Les responsables municipaux pourront également utiliser la présente ressource technique durant l'examen des stratégies et des ressources adoptées par les équipes de conception dans l'élaboration de leurs projets.

Nous espérons que le *Référence sur les bâtiments en bois de grande hauteur* contribuera à accroître l'utilisation des systèmes constructifs en bois massif pour les bâtiments de plus de six étages et que, grâce au présent document, ils seront reconnus comme étant la meilleure solution de conception.

Enfin, je souhaite remercier tous nos partenaires au sein du comité qui ont fait don de leur temps et de leur énergie pour nous aider à réaliser ce projet. Nous venons d'horizons et de disciplines très variés, et nous croyons que cela a eu une incidence positive sur la production du *Référence sur les bâtiments en bois de grande hauteur de l'Ontario : Une ressource technique pour l'élaboration de solutions de remplacement dans le cadre du Code du bâtiment de l'Ontario*.

Je vous prie d'agréer, Madame la Ministre, l'expression de mes sentiments respectueux.



Jason Koivisto

Président du comité responsable du *Référence sur les bâtiments en bois de grande hauteur*

APERÇU : EXIGENCES RELATIVES AUX BÂTIMENTS EN BOIS

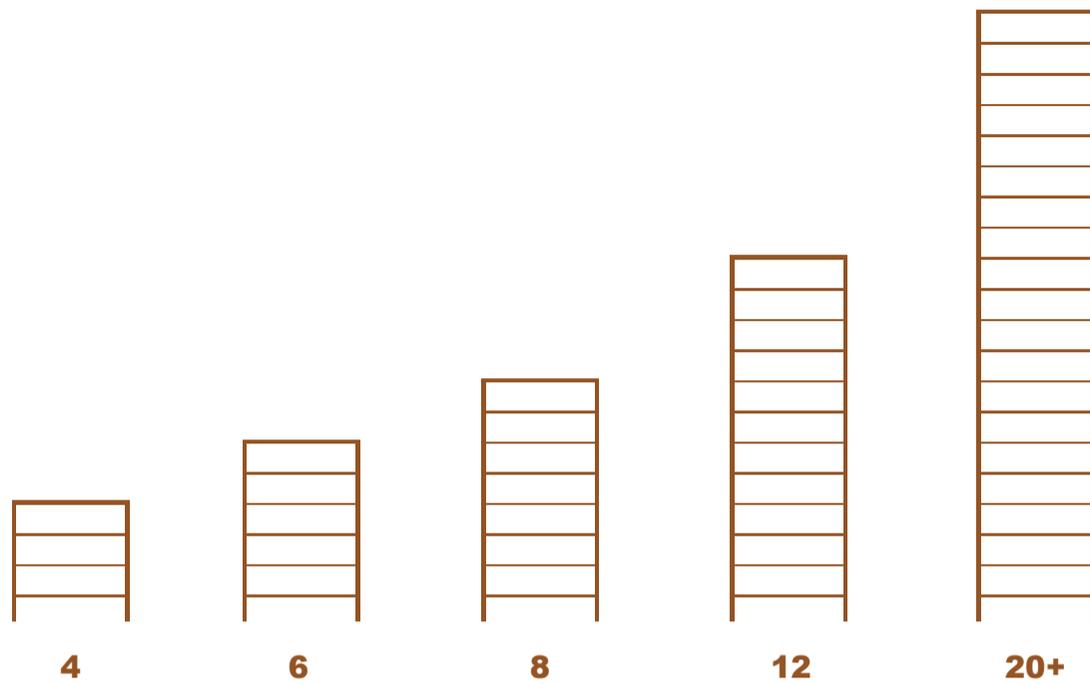


Figure 1 – Illustration des limites de hauteur des bâtiments de 4 à 20 étages et plus

Catégorie	<= 3 étages	<= 3 étages*	<= 3 étages	<= 3 étages	<= 4 étages	<= 6 étages	7-12 étages	> 12 étages
Désignation du CBO	Solution acceptable (partie 9 – résidentiel, certaines exigences de la partie 4)	Solution acceptable (parties 3 et 4)	Solution acceptable (parties 3 et 4)	Solution acceptable (parties 3 et 4)	Solution acceptable (parties 3 et 4)	Solution acceptable (parties 3 et 4)	Solution de rechange	Solution de rechange
Aire de bâtiment maximale (surface par étage)	1, 2, ou 3 étages : 600 m ²	1 étage : 2 700 m ² 2 étages : 1 350 m ² 3 étages : 900 m ²	1 étage : 3 600 m ² 2 étages : 1 800 m ² 3 étages : 1 200 m ²	1 étage : 5 400 m ² 2 étages : 2 700 m ² 3 étages : 1 800 m ²	1 étage : 7 200 m ² 2 étages : 3 600 m ² 3 étages : 2 500 m ² 4 étages : 1 800 m ²	1 étage : 9 000 m ² 2 étages : 4 500 m ² 3 étages : 3 000 m ² 4 étages : 2 250 m ² 5 étages : 1 800 m ² 6 étages : 1 500 m ²		
Hauteur maximale	-	-	-	-	-	18 m du rez-de-chaussée jusqu'au dernier étage		
Extincteurs automatiques	Aucune exigence	Aucune exigence	Aucune exigence	NFPA 13R	NFPA 13R	De 1 à 4 étages : NFPA 13R; 5 et 6 étages : NFPA 13		
Plancher	-	Degré de résistance au feu : 45 minutes	Degré de résistance au feu : 1 heure	Degré de résistance au feu : 45 minutes	Degré de résistance au feu : 1 heure	Degré de résistance au feu : 1 heure		
Cage d'escalier	-	Degré de résistance au feu : 45 minutes	Degré de résistance au feu : 1 heure	Degré de résistance au feu : 45 minutes	Degré de résistance au feu : 1 heure	Degré de résistance au feu de 1,5 heure pour toutes les cages de sortie (construction incombustible)		
Cage d'ascenseur	-	Degré de résistance au feu : 45 minutes	Degré de résistance au feu : 1 heure	Degré de résistance au feu : 45 minutes	Degré de résistance au feu : 1 heure	Degré de résistance au feu : 1 heure		
Catégorie de bâtiment	De faible hauteur	De faible hauteur	De faible hauteur	De faible hauteur	De faible hauteur	De faible hauteur et de moyenne hauteur	De moyenne hauteur	De grande hauteur

Tableau 1 – Comparaison des exigences du Code du bâtiment de l'Ontario (CBO) de 2012 pour les bâtiments en bois

* Aire de bâtiment maximale autorisée si trois façades du bâtiment donnent sur une rue; l'aire autorisée est moins élevée si une ou deux façades du bâtiment donnent sur une rue.

REMERCIEMENTS

Le ministère des Richesses naturelles et des Forêts et le ministère des Affaires municipales souhaitent remercier les auteurs du présent document, le Dr David Moses et madame Mary Alexander de Moses Structural Engineers Inc. et le Dr Steven Craft de CHM Fire Consultants Ltd.

Le ministère souhaite également remercier tous les membres du groupe de travail qui ont contribué à la supervision de ce projet et leur exprimer son appréciation. Le comité était formé des membres suivants :

RESCON	Richard Lyall, Michael de Lint, Paul De Berardis
Conseil canadien du bois	Etienne Lalonde, Helen Griffin, Marianne Berube, Steven Street, Ineke Van Zeeland, Betul Oliver
Ministère des Affaires municipales	Chris Thompson, Greg Zimmer, Heather Black, Mohamed El Semelawy, Leonard Uku, Sydney Raeburn-Bell
Bureau du commissaire des incendies et de la gestion des situations d'urgence, ministère de la Sécurité communautaire et des Services correctionnels	Kim Bailey
Ontario Professional Fire Fighters Association	Mark Train
Ontario Association of Fire Chiefs	Chef Cynthia Ross Tustin
Ressources naturelles Canada et FP Innovations	Mohammad Mohammad
Ville de Burlington	Nick Anastasopoulos
Ville de Toronto	William Johnston, Dylan Aster, Jim Chisholm, Thuy Nguyen
Ville du Grand Sudbury	Guido Mazza
Municipalité de Richmond Hill	Michael Janotta, Alek Antoniuk
Ministère des Richesses naturelles et des Forêts	Wayne Barnes, Jason Koivisto (président), Joe Maure, Iqra Saleem, Paul Mingay, Conor Burdenuk, Aaron Millette, Alex Nott, Allison Suffel
Ordre des architectes de l'Ontario	Darryl Hood
Ontario Association of Building Officials	Joyanne Beckett
Carpenters' District Council of Ontario	Michael Yorke
Building Industry and Land Development Association	Bryan Tuckey
Ville de Surrey	Chef Len Garis

COORDONNÉES

Pour obtenir plus de renseignements, veuillez communiquer avec :

Ministère des Richesses naturelles et des Forêts

70, promenade Foster, bureau 610
Sault Ste Marie (Ontario) P6A 6V5
705-945-6765

masstimber@ontario.ca

www.ontario.ca/fr/page/construire-avec-du-bois

Droit d'auteur © 2017

Avis de non-responsabilité :

Le présent document doit être utilisé parallèlement à un processus de conception technique approprié. Les auteurs, Moses Structural Engineers Inc., CHM Fire Consultants Ltd. et le ministère des Richesses naturelles et des Forêts, ne donnent aucune garantie, explicite ou implicite, et n'assument aucune obligation ou responsabilité légale quant à l'utilisation et à l'application des renseignements contenus dans la présente publication, aux renvois à ces renseignements et aux omissions dans le présent ouvrage, ni à l'égard de quelque plan, conception technique ou construction préparé à partir de celui-ci. Vous devez communiquer avec votre administration locale ou avec un concepteur professionnel pour vous assurer de la conformité au code et aux exigences de construction et de rendement. La présente ressource technique ne dégage pas les demandeurs de l'obligation d'obtenir toutes les autorisations exigées par la loi ou la réglementation, le cas échéant.

TABLE DES MATIÈRES

Sommaire	iii
Message de la ministre	iv
Lettre du président du comité consultatif	v
Aperçu : exigences relatives aux bâtiments en bois	vi
Remerciements	vii
Coordonnées	viii
Table des matières	ix
1. Préface	1
1.1. Objectif de la présente ressource technique	1
1.2. Public cible	1
1.3. Note concernant les renvois au Code	2
2. Introduction	3
2.1. Construction massive en bois – types de produits en bois	5
2.2. Potentiels environnementaux	12
2.3. Opportunités	14
2.4. Freins	15
2.5. Exemples de bâtiments en bois de grande hauteur	17
2.6. Survol des dispositions relatives aux solutions de remplacement du Code du bâtiment de l'Ontario	19
2.6.1. Réglementation de la construction en Ontario	19
2.6.2. Solutions acceptables et solutions de remplacement en vertu du Code du bâtiment de l'Ontario	20
2.6.3. Documentation des solutions de remplacement conformément au Code du bâtiment de l'Ontario	21
2.6.4. Approbation des solutions de remplacement par le service du bâtiment municipal	23
3. Sécurité-incendie des bâtiments en bois massif de grande hauteur	23
3.1. Introduction	23
3.1.1. Survol du chapitre	24
3.1.2. Construction massive en bois – résistance au feu	25
3.1.3. Bois massif encapsulé	27
3.1.4. Compétence de l'équipe chargée de préparer la solution de remplacement	28
3.2. Conformité au Code du bâtiment de l'Ontario	28
3.3. Processus d'examen par un tiers	31
3.4. Construction incombustible et bâtiments de grande hauteur	32
3.4.1. Utilisation du bois dans les bâtiments incombustibles	33
3.4.2. Traitement des bâtiments de grande hauteur par le Code du bâtiment de l'Ontario	36
3.5. Processus d'ingénierie de la sécurité-incendie	37

3.5.1. Portée du projet concernant la sécurité-incendie	37
3.5.2. Détermination des objectifs de sécurité-incendie, des exigences fonctionnelles et des critères de performance	38
3.5.3. Identification du danger	39
3.5.4. Planification de la sécurité-incendie	39
3.5.5. Incendies de dimensionnement et scénarios de comportement	39
3.5.6. Choix des méthodes d'ingénierie	40
3.5.7. Conception de l'essai d'évaluation fondée sur un scénario	40
3.5.8. Rapport final du projet	40
3.5.9. Mise en œuvre du plan de conception	40
3.5.10. Gestion et vérification de la sécurité-incendie	41
3.6. Caractéristiques nominales typiques de la protection contre l'incendie : protection active contre l'incendie	41
3.6.1. Systèmes de gicleurs automatiques	41
3.6.2. Systèmes d'alarme incendie automatiques	42
3.7. Caractéristiques nominales typiques de la protection contre l'incendie : protection passive contre l'incendie	42
3.7.1. Concevoir pour assurer la résistance au feu de la structure	43
3.7.2. Conception réalisée aux fins de la compartimentation	48
3.7.3. Coupe-feux	50
3.7.4. Vides de construction et pare-feux	53
3.7.5. Revêtement mural extérieur	55
3.8. Scénarios d'incendie/Feux de dimensionnement	56
3.8.1. Dynamique du feu de chambre	57
3.8.2. Incendies de compartiment dans les bâtiments en bois massif	57
3.8.3. Recherche sur les feux de compartiment dans les bâtiments en bois massif	62
3.9. Méthodes d'analyse des risques	62
3.9.1. Méthodes qualitatives	62
3.9.2. Méthodes semi-quantitatives	62
3.9.3. Méthodes quantitatives	63
3.9.4. Processus d'analyse du risque d'incendie	63
3.10. Stratégies de sécurité-incendie courantes pour les bâtiments en bois de grande hauteur	65
3.10.1. Encapsulation	66
3.10.2. Fiabilité des gicleurs automatiques	67
3.10.3. Pressurisation des escaliers de secours	68
3.10.4. Superficie de construction	68
3.11. Sécurité-incendie durant la construction	68
3.11.1. Causes des incendies sur les chantiers de construction	68

3.11.2. Règlements de l'Ontario	69
3.11.3. Plan de sécurité-incendie des chantiers de construction	70
3.11.4. Coordonnatrice ou coordonnateur de la sécurité-incendie	70
3.11.5. Facteurs à prendre en considération pour les bâtiments en bois massifs	71
4. Conception des structures	73
4.1. Principe de la conformité au Code	74
4.2. Conformité au Code du bâtiment de l'Ontario	75
4.2.1. Solutions acceptables (Division B)	75
4.2.2. Solutions de remplacement	76
4.2.3. examen des solutions de remplacement par un tiers	77
4.2.4. Objectifs et énoncés fonctionnels	77
4.2.5. Niveau de performance requis	79
4.3. États-limites ultimes et états-limites de service	79
4.3.1. Exigences générales	79
4.3.2. Charges spécifiées et calcul aux états-limites	80
4.3.3. Conception du système gravitaire	81
4.3.4. Conception du système latérale – Introduction	81
4.3.5. Conception en fonction des charges latérales – Vent	82
4.3.6. Conception en fonction des charges latérales – Séismes	83
4.4. Autres sujets se rapportant aux structures	88
4.4.1. Analyse et essais	88
4.4.2. Cages d'escaliers et d'ascenseurs en bois	88
4.4.3. Assemblages	89
4.4.4. Ancrages de toiture	92
4.4.5. Garde-corps	93
4.4.6. Durabilité	93
4.4.7. Effondrement progressif	93
4.4.8. Sous-pression hydrostatique	95
4.4.9. Gicleurs automatiques et équipement mécanique	95
4.5. Les renseignements à indiquer sur les plans structurels/devis	95
5. Ressources supplémentaires	97
6. Références	98

1. PRÉFACE

1.1. OBJECTIF DE LA PRÉSENTE RESSOURCE TECHNIQUE

La présente ressource technique a été préparée afin d'aider les architectes, les ingénieurs, les constructeurs et les promoteurs à élaborer des solutions de rechange pour des projets de construction de bâtiments en bois massif de grande hauteur et de faciliter l'autorisation par un chef du service du bâtiment (CSB) conformément au Code du bâtiment de l'Ontario (CBO – Règlement de l'Ontario 332/12, div. A, section 1.2). Une solution de rechange sera exigée jusqu'à ce que le code du bâtiment prévoie des solutions acceptables pour les bâtiments en bois de grande hauteur. D'ici là, les demandes de permis de construire présentées aux services du bâtiment en Ontario devront être accompagnées de documents additionnels, d'analyses techniques additionnelles et d'essais (ou de résultats d'essais pertinents) qui seront examinés par les agents du bâtiment en fonction de chaque projet.

En Ontario, l'élaboration d'un code moderne en ce qui a trait aux bâtiments en bois est un processus qui s'est amorcé il y a plus de 25 ans. Le CBO de 1990 prévoyait des exigences pour les bâtiments résidentiels de 4 étages du groupe C, y compris une exigence relative aux extincteurs automatiques. Le CBO de 1997 a autorisé la construction de bâtiments de quatre étages du groupe D (établissements d'affaires et de services personnels), en bois, avec des extincteurs automatiques. Et le CBO de 2012 a été modifié en janvier 2015 afin de permettre les bâtiments en bois de 5 et 6 étages servant à plusieurs usages et d'inclure de nombreuses exigences spécifiques au-delà de celles prévues pour les bâtiments en bois de 4 étages. Les bâtiments dont le nombre d'étages et la hauteur dépassent les exigences de 2015 ne sont pas visés par les solutions acceptables énoncées dans le CBO de 2012.

La Colombie-Britannique et le Québec ont approuvé des plans et délivré des permis de construire pour des bâtiments qui dépassent les limites de 6 étages en utilisant d'autres mécanismes contenus dans leurs codes du bâtiment.

Le présent document vise à fournir aux équipes de conception et aux examinateurs des plans en Ontario des renseignements à l'égard des solutions de rechange pour l'approbation des permis. La présente ressource technique se concentre principalement sur les exigences relatives aux règles de calcul et à la sécurité-incendie. Elle a pour but d'attirer l'attention sur les principaux enjeux et de mettre en évidence d'autres récents documents, renseignements techniques et résultats d'essais qui seront utiles pour ces personnes. La présente ressource technique ne se veut pas une solution prescrite à l'égard des bâtiments en bois de grande hauteur et ne remplace pas les normes et les codes du bâtiment existants.

1.2. PUBLIC CIBLE

La présente ressource technique s'adresse aux agents du bâtiment, aux services d'incendie, aux architectes, aux ingénieurs, aux constructeurs, aux experts-conseils en matière de code du bâtiment, aux promoteurs et aux autres parties à la conception et à l'approbation des bâtiments en bois de grande hauteur.

1.3. NOTE CONCERNANT LES RENVOIS AU CODE

Tout au long du présent document, les renvois au code sont définis de la façon suivante :

A	Division
A-3	Partie
A-3.5	Section
A-3.5.2.	Sous-section
A-3.5.2.1	Article
A-3.5.2.1(2)	Paragraphe
A-3.5.2.1(2)(a)	Alinéa
A-3.5.2.1(2)(a)(i)	Sous-alinéa

2. INTRODUCTION

Le terme « bâtiment en bois de grande hauteur » désigne généralement tout bâtiment en bois de plus de six étages dont le dernier étage se trouve à plus de 18 m au-dessus du sol et pour lequel on utilise une structure autre qu'une charpente légère. Le tableau 1 (dans le Sommaire) présente une comparaison des types de bâtiments en bois qui constituent actuellement des solutions acceptables dans le code du bâtiment ainsi que ceux qui nécessiteraient une solution de rechange dans le code du bâtiment actuel. En seulement quelques années, des événements convergents ont suscité de l'intérêt pour les bâtiments en bois de grande hauteur au Canada et partout dans le monde. De nouveaux produits de bois, appelés « bois massifs », l'intérêt renouvelé pour la réduction de l'empreinte carbone des bâtiments et la densification accrue des centres urbains ont tous contribué à cette tendance à l'égard des bâtiments en bois de grande hauteur.

Au Canada, une résidence d'étudiants de 18 étages faite en bois sera prête en 2017 sur le campus de l'Université de la Colombie-Britannique à Vancouver. Et d'ici la fin de 2017, un édifice de condominiums en bois de 13 étages sera terminé à Québec. Ces deux bâtiments s'inscrivent dans le cadre d'un projet de démonstration qui est réalisé avec l'aide de Ressources naturelles Canada et parrainé par les provinces et l'industrie afin de favoriser le développement et l'approbation de ce nouveau type de construction au Canada. Pour chacun de ces projets de démonstration, on a eu recours à des solutions de rechange pour obtenir l'approbation des services du bâtiment, et le mécanisme utilisé était différent dans chaque province.

Le ministre responsable du logement de la Colombie-Britannique a adopté un règlement portant expressément sur le bâtiment en bois de grande hauteur à Vancouver. Le règlement exempte le projet de certaines parties du Code du bâtiment de la Colombie-Britannique, comme les limites relatives à taille des bâtiments pour la construction combustible, en veillant à ce que la protection de la santé et de la sécurité des occupants soit égale ou supérieure à ce que prévoient les dispositions actuelles du code pour la construction incombustible de même taille.

Le bâtiment en bois de grande hauteur à Québec a été approuvé par la Régie du bâtiment du Québec (RBQ), tel qu'il est décrit dans la publication intitulée Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages – Directives et guide explicatif. Les lignes directrices contenues dans cette publication offrent une solution de rechange spécifique dans le cadre de la Loi sur le bâtiment du Québec. Cette loi confère à la RBQ le pouvoir de fixer des conditions qui permettent l'utilisation du bois comme matériau et qui diffèrent des dispositions du Code de construction du Québec pour un bâtiment de plus de 6 étages. Les conditions présentées sous forme de lignes directrices dans la publication de la RBQ ont été rédigées expressément en fonction du projet de démonstration de bâtiment en bois de grande hauteur de Québec avec l'aide de spécialistes de FPInnovations. Tout projet qui dévie de ce cadre devra faire l'objet d'une demande de solution de rechange présentée à la RBQ.

Les deux services du bâtiment de la C.-B. et du Québec se sont appuyés sur les travaux de FPInnovations, du Conseil national de recherches du Canada et d'autres groupes ainsi que sur le Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada (FPI/GBBGH), publié par FPInnovations en 2014.

Le processus adopté en Ontario est distinct de celui des autres provinces. On prévoit que, tant et aussi longtemps que les codes du bâtiment national et provincial n'adopteront pas les bâtiments en bois de grande hauteur à titre de solution acceptable dans la division B, des demandes de solution de rechange seront nécessaires pour l'octroi de permis visant la construction de bâtiments en bois de grande hauteur en Ontario.

Histoire des bâtiments en bois de grande hauteur au Canada

Les bois massifs de grandes dimensions (par opposition au bois de dimension comme les 2x4, les 2x6, etc.) étaient couramment utilisés dans la construction de bâtiments jusqu'au début du 20^e siècle. Cette forme de construction, généralement appelée « construction en gros bois d'œuvre », peut être observée partout dans le monde. Au Canada, bon nombre de ces bâtiments ont été conçus avec de lourds planchers d'usine jusqu'à une hauteur de 9 étages. Ces bâtiments étaient souvent construits avec des murs extérieurs non renforcés faits de briques et de mortier, avec des poteaux et des poutres en gros bois d'œuvre (voir la figure 2.1). La hauteur des étages pouvait atteindre 6,9 m (22 pieds), la hauteur du bâtiment pouvait atteindre 30 m (100 pieds) et la surface de plancher pouvait atteindre 29 000 m² (312 000 pi²). La figure 2.1 présente des exemples de bâtiments en bois historiques de grande hauteur à Toronto. Les bâtiments de grande taille en gros bois d'œuvre prennent de nombreuses formes. Des vieilles structures en gros bois d'œuvre sont toujours utilisées aujourd'hui, comme le Tillamook Blimp Hangar, construit en Oregon en 1942, qui fait 330 m (1 080 pieds) de long, 58 m (190 pieds) de haut et 90 mètres (300 pieds) de largeur – soit l'équivalent d'un bâtiment de 15 étages.



Figure 2.1 – Bâtiments typiques en briques et mortier au centre-ville de Toronto. (Figure 1 de Koo, 2013).

Malheureusement, on ne voit pas beaucoup d'exemples modernes de gros bâtiments en bois de grande hauteur. L'adoption des codes du bâtiment et les préoccupations au sujet de la résistance aux incendies ont entraîné une évolution constante dans les pratiques de conception et de construction au profit d'autres matériaux de construction et systèmes partout au Canada et aux États-Unis. Fait intéressant, de nombreux bâtiments construits à l'époque sont toujours utilisés aujourd'hui et sont très prisés sur le marché de l'immobilier dans les grandes villes nord-américaines. Les bâtiments dits « de briques et de poutres », avec une charpente apparente et de la brique d'argile, ont un cachet que n'offre aucun autre matériau.

Aujourd'hui, grâce aux infrastructures modernes conjuguées aux systèmes d'extinction et de protection contre les incendies et aux nouvelles technologies améliorant la résistance thermique et la performance acoustique des bâtiments, les structures en bois de grande hauteur sont à nouveau une possibilité. Et le marché demandera probablement ces bâtiments si les propriétaires de bâtiments en ont l'occasion. Les bâtiments en bois de grande hauteur seront de bonnes options pour les usages résidentiels, commerciaux et institutionnels.

2.1. CONSTRUCTION MASSIVE EN BOIS – TYPES DE PRODUITS EN BOIS

Comparaison entre les charpentes traditionnelles et les charpentes en bois massif

La construction traditionnelle à ossature légère est utilisée pour 90 % des maisons au Canada et aux États-Unis. La construction « à ossature en bois » se rapporte aux charpentes légères construites avec des 2x4, des 2x6 et d'autres pièces de bois de petite taille. En Ontario, le bois d'épinette-pin-sapin (EPS) est le plus courant, et du bois de sapin de Douglas provenant de l'Ouest canadien est également utilisé. Le bois est classé visuellement en fonction de sa solidité et de sa rigidité. Le bois est sec en surface (c.-à-d. degré d'humidité de 12 à 19 %), et du bois séché au séchoir est aussi disponible à un coût additionnel. Le bois à ossature légère est un produit courant et constitue le cœur du secteur de la construction en bois. La construction à ossature légère en bois doit presque toujours être utilisée dans un plancher, un toit ou un mur (c.-à-d. l'ossature en bois ainsi que l'isolation et le revêtement) dont la résistance aux incendies, la performance acoustique et la résistance thermique ont été classées et approuvées par le CBO. La construction à ossature légère dans les assemblages classés n'est pas laissée à découvert parce que le bois de petite taille est susceptible d'être lourdement endommagé par le feu.

La construction à ossature à plateforme en bois utilise le bois traditionnel et est efficace jusqu'à une hauteur de six étages. Le bois classé visuellement s'asséchera au fil du temps jusqu'à un degré d'humidité de 8 à 14 %. Jusqu'à une hauteur de trois étages, les effets du retrait du bois ne sont pas significatifs. Toutefois, au-delà de trois étages, le retrait et le raccourcissement élastique du bois peuvent entraîner des problèmes comme des dommages causés aux finitions, des changements dans les pentes d'écoulement des balcons, des dommages causés à la plomberie et des problèmes de structure pour le matériel de fixation. Ces effets (retrait et raccourcissement élastique) peuvent être atténués jusqu'à une hauteur de six étages, mais deviennent problématiques à mesure que des étages sont ajoutés. De plus, le poids et la charge des étages additionnels entraînent une réduction de l'espacement des montants, ce qui peut limiter l'espace disponible pour l'acheminement des services électriques et mécaniques et la quantité d'isolant qui peut être placée dans les cavités murales.

Pour résumer, la construction à ossature légère n'est pas destinée à être utilisée dans les bâtiments de plus de 6 étages. Les produits de bois qui sont recommandés pour les bâtiments en bois de plus grande hauteur appartiennent à une catégorie appelée « bois massif ».

Les règles de calcul des charpentes traditionnelles sont précisées dans la CSA O86 – Règles de calcul des charpentes en bois, tel qu'il est indiqué au paragraphe B-4.3.1.1(1) du CBO.

Gros bois d'œuvre de sciage

En vertu du tableau 3.1.4.7 de la division B du CBO, les pièces de bois de grande taille (c.-à-d. sections d'au moins 191 mm x 191 mm ou 140 mm x 241 mm pour les éléments qui soutiennent les planchers plus un toit, et d'au moins 140 mm x 191 mm pour les colonnes qui soutiennent les toits et 89 mm x 149 mm pour les poutres qui supportent les toits) sont considérées comme ayant une résistance inhérente aux incendies parce que, contrairement à la construction à ossature légère, la construction en gros bois d'œuvre peut se carboniser avant de perdre son intégrité structurale en situation d'incendie. Des édifices à bureaux de 8 et 9 étages dans certaines des grandes villes du Canada sont construits de cette façon. La construction à poteaux et à poutres utilisant du gros bois d'œuvre provenant d'essences locales se faisait généralement avec des colonnes d'environ 400 mm x 400 mm (16 po x 16 po) aux étages inférieurs et des poutres d'environ 400 mm x 600 mm (16 po x 24 po) et plus. Par exemple, au Liberty Village de Toronto, un édifice à bureaux presque centenaire de 4 étages, fait de briques et de poutres, a une superficie d'environ 2 500 m² (27 000 pi²) par étage avec une trame de colonnes de 5,3 m x 6 m (17 pieds x 20 pieds). Les poteaux typiques font 380 mm x 380 mm (15 po x 15 po) et les poutres typiques de 330 mm x 380 mm (13 po x 15 po) de hauteur soutiennent des poutrelles de 140 mm x 394 mm (5 ½ po x 15 po) de hauteur à entraxes de 1 068 mm (3 pi 6 po). Tous les planchers, les colonnes et les poutres

en gros bois d'œuvre ont été laissés à découvert sans protection additionnelle contre les incendies. Des raccordements historiques typiques des poteaux et des poutres sont présentés aux figures 2.2 et 2.3.

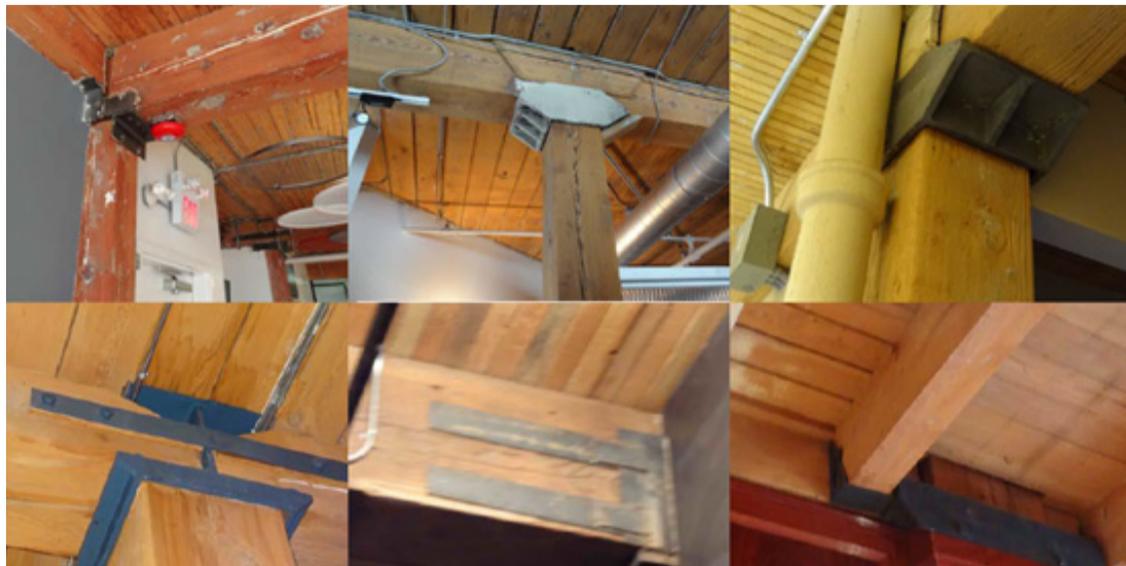


Figure 2.2 – Raccordements historiques typiques des poteaux et des poutres (tiré de l'Annexe C-2, Koo, 2013). Les pièces de fonte supportent la veine d'extrémité afin de réduire les effets du retrait du bois.



Figure 2.3 – Raccordements typiques des briques et des poutres (Koo, 2013). Les poutres sont directement raccordées à la brique, sans dispositif visible pour contrer le retrait différentiel.

Il y a plus de 100 ans, afin de réduire les effets du retrait, les concepteurs ont créé des pièces en acier moulé qui visaient à supporter la veine d'extrémité des colonnes pour éviter le retrait perpendiculaire au grain dans les poutres. Cette technique astucieuse permettait aussi d'éviter la déformation élastique causée par une compression perpendiculaire au grain dans les poutres. Un exemple est présenté à la figure 2.4 ci-dessous.



Figure 2.4 – Construction en gros bois d'œuvre de sciage (photo : A. Franco)

Les règles de calcul des bois de sciage massifs sont précisées dans la CSA O86 – Règles de calcul des charpentes en bois, tel qu’il est indiqué au paragraphe B-4.3.1.1(1) du CBO.

Bois lamellé-collé

Le gros bois d’œuvre de sciage de très grande taille n’est pas toujours disponible et n’est pas efficient sur le plan structural en raison des réductions de la capacité qui découlent des défauts naturels comme les nœuds et les fissures. Le bois lamellé-collé est un produit de bois d’ingénierie obtenu à partir de lamelles en bois de 38 mm x 140 mm, 38 mm x 184 mm et 38 mm x 235 mm (environ) et plus qui sont séchées au séchoir et classés par contrainte mécanique plutôt que classés visuellement. Les lamelles sont assemblées par entures multiples, collées puis pressées pour former des poutres, des colonnes et des arcs. Toutes les lamelles sont parallèles et sont placées sur la longueur de la poutre ou de la colonne. La construction d’éléments de grande taille à partir de plus petites composantes permet de réduire les effets des défauts et du retrait par rapport au bois massif scié. Le bois de qualité supérieur est généralement utilisé dans les lamelles externes afin d’accroître la capacité. Les poutres et les colonnes de bois lamellé-collé ont une formidable capacité structurale avec des poutres de grande portée de plus de 2 400 mm de hauteur. Utilisées dans les applications de gros bois d’œuvre, les poutres et les colonnes de bois lamellé-collé offrent une résistance aux incendies qui est semblable à celle du gros bois d’œuvre de sciage, mais avec une capacité structurale supérieure et un retrait réduit. Le bois lamellé-collé peut aussi être traité pour être utilisé à l’extérieur.

Les poutres de bois lamellé-collé peuvent être utilisées pour créer des lames de plancher et des voliges, comme le bois lamellé-cloué (voir ci-dessous). Contrairement au bois lamellé-croisé (voir ci-dessous), les lames et voliges lamellées-collées n’ont pas de couches orientées de façon perpendiculaire qui offrent une stabilité dimensionnelle accrue et permettent une action bidirectionnelle. La qualité du matériau dans cette orientation peut être la même dans toutes les lamelles.

Les règles de calcul du bois lamellé-collé sont précisées dans la CSA O86 – Règles de calcul des charpentes en bois, tel qu’il est indiqué au paragraphe B-4.3.1.1(1) du CBO, avec des renvois aux normes de contrôle de la qualité de la production, y compris la CAN/CSA-O122 – Bois de charpente lamellé-collé, la CSA O177 – Règles de qualification des fabricants de bois de charpente lamellé-collé, tel qu’il est indiqué au paragraphe Sentence 4.3.1.2.(1) du CBO, la CSA O112.9 – Evaluation of adhesives for structural wood products (exterior exposure) et la CSA O112.10 – Evaluation of adhesives for structural wood products (limited moisture exposure). Un exemple d’élément en bois lamellé-collé est présenté à la figure 2.5 ci-dessous.



Figure 2.5 – Élément en bois lamellé-collé (source : Figure 31L, section 4.1, FPI/GBBGH)

Planchers et toits en bois lamellé-cloué

Bon nombre des structures de gros bois d'œuvre à poteaux et à poutres utilisaient des planchers tout en bois. Les planchers en bois lamellé-cloué sont construits à partir de lamelles de bois de 38 mm x 140 mm, de 38 mm x 184 mm ou de plus grandes dimensions qui sont disposées sur le rebord en s'étendant entre les poutres. Les lamelles sont clouées les unes aux autres pour créer un tablier de plancher solide agissant à l'unisson et tirer parti de la répartition de la charge grâce au transfert des forces de cisaillement entre les lamelles. Dans certains cas, ces planchers ont été asphaltés et utilisés pour supporter de l'équipement lourd dans des bâtiments à poteaux et à poutres.

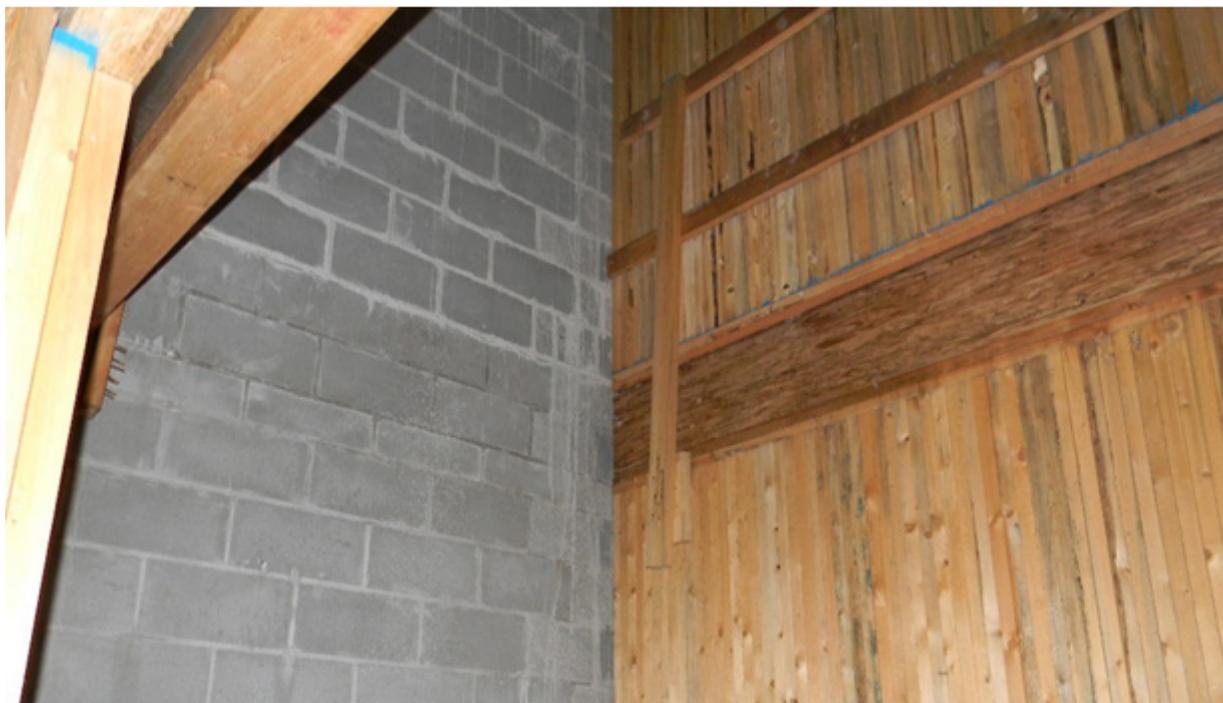
Le CBO considère que cet assemblage est une construction en gros bois d'œuvre dans la mesure où les lames de plancher ou les voliges font au moins 38 mm de largeur par 89 mm d'épaisseur, tel qu'il est précisé aux paragraphes B-3.1.4.7.(4)(a) et B-3.1.4.7.(4)(b) du CBO.

Le bois traditionnel qui est utilisé pour construire les tabliers en bois lamellé-cloué rétrécira en séchant; toutefois, le détail de la structure à poteaux et à poutres (tel qu'il est indiqué ci-dessus à la section Gros bois d'œuvre) limite les effets de ce retrait à un seul étage.

Un revêtement d'asphalte pouvait être appliqué par le passé. Aujourd'hui, certaines applications modernes de bois lamellé-cloué ont utilisé du béton lié au tablier de bois lamellé-cloué pour créer un produit composite qui tire parti des meilleures propriétés du bois pour accroître le rapport portée-profondeur de la dalle.

Du contreplaqué est couramment utilisé sur les tabliers de bois lamellé-cloué afin d'assurer l'action du diaphragme.

Le bois lamellé-cloué peut aussi être orienté verticalement pour créer des murs, tel qu'il est illustré à la figure 2.6.



**Figure 2.6 – Cage d'ascenseur en bois lamellé-cloué à côté d'une cage d'escalier en maçonnerie.
(Photo : M. Alexander)**

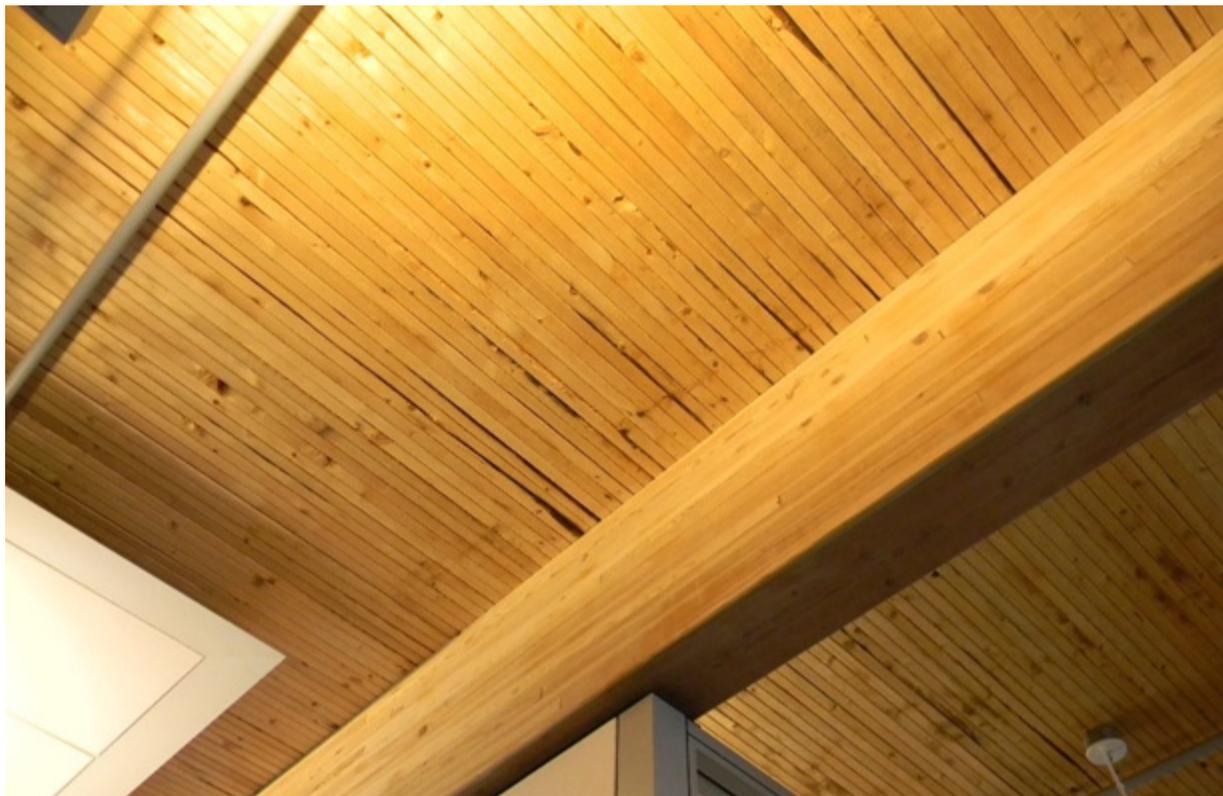


Figure 2.7 – Plancher en bois lamellé-cloué (photo : M. Alexander)

Le bois lamellé-cloué est souvent une solution moins coûteuse que le bois lamellé-croisé, mais sans les lamelles croisées qui assurent la stabilité dimensionnelle est une résistance au cisaillement dans le plan. Le bois lamellé-cloué peut nécessiter plus de travail sur place pour l'installation, mais des applications modernes ont utilisé de grands panneaux de bois lamellé-cloué qui sont préfabriqués et installés sur place. Un exemple de plancher en bois lamellé-cloué est présenté à la figure 2.7.

Comme le bois lamellé-cloué est souvent composé d'éléments en bois massif scié, il peut être traité et être utilisé à l'extérieur.

Les règles de calcul du bois lamellé-cloué traditionnel sont précisées dans la CSA O86 – Règles de calcul des charpentes en bois, tel qu'il est indiqué au paragraphe B-4.3.1.1(1) du CBO.

Bois de charpente composite

Les produits de charpente en bois qui sont fabriqués à partir de placages ou de copeaux sont appelés bois de charpente composite. Ces produits sont généralement fabriqués en gros rondins pour des panneaux ou pour des éléments de très grande taille comme des poutres ou des colonnes. L'un des avantages de ces produits est qu'ils améliorent la capacité en retirant les défauts naturels dans le bois, comme les nœuds et les fissures. Ils assurent une stabilité dimensionnelle, conservent leur authenticité et peuvent être coupés avec une précision de moins d'un millimètre. Jusqu'à récemment, les grands éléments au moment de la fabrication étaient coupés en plus petites pièces pour produire des chevêtres ou même des montants. Dans les applications en bois massif, la taille des éléments n'est pas réduite; les éléments sont plutôt conservés le plus près possible de leurs dimensions d'origine afin de tirer parti de leurs propriétés de bois d'ingénierie et d'accélérer la construction.

Les règles de calcul des produits de bois de charpente composite sont précisées dans la CSA O86 – *Règles de calcul des charpentes en bois*, tel qu'il est indiqué au paragraphe B-4.3.1.1(1) du CBO, et ces produits sont généralement évalués par le Centre canadien de matériaux de construction (CCMC) au Canada en conformité avec les normes CSA O112.6 – *Phenol and phenol-resorcinol resin adhesives for wood (high-temperature curing)*, CSA O112.7 – *Resorcinol and phenol-resorcinol resin adhesives for wood*

(room- and intermediate-temperature curing), CSA O112.9 – *Evaluation of adhesives for structural wood products (exterior exposure)*, CSA O112.10 *Evaluation of adhesives for structural wood products (limited moisture exposure)* et ASTM D5456 – *Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products*.

Les produits de bois de charpente composite les plus courants sont les suivants :

1. Bois en placage stratifié (LVL) – Développé à la fin des années 1970, ce produit est fabriqué à partir de feuilles de placage qui sont collées les unes aux autres. Contrairement au contreplaqué, dans lequel chaque couche de placage est disposée perpendiculairement à la précédente, les couches de placage du bois en placage stratifié sont toutes orientées parallèlement les unes aux autres. Il en résulte une plus grande capacité de pliage pour une meilleure résistance et une meilleure flexion. Les poutres de bois en placage stratifié sont généralement fabriquées en rondins de 44 mm (1 ¾ po) d'épaisseur et d'environ 1,2 m x 17,7 m (jusqu'à 24,4 m), puis coupées aux profondeurs standards de 241 mm (9 ½ po), 302 mm (11 7/8 po), 356 mm (14 po), 406 mm (16 po) et 457 mm (18 po) pour être utilisées comme chevêtres et poutres. Le produit est dimensionnellement stable puisque les placages sont séchés au séchoir avant le pressage. Lorsqu'elles sont coupées à ces plus petites dimensions et à seulement 44 mm d'épaisseur, les petites poutres et chevêtres sont considérées comme une construction à ossature légère et doivent être utilisées dans un plancher ou un toit classé résistant au feu. Toutefois, les fabricants peuvent produire des éléments beaucoup plus épais pouvant offrir une meilleure résistance aux incendies (il faut vérifier auprès du fabricant). Certains fabricants peuvent être en mesure de produire du X-LVL, où certaines couches sont orientées perpendiculairement à l'axe principal afin d'assurer une meilleure stabilité dimensionnelle.
2. Bois de longs copeaux lamellés (LSL) – Contrairement au bois en placage stratifié, le bois de longs copeaux lamellés utilise un procédé différent pour découper dans les billes de bois des copeaux de moins de 1 mm d'épaisseur. Ces copeaux font environ 50 mm de largeur et environ 300 mm de longueur. Ces copeaux sont enduits de résine et sont pressés par injection de vapeur pour créer des rondins de 75 mm d'épaisseur et de 2,4 m x 19,5 m. Le bois de longs copeaux lamellés diffère du panneau de copeaux orientés (OSB) en vertu d'un contrôle rigoureux de la taille et de l'orientation des copeaux. Les rondins sont généralement coupés en plus petites pièces similaires au bois de construction de dimensions courantes afin de créer des chevêtres et des montants. Les copeaux sont généralement orientés de façon à ce que la majorité des copeaux soient parallèles à la longueur de la poutre ou du montant. Toutefois, les copeaux hors axe dans la composition augmentent la résistance au cisaillement des éléments. Ces propriétés techniques distinguent le LSL du LVL. Comme les placages du LVL, les copeaux du LSL sont séchés au séchoir avant l'ajout de résine et le pressage. La grande taille des rondins fait du LSL une bonne option pour la construction massive en bois.
3. Bois de copeaux parallèles (PSL) – Développé au Canada dans les années 1980 et commercialisé en 1990, le bois de copeaux parallèles est fait des mêmes placages que le LVL, sauf que les placages sont coupés en copeaux de 3 mm x 12 mm x 1 000 mm de longueur. Les copeaux sont enduits de résine et disposés dans un long bac, puis pressés pour créer un rondin de 450 mm x 450 mm x 18 000 mm. Le rondin peut être laissé intact ou être coupé en plus petits éléments pour créer des poutres et des poteaux, comme pour le bois de construction de dimensions courantes. Les placages sont séchés au séchoir, ce qui crée un produit dimensionnellement stable. Utilisé à sa taille maximale, le PSL est un produit en bois massif, et il peut être *collé en bloc* pour former des composantes de plus grande taille qui seront utilisées comme poutres et colonnes et comme éléments de ferme. Le PSL peut être considéré comme du gros bois d'œuvre et conçu de façon à accroître son degré de résistance au feu. On recommande de ne pas traiter le PSL; par conséquent, il doit seulement être utilisé dans un milieu sec.



Figure 2.8 – Détail de panneaux de plancher de CLT avec des colonnes de bois lamellé-collé au-dessus et au-dessous; tiré du projet de démonstration de la résidence Brock Commons de l'Université de la Colombie-Britannique (photo : D. Moses)

12 000 mm. Alors que le bois lamellé-collé est formé de matériaux de 38 mm d'épaisseur et que ses couches sont toutes orientées parallèlement à la longueur de l'élément, le bois lamellé-croisé est disposé en un grand panneau formé d'un ensemble de couches collées et orientées où certaines couches sont orientées perpendiculairement aux autres. Les couches perpendiculaires améliorent la stabilité dimensionnelle et permettent un certain pliage bidirectionnel des panneaux lorsqu'ils sont utilisés dans les planchers et les toits.

Le bois lamellé-croisé est le plus souvent composé d'un nombre impair de couches, de façon à ce que la couche supérieure et la couche inférieure aient la même orientation (voir la figure 2.8). Certains fournisseurs produisent des panneaux de CLT dans lesquels certaines couches adjacentes sont orientées parallèlement les unes aux autres dans les panneaux de cinq couches ou plus.

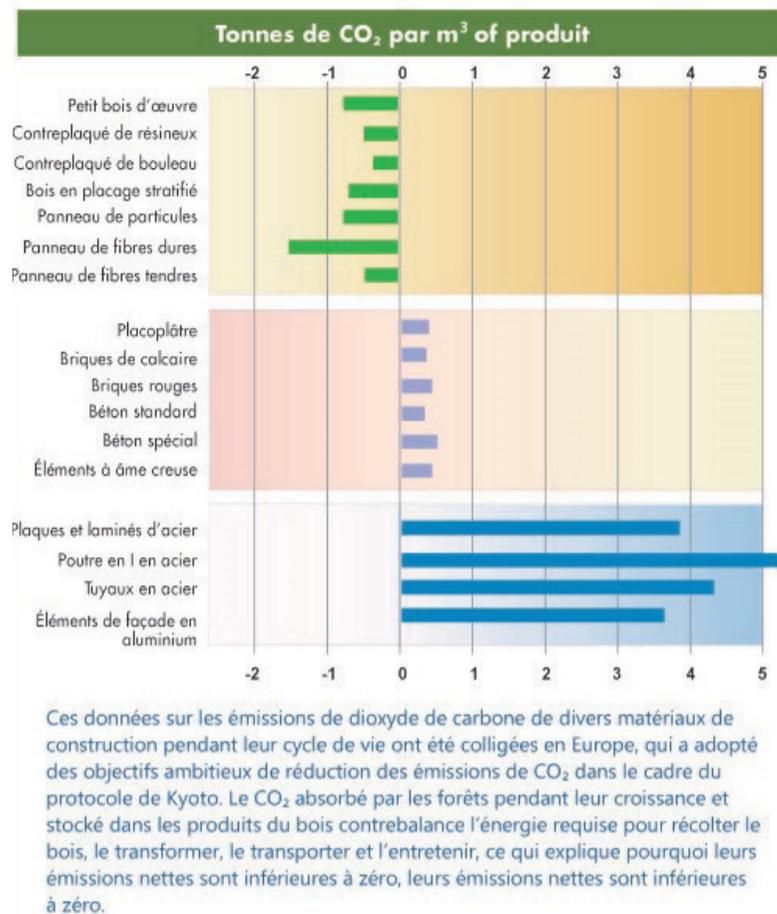
Le bois lamellé-croisé est utilisé dans les assemblages de plancher et de toit des bâtiments à poteaux et à poutres et est utilisé dans les bâtiments en bois de grande hauteur de partout dans le monde pour les murs de cisaillement, les murs porteurs ainsi que les panneaux de plancher et de toit. Le bois lamellé-croisé est utilisé dans les poutres pour les chevêtres. En ce qui concerne la résistance aux incendies, le bois lamellé-croisé peut être laissé à découvert ou être encapsulé dans un panneau mural de gypse (cloison sèche). Au cours des dernières années, de nombreux essais structuraux et essais de résistance aux incendies ont été réalisés afin de déterminer les propriétés du bois lamellé-croisé en fonction de différents types de charges et de différents types d'assemblages. Pour obtenir des renseignements plus détaillés sur la fabrication et la conception du bois lamellé-croisé et les résultats des essais de résistance aux incendies, voir le *Manuel CLT* publié par FPInnovations (Gagnon et Pirvu, 2011).

Les règles de calcul du bois de charpente composite sont précisées dans la CSA O86-14 – *Règles de calcul des charpentes en bois*, à la clause 16.3 (anciennement la clause 14.3), qui contient aussi des renvois à d'autres normes relatives aux tests et aux adhésifs et qui indique que les valeurs de calcul seront présentées dans le Recueil d'évaluations de produits du CCMC. Les normes pertinentes pour les adhésifs et le bois de charpente composite sont les suivantes : CSA O112.6 – *Phenol and phenol-resorcinol resin adhesives for wood (high-temperature curing)*, CSA O112.7 – *Resorcinol and phenol-resorcinol resin adhesives for wood (room-and intermediate-temperature curing)*, CSA O112.9 – *Evaluation of adhesives for structural wood products (exterior exposure)*, CSA O112.10 – *Evaluation of adhesives for structural wood products (limited moisture exposure)*, et ASTM D5456 – *Standard Specification for Evaluation of Structural Composite Lumber Products*.

Bois lamellé-croisé (CLT)

Le bois lamellé-croisé est un produit relativement nouveau qui peut être utilisé sous forme de grands panneaux pour les murs, les planchers et les toits. La taille typique des panneaux est limitée par les dimensions à la livraison à environ 2 800 mm x

Émissions nettes de CO₂: comparaison bois/autres produits



Source: Building Information Foundation, RTS; CEI-Bois

Figure 2.9 – Émissions nettes de CO₂ pour différents matériaux de construction. (Source : <https://www.ontario.ca/fr/page/les-avantages-utiliser-le-bois-de-lontario> et tel qu'il est indiqué dans la figure).

2.2. POTENTIELS ENVIRONNEMENTAUX

Généralement, l'énergie nécessaire à l'exploitation des bâtiments (pour la consommation d'électricité et les systèmes mécaniques) est la principale cible des mesures visant à réduire la consommation d'énergie (enveloppes de bâtiment plus efficaces, orientation des bâtiments et méthodes de chauffage et de climatisation plus efficaces). Pour les bâtiments à haut rendement énergétique, les concepteurs progressistes se servent de l'analyse du cycle de vie des bâtiments comme moyen additionnel de diminuer la taille de l'empreinte environnementale d'un bâtiment. Plus précisément, cette analyse « du berceau au tombeau » englobe l'énergie intrinsèque des bâtiments (c.-à-d. l'énergie utilisée pour récolter ou extraire les matériaux, les transformer, les transporter et les utiliser dans la construction). C'est dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre que le bois massif excelle, tel qu'il est illustré à la figure 2.9. Voir la section 3 du FPI/GBBGH pour obtenir des renseignements plus détaillés sur la durabilité de l'approvisionnement en bois.

Les produits en bois utilisés dans la construction des bâtiments permettent de réduire les émissions de GES et d'atténuer les effets du changement climatique grâce aux mécanismes suivants : les forêts sont des puits de carbone, le fait de remplacer d'autres produits de construction au profit du bois permet d'éviter des émissions, et le bois utilisé dans les bâtiments séquestre (stocke) le carbone. Le terme *puits* de carbone désigne le réservoir de carbone qui existe dans les forêts de l'Ontario et du Canada. En adoptant des stratégies d'aménagement forestier durable et en rendant obligatoire le reboisement après la récolte, on permet à nos forêts d'agir comme un puits de carbone stable qui absorbe le CO₂ de

La production et les normes de calcul limitent l'utilisation du bois lamellé-croisé aux endroits secs, en raison principalement du type de résine et de l'utilisation de bois non traité.

Les règles de qualification des fabricants et les exigences relatives aux essais d'assurance de la qualité des fabricants sont précisées dans la norme ANSI/APA PRG-320 – *Standard for performance-rated cross-laminated timber and resins* en conformité avec la CSA O112.10 – *Evaluation of adhesives for structural wood products (limited moisture exposure)* – (voir la PRG-320 pour des exigences additionnelles). Les règles de calcul du bois lamellé-croisé sont précisées dans le Supplément de 2016 de la CSA O86-14 – *Règles de calcul des charpentes en bois* et dans le Manuel CLT publié par FPIInnovation (Gagnon et Pirvu, 2011). La CSA O86-14 limite actuellement l'application du bois lamellé-croisé aux applications à pliage unidirectionnel hors plan et son utilisation dans les systèmes résistants aux charges latérales en tant que « corps rigides ». Le Manuel CLT publié par FPIInnovations se veut un document d'orientation et non une norme de calcul. Il convient de souligner que le paragraphe B-4.3.1.1(1) du CBO de 2012 fait renvoi à la CSA O86-09, et non à la CSA O86-14.

l'atmosphère et le stocke dans les arbres et le sol. À mesure que les forêts vieillissent, leur capacité de stockage du carbone diminue et atteint éventuellement une concentration maximale, tel qu'il est illustré à la figure 2.10 ci-dessous. Si les arbres dépérissent ou s'il y a eu feu de forêt, le carbone sera libéré dans l'atmosphère.

Lorsque les arbres matures sont récoltés, le carbone demeure stocké dans les fibres de bois et est transféré de la forêt au milieu bâti. La plantation de jeunes arbres pour remplacer les arbres récoltés permet au réservoir de carbone forestier de demeurer constant au fil du temps.

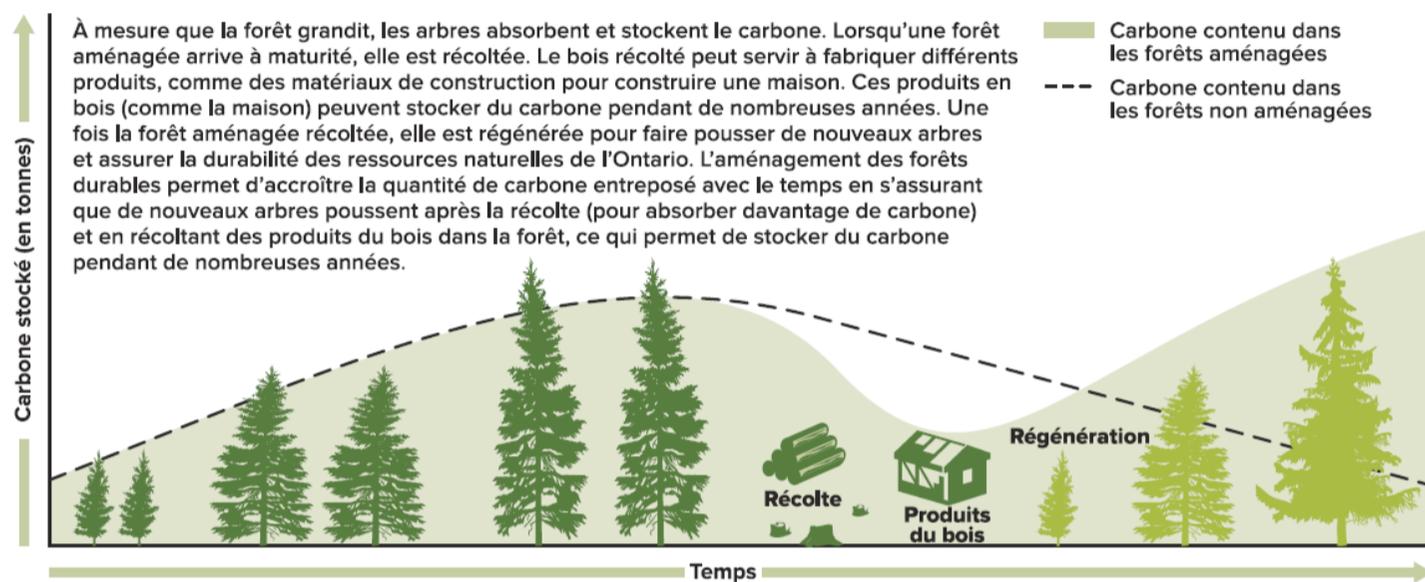


Figure 2.10 – Cycle de vie du carbone stocké dans le bois (tiré de la figure 6 du document *Est-il possible d'améliorer le stockage du carbone?*, MRNF 2016)

La *substitution* de produits désigne le fait de choisir le bois plutôt que d'autres produits qui génèrent plus d'émissions. D'autres matériaux de construction courants sont des émetteurs nets de CO₂ (sur le plan de l'énergie intrinsèque, en raison de l'extraction, de la fabrication et du transport); toutefois, les GES intrinsèques du bois sont si faibles qu'elles en font une excellente solution de remplacement aux autres matériaux destinés à la construction. Une stratégie fort simple afin de réduire les émissions intrinsèques des bâtiments consiste donc à encourager les concepteur et les constructeurs à privilégier le bois plutôt que les autres matériaux de construction.

La *séquestration* désigne le fait que les produits en bois dans les bâtiments continuent de stocker le carbone pendant de longues périodes. Les bâtiments construits en bois séquestrent le carbone, c'est-à-dire que le bois stocke le carbone qui, autrement, aurait pu être libéré dans l'atmosphère. Ce carbone peut être utilisé pour compenser les émissions nettes de carbone provenant d'autres sources ou même d'autres matériaux utilisés dans la construction du même bâtiment, ainsi que les coûts énergétiques futurs.

Le bois nécessaire à la construction de bâtiments en bois de grande hauteur est un moyen naturel de séquestrer de grandes quantités de carbone. Selon le volume de bois utilisé dans un bâtiment, on peut utiliser des outils de calcul du CO₂ pour évaluer la quantité de carbone stocké contenu dans les produits en bois et la quantité d'émissions de GES évités en utilisant le bois à la place de matériaux qui génèrent plus d'émissions. Ces outils de calcul gagnent en précision à mesure que d'autres données sur les matériaux et les sources d'énergie sont recueillies. Certaines administrations offrent des incitatifs aux promoteurs, comme une plus grande surface de plancher, en échange de mesures de réduction des émissions de carbone. À l'avenir, il est possible que les avantages environnementaux des produits et systèmes de construction en bois puissent être quantifiés en termes financiers dans le cadre d'une tarification du carbone (par exemple, un remboursement de la taxe sur le carbone).

La nouvelle technologie qui est utilisée pour créer des bâtiments préfabriqués en bois massif offre des avantages supplémentaires sur les plans de l'environnement et de la santé humaine en assurant une meilleure précision, en accélérant et en facilitant la construction et en réduisant le bruit sur le chantier. La fabrication précise du bois massif permet aux composantes de s'imbriquer parfaitement sur le chantier, ce qui contribue à créer des enveloppes de bâtiment plus étanches qui offrent un meilleur rendement thermique. Les délais de construction plus courts engendrés par la préfabrication permettent de réduire les perturbations à l'échelle locale et de réduire considérablement les déchets de chantier. Les équipements mécaniques et électriques dans les bâtiments en bois massif sont faciles à installer sur les plafonds et les murs des bâtiments en bois massif. Enfin, on a constaté que ces chantiers sont peu bruyants durant la construction, par rapport à la construction traditionnelle avec d'autres matériaux.

2.3. OPPORTUNITÉS

La construction de bâtiments en bois de grande hauteur en Ontario aura de nombreux effets positifs :

- Les bâtiments en bois de grande hauteur offrent l'occasion de construire dans des zones où les sols sont moins propices à la construction, puisque la superstructure et les fondations sont plus légères par rapport aux autres matériaux de construction.
- La construction des bâtiments en bois de grande hauteur est souvent moins bruyante, ce qui signifie que les voisins sont moins susceptibles de se plaindre et que les travailleurs ne sont pas exposés à des niveaux sonores élevés.
- La sécurité des travailleurs durant la construction pourrait être accrue, puisque les travailleurs peuvent travailler sur de grandes plaques de plancher en bois massif.
- Les composantes préfabriquées en fonction de tolérances serrées réduisent la durée de la construction.
- Les tolérances serrées dans la structure et l'enveloppe du bâtiment, combinées à la modélisation énergétique, peuvent entraîner un meilleur rendement énergétique, une réduction de la perméabilité à l'air, une meilleure qualité de l'air intérieur et un confort accru pour les occupants.

Par rapport aux autres matériaux, le bois massif offre un avantage concurrentiel puisqu'il permet de réduire les coûts liés aux délais de construction. Des possibilités de réduction des coûts sont souvent associées au poids plus léger du bois massif. Des économies sont réalisées à l'égard des fondations (le poids plus léger permet des fondations plus petites), des délais de construction (frais de stockage moins élevés) et des coûts d'expédition (moins de matériaux à expédier). Comme pour toute nouvelle technologie, il y a des coûts d'entrée sur le marché qui diminueront éventuellement à mesure que d'autres fournisseurs, propriétaires de bâtiments et constructeurs se familiariseront avec la technologie et que des améliorations seront apportées.

Les bâtiments en bois massif conviennent bien à la construction écologique. En tant que matériau de construction, le bois est la seule option qui peut offrir des émissions nettes de GES qui sont nulles ou négatives. Cela s'explique par le fait que le bois séquestre le carbone, c'est-à-dire que le bois stocke le dioxyde de carbone et le libère seulement lorsqu'il se biodégrade ou qu'il est brûlé. Le bois est une ressource durable lorsqu'il provient de forêts aménagées et exploitées de façon durable, comme c'est le cas en Ontario et au Canada.

Des outils de calcul du CO₂ pour les projets de construction massive en bois peuvent être utilisés afin d'illustrer les effets environnementaux positifs de l'utilisation du bois dans la construction plutôt que d'autres matériaux. L'Athena Institute, par exemple, offre un outil en ligne qui peut être utilisé gratuitement à l'adresse <https://calculatelca.com/software/overview/>.

2.4. FREINS

La perception du public peut entraver le développement d'une nouvelle méthodologie de construction, et il faut souvent de dix à vingt ans avant qu'une nouvelle méthode ou un nouveau produit ne devienne répandu. De nombreuses personnes croient que les bâtiments en bois ne sont pas assez solides par rapport au béton ou à l'acier et qu'un petit incendie embrasera très rapidement tout le bâtiment – les recherches ne corroborent pas ces allégations. La sensibilisation est l'une des solutions que l'on peut adopter pour atténuer ces perceptions négatives. Des exemples de bâtiments en bois de grande hauteur construits partout dans le monde, y compris le nouvel édifice Brock Commons de 18 étages à Vancouver, démontrent que ces bâtiments peuvent être construits en respectant les normes d'aujourd'hui et que les préoccupations relatives à la structure et à la sécurité-incendie peuvent être abordées.

L'introduction de bâtiments de six étages à ossature en bois au Canada est un bon exemple de sensibilisation, de recherche et d'acceptation d'une nouvelle typologie du bâtiment. Après que la Colombie-Britannique eut autorisé la construction de bâtiments de six étages en 2009, cinq années se sont écoulées avant que l'Ontario ne fasse passer sa limite de quatre à six étages. Ce sont les préoccupations à l'égard de la sécurité-incendie, de l'insonorisation, de l'enveloppe des bâtiments et des règles de calcul qui constituaient les principaux obstacles – des préoccupations qui sont maintenant toutes associées aux bâtiments en bois de grande hauteur. L'adoption rapide de la construction en bois de six étages par le marché en Colombie-Britannique a démontré qu'il y a une place dans la gamme de bâtiments pour cette taille de bâtiment et ce type de construction. Depuis la modification du code autorisant les bâtiments en bois de six étages en Ontario en 2015, l'adoption par le marché a été similaire à celle observée en Colombie-Britannique.

Le marché n'adoptera pas rapidement les nouvelles technologies s'il perçoit un risque dans le processus d'approbation. S'ils croient que des travaux supplémentaires sont nécessaires et que le processus d'approbation peut être retardé, de nombreux propriétaires de bâtiments et promoteurs pourraient renoncer à l'option jugée plus risquée, soit de tenter quelque chose de différent, et adopteront plutôt une approche de statu quo. Si le processus d'approbation était simplifié avec des exemples de conception ou si le code autorisait la construction de bâtiments en bois de grande hauteur, cette méthode de construction deviendrait plus attrayante pour bon nombre d'entre eux.

La formation des travailleurs constitue un autre obstacle potentiel. En Ontario, la majorité des gens de métier qui ont travaillé dans le secteur de la construction en bois connaissent bien la partie 9 de la division B – Construction résidentielle. Malheureusement, les bâtiments en bois de grande hauteur (et même la construction de bâtiments de moyenne hauteur) ne peuvent être construits comme les bâtiments de la partie 9, et les travailleurs devront acquérir des compétences similaires à celles exigées pour les bâtiments commerciaux et les immeubles en hauteur. Une formation sur l'installation des composantes typiques et les chantiers de construction de bâtiments commerciaux en bois de grande hauteur est nécessaire afin de faire progresser la construction en bois de grande hauteur. Les économies de temps possibles découlant de l'utilisation de composantes préfabriquées en bois massif durant la construction pourraient être réduites si les gens de métier ne connaissent pas bien les techniques de construction appropriées.

Les fournisseurs et installateurs de gros bois d'œuvre, particulièrement ceux qui se spécialisent dans le bois lamellé-croisé, sont beaucoup moins nombreux en Ontario que les fournisseurs d'acier ou de béton. Actuellement, les fournisseurs canadiens de bois lamellé-croisé rivalisent avec de nombreux fournisseurs européens sur les plans de la variété des produits, de la qualité et des tarifs, y compris les frais d'expédition. La chaîne d'approvisionnement continuera d'évoluer à mesure que d'autres bâtiments en bois de grande hauteur seront construits.

Le retrait différentiel, l'effondrement progressif, la performance acoustique, la résistance aux séismes et la résistance aux incendies sont quelques-uns des sujets de préoccupation courants. Ces préoccupations sont abordées plus en détail dans la présente ressource technique. Une mise en contexte est présentée ci-dessous.

Retrait différentiel

Le retrait différentiel entre le bois et les autres matériaux, qui nécessite de calculer tous les détails à l'avance, constitue un nouveau problème pour la plupart des concepteurs et des installateurs. Les raccords entre le bois et les autres matériaux et ceux destinés aux systèmes de revêtement et de plomberie doivent être conçus de façon à tenir compte du retrait différentiel. Des précisions concernant le retrait relatif sont présentées dans le *Guide technique* publié par FPInnovations (**FPI/GBBGH**). Pour le revêtement ou les enveloppes de bâtiment, l'alinéa B-5.1.4.1(5)(c) du CBO exige que la conception tienne compte de la flexion relative maximale de la structure. L'article B-6.2.1.3 du CBO exige que les systèmes mécaniques soient conçus et installés en fonction du mouvement structural relatif maximal. L'article B-7.1.7.1 du CBO exige que les systèmes de plomberie soient conçus et installés en fonction du mouvement structural relatif maximal.

Effondrement progressif

Le calcul de l'effondrement progressif dans les bâtiments en bois de grande hauteur est une question nouvelle pour les concepteurs. L'effondrement progressif est un mode de défaillance potentiel des bâtiments qui peut survenir si une travée d'une structure connaît une défaillance, ce qui peut entraîner la défaillance des travées adjacentes. Voir la section 4.4.7 ci-dessous.

Performance acoustique

La performance acoustique et le rendement de l'enveloppe de bâtiment peuvent être une source d'inquiétude s'ils ne sont pas détaillés correctement. Le *Guide technique* publié par FPInnovations (**FPI/GBBGH**) présente des exemples d'assemblages acoustiques et de détails d'enveloppe de bâtiment à l'intention des concepteurs.

Résistance aux séismes

La résistance aux séismes des bâtiments en bois de grande hauteur est un secteur qui fait continuellement l'objet de recherches. La résistance aux séismes de certains systèmes latéraux est déjà reconnue dans le CBO, mais des renseignements additionnels pourraient être nécessaires pour les concepteurs et les agents du bâtiment. D'autres systèmes latéraux, comme le bois lamellé-croisé, sont abordés dans la CSA O86 avec des renseignements sur les valeurs R_d et R_o – actuellement, le CBO ne contient pas ces valeurs pour le bois lamellé-croisé. Certains nouveaux systèmes latéraux sont toujours en développement, comme les bâtiments à murs de cisaillement en bois lamellé-croisé avec des structures de base centralisées où les murs de cisaillement perpendiculaires à la direction de la charge sont mis à contribution. La section 4.3.6 ci-dessous renferme des précisions sur les dispositions de calcul de la résistance aux séismes.

Résistance aux incendies

Jusqu'à présent, les bâtiments en bois de grande hauteur au Canada ont dû faire l'objet d'une solution de rechange pour être conformes aux exigences en matière de résistance aux incendies. La section 3 ci-dessous fournit des précisions sur la résistance aux incendies pour les bâtiments en bois de grande hauteur en Ontario. Le *Guide technique* publié par FPInnovations (**FPI/GBBGH**) est une excellente référence qui contient des renseignements détaillés sur la résistance aux incendies.

À mesure que d'autres bâtiments en bois de grande hauteur seront conçus et construits en Ontario, les équipes de conception, les agents du bâtiment et les constructeurs connaîtront mieux les exigences de conception et de construction, ce qui devrait entraîner une compréhension et un processus d'approbation plus rationalisés.

2.5. EXEMPLES DE BÂTIMENTS EN BOIS DE GRANDE HAUTEUR

Des exemples de vieux bâtiments en bois de grande hauteur au Canada sont présentés à la section 2.1, tel qu'il est illustré à la figure 2.1. Des bâtiments à poteaux et à poutres en gros bois d'œuvre avec des trames de colonnes à entraxes d'environ 5 m ont été construits jusqu'à des hauteurs de huit et neuf étages. Les hauteurs de plancher à plancher typiques sont d'environ 3 à 4 m, et les colonnes et poutres sont laissées à découvert sans protection additionnelle contre les incendies. Bon nombre des bâtiments existants étaient utilisés à des fins industrielles, comme des usines contenant de l'équipement lourd. Aujourd'hui, ces bâtiments accueillent généralement des commerces de détail ou des bureaux.

Les bâtiments en bois modernes de grande hauteur sont un type de bâtiment qui fait un retour au Canada et sur la scène internationale. On trouve actuellement plus de 30 bâtiments en bois massif modernes de grande hauteur dans le monde entier. Quatre de ces bâtiments se trouvent au Canada. À titre comparatif, les États-Unis comptent environ 40 bâtiments en bois de six étages ou plus, et environ 15 bâtiments en bois de huit étages ou plus qui en sont à différentes étapes de conception et de construction.



Figure 2.11 – Brock Commons, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver. 18 étages (photo : D. Moses)



Figure 2.12 – LCT One, Autriche. 8 étages (photo : D. Moses)

Brock Commons, Vancouver

Brock Commons est une résidence étudiante qui se trouve sur le campus de l'Université de la Colombie-Britannique à Vancouver (voir la figure 2.11). Ce bâtiment compte 18 étages. Le podium du premier étage est fait de béton et comprend deux noyaux de béton pleine hauteur pour les escaliers, les ascenseurs et les châsses mécaniques. Les éléments en bois massif comprennent des dalles de plancher en bois lamellé-croisé et en bois lamellé-collé ainsi que des poteaux en bois de copeaux parallèles. Les poteaux se trouvent sur une trame d'environ 3 m par 4 m. Un nouveau concept structural de « dalle sur poteau » a été élaboré afin de réduire les effets du retrait et de permettre des ajustements durant la construction. Une maquette de deux étages a été construite et soumise à des essais aux fins de validation de principe, et cela a permis à l'équipe de conception de modifier sa conception finale en fonction des résultats des essais. Les règles de calcul se fondaient sur des forces sismiques plus élevées que ce que prévoit la norme actuelle en prévision des nouvelles exigences qui pourraient être imposées dans la prochaine version du code du bâtiment. Grâce à l'utilisation d'éléments de bois préfabriqués, la construction s'est déroulée à un rythme très rapide de près de deux étages par semaine en moyenne, ce qui comprend les panneaux muraux extérieurs préfabriqués.

La protection contre les incendies est assurée par l'encapsulation complète du bois massif en utilisant trois et quatre couches de panneaux de gypse plutôt que de se fier à la carbonisation du bois. Des essais de résistance aux incendies des différents assemblages ont été réalisés en laboratoire. Les puits en béton n'ont pas soulevé l'inquiétude des agents du bâtiment.

La conception de rechange a été approuvée en Colombie-Britannique en faisant appel à un règlement adopté expressément pour le site. La construction a été terminée au milieu de l'année 2017, et l'occupation doit s'amorcer à l'automne 2017.



Figure 2.13 – Édifice des sciences de la Terre, Université de la Colombie-Britannique, Vancouver (photo : M. Alexander)

Tour LCT One, Autriche

La Life Cycle Tower est un édifice à bureaux de 8 étages (voir la figure 2.12) qui comprend un noyau d'escalier et d'ascenseur en béton et un système hybride de dalles composites préfabriquées en bois et en béton avec des colonnes en bois lamellé-collé. Les dalles composites font 9 m de longueur. Le bâtiment a été construit en huit jours, soit un étage par jour, y compris les murs extérieurs munis de fenêtres. Le bâtiment a aussi un rendement énergétique très élevé grâce à de nouveaux systèmes mécaniques et électriques et sert de prototype pour une version de 30 étages faisant appel au même système.

Édifice des sciences de la Terre, Vancouver

Ce bâtiment universitaire est un hybride en bois construit à l'Université de la Colombie-Britannique (voir la figure 2.13). Surtout connu pour ses escaliers « flottants »

novateurs, le bâtiment de cinq étages est composé de bois lamellé-croisé, de bois de longs copeaux lamellés et de bois lamellé-collé. Les laboratoires sont aménagés dans la partie en béton du bâtiment, tandis que la partie en bois abrite des salles de conférence. Les escaliers distinctifs qui se trouvent dans l'atrium sont faits de dalles composites bois-béton construites avec du bois lamellé-collé. La construction du bâtiment a été terminée en 2012 avec pour objectif de « mettre la science à l'avant-plan ».

Le plancher est fait de dalles composites bois-béton, qui offrent une meilleure résistance aux vibrations que les panneaux de plancher faits de bois seulement. Des panneaux d'isolant-mousse de 25 mm d'épaisseur ont été disposés entre le bois et le béton afin d'accroître la performance acoustique. Du bois de longs copeaux lamellés a été utilisé pour les dalles de plancher composites, tandis que du bois lamellé-croisé a été utilisé pour les dalles de toiture et l'auvent.

Au moment de la conception et de la construction, les bâtiments en bois de cinq étages n'étaient pas autorisés en Colombie-Britannique; on a donc dû faire appel à une solution de rechange afin d'assurer la conformité au code.

Origine, ville de Québec

Cet immeuble en copropriété fait 13 étages (12 en bois et 1 en béton) et comprend un parc de stationnement souterrain. La construction a débuté en 2016 et doit être terminée d'ici l'automne 2017. La structure est faite principalement de bois lamellé-croisé (voir la figure 2.14) qui est encapsulé dans des couches de panneaux de gypse. La Régie du bâtiment du Québec (RBQ) a créé des directives sur la construction massive en bois pour les bâtiments d'au plus 12 étages avec des exigences prescriptives qui sont respectées par ce bâtiment. Aucune demande de solution de rechange ne sera nécessaire pour les bâtiments futurs qui respecteront ces exigences; on utilisera plutôt des « solutions de rechange » pré-approuvées.



Figure 2.14 – Origine, ville de Québec. Bâtiment de 13 étages à poteaux et à poutres avec du bois lamellé-croisé (photo : D. Moses)

Parmi ses caractéristiques uniques, ce bâtiment comprend notamment un noyau en bois lamellé-croisé pour les escaliers de secours et les ascenseurs ainsi que des murs de cisaillement en bois lamellé-croisé pour les murs mitoyens et les murs des corridors. La hauteur nominale totale du bâtiment est de 40 m, avec environ 800 m² par plancher. Durant le processus de conception et d’approbation, un incendie de démonstration à grande échelle a été effectué sur une gaine en bois lamellé-croisé de 3 étages pendant une durée de 2 heures. Le projet visait également à démontrer aux responsables des services d’incendie et aux agents du bâtiment la résistance au feu de la gaine en bois lamellé-croisé. À la fin de l’essai de 2 heures, il n’y avait qu’une petite quantité de résidus carbonisés sur le côté exposé, et une température légèrement plus élevée du côté de la gaine d’escalier. Tous les raccordements des poteaux et des poutres ont été dissimulés afin d’accroître la résistance au feu. Les détails de l’incendie de démonstration sont disponibles à l’adresse <http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/rapport-resistance-feu.pdf>



Figure 2.15 – Arpora, Montréal. 8 étages, premier de trois bâtiments sur ce site (photo : D. Moses)

Arpora, Montréal

Cet immeuble d’habitation de 8 étages est le premier de trois bâtiments construits sur un seul parc de stationnement souterrain (voir la figure 2.15). Ce bâtiment est fait à la fois de bois lamellé-croisé et de bois lamellé-collé et son concept est similaire à celui de l’immeuble Origine de Québec. Toutefois, dans certaines parties des bâtiments Arpora, le bois sera apparent; par conséquent, des demandes additionnelles de solution de rechange ont été nécessaires au-delà des exigences prescriptives énoncées dans la directive de la RBQ pour les bâtiments d’au plus 12 étages. L’aire totale des trois bâtiments est d’environ 55 000 m², ce qui fait d’Arpora la plus grande construction résidentielle en bois lamellé-croisé jusqu’à présent.

2.6 SURVOL DES DISPOSITIONS RELATIVES AUX SOLUTIONS DE REMPLACEMENT DU CODE DU BÂTIMENT DE L’ONTARIO

2.6.1 RÉGLEMENTATION DE LA CONSTRUCTION EN ONTARIO

La réglementation de la construction des bâtiments en Ontario est une responsabilité provinciale en application de la Constitution canadienne. Le Code national du bâtiment du Canada (CNB) est élaboré sous la direction de la Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies et constitue l’un des cinq codes modèles nationaux.

Certaines provinces adoptent le CNB modèle tel qu’il est publié, tandis que d’autres provinces et territoires y apportent de petites modifications ou, dans certains cas, des modifications importantes. L’application

des codes provinciaux est généralement assurée par les municipalités et le chef du service du bâtiment (CSB) respectif.

L'Ontario publie le Code du bâtiment de l'Ontario (CBO), qui contient la majeure partie du CNB modèle avec des modifications spécifiques à l'Ontario (p. ex. construction combustible de moyenne hauteur). Généralement, le Code du bâtiment de l'Ontario est publié environ 2 ans après la publication d'une nouvelle version du CNB.

Comme le CNB, le Code du bâtiment de l'Ontario comprend trois divisions : la division A – Conformité, objectifs et énoncés fonctionnels, la division B – Solutions acceptables et la division C – Dispositions administratives.

Le code exige aussi la conformité aux normes supplémentaires SB-1 à SB-13 et à d'autres documents cités dans le Code ainsi qu'à d'autres lois applicables. Les objectifs globaux et les énoncés fonctionnels mentionnés dans le Code du bâtiment de l'Ontario énumérés respectivement à la partie 2 et à la partie 3 de la division A, tandis que les objectifs et les énoncés fonctionnels attribués à des exigences spécifiques de la division B sont énumérés dans la norme supplémentaire SA-1.

2.6.2 SOLUTIONS ACCEPTABLES ET SOLUTIONS DE REMPLACEMENT EN VERTU DU CODE DU BÂTIMENT DE L'ONTARIO

La conformité au CBO peut être démontrée de deux façons : en se conformant aux solutions acceptables énoncées dans la division B (les dispositions sur le rendement et les dispositions prescriptives énoncées dans le CBO); ou en utilisant une solution de rechange qui entraîne au moins le même niveau de rendement que celui exigé par les solutions acceptables énoncées à la division B du Code du bâtiment à l'égard des objectifs et des énoncés fonctionnels du CBO qui sont attribués à la solution acceptable.

Ces deux options de conformité sont énoncées à l'article A-1.2.1.1 de la division A du CBO :

[Traduction]

Division A

1.2.1.1 Conformité à la division B

(1) Pour qu'il y ait conformité à la division B, il faut soit :

(a) se conformer aux *solutions acceptables* énoncées à la division B; ou

(b) utiliser des *solutions de rechange* qui entraînent le degré de rendement exigé par les *solutions acceptables* applicables à l'égard des *objectifs* et des *énoncés fonctionnels* attribués aux *solutions acceptables* applicables dans la norme supplémentaire SA-1 du MAML – Objectifs et énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables.

(2) Aux fins de l'alinéa (1)(b), le niveau de rendement relativement à un *énoncé fonctionnel* se rapporte à la réalisation de l'*énoncé fonctionnel* relativement à l'*objectif* auquel il est associé dans la norme supplémentaire SA-1 du MAML – Objectifs et énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables.

La solution acceptable énoncée dans la division B du CBO établit le niveau de rendement exigé à l'égard des objectifs et des énoncés fonctionnels applicables. Ainsi, si un concepteur souhaite soumettre une « solution de rechange », le concepteur doit d'abord établir le niveau de rendement exigé en fonction de la solution acceptable énoncée dans la division B. Cette obligation d'établir le niveau de rendement exigé est la principale différence entre un code axé sur les objectifs et un code axé sur le rendement, qui établirait explicitement les critères de rendement.

Le concepteur doit déterminer le niveau de rendement requis, sur le plan quantitatif, en fonction du rendement attendu de la solution acceptable.

Dans les cas où un choix doit être fait entre plusieurs conceptions possibles qui satisfont aux exigences de la division B, toutes les conceptions n'offriront probablement pas des niveaux de rendement équivalents. Tel qu'il est expliqué dans la note d'annexe du CBO qui accompagne l'article 1.2.1.1 de la division A, il importe seulement que la conception offre un niveau de rendement égal ou supérieur à celui offert par la solution acceptable. Il n'est pas nécessaire de choisir la conception qui offre le niveau de rendement le plus élevé, tout comme il n'est pas nécessaire de le faire dans le contexte des solutions acceptables.

En plus des objectifs et des énoncés fonctionnels, qui fournissent une orientation quant au bien-fondé des solutions acceptables, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) publie des énoncés d'intention pour toutes les dispositions de la division B du CNB modèle, et ces énoncés peuvent être consultés sur le site Web du CNRC.

Pour les dispositions du CBO qui sont les mêmes que celles du CNB, ces énoncés d'intention peuvent aider l'utilisateur à mieux comprendre les résultats indésirables que chaque disposition cherche à prévenir.

2.6.3 DOCUMENTATION DES SOLUTIONS DE REMPLACEMENT CONFORMÉMENT AU CODE DU BÂTIMENT DE L'ONTARIO

Le CBO comprend également des dispositions portant sur la documentation exigée pour démontrer la conformité aux dispositions relatives aux solutions de rechange du CBO.

Il est important que les propositions de rechange proposées respectent toutes les exigences en matière de documentation qui sont énoncées à la division C, sous-section 2.1 – Documentation des solutions de rechange.

[Traduction]

Division C partie 2

2.1.1. Documentation des solutions de rechange

2.1.1.1. Documentation

(1) La personne qui propose l'utilisation d'une solution de rechange doit fournir au *chef du service du bâtiment* ou à l'*organisme inscrit d'exécution du code des documents* qui :

- (a) identifient les *objectifs*, les *énoncés fonctionnels* et les *solutions acceptables* applicables;
- (b) établissent, sur la base du rendement antérieur, des essais décrits à l'article 2.1.1.2 ou d'une autre évaluation, que la *solution de rechange* proposée entraînera niveau de rendement exigé en vertu de l'article 1.2.1.1 de la division A.

(2) La documentation décrite au paragraphe (1) doit comprendre des renseignements sur les hypothèses pertinentes, les facteurs limitants ou contraignants, les procédures d'essai, les études ou les paramètres de rendement du *bâtiment*, y compris toutes les exigences opérationnelles, de mise en service et d'entretien.

2.1.1.2. Essais

(1) S'il n'existe aucune méthode d'essai publiée pour déterminer l'admissibilité d'une *solution de rechange* proposée en vertu de l'article 2.1.1.1, les essais utilisés aux fins de cet article devront être conçus de façon à simuler ou à dépasser les conditions de service prévues ou de façon à comparer le rendement du matériau ou système à celui d'un matériau ou d'un système similaire qui est jugé acceptable.

(2) Les résultats d'essais ou d'évaluations fondés sur des normes d'essai qui ne sont pas décrites dans le présent Code peuvent être utilisés aux fins du paragraphe (1) si les normes d'essai utilisées entraînent des résultats comparables.

D'autres précisions sont présentées à l'alinéa A-1.2.1.1(1)(b) de l'annexe A du CBO.

À la sous-section 2.3.1 – Documentation des solutions de rechange de la division C, le CNB présente des consignes additionnelles qui peuvent être utiles, mais qui ne sont pas explicitement exigées par le CBO.

La sous-section du CNB stipule qu'une solution de rechange doit comprendre une analyse du code dans laquelle sont énoncées les méthodes d'analyse et la justification utilisées pour déterminer qu'une solution de rechange proposée entraînera au moins le niveau de rendement exigé par la division B. L'analyse du code doit également comprendre les exigences d'entretien ou les exigences opérationnelles spéciales, y compris toutes les exigences de mise en service, qui sont nécessaire pour que la solution de rechange soit conforme au Code une fois le bâtiment construit.

De plus, l'analyse du code doit comprendre ce qui suit :

- Identification des solutions acceptables (p. ex. « construction incombustible »), qui ne sont pas explicitement satisfaites, et les objectifs et énoncés fonctionnels applicables qui se rapportent aux solutions acceptables.
- Les hypothèses, les facteurs limitants ou contraignants, les procédures d'essai, les études techniques ou les paramètres de rendement du bâtiment qui appuient la solution de rechange proposée.
- Les qualifications, l'expérience et les antécédents de la personne ou des personnes qui sont responsables de la conception.
- Des renseignements suffisamment détaillés pour communiquer clairement l'intention de la conception et pour étayer la validité et l'exactitude de la proposition.

En outre, le CNB exige qu'une seule personne coordonne la conception en vue d'une proposition de solution de rechange. Dans son propre code du bâtiment, l'Alberta a adopté une disposition qui exige qu'un coordonnateur de la conception soit désigné :

[Traduction]

Code du bâtiment de l'Alberta

Division C, partie 2 – Dispositions administratives

2.3.1 Documentation des solutions de rechange, 2.3.1.1

(6) Si la conception d'un bâtiment comprend des solutions de rechange proposées pour lesquelles plus d'une personne assume la responsabilité de différents aspects de la conception, le demandeur de permis doit désigner une seule personne qui coordonnera la préparation de la conception, l'analyse du Code et la documentation dont il est question dans la présente sous-section.

L'obligation de fournir des « lettres d'assurance » qui attestent de la coordination de la conception est déjà une exigence bien établie en Colombie-Britannique, où elle s'applique à tous les bâtiments de la partie 3, et est jugée utile pour accroître la conformité, faciliter l'innovation et rationaliser l'approbation des bâtiments. Le processus des lettres d'assurance contribue à réduire le risque pour les services du bâtiment municipaux.

On recommande qu'un seul spécialiste de la conception assume la coordination des différents aspects de la conception du bâtiment – règles de calcul, résistance aux incendies, systèmes mécaniques et autres éléments du bâtiment. Pour les projets qui font appel à des solutions de rechange, cette pratique est particulièrement recommandée, puisque les concepteurs et les agents du bâtiment connaissent moins bien la conception et les interrelations entre les systèmes et les composantes du bâtiment. Il convient d'embaucher un expert-conseil principal ou un coordonnateur de la conception pour s'assurer que les systèmes du bâtiment fonctionnent parfaitement ensemble et accroître la probabilité que la conception soit acceptée par le CSB municipal.

De plus, compte tenu du caractère spécialisé de nombreuses solutions de rechange, et afin de réduire les craintes et l'opposition des organismes de réglementation, il est important que les propositions de solutions de rechange comprennent un examen des principales composantes du bâtiment mené par d'autres ingénieurs ou architectes indépendants. L'examen par des pairs constitue une vérification additionnelle pouvant contribuer à donner au responsable municipal du service du bâtiment l'assurance que la solution de rechange proposée est conforme au Code du bâtiment.

Il est important que le propriétaire ou l'équipe de conception fasse appel à un tiers examinateur dès le début du processus afin de s'éviter des problèmes plus tard.

En plus de s'assurer que la conception de rechange soit étayée par une analyse et une documentation adéquate, il convient de veiller à ce que le régime de conformité et d'application soit robuste et efficace.

2.6.4. APPROBATION DES SOLUTIONS DE REMPLACEMENT PAR LE SERVICE DU BÂTIMENT MUNICIPAL

L'approbation d'une solution de remplacement passe par un dossier de demande solide et bien étayé et une équipe de conception compétente qui aborde toutes les questions de conformité.

Bien entendu, le service municipal du bâtiment doit tout de même s'assurer que la solution de remplacement respecte le Code du bâtiment (c.-à-d. qu'elle entraîne le niveau de rendement exigé à l'égard des objectifs et des énoncés fonctionnels). Le chef du service du bâtiment devra vérifier que les lois applicables sont respectées, que la documentation fournie est complète et adéquate et que les autres exigences sont satisfaites. La solution de remplacement est plus susceptible d'être approuvée si la proposition tient compte de tous les objectifs clés de la municipalité, notamment les objectifs suivants :

- Conformité aux exigences clés du code du bâtiment;
- Coordination de la conception (analyse des conflits);
- Examen par les pairs des éléments clés de la conception du bâtiment (examen par un tiers);
- Examen sur le terrain (examen général) des éléments clés du bâtiment durant la construction.

3. SÉCURITÉ-INCENDIE DES BÂTIMENTS EN BOIS MASSIF DE GRANDE HAUTEUR

3.1. INTRODUCTION

Les bâtiments en bois massif de grande hauteur en Amérique du Nord sont généralement classés comme des bâtiments de plus de six étages construits en bois massif. Les produits de bois massif, tel qu'indiqué au chapitre 2 ci-dessus, ont une grande résistance intrinsèque aux incendies en raison de leur épaisseur et de leur vitesse de carbonisation relativement lente lorsqu'ils sont exposés au feu.

Il est depuis longtemps reconnu que la construction en gros bois d'œuvre a une très bonne résistance aux incendies. Cela se reflète dans le CBO : les dispositions relatives à la construction en gros bois d'œuvre et aux murs et planchers en bois massif ont été conservées dans le code pendant de nombreuses décennies et remontent jusqu'au premier Code national du bâtiment du Canada de 1941.

Le CBO, n'autorise pas les éléments en gros bois d'œuvre seulement dans les situations où la construction combustible est permise. Plusieurs dispositions autorisent l'utilisation d'éléments en gros bois d'œuvre dans les bâtiments qui doivent être de construction incombustible, là où l'utilisation d'autres éléments de charpente en bois n'est pas autorisée.

La définition de « construction en gros bois d'œuvre » dans le CBO fournit quelques éclaircissements

concernant les propriétés reconnues pour contribuer à la résistance au feu. Le CBO stipule ce qui suit :

[Traduction] « La construction en gros bois d'œuvre est un type de construction combustible dans lequel on assure un certain degré de sécurité-incendie en prescrivant la taille des éléments structuraux en bois et l'épaisseur et la composition des planchers et des toits en bois et en supprimant les vides de construction des planchers et des toits. »

Les propriétés qui font que les bâtiments en gros bois d'œuvre ont une meilleure résistance au feu augmentent en même temps que nous nous tournons vers des poutres, des colonnes et des panneaux en bois massif de plus grandes dimensions. Les plus grandes dimensions utilisées dans les bâtiments en bois massif de grande hauteur découlent de l'augmentation des charges et de l'exigence voulant que la structure ait un degré de résistance au feu de 2 heures (ou plus, selon la solution de remplacement).

Il convient de souligner que les versions des normes de conception et des normes d'essai de résistance aux incendies mentionnées à la section 3 peuvent être plus récentes que celles adoptées par la version 2012 du CBO.

3.1.1. SURVOL DU CHAPITRE

Le présent chapitre portant sur la sécurité-incendie s'adresse principalement aux chefs du service du bâtiment (CSB) qui recevront des propositions de solutions de remplacement visant des bâtiments en bois de grande hauteur ainsi qu'aux promoteurs, ingénieurs et architectes qui doivent comprendre les divers facteurs à inclure dans une solution de remplacement en vue de demander l'autorisation de construire un bâtiment en bois massif de grande hauteur.

Le présent chapitre intitulé Sécurité-incendie des bâtiments en bois massif de grande hauteur vise à présenter un aperçu de la façon dont un bâtiment en bois de grande hauteur (plus de 6 étages) peut être conçu sur le plan de la sécurité-incendie et soumis à titre de solution de remplacement au CSB d'une municipalité de l'Ontario. Tel qu'il est décrit ci-dessous, d'ici à ce que le Code du bâtiment énonce un ensemble prescriptif de dispositions à titre de solution acceptable pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur, il faudra, pour chaque projet de bâtiment en bois massif de grande hauteur, qu'un ingénieur en sécurité-incendie prépare une solution de remplacement détaillée accompagnée d'une analyse technique afin de démontrer la résistance aux incendies du bâtiment proposé. Le niveau de performance exigé se fonde sur les solutions acceptables actuelles énoncées dans la division B du CBO, tel que décrit à la section 3.2 ci-dessous.

Certains CSB peuvent craindre de ne pas avoir l'expertise interne nécessaire pour évaluer une solution de remplacement complexe qui démontre la performance d'un bâtiment en bois de grande hauteur. C'est pourquoi la section 3.3 de la présente ressource technique décrit comment un processus d'examen par un tiers peut venir appuyer le processus décisionnel du CSB, ce qui est une pratique relativement courante dans le domaine de la sécurité-incendie.

Comme la solution acceptable énoncée à la division B du CBO établit le niveau de performance exigé d'un bâtiment en bois massif de grande hauteur, la section 3.4 de la présente ressource technique décrit les cas où des éléments en bois sont actuellement autorisés dans la construction incombustible. Il convient d'examiner ces cas afin de mieux comprendre comment un bâtiment en bois massif peut intégrer des éléments combustibles en toute sécurité.

L'une des préoccupations courantes parmi les CSB en Ontario concerne la qualité des solutions de remplacement qu'ils ont reçues à l'égard de projets antérieurs. Par conséquent, le processus de conception

typique utilisé en sécurité-incendie à l'échelle internationale est décrit à la section 3.5 ci-dessous. Bien que les solutions de remplacement pour les projets de bâtiments en bois de grande hauteur peuvent varier, des petites analyses relativement simples (par exemple, un bâtiment dans lequel la structure en bois massif est entièrement encapsulée, sans élément de bois massif apparent, et qui doit avoir une performance similaire à celui d'une structure incombustible) aux analyses complexes, la méthodologie présentée peut être suivie pour mieux cerner et justifier l'approche globale.

Les différentes caractéristiques de sécurité-incendie de la conception du bâtiment, y compris les systèmes actifs et passifs, sont décrites aux sections 3.6 et 3.7 de la présente ressource technique. Les questions propres à la construction massive en bois sont abordées pour chaque caractéristique.

Quelle que soit la complexité de la solution de remplacement proposée, il faudra probablement fournir une comparaison de l'étendue des incendies attendue selon la solution de remplacement et la solution acceptable. La comparaison peut être qualitative ou quantitative et peut être relative ou absolue, comme une prévision du transfert de chaleur réel. Par conséquent, il sera nécessaire de comprendre comment la structure en bois massif, qu'elle soit encapsulée ou non, contribuera à l'intensité de l'incendie. La section 3.8 de la présente ressource technique fournit des renseignements utiles pour comprendre comment la structure en bois massif peut contribuer à la propagation, à l'intensité et à la durée d'un incendie.

À mesure que les solutions de remplacement pour les bâtiments en bois massif de grande hauteur gagneront en complexité, une analyse du risque sera probablement exigée afin de comparer le niveau de performance entre la solution de remplacement et la solution acceptable. La section 3.9 de la présente ressource technique présente un bref survol des méthodes d'analyse du risque qui peuvent être utilisées pour effectuer la comparaison.

En se fondant sur les renseignements présentés dans le chapitre, la section 3.10 de la présente ressource technique regroupe ces idées en quelques stratégies courantes pour préparer des solutions de remplacement visant la construction de bâtiments en bois massif de grande hauteur.

Enfin, comme lors des récentes modifications apportées au CBO pour autoriser les bâtiments de 5 et 6 étages de construction combustible, la possibilité qu'un incendie se déclare dans un bâtiment en bois en cours de construction soulève quelques inquiétudes, particulièrement dans la mesure où ces bâtiments gagnent en taille et en hauteur. La section 3.11 de la présente ressource technique aborde les principaux aspects de la sécurité-incendie dans les chantiers de construction des bâtiments en bois massif de grande hauteur et fournit des ressources additionnelles pour les personnes qui souhaitent étudier ce sujet plus en profondeur.

3.1.2. CONSTRUCTION MASSIVE EN BOIS – RÉSISTANCE AU FEU

Au cours des dernières années, à mesure que l'intérêt pour les bâtiments en bois grandissait, particulièrement pour les grands édifices qui utilisent des éléments en bois de grandes sections transversales, un nouveau terme est devenu nécessaire pour décrire le type de construction. Le terme traditionnel « construction en gros bois d'œuvre » n'est pas suffisamment représentatif compte tenu de la définition spécifique actuelle dans le code du bâtiment et des dispositions connexes. Il fallait un nouveau terme qui ne se rapporte pas spécifiquement à un degré de résistance au feu, mais qui décrive un type de bâtiment capable de présenter un degré de résistance au feu d'une ou de deux heures. Les produits en bois de très grandes dimensions utilisés dans ce type de construction sont maintenant appelés « bois massif » et sont décrits au chapitre 2.

Pour refléter le fait que la construction massive en bois est en mesure d'offrir des degrés accrus de résistance au feu, une nouvelle annexe a été ajoutée à la norme nationale canadienne de conception des charpentes en bois, la CSA O86, en 2014. L'annexe B de la norme CSA O86 est une annexe à caractère informatif qui présente une méthodologie de calcul pour déterminer le degré de résistance au feu standard qui doit être suivie pour concevoir la structure d'une construction massive en bois. En 2016, un supplément a été publié afin d'ajouter le bois lamellé-croisé à la norme, y compris l'annexe B servant à calculer son degré de résistance au feu.¹

L'une des propriétés qui confèrent au bois massif son excellente résistance au feu est la grande dimension des poutres, des colonnes ou des panneaux en bois massif. L'auteur de l'ouvrage « Structural Design for Fire Safety » (Buchanan, 2001) explique le comportement au feu des structures en bois :

[Traduction] « Lorsque de grosses composantes en bois sont exposées à un feu intense, la surface du bois s'enflamme d'abord et brûle rapidement. Le bois brûlé forme une couche de résidus carbonisés qui isole le bois massif qu'elle recouvre. La vitesse de combustion initiale diminue jusqu'à atteindre une vitesse constante qui se maintient tout au long de l'exposition au feu. La vitesse de carbonisation augmentera si la section de bois restante devient très petite. La couche de résidus carbonisés ne brûle généralement pas, parce qu'il n'y a pas assez d'oxygène dans les flammes à la surface de la couche de résidus carbonisés pour que l'oxydation des résidus carbonisés ne se produise. »

La formation de la couche de résidus carbonisés et de la zone de pyrolyse est illustrée à la figure 3.1.

Ainsi, tant et aussi longtemps que la section restante conserve une « dimension importante », la carbonisation se poursuivra à une vitesse lente et prévisible. Par conséquent, il est nécessaire de s'assurer que les éléments en bois massif sont de dimension suffisante pour empêcher l'accélération de la carbonisation due aux effets du transfert de chaleur bidimensionnel. D'après les vitesses de carbonisation connues et la profondeur de pénétration de la chaleur au-delà de la surface carbonisée, et en s'assurant que le matériau se comporte comme un solide semi-infini de façon à ce que la vitesse de carbonisation n'augmente pas, le tableau 3.1, présente les dimensions minimales des composantes en bois massif pour la construction massive en bois lorsque les composantes sont laissées à découvert (c.-à-d. sans encapsulation) (Craft, 2016).

Composantes structurales en bois	Type de Dimension	Dimensions minimales (mm)
Murs, planchers et toits avec une exposition au feu sur 1 côté	Épaisseur / profondeur	136
Poutres, colonnes et arches avec une exposition au feu sur 2 ou 3 côtés	Section transversale	248 x 248
Poutres, colonnes et arches avec une exposition au feu sur 4 côtés	Section transversale	336 x 336

Table 3.1 – Sommaire des dimensions minimales des éléments structuraux en bois proposés pour la construction massive en bois, s'ils sont laissés à découvert (Craft, 2016).

Il convient de souligner que ces dimensions minimales servent à s'assurer que les éléments en bois afficheront les caractéristiques de résistance au feu du bois massif et non celles d'éléments en bois légers de petites dimensions (comme le bois d'œuvre), y compris une réduction de l'inflammabilité et de la vitesse moyenne de contribution à la charge combustible. Les dimensions présentées dans le tableau 3.1 ne reflètent pas nécessairement un degré de résistance au feu spécifique. Dans de nombreux cas, des

¹ Le Supplément de 2016 n'est pas encore présenté en référence dans la version 2012 du CBO, mais peut être utilisé dans le cadre d'une solution de rechange.

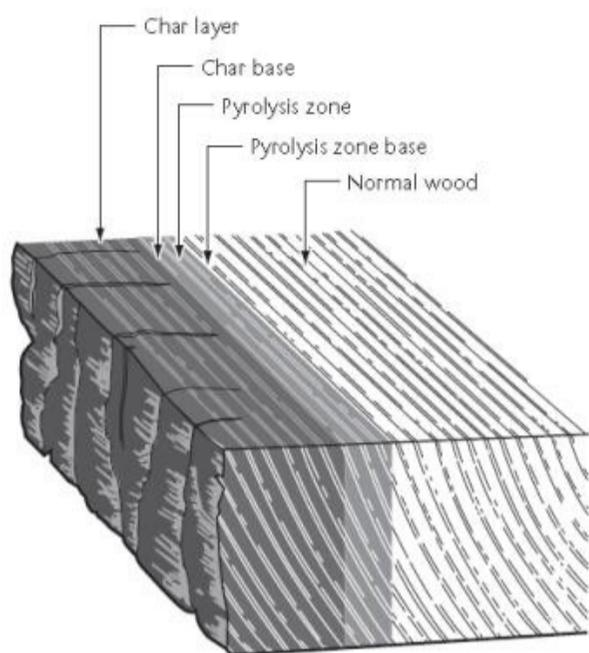


Figure 3.1 – Formation de la couche de résidus carbonisés et de la zone de pyrolyse dans le bois (unidimensionnel) lorsqu'il est exposé à des températures élevées (CSA, 2011).

dimensions plus grandes seront exigées pour satisfaire au degré de résistance au feu désiré. Des renseignements additionnels sur le calcul de la résistance aux incendies du bois massif sont présentés aux sections 3.7.1 et 3.7.2 de la présente ressource technique.

3.1.3. BOIS MASSIF ENCAPSULÉ

En plus du terme « bois massif », qui est relativement nouveau, le terme connexe « bois massif encapsulé » a récemment été adopté pour désigner la construction massive en bois dans laquelle les éléments en bois massif sont, dans une certaine mesure, protégés contre l'exposition au feu en cas d'incendie. Comme il est abordé tout au long du chapitre 3 de la présente ressource technique, l'encapsulation peut être procurée par différents matériaux comme des panneaux de gypse, des isolants en laine minérale, du béton ou d'autres matériaux qui demeurent en place et empêche un certain temps la carbonisation des éléments en bois massif lorsqu'ils sont soumis à l'essai standard de résistance au feu de

la norme CAN/ULC-S101. La durée de protection qu'offre une méthode d'encapsulation selon l'essai standard de résistance au feu déterminera si la structure peut contribuer à un incendie qui survient dans un compartiment et quand elle y contribuera. Dans bien des cas, le matériau d'encapsulation contribuera également au degré de résistance au feu de la structure en bois massif. Toutefois, il faut bien comprendre que ces deux rôles du matériau ou du système d'encapsulation (réduire la contribution à l'incendie et contribuer à la résistance au feu de la structure) sont distincts et doivent être pris en compte séparément dans l'évaluation de la résistance au feu du bâtiment.

Comme pour les dimensions énoncées au tableau 3.1 ci-dessus, les dimensions minimales peuvent être réduites lorsque les éléments en bois massif sont encapsulés. Le tableau 3.2 énonce les dimensions minimales à respecter lorsque l'encapsulation est composée de deux couches de panneaux de gypse de type X de 12,7 mm.

Composantes structurales en bois	Type de dimension	Dimensions minimales (mm)
Murs, planchers et toits avec une exposition au feu sur 1 côté	Épaisseur / profondeur	96
Poutres, colonnes et arches avec une exposition au feu sur 2 ou 3 côtés	Section transversale	192 x 192
Poutres, colonnes et arches avec une exposition au feu sur 4 côtés	Section transversale	224 x 224

Table 3.2 – Sommaire des dimensions minimales des éléments structuraux en bois proposés pour la construction massive en bois, s'ils sont encapsulés avec 2 couches de panneaux de gypse de type X de 12,7 mm (Craft, 2016).

Dans de nombreux cas, la conception proposée pour un bâtiment peut comprendre une stratégie d'encapsulation partielle, par exemple une stratégie où un plafond en bois lamellé-croisé est encapsulé avec des panneaux de gypse tandis que les poutres et les colonnes sont laissées à découvert. Toutes les combinaisons différentes d'éléments en bois encapsulés et laissés à découvert peuvent être envisagées, et la solution de remplacement devra démontrer que la résistance au feu du bâtiment est acceptable.

3.1.4. COMPÉTENCE DE L'ÉQUIPE CHARGÉE DE PRÉPARER LA SOLUTION DE REMPLACEMENT

Il est important de comprendre que la préparation d'une solution de remplacement visant la construction d'un bâtiment en bois massif de grande hauteur est une tâche considérable qui nécessite la contribution d'un ingénieur en sécurité-incendie. Il est essentiel que l'ingénieur en sécurité-incendie collabore étroitement avec l'architecte, l'ingénieur en structures et d'autres spécialistes de la conception, dès le départ, puisque les décisions prises à toutes les étapes de la conception peuvent avoir une incidence sur la sécurité-incendie et la solution de remplacement proposée. Par exemple, la modification des détails d'un assemblage pour améliorer l'acoustique peut avoir une incidence sur la résistance au feu de l'assemblage, ou des modifications apportées à la conception ou à l'aménagement des structures peuvent avoir un impact sur la résistance au feu de la structure et d'autres aspects de la protection contre les incendies.

3.2. CONFORMITÉ AU CODE DU BÂTIMENT DE L'ONTARIO

La conformité au CBO peut être démontrée de deux façons, tel qu'il est indiqué à l'article A-1.2.1.1 de la division :

[Traduction]

1) *Pour qu'il y ait conformité à la division B, il faut soit :*

a) se conformer aux solutions acceptables énoncées à la division B; ou

b) utiliser des solutions de remplacement qui rencontrent le niveau de performance exigé par les solutions acceptables applicables à l'égard des objectifs et des énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables applicables dans la norme supplémentaire SA-1 du MAML – Objectifs et énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables.

2) *Aux fins de l'alinéa (1)(b), le niveau de performance relativement à un énoncé fonctionnel se rapporte à la réalisation de l'énoncé fonctionnel relativement à l'objectif auquel il est associé dans la norme supplémentaire SA-1 du MAML – Objectifs et énoncés fonctionnels attribués aux solutions acceptables.*

Cela signifie que la solution acceptable énoncée dans la division B du CBO établit le niveau de performance exigé à l'égard des objectifs et des énoncés fonctionnels applicables. Ainsi, si un concepteur souhaite soumettre une « solution de remplacement », le concepteur doit d'abord établir le niveau de performance exigé en fonction de la solution acceptable énoncée dans la division B. Il s'agit de la principale différence entre un code axé sur les objectifs et un code axé sur la performance, qui établirait explicitement les critères de performance. Le concepteur doit déterminer le niveau de performance requis, sur le plan quantitatif, en fonction de la performance attendu de la solution acceptable.

Dans les cas où un choix doit être fait entre plusieurs conceptions possibles qui satisfont aux exigences de la division B, toutes les conceptions n'offriront probablement pas des niveaux de performance équivalents. Tel qu'il est expliqué dans la note d'annexe du CBO qui accompagne l'article 1.2.1.1 de la division A, on considère généralement que la conception qui offre le niveau de performance le moins élevé tout en satisfaisant à la solution acceptable énoncée à la division B établit le niveau de performance minimal acceptable qui doit être utilisé dans l'évaluation de la conformité des solutions de remplacement au Code.

En plus des objectifs et des énoncés fonctionnels, qui fournissent une orientation quant au bien-fondé

des solutions acceptables, le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) publie des énoncés d'intention pour toutes les dispositions de la division B du CNB modèle, et ces énoncés peuvent être consultés sur le site Web du CNRC². Pour les dispositions du CBO identiques à celles du CNB, ces énoncés d'intention peuvent aider l'utilisateur à mieux comprendre les résultats indésirables que chaque disposition cherche à prévenir.

Démonstration qu'une solution de remplacement est conforme au CBO

Une fois que les niveaux de performance ont été établis en fonction de la performance d'une conception conforme à la solution acceptable énoncée dans la division B, la solution de remplacement peut être évaluée pour déterminer le niveau de performance présenté. Le CBO exige que le niveau de performance de la solution de remplacement soit égal ou supérieur au niveau de performance de la solution acceptable à l'égard des objectifs et des énoncés fonctionnels du CBO qui sont attribués à la solution acceptable. C'est cette exigence qui régit l'évaluation des solutions de remplacement, aussi simples ou élaborées soient-elles.

Documentation de la solution de remplacement

Comme indiqué ci-dessus, il faut démontrer qu'une solution de remplacement rencontre au moins le niveau de performance minimal apporté par une conception conforme à la solution acceptable applicable dans les secteurs définis par les objectifs et énoncés fonctionnels attribués à la solution acceptable. La documentation à fournir avec une solution de remplacement est énoncée à la section 2.1 de la division C du CBO, et d'autres précisions sont présentées à l'alinéa A-1.2.1.1.(1)(b) de l'annexe A du CBO.

De plus, la sous-section 2.3.1 – Documentation des solutions de remplacement de la division C du CNB, présente des consignes additionnelles qui peuvent être utiles, mais qui ne sont pas explicitement exigées par le CBO. La sous-section stipule qu'une solution de remplacement doit comprendre une analyse du code qui énonce les méthodes d'analyse et la justification utilisées pour déterminer qu'une solution de remplacement proposée rencontrera au moins le niveau de performance exigé par la division B, ainsi que les exigences particulières d'entretien ou d'opération, y compris toutes les exigences de mise en service, qui sont nécessaires pour que la solution de remplacement soit conforme au Code une fois le bâtiment construit. L'analyse du code doit comprendre ce qui suit :

- Identification des solutions acceptables (p. ex. « construction incombustible »), qui ne sont pas explicitement satisfaites, et les objectifs et énoncés fonctionnels applicables qui se rapportent aux solutions acceptables.
- Les hypothèses, les facteurs limitants ou contraignants, les procédures d'essai, les études techniques ou les paramètres de performance du bâtiment qui appuient la solution de remplacement proposée.
- Les qualifications, l'expérience et les antécédents de la personne ou des personnes responsables de la conception.
- Des renseignements suffisamment détaillés pour communiquer clairement l'intention de la conception et pour étayer la validité et l'exactitude de la proposition.

Approbaton des solutions de remplacement

La décision d'approuver ou non les solutions de remplacement revient au chef du service du bâtiment (CSB), qui exerce souvent ses fonctions dans la municipalité où le bâtiment serait construit. Il n'est pas rare qu'une solution de remplacement soit si complexe qu'elle dépasse le degré d'expertise interne du CSB. Dans certains cas, le CSB demandera à ce que la solution de remplacement soit examinée par un tiers (personne ou organisation) approuvé ou désigné par le CSB.

2 Les énoncés d'intention du Code national du bâtiment du Canada de 2010 peuvent être consultés à l'adresse suivante : <http://codes-guides.nrc.ca/IA/10CNB/intentframe.html>

D'autres renseignements et consignes sur le processus d'examen par un tiers sont présentés à la section 3.3 de la présente ressource technique.

Solution de remplacement de construction combustible

La première étape de l'élaboration d'une solution de remplacement visant la construction d'un bâtiment en bois de grande hauteur consiste à identifier les dispositions de la division B du code qui ne seront pas respectées en utilisant une construction massive en bois plutôt qu'une construction incombustible. Dans le cas des bâtiments en bois de grande hauteur, le renvoi au code qui exige une construction incombustible relève des dispositions de la sous-section 3.2.2 du CBO, où l'article spécifique dépend de l'occupation du bâtiment. Par exemple, les paragraphes suivants du CBO s'appliqueraient respectivement à des immeubles résidentiels ou à des édifices à bureaux de grande hauteur (plus de 6 étages) de construction massive en bois :

- Le paragraphe 3.2.2.42(2) exige une construction incombustible pour un bâtiment du groupe C (résidentiel) qui n'est pas assujéti à des limites de surface et de hauteur.
- Le paragraphe 3.2.2.49(2) exige une construction incombustible pour un bâtiment du groupe D (bureaux) qui n'est pas assujéti à des limites de surface et de hauteur.

Les objectifs et les énoncés fonctionnels attribués à ces solutions acceptables sont présentés au tableau 3.3 ci-dessous.

Renvois au CBO	Objectif	Fonction	Lien	Risques inacceptables
Paragrapes 3.2.2.42.(2) et 3.2.2.49.(2)	OS1.2	F02: Limiter la gravité et les effets des incendies ou des explosions	de sorte que	une personne se trouvant à l'intérieur ou à proximité du bâtiment ne soit pas exposée à un risque de blessures inacceptable occasionné par l'incendie ou l'explosion touchant des zones au- delà de son point d'origine.
	OP1.2			le bâtiment ne soit pas exposé à un risque de dommages inacceptable occasionné par l'incendie ou l'explosion touchant des zones au-delà de son point d'origine.

Table 3.3 – Objectifs et énoncés fonctionnels attribués à l'exigence de construction incombustible.

Le Conseil national de recherches du Canada a publié l'énoncé d'intention suivant, dans les deux articles du CNB modèle qui correspondent à ceux présentés ci-dessus, à l'égard des exigences de construction incombustible :

Limiter la probabilité que des matériaux de construction combustibles se trouvant sur un étage d'un bâtiment n'alimentent un incendie, ce qui pourrait contribuer à au développement du feu et à favoriser sa propagation sur l'étage avant que les occupants n'aient atteint un endroit sécuritaire et que les intervenants d'urgence n'aient accompli leurs tâches.

Tous les bâtiments en bois de grande hauteur construits en vertu d'une solution de remplacement

approuvée seront probablement différents. La solution de remplacement pour certains projets peut comprendre seulement le renvoi au code ci-dessus (tableau 3.3) et utiliser du bois massif à la place de la construction incombustible autrement exigée. D'autres projets auront une structure en bois massif et laisseront aussi une partie de la structure à découvert. Dans un tel cas, la solution de remplacement devra aussi tenir compte de l'utilisation de bois massif laissé à découvert pour les finitions intérieures, qui est limitée à des revêtements de 25 mm d'épaisseur dans le CBO pour les bâtiments devant être de construction incombustible. D'autres mesures de conception et(ou) d'analyse pourraient aussi être exigées dans le cadre de la solution de remplacement pour la construction des murs extérieurs si les exigences de séparation spatiale (sous-section 3.2.3 du CBO) imposent une construction incombustible, lesquelles dispositions sont distinctes des exigences de hauteur et de surface énoncées à la sous-section 3.2.2 du CBO, ainsi que tout autre écart par rapport aux dispositions de la division B.

Voici d'autres exemples de solutions acceptables de la division B du CBO qui ne sont pas satisfaites et qui nécessitent donc une solution de remplacement afin de respecter les objectifs et les énoncés fonctionnels qui s'y rattachent :

[Traduction]

- Article 3.1.5.1 – Bois traité ignifugé
- Sous-section 3.1.11 – Pare-feu dans les vides de construction
- Sous-section 3.1.13 – Finition intérieure
- Article 3.2.3.6 – Saillies combustibles
- Article 3.2.3.7 – Construction des façades de rayonnement

Toutefois, il convient de souligner qu'une stratégie courante consiste à satisfaire le plus possible aux solutions acceptables de la division B du CBO tout en respectant les objectifs globaux de la conception, par exemple en utilisant une structure en bois massif et en la laissant à découvert dans une certaine mesure.

3.3. PROCESSUS D'EXAMEN PAR UN TIERS

Si le CSB a l'expertise et l'expérience nécessaires, il peut examiner et évaluer lui-même la solution de remplacement proposée avant de l'approuver ou de la rejeter. Le CSB pourra notamment tenir compte de la formation, de l'expertise et de l'expérience du personnel qu'il a à sa disposition et de la complexité de l'analyse technique utilisée pour démontrer que la solution de remplacement apporte le niveau de performance exigé.

Dans certains cas, une solution de remplacement pour un projet de bâtiment en bois de grande hauteur suit des principes d'ingénierie de la sécurité-incendie qui dépassent le niveau d'expertise interne du CSB. Dans de tels cas, l'examen par un tiers peut être un recours important du CSB pour évaluer les solutions de remplacement complexes. L'examen par un tiers peut être réalisé par un pair qui a un niveau de connaissances et d'expérience similaire ou supérieur à celui du promoteur, ou peut être réalisé par un spécialiste qui examinera les aspects particuliers de la solution de remplacement proposée pour lesquels il a une expertise. L'examen par un tiers peut englober tous les aspects de la conception, y compris le mémoire explicatif de la protection contre les incendies, les approches conceptuelles, les analyses probantes, les calculs et l'application ou l'interprétation des exigences du code.

Il est préférable, dans les cas où un examen par un tiers est jugé nécessaire pour évaluer une solution de remplacement, que le CSB désigne et approuve ou embauche lui-même l'examineur. L'examen doit être indépendant du projet et des sociétés qui participent au projet. La portée de l'examen doit être clairement communiquée à toutes les parties. La procédure de paiement pour un examineur doit être déterminée dès le début du processus et peut être établie par le promoteur du projet ou par le CSB, en

incluant par exemple les frais dans la structure tarifaire exigé pour les permis.

En général, il est préférable d'assurer la participation de l'examineur dès le début du processus afin de discuter avec lui de l'approche globale et de la méthodologie qui seront adoptées. L'examen par un tiers se veut un processus constructif qui aidera le CSB à évaluer une solution de remplacement étayée par une analyse appropriée de la sécurité-incendie avant de l'approuver ou de la rejeter. L'examen par un tiers devrait faciliter l'approbation d'une solution de remplacement grâce à la collaboration avec les promoteurs et le CSB.

Le processus d'examen par un tiers doit faire l'objet d'une documentation exhaustive. Les commentaires formulés durant le processus, ainsi que le rapport final, doivent être explicites dans l'évaluation de la solution de remplacement et doivent respecter une approche constructive afin que les lacunes cernées dans la solution de remplacement puissent être corrigées en temps opportun.

Si l'examineur a pu participer au projet dès le départ, il est improbable que le raisonnement et la justification fournis avec la solution de remplacement ne répondent pas adéquatement aux objectifs au moment de la conclusion de l'examen. Si l'examineur a participé au processus dès le départ, l'issue la plus probable de l'examen est que la documentation et l'analyse étayeront adéquatement la solution de remplacement. En veillant à ce que l'examineur participe au processus dès le départ, on peut s'assurer que le processus soit plus fluide et rationalisé, puisque les préoccupations à l'égard de l'approche et des méthodologies peuvent être identifiées rapidement.

D'autres renseignements sur l'examen par un tiers sont présentés dans les documents suivants :

1. Guidelines for Peer Review in the Fire Protection Design Process. Society of Fire Protection Engineers, Gaithersburg, MD. 2009.
2. International Fire Engineering Guidelines. Australian Government, State and Territories of Australia. 2005.

3.4. CONSTRUCTION INCOMBUSTIBLE ET BÂTIMENTS DE GRANDE HAUTEUR

Comme nous l'avons décrit précédemment, une solution de remplacement consistant à utiliser du bois massif pour la construction d'un bâtiment en bois de grande hauteur doit être comparée à la solution acceptable pour laquelle la dernière édition du Code du bâtiment de l'Ontario exige l'utilisation d'une construction « incombustible ». Par conséquent, il importe de comprendre où il est permis à l'heure actuelle d'utiliser du bois dans les bâtiments qui doivent être d'une « construction incombustible » étant donné que la performance des combinaisons de matériaux et d'éléments incombustibles et combustibles autorisés par le code dans la « construction incombustible » détermine le niveau de performance d'une solution de remplacement.

À noter qu'il importe également de comprendre les restrictions relatives aux matériaux et à la conception pour les bâtiments qui doivent être d'une construction incombustible puisque la plupart des solutions de remplacement qui font appel à une structure en bois massif sont conformes à toutes les autres exigences en matière de construction incombustible à l'exception de la structure elle-même.

Les utilisations autorisées les plus importantes du bois dans les bâtiments qui doivent être d'une construction incombustible comprennent l'utilisation d'éléments en bois massif, la construction des murs de séparation intérieurs, les finitions intérieures telles que les revêtements de sol et muraux et les boiseries. Pour mieux comprendre les restrictions imposées dans le cas des bâtiments incombustibles, il est utile de comprendre ce que signifient exactement les termes « incombustible » et « construction incombustible » dans le contexte du code.

Le CBO fournit la définition suivante du terme « incombustible » :

Un matériau incombustible est un matériau qui « *satisfait aux critères d'acceptation de la norme CAN/ULC-S114, Méthode d'essai normalisée pour la détermination de l'incombustibilité des matériaux de construction* ».

La méthode d'essai CAN/ULC-S114 (2005) consiste à prélever un petit échantillon (38 mm x 38 mm x 50 mm) et à le placer dans un four à 750 °C pendant 15 minutes. La norme exige que trois essais soient effectués sur trois échantillons distincts. Un matériau de construction est considéré comme incombustible si :

- La moyenne de l'augmentation de température maximale des trois essais ne dépasse pas 36 °C;
- Aucune flamme n'est visible dans le four au cours des 14,5 dernières minutes pour les trois essais;
- La perte de masse maximale de l'échantillon est inférieure à 20 % dans chacun des trois essais.

Les produits du bois, y compris les produits du bois traités et ignifugés, ne satisfont pas à ces exigences et sont donc considérés comme étant combustibles. En fait, même certains produits de panneaux de gypse ne peuvent subir cet essai avec succès, ce qui montre à quel point il est difficile pour les matériaux d'obtenir un résultat satisfaisant à cet essai.

À noter qu'un autre essai, celui de la norme CAN/ULC-S135 (2013), peut être utilisé pour montrer que le dégagement de chaleur est faible et que les matériaux qui satisfont aux exigences du paragraphe 3.1.5.1.(2) de la Division B du CBO peuvent être utilisés là où des matériaux incombustibles sont exigés.

Le CBO définit la « construction incombustible » de la manière suivante :

La construction incombustible est « *le type de construction dans lequel un niveau de sécurité-incendie est obtenu par l'utilisation de matériaux incombustibles pour les éléments de charpente et les autres éléments fonctionnels de construction* ».

Il importe de noter que la définition de la construction incombustible n'indique pas que seuls des matériaux incombustibles peuvent être utilisés. Elle indique simplement qu'un certain niveau de sécurité-incendie est obtenu dans ce type de construction en utilisant des matériaux incombustibles pour certains éléments du bâtiment. En fait, comme nous le décrivons à la section suivante, beaucoup de matériaux combustibles peuvent être utilisés dans les bâtiments qui doivent être d'une construction incombustible.

3.4.1. UTILISATION DU BOIS DANS LES BÂTIMENTS INCOMBUSTIBLES

Le bois peut être l'un des matériaux combustibles les plus répandus dans les bâtiments dont la construction doit être incombustible. Il peut être utilisé sous forme de fourrures, de toit et auvents, chanlattes, rebords de toit, pare-feux, revêtements de toit, menuiserie préfabriquée, armoires, comptoirs, châssis de fenêtre, portes, couvre-planchers, colombages, solives et même comme revêtements muraux. Dans les bâtiments de grande hauteur, les restrictions de l'indice de propagation de la flamme et de l'indice de pouvoir fumigène peuvent limiter l'utilisation du bois dans les endroits tels que les sorties, les corridors et les halls. Cependant, des traitements ignifuges peuvent être utilisés pour satisfaire à ces exigences. Voici un résumé des types de produits du bois qui peuvent être utilisés dans un bâtiment qui doit être incombustible et des endroits où ils peuvent être utilisés. Des références codées sont fournies à titre d'information supplémentaire.

Cloisons

Les murs en bois massif (d'une épaisseur d'au moins 38 mm) et les murs à ossature de bois peuvent être largement utilisés comme cloisons non porteuses dans les bâtiments dont la construction doit être incombustible. Cependant, il existe une exception pour les établissements de soins, de traitement ou de détention dans lesquels l'utilisation de cloisons en bois massif ou à ossature de bois n'est pas autorisée. Voir le CBO, Division B, article 3.1.5.13. pour de plus amples informations

À condition que le bâtiment incombustible soit entièrement protégé par des gicleurs automatiques, comme le seront les bâtiments en bois de grande hauteur, les cloisons en bois massif et les cloisons à ossature de bois peuvent être utilisées avec ou sans degré de résistance au feu. Cependant, les cloisons en bois massif ne peuvent être installées comme enveloppe pour les sorties ou les vides techniques verticaux et les cloisons ne peuvent être utilisées comme séparations coupe-feu pour ceinturer une mezzanine.

Les dispositions concernant l'utilisation des cloisons en bois reposent sur le fait que le bois ne contribue pas au développement de l'incendie et ne peut contribuer au feu qu'après un certain temps lorsque la membrane protectrice est tombée. Même à ce stade, la contribution du bois n'est pas importante par rapport au reste des combustibles tels que les meubles présents dans le compartiment (Mehaffey, 1987).

Matériaux de toiture

Les matériaux de toiture en bois peuvent être utilisés à condition qu'ils satisfassent aux exigences d'une classification A, B ou C lorsqu'ils sont mis à l'essai conformément à la norme CAN/ULC-S107 (2010), « Méthodes normalisées d'essai de résistance au feu des matériaux de couverture ». Voir le CBO, Division B, article 3.1.5.3., pour de plus amples informations.

Le contreplaqué ou les panneaux de lamelles orientées peuvent être installés comme couverture de toit au-dessus d'une dalle en béton sur un bâtiment dont la construction doit être incombustible. Cependant, le platelage doit avoir une épaisseur de 50 mm ou plus et le voligeage ne peut se trouver à plus d'un mètre au-dessus de la dalle en béton. De plus, des parapets doivent être installés sur le périmètre du tablier en béton et dépasser d'au moins 150 mm le revêtement afin d'empêcher les matériaux de la toiture de prendre feu au contact des flammes qui s'échappent d'une fenêtre.

Dans la construction des toits, les chanlattes, les rebords de toit, les bandes de clouage et les éléments semblables peuvent être utilisés dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible. De plus, les parements des fonds de clouage en bois sur les parapets, d'une hauteur de 600 mm ou moins, sont autorisés sur un bâtiment dont la construction doit être incombustible, à condition que les parements et tous les revêtements d'étanchéité qui recouvrent les parements soient protégés par de la tôle.

Fourrures et blocs

Le bois est particulièrement utile comme fond de clouage pour différents types de bardage et de revêtement intérieur. L'utilisation des fourrures de bois fixées directement à un endos incombustible pour fixer des revêtements intérieurs est autorisée à condition que l'espace créé entre le revêtement intérieur et l'endos incombustible soit inférieur ou égal à 50 mm d'épaisseur. Les blocs de bois peuvent être utilisés dans les assemblages de mur d'un bâtiment incombustible pour la fixation d'accessoires tels que les rampes. Voir le CBO, Division B, article 3.1.5.2, pour de plus amples informations.

De plus, les blocs de bois peuvent être utilisés comme pare-feux dans les bâtiments dont la construction peut être incombustible. Cependant, le pare-feu doit subir avec succès un essai dans lequel il doit empêcher le passage des flammes pendant 15 minutes lorsqu'il est soumis à l'exposition au feu standard précisée dans la norme CAN/ULC-S101, « Essais de réaction au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction ».

Revêtement intérieur

Les produits du bois utilisés comme revêtement intérieur peuvent être largement utilisés dans les bâtiments dont la construction doit être incombustible. L'utilisation des revêtements intérieurs est en grande partie réglementée en fonction des restrictions de l'indice de propagation de la flamme. En général, il est permis d'utiliser des revêtements muraux intérieurs combustibles dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible à condition qu'elles ne fassent pas plus de 25 mm d'épaisseur et qu'elles aient un indice de propagation de la flamme d'au plus 150 sur toute surface exposée ou sur toute surface qui serait exposée si le matériau était coupé. Certaines restrictions s'appliquent dans certains endroits comme les escaliers de sortie, les corridors qui ne sont pas compris dans un logement et certains halls. Voir la Division B du CBO, article 3.1.5.10. pour de plus amples informations.

Le bois traité et ignifugé peut être utilisé lorsque l'indice de propagation de la flamme est limité à 25 ou moins dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible. La seule limite imposée à l'utilisation du bois traité et ignifugé est que son épaisseur est limitée à 25 mm lorsqu'il est utilisé comme revêtement intérieur. Comme les exigences relatives à l'indice de propagation de la flamme des revêtements intérieurs dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible s'appliquent à la surface exposée ou à toute surface qui serait exposée en coupant le matériau dans une direction quelconque, les enduits ignifuges ne peuvent être utilisés. Comme le bois traité et ignifugé est imprégné sous pression, il n'est pas visé par cette exigence.

Planchers

Le revêtement de sol combustible et les couvre-planchers finis, comme les parquets en lames de bois franc, sont autorisés dans tout bâtiment incombustible, y compris dans les bâtiments de grande hauteur. De plus, les supports de bois comme les solives, les poutrelles en I et les poutrelles ajourées sont autorisés pour les couvre-planchers et les revêtement de sol combustibles à condition que les supports fassent de 50 à 375 mm de haut et soient appliqués directement sur une dalle de plancher incombustible. Bien sûr, les vides de construction créés avec ce type de construction doivent contenir des isolants incombustibles. Voir le CBO, Division B, article 3.1.5.8. pour de plus amples informations.

Outre le couvre-plancher, des escaliers en bois peuvent être installés à l'intérieur d'un logement dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible. Voir le CBO, Division B, article 3.1.5.9. pour de plus amples informations.

Cadres de fenêtre et boiseries

Les châssis et les cadres de fenêtre en bois sont autorisés dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible à condition que chaque fenêtre soit séparée des fenêtres adjacentes par une construction incombustible et que la limite (40 %) de la surface totale des ouvertures sur la face extérieure du compartiment coupe-feu soit respectée. Voir le CBO, Division B, article 3.1.5.4., pour de plus amples informations.

La menuiserie préfabriquée telle que les boiseries intérieures, les portes et les cadres de portes, les vitrines et les encadrements, les bords de fenêtres et les fonds de clouage, les mains rampes, les étagères, les armoires et les comptoirs est également autorisée dans les bâtiments dont la construction doit être incombustible. Comme ces éléments n'apportent qu'une contribution minimale au risque d'incendie, il n'est pas nécessaire de restreindre leur utilisation. Cependant, dans certains endroits, comme un escalier de sortie ou un corridor, la superficie des boiseries et de la menuiserie préfabriquée est limitée à 10 % de la superficie du mur ou du plafond sur lequel elles se trouvent. Cette restriction est liée à l'indice de propagation de la flamme du revêtement intérieur et au fait que les boiseries et la menuiserie préfabriquée ont un indice de propagation de la flamme supérieur à 25 à moins que du bois traité et ignifugé ne soit utilisé. Voir le CBO, Division B, article 3.1.5.7. pour de plus amples informations.

3.4.2. TRAITEMENT DES BÂTIMENTS DE GRANDE HAUTEUR PAR LE CODE DU BÂTIMENT DE L'ONTARIO

Le CBO comprend des dispositions particulières pour les bâtiments considérés comme étant grande hauteur (à la Division B du CBO, sous-section 3.2.6.). La sous-section comprend des dispositions visant à limiter le risque d'exposition à la fumée pour les occupants et les pompiers ainsi que des dispositions relatives aux ascenseurs, à la ventilation, au système d'alarme incendie et à la communication vocale. Un bâtiment est considéré comme un bâtiment de grande hauteur si le niveau du plancher du dernier étage est situé à plus de 36 m au-dessus du niveau du sol pour les groupes d'usage principal A, D, E ou F ou à plus de 18 m au-dessus du niveau du sol pour le groupe d'usage principal C. Par conséquent, un grand bâtiment d'habitation (C) sera sans doute considéré comme un bâtiment de grande hauteur tandis qu'un immeuble de bureaux peut être considéré comme un bâtiment de grande hauteur ou non selon que le niveau du dernier étage se trouve à plus de 36 m au-dessus du niveau du sol ou non ainsi qu'en fonction d'autres facteurs tels que la charge d'occupants et la largeur de sortie (voir la Division B du CBO, alinéa 3.2.6.1. (1)a).

L'une des principales préoccupations concernant le mouvement de la fumée dans les bâtiments de grande hauteur est liée à « l'effet de cheminée ». L'effet de cheminée est causé par la légèreté de l'air chaud par rapport à l'air frais et plus dense. Cette légèreté de l'air chaud à l'intérieur provoque, lorsqu'il fait plus frais à l'extérieur, une circulation d'air vers le haut dans les puits continus du bâtiment tels que les cages d'ascenseur et d'escaliers ou les vide-ordures, à peu près de la même façon que les gaz chauds montent dans une cheminée (voir la Figure 3.2). Cette différence de température de l'air à l'origine de l'effet de cheminée est maximale pendant les mois d'hiver, lorsque la différence entre la température de l'air chauffé dans le bâtiment et la température extérieure est maximale. La différence de pression est linéaire sur toute la hauteur du bâtiment, ce qui signifie qu'à mi-hauteur, la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur est nulle. Comparée à la pression extérieure, la pression intérieure est plus basse en bas du bâtiment et plus haute dans la moitié supérieure du bâtiment avec un maximum au dernier étage. La différence de pression dépend de la différence de température et de la hauteur du bâtiment. Cette différence de pression provoque des fuites d'air par toutes les ouvertures (l'air entre en bas et sort en haut), car aucun bâtiment n'est parfaitement étanche, ce qui génère un mouvement ascendant de l'air dans tous les puits continus du bâtiment.

Les solutions acceptables de la Division B du CBO pour les bâtiments de grande hauteur seront généralement appliquées aux bâtiments en bois de grande hauteur, au besoin, comme elles le sont pour une construction incombustible. Certains détails de la conception peuvent demander plus d'attention que dans le cas de la construction incombustible en général. Par exemple, alors que les cages d'escalier en bois massif seront probablement protégées par des panneaux de gypse à l'intérieur afin de respecter les exigences relatives à l'indice de propagation de la flamme qui ne doit pas être supérieur à 25, il peut être nécessaire d'accorder une attention particulière à la construction des cages en bois massif pour s'assurer que la fumée ne passe pas à côté ou au travers de l'assemblage du mur. Ceci est particulièrement important dans le cas des escaliers en ciseaux où le panneau du limon d'escalier sert de séparation coupe-feu. Voir la sous-section 3.7.2 de la présente ressource technique, Conception réalisée en fonction du compartimentage, pour une analyse plus approfondie de ce sujet.

3.5. PROCESSUS D'INGÉNIERIE DE LA SÉCURITÉ-INCENDIE

Les solutions de remplacement soumises peuvent se présenter sous plusieurs formes qui vont des simples compromis à des analyses complexes d'ingénierie de la sécurité-incendie. Il est probable que les solutions de remplacement pour les bâtiments en bois de grande hauteur se situeront parmi les plus complexes. Il est par conséquent recommandé aux ingénieurs en sécurité-incendie de suivre un processus d'ingénierie de la sécurité-incendie normalisé comme celui publié dans la norme internationale ISO 23932 « Ingénierie de la sécurité-incendie – Principes généraux » (ISO, 2009) ou dans les « International Fire Engineering Guidelines » (ABCB, 2005).

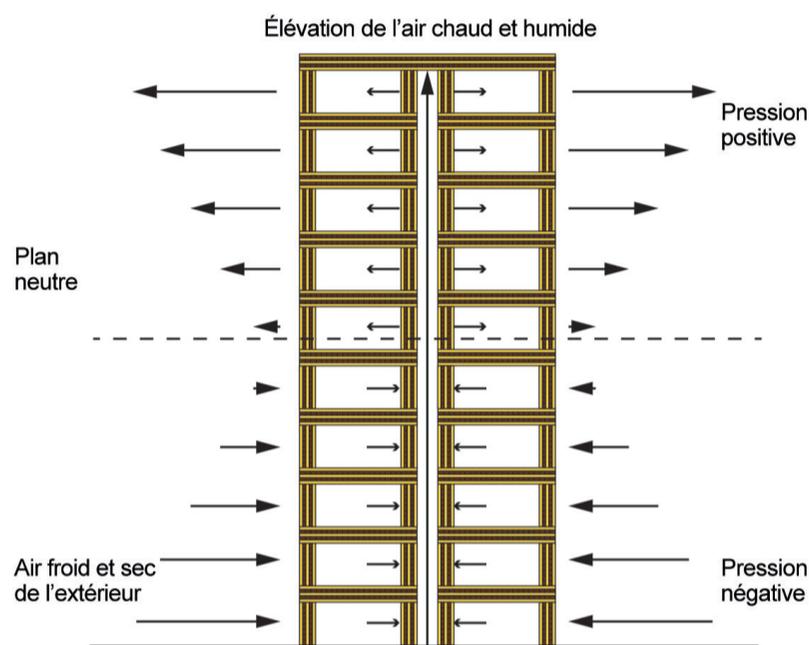


Figure 3.2 – Illustration de l'effet de cheminée dans un bâtiment de grande hauteur pendant les mois d'hiver [D'après la Figure 6 du Chapitre 5 du Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada de FPInnovations].

L'organigramme de la Figure 3.3 illustre le processus d'ingénierie de la sécurité-incendie présenté dans la norme ISO 23932. Comme l'analyse consiste à comparer deux conceptions (la solution de remplacement et la solution acceptable), l'analyse générale peut, dans de nombreux cas, être simplifiée en fonction des similitudes présentes dans les solutions comparées. Par exemple, si la seule différence entre deux conceptions de bâtiment est que l'une des solutions (la solution de remplacement) prévoit une structure combustible protégée par plusieurs panneaux de gypse au lieu d'une structure incombustible, il n'y aura probablement pas de différence de risque d'inflammation, le cas échéant, de développement de l'incendie, ou de la réaction des

occupants et du temps d'évacuation du bâtiment puisque la structure combustible ne devrait être touchée que tardivement, voire pas du tout, au cours de l'incendie. Ces similitudes entre les conceptions peuvent simplifier considérablement le processus consistant à déterminer si la solution de remplacement fournit un niveau de performance identique ou meilleur que celui de la solution acceptable.

Chaque étape du processus d'ingénierie de la sécurité-incendie décrite dans la norme ISO 23932 est décrite dans les sections suivantes.

3.5.1. PORTÉE DU PROJET CONCERNANT LA SÉCURITÉ-INCENDIE

Le processus d'ingénierie de la sécurité-incendie décrit à la Figure 3.3 devrait commencer à la première étape d'un projet. Cela permet d'intégrer la conception de la sécurité-incendie à toutes les autres disciplines d'ingénierie, sachant que les décisions prises au début du projet concernant les conceptions des enveloppes structurale, acoustique et thermique peuvent avoir une incidence importante sur la sécurité-incendie du bâtiment. À cette étape du processus, l'approche générale de la sécurité-incendie et la solution de remplacement qui permettrait d'utiliser du bois massif pour un bâtiment en bois de grande hauteur devraient faire l'objet de discussions avec l'équipe de conception. Il est également fortement recommandé qu'à cette étape, l'équipe de conception rencontre le chef du service du bâtiment et le service des incendies pour pouvoir discuter de la solution de remplacement proposée et déterminer les

préoccupations particulières que le chef du service du bâtiment et le service des incendies pourraient avoir. Cette rencontre pourra permettre de déterminer si le chef du service du bâtiment souhaite faire examiner la solution de remplacement par un tiers comme on le décrit à la Section 3.3 de la présente ressource technique.

3.5.2. DÉTERMINATION DES OBJECTIFS DE SÉCURITÉ-INCENDIE, DES EXIGENCES FONCTIONNELLES ET DES CRITÈRES DE PERFORMANCE

Le CBO décrit explicitement les objectifs et les énoncés fonctionnels associés à la solution acceptable qui requiert une construction incombustible. Par conséquent, les objectifs et les énoncés fonctionnels dont il faut tenir compte dans l'élaboration d'une solution de remplacement sont relativement clairs.

Cependant, lors des discussions avec le chef du service du bâtiment et les promoteurs/propriétaires du bâtiment, d'autres objectifs ou critères de performance dont il faut tenir compte peuvent être identifiés.

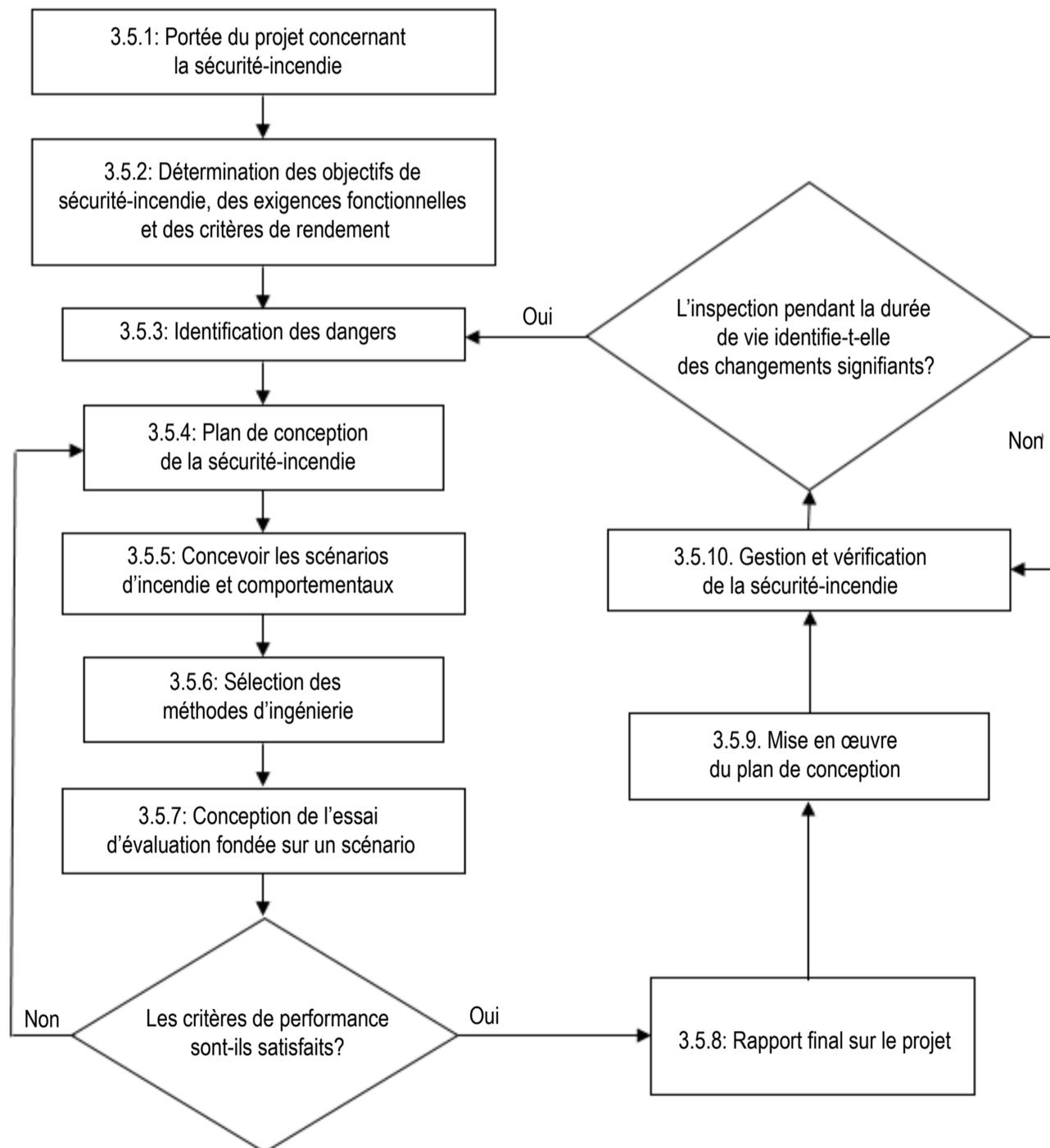


Figure 3.3 – Organigramme qui illustre le processus d'ingénierie de la sécurité-incendie présenté dans la norme ISO 23932 (ISO, 2009).

Tel que décrit précédemment, le critère de performance utilisé pour évaluer une solution de remplacement est la performance prévue avec la solution acceptable qui, pour un bâtiment en bois de grande hauteur, serait un bâtiment conforme au code et semblable à une construction incombustible conçu selon la Division B du Code.

3.5.3. IDENTIFICATION DU DANGER

Pour de nombreux projets, l'identification du danger peut être fondée sur des statistiques des usages les plus susceptibles d'être présents dans un bâtiment en bois de grande hauteur, comme l'usage d'habitation ou commercial et les services personnels. Dans de nombreux cas, les dangers seront les mêmes dans les deux bâtiments comparés (solution de remplacement et solution acceptable). Toutefois, la solution de remplacement pourrait apporter des dangers supplémentaires, comme par exemple remplacement la présence d'éléments combustibles supplémentaires à l'extérieur d'un bâtiment en bois de grande hauteur, présence non autorisée à l'heure actuelle dans les bâtiments dont la construction doit être incombustible. Dans ce cas, le danger supplémentaire doit être étudié.

L'information sur les dangers dans les bâtiments de grande hauteur et les bâtiments à usage résidentiel ou commercial ou exploités pour les services personnels se trouve dans les statistiques recueillies par la National Fire Protection Association (Ahrens, 2016) (Campbell, 2013).

Dépendamment de la solution de remplacement proposée, il peut ne pas y avoir de différence importante entre les dangers du bâtiment de la solution de remplacement et ceux du bâtiment de la solution acceptable d'une construction incombustible pour les mêmes usages (p. ex., usage résidentiel ou bureaux).

3.5.4. PLANIFICATION DE LA SÉCURITÉ-INCENDIE

Le plan de conception de la sécurité-incendie comprend la stratégie générale de conception de la sécurité-incendie et les éléments de conception qui constituent la solution de remplacement proposée et qui doivent être comparés à la solution acceptable. Par exemple, le plan de conception peut comprendre des caractéristiques d'atténuation telles que l'encapsulation de la construction en bois massif visant à l'empêcher de contribuer au développement de l'incendie et à son intensité pendant un certain temps ou l'augmentation de la fiabilité du système de gicleurs automatiques visant à compenser tout risque supplémentaire associé à une structure combustible.

3.5.5. INCENDIES DE DIMENSIONNEMENT ET SCÉNARIOS DE COMPORTEMENT

Des scénarios d'incendie de dimensionnement et des feux de dimensionnement doivent être réalisés. Les scénarios d'incendie de dimensionnement décrivent de façon qualitative les types d'incendie à prendre en compte en se fondant sur les dangers déterminés à la Section 3.5.3 de la présente ressource technique. Les scénarios d'incendie de dimensionnement de la solution de remplacement peuvent différer ou non de ceux de la solution acceptable. Si les dangers principaux sont jugés identiques, les scénarios d'incendie à prendre en compte seront également les mêmes pour les deux solutions. Pour chaque scénario d'incendie de dimensionnement, un feu de dimensionnement doit être produit. Généralement, l'incendie de dimensionnement est exprimé en termes des taux de dégagement de chaleur. Bien que les scénarios d'incendie de dimensionnement soient habituellement les mêmes pour les solutions acceptable et de remplacement, les incendies de dimensionnement peuvent être différents selon le niveau de protection de la structure combustible ou l'effet des mesures d'atténuation incluses dans la solution de remplacement. La comparaison peut être qualitative ou quantitative et est abordée plus en détail à la Section 3.8 de la présente ressource technique.

3.5.6. CHOIX DES MÉTHODES D'INGÉNIERIE

Le choix des méthodes d'ingénierie dépend de nombreux facteurs, incluant la complexité générale de la comparaison entre les deux solutions. Les simples compromis requièrent une analyse moins poussée que les écarts importants avec la solution acceptable qui, eux peuvent nécessiter des solutions complexes pour assurer la sécurité-incendie. Les méthodes d'ingénierie utilisées peuvent aller de la simple modélisation déterministe d'un feu simple qui prédit la résistance au feu aux méthodes complètes d'évaluation du risque d'incendie servant à évaluer le risque global pour la vie et les biens matériels.

3.5.7. CONCEPTION DE L'ESSAI D'ÉVALUATION FONDÉE SUR UN SCÉNARIO

La conception de la sécurité-incendie est évaluée pour les différents scénarios d'incendie de dimensionnement décrits à la Section 3.5.5 de la présente ressource technique. Par exemple, un scénario d'incendie de dimensionnement peut consister en un incendie qui se déclare dans un appartement et que le système de gicleurs automatiques n'éteigne pas. Dans ce cas, le résultat (ou la conséquence) peut être prédit en utilisant les méthodes d'ingénierie (modèles feu) décrites à la Section 3.5.6 de la présente ressource technique. Une probabilité peut ensuite être affectée à ce résultat en fonction de la probabilité que le système de gicleurs automatiques n'éteigne pas l'incendie. Le produit de la probabilité d'un scénario par ses conséquences est le risque associé à ce scénario. Les risques associés au feu pour la solution de remplacement peuvent être comparés aux risques associés au feu pour la solution acceptable en fonction des scénarios d'incendie de dimensionnement. Si cela s'avère nécessaire, des caractéristiques nominales supplémentaires peuvent être requises pour harmoniser les risques associés à la solution de remplacement proposée avec ceux de la solution acceptable.

Plutôt que de comparer les risques associés à la solution de remplacement et de la solution acceptable, scénario par scénario, il est possible d'entreprendre une évaluation complète des risques qui analyse les risques combinés de tous les scénarios d'incendie de dimensionnement. Ce type d'analyse exhaustive peut être nécessaire pour les solutions de remplacement qui diffèrent considérablement des solutions acceptables.

3.5.8. RAPPORT FINAL DU PROJET

Compte tenu du travail effectué en vertu des Sections 3.5.1 à 3.5.7 de la présente ressource technique, et en supposant que l'évaluation technique démontre que la solution de remplacement fonctionne aussi bien ou mieux que la solution acceptable, les résultats doivent être documentés aux fins de leur examen par le chef du service du bâtiment et tout examinateur tiers. C'est à ce moment que le chef du service du bâtiment doit déterminer si la solution de remplacement atteint la performance exigée par les solutions acceptables applicables en regard de l'objectif et de l'énoncé fonctionnel du CBO.

3.5.9. MISE EN ŒUVRE DU PLAN DE CONCEPTION

Une fois approuvée, la solution de remplacement doit être mise en œuvre. Dans de nombreux cas, l'ingénieur en sécurité-incendie doit travailler avec les autres professionnels du processus de conception tels que l'ingénieur en structures, le concepteur des gicleurs automatiques, le concepteur de l'alarme incendie et l'architecte pour mettre en œuvre le plan de conception et faire en sorte que les spécificités de la solution de remplacement soient mises en œuvre correctement. Les visites sur place pendant la construction sont également un aspect important du travail pour s'assurer que les spécificités de la solution de remplacement sont construites telles qu'elles ont été conçues.

3.5.10. GESTION ET VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ-INCENDIE

Une fois le bâtiment construit, toutes les exigences particulières en matière d'entretien ou d'inspection doivent être documentées dans le plan de sécurité-incendie du bâtiment.

3.6. CARACTÉRISTIQUES NOMINALES TYPIQUES DE LA PROTECTION CONTRE L'INCENDIE : PROTECTION ACTIVE CONTRE L'INCENDIE

Les caractéristiques de protection contre l'incendie suivies dans la conception des bâtiments peuvent être divisées en deux catégories : la protection active contre l'incendie et la protection passive contre l'incendie passive.

Les systèmes actifs de protection contre l'incendie sont ceux qui sont activés en cas d'incendie soit manuellement ou par détection de la fumée ou d'une augmentation de la température. Parmi les exemples de protection active contre l'incendie, mentionnons les systèmes d'alarme incendie, les systèmes de gicleurs automatiques ou les systèmes de gestion de la fumée. La Section 3.7 de la présente ressource technique traite de la protection passive contre l'incendie.

3.6.1. SYSTÈMES DE GICLEURS AUTOMATIQUES

Le CBO exige que tous les bâtiments de plus de six étages soient protégés par des gicleurs automatiques conformément à la norme 13 de la NFPA, « Standard for the Installation of Sprinkler Systems » (NFPA, 2013). Les systèmes de gicleurs automatiques sont de loin le moyen le plus efficace pour réduire les risques pour la vie et les biens matériels associés au feu dans les bâtiments, comme le démontre une étude réalisée par l'Université Carleton (Zhang *et coll.*, 2015). Comme les systèmes de gicleurs automatiques renforcent considérablement, il importe d'en comprendre le degré de fiabilité et de chercher des moyens de l'accroître quand ils sont utilisés comme possibilité d'atténuation des risques dans les solutions de remplacement pour les bâtiments en bois massif de grande hauteur.

Un certain nombre d'études ont été réalisées au fil des années sur la fiabilité des systèmes de gicleurs automatiques. L'un des tout derniers rapports publiés par la NFPA portait sur la période de 2007 à 2011 (Hall, 2013). Cette étude a déterminé que, pour tous les usages d'habitation, les systèmes de gicleurs automatiques étaient efficaces 92 % du temps. Près des deux tiers des cas de défaillance vient du mise sur arrêt du système de gicleurs.

Un examen exhaustif des études sur l'efficacité des systèmes de gicleurs automatiques réalisé par des chercheurs néo-zélandais a permis de trouver quinze études rapportant que l'efficacité des systèmes de gicleurs automatiques se situait entre 70 et 99,5 % (Frank *et coll.*, 2013). Il est évidemment nécessaire d'examiner chaque étude et de regarder sur quels types de bâtiment, quels usages et quelle échelle temporelle portait l'étude avant de s'appuyer sur ses résultats. L'examen portait également sur les différentes causes de défaillance des ainsi que sur la fréquence, ce qui est utile pour concevoir un système plus fiable.

Dans une étude canadienne publiée par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) en 1985, il était estimé que la fiabilité des gicleurs automatiques était supérieure à 96 %. L'étude fournissait aussi des recommandations sur la façon dont la fiabilité pourrait être améliorée (utiliser des systèmes sous surveillance électrique par exemple) (Richardson, 1985).

Des améliorations importantes ont été apportées aux systèmes de gicleurs automatiques au fil des années et, par conséquent, les études menées sur les incendies dans les bâtiments dans les années 60 peuvent

ne pas être parfaitement représentatives de la performance du système pour les bâtiments construits de nos jours. Par exemple, les systèmes de gicleurs automatiques sous surveillance électrique mentionnés ci-dessus sont devenus obligatoires dans l'édition de 1986 du CBO et dans l'édition de 1995 du Code national du bâtiment modèle. Par conséquent, les bâtiments construits après l'adoption du CBO de 1986 sont probablement plus fiables. Cependant, leur incidence sur les statistiques sur les pertes directement imputables aux incendies pourrait être limitée pendant quelques temps. En effet le nombre d'incendies dans les bâtiments nouvellement construits ne devrait pas représenter une proportion importante des bâtiments qui ont subi un incendie. Les incendies dans les bâtiments nouvellement construits sont par conséquent sous-représentés dans les statistiques sur les pertes directement imputables aux incendies disponibles à l'heure actuelle, statistiques dominées par les incendies dans les bâtiments construits selon des codes antérieurs.

Dans une autre étude sur la fiabilité des systèmes de gicleurs automatiques dans les bâtiments de grande hauteur australiens, la probabilité de défaillance des systèmes a été estimée entre 3 et 14 % (Moinuddin *et coll.*, 2008). La principale cause de défaillance des systèmes d'extincteurs automatiques indiquée ci-dessus (la fermeture du système) étant reconnue, l'article recommande d'installer des vannes d'isolement de zone à chaque étage, ce qui pourrait réduire la probabilité d'une défaillance de 13 à 62 %.

Compte tenu des avantages importants des systèmes de gicleurs automatiques pour la sécurité-incendie de tout bâtiment, les mesures visant à en accroître la fiabilité et/ou l'efficacité peuvent servir à compenser partiellement ou totalement les risques supplémentaires associés à l'utilisation d'éléments structuraux combustibles par rapport à l'utilisation des éléments structuraux incombustibles dans les bâtiments de grande hauteur.

3.6.2. SYSTÈMES D'ALARME INCENDIE AUTOMATIQUES

Les systèmes d'alarme incendie jouent un rôle clé dans la sécurité-incendie des bâtiments de grande hauteur en avisant les occupants de la nécessité d'évacuer en cas d'incendie et en avisant le service des incendies. Comme nous le décrivons ci-dessus dans les considérations relatives à la conception des systèmes de gicleurs automatiques, la prise en compte de la fiabilité et de l'efficacité des systèmes d'alarme et les caractéristiques qui peuvent être ajoutées pour améliorer la performance du système peuvent être considérées comme bénéfiques pour réduire les risques en cas d'incendie.

Dans les bâtiments dont le dernier étage se trouve à plus de 36 m au-dessus du niveau du sol, un système de communication vocale sera nécessaire et il pourrait y avoir des possibilités similaires d'amélioration. De même, l'installation d'un tel système dans les bâtiments de moins de 36 m dans le cadre des mesures d'atténuation du bâtiment pourrait être avantageuse.

3.7. CARACTÉRISTIQUES NOMINALES TYPIQUES DE LA PROTECTION CONTRE L'INCENDIE : PROTECTION PASSIVE CONTRE L'INCENDIE

L'autre forme de caractéristiques de protection contre l'incendie généralement utilisées dans la conception d'un bâtiment est la protection passive contre l'incendie. Les systèmes de protection passive contre l'incendie comprennent des caractéristiques qui font partie intégrante du bâtiment en assurant le compartimentage afin d'empêcher la propagation du feu et sont toujours présentes pour accomplir leur fonction. La présente section comprend une analyse de la protection passive contre l'incendie, y compris la résistance à l'incendie de structure, les séparations coupe-feu, les éléments coupe-feu dans les séparations coupe-feu et le traitement des vides de construction.

La réglementation sur la construction exige que les principaux éléments fonctionnels de construction

présentent une résistance au feu suffisante pour donner aux occupants le temps d'évacuer, aux pompiers le temps de mener des opérations de recherche, de sauvetage et des activités d'extinction de l'incendie ainsi que pour réduire au minimum les pertes matérielles. Le but consiste à cloisonner la structure afin de limiter la propagation du feu et de la fumée et de faire en sorte que la structure soit adéquate pour prévenir ou retarder l'effondrement.

Au cours des premiers stades d'un incendie ou lorsque le système de gicleurs automatiques s'active et éteint l'incendie, la résistance au feu du compartimentage a peu d'importance. Cependant, la résistance au feu devient de plus en plus importante si le feu se développe et est sur le point de toucher toute la pièce, un phénomène connu également sous le nom d'embrasement éclair. Concernant la sécurité des personnes, la résistance au feu est essentielle dans les bâtiments de grande hauteur où un incendie pourrait atteindre de grandes proportions avant que tous les occupants ne puissent évacuer.

3.7.1. CONCEVOIR POUR ASSURER LA RÉSISTANCE AU FEU DE LA STRUCTURE

Les éléments en bois massif tels que les bois massifs sciés, le bois lamellé-collé (lamellé-collé), le bois lamellé-croisé (CLT) et le bois de charpente composite (SCL) peuvent assurer une excellente résistance au feu, ceci en raison de la nature inhérente des éléments en bois massif qui se carbonisent lentement lorsqu'ils sont exposés au feu, ce qui permet à la construction en bois massif de conserver longtemps une résistance structurale importante lorsqu'elle est exposée au feu.

Pour les bâtiments de sept étages ou plus, la Division B du CBO (Solutions acceptables) exige que les planchers soient des séparations coupe-feu ayant un degré de résistance au feu d'au moins deux heures. Les murs porteurs, les colonnes et les poutres qui soutiennent les éléments de plancher doivent également avoir un degré de résistance au feu de deux heures. Par conséquent, dans une solution de remplacement pour les bâtiments en bois de grande hauteur, la structure en bois massif devra probablement avoir un degré de résistance au feu d'au moins deux heures. La résistance au feu n'est qu'un des aspects de la stratégie de conception anti-feu visant à réduire les risques pour la vie des occupants et des pompiers et le risque de pertes matérielles.

La sous-section 3.1.7. du CBO précise que le degré de résistance au feu d'un assemblage ou d'un élément de charpente doit être déterminé en appliquant la méthode d'essai normalisée de la norme CAN/ULC-S101, « Essais de réaction au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction ». L'essai standard fournit une mesure relative de la résistance au feu d'un élément fonctionnel. Bien que les résultats de l'essai soient présentés sous forme de degré de résistance au feu pour un temps donné (p. ex., 45 minutes, une heure, deux heures), ce degré n'indique pas que l'élément fonctionnel résistera aussi longtemps dans un véritable incendie. Dans un véritable incendie, le temps qui s'écoule avant la défaillance de l'élément fonctionnel peut être supérieur ou inférieur au temps mesuré lors de l'essai standard, car l'exposition au feu sera sans aucun doute différente.

La norme de l'essai exige qu'un assemblage de mur ou de plancher ou un élément de charpente unique tel qu'une colonne ou une poutre soit exposé à un feu intense dans lequel la température des gaz de combustion augmente avec le temps en suivant une courbe température-temps particulière. En ce qui concerne les systèmes combustibles, la norme d'essai exige également que l'élément de charpente ou l'élément fonctionnel soit soumis à une charge s'il doit être utilisé comme élément porteur (tous les systèmes porteurs non combustibles ne doivent pas être mis à l'essai en charge). L'essai de résistance au feu est conçu pour évaluer un élément fonctionnel en tant que système plutôt que sous forme d'éléments indépendants.

Les critères d'essai et d'acceptation de cette méthode d'essai dépendent du type d'élément fonctionnel et/ou d'élément de charpente. Le degré de résistance au feu attribué à un élément fonctionnel ou à un élément de charpente est la durée pendant laquelle il peut supporter l'exposition au feu normalisé et qui est définie par une relation entre la température et le temps tout en continuant à satisfaire aux critères suivants :

- L'élément de plancher, l'assemblage de mur porteur, la poutre ou la colonne mise à l'essai doit supporter la charge appliquée pendant toute la durée de l'essai;
- L'assemblage doit empêcher le passage d'une flamme ou de gaz assez chauds pour enflammer des rebuts de coton;
- L'assemblage doit empêcher la température moyenne mesurée sur la surface non exposée de l'assemblage de mur ou de plancher de dépasser de 140 °C sa température initiale et empêcher la température d'augmenter de plus de 180 °C en un point quelconque de la surface non exposée;
- Pour les murs qui doivent avoir un degré de résistance au feu d'une heure ou plus, l'assemblage doit empêcher le passage d'un jet de lance d'incendie à travers l'assemblage.

Le premier critère a pour but de limiter la probabilité d'un effondrement structural lors de l'évacuation des occupants ou des opérations de lutte contre l'incendie. Les deuxième et troisième critères ont pour but de limiter la propagation du feu de son compartiment d'origine à un compartiment adjacent et sont appliqués aux assemblages de mur et de plancher. Le quatrième critère a pour but d'assurer une résistance minimale aux effets de refroidissement et d'érosion d'un jet de lance qui pourrait être dirigé vers le mur pendant la lutte contre l'incendie. Pour l'essai du jet de lance, un élément est d'abord mis à l'essai pour déterminer son degré de résistance au feu, puis un élément identique est mis à l'essai pendant la moitié du temps du degré de résistance au feu, jusqu'à concurrence d'une heure avant d'être exposé à un jet de lance.

L'ingénieur en sécurité-incendie qui conçoit des bâtiments en bois de grande hauteur pourra utiliser trois sources principales d'information pour assurer leur résistance au feu. La première option consiste à établir la conception en fonction d'un essai standard de résistance au feu effectué sur une réplique de la poutre, de la colonne ou de l'assemblage de mur ou de plancher à évaluer. La deuxième option consiste à utiliser les méthodes disponibles dans la norme supplémentaire SB-2 du MAML intitulée « Fire Performance Ratings » (Cotes de comportement à l'incendie) et qui comprend des critères pour les murs et les planchers en bois massif jusqu'à 1,5 heure (norme SB-2, Section 2.4.) et les équations de T.T. Lie pour les poutres en lamellé-collé en flexion ou les colonnes en compression (norme SB-2, Section 2.11.) La troisième option, qui n'est pas mentionnée dans la Partie 3 de la Division B du CBO mais qui est normalisée dans la norme canadienne sur la conception de bois, la norme CSA O86 – Annexe B (CSA, 2016), prévoit le calcul des degrés de résistance au feu de plusieurs types de poutre et de colonne en bois et d'assemblages de mur et de plancher en CLT. Les trois méthodes sont présentées plus en détail ci-dessous.

Essai standard de résistance au feu

Comme il a été mentionné précédemment, soumettre une réplique d'un élément à un essai effectué selon la méthode d'essai normalisée, CAN/ULC-S101, est une méthode qui permet de démontrer qu'un élément précis a un degré de résistance au feu donné. L'industrie canadienne du bois et les fabricants de CLT ont effectué un certain nombre d'essais (Osborne *et coll.*, 2012) (Craft et Van Zeeland, 2017) au cours de la dernière décennie. Une photo d'un essai de résistance au feu réalisé sur un élément de plancher en CLT est présentée à la figure 3.4. Si un concepteur choisit d'utiliser l'un des éléments mis à l'essai, comme un élément de plancher en CLT, le rapport d'essai de résistance au feu peut être utilisé pour démontrer le degré de résistance au feu de cet élément de plancher. Cependant, si des modifications de l'élément sont nécessaires, par exemple pour satisfaire aux exigences acoustiques, il peut être difficile d'utiliser simplement le rapport d'essai de résistance au feu. Une appréciation de spécialiste serait nécessaire pour déterminer si les écarts auraient un effet défavorable sur le degré de résistance au feu de l'élément.

Il est rare que des essais de résistance au feu puissent être réalisés pour un projet en particulier en raison de leurs coûts élevés, d'autant plus qu'un même projet peut comporter de nombreux éléments qui devraient être soumis à des essais (p. ex., assemblages de mur et de plancher, poutres, colonnes, etc.) Pour cette raison, à moins qu'un fabricant ne souhaite mettre à l'essai un système qu'il peut utiliser dans de nombreux projets, il n'est probablement pas rentable d'effectuer des essais de résistance au feu pour chaque projet.

Norme supplémentaire SB-2 du ministère des Affaires municipales et du Logement (MAML)

Tel que mentionné précédemment, la norme supplémentaire SB-2 du CBO comporte deux sections qui fournissent un moyen de déterminer ou d'attribuer un degré de résistance au feu aux murs et aux planchers en bois massif ou de calculer le degré de résistance au feu des poutres et des colonnes en bois lamellé-collé.

La Section 2.4. de la norme supplémentaire SB-2 du CBO fournit des épaisseurs minimales des murs, des planchers et des toitures en bois massif pour des degrés de résistance au feu allant de 30 à 90 minutes. Ces degrés de résistance au feu fournis ne rendent pas compte de scénarios où la charge appliquée serait inférieure à la pleine charge nominale. Cette méthode a tendance à donner des estimations très prudentes lorsqu'elle est utilisée pour des produits de bois d'ingénierie tels que les panneaux de toit en bois lamellé-collé, les panneaux de bois lamellé-croisé ou le bois de placage lamellé-croisé, ceci parce que les nouveaux produits de bois d'ingénierie sont transformés en panneaux et ont, par conséquent, moins joints. Les détails de ces joints entre de grands panneaux peuvent être adaptés pour assurer une meilleure résistance au feu que celle qui est obtenue en clouant des pièces de bois dimensionné (c'est-à-dire 2 x 4 s ou 2 x 6 s), ce qui est la base des assemblages en bois massif dans la norme SB-2.

Une augmentation de 15 minutes du degré de résistance au feu est également autorisée par la Section 2.4. de la norme SB-2 lorsque les éléments en bois massif décrits sont recouverts d'un panneau de gypse de 12,7 mm d'épaisseur.

Dans tous les cas, les degrés de résistance au feu qui peuvent être obtenus en utilisant cette méthode ne sont pas suffisants pour assurer le degré de résistance au feu de deux heures probablement exigé pour un bâtiment en bois de grande hauteur. La méthode pourrait être utilisée pour obtenir le degré de résistance au feu d'une séparation coupe-feu non porteuse, par exemple entre des logements où un degré de résistance au feu d'une heure peut être exigé.

La Section 2.11. de la norme supplémentaire SB-2 du CBO décrit une méthode de calcul du degré de résistance au feu des éléments de charpente en bois lamellé-collé fondée sur des recherches effectuées dans les années 70 par T.T. Lie au Conseil national de recherches du Canada (Lie, 1977). Lie a obtenu une série d'équations en utilisant une vitesse de carbonisation moyen de 0,6 mm/minute et un facteur k de 0,33 qui représente le rapport de la résistance nominale sur la résistance à la rupture (pour un facteur de sécurité de 3). Il a ensuite appliqué une réduction de 20 % à la résistance et à la rigidité transversales restantes.

Les équations ainsi obtenues permettent de calculer directement la résistance au feu des poutres et des colonnes en bois lamellé-



Figure 3.4 – Photo prise à la fin d'un essai de résistance au feu effectué sur un élément de plancher en bois lamellé-croisé de trois plis et protégé par du panneau de gypse.

collé en fonction des dimensions des éléments de charpente et du coefficient de charge (rapport de contrainte). Cependant, cette méthode ne permet pas de tenir compte des considérations de conception telles que l'excentricité des colonnes ou l'action combinée des poutres et des planchers. La méthode décrite ensuite dans la norme CSA O86 permet une conception plus complète et exacte de la structure pour assurer la résistance au feu.

CSA O86-14 (2016) – Mise à jour 1, Annexe B

Dans l'édition 2014 de la norme CSA O86 (CSA, 2014), une nouvelle annexe informative intitulée « Annexe B – Résistance au feu des éléments en bois de grande dimension » a été ajoutée. Cette annexe a été ajoutée à la norme sur la conception de bois pour l'harmoniser avec les normes de conception de bois utilisées dans le monde entier, y compris aux États-Unis (NDS, 2015), en Europe (CEN, 2004), en Nouvelle-Zélande, en Australie, en Chine et au Japon. La méthode de conception incorporée dans l'Annexe B est la même que celle utilisée dans les pays et sur les continents énumérés ci-dessus, à savoir la méthode de la section transversale efficace. Il est prévu que cette méthode sera celle qui sera utilisée habituellement pour réaliser la conception de la résistance structurale au feu des bâtiments en bois de grande hauteur en Ontario.

La méthode de la section transversale efficace permet de tenir compte de la réduction de la section transversale de l'élément en bois sous l'effet de l'exposition au feu, tout en tirant parti du fait que la résistance et la rigidité de la section intérieure relativement froide varient peu. Une vitesse de carbonisation linéaire efficace combinée à une couche de résistance nulle, qui représente la perte de résistance du bois chauffé au-delà du front de carbonisation, est utilisée pour calculer la section transversale efficace. Le matériau proche de la ligne de carbonisation subira une augmentation de la température, ce qui changera ces propriétés. Par conséquent, la résistance d'une partie de la zone chauffée est considérée comme nulle tandis que la résistance de l'élément de charpente de la section transversale restante sera déterminée en utilisant la résistance et la rigidité moyennes. L'illustration de la Figure 3.5 montre comment la section transversale est séparée en différentes zones. Le moment où la résistance de l'élément de charpente devient égale à la charge appliquée, dans le cas d'un essai de résistance au feu, ou à la charge spécifiée dans le cas d'une conception, est le moment où le degré de résistance au feu de l'élément de charpente a été atteint.

Le calcul de la résistance au feu des éléments en bois massif peut être relativement simple en raison de la vitesse de carbonisation essentiellement constant observé lorsque l'élément en bois est soumis à l'exposition au feu standard. Cette vitesse de carbonisation relativement constante est observée même si la température du four utilisé pour l'essai augmente constamment. La raison en est que la couche de carbonisation gagne lentement en épaisseur à mesure que le bois se carbonise et isole ainsi la section transversale restante du bois en raison de sa faible densité et de sa faible conductivité thermique. Il est présumé que le bois carbonisé n'a plus ni résistance ni rigidité. Par conséquent, la section transversale restante doit pouvoir supporter la charge.

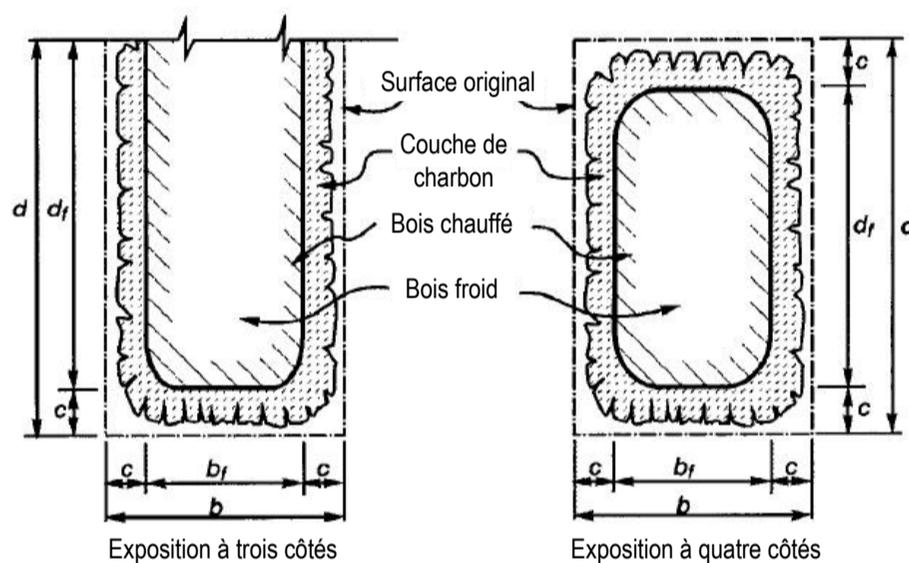
Comme la méthode de conception contenue dans l'Annexe B de la norme CSA O86 n'est pas mentionnée dans la Partie 3 de la Division B du CBO de 2012, une solution de remplacement pourrait être nécessaire pour obtenir l'acceptation de la méthode. En ce qui concerne l'utilisation de l'Annexe B pour le calcul de la résistance au feu du CLT, la justification de l'utilisation de la méthode se trouve dans l'article de Craft et Van Zeeland qui compare la résistance au feu calculée selon la norme à douze essais de résistance au feu à grande échelle réalisés sur des assemblages de mur et de plancher en CLT (Craft et Van Zeeland, 2017).

Portée de l'Annexe B de la norme CSA O86

La méthode prescrite à l'Annexe B est simplement un moyen de prédire le résultat de l'évaluation du degré

de résistance au feu d'un élément ou d'un assemblage en bois massif soumis à des essais conformément à la norme CAN/ULC-S101. Puisque la norme CSA O86 est une norme structurale, la portée de l'Annexe B est limitée à la détermination de la résistance au feu des éléments structuraux. Par conséquent, si un ingénieur conçoit un assemblage de plancher ou de mur, il doit utiliser d'autres moyens pour s'assurer que l'assemblage répond aux critères de compartimentage de la résistance au feu, tels que les critères d'intégrité et de défaillance de l'isolant précisés dans la norme sur les essais de résistance au feu, comme nous le décrivons dans la prochaine section. Comme le code du bâtiment le reconnaît, les éléments de charpente en bois de grande dimension présentent un degré de résistance au feu inhérent. Afin de s'assurer que les éléments de charpente pour lesquels l'Annexe B est utilisée pour calculer la résistance au feu possèdent ces propriétés inhérentes de résistance au feu, des tailles minimales sont généralement attribuées aux éléments de charpente.

Puisque les essais conformes à la norme CAN/ULC-S101 sont réalisés sous une charge censée représenter la charge que doit supporter cet élément ou cet assemblage, la même approche est utilisée à l'Annexe B. Les charges précisées (c.-à-d. D + L) sont utilisées pour comparer la résistance structurale de l'élément après une période donnée d'exposition au feu afin de déterminer si la résistance structurale



est supérieure à ce moment aux charges imposées à l'élément ou à l'assemblage structural.

Un certain nombre de produits de bois d'ingénierie sont inclus dans le champ d'application de l'Annexe B, notamment le bois massif scié, le bois lamellé-collé (lamellé-collé), le bois de charpente composite et, plus récemment dans la mise à jour de 2016, le bois lamellé-croisé (CLT).

Figure 3.5 – Illustration d'une poutre ou d'une colonne en bois exposée au feu. La couche de carbonisation, la couche de bois chauffé et la section intérieure fraîche y sont indiquées (Buchanan, 2001).

Vitesses de carbonisation dans la norme CSA O86, Annexe B

Les vitesses de carbonisation pour les différents produits auxquels s'applique l'Annexe B lorsqu'ils sont mis à l'essai conformément à la norme CAN/ULC-S101 sont indiquées dans le Tableau 3.4. La vitesse de carbonisation unidimensionnelle, β_o , pour l'exposition au feu standard représente la vitesse attendue pour les pièces de bois thermiquement épaisses. β_n est la vitesse de carbonisation théorique (efficace) qui est une valeur majorée pour compenser la perte de section transversale aux coins, l'ouverture des fissures et, dans le cas du CLT, la chute des couches carbonisées.

Les vitesses de carbonisation pour

Produit	β_o mm/min	β_n mm/min
Platelage en bois et en planches	0.65	0.8
Bois lamellé-collé	0.65	0.7
Bois de charpente composite	0.65	0.7
Bois lamellé-croisé	0.65	0.8

Table 3.4 – Vitesse de carbonisation nominales des produits en bois, tels qu'indiquées à l'Annexe B de la norme CSA O86 (CSA, 2016).

Il n'est pas surprenant que les vitesses de carbonisation soient relativement semblables pour tous les produits en bois puisque la chimie et le transfert de chaleur sous-jacents dans les différents produits en bois sont semblables. De plus, les normes de produit respectives des produits de bois d'ingénierie énumérés ci-dessus comportent toutes des exigences concernant la durabilité thermique des adhésifs.

Protection par du panneau de gypse

La résistance au feu des éléments en bois massif peut être augmentée en protégeant le bois avec du panneau de gypse. La contribution au degré de résistance au feu standard de la protection par du panneau de gypse peut être prise en compte en ajoutant une durée fixe au degré de résistance au feu calculé de l'élément de charpente en bois exposé. Les durées indiquées dans le Tableau 3.5 ci-dessous proviennent des recherches réalisées par White (White, 2009) au Forest Products Laboratory américain et fondées sur les essais réalisés sur le CLT par FPInnovations et le Conseil national de recherches (Osborne et coll., 2012). Par conséquent, la résistance au feu de toute poutre ou colonne et de tout assemblage de plancher ou de mur en bois de grande dimension peut être augmentée en ajoutant un ou deux panneaux de gypse classé pour la résistance.

Protection de panneau de gypse	Additional Fire Resistance (min)
Un panneau de gypse de type X de 12,7 mm	15
Un panneau de gypse de type X de 15,9 mm	30
Deux panneaux de gypse de type X de 12,7 mm (s'applique au CLT seulement)	60
Deux panneaux de type X de 15,9 mm	60

Tableau 3.5 – Résistance au feu supplémentaire obtenue au moyen d'une protection par du panneau de gypse, tel qu'indiqué dans l'Annexe B de la norme CSA O86 (CSA, 2016).

Connexions

Les connexions sont un élément essentiel de toute structure, que la structure soit exposée au feu ou non. Dans l'Annexe B adopte l'approche conservatrice voulant qu' aucun élément en acier des connections requérant un degré de résistance au feu (pour ceux qui supportent les charges gravitaires) ne doit être exposé ou être situé dans la profondeur de la zone carbonisée. Comme il est généralement accepté (et de façon conservatrice) que la profondeur de carbonisation se situe à l'isotherme de 300 °C, il en résulte que la température de l'acier ne s'approche pas de 550 °C, soit la température, couramment reconnue à laquelle l'acier a perdu la moitié de sa résistance. Ceci fait également en sorte que l'acier n'accélère pas la carbonisation autour des éléments en acier, ce qui pourrait se produire si l'acier était moins protégé. Certains fabricants déconnexions ont effectué des essais de résistance au feu pour montrer la performance de certains types de connexions exclusifs. Dans ce cas, il faudrait réaliser la conception des connexions en fonction de l'information sur le système mis à l'essai plutôt que de suivre l'approche conservatrice adoptée dans la norme CSA O86.

Des renseignements supplémentaires sur la résistance au feu des connexions ainsi que sur les méthodes de calcul de la résistance au feu à utiliser lorsque le connexion comprend des attaches exposées se trouvent dans la directive technique sur la sécurité-incendie dans les bâtiments en bois (SP Tratek, 2010).

3.7.2. CONCEPTION RÉALISÉE AUX FINS DE LA COMPARTIMENTATION

Un compartiment coupe-feu peut être comparé à une boîte conçue pour contenir un feu pendant un temps limité dans un bâtiment. Un compartiment coupe-feu est défini par le CBO comme étant « un espace fermé et séparé de toutes les autres parties du bâtiment par une construction de pourtour qui assure une séparation coupe-feu éventuellement exigée pour atteindre un degré de résistance au feu ». Les

séparations coupe-feu cotées telles que les planchers et les murs intérieurs des bâtiments sont donc des éléments de base des compartiments coupe-feu. Les séparations coupe-feu sont conçues pour résister aux effets du feu pendant un certain temps en fonction de l'intensité prévue du feu dans un compartiment. Pour que la construction d'une séparation coupe-feu cotée remplisse, elle doit généralement avoir une résistance au feu et être continue. Cependant, dans certains cas, il peut être nécessaire de construire un élément en tant que séparation coupe-feu uniquement pour limiter le passage de la fumée et du feu et sans qu'il soit nécessaire qu'il ait un degré de résistance au feu. Dans de tels cas, la séparation coupe-feu doit seulement demeurer en place assez longtemps pour que les occupants puissent quitter la zone ou jusqu'à ce qu'un système de gicleurs automatiques soit activé pour maîtriser et probablement éteindre le feu.

Tel que mentionné précédemment, le bois massif, en plus d'assurer une résistance structurale au feu, peut très bien convenir pour la compartimentation. Par exemple, dans le tout premier ensemble d'essais de résistance au feu du CLT à échelle intermédiaire réalisé en Amérique du Nord, un panneau mural de CLT de trois couches (non porteur) assurait une résistance au feu de plus de deux heures (la photo de la Figure 3.6 a été prise pendant l'essai de résistance au feu après deux heures et cinq minutes d'exposition au feu standard) (Craft *et coll.*, 2011). Cependant, dans la plupart des cas, le CLT et les autres éléments de mur en bois massif sont porteurs et les éléments de plancher sont toujours porteurs. Par conséquent, si un CLT ou un autre élément en bois massif a été conçu pour assurer une résistance structurale au feu (ce qui nécessite habituellement des éléments de charpente encore plus épais que les éléments non porteurs pour un même degré de résistance au feu), l'élément répondra sans aucun doute aux critères d'isolation de la résistance au feu. La seule préoccupation restante pour le CLT ou un autre système de panneaux de bois massif consiste à se demander, après avoir vérifié qu'il présente la résistance structurale au feu exigée, est que les joints entre les panneaux satisfont au critère d'intégrité de la résistance au feu.

Après un grand nombre d'essais sur les assemblages de mur et de plancher en CLT (Osborne *et coll.*, 2012) (Craft *et coll.*, 2011) (Craft et Van Zeeland, 2017) et sur un certain nombre de configurations de joint entre panneaux CLT, il est manifeste que tant que le joint entre les panneaux ou entre les assemblages est protégé des mouvements d'air et que le joint d'étanchéité est protégé de l'exposition au feu (cas par exemple du joint à demi-bois illustré à la Figure 3.7), le joint, s'il est exposé au feu réagira bien et n'entraînera pas une défaillance de l'intégrité.

Une autre façon de ne pas compromettre l'intégrité d'un assemblage de mur consiste à installer du panneau de gypse classée résistante au feu des deux côtés de l'assemblage de mur. De même, pour les éléments de plancher, une chape de béton ou une autre chape continue assurant l'étanchéité à l'air et protégée du feu empêche une défaillance de l'intégrité.

Le scellement des joints entre les panneaux de CLT ou les autres panneaux en bois massif, tels que les joints à demi-bois ou l'utilisation de languettes, est souvent réalisée avec un produit de calfeutrage tel qu'un adhésif de construction ou un calfeutrage coupe-feu appliqué en quantité suffisante pour s'assurer de combler tout espace vide entre les surfaces de contact au sein du joint. De plus, des produits de ruban qui assurent une étanchéité à l'air ont également été mis à l'essai et utilisés avec succès.

On trouvera d'autres directives sur la conception des joints entre les panneaux de bois massif et entre les éléments de bois massif dans le Manuel CLT (FPInnovations, 2011).

Le CBO exige que toutes les séparations coupe-feu soient construites en tant qu'éléments continus. Cependant, les planchers et les murs intérieurs d'un bâtiment doivent comporter des ouvertures pour la circulation des personnes et les installations techniques. Il est essentiel que ces ouvertures soient protégées afin de maintenir la séparation coupe-feu et la compartimentation souhaitée. Les points les plus

vulnérables des séparations coupe-feu sont les ouvertures telles que les entrées de porte et les trous pour le passage des installations techniques. Il est essentiel que ces ouvertures soient protégées à l'aide de dispositifs de fermeture tels que les portes, les volets, les registres coupe-feu, le verre armé ou les briques de verre et les systèmes de coupe-feu (comme l'exige la Division B du CBO, paragraphe 3.1.8.1.(2)). De tels dispositifs ou éléments sont habituellement cotés pour l'exposition au feu conformément aux normes d'essai spécifiques, selon le type de fermeture.

Enfin, dans certains cas, il faut accorder une attention particulière à la finition des détails des assemblages de mur et de plancher en bois massif, tels que les assemblages de CLT, et de leurs joints pour s'assurer que la fumée ne passe par à travers l'assemblage. Par exemple, comme nous l'expliquons brièvement à la Section 3.4.2 ci-dessus sur les exigences relatives aux « bâtiments de grande hauteur » du CBO, dans le cas des escaliers en ciseaux où les deux escaliers de sortie sont séparés par les escaliers eux-mêmes, il importe de s'assurer que les deux escaliers sont parfaitement étanches pour empêcher la fumée d'un escalier de sortie d'entrer dans l'autre. Par exemple, lorsque deux panneaux de CLT se rencontrent, des



Figure 3.6 – Photo prise durant un essai de résistance au feu réalisé sur un panneau mural de CLT à trois plis après deux heures et cinq minutes d'exposition au feu. La surface non exposée est encore relativement fraîche.

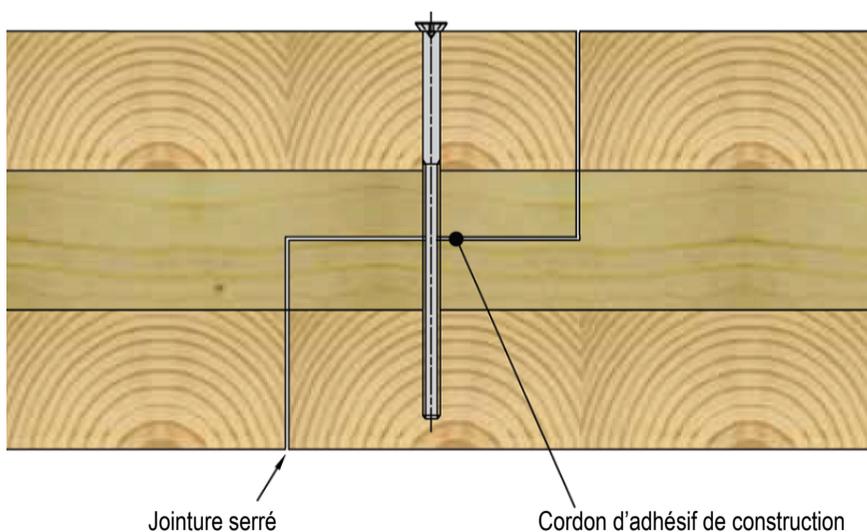


Figure 3.7 – Illustration d'un détail d'un joint à demi-bois entre deux panneaux de CLT (FPInnovations, 2011)

elles de bois au fur et à mesure que le bois sèche et se rétracte. Ces espaces qui s'ouvrent entre les différentes lamelles dans le pli extérieur du panneau peuvent permettre à la fumée de traverser d'un espace à l'autre puisque tout autre assemblage de mur ou de plancher qui est en contact les lamelles sans leur être parallèle entraînera la formation de petits espaces qui peuvent permettre le déplacement de l'air à travers le joint. Le joint illustré à la Figure 3.8 est un exemple d'un cas où une fuite d'air ou de fumée pourrait se produire à l'intersection des deux panneaux. Ces mêmes chemins de fuite possibles posent également problème pour les ingénieurs d'enveloppes du bâtiment.

3.7.3. COUPE-FEUX

Les coupe-feux et les pare-feux ont des noms semblables mais jouent des rôles différents dans la prévention de la propagation du feu à l'intérieur d'un bâtiment. Dans les deux cas, l'objectif consiste à prévenir ou à réduire la probabilité d'une propagation du feu. Les coupe-feux sont décrits dans la présente section tandis que les pare-feux le sont dans la section suivante.

Les coupe-feux contribuent à maintenir la continuité des compartiments coupe-feu autour des séparations coupe-feu ou des éléments qui

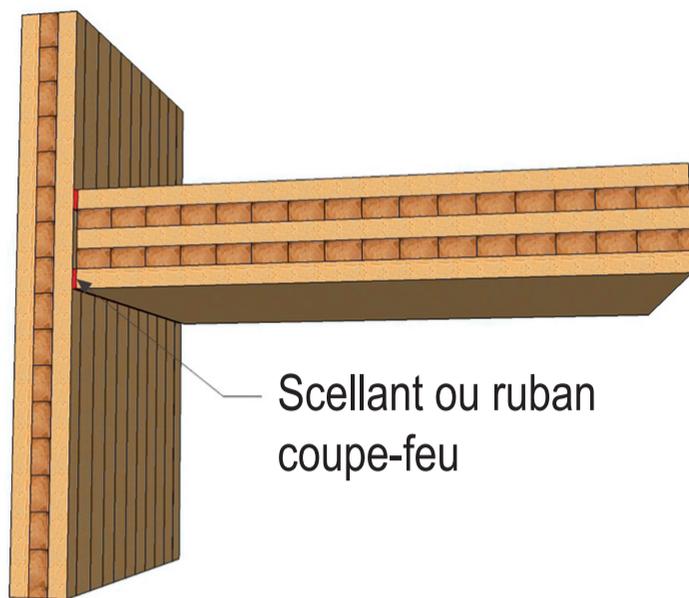


Figure 3.8 – Illustration d'un joint entre des panneaux de CLT où il pourrait y avoir une fuite d'air en raison du rétrécissement des différentes lamelles de bois dans le pli extérieur du panneau mural [D'après la Figure 19 du Chapitre 5 du *Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada* de FPInnovations].

nécessaire à l'obtention d'un degré de résistance au feu doivent être scellées au moyen d'un coupe-feu testé selon la norme CAN/ULC-S115. Le coupe-feu doit alors avoir une cote F au moins égale au degré de résistance au feu exigé pour les fermetures dans la séparation coupe-feu. Dans la méthode de la norme CAN/ULC-S115, un assemblage représentatif du système coupe-feu à tester (p. ex., mur de CLT encapsulé avec des panneaux de gypse de type X) est soumis à l'exposition température-temps standard identique à celle utilisée dans la norme de résistance au feu CAN/ULC-S101. De tels essais permettent d'attribuer au système coupe-feu deux cotes, F et FT, citées dans le CBO de 2012.

- La cote **F** est fondée sur l'apparition de la flamme sur la surface non exposée.
- La cote **FT** est fondée sur un critère d'augmentation de température et l'apparition de la flamme sur la surface non exposée.

Un certain nombre de systèmes coupe-feu peuvent être nécessaires dans un bâtiment. Voici une liste des exemples les plus courants :

- Coupe-feu passant : un coupe-feu passant réfère à un élément pénétrant comme un tuyau qui traverse entièrement la séparation coupe-feu. Dans ce cas, le système coupe-feu doit être décrit au complet en précisant le ou les matériaux ou produits coupe-feu et sa configuration, mais aussi la construction de la séparation coupe-feu et de l'élément pénétrant.
- Pénétration de la membrane de la séparation coupe-feu : cette situation se produit lorsqu'un élément pénétrant comme un tuyau ou un coffret électrique ne traverse qu'une seule membrane d'une séparation coupe-feu composée de plusieurs matériaux. Un exemple courant est un assemblage de mur en ossature légère en bois dans lequel les installations techniques passent dans la cavité du mur et sortent là où c'est nécessaire (p. ex., à l'emplacement d'un interrupteur mural). Comme dans le cas des coupe-feux passants, la mention des systèmes de coupe-feu précisera le ou les matériaux ou produits coupe-feux et les configurations, ainsi que la construction de la séparation coupe-feu et de l'élément pénétrant.
- Joint de construction : il s'agit des joints de construction entre deux séparations coupe-feu adjacentes ou éléments de séparation coupe-feu. Ces joints, généralement linéaires, peuvent se situer entre un plafond et un mur, un toit et un mur, un mur et un plancher, deux murs, deux planchers ou deux plafonds.

pénètrent complètement ou partiellement dans les séparations coupe-feu.

Le CBO fournit la définition suivante d'un coupe-feu :

Le coupe-feu est « un système composé d'un matériau, d'un élément et de moyens de soutien utilisé pour remplir un vide entre des séparations coupe-feu ou entre des séparations coupe-feu et d'autres assemblages de construction ou autour de certains éléments qui pénètrent entièrement ou partiellement des séparations coupe-feu ». OBC provides the following definition of fire stop:

L'article 3.1.9.1. de la Division B du CBO précise que, sauf indication contraire, les pénétrations dans les séparations coupe-feu ou dans une membrane qui fait partie d'un assemblage

- Joint du périmètre du bâtiment : c'est l'espace entre un assemblage de plancher classé résistant au feu et un mur-rideau résistant ou non-résistant au feu. Les systèmes coupe-feu pour les joints du périmètre du bâtiment sont aussi communément appelés « systèmes coupe-feu du périmètre ». La méthode d'essai de la norme CAN/ULC-S115 peut être utilisée entre un mur extérieur classé résistant au feu et un assemblage de plancher classé résistant au feu.

Systèmes coupe-feu

À l'heure actuelle, une seule solution coupe-feu générique est disponible pour les concepteurs dans le CBO 2012. Cette solution permet que les pénétrations dans une séparation coupe-feu ou dans une membrane faisant partie d'un assemblage et qui doit avoir un degré de résistance au feu, soient « bien ajustées », tel qu'indiqué à l'alinéa 3.1.9.1. 1) b) de la Division B du CBO. Dans la note de l'Annexe correspondante, le « béton coulé sur place » est suggéré comme moyen de satisfaire à l'exigence, par exemple dans le cas de la pénétration des installations techniques dans une dalle ou un mur de béton. Par conséquent, si une chape de béton doit être appliquée sur un système de plancher en bois massif et si la chape est coulée après l'installation des pénétrations, elle pourrait être considérée comme coulée sur place et ne pas nécessiter de traitement supplémentaire.

Une multitude d'essais ont été réalisés sur des systèmes coupe-feu pour le compte des fabricants de coupe-feu dans les laboratoires d'essais de résistance au feu accrédités. Dans de nombreux cas, les résultats sont disponibles par l'entremise des listes de services offerts par des organismes de certification tiers, tels que :

- Laboratoires des assureurs du Canada
- Intertek Testing Services
- QAI Laboratories
- Underwriters' Laboratories Incorporated

Cependant, les systèmes coupe-feu homologués pour des murs et des planchers en bois massif sont pour le moment, rares, voire inexistantes. Les essais réalisés pour le bâtiment en bois massif du Wood Innovation Design Centre construit à Prince George (C.-B.) ont montré que les pénétrations par des tuyaux métalliques pouvaient être munies de coupe-feux adéquats au moyen des méthodes traditionnelles à condition que le tuyau métallique soit centré dans le trou plutôt que de reposer sur un bord comme dans la méthode d'installation couramment utilisée dans les dalles de béton. Certaines images de ces essais sont présentées aux Figures 3.9 et 3.10.

La solution coupe-feu utilisée dans les essais réalisés sur les murs et les planchers illustrés aux Figures 3.9 et 3.10 consistait à centrer le tuyau métallique au centre du trou foré et à remplir l'espace périphérique d'isolant de laine minérale et de 25 mm de calfeutrage coupe-feu des deux côtés de l'assemblage (pour les murs et les planchers). Les résultats ont montré que la solution coupe-feu installée dans les panneaux de CLT à trois couches dans l'orientation verticale ou horizontale permettait d'obtenir une cote F de 90 minutes, suffisante pour l'installation dans un assemblage ayant un degré de résistance au feu de deux heures (à quelques exceptions près mentionnées dans le CBO). Si l'installation était réalisée dans des assemblages de mur et de plancher plus épais (p. ex., dans du CLT à cinq ou sept couches), la performance du système coupe-feu mis à l'essai serait accrue.

À mesure que de plus en plus de bâtiments en bois massif de toutes tailles seront conçus et construits, les fabricants de systèmes coupe-feu mettront au point, mettront à l'essai et homologueront probablement plus de solutions coupe-feu pour les applications dans les assemblages en bois massif. Et comme il est impossible de mettre à l'essai des conceptions pour tous les scénarios de coupe-feu possibles, les fabricants de coupe-feu travaillent souvent avec des concepteurs et des ingénieurs pour mettre au point

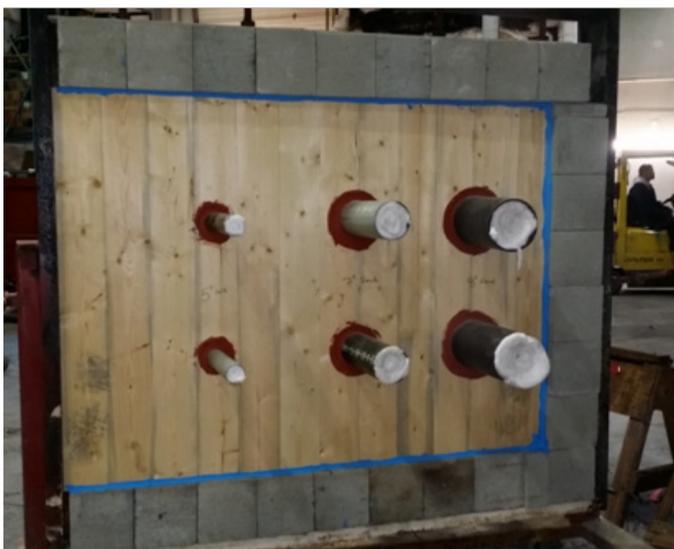


Figure 3.9 – Dispositifs d'essai de résistance d'un coupe-feu (côté exposé avant l'essai) consistant en un assemblage de mur de CLT et de six tuyaux métalliques de matériaux et de tailles variés qui pénètrent dans l'assemblage



Figure 3.10 – Dispositifs d'essai de résistance d'un coupe-feu (côté exposé) après 90 minutes d'exposition à l'essai de résistance au feu.

d'éléments combustibles contribuent à minimiser les risques qu'un incendie ne s'y déclenche ou ne s'y propage.

En général, il est conseillé d'éviter ou de réduire au minimum, lors des premières étapes de la conception des bâtiments en bois de grande hauteur, les détails de conception qui créent des vides de construction. La raison en est que dans le cas d'une structure combustible, beaucoup de vides seront considérés comme des vides de construction combustibles (c'est-à-dire comme des vides de construction comportant une ou plusieurs surfaces combustibles). Comme les bâtiments en bois de grande hauteur sont protégés par des gicleurs? automatiques conformément à la norme NFPA 13, les vides de construction combustibles doivent être protégés par des gicleurs automatiques, scindés ou remplis, conformément à cette norme, tel que décrit ci-dessous.

des solutions adaptées à des situations données dans des projets de construction bien précis.

3.7.4. VIDES DE CONSTRUCTION ET PARE-FEUX

Les pare-feux sont utilisés pour restreindre la taille des vides de construction et pour séparer un vide de construction d'un autre.

Le CBO fournit la définition suivante d'un pare-feu :

Le pare-feu est « un matériau, composant ou système qui limite la propagation du feu à l'intérieur d'un vide de construction ou d'un vide de construction à un espace contigu ».

Pratiquement tous les bâtiments ont des vides de construction. Cesont des espaces non occupés ou des vides, accessibles ou non, créés par la construction du bâtiment. Parmi les exemples de vide de construction, mentionnons les greniers, les espaces entre les cloisons doubles ou au-dessus des plafonds suspendus et les saignées verticales utilisées pour le passage des équipements techniques. La préoccupation en matière de sécurité-incendie liée aux vides de construction, et en particulier aux vides de construction combustibles, se rapporte à la capacité d'un feu de s'allumer ou de se propager dans un vide de construction, hors de portée des moyens de détection ou de la protection des gicleurs automatiques. De plus, les vides de construction verticaux peuvent entraîner une propagation rapide de la flamme en raison d'un effet de cheminée. Par conséquent, les mesures visant à protéger les vides de construction par des gicleurs automatiques ou à en limiter la quantité

NFPA 13

La norme NFPA 13 (NFPA, 2013) exige que les vides de construction combustibles soient protégés par des gicleurs automatiques, à quelques exceptions près. Cependant, pour des raisons d'économie ou d'accès, il est avantageux de prendre en compte les vides de construction avec d'autres moyens que les gicleurs automatiques. La norme NFPA prévoit un certain nombre de cas dans lesquels les vides de construction combustibles ne nécessitent pas de gicleurs automatiques parce que d'autres méthodes peuvent être employées pour remédier au danger.

Une option prévue dans la norme NFPA 13 pour gérer la présence d'un vide de construction inévitable, par exemple entre une dalle de plancher en CLT et un plafond suspendu qui se trouve dessous, consiste à protéger la surface combustible en CLT avec un produit dont l'indice de propagation de la flamme est de 25 ou moins d'après les essais réalisés selon la norme ASTM E84 (2010) (pour un essai prolongé de vingt minutes). Un exemple courant consiste à doubler les surfaces combustibles du vide de construction avec du panneau de gypse ou d'isolant incombustible. Ce type de solution peut présenter un avantage supplémentaire : le panneau de gypse ou d'isolant contribuera probablement aussi à la résistance au feu de l'assemblage de plancher. Une autre option qui peut être envisagée consiste à utiliser un matériau incombustible projeté ou un revêtement intumescent qui réduirait d'une manière semblable l'indice de propagation de la flamme des surfaces intérieures du vide de construction à 25 ou moins.

Une autre option qui évite d'avoir à protéger un vide de construction combustible par des gicleurs consiste à remplir l'espace avec un isolant incombustible. Dans ce cas, une lame d'air de 50 mm ou moins peut être laissée au haut de l'espace.

Si l'espace formé par un plafond fixé sur un assemblage de plancher en bois massif fait moins de 150 mm, il n'est pas nécessaire que l'espace soit protégé par des gicleurs automatiques. Cependant, des pare-feux doivent être installés pour séparer les espaces en volumes acceptables.

Un certain nombre d'autres exceptions plus précises à la protection des vides de construction combustibles par des extincteurs automatiques sont incluses dans la norme NFPA 13-2013 à la Section 8.15.1.

Le CBO exige que des pare-feux soient installés à intervalles réguliers dans tous les vides de construction. Même dans les situations où cela n'est pas explicitement exigé, la pose de pare-feux est une bonne pratique dans les constructions combustible et incombustible.

Voici un résumé des endroits où des pare-feux doivent être installés dans les bâtiments visés par la Partie 3 de la Division B du CBO :

- Des pare-feux doivent être installés dans les vides de construction situés dans les murs à tous les étages et au niveau de tous les plafonds là où le plafond constitue une partie d'un assemblage qui doit avoir un degré de résistance au feu. De plus, des pare-feux doivent être installés dans un assemblage de mur pour faire en sorte que la dimension horizontale maximale d'un vide de construction ne soit pas supérieure à 20 m et que sa dimension verticale maximale ne soit pas supérieure à 3 m. Il n'est pas nécessaire d'installer des pare-feux dans les murs si le vide est rempli d'isolant ou si les matériaux de construction exposés et tout isolant contenu dans le vide de construction sont incombustibles. D'autres exceptions sont prévues dans le CBO, Division B, à l'article 3.1.11.2.
- Dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible, du bois peut être utilisé dans un certain nombre d'endroits, tel qu'indiqué à la Section 3.4.1 de la présente ressource technique. Si un vide de construction est créé par des éléments en bois qui supportent un plafond et si la ou les surfaces exposées du vide de construction ont un indice de propagation de la flamme supérieur à 25, le vide

de construction créé doit être muni de pare-feux installés entre les éléments de clouage en bois afin que le vide de construction ne fasse pas plus de 2 m². De même, si des vides de construction sont créés par des éléments de charpente en bois qui supportent un plancher flottant dans un bâtiment dont la construction doit être incombustible, les espaces doivent être munis de pare-feux de manière à ce que l'aire des surfaces ne dépasse pas 10 m².

- Des pare-feux doivent être installés entre les vides de construction verticaux et horizontaux, tels que ceux créés par les plafonds à gorge, les plafonds suspendus et les soffites, lorsque l'indice de propagation de la flamme des matériaux de construction exposés dans le vide de construction est supérieur à 25.

Matériaux pare-feu

Les matériaux pare-feu limitent le passage des flammes, des gaz chauds et de la fumée. Les matériaux suivants peuvent être utilisés comme pare-feux dans les bâtiments dont la construction doit être incombustible d'après la Partie 3 de la Division B du CBO :

- Du panneau de gypse d'au moins 12,7 mm d'épaisseur et la tôle d'acier d'au moins 0,38 mm d'épaisseur, à condition que tous les joints aient un soutien continu;
- des éléments de clouage en bois fixés directement sur un fond de clouage incombustible continu pour la fixation des revêtements intérieurs ou encastrés dans celui-ci, à condition que le vide de construction créé par les éléments en bois ne fasse pas plus de 50 mm d'épaisseur;
- dans certaines situations (p. ex., dans une toiture combustible ou une plateforme surélevée autorisée, tel que décrit à la Section 3.4.1 de la présente ressource technique sur l'utilisation du bois dans des bâtiments incombustibles), du bois massif d'au moins 38 mm d'épaisseur; du contreplaqué collé avec une résine phénolique, du panneau gaufré ou du panneau à copeaux orientés d'au moins 12,5 mm d'épaisseur dont les joints sont munis d'un soutien; ou deux épaisseurs de bois faisant chacune au moins 19 mm d'épaisseur et dont les joints sont décalés, s'il est nécessaire d'employer plus d'un morceau de bois d'au moins 38 mm d'épaisseur pour bloquer l'espace en raison de la largeur ou de la hauteur du vide de construction.

Si les matériaux pare-feu génériques énumérés ci-dessus sont utilisés, les pénétrations doivent être scellées à l'aide d'un coupe-feu.

D'autres matériaux peuvent être utilisés s'il peut être démontré qu'ils peuvent demeurer en place et empêcher le passage des flammes pendant au moins 15 minutes lorsqu'ils sont soumis à une exposition au feu standard conformément à la norme CAN/ULC-S101, « Essais de réaction au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction ».

3.7.5. REVÊTEMENT MURAL EXTÉRIEUR

Le recouvrement extérieur est réglementé par le CBO afin de réduire le risque de propagation d'un feu à l'extérieur, que le feu s'allume à l'extérieur du bâtiment ou qu'il s'allume à l'intérieur et s'échappe vers l'extérieur. En ce qui concerne les bâtiments de grande hauteur, les solutions acceptables prévues par la Division B du CBO exigent que tout bâtiment de plus de six étages soit construit avec un revêtement incombustible, contrairement au modèle du Code national du bâtiment (Division B, paragraphe 3.1.5.1. (2)), qui reconnaît la méthode d'essai de la norme CAN/ULC-S134 (2013) comme moyen adéquat de vérifier qu'un assemblage de mur extérieur convient à une utilisation sur des bâtiments de grande hauteur protégés par des gicleurs automatiques. Il faut également comprendre que la reconnaissance par le Code national du bâtiment de cette méthode d'essai permet également d'inclure des éléments combustibles dans les assemblages de mur extérieurs non porteurs.

Par conséquent, tout bâtiment en bois de grande hauteur construit en Ontario devrait comporter un revêtement extérieur incombustible et des éléments muraux extérieurs incombustibles, sinon il faudra également montrer dans la solution de remplacement que le mur extérieur équivaut à un mur extérieur incombustible. La preuve pourrait être faite au moyen d'essais réalisés conformément à la norme CAN/ULC-S134 ou d'autres essais d'exposition de type résistance au feu.

Dans les cas où il y a des vides de construction combustibles à l'intérieur d'un assemblage de mur extérieur (par exemple, un joint d'écoulement de la pluie dans les assemblages d'écran pare-pluie), on peut envisager de poser un pare-feu pour réduire le risque de propagation du feu dans le vide de construction.

3.8. SCÉNARIOS D'INCENDIE/FEUX DE DIMENSIONNEMENT

Un objectif important de la conception de la sécurité-incendie consiste à limiter le risque que le feu se propage de son compartiment coupe-feu (p. ex., un logement) d'origine dans d'autres compartiments coupe-feu et à limiter le risque que l'intégrité des assemblages porteurs soit compromise par l'exposition au feu. Dans les Solutions acceptables du Code, des degrés de résistance au feu sont prescrits pour atteindre ces objectifs. Dans la conception fondée sur la performance, les délimitations des compartiments et les éléments structuraux doivent être adaptés pour fonctionner de manière satisfaisante. Pour ce faire, il importe de déterminer et de quantifier les incendies graves mais probables qui peuvent se développer dans un compartiment et menacer ses délimitations et tous les éléments structuraux exposés. De tels incendies sont qualifiés d'« incendies de dimensionnement ». On trouvera des directives sur l'élaboration des scénarios d'incendie de dimensionnement et des feux de dimensionnement dans la norme ISO 16733-1:2015 (ISO, 2015) ainsi que dans le *Handbook of Fire Protection Engineering* de la Society of Fire Protection Engineers (SFPE) (SFPE, 2008). L'établissement de scénarios d'incendie de dimensionnement et de feux de dimensionnement est une première étape nécessaire du processus de détermination de la performance relative des solutions de remplacement et acceptable.

Il est reconnu que si un feu reste petit ou est éteint par des gicleurs automatiques ou du personnel qualifié, il n'attaquera pas de manière notable les limites du compartiment (p. ex., les murs et le plancher/les plafonds d'un logement) ou les éléments structuraux. Ce n'est que si le feu atteint le stade de l'embrasement éclair – c'est-à-dire si le feu qui était petit et localisé devient un feu qui touche tous les combustibles du compartiment – que les limites du compartiment et les éléments structuraux sont menacés. C'est donc l'incendie qui suit l'embrasement éclair qui est généralement le plus préoccupant. Cependant, des directives sont fournies dans le présent document sur la façon de réaliser un incendie de dimensionnement pour toute la durée de l'incendie, c'est-à-dire de l'allumage à l'embrasement éclair et au déclin du feu.

Les incendies de dimensionnement sont généralement exprimés en termes de la température en fonction du temps ou du débit thermique en fonction du temps. Un incendie de dimensionnement typique est décrit en fonction des phases et des points de transition ci-dessous :

- Début du développement de l'incendie (avant l'embrasement éclair);
- Temps qui précède l'embrasement éclair;
- Incendie pleinement développé (après l'embrasement éclair);
- Durée de l'incendie après l'embrasement éclair;
- Phase de déclin.

L'approche employée pour élaborer des feux de dimensionnement présentée ici est très semblable à celle recommandée par la norme ISO/TS 16733, « Ingénierie de la sécurité contre l'incendie – Sélection de scénarios d'incendie de dimensionnement et de feux de dimensionnement » (ISO, 2015).

3.8.1. DYNAMIQUE DU FEU DE CHAMBRE

Un incendie qui se déclare dans une pièce, un logement ou un compartiment peut s'éteindre tout seul ou être éteint par les occupants, du personnel qualifié ou des gicleurs automatiques. Cependant, si l'incendie continue de se développer, une couche de gaz chauds (fumée) se forme sous le plafond. Si l'incendie se développe suffisamment pour que la température dans la couche supérieure s'approche de 600 °C, la chaleur rayonnée par la couche chaude vers tous les autres objets de la pièce devient si intense que tous les combustibles exposés dans la pièce atteignent rapidement leur température d'allumage, de sorte que toute la pièce s'enflamme. Ce passage de la combustion localisée dans une pièce à l'inflammation de toute la pièce s'appelle embrasement éclair.

À noter que, puisque les limites des logements peuvent ou non nécessiter un degré de résistance au feu compte tenu de l'usage du bâtiment, dans les sections suivantes, le terme « compartiment » désigne un compartiment coupe-feu ou un logement d'un bâtiment séparé des autres compartiments coupe-feu par des assemblages de mur et de plancher/plafond résistants au feu.

La vitesse du développement de l'incendie pendant la phase qui précède l'embrasement éclair influence le temps dont disposent les occupants du compartiment coupe-feu ou de du logement pour évacuer. Cependant, pendant la phase qui précède l'embrasement éclair, un incendie ne présente pas de risque important de se propager dans les logements ou les compartiments voisins à travers les murs ou les planchers/plafonds ou de causer une défaillance structurale des murs porteurs ou des planchers/plafonds. Par contre, les incendies qui atteignent le stade de l'embrasement éclair et qui se propagent ainsi à des pièces entières d'un compartiment ou au compartiment tout entier peuvent être d'une intensité suffisante pour risquer de se propager aux compartiments voisins ou de provoquer une défaillance structurale.

La Figure 3.10 présente le schéma d'un incendie de dimensionnement typique d'un feu de chambre lorsqu'il est exprimé en termes du débit thermique en fonction du temps. La courbe supérieure représente ce qui se produit en l'absence de gicleurs automatiques : le débit thermique augmente régulièrement pendant la phase qui précède l'embrasement éclair, se stabilise après l'embrasement éclair jusqu'à ce que la plus grande partie de la charge de combustible ait été consommée, puis diminue régulièrement pendant la phase du déclin. La Figure montre également l'effet sur le débit thermique de l'activation des gicleurs automatiques qui se produit toujours, s'il y a lieu, pendant la phase qui précède l'embrasement éclair, car la température d'activation des gicleurs automatiques est nettement inférieure aux températures associées à l'embrasement éclair.

3.8.2. INCENDIES DE COMPARTIMENT DANS LES BÂTIMENTS EN BOIS MASSIF

En cas d'incendie dans un bâtiment en bois massif de grande hauteur, la première ligne de défense est habituellement un système de détection et d'alarme automatique destiné à prévenir les occupants de la menace d'incendie le plus tôt possible. Comme dans les bâtiments de grande hauteur de tels systèmes sont conçus pour se déclencher très tôt au cours d'un incendie, généralement en détectant la fumée, il est hautement improbable que la structure du bâtiment, qu'elle se compose de matériaux incombustibles ou de bois massif, ait un effet appréciable quelconque sur la détection ou l'avertissement précoce. Par conséquent, un système de détection et d'alarme automatique conforme aux spécifications de la solution acceptable pour les bâtiments de grande hauteur (construction incombustible) peut généralement être considéré comme un système qui convient tout aussi bien à la solution de remplacement (construction en bois massif).

La ligne de défense suivante dans un bâtiment de grande hauteur est le système de gicleurs automatiques connu pour être très performant dans les immeubles résidentiels et à bureaux conformes au code d'une

construction incombustible, c'est-à-dire pour la solution acceptable. Comme les systèmes gicleurs automatiques sont conçus pour éteindre ou maîtriser les incendies bien avant que l'embrasement éclair ne survienne, on peut supposer qu'un système de gicleurs automatiques conforme au code dans un bâtiment en bois de grande hauteur construit avec du bois massif (c'est une solution de remplacement) se déclencherait tout aussi tôt, éteindrait ou maîtriserait l'incendie aussi rapidement que dans un bâtiment semblable d'une construction incombustible et empêcherait ainsi le bois massif de contribuer à l'incendie.

Le scénario d'incendie le plus préoccupant (mais rare) est celui dans lequel le système de gicleurs automatiques ne fonctionne pas ou ne peut empêcher l'embrasement éclair, c'est-à-dire qu'il ne peut empêcher un petit feu localisé de devenir un incendie qui touche tous les combustibles exposés de la pièce. Après l'embrasement éclair, les limites du compartiment et les éléments structuraux sont menacés. C'est donc probablement le principal scénario d'incendie de dimensionnement à évaluer.

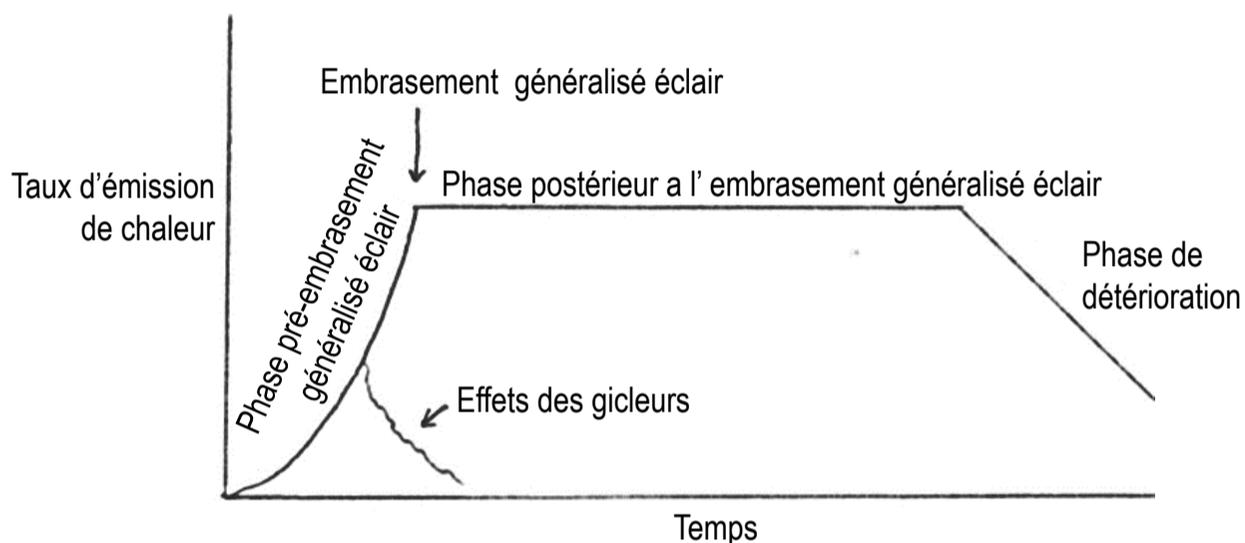


Figure 3.10 – Schéma simplifié d'un incendie de dimensionnement dans une pièce typique

Phase qui précède l'embrasement éclair et temps qui précède l'embrasement éclair

La phase qui précède l'embrasement éclair représente le temps écoulé depuis le début d'un feu jusqu'à ce qu'il atteigne un point où toute la pièce est touchée par l'incendie. À ce stade, on dit que l'embrasement éclair s'est produit. Habituellement, on présume que cette période de développement de l'incendie est « contrôlée par l'aire du combustible » plutôt que « contrôlée par la ventilation », en grande partie parce qu'un incendie contrôlé par l'aire du combustible est le scénario le plus difficile (p. ex., on pourrait devoir supposer qu'une fenêtre est ouverte dès le début de l'incendie ou se brise tôt).³ Cette période de développement de l'incendie, sans limitation liée à la ventilation, est souvent modélisée à l'aide d'un modèle feu « t-carré » (SFPE, 2008). Un projet de recherche pluriannuel réalisé récemment sur les incendies de dimensionnement dans les immeubles résidentiels par le CNRC (Bwalya *et coll.*, 2008) a confirmé la pertinence du modèle feu t-carré ultra-rapide pour prédire le débit thermique de l'incendie dans un bâtiment à usage résidentiel pendant la phase qui précède l'embrasement éclair. Ces essais ont été réalisés dans des pièces recouvertes de panneaux de gypse et, à cette étape du développement de l'incendie, il n'y a eu aucune contribution de la structure.

3 Un feu « contrôlé par l'aire du combustible » est un feu dans lequel suffisamment d'oxygène entre dans la pièce pour brûler tous les gaz volatils qui s'échappent des surfaces de combustible, de sorte que c'est l'aire des combustibles exposés qui régit la quantité de chaleur dégagée par le feu. Un feu « contrôlé par la ventilation » est un feu dans lequel il n'y a pas assez d'oxygène qui entre dans la pièce pour brûler tous les gaz volatils qui s'échappent des surfaces de combustible en raison d'une ventilation limitée. Dans ce cas, la quantité de chaleur dégagée dans la pièce par le feu est régie par l'apport en oxygène dans la pièce.

Comme dans le cas des bâtiments dont la construction doit être incombustible, où la quantité de revêtement intérieur fait de matériaux combustibles qui peut être utilisée peut influencer la vitesse du développement et de la propagation d'un feu au cours de la phase qui précède l'embrasement éclair, l'influence de tout bois massif pendant la phase qui précède l'embrasement éclair dépend de la quantité d'éléments en bois massif et de leur degré d'encapsulation.

Un compartiment coupe-feu dans un bâtiment en bois massif dans lequel les éléments en bois massif sont entièrement encapsulés (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de bois exposé), ne serait-ce que par une seule couche de panneau de gypse, fera en sorte que la structure ne contribue pas au développement de l'incendie pendant la phase qui précède l'embrasement éclair. Par conséquent, un bâtiment en bois massif entièrement encapsulé devrait avoir le même comportement pendant la phase qui précède l'embrasement éclair qu'un bâtiment de construction incombustible protégé par du panneau de gypse.

Cependant, il faut souligner que si les incendies de dimensionnement d'une solution de remplacement sont comparés à une solution acceptable, la Division B du CBO permet de recouvrir de nombreux murs et certains plafonds d'un bâtiment de grande hauteur d'une épaisseur maximale de 25 mm d'un revêtement intérieur combustible (p. ex., du bois), tel qu'indiqué précédemment au paragraphe Revêtement intérieur de la Section 3.4.1 de la présente ressource technique. De même, l'utilisation des murs de séparation en bois massif exposés d'une épaisseur minimale de 38 mm est également autorisée par la Division B du CBO dans de nombreux endroits des bâtiments de grande hauteur dont la construction doit être incombustible. Par conséquent, ce qui est proposé la solution de remplacement peut être, et elle le sera probablement, de comparer à un compartiment recouvert de revêtement intérieur en bois et/ou de murs de séparation en bois.

Pour mieux comprendre la contribution des revêtements en bois des pièces au développement de l'incendie, des chercheurs de Nouvelle-Zélande (*Peel et coll.*, 2016) ont réalisé un certain nombre d'essais de coin de pièce et ont constaté que le revêtement du plafond seul ne conduisait pas à l'embrasement éclair dans un essai dans le coin d'une pièce standard par ailleurs réalisé selon la norme ISO 9705 (ISO, 2003). Cependant, si les murs (mais non le plafond) étaient revêtus de bois, l'embrasement éclair se produisait lorsque le brûleur atteignait 300 kW. C'est un résultat intéressant, car dans les bâtiments de grande hauteur, l'utilisation des revêtements de plafond combustibles est limitée à ceux dont l'indice de propagation de la flamme est inférieur à 25 dans la majorité des situations tandis que beaucoup de murs peuvent avoir un indice de propagation de la flamme de 150, ce qui permet d'utiliser des revêtements muraux en bois non ignifugé d'une épaisseur pouvant atteindre 25 mm.

De plus, un certain nombre de configurations ont été mises à l'essai et pourraient être utilisées pour comparer le revêtement des murs autorisé par le code à diverses autres configurations de bois massif exposé afin de rationaliser l'impact que le bois exposé pourrait avoir sur le développement de l'incendie avant l'embrasement éclair.

Pour mieux comprendre l'impact sur le développement de l'incendie dans une pièce en CLT, une série de tests de combustion ont été réalisées dans une pièce en CLT à l'Université Carleton (illustrations des Figures 3.11 et 3.12).

Les essais effectués sur des chambres à coucher entièrement meublées et du CLT entièrement encapsulé ont entraîné un embrasement éclair en sept à neuf minutes tandis qu'une pièce entièrement exposée (murs et plafond en CLT) a atteint le stade de l'embrasement éclair en cinq minutes (McGregor, 2013). Par conséquent, dans un cas extrême, les murs et le plafond en bois massif entièrement exposés dans un petit compartiment peuvent avoir un impact sur le feu avant l'embrasement éclair tandis qu'il y a moins d'impact s'il y a moins de CLT exposé.

On s'attend à ce que, dans de nombreux cas, il soit possible de démontrer que l'étendue de bois massif exposé dans un compartiment coupe-feu ne réduira pas sensiblement le temps qui s'écoule avant l'embrasement éclair par rapport à la solution acceptable.

Bien sûr, il importe de répéter que dans l'analyse du cas d'un incendie qui se développe jusqu'au point où l'embrasement éclair se produit, il a été supposé que le système de gicleurs automatiques n'a pas pu maîtriser l'incendie.

Incendie pleinement développé après l'embrasement éclair

L'incendie qui suit l'embrasement éclair peut être contrôlé par la ventilation (c'est-à-dire contrôlé par la dimension des fenêtres et donc le rythme auquel l'air peut pénétrer dans le compartiment) ou contrôlé par l'aire du combustible exposé (combustibles). Dans les bâtiments modernes où les charges de combustible sont relativement élevées, on présume habituellement qu'à cette phase, l'incendie sera contrôlé par la ventilation et ce scénario est généralement le plus difficile.

La sévérité d'un incendie est souvent décrite par l'intensité (exprimée en termes du débit thermique ou des températures) et la durée de la phase qui suit l'embrasement éclair. C'est durant cette phase de l'incendie que l'exposition de la structure peut menacer sa résistance au feu.

Encore une fois, l'influence de la construction en bois massif pendant la phase qui suit l'embrasement éclair dépendra du degré d'encapsulation. L'encapsulation complète (toutes les surfaces de bois massif sont protégées) empêchera la structure d'être touchée par l'incendie pendant la phase qui précède l'embrasement éclair ainsi que durant la phase qui suit l'embrasement éclair. Le moment où le bois massif encapsulé commence à contribuer à la sévérité du feu dépend de la protection thermique fournie par les matériaux d'encapsulation. Par exemple, des essais de résistance au feu réalisés à l'Université Carleton ont révélé que le bois massif ne contribuait pas du tout à l'incendie lorsque le CLT était encapsulé de deux couches de panneaux de gypse de type X de 12,7 mm (Medina, 2014). De toute évidence, la quantité de l'encapsulation nécessaire pour assurer que le bois massif ne contribue pas au feu pendant toute la durée de l'incendie (jusqu'à l'arrêt par épuisement) dépendra de la charge de combustible initiale du contenu de la pièce et de la ventilation (qui est proportionnelle à la surface de toutes les ouvertures non protégées). À des fins de comparaison, il convient de noter que deux panneaux de gypse de type X de 12,7 mm ont empêché le bois massif de commencer à se carboniser pendant une heure lors d'un essai de résistance au feu standard (Osborne *et coll.*, 2012).



Figure 3.11 – Pièce meublée (mobilier de chambre à coucher) en CLT construite pour un essai de compartiment coupe-feu réalisé à l'Université Carleton.



Figure 3.12 – Pendant l'essai de résistance au feu réalisé sur la pièce en CLT comportant du mobilier de chambre à coucher à l'Université Carleton.

Par contre, le fait qu'il y ait un peu de bois massif exposé ou moins de protection par encapsulation du bois massif permettra probablement au bois massif de contribuer à la sévérité du feu. Dans la plupart des incendies contrôlés par la ventilation, la contribution à la sévérité du feu du bois massif ne modifie pas sensiblement les conditions à l'intérieur du compartiment coupe-feu, car la température dépend de la vitesse à laquelle l'oxygène (l'air) peut pénétrer dans le compartiment coupe-feu. La contribution du bois massif peut influencer la combustion qui se produit à l'extérieur de la pièce, soit dans le panache qui sort d'une fenêtre, soit dans le feu qui se propage dans un corridor. L'importance de la contribution du bois massif dépendra de la quantité qui est exposée ou devient exposée à mesure que le matériau d'encapsulation permet à la chaleur de pénétrer dans le bois.

Cependant, l'impact le plus important que peut avoir la structure en bois massif se produira probablement lorsque le contenu de la pièce sera consumé et que le feu entrera ensuite normalement dans la phase de déclin. Le moment où cela se produit est généralement modélisé en fonction de la charge de combustible dans le compartiment coupe-feu. Cependant, si du bois massif est exposé ou devient exposé pendant l'incendie, il est possible que le feu continue à brûler après que le contenu ait été consumé sous forme de feu contrôlé par la ventilation. Le fait que le feu puisse entrer dans la phase de déclin ou continue de brûler vigoureusement dépendra de la quantité de bois massif exposé à ce stade ainsi que de sa configuration. Pour mieux le comprendre, l'Université Carleton a réalisé une série d'essais de combustion de chambre dans des pièces en CLT (Medina, 2014). Les essais ont été réalisés avec des meubles de chambre à coucher pour simuler un usage résidentiel. Un total de cinq essais ont été réalisés sur des pièces en CLT avec différents niveaux d'exposition du bois massif. Les conditions des essais allaient du bois complètement encapsulé par deux panneaux de gypse de type X de 12,7 millimètres au bois massif complètement exposé. Les conclusions tirées des essais étaient que tant que deux murs adjacents ou opposés étaient exposés, ils permettaient au feu de rayonner entre les deux surfaces exposées et ainsi au feu de continuer à brûler. Cependant, lorsqu'un seul mur du compartiment coupe-feu était laissé sans protection, le feu entrait dans la phase de déclin et diminuait comme prévu lorsque le contenu de la pièce était consumé.

Par conséquent, d'après ces résultats, il est clair que la structure en bois massif peut contribuer à la sévérité du feu pendant la phase qui suit l'embrasement éclair en contribuant à la combustion à l'extérieur du compartiment coupe-feu et à la durée de la phase qui suit l'embrasement éclair s'il y a suffisamment de bois massif exposé pour permettre à la structure elle-même d'alimenter un feu contrôlé par la ventilation. Le fait qu'une combustion supplémentaire à l'extérieur du compartiment coupe-feu soit considérée ou non comme un danger dépendra de la construction du bâtiment et peut-être du revêtement extérieur et de la disposition des fenêtres.

Phase de déclin

Comme nous l'avons mentionné au sujet de la phase qui suit l'embrasement éclair, l'entrée du feu de compartiment dans la phase de déclin dépendra de la quantité de bois massif exposé lorsque le contenu de la pièce aura été consumé. Dans le cas où il n'y a qu'une quantité limitée ou pas du tout de bois massif exposé, la recherche du CNRC sur les incendies de dimensionnement porte à croire que le feu entre dans une phase de déclin durant laquelle on peut présumer que le débit thermique décroît linéairement de sa valeur qui suit l'embrasement éclair à zéro au cours d'une période égale au triple de la somme du temps écoulé avant l'embrasement éclair et de la durée de l'incendie qui suit l'embrasement éclair (Bwalya *et coll.*, 2014).

Dans le cas où il y a suffisamment de bois massif exposé lorsque le contenu de la pièce a été consumé, le feu peut continuer à brûler à une intensité considérable et constante. Ceci n'est pertinent que dans un scénario dans lequel les gicleurs automatiques n'ont pas maîtrisé l'incendie et où le service des incendies n'a pas été en mesure d'accéder à l'incendie et de le combattre. La probabilité associée à un tel scénario peut être estimée comme nous le décrivons à la Section 3.9 de la présente ressource technique.

3.8.3. RECHERCHE SUR LES FEUX DE COMPARTIMENT DANS LES BÂTIMENTS EN BOIS MASSIF

En décrivant l'impact du bois massif sur les différentes étapes d'un feu de compartiment ci-dessus, nous avons mentionné certains essais de résistance au feu. Cependant, un examen exhaustif de 45 essais de résistance au feu réalisés dans des compartiments a été effectué récemment par SP en Suède (Brandon et Ostman, 2015).

Les expériences de résistance au feu se déroulaient généralement dans une pièce entièrement meublée (comme une chambre à coucher) ou dans une unité de logement entièrement meublée, les principaux éléments structuraux et les séparations coupe-feu étant construits en bois massif encapsulé par du panneau de gypse résistant au feu et, chose la plus importante, les gicleurs automatiques n'étaient pas installés. Ces essais ont montré que deux couches de panneaux de gypse de type X de 12,7 mm assurent une encapsulation adéquate, c'est-à-dire qu'il est très peu probable que le bois massif encapsulé apporte du combustible au feu de compartiment. En fait, dans la plupart des essais, le bois massif qui se trouvait sous le panneau de gypse présentait même pas de signes de carbonisation.

En outre, dans un essai réalisé dans une chambre à coucher entièrement meublée construite en bois massif (CLT) comportant un mur laissé sans protection (non encapsulé), le feu s'est comporté à peu près de la même façon qu'un feu qui se déclare dans une pièce semblable où tout le bois massif est encapsulé et s'est « éteint tout seul » après que le contenu de la pièce ait été consommé (Medina, 2014).

3.9. MÉTHODES D'ANALYSE DES RISQUES

L'analyse des risques est un processus scientifique qui peut être utilisé pour déterminer ce qui pourrait arriver (événement indésirable), l'importance des conséquences qu'il y aurait si l'événement indésirable se produisait et la probabilité que cet événement se produise. L'analyse des risques d'incendie est axée sur les incendies. Le résultat final de l'analyse des risques d'incendie est le risque d'incendie qui est défini comme étant le produit des conséquences des incendies dans un bâtiment par la probabilité que des incendies se produisent. Un certain nombre de méthodes sont utilisées pour estimer les risques associés aux incendies dans un bâtiment en fonction du niveau de complexité et des données disponibles. Elles peuvent être classées en trois groupes : qualitatives; semi-quantitatives et quantitatives.

3.9.1. MÉTHODES QUALITATIVES

Dans les méthodes qualitatives, aucun calcul n'est effectué pour évaluer le risque. Elles sont utilisées pour déterminer les événements les plus dangereux et comme méthodes de sélection pour déterminer les événements qui devraient être utilisés dans une analyse des risques quantitative. Elles font appel à des techniques telles que « l'analyse de simulation », les listes de vérification, les arbres d'événement et les matrices des risques. Des termes y sont utilisés pour caractériser les événements déterminés, tels qu'une probabilité élevée (ou faible) et une conséquence importante (ou peu importante).

3.9.2. MÉTHODES SEMI-QUANTITATIVES

Les méthodes semi-quantitatives font appel à des outils et à des modèles pour chiffrer la conséquence des événements indésirables ou leur fréquence, mais pas les deux. Utiliser ces méthodes permet de classer les événements indésirables en termes de leurs fréquences ou de leurs conséquences ou en fonction d'un système de notation défini. Par exemple, des modèles déterministes peuvent être utilisés pour déterminer la sévérité d'un incendie et son impact sur les occupants d'un bâtiment ou pour estimer les dommages causés au bâtiment sans tenir compte de la fréquence d'un tel incendie.

3.9.3. MÉTHODES QUANTITATIVES

Les méthodes quantitatives font appel à des outils de calcul pour déterminer les conséquences des événements indésirables et leur fréquence, ce qui fournit un risque d'incendie global. Il existe un certain nombre de modèles informatiques qui effectuent des analyses des risques quantitatives : FiRECAM (Yung *et coll.*, 1997) et FIERAsystem (Benichou *et coll.*, 2005) sont des modèles élaborés par le Conseil national de recherches du Canada et CURisk (Hadjisophocleous et Fu, 2005) est un modèle d'analyse des risques élaboré à l'Université Carleton pour calculer le risque d'incendie dans les bâtiments de grande et de moyenne hauteur.

3.9.4. PROCESSUS D'ANALYSE DU RISQUE D'INCENDIE

L'*Engineering Guide to Fire Risk Assessment* de la SFPE (SFPE, 2008) fournit un processus recommandé pour l'analyse du risque d'incendie et des directives sur la sélection des outils et des données appropriés. Le processus recommandé par la SFPE est illustré à la Figure 3.13. Les principales tâches de l'analyse des risques sont les suivantes : déterminer les dangers et les scénarios d'incendie, déterminer la fréquence de chaque scénario et déterminer la conséquence de chaque scénario. Les fréquences des scénarios peuvent être obtenues à l'aide d'outils tels que les arbres de défaillances ou les arbres d'événements et de données statistiques sur les fréquences des incendies et la fiabilité des systèmes de protection contre l'incendie. Un exemple d'arbre d'événements est présenté à la section suivante. Les conséquences de chaque scénario peuvent être déterminées en termes du nombre de blessures et de décès et des dommages matériels. L'impact des incendies sur les occupants du bâtiment peut être estimé en utilisant des modèles informatiques pour modéliser l'incendie ainsi que la réaction et l'évacuation des occupants. Une méthode couramment utilisée pour évaluer le risque pour la vie consiste à déterminer le temps disponible pour l'évacuation en sécurité (ASET) en utilisant des outils de modélisation du feu et le temps nécessaire pour l'évacuation en sécurité (RSET) en utilisant des outils pour prédire le temps dont les occupants ont besoin pour évacuer le bâtiment. La différence entre l'ASET et le RSET est la marge de sécurité qui est un paramètre de performance pouvant être utilisé pour comparer différentes conceptions. Les coûts de l'incendie comprennent les dommages causés au bâtiment et à son contenu ainsi que les pertes entraînées par la perte de l'utilisation du bâtiment. Les dommages peuvent être déterminés en utilisant les prévisions des modèles informatiques concernant l'intensité du feu et sa propagation ainsi que les coûts associés au contenu et aux réparations du bâtiment.

Lors de l'évaluation d'une solution de remplacement, une analyse comparative est couramment employée. Une analyse des risques d'incendie est alors utilisée pour calculer le risque d'un bâtiment qui satisfait aux exigences prescriptives du CBO ainsi que le risque associé à la solution de remplacement proposée. La conception proposée est acceptable si son risque est inférieur au risque de la conception acceptable.

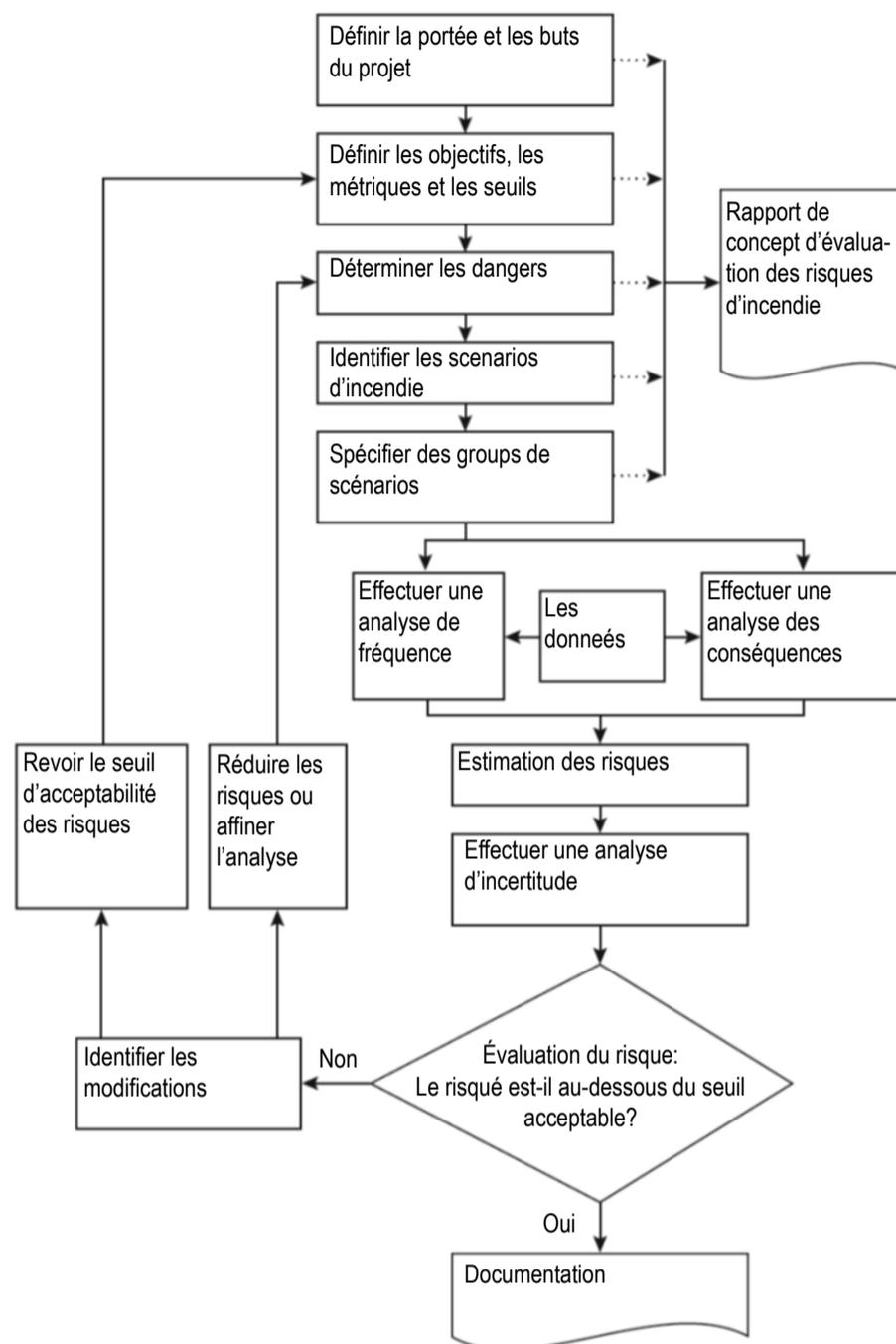


Figure 3.13 – Processus recommandé par la SFPE pour l'analyse des risques d'incendie (SFPE, 2008)

3.9.5. EXEMPLE D'ANALYSE D'ARBRE D'ÉVÉNEMENTS

L'une des méthodes les plus couramment utilisées pour l'évaluation des risques d'incendie qui aide à structurer les scénarios des pertes directement imputables à l'incendie est celle des arbres d'événements. Les arbres d'événements commencent par l'événement déclencheur et produisent différents scénarios d'incendie en fonction de l'impact d'autres événements susceptibles d'influencer l'incendie et ses conséquences. Chacun de ces scénarios peut être examiné pour déterminer son résultat. L'avantage des arbres d'événements est qu'il est possible d'y incorporer à la fois la conséquence des événements indésirables ainsi que leur fréquence.

Un exemple simple d'un arbre d'événements est illustré à la Figure 3.15. Dans cet exemple, l'événement déclencheur est un incendie qui se déclare dans la cuisine d'un logement d'un bâtiment à plusieurs étages. Le bâtiment est muni de détecteurs de fumée, d'un système d'alarme et d'un système de gicleurs automatiques. Les événements envisagés consistent à se demander si les occupants réagiront à temps aux différents signaux d'avertissement, s'ils pourront éteindre le feu, si les gicleurs automatiques

éteindront l'incendie et si le service des incendies éteindra l'incendie avant qu'il ne se propage aux autres logements. Les probabilités utilisées pour chacun des événements de cet exemple sont les suivantes : les occupants éteindront l'incendie : 0,6; les gicleurs automatiques éteindront l'incendie : 0,95; et le service des incendies éteindra le feu avant qu'il ne se propage à d'autres logements : 0,7. Les probabilités de divers événements peuvent être déterminées à partir de diverses sources, y compris des données et de l'analyse des statistiques sur les incendies.

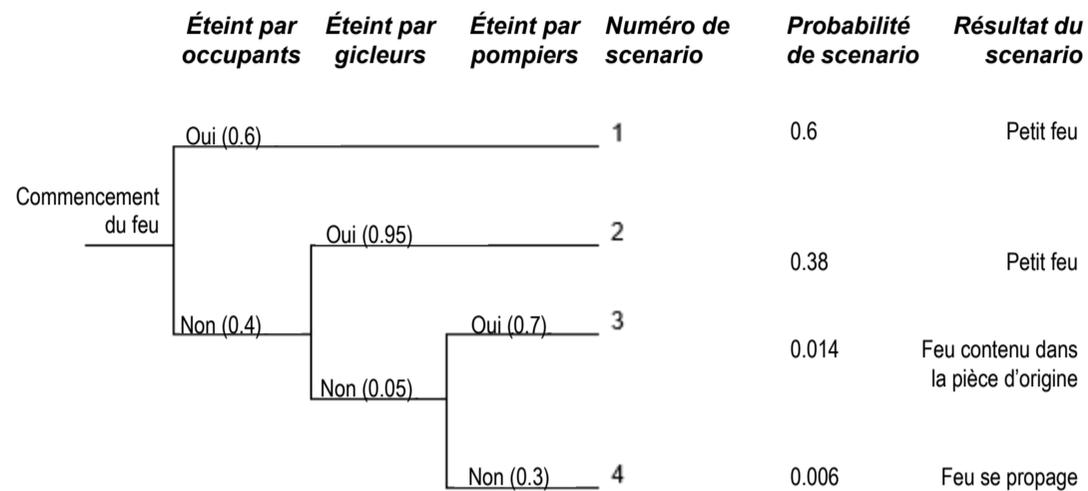


Figure 3.14 – Exemple d'arbre d'événements simplifié de divers scénarios d'incendie.

L'arbre d'événements de cet exemple comporte quatre événements, y compris l'événement déclencheur, et fournit quatre scénarios. La probabilité de chacun des scénarios est le produit des probabilités le long des branches des scénarios. Le résultat ou la conséquence de chacun des scénarios peut être exprimé en termes qualitatifs, tel qu'illustré dans la figure, ou être estimé en utilisant des outils de calcul en termes de répercussion sur les occupants et des dommages matériels. Dans le cas des résultats quantitatifs, le risque global peut être calculé en faisant la somme des produits des conséquences par la probabilité de chaque scénario.

$$\text{Risque} = \sum_{\text{tous les scénarios } i} \text{Probabilité } i \times \text{conséquence } i$$

La probabilité qu'un incendie se déclare dans la cuisine pourrait également être obtenue à partir de données statistiques et être incluse dans l'arbre d'événements.

Si l'analyse des risques effectuée au moyen des arbres d'événements est appliquée aux bâtiments en bois de grande hauteur, il est fort probable que les arbres d'événements serviront à comparer la solution de remplacement à la solution acceptable. Dans ce cas, la probabilité d'un incendie qui menace les délimitations d'un compartiment coupe-feu peut être utilisée pour les comparaisons, étant entendu que si le feu ne risque pas davantage de menacer la résistance au feu des délimitations du compartiment, il ne risque pas non plus davantage de se propager au-delà du compartiment d'origine du feu. Cela pourrait être l'un des critères utilisés pour évaluer la solution de remplacement.

3.10. STRATÉGIES DE SÉCURITÉ-INCENDIE COURANTES POUR LES BÂTIMENTS EN BOIS DE GRANDE HAUTEUR

La stratégie de base qui sert souvent de point de départ pour l'élaboration d'une stratégie de plan de conception de la sécurité-incendie pour l'utilisation d'une structure en bois massif dans un cas où une construction incombustible est exigée consiste à respecter toutes les autres exigences applicables à un bâtiment incombustible, c'est-à-dire que les exigences de la sous-section 3.1.5 de la Division B du CBO

sont appliquées à la conception du bâtiment, à l'exception de la structure en bois massif. Tel que mentionné à la Section 3.4.1 de la présente ressource technique, il est permis d'utiliser des éléments combustibles d'un certain nombre de façons dans les bâtiments dont la construction doit être incombustible. Cependant, un certain nombre de restrictions s'appliquent à l'utilisation de ces éléments combustibles, y compris en ce qui concerne l'utilisation des isolants combustibles, des tuyaux combustibles et des fils, câbles et canalisations combustibles.

3.10.1. ENCAPSULATION

L'« encapsulation », un terme souvent utilisé pour désigner la protection du bois massif dans les bâtiments qui autrement devraient nécessairement être de construction incombustible, est un moyen d'empêcher une structure en bois massive d'alimenter un feu pendant une période déterminée. Bien que l'encapsulation du bois massif aide vraisemblablement une structure à résister au feu, ce qui est certainement un avantage, ce n'est pas son but premier, car cette résistance au feu est possible sans l'encapsulation.

Un bon point de départ pour élaborer un plan de sécurité-incendie des éléments structuraux en bois massif serait d'assurer une encapsulation suffisante pour empêcher le bois massif d'alimenter le feu. Cette mesure ferait en sorte que le feu se consume complètement (c.-à-d. que tout le contenu du compartiment résistant au feu se consume) sans que la structure contribue au feu, ce qui permettrait à la structure de n'avoir aucun effet sur un feu qui se déclarerait dans l'immeuble. Ce procédé a d'ailleurs été utilisé lors de la récente construction de Brock Commons sur le campus de l'Université de la Colombie-Britannique, à Vancouver, en Colombie-Britannique. Il s'agit d'un exemple où une pleine encapsulation peut montrer une direction relativement claire pour apporter la preuve de l'équivalence entre une structure combustible et une structure incombustible. Soulignons qu'une pleine encapsulation peut procurer un certain nombre d'autres avantages en plus de celui d'empêcher une structure de contribuer à la gravité d'un feu. Une pleine encapsulation peut faire en sorte qu'une structure, ou du moins une grande partie de la structure, résiste à un feu. Elle peut aussi réduire considérablement les chemins de transmission du son à l'aide de produits tels que des profilés souples pour installer des plaques de plâtre ou grâce à des chapes de béton qui augmentent la masse des assemblages de plancher.

Toutefois, de nombreux concepteurs qui ont un intérêt pour la construction en bois de grande hauteur souhaitent exposer une partie de la structure en bois massif à des fins esthétiques. Une question qui se pose alors est de savoir dans quelle mesure du bois peut être exposé sans que cela n'accroisse de façon considérable la gravité d'un feu (c.-à-d. son intensité et sa durée). Tel que mentionné précédemment dans la section sur les incendies de dimensionnement, du bois massif exposé peut contribuer, dans différentes mesures, à alimenter un feu de compartiment, aux différentes étapes du feu, selon la quantité de bois exposé. Bien qu'on puisse montrer qu'une pleine encapsulation suffisamment épaisse peut empêcher une structure d'alimenter un feu, des niveaux de protection moins grands peuvent avoir une incidence, dans différentes mesures, sur un feu de dimensionnement, comme cela peut être montré. Avec d'autres caractéristiques d'atténuation, dont quelques-unes seront examinées ensuite, il est possible de montrer que la quantité limitée de bois exposé ne crée pas de risque supplémentaire pour les occupants, le service d'incendie ou le bâtiment.

Pour quantifier le niveau d'encapsulation assuré par un matériau tel que le panneau de gypse ou les isolants, le Conseil national de recherches a examiné des données d'essai de résistance au feu recueillies sur plusieurs années afin de déterminer le niveau d'encapsulation offert par différentes combinaisons de panneaux de gypse. Les délais d'encapsulation sont indiqués dans le rapport de Loughheed *et coll.*, (2014). Un autre document, élaboré par FPInnovations, contient aussi des délais d'encapsulation déterminés dans le cadre d'essais de résistance au feu, notamment dans le cas des panneaux de gypse et des panneaux isolants en laine minérale (Osborne, 2015).

3.10.2. FIABILITÉ DES GICLEURS AUTOMATIQUES

Tel que précisé dans la section 3.6.1 de la présente ressource technique, un système d'extincteurs automatiques est de loin le meilleur moyen de réduire le risque de perte de vie et de pertes matérielles en cas d'incendie dans un immeuble. C'est pourquoi toute mesure prise pour améliorer la fiabilité d'un système de gicleurs automatiques (c'est-à-dire pour accroître la probabilité qu'il s'active et qu'il dirige l'eau vers le feu) et pour renforcer sa capacité de maîtrise du feu après son activation serait grandement avantageuse.

Les données statistiques sur les feux peuvent servir à déterminer les principales raisons de l'échec des gicleurs automatiques à maîtriser un feu. Les concepteurs peuvent prendre des mesures pour réduire au minimum le risque d'un tel échec dans les immeubles en bois de grande hauteur conçus. Quelques exemples d'améliorations des calculs qui peuvent être apportées pour rendre un système de gicleurs automatiques plus fiable sont fournis ci-dessous.

Les vannes fermées étant souvent mentionnées comme étant la principale cause de l'échec d'un système à maîtriser un feu, l'installation de vannes d'isolement à chaque étage (comme le recommande Moinuddin *et coll.*, 2008) qui permet qu'un arrêt partiel du système durant les travaux d'entretien et de modernisation, tel que précisé ci-dessus dans la section 3.6.1 de la présente ressource technique, permet de réduire le risque qu'un feu se déclenche dans une partie du bâtiment où le système de gicleurs automatique est arrêté.

L'intégration de mesures redondantes dans la conception du système de gicleurs automatiques peut aider à prévenir des échecs de gicleurs automatiques. Ces mesures comprennent avoir plus d'un approvisionnement en eau, ainsi que des pompes à incendie de secours ou des colonnes montantes supplémentaires. Bien sûr, ces mesures seront toujours examinées en fonction du projet et des sources disponibles d'approvisionnement en eau ainsi que de la conception et la construction des bâtiments.

Des mesures peuvent être prises pour augmenter l'efficacité du système de gicleurs automatiques en améliorant la robustesse de la conception au-delà des normes minimales. Les aspects de la conception à prendre en considération, qui sont susceptibles d'augmenter son efficacité, incluent éventuellement de réduire l'espace entre les têtes d'extincteurs et/ou faire en sorte qu'un plus grand nombre de têtes s'activent que le nombre minimum recommandé dans la norme pour déterminer le débit d'eau requis. Ces aspects éventuels pourraient aussi dépendre du ou des profils de plafond pris en compte dans la conception du bâtiment (p. ex. selon les poutres exposées).

Une inquiétude dans les régions où les risques de séisme sont considérables est la possibilité qu'un séisme endommage l'infrastructure hydraulique de la municipalité, entraînant une perte de l'alimentation en eau en cas d'incendie à la suite du séisme. Pour apaiser cette inquiétude, une source d'alimentation en eau pourrait être installée sur place afin de garantir la disponibilité en eau en cas de feu. Soulignons toutefois que la performance en situation d'incendie à la suite d'un séisme n'est généralement pas prise en compte dans les exigences de la division B du Code du bâtiment pour les bâtiments qui doivent obligatoirement être de construction incombustible. Par conséquent, la performance en situation d'incendie après un séisme serait vraisemblablement considérée comme un objectif supplémentaire à inclure éventuellement à la liste des objectifs à atteindre par la voie d'une solution de remplacement pour les bâtiments en bois de grande hauteur lors des discussions entre le chef du service du bâtiment et l'équipe de conception, tel que mentionné dans la section 3.5.2 de la présente ressource technique.

3.10.3. PRESSURISATION DES ESCALIERS DE SECOURS

Les escaliers de secours sont essentiels à l'évacuation de tous les bâtiments de plusieurs étages en cas d'incendie, parce qu'ils constituent le seul moyen de sortie et qu'ils permettent au service d'incendie d'accéder à l'étage où se déroule le feu. Il est important que la cage d'escalier de sortie soit exempte de fumée en cas d'incendie; des caractéristiques supplémentaires pourraient être envisagées, autres que celles exigées dans le CBO, afin d'assurer une cage d'escalier sans fumée en cas d'incendie. La pressurisation de la cage d'escalier peut être considérée comme une mesure d'atténuation supplémentaire. D'autres directives quant aux méthodes de contrôle de la fumée sont fournies dans les documents NFPA 92 (NFPA, 2015) et Handbook of Smoke Control Engineering (Klote et coll., 2012).

3.10.4. SUPERFICIE DE CONSTRUCTION

Lorsqu'on examine le risque qu'un incendie éclate dans un bâtiment, la taille du bâtiment, c'est-à-dire sa superficie ou le nombre d'unités ou de locaux qu'il renferme, aura une incidence sur la probabilité de feu. Par exemple, si l'on compare le risque entre deux bâtiments où un bâtiment est deux fois moins grand que l'autre (et compte deux fois moins d'unités), le risque qu'un incendie éclate sera deux fois moins grand dans le bâtiment qui est deux fois moins grand, toutes choses égales par ailleurs. La taille du bâtiment peut donc être prise en considération dans toute analyse du risque réalisée.

3.11. SÉCURITÉ-INCENDIE DURANT LA CONSTRUCTION

Dans un bâtiment achevé où des matériaux combustibles sont utilisés, de nombreux éléments contribuent à assurer la sécurité-incendie du bâtiment, tels que le système de gicleurs automatiques, le système d'alarme, les cloisonnements coupe-feu, les limites quant à l'inflammabilité superficielle des revêtements d'une pièce, etc. Toutefois, dans un bâtiment en construction où des matériaux combustibles sont utilisés, avant que tous les systèmes, mesures ou attributs soient installés ou mis en service, le bâtiment est particulièrement vulnérable au feu. Autrefois, on considérait que les incendies qui éclataient sur des chantiers de construction posaient un faible danger pour la vie, mais qu'ils entraînaient parfois de lourdes pertes matérielles en raison de l'incapacité de confiner l'incendie et de l'abondance de matériaux combustibles présente sur place. Toutefois, maintenant que nous commençons de plus en plus à construire des bâtiments plus grands et plus hauts avec des éléments structuraux combustibles, surtout dans des zones urbaines plus denses, le danger pour la vie et les risques de pertes matérielles plus importantes augmentent. C'est pourquoi des précautions spéciales doivent être prises durant la construction de bâtiments en bois de grande hauteur pour réduire les risques associés aux incendies sur les chantiers de construction.

Au cours des dernières décennies, d'importants progrès ont été faits en matière de sécurité des chantiers de construction, notamment au chapitre de la réglementation et des méthodes utilisées. Il est maintenant temps d'intégrer la sécurité-incendie à la culture générale de la sécurité sur les chantiers de construction.

3.11.1. CAUSES DES INCENDIES SUR LES CHANTIERS DE CONSTRUCTION

Pour veiller à réduire le risque de feu sur un chantier de construction, il faut comprendre les dangers sur les chantiers de construction les plus susceptibles de provoquer des incendies. Comme pour tout incendie, il est parfois difficile d'en déterminer la cause. Toutefois, on peut, en examinant des études statistiques sur les pertes causées par des incendies, tirer quelques conclusions générales.

Lorsqu'on examine des données statistiques, il est souvent utile d'examiner celles des États-Unis, qui possèdent des ensembles de données beaucoup plus vastes et qui brossent un portrait plus détaillé des causes des incendies sur les chantiers de construction. La US Fire Administration (USFA, 2001) a publié en 2001 une étude intitulée « Construction Site Fires » (Incendies sur les sites de construction). D'après cette étude, les deux principales causes d'incendies sur un chantier de construction étaient classées « incendiaires/d'origine suspecte » (dans 41 % des cas) et « flammes nues » (dans 30 % des cas). Les feux de cause incendiaire sont ceux allumés intentionnellement ou dans une intention criminelle, tandis que les feux provoqués par des flammes nues sont ceux causés notamment par des activités de travail à chaud telles que l'utilisation de torches aux fins de couverture, ainsi que des travaux de soudage, de brasage ou de coupe, où de la chaleur et des étincelles sont produites. D'autres causes sont mentionnées dans l'étude, notamment le tabac (5 %) et le chauffage (4 %). De même, d'après une étude publiée par la Division de l'analyse et de la recherche en matière d'incendies de la NFPA (NFPA, 2001), 40 % des incendies avaient été allumés dans le cadre d'activités incendiaires ou suspectes, 21 % avaient été causées par une flamme nue, des braises et des torches et 10 %, par du matériel thermique.

Dans le cadre d'une étude canadienne menée par CFT Engineering Inc. pour le compte de Forestry Innovation Investment Ltd. (CFT, 2012), le système de signalement d'incendies géré par le Bureau du commissaire aux incendies d'Emergency Management BC a été examiné; 275 signalements d'incendies survenus sur des chantiers de construction en Colombie-Britannique sur une période de 5 ans, entre 2005 et 2009, y étaient enregistrés. Durant cette période, 63 % des incendies signalés étaient rapportés être de nature incendiaire, et 22 % avaient une origine qui n'avait pas pu être établie. L'étude a aussi révélé que la plus grande partie des feux incendiaires surviennent entre 17 h et 4 h, lorsque les ouvriers sont peu susceptibles d'être présents sur le chantier.

Enfin, le Bureau du commissaire aux incendies de la Division de la sécurité publique d'Alberta Municipal Affairs a examiné les incendies survenus sur des chantiers de construction en Alberta entre 2000 et 2009. Il a constaté qu'il y avait, en moyenne, 31 incendies sur des chantiers de construction par année, ce qui représente 1 % de tous les incendies de structure signalés et 2,2 % des pertes découlant de dommages matériels directs. Il a également constaté que 35 % des incendies étaient classés « incendiaires » et que 60 % des feux s'étaient déclenchés entre 20 h et 8 h. La plus forte concentration d'incendies (34 %) était survenue entre minuit et 4 h. Environ 22 % des incendies avaient été provoqués par du matériel chauffant et du travail à chaud.

Compte tenu des quatre études ci-dessus, il est clair que la plupart des incendies qui éclatent sur un chantier de construction sont d'origine criminelle ou sont causés par des activités de travail à chaud ou par du matériel chauffant. Quoi qu'il en soit, des mesures peuvent être prises pour réduire de façon considérable le risque d'incendie en examinant sérieusement la conception du bâtiment, en veillant à la sécurité du chantier et en manipulant avec prudence les sources éventuelles d'incendie sur le chantier de construction.

3.11.2. RÈGLEMENTS DE L'ONTARIO

En Ontario, la sécurité-incendie sur un chantier de construction (ainsi que la sécurité générale d'un chantier de construction) est soumise au Règlement de l'Ontario 213/91 intitulé « Chantiers de construction » de la Loi sur la santé et la sécurité au travail, L.R.O. 1990, chap. O.1. Toutefois, à la suite des récents changements au CBO qui permettent les constructions combustibles de 6 étages tout au plus, le ministère des Affaires municipales de l'Ontario, le ministère du Travail et le Bureau du commissaire des incendies et de la gestion des situations d'urgence ont travaillé avec un certain nombre de parties intéressées pour élaborer des lignes directrices sur les pratiques exemplaires intitulées Sécurité-incendie sur les chantiers de construction de bâtiments en bois de cinq ou six étages en Ontario (MAML, 2016). Ces lignes directrices donnent une vue d'ensemble des pratiques exemplaires et des recommandations à suivre pour écarter

les risques d'incendie sur les chantiers de construction de bâtiments en bois; un grand nombre de ces lignes directrices sont également utiles pour les bâtiments de grande hauteur où des éléments de bois massifs sont utilisés. Il est fortement recommandé que les équipes de conception s'appuient sur ce guide de pratiques exemplaires pour élaborer les plans de sécurité-incendie des bâtiments en bois massifs de plus de six étages.

3.11.3. PLAN DE SÉCURITÉ-INCENDIE DES CHANTIERS DE CONSTRUCTION

Le plan de protection contre l'incendie sur le chantier de construction (PSICC) est un plan qui doit être élaboré par l'entrepreneur ou le promoteur général responsable de la sécurité-incendie sur le chantier de construction. Comme, dans bien des cas, les personnes qui élaborent le PSICC n'auront pas toutes les connaissances et expérience nécessaires pour évaluer tous les dangers sur le chantier, il est recommandé que l'ingénieure ou l'ingénieur en sécurité et en prévention des incendies du projet travaille avec ces personnes pour les aider à cerner les dangers et à trouver d'éventuelles solutions pour écarter ces dangers.

Un PSICC est une exigence du Code national de prévention des incendies du Canada de 2015 [CNPI 5.6.1.3] et est prescrit dans la plupart des codes provinciaux de prévention des incendies en dehors de l'Ontario. Toutefois, bien que cela ne soit pas une exigence réglementaire, l'élaboration d'un PSICC est fortement recommandée. Il est probable que la municipalité, notamment le service d'incendie, demandera à voir le plan avant le lancement des travaux sur le chantier, et certainement avant l'arrivée des matériaux combustibles. Le fournisseur d'assurance voudra aussi vraisemblablement examiner le plan comme une condition d'assurance, puisqu'il aura lui aussi des exigences (garanties) qui devront être respectées.

Le PSICC est un document détaillé dans lequel des personnes clés et leurs responsabilités en cas d'incendie sont indiquées. Le plan devrait également indiquer les risques d'incendie sur le chantier de construction, c'est-à-dire les sources éventuelles d'inflammation (p. ex. incendies criminels ou travail à chaud) et les moyens à prendre pour les réduire ou les maîtriser (p. ex. mesures de sécurité; système de permis de travail à chaud), ainsi que les dangers possibles et la façon de les éliminer ou de les atténuer en cas d'incendie (p. ex. évacuation des travailleurs dans les immeubles voisins).

L'élaboration du PSICC doit commencer dès les premières réunions de l'équipe de conception afin de déterminer les façons de limiter les sources d'inflammation sur les lieux durant la construction (p. ex. les choix à faire en matière de soudage ou de couverture), ainsi que les autres mesures à prendre pour réduire les risques, telles que l'accélération du délai de construction (p. ex. la construction par panneaux pourrait permettre de réduire la durée de temps pendant laquelle un bâtiment est le plus vulnérable et d'assurer l'installation d'un certain niveau de protection avant l'arrivée sur place).

Il est recommandé d'utiliser les lignes directrices Sécurité-incendie sur les chantiers de construction de bâtiments en bois de cinq ou six étages en Ontario comme point de départ pour élaborer le PSICC.

3.11.4. COORDONNATRICE OU COORDONNATEUR DE LA SÉCURITÉ-INCENDIE

La coordonnatrice ou le coordonnateur de la sécurité-incendie du projet devrait être l'un des principaux participants à la rédaction du PSICC et sera la personne-ressource qui assurera la liaison avec le service d'incendie local durant la construction.

Dans bien des cas, la coordonnatrice ou le coordonnateur de la sécurité-incendie sera la personne responsable de la santé et de la sécurité sur le chantier de construction, y compris de la sécurité-incendie. Il est important que la coordonnatrice ou le coordonnateur de la sécurité-incendie connaisse bien les

règlements qui régissent la santé et la sécurité sur les chantiers de construction, tels que le Règlement de l'Ontario 213/91. La coordonnatrice ou le coordonnateur devrait aussi déjà bien connaître les lignes directrices provinciales, compte tenu qu'elle ou il s'en était servi initialement pour élaborer le plan de sécurité-incendie.

La coordonnatrice ou le coordonnateur de la sécurité-incendie a habituellement le pouvoir de mettre en œuvre le PSICC et doit veiller à ce que tous les ouvrières et ouvriers sur place respectent les procédures décrites dans le plan. Il incombera à la coordonnatrice ou au coordonnateur de la sécurité-incendie de faire en sorte que toutes les mesures de sécurité-incendie énoncées dans le plan, telles que l'emplacement des extincteurs et les voies d'accès du service d'incendie, soient respectées.

3.11.5. FACTEURS À PRENDRE EN CONSIDÉRATION POUR LES BÂTIMENTS EN BOIS MASSIFS

Tel que mentionné ci-dessus, même si les lignes directrices *Sécurité-incendie sur les chantiers de construction de bâtiments en bois de cinq ou six étages en Ontario* ont été rédigées pour les bâtiments de hauteur moyenne de construction combustible, la plupart des pratiques exemplaires qui y sont énoncées s'appliquent également aux bâtiments en bois massifs. Toutefois, il existe quelques différences entre un ouvrage à charpente légère combustible et un bâtiment en bois massif, qui doivent être prises en compte lorsqu'on élabore ou évalue un PSICC.

Prévention

Compte tenu de la vulnérabilité au feu des bâtiments combustibles durant la construction, il est important avant tout de prévenir dans la mesure du possible le déclenchement d'un incendie. Pour ce faire, des mesures doivent être prises, y compris des mesures pour veiller à ce que le chantier soit sécurisé durant et après les heures ouvrables, pour réduire au minimum la nécessité d'effectuer du travail à chaud sur place et, lorsque le travail à chaud s'avère nécessaire, pour mettre en place un processus de permis de travail à chaud.

La sécurité du chantier est essentielle une fois la construction de la structure combustible commencée. Toutefois, certaines mesures faciles peuvent aider à rendre difficile l'accès au chantier. Même si l'installation d'une clôture autour du site et l'assurance de la sécurité des lieux sont les principaux moyens employés pour veiller à la sécurité du chantier de construction tôt dans le processus de construction, sécuriser le premier étage une fois celui-ci clos s'avérerait plus efficace encore. Par exemple, l'installation de portes en acier temporaires en plus d'installer des fenêtres ou de bloquer les ouvertures de fenêtres peut faire en sorte qu'il soit difficile à quelqu'un de pénétrer dans le bâtiment une fois les deux ou trois premiers étages installés.

Réduction du potentiel d'accroissement

Malheureusement, même si des mesures sont prises pour réduire autant que possible le risque d'un feu sur un chantier de construction, ce risque ne sera jamais nul, tant pour les constructions combustibles que pour les constructions incombustibles. C'est pourquoi des mesures supplémentaires sont de mise pour essayer de réduire au minimum la croissance et la propagation d'un feu, le cas échéant.

Si un feu éclate dans un bâtiment de grande hauteur en construction, la vitesse et de propagation du feu dépendra de la disponibilité d'articles combustibles qui alimentent le feu, ainsi que de leur disposition. Une solution pour maîtriser les composantes combustibles serait d'installer le plus rapidement possible des matériaux de protection tels que des panneaux de gypse. La construction par panneaux préfabriqués a comme avantage de réduire le délai de construction d'un bâtiment, et du coup de réduire le risque d'incendie, mais aussi de faire livrer sur le chantier des composantes déjà dotées d'une certaine protection

(p. ex. des panneaux de plancher en bois lamellé-croisé (CLT) livrés au chantier avec un panneau de gypse ou un isolant incombustible fixé à la surface du plafond). L'ajout d'une chape de béton aux planchers est aussi une méthode parfois utilisée pour réduire la transmission acoustique; l'installation précoce de la chape pourrait aider à réduire encore plus les surfaces combustibles susceptibles de contribuer au développement du feu.

En général, les grands bâtiments en bois massif en construction sont assez bien ordonnés parce que l'utilisation de composantes préfabriquées génère moins de déchets sur place. C'est un avantage parce qu'une structure en bois massif présente moins de risque d'être le premier élément à prendre feu comparativement aux déchets comme les sciures et les rognures de bois. C'est pourquoi il est important de garder le chantier de construction et le bâtiment ordonnés durant la construction afin de réduire autant que possible la présence de matériaux qui risquent de contribuer au déclenchement et au développement d'un feu.

Advenant un incendie pendant les heures ouvrables, il est important de pouvoir évacuer en toute sécurité les ouvrières et ouvriers de l'immeuble. Cette tâche est plus difficile dans un bâtiment en bois de grande hauteur, car le délai pour sortir du bâtiment risque d'être considérable. C'est pourquoi il est recommandé de veiller à ce que deux escaliers d'issue soient accessibles afin de garantir l'évacuation des ouvrières et ouvriers même s'il arrivait qu'un des deux escaliers fût risqué en raison de sa proximité avec le feu. Les escaliers d'issue devraient être protégés du reste de l'immeuble et présenter un certain niveau de résistance au feu (p. ex. un degré de résistance au feu d'au moins d'une (1) heure); ils devraient aussi être dotés de portes à fermeture automatique (p. ex. des portes temporaires présentant une certaine résistance au feu) qui empêcheront la propagation du feu ou de la fumée dans les escaliers d'issue. C'est important non seulement pour l'évacuation des ouvrières et ouvriers, mais aussi pour permettre aux pompiers d'avoir plus facilement accès au feu.

Les pompiers peuvent s'attendre à d'importantes différences dans la lutte contre un incendie sur un chantier de construction d'un bâtiment en bois massif par rapport à un bâtiment à ossature légère combustible. La principale différence entre un bâtiment en bois massif et un bâtiment à ossature légère combustible durant la construction est la résistance intrinsèque au feu de la construction en bois massive ainsi que la taille et la disposition de la structure combustible. Ces deux facteurs auront une incidence sur l'intensité et la durée du feu.

Lorsqu'un feu éclate dans un bâtiment à ossature légère combustible en construction (par exemple, avant l'installation de panneaux de gypse), et si le feu n'est pas maîtrisé lorsqu'il est encore petit, il se développera rapidement parce que le bois utilisé, qui est de dimension relativement petite, est placé d'une manière à permettre un développement rapide du feu. Toutefois, même si les dimensions plus petites de la structure combustible font que le feu croît rapidement, elles font aussi en sorte que la structure se consume plus rapidement que des éléments de plus grandes dimensions. Résultat : la structure s'effondre peu de temps après que le feu atteint complètement la structure. Les feux seront donc relativement courts et intenses.

Inversement, les bâtiments en bois massif de grande hauteur qui prennent feu durant leur construction pourraient rester dressés pendant une période prolongée, ce qui donnerait le temps aux pompiers de maîtriser l'incendie. Si le feu n'est pas maîtrisé, cela pourrait augmenter la durée d'exposition des bâtiments voisins. De façon générale, un feu qui éclate dans un bâtiment en bois massif en construction pourrait, selon la taille du bâtiment, être d'intensité plus faible mais de durée plus longue.

Un risque important pour un grand nombre des projets de construction en bois de grande hauteur est le risque d'exposition au feu des bâtiments voisins en cas d'incendie pendant la construction, avant l'ajout de toutes les caractéristiques de sécurité-incendie du bâtiment. En appliquant les mesures pour

assurer la sécurité-incendie du chantier de construction telles que décrites dans *Sécurité-incendie sur les chantiers de construction de bâtiments en bois de cinq ou six étages en Ontario*, le risque d'un incendie sera considérablement réduit. Dans certains cas, toutefois, des mesures supplémentaires peuvent être nécessaires pour réduire la probabilité qu'un incendie éclate sur un chantier de construction et qu'il atteigne une proportion qui menace les bâtiments voisins (p. ex. un établissement de soins). S'il y a des occupants à risque dans les bâtiments voisins, les mesures à prendre pour écarter le risque doivent être déterminées en collaboration avec une ingénieure ou un ingénieur en sécurité qualifié.

À l'étape de la planification du déroulement des travaux de construction, tous les efforts devraient être faits pour organiser le travail de manière à ce que les caractéristiques de sécurité-incendie qui font partie d'un bâtiment achevé soient en service le plus tôt possible au cours de la construction. Par exemple, une fois le bâtiment à l'épreuve des intempéries, l'installation de panneaux de gypse sur des surfaces qui seront ultimement recouvertes permettra de réduire le risque d'incendie. De même, toute séparation coupe-feu qui peut être réalisée tôt dans le calendrier de construction afin de cloisonner le bâtiment serait également bonne en cas d'incendie.

Occupation de bâtiments en bois de grande hauteur – Permis d'occupation

Le Code du bâtiment contient les exigences de permis d'occupation de certains types de bâtiments. Par exemple, dans le cas des bâtiments décrits à l'article 1.3.3.1. de la Division C du Code, des systèmes de sécurité-incendie (séparation coupe-feu, issues de secours, gicleurs automatiques, colonne montante, système d'alarme incendie, éclairage, moyen d'évacuation, voies d'accès en cas d'incendie, etc.) doivent obligatoirement être mis en place et opérationnels dans la partie du bâtiment visée par le permis d'occupation.

Cependant, compte tenu du risque éventuellement plus grand d'incendie au cours de la construction, d'autres facteurs supplémentaires doivent être pris en considération dans la construction de bâtiments en bois de grande hauteur. Afin d'atténuer ce risque et d'obtenir le niveau de performance d'un bâtiment incombustible durant la construction, il est recommandé que le demandeur de permis de construire accepte, comme solution de remplacement, de ne pas faire de demande de permis d'occupation avant que tous les systèmes de sécurité-incendie et de sécurité des personnes du bâtiment soient en place et opérationnels. Les objectifs pertinents et les énoncés fonctionnels à prendre en compte incluent ceux qui se rapportent à la sécurité – la sécurité-incendie; à la protection des bâtiments contre les incendies, les dommages structuraux et les dégâts d'eaux y compris les eaux usées – protection du bâtiment contre l'incendie; et à la protection des bâtiments contre les incendies, les dommages structuraux, les dégâts d'eaux y compris les eaux usées – protection des bâtiments voisins contre l'incendie. Les dispositions énoncées à l'article 1.3.3.5. 3) de la Division C pourraient servir de point de départ pour déterminer les exigences en matière de sécurité-incendie et de sécurité des personnes qui doivent être respectées avant l'occupation du bâtiment. Le chef du service du bâtiment doit être consulté à une étape précoce du processus de conception du projet pour évaluer les mesures de sécurité-incendie supplémentaires qui devraient être envisagées.

4. CONCEPTION DES STRUCTURES

Pour veiller à une conception des structures conforme au CBO, une solution de remplacement pourrait devoir être employée compte tenu des limites imposées par le code ou de l'absence d'exigences précises dans l'édition actuelle du code du bâtiment, comme le dépassement de limites de hauteur des bâtiments en bois, les nouveaux matériaux, les types non inscrits de systèmes et de comportements structuraux (tels que la ductilité sous une charge sismique) et autres. Bien que de nouvelles recherches et l'élaboration de nouvelles normes soient en cours, il est raisonnable de s'attendre à une explication détaillée du système structural proposé pour établir la conformité au code du bâtiment et aux normes connexes. Il existe dans le code du bâtiment un mécanisme qui permet cela, comme le mentionne la section 4.1

ci-dessous. Des dispositions précises du CBO en matière de structure sont soulignées dans la section 4.2. D'autres domaines de conception qui doivent également être abordés sont indiqués à la section 4.4. Les renseignements supplémentaires qui doivent figurer sur les plans de structure ou dans le devis préliminaire d'un projet sont indiqués dans la section 4.5 ci-dessous.

Conformément à l'article 1.1.2.2 de la division A du CBO, les bâtiments de plus de trois étages ou dont la superficie est supérieure à 600 m² doivent être conçus conformément à la partie 4 de la division B du CBO.

D'autres détails techniques sur la conception des structures des bâtiments en bois de grande hauteur sont disponibles dans le document de FPInnovations intitulé *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* (GBGH/FPI) publié en 2014. Des agents du bâtiment s'appuient régulièrement sur ce document, ainsi que sur d'autres rapports de recherche produits par des experts de FPInnovations, pour obtenir du soutien technique sur les bâtiments en bois de grande hauteur.

4.1. PRINCIPE DE LA CONFORMITÉ AU CODE

Pour que la conception soit conforme au plan structurel, il faut montrer qu'elle est conforme au CBO et à toute autre norme de matériaux applicable de l'Association canadienne de normalisation (CSA). Les structures en bois de grande hauteur ne sont peut-être pas mentionnées spécifiquement dans la norme CSA O86, mais elles peuvent être conçues conformément à l'article 4.3.2 de la norme CSA O86-14, **Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction**, qui stipule qu' :

« on peut faire appel à des méthodes nouvelles ou spéciales de conception ou de construction des charpentes en bois ou des éléments de charpentes non visés par cette norme si ces concepts sont fondés sur des principes d'analyse et d'ingénierie, ou sur des données fiables, ou les deux, qui assurent la sécurité et la tenue en service prévues des charpentes ainsi conçues. »

Les nouvelles dispositions ajoutées à la mise à jour n° 1 de la norme CSA O86-14 se rapportant à la conception en bois lamellé-croisé sont déjà adoptées dans l'édition 2015 du Code national du bâtiment (CNB) et devraient aussi l'être dans les prochains codes provinciaux du bâtiment au Canada.

Le paragraphe B-4.1.1.3. 1) *Design Requirements* (Exigences de calcul) du CBO stipule que :

« Buildings and their structural members and connections...shall be designed to have sufficient structural capacity and structural integrity to safely and effectively resist all loads, effects of loads and influences that may reasonably be expected, having regard to the expected service life of buildings, and shall in any case satisfy the requirements of this Section. » (Trad. : *Les bâtiments, leurs éléments structuraux et leurs connections [...] doivent être calculés de manière à avoir une résistance et une intégrité structurales suffisantes pour supporter effectivement et en toute sécurité les charges, effets des charges et autres sollicitations pouvant être raisonnablement prévus, compte tenu de la durée utile de ces bâtiments, et doivent, dans tous les cas, remplir les exigences de la présente Section.*)

Les conceptrices et concepteurs ont ainsi les bases pour les charges et de la résistance selon les termes du CBO et des normes de matériaux.

La conception doit respecter les exigences en matière d'états-limites ultimes et d'états-limites de service conformément au CBO.

4.2. CONFORMITÉ AU CODE DU BÂTIMENT DE L'ONTARIO

Le Code du bâtiment de l'Ontario est un code axé sur les objectifs. Ce format vise à aider les utilisatrices et utilisateurs du Code du bâtiment à comprendre le « pourquoi » des exigences du Code, de même que le « quoi ».

La conformité est assurée en appliquant une « solution acceptable » ou une « solution de remplacement ». Les solutions acceptables sont énoncées dans la division B du Code et peuvent être de nature normative ou être fondées sur la performance. Une solution acceptable normative consisterait, par exemple, à placer un nombre déterminé de clous à une certaine distance les uns des autres. Une solution acceptable fondée sur la performance est la performance : elle invite l'utilisateur du Code à veiller à ce que sa méthode de fixer le toit à la maison assure une même résistance aux mêmes charges dues au vent, à la neige et à la pluie que celle de la méthode normative.

Si une « solution de remplacement » est appliquée, la conceptrice ou le concepteur doit montrer que l'objectif (tel qu'illustré dans l'énoncé fonctionnel) sera atteint par un quelconque moyen que la conceptrice et le concepteur est en mesure de soutenir/prouver tout en atteignant le même niveau de performance ou un niveau supérieur que la solution acceptable. Les codes axés sur les objectifs sont plus souples et sont mieux adaptés à l'innovation, car ils offrent aux utilisateurs du Code plus d'information pour évaluer les solutions de remplacement en fonction des exigences du Code.

Le CBO établit deux voies pour obtenir les approbations du code : les solutions acceptables et les solutions de remplacement. Voir l'article A-1.2.1.1. 1).

4.2.1. SOLUTIONS ACCEPTABLES (DIVISION B)

La Division B du CBO contient des solutions acceptables, et une conception qui respecte les exigences de la Division B est réputée être une solution acceptable. D'après la note d'annexe A-1.2.1.1. 1) a) :

« If a building design (p. ex. material, component, assembly or system) can be shown to meet all provisions of the applicable Acceptable Solutions in Division B (p. ex. it complies with the applicable provisions of a references standard), it is deemed to have satisfied the objectives and functional statements linked to those provisions and thus to have complied with that part of the Code. In fact, if it can be determined that a design meets all the applicable Acceptable Solutions in Division B, there is no need to consult the objectives and functional statements in Division A to determine its compliance. » (*Trad. : S'il peut être démontré que la conception d'un bâtiment (matériaux, composantes, assemblages de construction ou systèmes) satisfait à toutes les dispositions des solutions acceptables pertinentes de la division B (si, par exemple, elle est conforme à toutes les dispositions pertinentes d'une norme incorporée par renvoi), on juge que la conception satisfait aux objectifs et aux énoncés fonctionnels liés aux dispositions en question et, par conséquent, qu'elle est conforme aux exigences du CNPI. En fait, si on peut déterminer qu'une conception satisfait aux exigences de toutes les solutions acceptables pertinentes de la division B, il est inutile de se reporter aux objectifs et aux énoncés fonctionnels de la division A pour déterminer la conformité de la conception.*)

Le respect de la Division B est en général un processus simple de demande et d'approbation.

4.2.2. SOLUTIONS DE REMPLACEMENT

Lorsqu'une conception ne satisfait pas aux exigences des solutions acceptables de la Division B, une solution de remplacement est exigée, ce qui nécessite un processus d'approbation plus compliqué. D'après la note d'annexe A-1.2.1.1. b) du CBO, une solution de remplacement doit produire au minimum le même niveau de performance qu'une solution acceptable conformément aux objectifs et aux énoncés fonctionnels figurant dans la norme supplémentaire SA-1 du ministère des Affaires municipales. Tel que mentionné dans l'annexe A, A-1.2.1.1 1) b) du CBO, en raison de la nature qualitative des objectifs et des énoncés fonctionnels, il n'est pas toujours possible de montrer la conformité à ceux-ci.

Catégories d'énoncé d'objectifs

La partie 2, Division A, du CBO contient les catégories d'objectifs suivants :

- (OS) Sécurité (incendie, dommages structuraux, utilisation et intrusion)
- (OH) Santé (conditions intérieures, salubrité, protection contre le bruit, limitation des vibrations et des déflexions, confinement des substances dangereuses, vie privée et vue sur l'extérieur)
- (OA) Accessibilité (circulation et installations sans obstacles)
- (OP) Protection du bâtiment (protection contre l'incendie, résistance structurale, protection des bâtiments voisins, ainsi que protection contre les dégâts d'eaux)
- (OR) Conservation des ressources (capacité en matière d'approvisionnement en eau et en énergie, et capacité de l'infrastructure)
- (OE) Intégrité environnementale (qualité de l'air, de l'eau et du sol)
- (OC) Conservation des bâtiments

Catégories d'énoncé d'objectifs

La partie 3, Division A, du CBO contient les énoncés fonctionnels des catégories suivantes :

- Feu ou explosions
- Intervention d'urgence
- Résistance structurale
- Sécurité des personnes
- Contaminants et matières dangereuses
- Qualité de l'air
- Protection contre l'humidité
- Eau potable
- Réduction au minimum des dommages
- Vie privée et vue sur l'extérieur
- Traitement des eaux usées
- Sécurité dans les piscines
- Conservation des ressources
- Conversion ainsi que modification et réparation importantes de bâtiments existants
- Faibles émissions de gaz à effet de serre.

La conception de structures en bois de grande hauteur (plus de 6 étages ou plus de la limite imposée de 20 m de hauteur) nécessite une solution de remplacement conforme au CBO. Voici une liste simplifiée des étapes à suivre pour évaluer une solution de remplacement.

1. Identification des solutions acceptables stipulées dans la division B
2. Identification des objectifs et des énoncés fonctionnels applicables
3. Évaluation du niveau de performance exigé dans les dispositions applicables de la division B
4. Évaluation du niveau de performance de la solution de remplacement proposée
5. Identification des hypothèses et des facteurs limitatifs ou restrictifs par rapport aux objectifs et aux énoncés fonctionnels
6. Identification des méthodes d'essai, des études techniques ou des paramètres de performance du bâtiment. Il pourrait s'agir de l'un des éléments suivants :
 - a. Résultats d'essai
 - b. Calculs
 - c. Modélisation mathématique
 - d. Scénarios d'incendie
 - e. Documentations d'incendie de dimensionnement
 - f. Preuve de la bonne performance

4.2.3. EXAMEN DES SOLUTIONS DE REMPLACEMENT PAR UN TIERS

Un examen par un tiers n'est pas toujours requis, mais il est recommandé que les autorités qui n'ont pas de compétences spécialisées en conception de bâtiment en bois de grande hauteur le fassent. Cet examen est mené par un expert en la matière (c.-à-d. une ingénieure ou un ingénieur en construction en bois qui a des compétences en examen de structures). Si un examen par un tiers est requis, chaque municipalité établira éventuellement ses propres exigences quant à l'élaboration et à la méthode d'examen suivie par un tiers. Toutefois, en général, c'est au demandeur ou au chef du service du bâtiment d'entamer les démarches, ce qui doit être fait le plus tôt possible à l'étape de la conception. L'examinatrice indépendante ou l'examineur indépendant doit par ailleurs être incité(e) à aider à trouver des solutions appropriées au-delà du simple signalement des erreurs et des omissions. La conception des structures de bois de grande hauteur nécessitera la réalisation d'une modélisation non classique et d'un examen complet par un tiers indépendant de la conception et de la construction. L'utilisation de structures hybrides dotés de systèmes latéraux en béton ou en acier avec systèmes gravitaires en bois simplifiera considérablement le calcul des charges latérales (et par conséquent le processus d'approbation) (FPInnovations, 2014).

4.2.4. OBJECTIFS ET ÉNONCÉS FONCTIONNELS

Les énoncés particuliers se rapportant aux solutions de remplacement pour les bâtiments en bois de grande hauteur sont les suivantes. Voici les objectifs figurant dans la partie 2, division A, du CBO qui concernent les règles de calcul des structures des bâtiments en bois de grande hauteur :

- OS2 – Sécurité structurale
 - OS2.1 – Charges maximales admissibles
 - OS2.2 – Charges maximales de la fondation
 - OS2.3 – Dommages aux éléments du bâtiment ou leur détérioration
 - OS2.4 – Vibration et déflexion
 - OS2.5 – Stabilité structurale
 - OS2.6 – Excavation
- OH4 – Limitation des vibrations et des déflexions
- OP2 – Résistance structurale du bâtiment
 - OP2.1 – Charges maximales admissibles
 - OP2.2 – Charges maximales de la fondation
 - OP2.3 – Dommages aux éléments du bâtiment ou leur détérioration
 - OP2.4 – Vibration et déflexions
 - OP2.5 – Stabilité structurale
 - OP2.6 – Mouvement de la fondation
- OP4 – Protection des bâtiments voisins contre les dommages structuraux
 - OP4.1 – Tassement de la fondation
 - OP4.2 – Effondrement du bâtiment
 - OP4.3 – Choc
 - OP4.4 – Excavation

Voici les énoncés fonctionnels figurant dans la partie 3 de la division A du CBO qui concernent les règles de calcul des structures des bâtiments en bois de grande hauteur :

- F20 – Supporter les charges et les forces prévues et y résister
- F21 – Limiter les variations dimensionnelles ou s’y adapter
- F22 – Limiter le mouvement sous l’effet des charges et des forces prévues
- F23 – Maintenir l’équipement en place en cas de mouvement de la structure
- F80 – Résister à la détérioration causée par les conditions d’utilisation prévues
- F82 – Réduire au minimum le risque de performance inadéquat découlant d’un entretien inapproprié ou inexistant

Le **GBGH/FPI** indique également les éléments qui méritent d’être pris en considération mais qui ne sont pas nécessairement mentionnés dans les objectifs ou dans les énoncés fonctionnels du CBO.

- la combustibilité
- la protection des vides de construction combustibles
- les éléments coupe-feu
- les joints mécaniques et de gicleurs automatiques flexibles
- le comportement des murs de contreventement en panneaux en bois massifs et de leurs joints
- l’effet de taille de la construction avec des panneaux en bois massifs
- les adhésifs à faible pression dans les assemblages de panneaux en bois massifs
- le comportement de raccordement des panneaux en bois massifs
- les facteurs à prendre en considération en matière de préfabrication et de montage
- la protection contre les intempéries

Pour les énoncés se rapportant au feu, voir le chapitre 3 ci-dessus.

4.2.5. NIVEAU DE PERFORMANCE REQUIS

Tel que mentionné ci-dessus au début de la section 4.2, le CBO est un code axé sur les objectifs. Toute solution de remplacement proposée pour les bâtiments en bois de grande hauteur en Ontario doit fournir le même niveau de performance qu'une solution acceptable, et ce, conformément aux objectifs et aux énoncés fonctionnels énoncés dans la division A du CBO. Comme le CBO n'indique pas de niveau de performance précis, une conception fondée sur la performance devrait renvoyer à d'autres normes ou codes tels que la norme ASCE 7-10. La norme ASCE 7-10 pour la conception fondée sur la performance stipule que l'ingénieur ou l'ingénieure doit montrer, au moyen d'analyses, d'essais ou d'une combinaison des deux, que la structure est aussi fiable ou plus fiable qu'une structure conçue selon le principe de résistance (c.-à-d. objectifs). Toutefois, la partie 4 de la division B du CBO est rédigée principalement comme un code axé sur la performance (à l'exception du tableau 4.1.8.6 sur les irrégularités structurelles figurant dans la division B du CBO, qui est de nature normative). Cela ne signifie pas qu'une solution acceptable pour la conception des structures de bâtiments en bois de grande hauteur n'est pas requise, compte tenu que de nombreux systèmes ne sont pas entièrement traités dans le CBO ou dans la norme CSA O86 (par exemple, les applications du bois lamellé-croisé sont limitées dans la norme CSA O86).

4.3. ÉTATS-LIMITES ULTIMES ET ÉTATS-LIMITES DE SERVICE

L'article B-4.1.1.3 du CBO stipule qu'un bâtiment doit être conçu pour résister à toutes les charges et que le bâtiment et les éléments structuraux doivent être conçus pour rester en service. Les sections suivantes du CBO sont soulignées ici parce qu'il pourrait être demandé de les traiter dans une demande de solution de remplacement. Il est recommandé de consulter le **GBGH/FPI**.

4.3.1. EXIGENCES GÉNÉRALES

Le paragraphe B-4.1.1.4.1) du CBO stipule que :

« ...buildings and their structural members shall be designed in conformance with the procedures and practices provided in this Part. » (*Trad. : ...les bâtiments et leurs éléments structuraux doivent être conçus conformément aux méthodes et aux pratiques énoncées dans la présente partie.*)

Le paragraphe B-4.1.1.4. 2) du CBO stipule de plus que :

« ...buildings and their structural components falling within the scope of Part 4 that are not amenable to analysis using a generally established theory may be designed by
a) evaluation of a full-scale structure or a prototype by a loading test, or
b) studies of model analogues. » (*Trad. : ...les bâtiments et leurs éléments structuraux relevant du champ d'application de la partie 4 qui ne se prêtent pas à une analyse fondée sur une théorie généralement reconnue peuvent être conçus en a) évaluant une structure à échelle réelle ou un prototype mis à l'essai ou b) menant des études sur des modèles analogiques.*)

Autrement dit, la conception doit être conforme aux méthodes énoncées dans le CBO ou, pour les systèmes qui ne sont autrement pas traités dans le CBO, la conformité doit être établie par des essais ou d'autres études. La présentation d'une solution de remplacement peut s'avérer nécessaire lorsque le système proposé se situe en dehors des solutions acceptables énoncées dans la partie 4 de la division B du CBO.

Le paragraphe B-4.1.1.3. 1) du CBO traite de la prévention de l'effondrement progressif en mentionnant l'« intégralité structurelle ». De plus, tel qu'indiqué à l'article 4.3.3 de la norme CSA O86-14, *Règles de calcul des charpentes en bois*, la conception doit prévenir l'effondrement généralisé en cas de rupture de charge :

« The general arrangement of the structural system and the interconnection of its members shall provide positive resistance to widespread collapse of the system due to local failure. » (*Trad. : L'agencement des éléments du système structurel et leurs interactions doivent assurer la résistance à l'effondrement généralisé du système en cas de rupture localisée.*)

Comme il sera montré plus bas, pour atteindre cette intégrité structurale, la conception en fonction des charges gravitaires et latérales (vents et séismes) et d'un éventuel effondrement progressif dépendra de la capacité des éléments structuraux et des assemblages à absorber les chocs et à transférer les charges.

4.3.2. CHARGES SPÉCIFIÉES ET CALCUL AUX ÉTATS-LIMITES

La liste suivante des sections est soulignée ici pour rappeler les éléments de conception de bâtiments en bois de grande hauteur qui méritent d'être examinés. Les éléments sont présentés dans l'ordre dans lequel ils apparaissent dans l'édition 2012 du CBO, partie 4, division B. Il est recommandé d'examiner la conception afin de confirmer que les éléments qui doivent l'être ont été pris en compte. Ces éléments pourraient ne pas nécessiter de présenter une solution de remplacement.

Tenue en service et retrait

Le paragraphe B-4.1.2 du CBO contient les catégories de charges qui doivent être considérées. Bien que toutes les catégories soient pertinentes, les conceptions de bâtiment en bois de grande hauteur doivent obligatoirement tenir compte des effets « T » attribuables aux retraits et aux variations d'humidité, tel que mentionné dans le paragraphe B-4.1.2.1. 1) du CBO. « T » est un cas de charge se rapportant aux effets imputables aux contractions, aux dilations ou aux déflexions provoqués par les variations de température, les retraits, les variations d'humidité, le fluage et/ou le tassement du sol. Si le système structurel est conçu pour éviter les effets de charge découlant d'un retrait différentiel, il n'y a alors aucun effet de charge découlant d'une déformation imposée, ce qui doit être indiqué par le concepteur. Autrement, il faut prendre en compte les exigences de calcul aux états-limites pour les facteurs de charge sur les déformations énoncées au paragraphe 4.1.3.2. 4).

La stabilité de l'ensemble de la structure ainsi que les stabilités latérale, en torsion et locale sont des exigences aux termes du paragraphe B-4.1.3.2. 11) du CBO.

Les effets d'oscillation et les effets P-delta éventuels doivent être pris en compte dans la conception conformément au paragraphe B-4.1.3.2. 12) du CBO.

Les états-limites de services doivent être vérifiés conformément au paragraphe B-4.1.3.4. 1) du CBO et aux normes de matériaux pertinentes (notamment la norme CSA O86). L'alinéa B-4.1.3.5. 1) d) du CBO stipule que le retrait doit être pris en compte dans le calcul des déflexions.

Les limites de déformation latérale du bâtiment provoquée par les charges éoliennes et gravitaires sont précisées aux paragraphes B-4.1.3.5. 2) et 3) du CBO. Les exigences à respecter quant aux déformations latérales sous charges sismiques sont indiquées au paragraphe B-4.1.3.5. 5) du CBO. Si du bois massif est utilisé comme système de résistance aux charges gravitaires, il doit être conçu pour supporter la charge latérale qui lui est imposée et résister aux dérives latérales provoquées par des charges sismiques.

Les vibrations de plancher sont limitées ou n'ont « aucun effet néfaste considérable sur l'occupation visée du bâtiment », tel que mentionné au paragraphe B-4.1.3.6. 1) du CBO.

L'article 5.1.3 et la section 5.4 de la norme CSA O86-14 contiennent les exigences relatives au calcul pour le bois aux états-limites de service.

Effets des charges

Les charges permanentes figurant à la sous-section B-4.1.4 du CBO incluront les charges de cloison indiquées aux paragraphes 1) à 5). Les conceptrices et concepteurs doivent vérifier que l'exigence minimale de 1 kPa (énoncée dans le code) est suffisante pour l'usage et l'occupation proposés du bâtiment.

Les charges utiles indiquées à la sous-section B-4.1.5 du CBO peuvent être multipliées par le coefficient de réduction de la charge utile conformément à l'article B-4.1.5.8 du CBO pour les éléments qui soutiennent de grandes aires conformément aux exigences du CBO. Ce coefficient ne devrait cependant pas s'appliquer à des structures de dalles bidirectionnelles.

Les charges utiles imposées aux garde-corps figurant à l'article B-4.1.5.14 du CBO devront être examinées pour les éléments et les forces d'assemblage des sous-structures en bois. Voir la section 4.4.5 ci-dessous. Soulignons que les murs autour des cages d'escaliers servent de garde-corps conformément à l'article B-4.1.5.16 du CBO.

Les forces exercées sur les pare-feux sont indiquées à l'article B-4.1.5.17 du CBO.

L'accumulation d'eau de pluie sur les toits plats est déterminée conformément à l'article B-4.1.6.4.

L'article 5.1.2 de la norme CSA O86-14 contient les exigences de calcul aux états-limites ultimes pour le bois.

Encore une fois, tel que mentionné ci-dessus, ces éléments ne requièrent pas nécessairement une solution de remplacement, mais devraient être pris en compte durant l'examen pour déterminer s'ils sont nécessaires et, si oui, pour veiller à ce qu'ils soient pris en compte dans la conception.

4.3.3. CONCEPTION DU SYSTÈME GRAVITAIRE

Les structures conçues pour résister à des charges gravitaires doivent être conformes aux normes de matériaux et tenir compte des effets P-delta. Au paragraphe 97. c) du commentaire J, *Calcul fondé sur les effets dus aux séismes*, du CNB 2010, on mentionne que :

« The effects of the interaction of gravity loads with the displaced configuration of the structure will increase lateral displacements and moments throughout the structure; these additional moments reduce the capacity of the structure to resist lateral loads. » (*Trad. : Les effets de l'interaction des charges gravitaires et de la configuration de la structure déplacée augmenteront les mouvements latéraux et les moments dans l'ensemble de la structure; ces moments supplémentaires réduisent la capacité de résistance de la structure aux charges latérales.*)

De plus, les effets P-delta doivent être pris en considération dans les structures ductiles lorsque les déplacements entrent en phase inélastique (voir « Conception latérale » ci-dessous).

4.3.4. CONCEPTION DU SYSTÈME LATÉRALE – INTRODUCTION

La méthode pour concevoir des bâtiments en bois de grande hauteur qui résistent à des charges latérales et gravitaires est présentée à la figure 4.1. Le chemin dépend du type de système de résistance aux charges latérales (c.-à-d. système en bois, en acier ou en béton). La différence fondamentale entre les chemins est la disponibilité des valeurs R_d et R_o des systèmes latéraux en bois conçus pour résister aux séismes ou de tout autre système latéral fondé sur un système gravitaire en bois et les normes de matériaux CSA applicables.

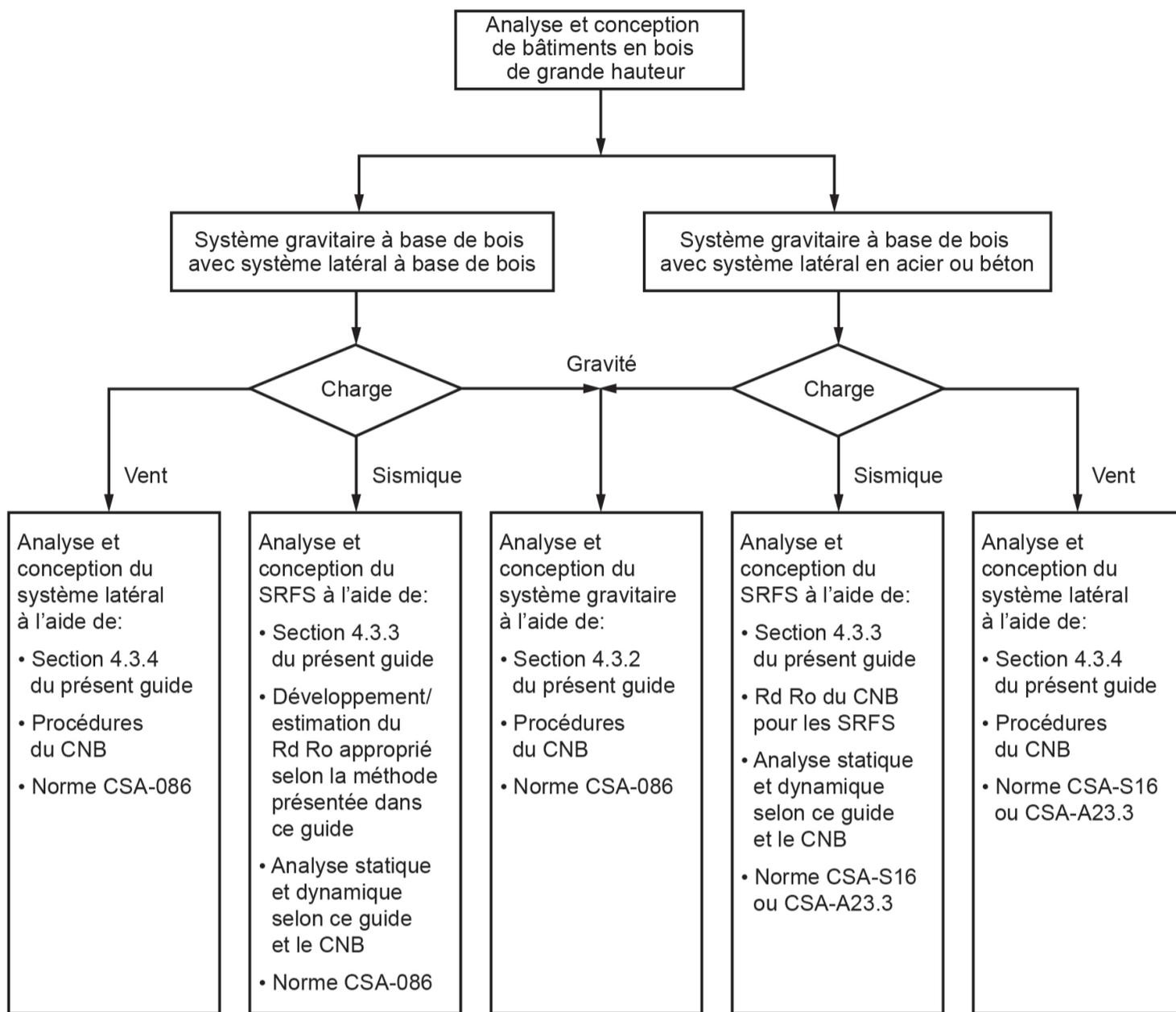


Figure 4.1 – Graphique de construction en bois de grande hauteur – les sections visées par les renvois se trouvent dans le GBGH/FPI (Source : Figure 1, section 4.3, GBGH/FPI) Remarque : dans la figure, la référence « présente ressource » renvoie à la ressource GBGH/FPI.

Tel que mentionné dans la section précédente, les effets P-delta doivent être pris en compte dans l'interaction des charges gravitaires et des charges latérales. De plus amples renseignements sont fournis au paragraphe 97. c) du Commentaire J, *Calcul fondé sur les effets dus aux séismes*, du CNB.

4.3.5. CONCEPTION EN FONCTION DES CHARGES LATÉRALES – VENT

La sous-section B-4.1.7 du CBO contient les exigences relatives aux charges dues au vent. Un bâtiment en bois de grande hauteur doit être conçu pour résister aux charges et aux effets dus au vent conformément à la sous-section B-4.1.7 du CBO.

Il est mentionné à l'article B-4.1.7.2 du CBO que les effets dynamiques doivent être pris en compte si la hauteur du bâtiment fait plus de quatre fois la largeur effective minimale, ou plus de 60 m de haut, et dans le cas des bâtiments sensibles aux vibrations provoquées par le vent, surtout si la fréquence propre la plus faible est inférieure à 1 Hz (mais supérieure à 0,25 Hz). Des méthodes expérimentales ou des analyses dynamiques sont alors nécessaires (telles qu'une méthode dynamique ou en soufflerie) pour déterminer les effets du vent. Cet examen doit être fait, surtout dans le cas des bâtiments plus légers. Une méthode en soufflerie est nécessaire dans tous les cas pour les bâtiments dont la fréquence propre la plus faible est inférieure à 0,25 Hz ou quand la hauteur d'un bâtiment fait plus de six fois sa largeur effective minimale. Le Commentaire I – *Charges et effets dus au vent* du CNB contient des détails sur la

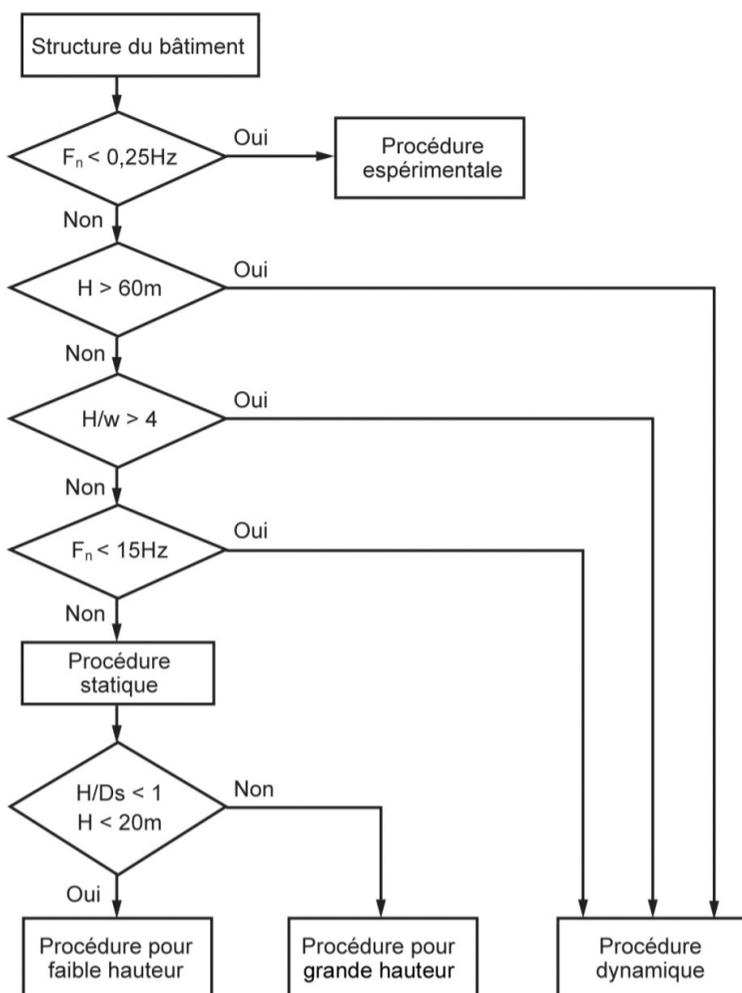


Figure 4.2 – Méthodes d’analyse du vent (Source : Figure 1, section 4.3, GBGH/FPI)

méthode d’analyse du vent. Le bâtiment sera conçu pour résister aux effets les plus extrêmes de charges dues au vent et aux séismes.

4.3.6. CONCEPTION EN FONCTION DES CHARGES LATÉRALES – SÉISMES

Le CBO contient des objectifs précis de performance des bâtiments conçus pour résister à des séismes. Tel que mentionné au paragraphe 3 1) 2) 3) du Commentaire J, *Calcul fondé sur les effets dus aux séismes*, du CNB, ces objectifs sont :

1. Protéger la vie et assurer la sécurité des occupants du bâtiment et celles du grand public lorsque le bâtiment est soumis à de fortes secousses du sol.
2. Limiter les dommages aux bâtiments durant de faibles ou moyennes secousses.
3. Veiller à ce que, après une catastrophe, le bâtiment puisse continuer d’être occupé et d’être fonctionnel à la suite d’une forte secousse du sol, même si des dommages minimes au bâtiment sont à prévoir.

Un bâtiment en bois de grande hauteur doit être conçu pour résister aux charges et aux effets associés à un séisme conformément à la sous-section B-4.1.8 du CBO. Tel que mentionné au paragraphe 5 du Commentaire J, *Calcul fondé sur les effets dus aux séismes*, du CNB 2010 :

« It is generally considered both unnecessary and uneconomical to design and construct buildings that will not be damaged during the [event]. The primary objective of seismic design is to provide an acceptable level of safety for building occupants and the general public as the building responds to strong ground motion; in other words, to minimize loss of life. » (*Trad. : La conception et la construction de bâtiments qui ne seront pas endommagés durant l’[événement] sont considérées à la fois inutiles et non économiques. L’objectif principal d’une conception sismique est d’assurer un niveau acceptable de sécurité des occupants d’un bâtiment et du grand public pendant que le bâtiment subit un fort mouvement fort du sol; autrement dit, il s’agit de minimiser les pertes de vies.*)

Le système de résistance aux forces sismiques (SRFS) d’un bâtiment est le système responsable de la résister aux effets des charges latérales dues aux séismes. Le SRFS, qui peut être en bois, en béton ou en acier, vise à dissiper l’énergie sismique ainsi qu’à résister aux forces latérales provoquées par un séisme.

Le paragraphe 6 du Commentaire J du CNB 2010 stipule que :

« SFRS that do not have a significant inelastic energy dissipation capacity, i.e. those with limited ductility, are subject to higher loads and have less stringent detailing requirements...The capacity of various kinds of SFRS to resist the anticipated seismic loads is achieved by applying the design and detailing provisions contained in the NBC [2010] and in the referenced material standards » (*Trad. : Les SRFS qui n'ont pas une grande capacité de dissipation de l'énergie inélastique, c'est-à-dire ceux ayant une ductilité limitée, sont soumis à des charges plus élevées et à des exigences de détails moins rigoureuses...La capacité des différents SRFS de résister aux charges sismiques prévues est assurée par l'application des dispositions en matière de calcul et de détail énoncées dans le CNB [2010] et dans les normes de matériaux mentionnées.*)

Comme pour les systèmes SRFS conçus avec d'autres matériaux (voir ci-dessous), les bâtiments en bois de grande hauteur doivent être conçus conformément aux principes de capacité nominale. En ce qui concerne les bâtiments en bois, les assemblages aux emplacements déterminés sont conçus non seulement en fonction des charges sismiques calculées, mais aussi en vue d'absorber l'apport énergétique sismique, tout en conservant l'intégrité structurale globale. Le but est de prévenir les modes de ruptures fragiles consécutives (dangereuses, soudaines) à un séisme.

Le paragraphe B-4.1.3.2. 10) du CBO stipule que les combinaisons de charges requises pour les séismes doivent inclure la pression horizontale des terres attribuable aux charges sismiques.

Il y a actuellement cinq SRFS couramment utilisés dans les bâtiments en bois de grande hauteur qui ne sont pas explicitement mentionnés dans le CBO. Cette situation changera vraisemblablement avec le temps à mesure que de nouveaux types de SRFS seront proposés et mis à l'essai. Voici quelques types :

1. Mur de contreventement en ossature légère avec planchers et murs de contreventement entièrement en bois massifs;
2. Mur de contreventement de charpente à claire-voie avec planchers et murs de contreventement entièrement en bois massifs;
3. Structures à tube avec systèmes hybrides comportant des noyaux en béton ou en acier avec des planchers et des poteaux/poutres en bois massifs (système gravitaire);
4. Structures stabilisatrices avec noyaux contreventés et éléments de tension et de compression sur le pourtour; et
5. Éléments de murs de contreventement post-tensionnés à la verticale ou charpente rigides avec capacité de basculement contrôlé et d'autocentrage.

La sous-section B-4.1.8 du CBO, *Earthquake Loads and Effects* (Charges et effets dus aux séismes), contient des exigences détaillées pour les conceptions axées sur la capacité. La conception d'un SRFS dépend de nombreuses variables telles que l'emplacement et le type de sol.

Éléments structuraux ne faisant pas partie du SRFS

Les éléments d'un SRFS se distinguent des éléments structuraux qui ne sont pas conçus pour résister aux forces latérales provoquées par un séisme. Au paragraphe B-4.1.8.3. 5) du CBO, il est exigé que tous les éléments de charpente qui ne font pas partie du SRFS :

« ...behave elastically or to have sufficient non-linear capacity to support their gravity loads while undergoing earthquake-induced deformations. (*Trad. :...fassent preuve d'élasticité ou d'une capacité non linéaire suffisante pour supporter les charges gravitaires pendant qu'ils subissent des déformations provoquées par un séisme.*)

De plus, les éléments rigides ne faisant pas partie du SRFS, comme le béton, doivent être isolés du bâtiment de façon à éviter toute interaction durant un séisme, autrement ils doivent être conçus pour faire partie du SRFS (paragraphe B-4.1.8.4. 6) du CBO). La rigidité de ces éléments qui ne font pas partie du SRFS pourrait, toutefois, influencer le comportement du bâtiment durant un séisme et doit être examinée conformément au paragraphe B-4.1.8.4. 7) du CBO afin de déterminer l'effet sur la période de construction; exclus en vue d'éventuelles améliorations des structures irrégulières ou du comportement en torsion, mais inclus si cette rigidité risque d'avoir un effet néfaste sur le SRFS. Ces éléments non structurels pourraient avoir une incidence sur les structures en bois étant donné leur rigidité relative et leur incidence sur la période de construction (section 4.3.3.1 du **GBGH/FPI**).

Modélisation structurelle des séismes

La plupart des bâtiments à ossature de bois sont de basse hauteur (comptant au plus quatre étages) et ne sont pas conçus en général par une méthode de modélisation. Les bâtiments à ossature de bois de hauteur moyenne (cinq ou six étages) nécessitent une modélisation et une analyse dynamique. La conception de bâtiments de hauteur moyenne à podium en béton pour résister aux séismes est encore mal comprise par un grand nombre de conceptrices et concepteurs. Le comportement d'un bâtiment en bois de grande hauteur avec son propre SRFS sera bien différent. Le paragraphe B-4.1.8.3. 8) du CBO stipule que le modèle :

« ...shall be representative of the magnitude and spatial distribution of the mass of the building and of the stiffness of all elements of the SFRS... » (*Trad. : doit être représentatif de l'ordre de grandeur et de la répartition spatiale du poids du bâtiment et de la rigidité de tous les éléments du SRFS ...*)

L'interaction entre le bois et le béton ou tout autre matériau du SRFS sera modélisée, le cas échéant, pour déterminer les effets sur la période de construction, le comportement en torsion et les déformations. La masse et la rigidité de ces éléments qui ne font pas partie du SRFS peuvent avoir un effet sur la période de construction et pourraient devoir être pris en compte. (Ceci est similaire à la prise en compte de la rigidité des panneaux de gypse des murs de contreventement en bois dans les ouvrages à charpente légère). Toutefois, ces effets devraient être minimes dans les bâtiments en bois de grande hauteur (surtout dans les constructions à poteaux et à poutres), tandis que le paragraphe B-4.1.8.3. 8) du CBO vise les murs de remplissage en maçonnerie ou en brique qui peuvent apporter intrinsèquement plus de rigidité au bâtiment, attirant une plus grande charge. Cela inclut les éléments dans les structures avec podium en béton ou en acier.

Irrégularités structurelles

À l'article B-4.1.8.6 du CBO sont définis les types de caractéristiques désignées comme étant des irrégularités dans la conception de bâtiments résistant aux séismes. Pour de plus amples renseignements, voir ci-dessous la section Méthodes d'analyse.

Méthodes d'analyse

L'article B-4.1.8.7 du CBO stipule qu'une analyse dynamique soit réalisée sauf si les points suivants s'appliquent, auquel cas la méthode de calcul de la force statique équivalente doit être utilisée :

1. Lorsque $I_E F_a S_a(0,2)$ est inférieur à 0,35;
2. Pour les structures ordinaires de moins de 60 m de haut et dont la période latérale fondamentale, T_a , est moins de 2 s dans chacune des deux directions orthogonales; ou
3. Pour les structures irrégulières, de type 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 8 telles que définies au tableau 4.1.8.6., qui mesurent moins de 20 m de haut et dont la période latérale fondamentale, T_a , est de moins de 0,5 s dans chacune des deux directions orthogonales.

Les bâtiments de grande hauteur peuvent être analysés en utilisant la méthode de calcul de la force statique équivalente s'ils respectent toutes les exigences et n'ont pas de « couplage important des modes latéral et en torsion » (**GBGH/FPI** 2014, section 4.3.3.2.1). Des méthodes d'analyse dynamiques sont décrites en détail dans la partie 4, division B, du CBO, dans le Commentaire J du CNB 2010 et dans la section 4.3.3.2.2 du **GBGH/FPI**.

Autres SRFS

L'article B-4.1.8.9 du CBO indique le coefficient de modification de force lié à la ductilité, R_d , et le coefficient lié à la surrésistance, R_o , pour de nombreux types de SRFS ainsi que les limites de hauteur de chaque système pour le béton, le bois, l'acier, la maçonnerie et l'acier de faible épaisseur. Si le SRFS n'est pas un système en bois pour un bâtiment en bois de grande hauteur, la conception devra être conforme aux exigences du SRFS non en bois. En ce qui concerne les structures hybrides avec une combinaison de matériaux et/ou de types de SRFS, tels que des murs de contreventement en béton ou des contrevents en acier associés à des charpentes en bois massifs, le paragraphe B-4.1.8.9. 3) du CBO stipule que :

« For combinations of different types of SRFS acting in the same direction in the same storey, $R_d R_o$ shall be taken as the lowest value of $R_d R_o$ corresponding to these systems.” (*Trad. : Pour les combinaisons de types de SRFS différents agissant dans la même direction sur le même étage, $R_d R_o$ seront considérés comme étant la valeur la plus faible de $R_d R_o$ correspondant à ces systèmes.*)

Bien qu'il soit plus simple d'utiliser un SRFS qui n'est pas en bois, la conception doit tenir compte du transfert de charges latérales des assemblages entre le système gravitaire en bois et le SRFS non en bois tout en tenant compte du mouvement différentiel entre les deux matériaux dû au retrait.

Pour les systèmes qui ne figurent pas au tableau 4.1.8.9 du CBO, le paragraphe B-4.1.8.9.5) du CBO permet, par voie d'essais, de recherches et d'analyses, que d'autres types de SRFS soient acceptés comme ayant les valeurs R_d et R_o correspondant aux types équivalents figurant au tableau. À moins que d'autres valeurs soient fournies dans les normes de conception citées applicables aux éléments, les valeurs à utiliser sont $R_d=1.0$ et $R_o=1.3$.

Le tableau 4.1.8.9 n'indique que cinq types de SRFS pour les structures en bois, qui doivent être conçus et spécifiés conformément à la norme CSA O86. Il s'agit de deux types de murs de contreventement recouverts, de deux types de charpentes contreventés ou de charpentes rigides à ductilité différente, et d'« autres » systèmes en bois qui ne sont pas mentionnés. Les murs de contreventement en bois lamellé-croisé ne sont pas encore inclus dans le tableau, bien qu'ils soient traités dans le Manuel CLT de FPIInnovations (Gagnon et Pirvu, 2011) et dans la mise à jour n° 1 de la norme CSA O86-14 aux fins de conception et de spécifications fondés sur des recherches, des modèles analytiques et des essais réalisés entre 2006 et 2013 au Canada et ailleurs dans le monde. Les limites de longueur (rapport de forme) des murs de contreventement en CLT et le calcul des assemblages pour un comportement élastique et ductile sont fournies dans la norme CSA O86. Les murs de contreventement en CLT qui ne dépassent pas les limites de rapports de forme sont permis pourvu que $R_d=2.0$ et $R_o=1.5$ soient utilisés. Les murs de contreventement en CLT qui ne sont pas conformes aux exigences sont permis à condition d'utiliser une combinaison de $R_d R_o=1.3$ conformément à la norme CSA O86 et au paragraphe B-4.1.8.15. 7) du CBO.

Pour ce qui est des nouveaux systèmes, pour lesquels aucun coefficient R n'a été établi, il n'existe au Canada aucune méthode particulière pour aider à établir des coefficients de ductilité pour ces systèmes. Des méthodes, proposées dans d'autres pays, sont décrites brièvement dans la section 4.3 du **GBGH/FPI**. Des établissements de recherche et d'essais reconnus, tels que FPIInnovations, sont capables de déterminer ces valeurs, comme dans le cas des valeurs de conception du CLT susmentionnées.

L'article B-4.1.8.10 du CBO énonce des restrictions supplémentaires au SRFS, notamment l'utilisation limitée d'étages faibles dans les conceptions (irrégularité de type 6 aux termes du paragraphe B-4.1.8.10. 1) du CBO), et l'utilisation limitée des types 4 (discontinuité en plan dans les systèmes de résistance aux forces latérales verticales) et 5 (décalages hors plan) aux termes du paragraphe B-4.1.8.10. 3) du CBO.

L'article B-4.1.8.10. 4) du CBO interdit les structures à ossature en bois de plus de 4 étages qui présentent des irrégularités de types 4 et 5. Les irrégularités de types 4 et 5 seraient sans doute admissibles si une solution de remplacement était proposée, mais il est préférable en ingénierie d'éviter ces deux types d'irrégularités compte tenu que des transferts de forces latérales simplifiés sont possibles sans recourir à de grandes poutres de transfert.

La période de construction latérale fondamentale peut être déterminée par la Méthode de calcul de la force statique équivalente lorsque la méthode est valide (tel que mentionné ci-dessus) conformément au paragraphe B-4.1.8.11. 3) du CBO. Le calcul de la période est présenté dans ce paragraphe selon différents types de SRFS (p. ex. charpentes rigides, charpentes contreventées ou murs de contreventement).

Le paragraphe B-4.1.8.11. 5) du CBO stipule que :

« The higher mode factor, M_v , and its associated base overturning moment reduction factor, J , shall conform to Table 4.1.8.11. » (*Trad. : Le coefficient de mode supérieur M_v , et le coefficient J de réduction du moment de renversement à la base qui y est associé doivent être conforme aux exigences du tableau 4.1.8.11*)

La note (5) du tableau 4.1.8.11 du CBO indique que les systèmes hybrides peuvent devoir être soumis à une analyse dynamique conformément à l'article B-4.1.8.12 du CBO.

Si une analyse dynamique linéaire est effectuée, il faut, en vertu de la clause B-4.1.8.12. 1) a) du CBO, qu'elle soit réalisée selon la méthode modale du spectre de réponse ou la méthode temporelle linéaire par intégration numérique. De plus amples renseignements sur l'approche de modélisation suivie, notamment l'application des moments de torsion accidentels et la mise à l'échelle, sont fournis à l'article B-4.1.8.12 du CBO.

Les déformations latérales et l'oscillation provoquées par les charges sismiques latérales doivent être calculées conformément à l'article B-4.1.8.13 du CBO et respecter les limites énoncées au paragraphe B-4.1.8.13. 3) du CBO.

Les diaphragmes ainsi que les membrures et les traverse associés doivent rester élastiques conformément au paragraphe B-4.1.8.15. 1) du CBO. Toutefois, il peut être permis que des diaphragmes en bois cèdent s'ils ont été conçus pour des niveaux de forces supérieurs avec des murs de contreventement en bois ou d'autres SRFS. Dans les cas où des diaphragmes en bois sont conçus pour céder, les éléments collecteurs, les membrures et les connexions reliant le diaphragme au SRFS doivent être conçus en fonction de la capacité du diaphragme conformément au paragraphe B-4.1.8.15. 3) du CBO et aux normes CSA se rapportant à ces éléments. La sous-section 11.8.6 de la norme CSA O86-14 exige que les éléments de transfert de charge soient conçus en tenant compte des charges sismiques qui sont 20 % plus élevées que la charge sismique nominale sur le diaphragme.

Les fondations doivent être conçues pour résister aux charges latérales du SRFS, sauf lorsqu'elles sont conçues de façon à permettre une oscillation conformément aux exigences du paragraphe B-4.1.8.16. 1) du CBO.

Le bâtiment sera conçu pour résister aux effets les plus extrêmes de charges dues au vent et aux séismes.

Les assemblages décrits ci-dessous à la section 4.4.3 sont les éléments essentiels du SRFS qui assurent un comportement correspondant à la ductilité présumée du système.

4.4. AUTRES SUJETS SE RAPPORTANT AUX STRUCTURES

4.4.1. ANALYSE ET ESSAIS

L'analyse d'un bâtiment en bois de grande hauteur diffère de celle d'un bâtiment à ossature légère de moyenne hauteur traditionnel.

Analyse latérale

Dans la pratique courante, les bâtiments à ossature légère en bois sont conçus en utilisant un ensemble d'hypothèses de diaphragme flexible ou rigide. La souplesse ou la rigidité ou non d'un diaphragme dépendra de sa rigidité par rapport au SRFS. Par contre, en général, il est présumé que les planchers en bois massifs agissent comme des diaphragmes rigides, ce qui exige presque toujours le recours à un logiciel de conception de structures pour déterminer la répartition des charges latérales relativement au SRFS.

L'analyse latérale d'un bâtiment en bois de grande hauteur peut être effectuée à l'aide d'une méthode d'analyse statique ou dynamique. Une analyse dynamique requiert un effort analytique plus considérable, mais permet en général de réduire le cisaillement total à la base calculé selon l'analyse statique ou lorsque des mesures d'analyse statiques ne sont pas acceptables. L'analyse statique peut ne pas être le bon choix dans les régions où le risque de séisme est élevé, ainsi que pour les bâtiments susceptibles de torsions ou pour les bâtiments dont la hauteur dépasse les limites indiquées à l'article B-4.1.8.7 du CBO. Voir la section 4.3.4 ci-dessus pour de plus amples renseignements.

Essais

Des essais doivent être effectués sur les nouveaux types de matériaux ou les systèmes qui ne sont pas traités dans le CBO ou dans les normes de conception de matériaux et quand l'information concernant un produit n'est pas disponible (par exemple, assemblages avec un degré de résistance au feu, rendement de l'assemblage acoustique ou assemblages sur mesure). Pour de plus amples renseignements, voir la section 4.2 du **GBGH/FPI**.

Examens par des tiers

Les examens par des tiers peuvent s'avérer nécessaires lorsqu'une présentation de solution de remplacement est prévue, et doivent être préparés à l'étape de la conception afin de simplifier le processus d'examen. Les examens par des tiers ne sont pas toujours obligatoires, mais ils sont recommandés, car les chefs de service du bâtiment ne disposeront pas tous à l'interne de connaissances spécialisées en conception de bâtiments en bois de grande hauteur.

4.4.2. CAGES D'ESCALIERS ET D'ASCENSEURS EN BOIS

Les constructions d'escaliers et d'ascenseurs en bois ne sont pas courantes en Ontario. Dans le cas des constructions en bois de 5 et de 6 étages, le CBO exige que les cages d'escalier soient de construction incombustible, par exemple en béton, en maçonnerie ou en acier avec des connexions classées. Les cages d'ascenseur peuvent être de construction combustible. Du point de vue de la construction, il est

logique de construire une cage d'ascenseur en utilisant le même système que pour la d'escalier (surtout s'ils sont structurellement reliés). De plus, de nombreux fournisseurs d'escaliers exigent que les noyaux renfermant les ascenseurs soient en acier, en béton ou en maçonnerie en raison des tolérances de mesure très rigoureuses à l'intérieur des ascenseurs (la conceptrice ou le concepteur doit confirmer auprès du fournisseur d'ascenseurs si les retraits attribuables au bois peuvent être tolérés dans ses conceptions).

Dans les bâtiments en bois massifs de grande hauteur, le CLT est le plus souvent utilisé pour les cages d'escalier et d'ascenseur. Toutefois, du bois lamellé cloué peut aussi être utilisé comme c'est couramment le cas dans les bâtiments en bois de 5 et de 6 étages dans d'autres provinces et d'autres États.

D'autres facteurs de conception à prendre en considération sont examinés ci-dessus dans la section 4.3, notamment la prise en compte des retraits, les raccourcissements élastiques et les spécifications de l'installation des entremises longitudinales dans les puits.

4.4.3. ASSEMBLAGES

Les assemblages doivent être conçus conformément à la norme CSA O86, et l'article 4.3.2 **Méthodes nouvelles ou spéciales de conception et de construction** de la norme CSA O86-14 peut servir de base à la conception des systèmes d'attaches qui ne figurent pas au chapitre 12 de la norme CSA O86. Il convient aussi de consulter le Recueil d'évaluations de produits du Centre canadien de matériaux de construction (CCMC) pour prendre connaissance des rapports disponibles sur des systèmes de connexion exclusifs.

L'ingénieure ou ingénieur de projet peut autoriser un système d'attache innovateur, avec ou sans évaluation par un tiers, s'il a été établi qu'une diligence raisonnable a été exercée au moyen d'essais et de recherches conformément à l'article 4.3.2 de la norme CSA O86-14. Toutefois, si la confirmation d'un organisme d'évaluation indépendant s'avère nécessaire, le rapport d'évaluation du CCMC (ou d'autres rapports d'évaluations réalisées par un organisme indépendant) doit être fourni. La méthode de calcul des valeurs de conception des attaches et des connexions innovateurs, selon les données d'essais, est indiquée à l'article 4.2.3.6 du document *Le Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* de FPIInnovations, et doit être compatible à la norme CSA O86-14.

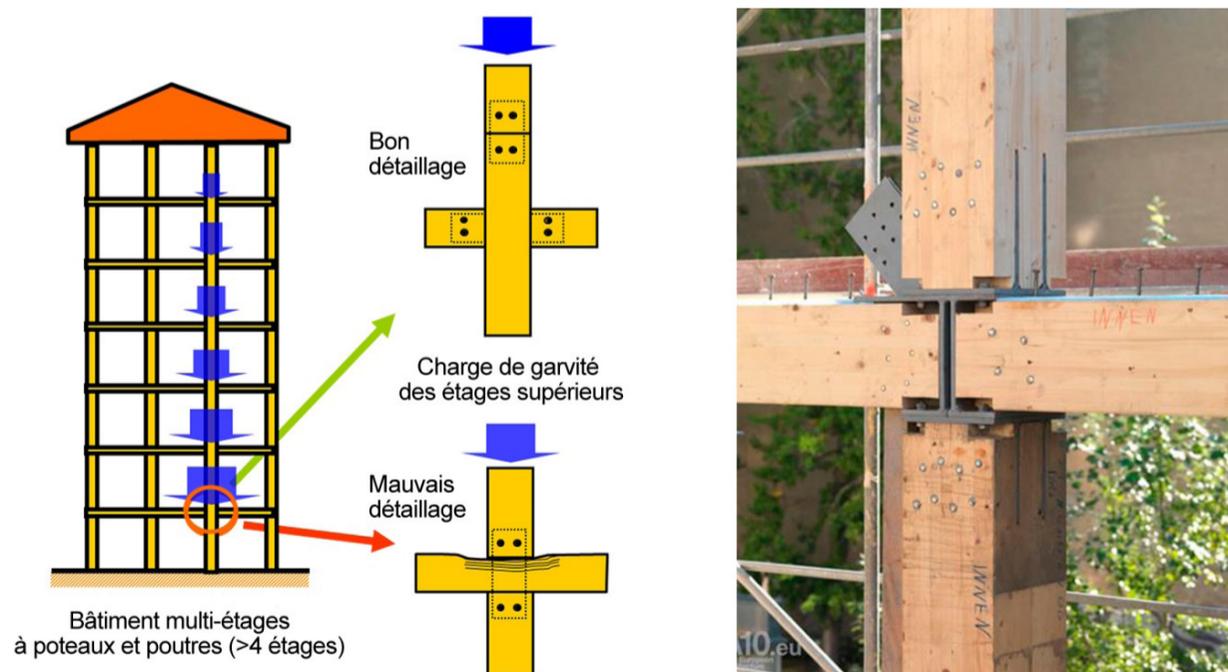


Figure 4.3 – Exemple de connexions par contact « bois de bout » [Figure 2 de la section 4.2 du GBGH/FPI].

Voici des exemples de connexions et de détails couramment rencontrés dans les bâtiments en bois de grande hauteur.

Assemblages par contact bois de bout – Évitement des retraits

Les assemblages par contact bois de bout offrent deux avantages : 1) la réduction au minimum des retraits et 2) une résistance plus élevée à la compression comparativement au contact perpendiculaire au fil. Le bois chargé parallèlement au fil est plus solide que le bois chargé perpendiculairement au fil et est moins susceptible de rétrécir. Le raccourcissement élastique parallèle au fil n'est pas nul; il doit donc être calculé. Toutefois, il est aussi nettement moindre que le raccourcissement élastique perpendiculaire au fil.

C'est pourquoi il vaut mieux empiler des colonnes en bois et assurer le support à travers la quincaillerie en acier, plutôt que d'enserrer une poutre en bois entre des colonnes. Il faut éviter les contacts directs bois sur bois avec des bois de bout en appui, car les bois de bouts des colonnes peuvent commencer à s'entailler les uns les autres.

Cette approche peut être appliquée à la construction à poteaux et à poutres ainsi qu'à la construction de murs et à l'installation de dalles de plancher. Pour un exemple de connexion par contact « bois de bout », voir la figure 4.3. Des variations de ces connexions sont également possibles à l'aide de dalles composite bois-béton pour assurer la rigidité du diaphragme

et la continuité du cheminement des charges gravitaires et latérales.



Figure 4.4 – Exemple de système d'ancrages de retenue avec compensateur de retrait (Photo : M. Alexander)

Connexions avec systèmes d'ancrage de retenues et de tiges précontraintes

Dans les bâtiments en bois de grande hauteur où le bois sert à assurer la résistance aux charges latérales dues au vent et aux séismes, il peut falloir devoir utiliser des ancrages de retenue et de tiges précontraintes pour compenser le retrait du bois au fil du temps. Ces systèmes sont assez faciles à trouver sur le marché et ont été utilisés avec succès dans la construction de bâtiments en bois de hauteur moyenne (voir la figure 4.4). Étant donné l'accumulation de retrait sur chaque étage, ce problème est plus considérable dans les bâtiments en bois de grande hauteur que dans les bâtiments de hauteur moyenne, mais dépendra de facteurs tels que les contacts bois de bout pour réduire au minimum les effets de retrait.

Connexions pour les charges latérales

Le comportement de bâtiments en bois de grande hauteur soumis à des charges dues au vent et/ou aux séismes est en général maîtrisé par la capacité des connexions à absorber l'énergie et de rester ductiles et intacts en cas de surcharge. Les connexions conçues pour dissiper l'énergie sont laissées à la discrétion de la conceptrice ou du concepteur. De façon générale, dans les SRFS en bois, ces connexions sont réalisés à l'aide de connecteurs « panneau mural » à « panneau mural », ou des ancrages de retenue à la base du mur. Pour de plus amples renseignements, voir la section 4.2.3.3 du **GBGH/FPI** à la mise à jour n° 1 de la norme CSA O86-14.

La durée de la charge, les conditions de fonctionnement (sec ou humide) et le mode de rupture (fragile ou ductile) sont d'importantes variables dans la conception des assemblages en bois. Dans les régions à risque sismique élevé, les modes de rupture d'assemblage fragile doivent être évités. Pour de plus amples renseignements, voir la section 4.2.3.1 du **GBGH/FPI**.

Tel que mentionné dans le document *Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages* de la RBQ :

« ...l'énergie produite par le vent ou l'activité sismique est dissipée par plusieurs mécanismes tels que la friction interne, la friction entre les éléments structuraux et la déformation plastique. Lors d'événements sismiques extrêmes, une grande partie de cette dissipation d'énergie est obtenue par la déformation non linéaire des connexions mécaniques en raison de l'élasticité des connecteurs métalliques et de l'appui des éléments de bois. Lorsque le bois est utilisé dans les structures longues, hautes et légères, la réponse dynamique à la charge du vent et aux vibrations causées par l'homme peut être importante, et les joints peuvent contribuer de manière importante, en termes d'amortissement et de rigidité, à la façon dont la structure se comporte dans son ensemble. Pour plus de détails, consulter la section 4.2 du **GBGH** ».

Assemblages de diaphragme

Si un diaphragme est relié au SRFS, le connecteur le plus couramment utilisé pour assurer cet assemblage est une cornière en acier avec des attaches pénétrant dans le diaphragme et le SRFS (voir la Figure 4.5). Cet assemblage assurera un transfert du cisaillement du diaphragme (plancher ou toit) à ce niveau et peut aussi servir à transférer des forces gravitaires (le cas échéant). Dans le cas d'un noyau central, ou d'ouvertures, le transfert du cisaillement doit se faire à l'aide de sangles de tension, de membrures ou de traverses longitudinales. De façon simple, ces assemblages peuvent être réalisés avec des barrettes de connecteurs en acier munies d'attaches pour transférer la charge.



Figure 4.5 – Exemple de traverse longitudinale dans Origine, à Québec (Photo : D. Moses)

Assemblages panneau à panneau de bois lamellé-croisé

Il y a trois types d'assemblages panneau à panneau dans les bâtiments à bois lamellé-croisé : « mur à mur », « plancher à plancher » et « mur à plancher ». Tous ces assemblages doivent être conçus pour transférer les charges latérales et les charges gravitaires (le cas échéant), ainsi que pour respecter les exigences appropriées de ductilité en fonction des valeurs R_d/R_o . La déformation des assemblages doit être prise en compte lors de l'analyse des décalages inter-étage (similaires au glissement de murs de contreventement en bois et de clous). Pour un exemple d'assemblage de panneaux « mur à mur », voir la Figure 4.6 ci-dessous.



Figure 4.6 – Exemple d'assemblage de panneaux « mur à mur » (Photo: D. Moses).

Assemblages d'éléments en bois et autres

Les assemblages aux interfaces avec d'autres types de matériaux tels que le béton, la maçonnerie et l'acier pourraient se faire par assemblage à fentes pour permettre le retrait du bois. Un souci du détail est de mise pour veiller à ce que les charges gravitaires et/ou latérales continuent d'être transférées. Par exemple, une connexion à fentes vertical peut être réalisée pour permettre le retrait du bois qui est relié à un autre matériau. Pour de plus amples renseignements, voir la figure 4.7 et le GBGH/FPI.

Degré de résistance au feu des assemblages

Dans les systèmes comportant des ouvrages exposés, les connecteurs en acier doivent être protégés pour atteindre le degré approprié de résistance au feu. Si les éléments structuraux sont encapsulés, les assemblages doivent l'être aussi. Dans les ouvrages exposés, les assemblages doivent être dissimulés à l'intérieur de l'élément en bois (pour un exemple d'assemblage dissimulé, se reporter à la figure 4.8). Si une perte de section due au feu est anticipée, la connexion doit être conçue conformément aux exigences d'espacement et de distance d'extrémité pour la perte transversale. Un panneau de gypse peut également être utilisée pour assurer une protection. Les exigences sont énoncées dans l'annexe B.9. de la norme CSA O86-14. Voir également la sous-section 3.7.1 ci-dessus pour de plus amples renseignements.

4.4.4. ANCRAGES DE TOITURE

Les ancrages de toiture sont conçus conformément à la norme CAN/CSA-Z91, « Règles de santé et de sécurité pour le travail sur équipement suspendu », afin d'assurer la résistance (aux fins de sécurité et de protection de la vie) de l'équipement servant au nettoyage de fenêtres ou à d'autres fins nécessitant d'accéder à la façade du bâtiment, telles que des travaux d'entretien et de réparation. Les forces de calcul sont considérables pour les bâtiments en bois et pourraient nécessiter la tenue d'essais supplémentaires



Figure 4.7 – Brock Commons de l'Université de la Colombie-Britannique – Démonstration d'un assemblage de panneau de bois lamellé-croisé à un mur de contreventement en béton à l'aide de sangles de tension et par connexion à fentes vertical (Photo : D. Moses)



Figure 4.8 – Assemblage dissimulé de Nordic, Québec
(Photo : D. Moses)

par le fournisseur du système d’ancrage de toiture pour s’assurer que la capacité en place est adéquate pour les charges appliquées. La tenue en service est limitée par des dommages éventuels aux finitions. Un examen de calcul du cheminement de la charge des efforts de soulèvement provoqués par le retournement de l’ancrage de la toiture doit être réalisé pour assurer une résistance aux efforts de soulèvement en faisant agir le poids propre de la charpente du bâtiment sur une hauteur suffisante pour résister à de telles forces (le concepteur doit utiliser des coefficients de réduction des forces appropriés pour assurer une résistance au poids propre conformément au paragraphe B-4.1.3.2.(5) du CBO.

4.4.5. GARDE-CORPS

Les charges utiles sur les garde-corps figurant à l’article B-4.1.5.14 du CBO doivent être examinées dans le cas des éléments et des forces d’assemblages exercées sur la sous-structure en bois. La norme SB-7 du CBO « Guards for Housing and Small Buildings » (Garde-corps pour maisons et petits bâtiments) contient les renseignements détaillés approuvés préalablement sur les garde-corps destinés aux bâtiments de hauteur moyenne de moins de 600 m²; elle ne doit pas servir à concevoir des garde-corps destinés aux bâtiments en bois de grande hauteur. Le calcul des assemblages de garde-corps pour les bâtiments en bois de grande hauteur doit être conforme aux exigences de l’article B-4.1.5.14 du CBO et la tenue d’essais pourrait s’avérer nécessaire pour confirmer la performance des assemblages selon les exigences de solidité des garde-corps énoncées dans le CBO. La tenue en service des garde-corps peut être assurée en respectant les exigences se rapportant aux charges exercées par le vent sur les garde-corps.

4.4.6. DURABILITÉ

En ce qui concerne les régions sujettes aux termites, le paragraphe B-4.3.1.3. 1) du CBO, qui renvoie aux articles B-9.3.2.9., B-9.12.1.1. et B-9.15.5.1 du CBO, contient les exigences pour éviter les contacts et les dommages. Le paragraphe B-5.1.4.2. 3) du CBO stipule que :

“Design and construction of assemblies separating dissimilar environments and assemblies exposed to the exterior shall be in accordance with good practice, such as described in CSA S478, “Guideline on Durability in Buildings”. (Trad.: le calcul et la construction d’assemblages séparant des environnements distincts et des assemblages exposés à l’extérieur doivent être conformes aux pratiques exemplaires telles que décrites dans la norme CSA S478, « Directive sur la durabilité des bâtiments ».)

4.4.7. EFFONDREMENT PROGRESSIF

Tel que mentionné ci-dessus dans la section 2.4, la prise en compte de l’effondrement progressif dans la conception des bâtiments en bois de grande hauteur est une nouveauté pour les conceptrices et concepteurs. Tel que mentionné à l’article 4.3.3 de la norme CSA O86, la conception doit permettre d’éviter l’effondrement généralisé en cas de rupture localisée :

« The general arrangement of the structural system and the interconnection of its members shall provide positive resistance to widespread collapse of the system due to local failure.» (*Trad. : L'agencement des éléments du système structural et leurs interactions doivent assurer la résistance à l'effondrement généralisé du système en cas de rupture localisée.*)

Le paragraphe 6, *Mesures de sécurité*, du commentaire B, *Intégrité structurale*, du CNB 2010, contient un énoncé similaire qui pose comme exigence de prendre en compte la prévention d'un effondrement généralisé (c.-à-d. effondrement progressif) dans le calcul. Les indications du paragraphe B-4.1.1.3. 1) du CBO visent la prévention de l'effondrement progressif lorsque « intégrité structurale » est mentionnée.

L'effondrement progressif est un mode éventuel d'éroulement des bâtiments qui pourrait se produire si une travée de structure tombe en défaillance, entraînant éventuellement la défaillance des travées voisines. Ce mode de rupture est ordinairement associé à l'explosion d'un appareil d'utilisation du gaz, à l'impact d'une collision avec un véhicule ou à une force de souffle. D'autres causes d'effondrement sont, entre autres, des charges dynamiques, par exemple de la neige ou de la glace qui tombe d'un toit sur des balcons, sur des toits plus bas ou sur des étages inférieurs. Ces autres causes devraient également être prises en compte. L'élimination d'un appareil d'utilisation du gaz est une solution simple pour éviter les spécifications supplémentaires que nécessite la prise en compte de l'effondrement progressif, mais ceci n'est pas toujours possible compte tenu des besoins de l'utilisatrice ou utilisateur. Il est à souligner que l'Office des normes techniques et de la sécurité (ONTS) de l'Ontario a publié un article intitulé *Guidelines for the Distribution of Natural Gas in Multi-Family Buildings* (Ligne directrice sur la distribution du gaz naturel dans les bâtiments multifamiliaux), qui contient de l'information sur l'effondrement progressif utile pour la conception de bâtiments en béton et en maçonnerie. Cet article souligne l'obligation de concevoir d'autres systèmes structuraux qui résistent aux pressions de souffle très élevées.

Dans les bâtiments en béton, l'ajout d'armature d'acier *d'intégrité* aux colonnes ou aux attaches périphériques dans les bâtiments préfabriqués vise à réduire au minimum ce mode possible de rupture. Le *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada* de FPIInnovations contient des exemples de concepts de calcul qui aident les conceptrices et concepteurs à atténuer la possibilité d'effondrement progressif, tels que :

- Disposer les murs intérieurs longitudinaux de manière à fournir un soutien supplémentaire aux structures des murs porteurs
- Installer un système intégré d'attaches le long des principaux éléments conçus comme éléments secondaires pouvant subir d'importantes déformations
- Utiliser des murs perpendiculaires aux murs porteurs pour assurer plus de stabilité
- Armer des dalles unidirectionnelles pour résister aux charges dans le sens perpendiculaire comme autre possibilité de cheminement de charge
- Concevoir des dalles unidirectionnelles de façon à ce qu'elles s'étendent sur une travée plus large en cas de défaillance d'une ligne de support (des fléchissements plus grands sont acceptables)
- Concevoir les murs porteurs de manière à ce qu'ils résistent à des charges supplémentaires provoquées par une augmentation de largeur tribulaire
- Ajouter de la redondance dans la conception (p. ex. un étage supérieur soutenant un étage inférieur; faire en sorte qu'un étage supérieur soutienne un étage inférieur assure un cheminement de charge secondaire)
- Recourir à des assemblages ductiles pour prendre en compte les grandes déformations éventuelles

4.4.8. SOUS-PRESSION HYDROSTATIQUE

Comme les bâtiments en bois de grande hauteur sont plus légers que les bâtiments en béton, la dimension de la fondation doit être déterminée de manière à ce que le bâtiment résiste à un renversement (soit de par son poids ou à l'aide d'ancrages dans le roc). La pression hydrostatique doit être prise en compte dans les calculs de fondation conformément à l'article B-4.2.4.8 du CBO.

4.4.9. GICLEURS AUTOMATIQUES ET ÉQUIPEMENT MÉCANIQUE

Les systèmes de gicleurs automatiques et les accessoires doivent être conçus en tenant compte des retraits du bâtiment et des fléchissements/affaissements qui risquent de se produire durant et après un séisme afin de veiller à ce que les gicleurs automatiques restent opérationnels et à limiter les dégâts causés par un incendie à la suite d'un séisme (voir la section 4.3.2.2.8 du GBGH/FPI). L'article B-6.2.1.3 du CBO exige également que les systèmes mécaniques soient conçus et installés de façon à résister à des mouvements structuraux relatifs maximum.

4.5. LES RENSEIGNEMENTS À INDIQUER SUR LES PLANS STRUCTURELS/DEVIS

Les conceptrices et concepteurs doivent fournir sur les plans des renseignements supplémentaires autres que les normes minimales de l'article B-4.1.1.4 du CNB qui renvoie à la sous-section 2.2.4 de la Division C pour les structures (article C-2.2.4.3) et les fondations (article C-2.2.4.6). Les exigences du CNB incluent de sceller les plans, d'indiquer l'emplacement des éléments structuraux et de préciser leurs dimensions, de consigner les charges appliquées et les capacités de charge de la fondation. Ces renseignements peuvent être fournis sur les plans structurels ou dans un devis préliminaire, à la discrétion du service de la construction.

Il est recommandé d'inclure des renseignements supplémentaires pour faciliter le processus d'examen. Ces renseignements comprennent généralement :

1. les propriétés des matériaux structuraux;
2. les charges;
3. le retrait;
4. des détails sur les assemblages.

Propriétés des matériaux structuraux

Les notes de plan doivent indiquer tout au moins ce qui suit :

1. l'essence et la qualité de bois pour tous les produits de bois précisés, les critères de flexion des éléments, le traitement des matériaux, les exigences d'armature et les limites d'élasticité des attaches en acier, des boulons d'ancrage et de toute autre quincaillerie.
2. les dimensions des éléments et les connexions associées, y compris le type de connexions, l'espacement des connexions ainsi que l'espacement, la longueur et le diamètre des attaches. Les limites des entailles permises, leur taille et leur emplacement sur les poteaux, les colonnes, les murs et les planchers doivent être inscrites.

Chargement

Les renseignements sur le chargement doivent être fournis pour les effets de charges gravitaires, latérales et autres. Les charges permanentes, les charges utiles, ainsi que les charges dues à la neige, au sol, au vent et aux séismes doivent être inscrits.

Les charges permanentes, les charges utiles et les charges dues au sol doivent être illustrées sur le plan, surtout si elles diffèrent d'un niveau et d'une aire à l'autre; les conditions de chargement uniforme et concentré doivent également être indiquées. Les charges de cloison doivent être inscrites conformément au paragraphe B-4.1.4.1.3) du CBO et à l'alinéa C-2.2.4.3. 1) d) du CNB.

Les congères (bancs de neige) attribuables aux parapets, les différentes hauteurs de plafond, les bâtiments voisins et les balcons doivent être illustrés sur le plan. Il faut aussi considérer l'incidence de la neige qui se répand jusqu'aux bâtiments voisins. L'incidence de la neige ou de la glace tombant de toits inclinés sur les parties plus basses d'une structure, sur les personnes, l'équipement, etc. qui s'y trouvent, doivent également être pris en compte.

Les charges latérales doivent être inscrites en fournissant une ventilation détaillée des calculs de cisaillement de base pour chacune des charges dues au vent et aux séismes.

Une ventilation des charges dues au vent doit être faite et indiquer : les emplacements, $q_{1/50}$, les dimensions du bâtiment, le type de terrain, la méthode d'analyse, la catégorie d'importance, C_e , C_p , C_g , la pression nominale, les forces dans les diaphragmes, l'écoulement du cisaillement autour des ouvertures, les forces dans les traverses longitudinales, les déplacements calculés des étages, la déformation permise comparativement à ce qui a été calculé, le cisaillement de base total et le moment de renversement dans chacune des principales directions de calcul horizontales aux termes de la sous-section B-4.1.7 du CBO. Les paramètres de l'analyse dynamique et/ou des études expérimentales sur le vent doivent être inscrits ou fournis dans un rapport distinct. Les élévations du système latéral doivent être indiquées afin d'illustrer la répartition de la force dans les principales directions horizontales.

Une ventilation des charges dues aux séismes doit être faite en indiquant : les emplacements, les valeurs S_a et PGA, la catégorie d'importance, le nombre d'étages, la hauteur du bâtiment, la période de chacune des directions des charges et aux déformations dues aux séismes, la classe de site, F_a , F_v , le risque de séisme, la catégorie de risque, les irrégularités structurelles (s'il y en a ou non), la méthode d'analyse, le type SRFS, R_d , R_o , le poids sismique total tel que défini au paragraphe B-4.1.8.2.1) du CBO, M_v , J , les forces dans les diaphragmes, l'écoulement du cisaillement autour des ouvertures, les forces dans les traverses longitudinales, le cisaillement de base total, le moment de renversement et la dérive inter-étage (permise par rapport à ce qui a été calculé). Les effets de torsion de chaque étage doivent être indiqués avec les déplacements calculés d'étage. Les élévations du SFPS doivent être fournies pour indiquer la distribution des forces dans les directions de chargement mentionnées dans l'article B-4.1.8.8 du CBO.

Retrait

La liste des retraits calculés et des retraits différentiels des matériaux sur la hauteur du bâtiment doit être fournie. Le retrait prévu du bâtiment doit aussi inclure les hypothèses pour le coefficient de retrait utilisé, les matériaux pris en considération et la variation de la teneur en humidité présumée. Une estimation du retrait prévu doit être fournie pour les besoins de construction des murs non porteurs, de plomberie, de fixation du bardage et d'alignement de balcon isolé.

Détails d'assemblage

Les détails sur les assemblages pour le transfert de cisaillement et par gravité doivent être fournis aux interfaces suivantes : plancher-mur, panneau de plancher-panneau de plancher, panneau mural-panneau mural, poutre-colonne, poutre-mur, de la superstructure à la fondation, de la superstructure au podium, et tous les éléments structuraux en bois et autre. Les détails sur les systèmes d'ancrage et l'emplacement, y compris toute armature supplémentaire et tout compensateur de retrait doivent être fournis, au besoin.

Notes concernant la construction

Les limites de tolérance de construction doivent être inscrites. Les limites des éléments d'entailage sur le terrain (ou les restrictions quant aux modifications du site) doivent être indiquées.

5. RESSOURCES SUPPLÉMENTAIRES

<http://www.cwc.ca>

<http://www.fpinnovations.ca>

<http://www.naturallywood.com/resources>

<http://www.rethinkwood.com/tall-wood-mass-timber>

<http://www.ontario.ca/page/building-with-wood>

<http://www.timbereducation.org>

<http://bookshop.trada.co.uk>

6. RÉFÉRENCES

ABCB. 2005. International Fire Engineering Guidelines. Publié par le Australian Building Codes Board. Gouvernement australien, états et territoires d'Australie. 2005.

ASCE/SEI 7-10 (2010) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Engineers

ASTM E84 (2010), Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Ahrens, M. 2016. High-rise Building Fires. National Fire Protection Association, Quincy, MA.

Benichou, N., Kashef, A., Reid, I., Hadjisophocleous, G.V., Torvi, D. et Morinville, G. 2005. « FIERAsystem: A Fire Risk Assessment Tool to Evaluate Fire Safety in Industrial Buildings and Large Spaces », *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 15, n° 3.

Brandon, D. et Ostman, B. (2015) The Contribution of CLT to Compartment Fires, Task 1: Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings – Phase 2, Fire Protection Research Foundation, 39 pages, 4 décembre 2015.

Buchanan, A.H. 2001. Structural Design for Fire Safety. John Wiley and Sons Ltd. West Sussex, Angleterre.

Bwalya, A., Lougheed, G., Kashef, A., et Saber, H. « Survey Results of Combustible Contents and Floor Areas in Canadian Multi-family Dwellings », rapport de recherche n° 253, 45 pages, recherche sur les incendies, Institut de recherches en construction, Conseil national de recherches Canada, 2008.

Bwalya, A. « Characterization of Fires in Multi-Suite Residential Dwellings: Summary Report », rapport n° A1-000378, 66 pages, recherche sur les incendies, Institut de recherches en construction, Conseil national de recherches Canada, 2014.

Campbell, R. 2013. U.S. *Structure Fires in Office Properties*. National Fire Protection Association, Quincy, MA.

CAN/ULC-S101. (2014). *Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction*. Normes ULC, Ottawa, ON.

CAN/ULC-S107. (2010). *Méthodes normalisées d'essai de résistance aux feux des matériaux de couverture*. Normes ULC, Ottawa, ON.

CAN/ULC-S114 (2005). *Méthode d'essai normalisée pour la détermination de l'incombustibilité des matériaux de construction*. Normes ULC, Ottawa, ON.

CAN/ULC-S115 (2016). *Méthode normalisée d'essais de résistance au feu des dispositifs coupe-feu*. Normes ULC, Ottawa, ON.

CAN/ULC-S134 (2013). *Méthode normalisée des essais de comportement au feu des murs extérieurs*. Normes ULC, Ottawa, ON.

CEN. 2004. Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois, partie 1-2 : généralités – Calcul des structures au feu (1995-1-2:2004). Comité européen de normalisation, Bruxelles, Belgique

CFT Engineering. (2012). *Summary of Requirements for Construction Fire Safety in British Columbia, Analysis and Research of Construction Fire Risks, and Identification of Areas of Potential Improvement Through Legislative Change in British Columbia*. CFT Engineering, Burnaby, C.-B.

CSA O177 (2011), « Règles de qualification des fabricants de bois de charpente lamellé-collé ». Groupe CSA, Mississauga, Canada.

CSA O86-14 (2014), « Règles de calcul des charpentes en bois », Groupe CSA, Mississauga, Canada.

CSA O86-14 (mise à jour n° 1) (2016), « Règles de calcul des charpentes en bois », Groupe CSA, Mississauga, Canada.

Craft, S.T., Desjardins, R. et Mehaffey, J.R. (2011) « Investigation of the Behaviour of CLT Panels Exposed to Fire », actes de la douzième conférence internationale sur le feu et les matériaux (International Conference Fire and Materials) tenue du 31 janvier au 2 février 2011.

Craft, S.T. 2016. Defining Mass Timber for Tall Buildings – Rationalization for Minimum Dimensions. Rapport de CHM Fire Consultants préparé par le Conseil canadien du bois, Ottawa, ON.

Craft, S.T., Van Zeeland, I. (2017) « Rationalization of Cross-Laminated Timber Design Standards », actes de la douzième conférence internationale sur le feu et les matériaux (International Conference Fire and Materials) tenue du 6 au 8 février 2017.

Conseil canadien du bois. 2012. *Fire Safety and Security: A Technical Note on Fire Safety and Security on Construction Sites in Ontario*. Conseil canadien du bois, Ottawa, ON.

FPIinnovations (2011). Manuel CLT. Édité par Sylvain Gagnon et Ciprian Pirvu. FPIinnovations Special Publication SP-528E.

FPIinnovations (2014). **FPI/TWBC** - Guide technique de conception et de construction pour bâtiments en bois de grande hauteur au Canada (éd. 2014). Pointe-Claire, QC: FPIinnovations.

FPIinnovations (2015). Manuel pour la construction à ossature en bois de moyenne hauteur (éd. 2015). Pointe-Claire, QC: FPIinnovations.

Frank, K., Gravestock, N., Spearpoint, M., et Fleishmann, C. 2013. « A Review of Sprinkler System Effectiveness Studies », *Fire Science Reviews*, vol. 2, n° 6.

Hadjisophocleous, G.V., et Fu, Z. 2005. « Development and Case Study of a Risk Assessment Model CURisk for Building Fires », *Fire Safety Science – Proceedings of the Eighth International Symposium*, p. 877-887.

Hall, J.R. 2013. *U.S. Experience with Sprinklers*, National Fire Protection Association, Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA.

ISO 9705 (2003), Essais de réaction au feu – Essais dans une pièce en vraie grandeur pour les matériaux de revêtement intérieur. Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse.

ISO 16733-1 (2015), « Ingénierie de la sécurité incendie -- Sélection de scénarios d'incendie et de feux de dimensionnement -- Partie 1 : Sélection de scénarios d'incendie et de dimensionnement ». Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse.

ISO 23932 (2009), « Ingénierie de la sécurité incendie – Principes généraux ». Organisation internationale de normalisation, Genève, Suisse.

Janssens, M.L. et White, R.H. 1994. « Short Communication: Temperature Profiles in Wood Members Exposed to Fire », *Fire and Materials Journal*, vol. 18, p. 263-265.

Klote, J.H., Milke, J.A., Turnbull, P.G., Kashef, A. et Ferreira, M.J. 2012. *Handbook of Smoke Control Engineering*, ASHRAE, Atlanta, GA.

Koo, K. (2013, mai). A Study on Historical Tall-Wood Buildings in Toronto and Vancouver. FPIInnovations.

Lie T.T. (1977). « A Method for Assessing the Fire Resistance of Laminated Timber Beams and Columns (Technical Paper No. 718) », *Canadian Journal of Civil Eng.*, vol. 4, n° 2.

Lougheed, G.D., Su, J.Z. et Benichou, N. Solutions for mid-rise wood construction: encapsulation time data from NRC Fire-Resistance Projects (Report to Research Consortium for wood and wood-hybrid mid-rise buildings). Conseil national de recherches Canada, Ottawa, ON.

Mehaffey, J. 1987. *The Contribution of Wood-Studs to Fire Severity*. Rapport professionnel sur la limitation des pertes pour le Conseil canadien du bois, 22 décembre 1987.

McGregor, C. Contribution of Cross Laminated Timber Panels to Room Fires, mémoire de maîtrise ès sciences, Université Carleton, Ottawa, Canada, 2013.

Medina Hevia, A.R., Fire resistance of partially protected cross-laminated timber rooms, mémoire de maîtrise ès sciences, Carleton University, Ottawa, Canada, 2014.

MMAH. 2016. Fire Safety During Construction for Five and Six Storey Wood Buildings in Ontario: A Best Practice Guideline. Ministry of Municipal Affairs and Housing.

Moinuddin, K., Thomas, I., et Chea, S. 2008. Estimating the Reliability of Sprinkler Systems in Australian High-rise Office Buildings. Proceedings of the Ninth International Symposium, Fire Safety Science, p. 515-526.

National Design Specification for Wood Construction (NDS). 2015. American Wood Council. Leesburg, VA.

CNBC (2015). Code national du bâtiment du Canada. Conseil national de recherche Canada, Ottawa, ON.

CNPI (2015). Code national de prévention des incendies. Conseil national de recherche Canada, Ottawa, ON.

NFPA 13. 2013. Standard for the Installation of Sprinkler Systems. National Fire Protection Association, Quincy, MA.

NFPA 92. 2015. Standard for Smoke Control Systems. National Fire Protection Association, Quincy, MA.

NFPA. (2001). Structure Fires in Vacant or Idle Properties, or Properties under Construction, Demolition or Renovation, NFPA Fire Analysis and Research Division, Quincy, MA.

CBO (2012). Code du bâtiment de l'Ontario.

Les forêts de la couronne en Ontario : Est-il possible d'améliorer le stockage du carbone?. Ontario, Gouvernement of Ontario.

Règlement de l'Ontario 213/91 Chantiers de construction, Loi sur la santé et la sécurité au travail.

Osborne, L. Dagenais, C et Benichou N. Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report. Joint publication between FPInnovations and the National Research Council. FPInnovations Project No. 301006155, Juillet 2012.

Osborne, L. et Roy-Poirier, A. 2015. Advanced Methods of Encapsulation. FPInnovations, Mars 2015.

Peel H, Spearpoint M, Wade C, Fleischmann C. (2016) Experiments to develop a performance -based ranking assessment method for rooms partially lined with timber. 11th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, 23–25 May, Warsaw, Poland, 2016.

reThinkWood (2016, June 15). CLT manufacturing supply and startup - Jim Griswold, Hexion Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=AjogC2zgaeU&index=14&list=PLip3ehq5Y9MTrN_ilw-unvOnU_kXBwjS0

[Richardson](#), J.K. (1985) The Reliability of Automatic Sprinkler Systems. National Research Council of Canada, Ottawa. ON.

SFPE. (2008) Handbook of Fire Protection Engineering. Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD.

SFPE. (2009) Guidelines for Peer Review in the Fire Protection Design Process. Society of Fire Protection Engineers, Gaithersburg, MD.

Sereca Consulting Inc. (2015, mars). The Historical Development of the Building Size Limits in the National Building Code of Canada. Richmond, C.-B., Conseil canadien du bois.

Smith, B. S., Coull, A., et Stafford-Smith, B. S. (1991). Tall building structures: Analysis and design. New York, Wiley, John & Sons.

SP Tratek. (2010). Fire Safety in Timber Buildings: Technical Guidline for Europe. SP Report 2010:19. Stockholm, Suède, SP Tratek.

USFA. (2001) Construction Site Fires, Publié par la USFA Topical Fire Research Series, volume 2, numéro 14.

Veilleux, L., Gagnon, S., et Dagenais, C. (2015). Bâtiments de construction massive en bois d'au plus 12 étages. Québec, gouvernement du Québec.

White, R.H. (2009). Fire Resistance of Wood Members with Directly Applied Protection. International Conference Fire and Materials, San Francisco, CA, 26-28 janvier, 2009.

Yung, D., Hadjisophocleous, G.V., Proulx, G. (1997). Modelling Concepts for the Risk-cost Assessment Model Firecam and its Application to a Canadian Government Office Building. Fire Safety Science – Proceedings of the Fifth International Symposium, p. 619-630.

Zhang, X. Mehaffey, J. et Hadjisophocleous, G. 2015. Case Studies of Risk-to-Life Due to Fire and Mid- and High-Rise Combustible and Noncombustible Buildings using CURisk. Université Carleton, Ottawa, ON