



# Incendie de démonstration à grande échelle de gaine verticale de construction massive en bois – Rapport final

Date : 8 avril 2015

Par : Lindsay Osborne, M.Sc.A, chercheure, Systèmes de construction avancés  
Christian Dagenais, ing., M.Sc, chercheur, Systèmes de construction avancés

**Gouvernement du Québec**

**Ministère des Forêts, de la  
Faune et des Parcs**

FPIinnovations est une organisation mondiale sans but lucratif, chef de file spécialiste dans la conception de solutions scientifiques de soutien dans le secteur de l'industrie forestière canadienne en matière de compétitivité et de réponses aux besoins prioritaires des partenaires industriels et gouvernementaux.

Nous sommes en position idéale pour effectuer de la recherche, innover et offrir des solutions pour chacun des secteurs de la chaîne de valeurs et des opérations forestières aux produits industriels et de consommation.

Le personnel de FPIinnovations comprend plus de 525 individus. Ses laboratoires R&D sont situés à Québec, Ottawa, Thunder Bay, Edmonton et Vancouver, et FPIinnovations dispose de bureaux de transfert des technologies partout au Canada. Pour plus de renseignements concernant FPIinnovations, visitez le site Internet : [www.fpinnovations.ca](http://www.fpinnovations.ca) et suivez-nous sur :  

## PROJET N° : 301009899

### Incendie de démonstration à grande échelle de gaine verticale de construction massive en bois Rapport final

## REMERCIEMENTS

Ce rapport a reçu l'appui financier du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec.

FPIinnovations désire remercier le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec pour leur orientation continue et soutien financier ainsi que Nordic Bois d'ingénierie pour avoir permis à FPIinnovations de participer au processus de conception.

Nous aimerions également reconnaître la dédicace et le travail acharné du personnel du Conseil national de recherche Canada pour la construction et la coordination efficaces qui ont donné lieu à une démonstration réussie.

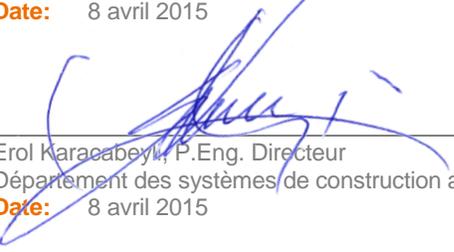
Enfin, nous aimerions remercier le service local des incendies d'Almonte qui a éteint les flammes, ainsi que les pompiers de Montréal qui se sont présentés sur le site pour observer la démonstration tout en demeurant disponibles afin d'intervenir le cas échéant.

## CONTACTS



---

Lindsay Osborne, M.Sc., chercheure  
Département des systèmes de construction avancés  
Tél. : 613-947-8961  
[Lindsay.osborne@fpinnovations.ca](mailto:Lindsay.osborne@fpinnovations.ca)  
**Date:** 8 avril 2015



---

Erol Karacabeyli, P.Eng. Directeur  
Département des systèmes de construction avancés  
**Date:** 8 avril 2015

## RÉVISEUR

Sylvain Gagnon, ing, gestionnaire de recherche associé  
Département des systèmes de construction avancés

Christian Dagenais, ing, M.Sc., chercheur  
Département des systèmes de construction avancés

## TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux .....	iv
1 INTRODUCTION .....	1
2 OBJECTIFS .....	2
3 ÉQUIPE TECHNIQUE .....	3
4 PROCÉDURES ET RÉSULTATS .....	3
4.1 Détails d'assemblage .....	3
4.1.1 Construction du plancher et du plafond .....	4
4.1.2 Construction des murs.....	6
4.1.3 Charge calorifique .....	8
4.1.4 Appareillage .....	9
4.1.5 Observations .....	10
4.1.6 Températures.....	14
5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....	16
6 RÉFÉRENCES .....	18
ANNEXE I Rapport CNRC:.....	19
Démonstration d'incendie – Puits d'escalier ou d'ascenseur en bois lamellé-croisé .....	19

## Liste des figures

Figure 1. Photos de la structure en CLT.....	4
Figure 2. Assemblage du plafond du compartiment d'origine (crédit: Nordic bois d'ingénierie).....	5
Figure 3. Installation des lisses de soutien plancher/plafond (crédit: Nordic bois d'ingénierie) .....	6
Figure 4. Assemblage du mur dans le compartiment d'origine de l'incendie.....	6
Figure 5. Assemblage du mur contigu, entre la gaine d'escalier et le compartiment d'origine .....	7
Figure 6. Installation des portes coupe-feu.....	8
Figure 7. Préparation des caissons de bois utilisées pour simuler la charge calorifique .....	8
Figure 8. Appareillage de la structure.....	9
Figure 9. Incendie de démonstration .....	12
Figure 10. État de la structure après l'incendie .....	13
Figure 11. Températures enregistrées sur deux colonnes de thermocouples situées à l'intérieur du compartiment d'origine [3].....	14
Figure 12. Températures mesurées sur la paroi de CLT partagée entre le compartiment et la gaine [3].....	15

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Observations durant l'incendie de démonstration .....	11
Tableau 2 - Temps d'encapsulation déterminés durant l'incendie de démonstration [3].....	16

## 1 INTRODUCTION

Un incendie de démonstration à grande échelle a été effectué au Conseil national de recherches du Canada (CNRC) dans le but de démontrer la façon dont une gaine verticale de construction massive en bois conçue pour un ascenseur ou un escalier de sortie pouvait résister à des conditions sévères d'exposition au feu d'au moins deux (2) heures. Actuellement, la division B du Code national du bâtiment du Canada 2010 (CNBC) [1] requiert que les gaines d'escalier de secours soient de construction incombustible et aient un degré de résistance au feu de 2 heures pour des bâtiments de plus de 6 étages. On prévoit que la CNBC 2015 n'exigera pas que les gaines d'escalier de bâtiments de moyenne hauteur (5 à 6 étages) soient de construction incombustible, mais il est probable que la prochaine version du code de la Régie du bâtiment du Québec exige que ces escaliers soient de construction incombustible. L'Ontario a adopté la construction combustible pour des immeubles de moyenne hauteur et ce, à compter de janvier 2015, mais exige toutefois que les sorties soient de construction incombustible. La Colombie-Britannique a été la première province à adopter la construction combustible pour les bâtiments de moyenne hauteur et à permettre que les escaliers de secours soient de construction combustible également.

Un rapport récent de FPIInnovations a identifié et examiné les sujets potentiellement problématiques en lien avec les gaines en bois pour escaliers ou ascenseurs dans des bâtiments de moyenne et de grande hauteur [2]. Le rapport porte également sur des enjeux clés en matière de sécurité incendie démontrant que des gaines en bois massif peuvent facilement répondre aux exigences minimales de performance requises par le CNBC. Dans le but de faciliter l'adoption des gaines verticales de construction massive en bois à titre de solution de rechange à une construction incombustible ayant un niveau similaire de résistance au feu, il a été déterminé qu'il serait avantageux de procéder à une démonstration de leur performance au feu. La démonstration a été conçue pour mettre à l'essai le mur entre la gaine de sortie et un appartement contigu. L'appartement a été soumis à de sévères conditions d'incendie pour une durée de 2 heures. Un rapport du CNRC pour FPIInnovations, « *Fire Demonstration - Cross-Laminated Timber Stair/Elevator Shaft*, » (Démonstration d'incendie – Puits d'escalier ou d'ascenseur en bois lamellé-croisé) documentant les détails de construction, soulignait les résultats de la démonstration, ainsi que les données de températures [3]. Le rapport complet est fourni à l'Annexe I.

La structure massive en bois a été conçue pour reproduire un projet planifié de bâtiment en bois de grande hauteur à Québec, sélectionné à titre de projet de démonstration de bâtiments en bois de grande hauteur par Ressources naturelles Canada (RNCAN). Les assemblages critiques en matière de protection contre l'incendie, qui comprenaient le mur entre la pièce incendiée (le compartiment d'origine) et la gaine, ainsi que le plancher (le plafond) au-dessus de la pièce incendiée, ont été évalués préalablement par le CNRC pour déterminer leur degré de résistance au feu. Les deux ont été mis à l'essai conformément à la norme CAN/ULC S101 « Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction » [4] et ont atteint le degré de résistance au feu de 2 heures requis par le CNBC. Les détails concernant ces essais peuvent être consultés en [5, 6].

L'assemblage du plancher au-dessus du compartiment d'origine, constitué d'une chape de béton simulée, de panneaux de bois lamellé-croisé (CLT de 175 mm (5 plis), de laine minérale isolante

incombustible et de panneaux de gypse de type X d'une épaisseur de 16 mm fixés à des barres résilientes et des montants profilés métalliques, a obtenu un temps de résistance de **2 h et 8 min**. L'assemblage du mur, constitué de panneaux de CLT de 175 mm (5 plis) et de deux épaisseurs de panneaux de gypse de type X de 16 mm, fixés directement sur les surfaces exposées et non exposées du mur, a obtenu un temps de résistance de **3 h et 39 min**. Au moment de la démonstration, un mur additionnel contigu à la gaine de sortie a été construit à l'intérieur du compartiment d'origine afin de procurer le niveau d'insonorisation requis par le CNBC section 5.9, division B, pour un mur contigu à une gaine de sortie. Tous les panneaux de CLT sont de classe de contrainte E1 en conformité avec ANSI/APA PRG-320 « *Standard for Performance Rated Cross-Laminated Timber* » [7].

## 2 OBJECTIFS

Les essais de résistance au feu et l'incendie de démonstration ont été effectués afin d'appuyer l'adoption et la construction d'un immeuble de grande hauteur à Québec. L'immeuble de 13 étages comprend une structure de bois de 12 étages au-dessus d'un podium d'un étage de béton. Une méthode de calcul actualisée afin de déterminer la résistance au feu du CLT est fournie au chapitre 8 (Comportement au feu des éléments de charpente de bois lamellé-croisé) du Manuel sur le bois lamellé-croisé [8], et peut être utilisée pour démontrer que la conception d'assemblage rencontre les normes prescrites de résistance au feu de 2 heures énoncées dans le CNBC [1] pour les éléments structuraux et les murs de séparations des gaines d'escaliers et d'ascenseurs dans les immeubles de grande hauteur (plus de 6 étages). Conjointement à la méthode de calcul, les degrés de résistance au feu des assemblages critiques ont été évalués et déterminés pour atteindre les valeurs nécessaires. Malgré cette information, l'Association des chefs en sécurité incendie du Québec (ACSIQ), la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) et autres parties concernées ont demandé qu'une démonstration grande échelle sur une structure de bois massif soit effectuée afin qu'ils puissent être témoins de l'ensemble de la performance. Par conséquent, l'objectif principal de cette démonstration était d'illustrer qu'un incendie sévère d'une durée de 2 heures dans un appartement contigu n'aurait pas ou peu d'incidence sur la gaine d'escalier ou d'ascenseur.

Plusieurs représentants des provinces de Québec et de l'Ontario étaient présents lors de la démonstration, incluant le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), la RBQ, les villes de Montréal, d'Ottawa et de Québec, ainsi que des membres du personnel du service des incendies de Montréal. L'équipe de l'incendie de démonstration, composée de FPInnovations, Nordic bois d'ingénierie, GHL Consultants et la firme Technorm, était également présente.

D'autres observateurs étaient aussi présents dont le Conseil Canadien du Bois (CCB), CHM Fire Consultants, Yvan Blouin Architecture, l'Association des chefs en sécurité incendie du Québec (ACSIQ), Les Constructions FGP, Sotramont, Qualité Habitation, Ressources naturelles du Canada, et Matériaux Kott.

### **3 ÉQUIPE TECHNIQUE**

La démonstration a été effectuée au laboratoire d'essais en sécurité incendie du CNRC près d'Almonte en Ontario. Le projet a été coordonné avec CNRC, FPInnovations et Nordic bois d'ingénierie. Madame Lindsay Osborne était présente pour représenter FPInnovations.

### **4 PROCÉDURES ET RÉSULTATS**

En appui au projet de démonstration de bâtiment en bois de grande hauteur à Québec, une réplique d'une gaine de sortie de trois (3) étages avec appartement contigu a été construite afin de démontrer la performance au feu de la structure proposée. Le contenu du compartiment d'origine (l'appartement) était représentatif d'une charge calorifique élevée afin que la dynamique de l'incendie et le comportement de la structure exposés à des conditions sévères puissent être observés.

#### **4.1 Détails d'assemblage**

La structure a été envisagée pour reproduire une unité de logement (compartiment d'origine) contiguë à une gaine d'escalier ou d'ascenseur. Elle a été principalement construite à l'aide de panneaux de CLT à 5 plis (175 mm d'épaisseur), classe de contrainte E1 en conformité avec ANSI/APA PRG-320 [7]. On peut apercevoir la structure de deux angles différents sur la Figure 1a) et b). Les dessins d'atelier peuvent être consultés à la Figure 3.

La gaine de sortie mesurait 4.6 m x 2.5 m x 9 m de hauteur et était pressurisée à 12 Pa pour le contrôle de la fumée (tel que spécifié sur les plans pour le bâtiment de grande hauteur). Dans la gaine, une porte coupe-feu de 45 minutes est située dans le mur opposé au mur contigu à la pièce incendiée. La pièce incendiée mesurait 4.6 m x 5.2 m x 3 m de hauteur. Une ouverture (fenêtre) d'environ 2.5 m x 1.8 m a été pratiquée à l'avant afin de maximiser les conditions de ventilation. Une porte coupe-feu de 45 minutes était située dans un mur perpendiculaire au mur commun.

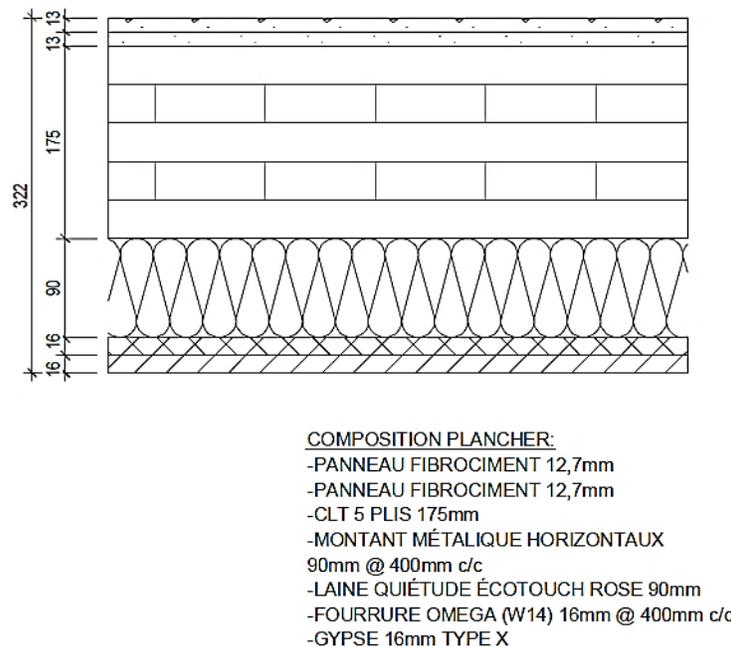


Figure 1. Photos de la structure en CLT

#### 4.1.1 Construction du plancher et du plafond

Les panneaux de CLT ont été assemblés grâce à un simple joint de surface en contre-plaqué au milieu du compartiment d'origine. Le plafond du compartiment d'origine était isolé avec 90 mm de laine Quietude Ecotouch rose installée entre des montants profilés métalliques de 80 mm espacés à 600 mm c.c., perpendiculaire à l'axe longitudinal du CLT. Des lattes de 16 mm espacés à 400 c.c. ont été fixées perpendiculairement aux montants profilés métalliques sur lesquels on a fixé une épaisseur de panneau de gypse de 16 mm de type X. La face non exposée a été recouverte de deux épaisseurs de panneaux fibrociment pour reproduire une dalle de béton sur le dessus. Des blocs de ciment ont été placés sur le plancher au-dessus pour induire une charge spécifiée de  $4.74 \text{ kN/m}^2$ , afin de reproduire des conditions de charge sur les éléments porteurs de  $0.5 L + D$ , telles que décrites au paragraphe A-25 du Commentaire de la Partie 4 du Code [9].

La configuration est illustrée ci-dessous à la Figure 2. Cette figure représente le dessin d'atelier de construction, légèrement modifié à des fins de simplification.



**Figure 2. Assemblage du plafond du compartiment d'origine (crédit: Nordic bois d'ingénierie)**

La conception réelle du bâtiment requiert un plancher de bois d'ingénierie, une membrane acoustique, une chape de 38 mm en béton, ainsi qu'un sous-plancher en bois de 12 mm, le tout étant illustré à la Figure 2 par deux couches de fibrociment. Il était important non seulement de reproduire la charge supplémentaire du dessus en béton, mais aussi d'en saisir la contribution potentielle à prévenir les défaillances au niveau de l'isolation et de l'intégrité de l'assemblage selon le test CAN/ULC S101 [4]. Il a été noté lors de tests préalables à grande échelle que l'intégrité des joints des planchers en panneaux de CLT pouvait constituer le maillon faible lorsqu'aucun autre matériau ne recouvrait la surface non exposée [10].

L'axe longitudinal de l'assemblage du plafond et du plancher était supporté par des lisses de bois lamellé-collé aux deux bouts (Figure 3). Ceci a été conçu pour que la défaillance de l'assemblage plancher/plafond n'affecte pas l'intégrité de la gaine de sortie verticale durant l'incendie. Les lisses étaient entièrement encapsulées à l'aide de deux couches en panneaux de gypse de type X de 16 mm d'épaisseur directement fixés sur celles-ci.

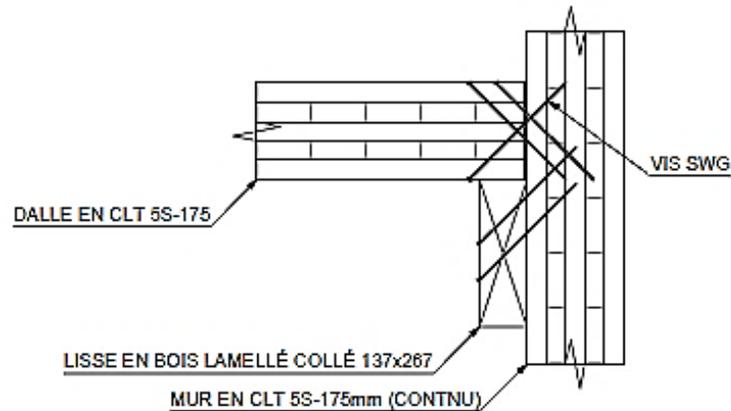


Figure 3. Installation des lisses de soutien plancher/plafond (crédit: Nordic bois d'ingénierie)

## 4.1.2 Construction des murs

### 4.1.2.1 Compartiment d'origine de l'incendie

Chacun des murs de CLT à 5 plis (175 mm) était protégé par deux (2) épaisseurs de panneaux de gypse de type X de 16 mm, directement fixés à l'aide de vis de type S de 50 mm espacées de 300 c.c. Les joints de gypse sont effectués en quinconce entre les couches de base et de surface. La configuration est illustrée ci-dessous à la Figure 4. De simples joints à mi-bois ont été utilisés pour joindre les panneaux de CLT adjacents.

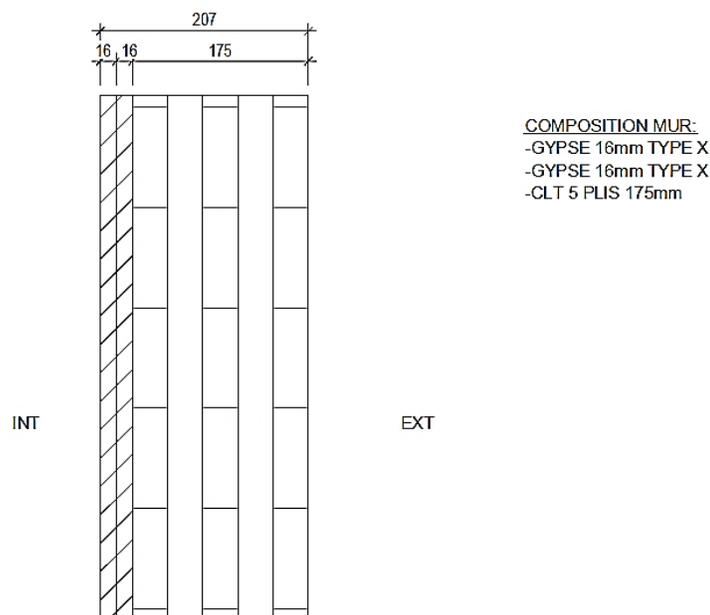


Figure 4. Assemblage du mur dans le compartiment d'origine de l'incendie (crédit: Nordic bois d'ingénierie)

#### 4.1.2.2 Murs de la gaine de sortie

Les murs de la gaine sont constitués de panneaux de CLT à 5 plis (175 mm) exposés à l'intérieur, voir Figure 1c). Dans le dessin sous sa forme actuelle, pour un bâtiment de 13 étages, la gaine serait protégée par deux (2) couches de panneaux de gypse 16 mm de type X directement fixés au CLT. Un adhésif de construction usuel a été utilisé pour sceller les joints des panneaux de CLT à l'intérieur de la gaine pour prévenir les fuites de fumée puisqu'aucun panneau de gypse n'a été utilisé.

Le mur contigu de la gaine entre la gaine et l'appartement à être incendié, comportait une paroi murale supplémentaire de colombages métalliques placés devant deux (2) couches de panneaux de gypse (créant une lame d'air de 19 mm) tel qu'illustré à la Figure 5. Ce mur a été conçu pour rehausser son isolation acoustique, tel qu'il serait exigé par le CNBC pour un mur situé dans un endroit tel que celui-ci (c.-à-d. un mur contigu entre un appartement et une gaine d'escalier de sortie). Ce mur a été isolé à l'aide de 64 mm de laine minérale Comfortboard CIS Roxul.

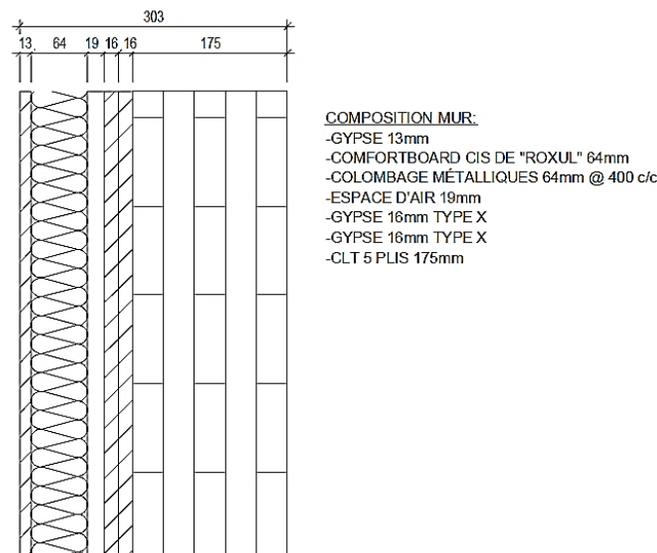


Figure 5. Assemblage du mur contigu, entre la gaine d'escalier et le compartiment d'origine (crédit: Nordic bois d'ingénierie)

#### 4.1.2.3 Portes coupe-feu

Une porte coupe-feu de 45 minutes a été installée sur un des murs de l'appartement, dans le mur perpendiculaire à celui de la gaine, simulant la séparation entre un corridor et une unité de logement résidentiel. L'espace entre le cadrage métallique de la porte coupe-feu et l'ouverture dans le mur de CLT a été simplement rempli avec un ciment mortier de l'intérieur du cadrage, tel qu'illustré sur la Figure 6. Il était cependant difficile d'évaluer correctement si la porte était réellement prévue pour 45 minutes car cela n'était pas indiqué explicitement sur l'étiquette (Figure 6 c)). Une porte coupe-feu de 45 minutes a également été installée dans le mur opposé au mur contigu à l'intérieur de la gaine.

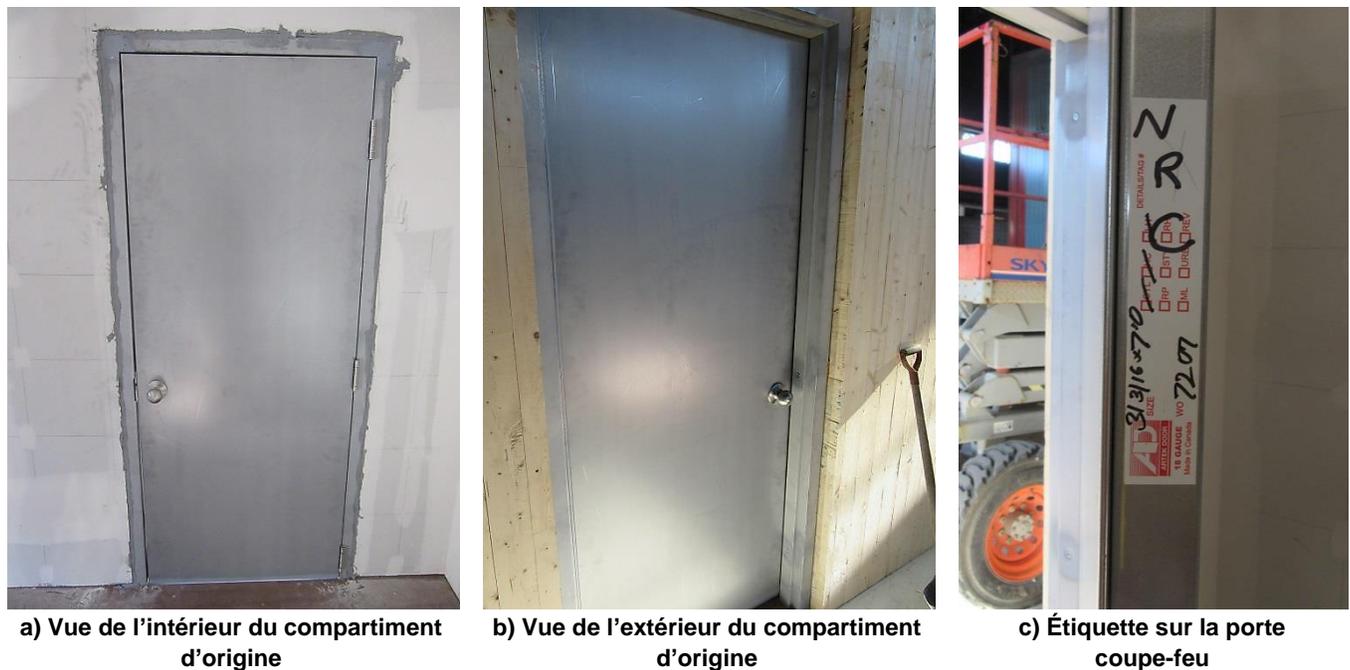


Figure 6. Installation des portes coupe-feu

#### 4.1.3 Charge calorifique

Une densité de charge calorifique de  $790 \text{ MJ/m}^2$  a été utilisée pour simuler la 95<sup>e</sup> valeur percentile d'une chambre à coucher principale, selon les travaux de Bwalya et al. [11]. La charge combustible était constituée de meubles et de caissons de bois. Les caissons mesuraient  $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$  par  $0.7 \text{ m}$  de hauteur, tel qu'illustré à la Figure 7, pour une masse totale de  $50 \text{ kg}$ . La répartition de la charge calorifique est illustrée à la Figure 1d). Des détails supplémentaires se retrouvent en [3].

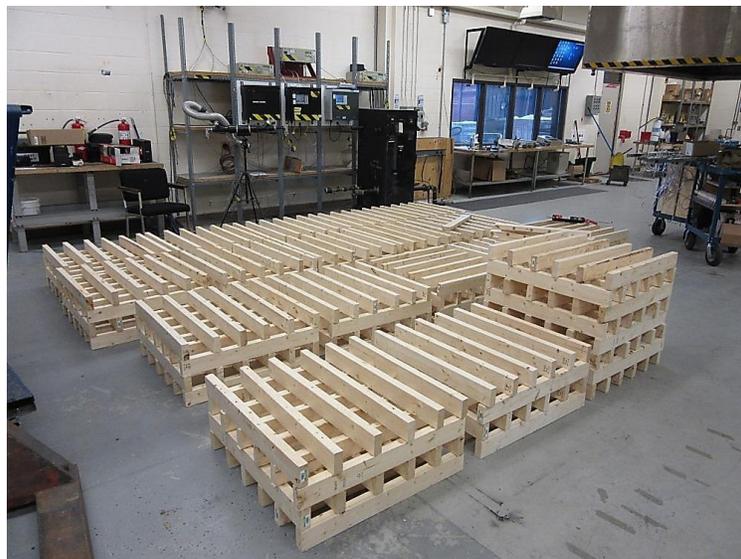


Figure 7. Préparation des caissons de bois utilisés pour simuler la charge calorifique

#### 4.1.4 Appareillage

La structure a été complètement instrumentée de thermocouples pour mesurer la répartition de la température à l'intérieur du compartiment d'origine mais également à différents endroits à l'intérieur de l'assemblage des murs et des planchers (Figure 8).

Deux (2) colonnes de thermocouples ont été placées dans le compartiment d'origine, chacune comportant trois (3) thermocouples à 0.6 m, 1.6 m et 2.6 m de hauteur (juste sous le plafond), Figure 8 a).

Vingt-sept (27) thermocouples ont été placés sur les surfaces de séparation entre la gaine verticale et le mur de l'appartement, nommément : neuf (9) thermocouples à l'intérieur de la lame d'air, neuf (9) entre les panneaux de gypse et le mur de CLT et neuf (9) autres sur la paroi non exposée (c.-à-d. le mur intérieur de la gaine, voir Figure 8 b). Vingt-sept (27) thermocouples ont été placés sur les surfaces de séparation entre l'assemblage du plancher de CLT et celui du plafond, nommément: neuf (9) thermocouples au-dessus des barres résilientes, neuf (9) entre la laine de verre et le plancher en CLT et neuf (9) sur sur la paroi non exposée (c.-à-d. au-dessus du plancher).

Des thermocouples et un densimètre à fumée optique ont été placés dans la gaine afin de capter la hausse de température et les fuites de fumée.



a) Colonnes de thermocouples à l'intérieur du compartiment d'origine



b) Paroi non exposée de la gaine en CLT

Figure 8. Appareillage de la structure

### 4.1.5 Observations

L'incendie a été amorcé sur une causeuse et s'est transformé en un embrasement généralisé en quelques minutes. Un compte-rendu détaillé des observations figure au Tableau 1. À la Figure 9 a), on peut voir les flammes s'échapper par la fenêtre au tout début de l'incendie. À ce stade-ci, on observe de la fumée autour du cadrage de la porte coupe-feu de 45 minutes, laquelle s'est atténuée après plusieurs minutes. Après dix (10) minutes, quelques petites flammes ont été aperçues autour de la poignée de la porte, sans doute en raison de matériaux combustibles dans la poignée ou dans le mécanisme de la porte.

Après quinze (15) minutes environ, le plafond de gypse commence à s'effondrer avec des températures environnantes équivalentes au compartiment d'origine, c.-à-d. plus élevées que 900 °C. À ce stade-ci, les panneaux de CLT semblent être en cause dans l'incendie et peu après, les meubles rembourrés et le matelas étaient complètement consumés [3]. Après vingt (20) minutes, la porte coupe-feu a commencé à rougeoier, tel qu'illustré à la Figure 9 b), mais celle-ci est demeurée en place. Au bout d'une demi-heure, l'assemblage métallique du plafond, incluant les fourrures et les profilés métalliques, s'est complètement effondré. Les résidus de l'assemblage du plafond peuvent être observés sur le plancher aux Figures 9 c) et d).

Quarante (40) minutes après le début de la démonstration, l'incendie semblait diminuer en intensité permettant ainsi une plus grande visibilité de l'intérieur de la pièce. Cette diminution a également été notée dans le rapport client du CNRC et est attribuée au fait que la surface carbonisée des panneaux de CLT ralentit la combustion des panneaux [3]. Au moment où le feu diminuait en intensité, le mur du fond devint visible et il fut apparent que la première couche de gypse s'était presque complètement effondrée et que l'isolation Roxul et les colombages métalliques étaient quant à eux toujours en place (voir Figure 9 d)).

Au fur et à mesure que la démonstration continuait de progresser, la première couche de CLT du plafond a commencé à tomber à une (1) heure. Une fois que la première couche fut complètement effondrée, des flammes plus intenses furent observées au plafond, alors que la deuxième couche devint exposée au feu. Cependant, le feu a continué de réduire en intensité [3]. Des petits morceaux de la deuxième couche ont été observés alors qu'ils tombaient du plafond à 1 h 40 min. Le feu s'est poursuivi pendant deux (2) heures, moment auquel l'intention de la démonstration avait été atteinte. L'ordre d'éteindre le feu a par la suite été donné aux services d'incendie.

Tableau 1 - Observations durant l'incendie de démonstration

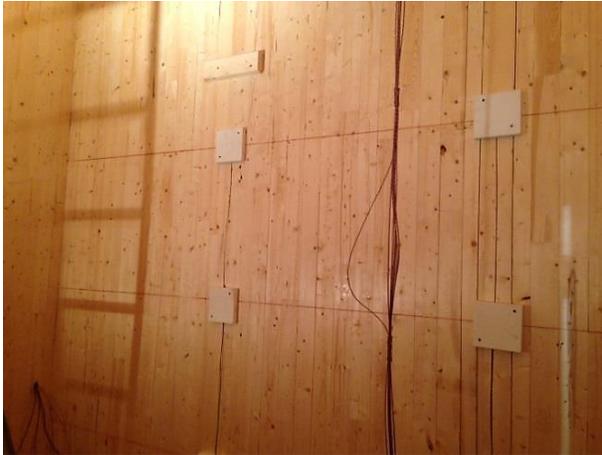
Heure	Observations
0 h 01	Observation de fumée s'échappant de la fenêtre
0 h 02	Une couche supérieure de fumée très chaude se développe nettement
0 h 03	Embrasement généralisé atteint
0 h 04	Fumée s'échappant du cadrage de la porte coupe-feu
0 h 05	Aucun effet immédiat visible à l'intérieur de la gaine de sortie
0 h 06	Températures des éléments de fourrure du plafond ~ 90°C Petits morceaux de matériaux sont tombés par la fenêtre et ont brûlé
0 h 10	Flammes autour de la poignée de porte, possiblement du matériel combustible à l'intérieur du mécanisme
0 h 14	Les panneaux de gypse du plafond cèdent. Températures à ~900°C
0 h 15	Des morceaux de gypse tombent du plafond
0 h 17	Petites flammes autour du cadrage de la porte coupe-feu
0 h 20	La porte coupe-feu 45 min dans le compartiment d'origine a atteint une haute température, elle rougeoie
0 h 30	L'assemblage métallique complet du plafond s'est effondré en un morceau
0 h 31	Petites flammes observées au bas de la porte coupe-feu
0 h 39	L'intensité du feu semble diminuer. Ce sont principalement les gaines de bois et le plafond qui continuent de brûler. Nous voyons maintenant plus clairement dans la pièce. Semble refroidir.
0 h 40	Températures derrière l'isolation Roxul 200-1000°C à l'intérieur du mur
0 h 57	En mesure de voir jusqu'au fond de la pièce. La première couche de gypse sur le mur du fond est clairement disparue, on distingue la définition entre les colombages métalliques et l'isolation
1 h 00	Petits morceaux de la première couche de CLT commencent à tomber du plafond
1 h 02	Des morceaux de plus grande dimension de la première couche de CLT tombent du plafond
1 h 04	Des morceaux des panneaux de CLT continuent de tomber
1 h 17	L'intensité du feu semble diminuer continuellement
1 h 32	Le mur en CLT contigu à la gaine, à l'intérieur du compartiment, atteint des températures entre 90 et 280°C derrière le gypse, et il commencera sans doute à carboniser très bientôt
1 h 40	Des morceaux commencent à tomber, potentiellement la deuxième couche
1 h 45	Les pompiers en uniforme évaluent la situation de près et déterminent le plan d'extinction de l'incendie
1 h 50	Quelques morceaux de petite dimension continuent à tomber du plafond de façon intermittente. Les thermocouples dans le mur de CLT en face de la porte, derrière le gypse, sont à ~450°C.
1 h 51	Trois (3) thermocouples dans le mur du compartiment contigu au mur de la gaine sont $\geq 300^\circ\text{C}$ , indiquant le début de la carbonisation. Un grand feu brûle dans un coin à l'arrière, une grosse pile de charge calorifique écroulée (gaines de bois), située à l'opposé de la porte coupe-feu.
2 h 00	2 heures écoulées. Températures de la gaine $\leq 5^\circ\text{C}$ . Aucun signe de fuite de fumée. Feu éteint.

**a) Environ 5 minutes après le début de la démonstration****b) Après 25 minutes****c) Après 45 minutes, les profilés d'acier tombent****d) >1.5 h, une partie de l'isolation et du gypse toujours en place****Figure 9. Incendie de démonstration**

Pendant toute la durée de l'incendie, il n'y avait aucun signe d'infiltration de chaleur ou de fumée dans la gaine, tel que démontré à l'aide de la Figure 10 a) et b). Après la démonstration, une fois que la pièce fut refroidie, les parties restantes du mur acoustique intérieur en gypse sur la paroi du mur contigu à la gaine (particulièrement la laine isolante) et tout autre panneau de gypse encore en place ont été retirés. La Figure 10 c) montre qu'à certains endroits, il y avait encore une couche, parfois deux (2) couches de gypse en place, même après que l'incendie fut éteint à l'aide d'un boyau.

Une fois les couches retirées, il fut évident qu'une grande partie du mur de la gaine de CLT n'avait pas été calcinée, comme on peut l'observer à la Figure 10 d). Les principales zones ayant subi une légère carbonisation en surface se situaient essentiellement près du plafond et près de la porte. La lisse était toujours en place et très légèrement carbonisée, Figure 10 e).

Près de la fenêtre, la deuxième couche de gypse était carbonisée, mais toujours en place. Vers l'arrière de la pièce, près de la porte coupe-feu, la deuxième couche de gypse était toujours en place, mais s'était écroulée à certains endroits, exposant une partie de la troisième couche non carbonisée (voir Figure 10 f)). Il est difficile de déterminer quelle est la proportion de la deuxième couche qui est tombée durant l'incendie, ou durant la période d'extinction à l'aide de boyaux qui pouvaient exercer une grande puissance.



**a) Mur intérieur de la gaine**



**b) Intérieur de la gaine**



**c) Intérieur du compartiment d'origine**



**d) Vue du mur contigu à la gaine à l'intérieur du compartiment d'origine**



**e) Lisse toujours en place, légèrement carbonisée**



**f) Assemblage du plafond affichant une délamination localisée**

**Figure 10. État de la structure après l'incendie**

### 4.1.6 Températures

Le rapport client du CNRC présente des données relatives aux températures enregistrées durant l'incendie de démonstration à différents endroits et à l'intérieur des assemblages de murs et de plafond [3]. Cette section est un résumé des résultats pertinents de ces données; toutes les figures et les graphiques de cette section ont été préparés par le CNRC.

Les températures à l'intérieur du compartiment durant l'incendie sont indiquées à la Figure 11. La courbe normale CAN/ULC-S101 y est également tracée à des fins de comparaison. L'intention de la démonstration était de provoquer un incendie plus sévère qu'un incendie normalisé afin de recréer un scénario intense, particulièrement en ce qui concerne les trente (30) premières minutes. La Figure 11 compare également les températures en référence au test d'incendie (PRF-03), utilisé pour élaborer le test d'incendie d'une résidence à plusieurs unités de logement [12]. Les températures enregistrées lors de l'incendie de démonstration étaient semblables à celles du test PRF-03, mais légèrement plus élevées pour les 15 premières minutes [3].

Les températures à l'intérieur de l'appartement ont atteint leur maximum de 1000-1100 °C après 10 minutes. Lorsque les profilés d'acier du plafond sont tombés après trente (30) minutes, les colonnes de thermocouples ont été projetées par terre, ce qui engendre une certaine incertitude sur la lecture de certaines températures même si toutes les températures à l'intérieur du compartiment avaient déjà commencé à diminuer juste avant trente (30) minutes.

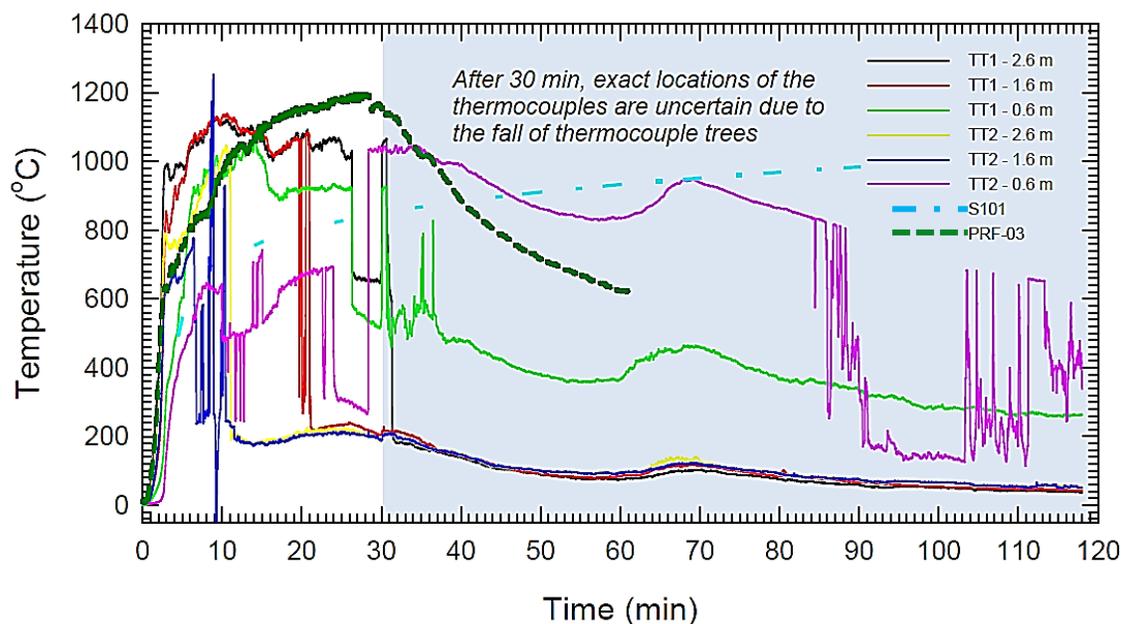


Figure 11. Températures enregistrées sur deux colonnes de thermocouples situées à l'intérieur du compartiment d'origine [3]

Des thermocouples ont également été installés dans l'assemblage du plafond du compartiment. Toutes les neuf (9) zones de mesure non exposées sur le plancher au-dessus du compartiment étaient bien en deçà des hausses de température permises prescrites dans la CAN/ULC-S101. Suite à la démonstration, il a été observé que les deux (2) premiers plis du plafond étaient carbonisés.

Les deux (2) couches de panneaux de gypse sont demeurées en place sur les trois (3) murs non contigus à la gaine. Les températures derrière les surfaces de gypse à l'intérieur d'un de ces murs ont atteint les 300 °C après environ soixante (60) minutes et n'ont pas excédé 500 °C, ce qui indique que les murs de CLT n'ont pas contribué à la combustion par les flammes, ni participé à la croissance de l'incendie dans le compartiment [3]. Comme avec l'assemblage du plafond, toutes les hausses de température sur les parois non exposées se situaient à l'intérieur des limites prescrites dans la CAN/ULC-S101 [3]. Seul le premier pli du panneau de CLT présentait des signes de carbonisation et les quatre (4) couches restantes sont demeurées non affectées.

À l'intérieur du mur contigu entre le compartiment et la gaine, la laine minérale rigide et les deux (2) couches de panneaux de gypse sont demeurées en place durant toute la démonstration, ce qui a contribué à protéger le mur de CLT derrière. Les températures entre les panneaux de gypse et le CLT pour le mur contigu sont illustrées dans la Figure 12 et elles sont toutes demeurées sous 400 °C pendant toute la durée de l'incendie. Moins de 5 mm de résidus carbonisés ont été observés dans le coin supérieur gauche de ce mur, la surface restante n'était pas carbonisée. De plus, il n'y avait pas d'augmentation de la température sur la paroi de CLT à l'intérieur de la gaine ni de changement à la densité visible de fumée.

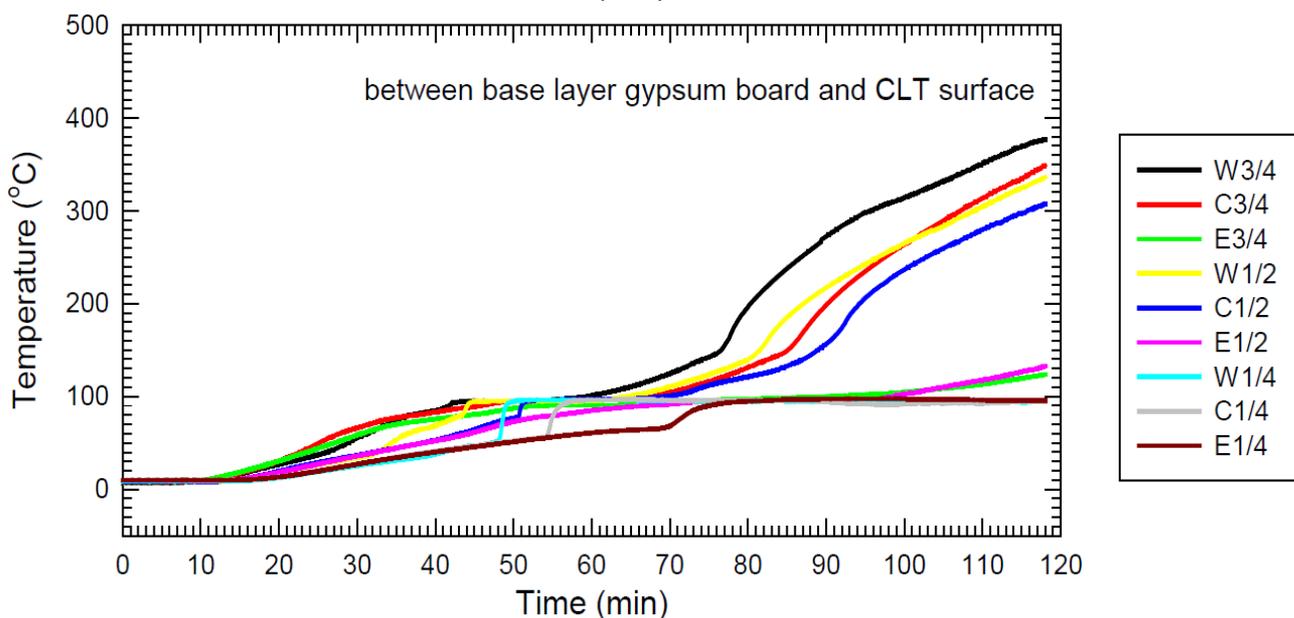


Figure 12. Températures mesurées sur la paroi de CLT partagée entre le compartiment et la gaine [3]

#### 4.1.6.1 Encapsulation

L'encapsulation du CLT a été évaluée à partir des thermocouples qui se trouvaient à la surface du CLT sous les panneaux de gypse ou d'isolant. Les critères conservateurs d'évaluation qui ont été utilisés pour évaluer la performance de la protection comportaient une hausse moyenne de température de la surface de 250 °C, ou une hausse maximale de température en tous points de 270 °C [3]. Ceci repose sur le principe généralement accepté que le bois commence à carboniser à 300 °C. Les temps déterminés d'encapsulation sont présentés au Tableau 2. Sur le mur de la gaine, un point unique a excédé les critères à quatre-vingt-onze (91) minutes. Cependant, la hausse moyenne de température n'a atteint que 210 °C et n'a jamais excédé 250 °C.

**Tableau 2 - Temps d'encapsulation déterminés durant l'incendie de démonstration [3]**

Assemblage — interface	Moyenne $\Delta T=250$ °C (min)	Point unique $\Delta T=270$ °C (min)
Plafond — isolation et surface en CLT	15.7	15.2
Mur (pas le mur de la gaine) - couche de base gypse et surface en CLT	60.9	56.9
Mur de la gaine - couche de base de gypse et surface en CLT	(<210 °C)	91.0

## 5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Un incendie de démonstration a été réalisé afin de prouver qu'une gaine verticale de sortie en CLT pouvait résister aux conditions sévères d'incendie dans une unité de logement adjacent. On a laissé brûler le feu pendant deux (2) heures, ce qui était l'objectif ciblé afin de démontrer le comportement de la structure selon le degré de résistance au feu actuellement requis pour une gaine verticale de sortie, et ce, pour des bâtiments de grande hauteur utilisant une construction incombustible, selon la division B de la CNBC 2010. La démonstration fut suspendue après deux (2) heures afin de maintenir la structure en place pour une deuxième démonstration potentielle d'incendie.

Préalablement au test, il était présumé que le feu n'aurait que très peu d'effet sur la gaine en CLT [3], ce qui s'est avéré être une présomption juste. Pendant toute la durée de l'incendie, aucun impact n'a été observé à l'intérieur de la gaine de CLT: il n'y avait aucun signe de hausse de température, ni aucune fuite apparente de fumée. Après l'achèvement de la démonstration, les deux (2) couches de gypse directement fixées au mur de CLT étaient toujours en place sur le mur partagé de la gaine et du compartiment. Il y avait des zones limitées de la surface exposée de CLT légèrement carbonisées et le reste de la surface n'a pas été affecté et n'avait même pas commencé à carboniser. Cela suggère qu'il n'y a pas ou peu d'effet sur la résistance structurelle de la gaine de CLT elle-même. Ainsi que noté dans le rapport client du CNRC, « *il n'y avait aucun signe d'impact par les flammes ou la fumée sur les conditions de sécurité de la gaine d'escaliers ou d'ascenseur [3].* »

Selon le degré de résistance de l'assemblage du mur de la gaine, préalablement évalué à **3 h 39 min**, il est possible de conclure que la structure de CLT pourrait résister à deux (2) heures d'exposition supplémentaires au feu (en comptant une protection d'une heure accordée par les deux (2) couches de panneaux de gypse). En revanche, il a été observé que l'intensité du feu commençait à diminuer après quarante (40) minutes. Dans l'éventualité où le feu poursuivrait selon cette tendance, il y aurait donc moins d'impact sur l'assemblage (c.-à-d., un degré potentiel de carbonisation réduit et/ou la fin de la combustion de la pièce).

Il est essentiel que les gaines d'escaliers de sortie et d'ascenseur maintiennent leur intégrité structurelle et des conditions supportables (en matière de fumée et de température) pour que les occupants puissent évacuer les lieux durant l'incendie. Il est également nécessaire de protéger ces gaines pour que les services d'incendie puissent avoir accès au feu pour fin d'extinction.

Puisque la division B de la norme CNBC 2010 requiert que les bâtiments de plus de quatre (4) étages soient de construction incombustible, une solution de rechange doit être élaborée pour démontrer que la conception respecte les objectifs du code. Des tests d'incendie antérieurs effectués par FPInnovations et le CNRC ont conclu que les assemblages de CLT peuvent aisément atteindre le degré de résistance au feu de deux (2) heures, avec ou sans la couche de protection de panneaux de gypse, lorsque conçus à cet effet. L'incendie de démonstration confirme que le CLT peut être utilisé dans les gaines d'escaliers de sortie et d'ascenseur, procurant ainsi une protection de deux (2) heures afin de procéder à l'évacuation sécuritaire des occupants et de permettre l'accès aux services d'incendie pour effectuer leur travail, ce qui par conséquent, répond aux objectifs et énoncés fonctionnels du Code.

## 6 RÉFÉRENCES

- [1] CNBC 2010, *Code national du bâtiment du Canada*, Ottawa, ON : Conseil national de recherches du Canada, 2010.
- [2] L. Osborne et C. Dagenais, "Considerations for Timber-based Exit Shafts in Mid-Rise and Tall Wood Buildings (Revised) (Project 301009338)," FPIInnovations, Québec (Qc), 2014.
- [3] J. Z. Su et S. Muradori, *Fire Demonstration - Cross-Laminated Timber Stair/Elevator Shaft*. Client Report: A1-006010.1, Ottawa, ON: National Research Council Canada, 2015.
- [4] *CAN/ULC S101 — Tests de résistance au feu pour les matériaux de construction et d'immeubles*, Ottawa, ON: Underwriters Laboratory of Canada, 2007.
- [5] L. Osborne, "CLT Fire Resistance Tests in Support of Tall Wood Building Demonstration Projects," FPIInnovations, Ottawa, ON, 2014.
- [6] J. Su, A. Roy-Poirier, P. Leroux, P.-S. Lafrance, K. Gratton, E. Gibbs et R. Berzins, "Fire Endurance of Cross-Laminated Timber Floor and Wall Assemblies for Tall Wood Buildings," Conseil national de recherche du Canada, Ottawa, ON, 2014.
- [7] « ANSI/APA PRG 320-2012: Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber," APA - The Engineered Wood Association., Tacoma, Wa., 2012.
- [8] C. Dagenais, "Comportement au feu des éléments de charpente en bois lamellé-croisé (révisé)," Manuel CLT, Québec, QC, FPIInnovations, 2014.
- [9] Guide de l'utilisateur – CNB 2010: Commentaires sur le calcul des structures (Partie 4 de la division B), Ottawa (Ont.): Conseil national de recherches du Canada, 2011.
- [10] L. Osborne, C. Dagenais and N. Benichou, "Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report," FPIInnovations, Québec, QC, 2012.
- [11] A. C. Bwalya, J. D. Lougheed, A. Kashef and H. H. Saber, *Survey Results of Combustible Contents and Floor Areas in Multi-Family Dwellings (RR-253)*, Ottawa, Ontario: Conseil national de recherches du Canada, 2008.
- [12] A. Bwalya, E. Gibbs, G. Lougheed and A. Kashef, *Characterization of Fires in Multi-Suite Residential Dwellings — Part 1: A Compilation of Post-Flashover Room Fire Test Data*, Ottawa, ON: Conseil national de recherches du Canada, 2013.

## **ANNEXE I**

### **Rapport CNRC:**

### **Démonstration d'incendie – Puits d'escalier ou d'ascenseur en bois lamellé-croisé**



Rapport présenté au client : A1-006010.1

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA

## **Démonstration d'incendie –**

### **Puits d'escalier ou d'ascenseur en panneaux lamellés-croisés**

Pour  
**FPIinnovations**

**Le 30 janvier 2015**



National Research  
Council Canada

Conseil national  
de recherches Canada

**Canada**

# Démonstration d'incendie –

## Puits d'escalier ou d'ascenseur en panneaux lamellés-croisés

Auteurs : Joseph Z. Su, Ph. D., et Saša Muradori

Assurance de la qualité : Gary D. Lougheed, Ph. D.

Approuvé par : Cameron McCartney  
Directeur de programme  
Bâtiments en bois de hauteur moyenne,  
CNRC-Construction

Numéro du rapport : A1-006010.1

Date du rapport : Le 30 janvier 2015

Numéro du contrat : A1-006010

Programme : Bâtiments en bois de hauteur moyenne

50 pages

Il est interdit de reproduire ce rapport en tout ou en partie sans l'autorisation écrite du Conseil national de recherches du Canada et du client.

## Table des matières

1	INTRODUCTION.....	1
2	OBJECTIFS DE LA DÉMONSTRATION D'INCENDIE .....	1
3	CONTEXTE DE LA DÉMONSTRATION D'INCENDIE .....	1
4	DÉMONSTRATION D'INCENDIE À GRANDE ÉCHELLE .....	2
4.1	Installation de la démonstration d'incendie à grande échelle .....	2
4.1.1	Construction du puits d'escalier ou d'ascenseur.....	8
4.1.2	Construction de l'appartement – compartiment résistant au feu .....	9
4.1.3	Charge structurale.....	12
4.1.4	Charge combustible et premier article enflammé.....	12
4.1.5	Instrumentation .....	15
4.2	Procédure.....	21
4.3	Résultats de la démonstration d'incendie à grande échelle.....	21
4.3.1	Évolution de l'incendie dans l'appartement.....	21
4.3.2	Durée et performance de l'encapsulation de la structure de PLC .....	29
5	SOMMAIRE .....	42
6	CONCLUSIONS.....	46
7	REMERCIEMENTS.....	46
8	RÉFÉRENCES.....	46

## Liste des tableaux

Tableau 1. Résultats d'un relevé de densités de charge calorifique résidentielles pour diverses pièces .....	13
Tableau 2. Durée d'encapsulation (min) – Durée pour l'atteinte des critères d'augmentation de la température.....	30

## Liste des figures

Figure 1. Schéma de l'installation de démonstration d'incendie à grande échelle .....	2
Figure 2. Vue en plan de l'installation de démonstration d'incendie à grande échelle .....	3
Figure 3. Vue verticale : coupe A .....	5
Figure 4. Vue verticale : coupe B .....	4
Figure 5. Vue verticale : coupe C .....	5
Figure 6. Détails des composantes des ensembles de mur et de plafond en PLC .....	6
Figure 7. Extérieur de l'installation de démonstration d'incendie à grande échelle .....	7
Figure 8. Intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur.....	8
Figure 9. Composantes du mur mitoyen dans le compartiment résistant au feu.....	10

Figure 10. Composantes de l'élément plafond dans le compartiment résistant au feu.....	11
Figure 11. Illustration de la disposition du combustible dans le compartiment résistant au feu..	14
Figure 12. Photographies de la disposition du combustible dans le compartiment résistant au feu.....	15
Figure 13. Instrumentation à l'intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur .....	16
Figure 14. Thermocouples installés à des interfaces des murs TYPE 2 et TYPE 4 (vue en plan) .....	18
Figure 15. Thermocouples installés à des interfaces du mur TYPE 2 et du plafond (vue verticale) .....	19
Figure 16. Thermocouples installés à des interfaces du mur TYPE 4 et du plafond (vue verticale) .....	20
Figure 17. Allumage de la causeuse rembourrée suivi de l'embrasement général à 2 min 35 s	21
Figure 18. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (0-4 min) .....	23
Figure 19. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (5-30 min) .....	24
Figure 20. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (35-60 min) .....	25
Figure 21. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (65-90 min) .....	26
Figure 22. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (95-120 min).....	27
Figure 23. Températures à 0,6 m, à 1,6 m et à 2,6 m de hauteur, mesurées avec les deux arbres de thermocouples (AT1 et AT2) dans l'appartement. ....	28
Figure 24. Thermocouples aux interfaces du plafond à ¼, à ½ et à ¾ de la longueur et de la largeur .....	31
Figure 25. Températures à diverses interfaces du plafond de l'appartement.....	32
Figure 26. Thermocouples à diverses interfaces du mur de TYPE 2 de l'appartement, à ¼, à ½ et à ¾ de la longueur et de la hauteur.....	34
Figure 27. Températures à diverses interfaces du mur de TYPE 2 de l'appartement .....	35
Figure 28. Double couche de placoplâtre et isolant rigide de laine minérale demeurés en place sur le mur de l'appartement jusqu'à la fin de la démonstration .....	36
Figure 29. Thermocouples à diverses interfaces dans le mur mitoyen de l'appartement et du puits d'escalier ou d'ascenseur, à ¼, à ½ et à ¾ de la longueur et de la hauteur.....	38
Figure 30. Températures à diverses interfaces dans le mur mitoyen de l'appartement et du puits d'escalier ou d'ascenseur.....	39
Figure 31. Températures, pression différentielle et densité optique dans le puits.....	41
Figure 32. Intérieur du compartiment résistant au feu après la démonstration d'incendie.....	44
Figure 33. Extérieur de la structure de démonstration et intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur après la démonstration d'incendie .....	45

# DÉMONSTRATION D'INCENDIE – Puits d'escalier ou d'ascenseur en panneaux lamellés-croisés

---

Joseph Z. Su, Ph. D., et Saša Muradori

## 1 INTRODUCTION

Le consortium réunissant Nordic Structures Bois, EBC et Yvan Blouin Architecte conçoit un bâtiment résidentiel de 13 étages avec une structure en bois massif. Le projet, appelé « Origine », sera situé dans l'écoquartier de la Pointe-aux-Lièvres à Québec, la construction devant débuter au printemps 2015.

La structure de bois massif sera constituée principalement de panneaux lamellés-collés et lamellés-croisés (PLC). Un PLC est composé principalement d'au moins trois couches de bois massif scié à liaison orthogonale, laminées par collage de couches longitudinales et transversales avec des adhésifs structuraux pour former un panneau de bois massif rectangulaire droit et plan, pour des applications de plancher, de toiture ou de mur.

On a demandé au Conseil national de recherches du Canada (CNRC) de contribuer à la démonstration d'une solution de remplacement à la construction incombustible prescrite par le Code de construction du Québec [1] et le Code national du bâtiment du Canada (CNB) [2]. Trois séries d'essais ont été réalisées au CNRC pour étudier la résistance au feu d'éléments de mur et de plancher en PLC [3], le comportement à l'incendie d'un élément de mur extérieur en PLC [4], et la démonstration d'incendie d'un puits d'escalier ou d'ascenseur en PLC pour le bâtiment proposé. Ce rapport présente la description et les résultats de cette démonstration d'incendie. C'est le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec qui a financé cette démonstration d'incendie, par l'intermédiaire de FPIInnovations.

## 2 OBJECTIFS DE LA DÉMONSTRATION D'INCENDIE

La démonstration d'incendie avait comme objectif premier d'observer la performance d'un puits d'escalier ou d'ascenseur en panneaux laminés-croisés adjacent à un appartement en proie à un incendie intense, à titre de solution de remplacement pour un puits de construction incombustible pour le bâtiment de bois proposé. On a de plus recueilli des données sur la gravité de l'incendie, la propagation de la fumée et l'intégrité des systèmes du bâtiment.

## 3 CONTEXTE DE LA DÉMONSTRATION D'INCENDIE

Il est obligatoire d'installer un système d'extincteurs automatiques à eau dans tout bâtiment de plus de six étages [1, 2]. Les extincteurs automatiques à eau sont hautement efficaces pour maîtriser ou éteindre un incendie assez intense pour activer le système. L'efficacité de performance des extincteurs automatiques dépasse les 91 % pour les occupations résidentielles [5]. Les avantages principaux d'un système d'extincteurs automatiques à eau sont une réduction du développement et de la propagation de l'incendie, avec réduction conséquente des pertes humaines et matérielles. On trouvera dans la section Références une information complète sur l'efficacité de performance des systèmes d'extincteurs automatiques à eau [5-7].

La démonstration d'incendie dans le cadre de ce projet a été menée sans extincteurs automatiques, et ne tient donc pas compte de l'efficacité d'un tel système pour maîtriser ou éteindre l'incendie. La démonstration simulait l'un des scénarios les plus pessimistes, dans lequel les extincteurs automatiques ne fonctionneraient pas ou ne suffiraient pas à maîtriser l'incendie.

#### 4 DÉMONSTRATION D'INCENDIE À GRANDE ÉCHELLE

La démonstration d'incendie à grande échelle a été réalisée afin d'observer et de valider la performance de sécurité-incendie d'un puits d'escalier ou d'ascenseur en bois massif. La démonstration d'incendie a été menée le 27 novembre 2014 dans l'installation d'essai d'incendie à grande échelle du CNRC de Mississippi Mills (Ontario), en présence d'autorités du bâtiment et de la sécurité-incendie, et de diverses parties impliquées dans le projet Origine ou s'y intéressant.

##### 4.1 Installation de la démonstration d'incendie à grande échelle

Une installation à grande échelle a été construite pour représenter une section du projet de bâtiment résidentiel de 13 étages en bois massif. Une structure de puits d'escalier ou d'ascenseur de neuf mètres de hauteur et un appartement adjacent ont été construits avec des PLC structuraux conformes à la norme ANSI/APA PRG-320 [8]. L'installation avait des dimensions proches de la taille réelle de la section de bâtiment à étudier.

La figure 1 présente un schéma de l'installation. Les figure 2 à figure 6 illustrent les détails de construction de l'installation. La figure 7 présente des photographies de l'installation. Les sections suivantes décrivent les ensembles structuraux et leur disposition.

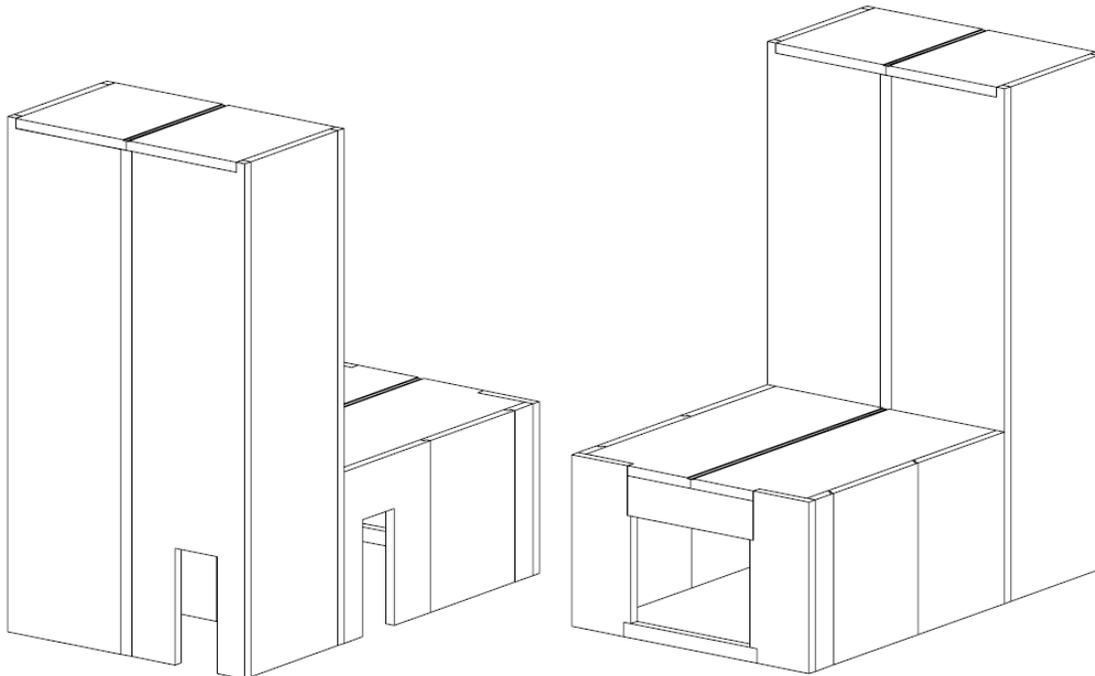


Figure 1. Schéma de l'installation de démonstration d'incendie à grande échelle

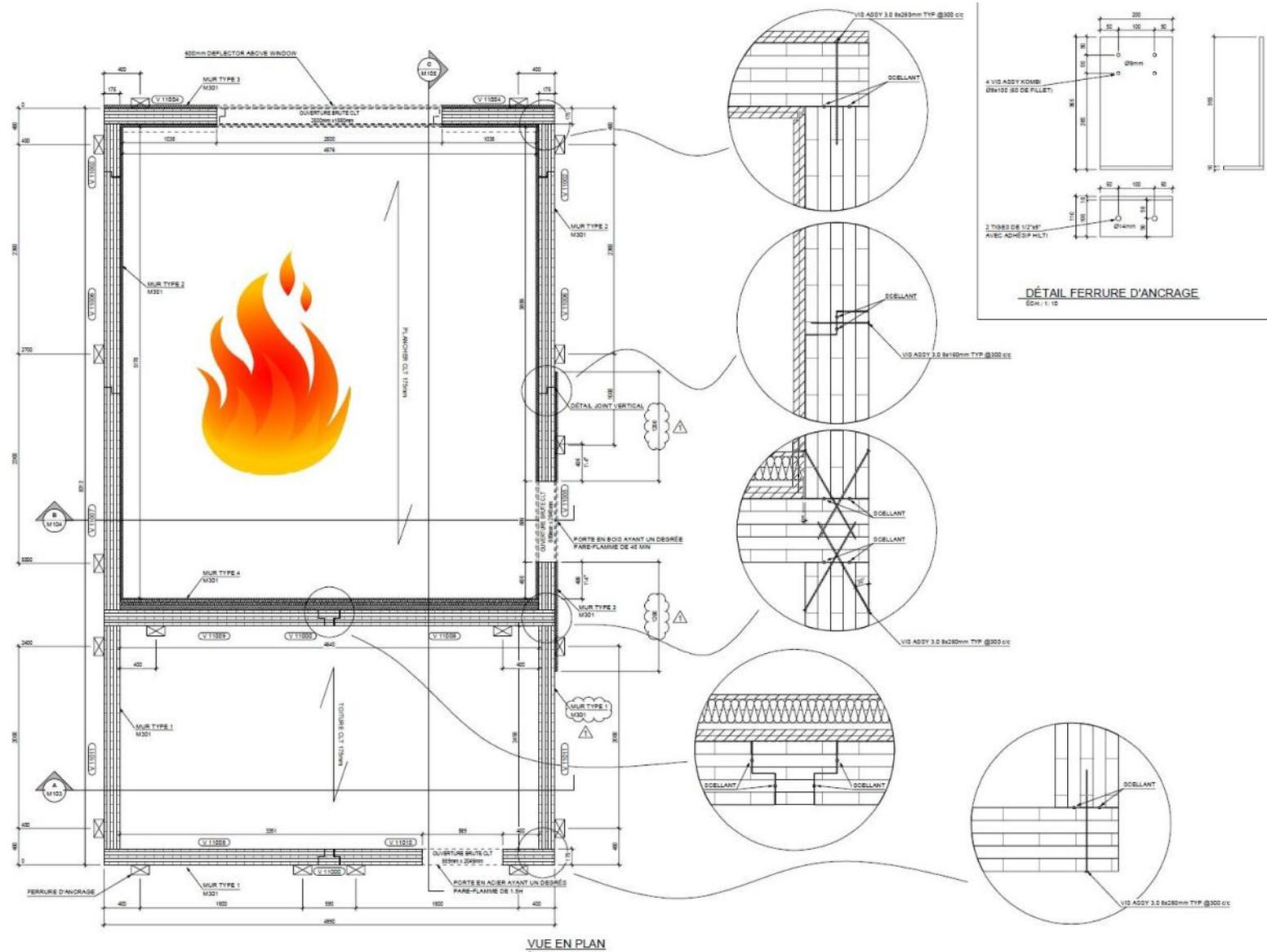


Figure 2. Vue en plan de l'installation de démonstration d'incendie à grande échelle

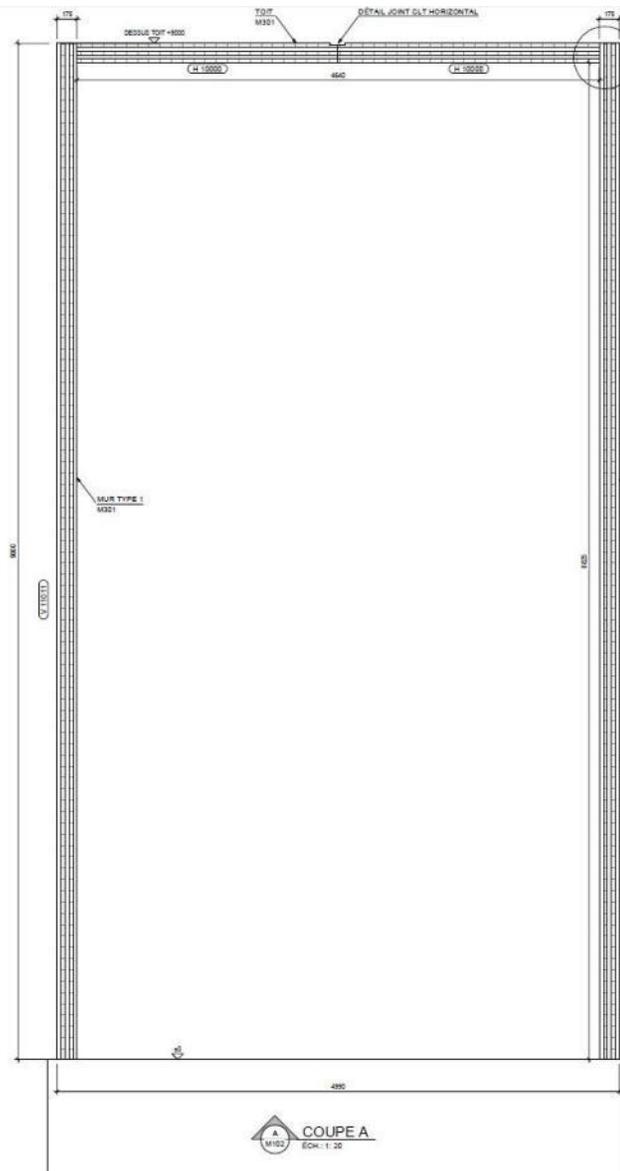


Figure 3. Vue verticale : coupe A

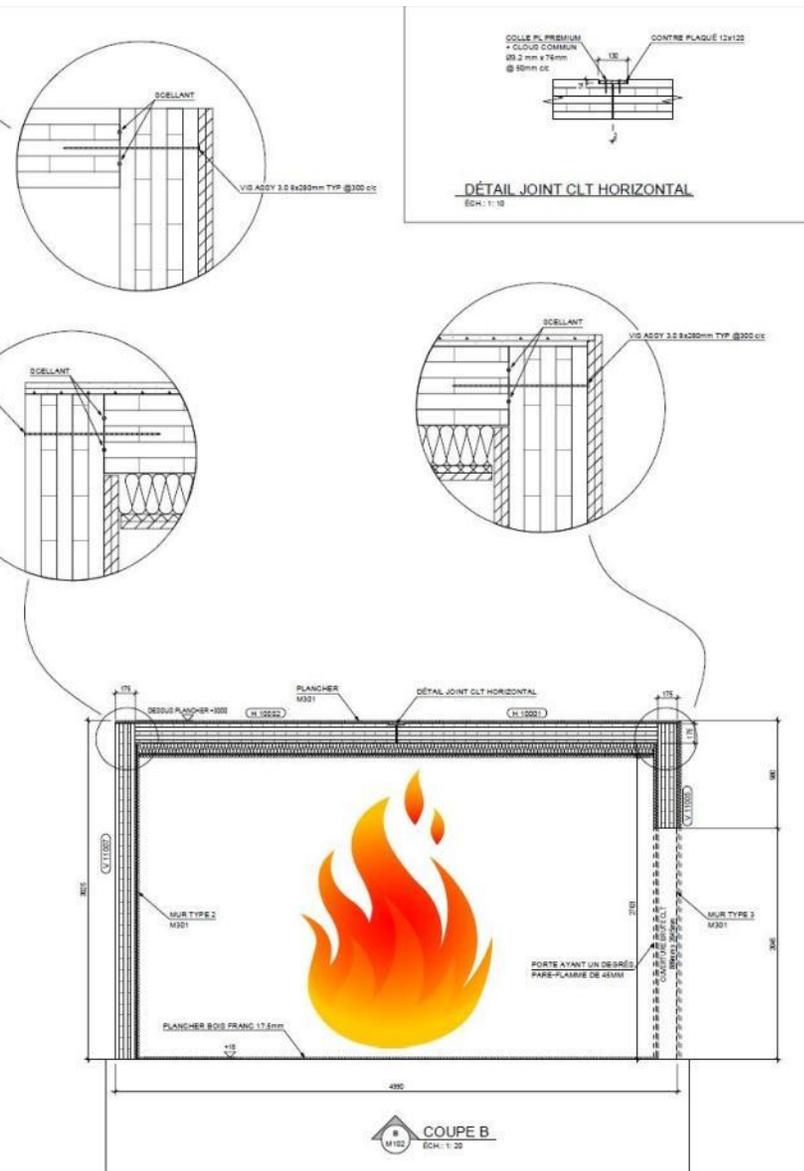


Figure 4. Vue verticale : coupe B



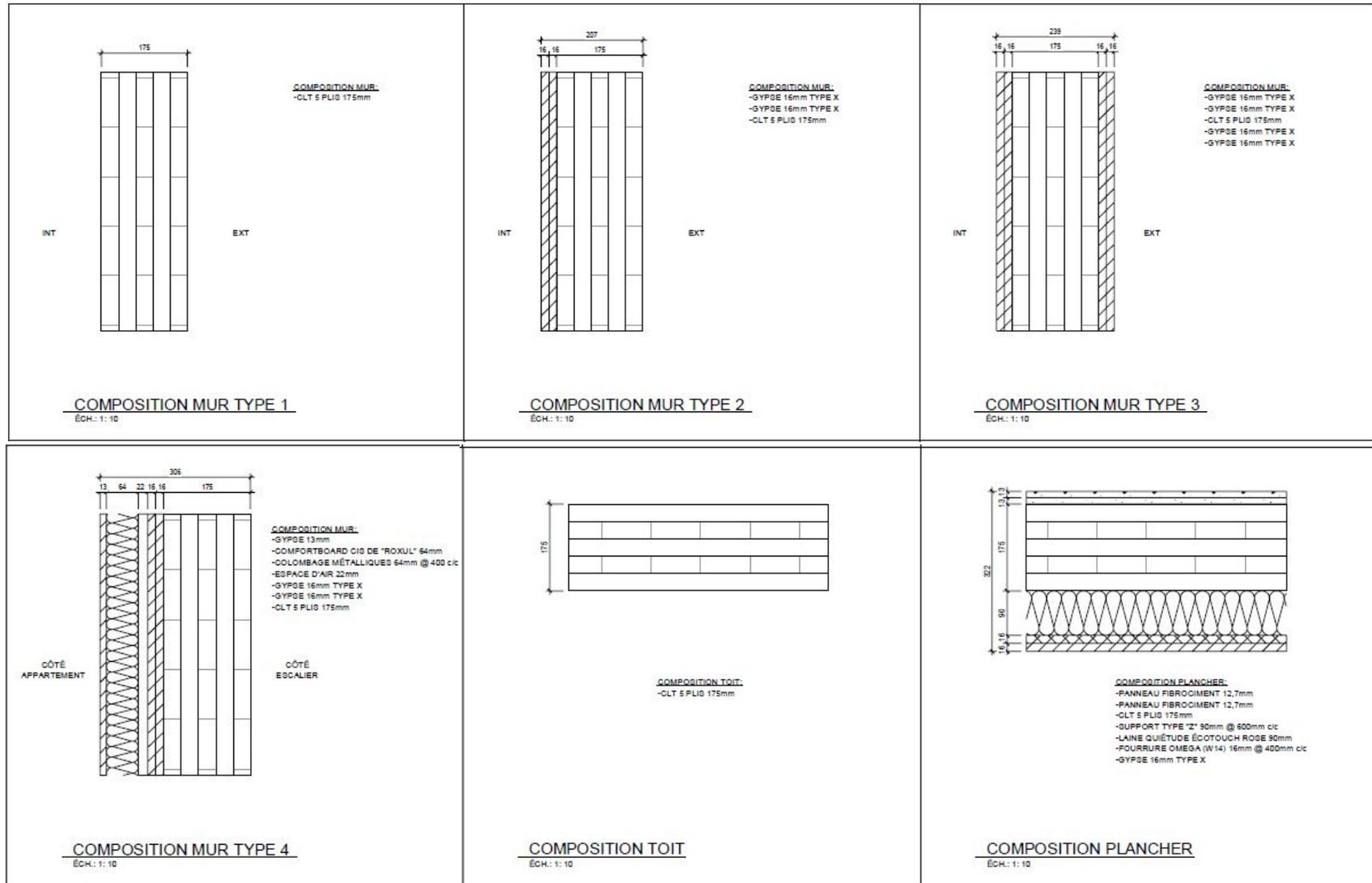


Figure 6. Détails des composantes des ensembles de mur et de plafond en PLC



Figure 7. Extérieur de l'installation de démonstration d'incendie à grande échelle

#### 4.1.1 Construction du puits d'escalier ou d'ascenseur

Les murs et le plafond du puits d'escalier ou d'ascenseur ont été construits de PLC à cinq plis de 175 mm d'épaisseur. Les murs ont été fixés à la dalle de béton du plancher de l'installation d'essai. Les dimensions extérieures du puits d'escalier ou d'ascenseur étaient de 4,99 m de largeur sur 2,80 m de profondeur sur 9,00 m de hauteur, avec des dimensions intérieures de 4,64 m de largeur sur 2,45 m de profondeur sur 8,83 m de hauteur. L'empreinte reprenait la superficie réelle des puits d'escalier ou d'ascenseur du projet Origine, la hauteur correspondant à trois étages (de 3 m chacun). Le puits d'escalier ou d'ascenseur comprenait une porte avec un degré de résistance au feu de 45 minutes, gardée fermée pendant la démonstration.

Il était postulé qu'un incendie se déclarant dans l'appartement adjacent aurait peu d'effet sur le puits de PLC et qu'il ne traverserait pas les panneaux pour pénétrer dans le puits pendant la démonstration d'incendie. Par conséquent, les PLC ont été laissés entièrement exposés à l'intérieur (figure 8) et à l'extérieur (figure 7) du puits d'escalier ou d'ascenseur afin de réduire le temps de construction et de pouvoir mieux observer tout impact de l'incendie sur les PLC. Il faut préciser que la conception réelle du projet Origine prévoit deux couches de placoplâtre de type X de 16 mm (5/8 po) d'épaisseur sur le côté intérieur des murs du puits d'escalier ou d'ascenseur.

Afin de compenser l'absence de placoplâtre sur les PLC du puits dans cette installation de démonstration d'incendie et d'empêcher des fuites possibles de fumée dans le puits à cause de cette absence, un adhésif de construction courant a été appliqué pour sceller les joints des PLC du puits, comme l'illustrent les figures 2 et 3.



**Figure 8. Intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur**

#### 4.1.2 Construction de l'appartement – compartiment résistant au feu

Un compartiment résistant au feu, représentant un studio, a été construit à côté du puits d'escalier ou d'ascenseur, avec des PLC structuraux à cinq plis de 175 mm d'épaisseur pour les murs et le plafond. L'appartement comportait un mur mitoyen avec le puits d'escalier ou d'ascenseur. Les trois autres murs étaient fixés à la dalle de béton du plancher de l'installation d'essai. Les panneaux de plafond reposaient sur des lisses installées sur le mur mitoyen avec le puits et sur le mur opposé de l'appartement. Les lisses étaient fabriquées de bois lamellé-collé de cote 24F-ES/NPG, aux dimensions transversales de 86 mm sur 267 mm.

Un calfeutrant classé résistant au feu a servi à sceller les joints entre les PLC des murs et du plafond de l'appartement, et entre les PLC et les lisses, comme l'illustrent les figures 2, 4 et 5, sauf pour le mur mitoyen avec le puits, dont les joints entre PLC ont été scellés avec un adhésif de construction courant, comme on le mentionnait à la section 4.1.1. L'utilisation des scellants avait pour objet de compenser l'élimination du placoplâtre sur la plupart des surfaces à l'extérieur de l'appartement dans cette installation de démonstration d'incendie, afin d'éviter de possibles fuites de fumée par les joints à cause de l'absence de placoplâtre à l'extérieur. Par ailleurs, la clavette horizontale joignant les deux PLC du plafond au milieu (figure 4) a été recouverte d'un joint sur le dessus (non exposé à l'incendie) par des bandes de contreplaqué de 12 mm d'épaisseur et de 120 mm de largeur, collées par deux lignes d'adhésif de construction de 6 mm de largeur et clouées de chaque côté des panneaux à intervalle de 50 mm avec des clous ordinaires de 76 mm.

Le mur face au puits d'escalier ou d'ascenseur comportait une ouverture brute de fenêtre (sans véritable fenêtre installée) afin de fournir de l'air de ventilation pour l'incendie dans l'appartement. Cette ouverture mesurait 2,50 m de largeur sur 1,88 m de hauteur, une taille courante de fenêtre dans les immeubles d'habitation. Une porte avec un degré de résistance au feu de 45 minutes a été installée dans un mur; la porte était fermée pendant la démonstration.

L'appartement fini, décrit dans les sections suivantes, mesurait 4,58 m de largeur sur 5,18 m de profondeur sur 2,70 m de hauteur. La portée de 5,18 m correspond à la portée réelle d'un étage adjacent au puits d'escalier ou d'ascenseur du projet Origine. Tous les éléments présentent le degré de résistance au feu de deux heures prescrit par le CNB pour tout bâtiment de plus de six étages.

##### 4.1.2.1 Finitions intérieures du compartiment résistant au feu

###### 4.1.2.1.1 *Finition du mur intérieur*

La finition intérieure a d'abord été appliquée du côté intérieur des murs. Toutes les surfaces murales de PLC à l'intérieur de l'appartement (y compris les lisses) ont été protégées par deux couches de placoplâtre de type X de 16 mm ( $\frac{5}{8}$  po) d'épaisseur. Les deux couches de placoplâtre ont été appliquées directement aux PLC muraux en décalant les joints, fixés par des vis de type S de 51 mm (2 po) à entraxe de 300 mm, à partir de 150 mm de l'extrémité de l'élément pour la première couche (de base) et de 200 mm de l'extrémité pour la deuxième couche (de surface). Les vis étaient posées à au moins 38 mm ( $1\frac{1}{2}$  po) de la bordure de toutes les sections de placoplâtre. Sur la couche de surface seulement, les joints entre les panneaux ont été recouverts de ruban et de composé à joints, et toutes les têtes de vis ont été recouvertes de composé à joints.

Pour le mur mitoyen avec le puits d'escalier ou d'ascenseur, des composantes supplémentaires, notamment un isolant rigide de laine minérale incombustible, ont été ajoutées du côté appartement du mur mitoyen afin de respecter les exigences d'insonorisation du Code [1, 2]. Les composantes supplémentaires comprenaient une ossature d'acier légère ajoutée au mur mitoyen après avoir appliqué aux PLC et à la lisse laminée-collée deux couches de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur. Les montants d'acier, de 64 mm de profondeur, étaient espacés à 400 mm d'entraxe. Une lame d'air de 22 mm a été conservée entre l'ossature d'acier et le mur recouvert de placoplâtre, de façon à affleurer la lisse revêtue de placoplâtre à l'ossature d'acier (figure 9). La cavité créée par les montants d'acier a été remplie d'isolant de laine minérale rigide de 64 mm d'épaisseur. Une couche de placoplâtre régulier de 13 mm ( $\frac{1}{2}$  po) d'épaisseur a été installée sur la lisse et l'ossature d'acier légère avec des vis de type S de 32 mm ( $1\frac{1}{4}$  po), à 300 mm d'entraxe, à partir de 150 mm de l'extrémité de l'élément. Les vis étaient posées à au moins 38 mm ( $1\frac{1}{2}$  po) de la bordure de toutes les sections de placoplâtre. Les joints entre les panneaux ont été recouverts de ruban et de composé à joints, et toutes les têtes de vis ont été recouvertes de composé à joints. La figure 9 montre les composantes du mur mitoyen dans le compartiment résistant au feu.

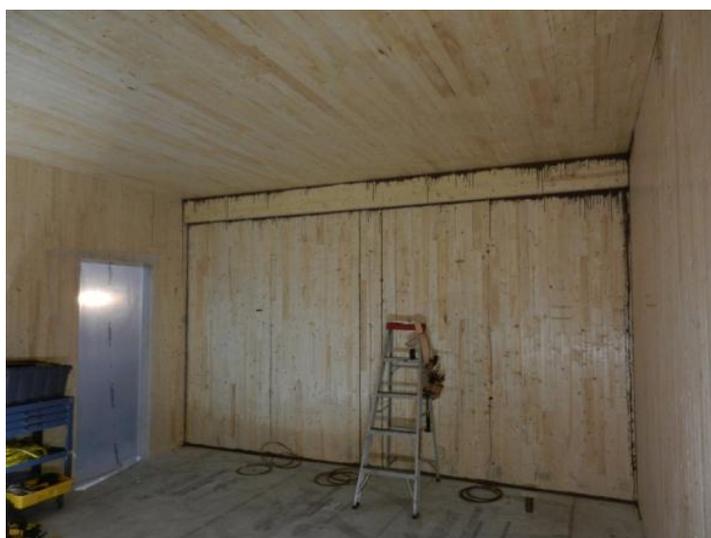


Figure 9. Composantes du mur mitoyen dans le compartiment résistant au feu

#### 4.1.2.1.2 Finition du plafond

La finition du plafond a été appliquée après le revêtement de toutes les surfaces des murs intérieurs. Des profilés en Z d'acier galvanisé de calibre 26, profonds de 90 mm, ont été installés sous les PLC du plafond. Les profilés ont été installés en perpendiculaire de la direction de la portée du plafond, espacés à 600 mm d'entraxe. Les profilés en Z ont été fixés aux PLC avec des vis à bois de 38 mm (1½ po) de calibre 8, à 300 mm d'entraxe.

Des tasseaux de 16 mm (5⁄8 po) d'épaisseur, en acier galvanisé de calibre 25, ont été installés en perpendiculaire des profilés en Z, espacés à 400 mm d'entraxe. Les tasseaux ont été fixés aux profilés Z avec des vis à tôle métalliques à tête cylindrique de 25 mm (1 po) et de calibre 6, espacées à 600 mm d'entraxe de chaque côté des tasseaux. Un tasseau double a été installé à tous les 1 200 mm pour faciliter l'installation subséquente du placoplâtre. L'espace entre les profilés en Z et sous les tasseaux a été comblé par un isolant de fibre de verre incombustible de 90 mm d'épaisseur.

Une couche simple de placoplâtre de type X de 16 mm (5⁄8 po) d'épaisseur a été fixée aux tasseaux métalliques, couvrant l'isolant de fibre de verre. Le placoplâtre a été fixé avec des vis de type S de 32 mm (1¼ po) de longueur, à 300 mm d'entraxe, à partir de 150 mm des extrémités de l'élément. Les vis étaient posées à au moins 38 mm (1½ po) de la bordure de toutes les sections de placoplâtre, grâce aux doubles tasseaux aux joints de placoplâtre. Les joints entre panneaux ont été couverts de ruban et de composé à joints, et toutes les têtes de vis ont été recouvertes de composé à joints. La figure 10 illustre les composantes de l'élément plafond dans le compartiment résistant au feu.



**Figure 10. Composantes de l'élément plafond dans le compartiment résistant au feu**

#### 4.1.2.1.3 Finition du plancher

Un plancher flottant laminé avec thibaude insonorisante a été installé sur la dalle de béton du plancher de l'appartement.

#### 4.1.2.2 Finitions extérieures du compartiment résistant au feu

Comme l'illustre la figure 7, la plupart des surfaces murales en PLC à l'extérieur du compartiment résistant au feu n'étaient pas protégées, à l'exception de surfaces limitées autour de l'ouverture brute de fenêtre et de la porte, où l'on a installé deux épaisseurs de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur. Les bordures de l'ouverture de fenêtre ont aussi été revêtues de deux couches de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur et recouvertes de tôles d'acier galvanisé.

Au sommet de l'appartement, les PLC du plafond ont été recouverts de deux couches décalées de panneau de ciment de 13 mm ( $\frac{1}{2}$  po) d'épaisseur, fixées avec des vis à bois de 51 mm (2 po) de longueur de calibre 8. Les vis étaient espacées de 610 mm, en partant de 19 mm ( $\frac{3}{4}$  po) de l'extrémité du panneau de ciment.

#### 4.1.3 Charge structurale

La charge totale spécifiée de l'élément de plafond s'établit à 5,69 kPa, comprenant le poids propre de 1,49 kPa de la dalle de bois laminé-croisé. La charge spécifiée combine une charge permanente de 3,79 kPa et une surcharge de 1,9 kPa.

Pour la démonstration d'incendie, des blocs de béton ont été placés sur l'élément de plafond de PLC pour ainsi, avec le poids propre de l'élément complet, induire une charge spécifiée de 4,74 kPa afin de reproduire un état de charge combustible théorique correspondant à la moitié de la surcharge plus le poids propre ( $0,5S + P$ ), conformément au paragraphe A-25 du commentaire A du *Guide de l'utilisateur – CNB 2010, Commentaires sur le calcul des structures (Partie 4 de la division B)* [9].

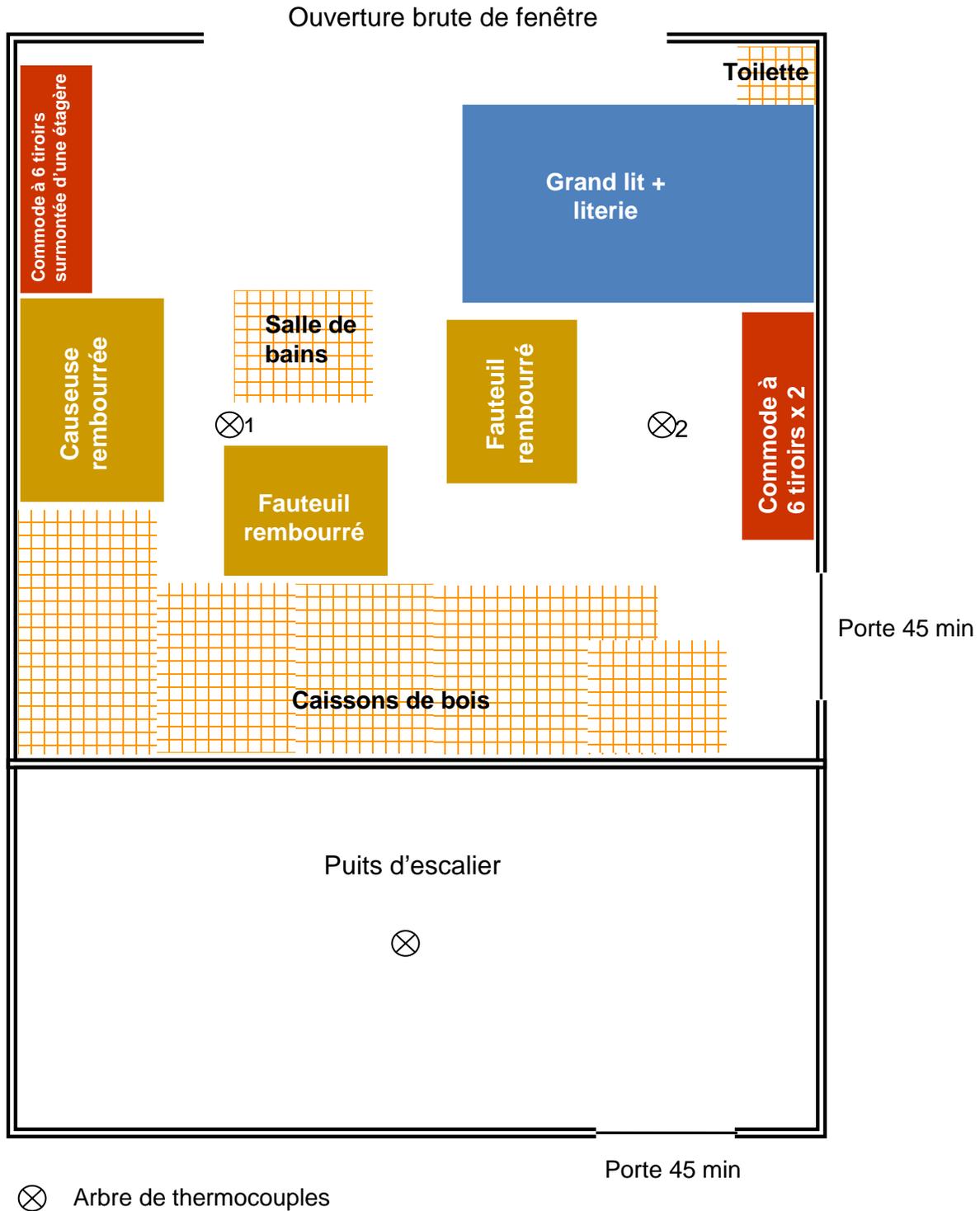
#### 4.1.4 Charge combustible et premier article enflammé

Le compartiment résistant au feu a été construit pour simuler un studio avec chambre, séjour et cuisine. La charge combustible était composée d'un grand lit avec matelas et sommier à ressorts, de fauteuils rembourrés et d'une causeuse (deux places), de commodes, d'une bibliothèque et de caissons de bois simulant des tables de cuisine, de nuit et de salon, et d'armoires et de comptoirs de cuisine. La causeuse rembourrée était le premier article enflammé. La figure 11 montre la disposition du combustible dans l'appartement. La figure 12 présente des photographies de la disposition du combustible dans le compartiment résistant au feu.

La densité de charge calorifique (DCC) dans l'appartement s'établissait à 790 MJ/m<sup>2</sup>. Un relevé de charges calorifiques résidentielles a permis d'établir une fourchette de DCC pour diverses pièces dans une résidence, comme indiqué au tableau Tableau 1 [10]. Comme le studio utilisé pour la démonstration combinait chambre, séjour et cuisine, la DCC de 790 MJ/m<sup>2</sup> utilisée pour la démonstration s'approchait de la valeur moyenne au 95<sup>e</sup> centile de 745 MJ/m<sup>2</sup>. La charge calorifique employée dans la démonstration est donc relativement élevée.

**Tableau 1. Résultats d'un relevé de densités de charge calorifique résidentielles pour diverses pièces**

Pièce	DCC moyenne (MJ/m <sup>2</sup> )	Écart-type (MJ/m <sup>2</sup> )	Minimum (MJ/m <sup>2</sup> )	Maximum (MJ/m <sup>2</sup> )	95 <sup>e</sup> centile (MJ/m <sup>2</sup> )
Cuisine	807	123	420	1 244	940
Chambre secondaire	594	146	107	1 000	846
Chambre primaire	534	125	249	920	753
Séjour	412	127	106	897	610
Salle à manger	393	132	119	901	576
Moyenne					745



**Figure 11. Illustration de la disposition du combustible dans le compartiment résistant au feu**



**Figure 12. Photographies de la disposition du combustible dans le compartiment résistant au feu**

#### 4.1.5 Instrumentation

##### 4.1.5.1 Instrumentation dans le puits d'escalier ou d'ascenseur

Une pression de 12 Pa était maintenue dans le puits d'escalier ou d'ascenseur par un apport d'air frais, soit la mise sous pression de conception pour le puits d'escalier ou d'ascenseur du projet Origine. La pression réelle était surveillée pendant la démonstration d'incendie.

Un groupe de neuf thermocouples a été installé au centre du puits d'escalier ou d'ascenseur sur les 9 m de hauteur, à partir de 1 m au-dessus du plancher, pour mesurer la température à différentes hauteurs. Un autre groupe de neuf thermocouples recouverts de tampons employés dans les essais standards de résistance au feu [11] était également installé sur la section de mur de PLC non exposée adjacente à l'appartement.

Un densimètre optique a été installé dans le puits d'escalier ou d'ascenseur à une hauteur de 7 m pour détecter toute fuite de fumée dans le jour lors de la démonstration. Les figures 11 et 13 montrent l'instrumentation à l'intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur.



**Figure 13. Instrumentation à l'intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur**

#### 4.1.5.2 Instrumentation dans le compartiment résistant au feu

Comme on le voit aux figures 11 et 12, deux arbres de thermocouples, dotés chacun de trois thermocouples (blindés contre le rayonnement) à hauteurs respectives de 0,6 m, de 1,6 m et de 2,6 m, ont été installés dans l'appartement pour mesurer les températures des pièces.

Des thermocouples ont été installés à diverses interfaces des matériaux sur les PLC des éléments muraux et de plafond, afin de mesurer les températures à ces endroits. Les figures 14, 15 et 16 illustrent l'emplacement des thermocouples installés aux interfaces des éléments muraux et de plafond.

Vingt-sept thermocouples ont été installés aux interfaces du mur mitoyen entre l'appartement et le puits d'escalier ou d'ascenseur (mur TYPE 4 dans les plans). Comme l'illustrent les figures 14 et 16, neuf thermocouples ont été installés à l'interface de la couche de surface de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur et de la lame d'air derrière l'ossature d'acier légère, neuf autres thermocouples à l'interface entre la couche de base de placoplâtre et les PLC du côté appartement, et neuf autres thermocouples recouverts de tampons employés dans les essais standards de résistance au feu du côté puits des PLC. Les thermocouples étaient disposés au quart et à la moitié des distances horizontales et verticales des éléments.

Vingt-sept thermocouples ont été installés aux interfaces du plafond. Comme l'illustrent les figures 15 et 16, neuf thermocouples ont été installés au-dessus du placoplâtre sur les tasseaux métalliques, neuf autres à l'interface de l'isolant et des PLC, et neuf thermocouples recouverts de tampons employés dans les essais standards de résistance au feu sur le dessus du plafond. Les thermocouples étaient disposés au quart et à la moitié des deux distances horizontales perpendiculaires.

Dix-huit thermocouples ont été installés aux interfaces du mur TYPE 2 sans porte. Comme l'illustrent les figures 14 et 15, neuf thermocouples ont été installés à l'interface de la couche de base de placoplâtre et des PLC, et neuf thermocouples recouverts de tampons employés dans les essais standards de résistance au feu sur la surface extérieure des PLC. Les thermocouples étaient disposés au quart et à la moitié des distances horizontales et verticales du mur.

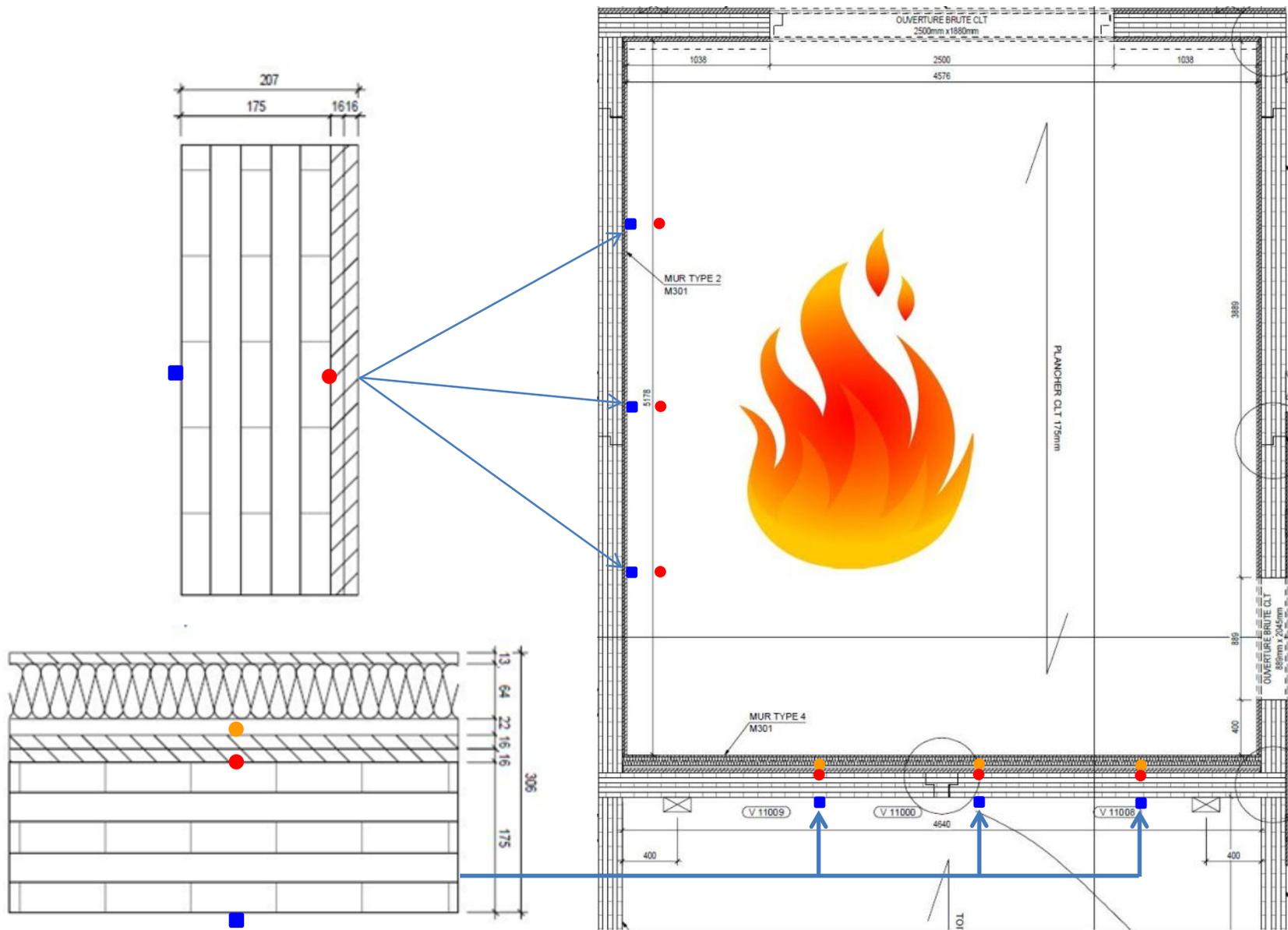


Figure 14. Thermocouples installés à des interfaces des murs TYPE 2 et TYPE 4 (vue en plan)

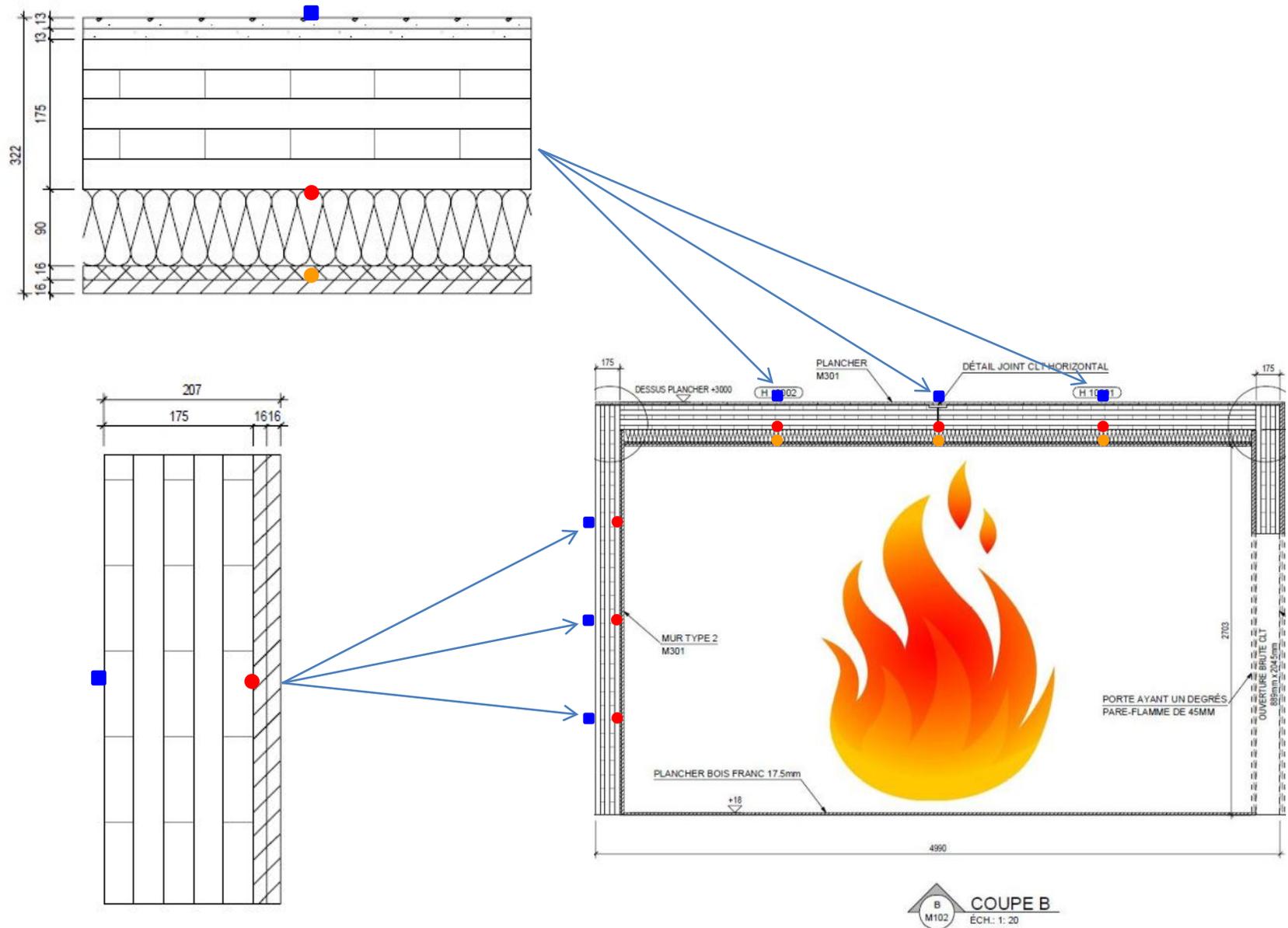


Figure 15. Thermocouples installés à des interfaces du mur TYPE 2 et du plafond (vue verticale)

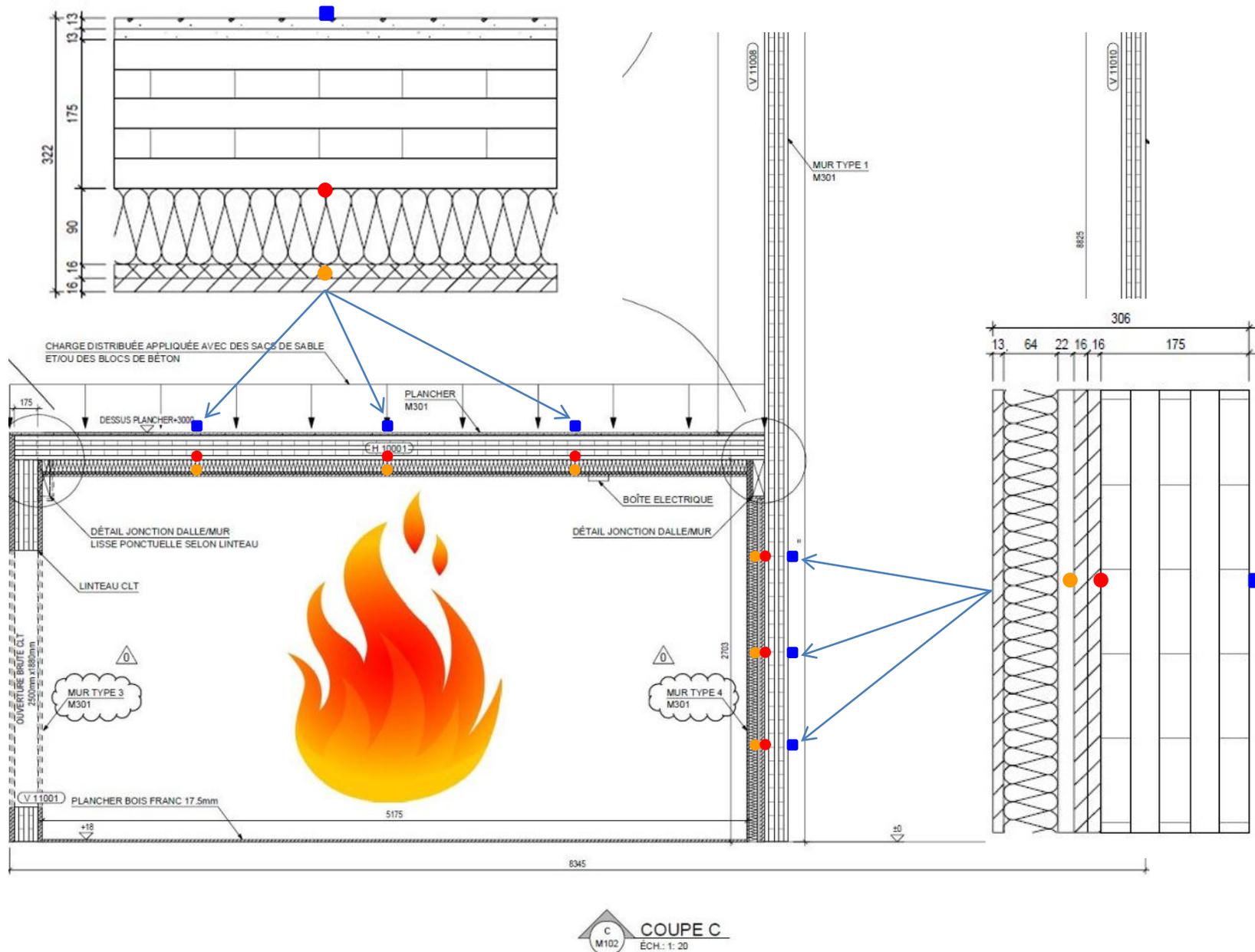


Figure 16. Thermocouples installés à des interfaces du mur TYPE 4 et du plafond (vue verticale)

## 4.2 Procédure

La procédure suivante a été appliquée :

1. Allumer la causeuse avec un brûleur carré en conformité de la norme ASTM E1537 [12];
2. Laisser l'incendie brûler deux heures;
3. Mettre fin à la démonstration en éteignant l'incendie après deux heures;
4. Effectuer des observations après l'extinction de l'incendie.

## 4.3 Résultats de la démonstration d'incendie à grande échelle

### 4.3.1 Développement de l'incendie dans l'appartement

La causeuse a été allumée avec un brûleur carré en conformité avec le protocole de la norme ASTM E1537 [12]. De la fumée a commencé à s'échapper de l'ouverture brute de fenêtre après 30 secondes. Des flammes ont commencé à s'échapper par l'ouverture brute à 2 min 20 s. L'embrasement général s'est déclenché à 2 min 35 s. Un incendie à haute intensité évoluant rapidement a été produit dans l'appartement. La figure 17 montre l'allumage de la causeuse et l'embrasement général de l'appartement.



**Figure 17. Allumage de la causeuse rembourrée suivi de l'embrasement général à 2 min 35 s**

Les figures 18 à 22 sont des images vidéo de l'évolution de l'incendie pendant la démonstration. La vidéo montrait qu'après l'embrasement général, l'air frais entrain dans le compartiment résistant au feu principalement par la moitié droite de l'ouverture brute de fenêtre, et que le panache de l'incendie sortait principalement par la moitié gauche de l'ouverture.

À environ 15 minutes, l'incendie semble commencer à attaquer les PLC du plafond, le panache sortant alors de la partie supérieure de l'ouverture et l'air frais pénétrant par la moitié inférieure. Le placoplâtre du plafond semble aussi tomber par morceaux après 15 minutes.

Le mobilier rembourré et le matelas étaient complètement consumés après 20 minutes.

À 30 minutes, l'ensemble complet des profilés d'acier en Z et des tasseaux métalliques est tombé du plafond, renversant les deux arbres de thermocouples. Les PLC du plafond étaient entièrement impliqués dans l'incendie et contribuaient au panache s'échappant par l'ouverture.

Entre 40 et 60 minutes, le panache sortant de l'ouverture a baissé d'intensité, peut-être parce que la couche carbonisée en surface des PLC du plafond ralentissait la combustion de ces panneaux. Pendant cette période, les caissons de bois dans l'appartement se sont réduits à un amas de débris incandescents sur le plancher. Quelques morceaux carbonisés ont commencé à tomber du plafond de PLC.

À environ 60 minutes, de nombreux morceaux carbonisés sont tombés du plafond de PLC et une combustion plus vigoureuse s'est manifestée au plafond, indicatrice de la chute du premier pli carbonisé et de l'embrasement du deuxième pli non carbonisé des PLC du plafond. Un panache de plus grande taille sortait de l'ouverture.

Entre 75 et 90 minutes, la plus grande partie de la charge combustible a été consumée, et l'incendie a graduellement diminué de taille. Le panache sortant de l'ouverture a aussi diminué.

Après 90 minutes, aucun panache ne sortait de l'ouverture. L'incendie dans l'appartement a continué de décliner jusqu'à la fin de la démonstration.

On a mis fin à la démonstration d'incendie peu après 120 minutes. Cette durée avait été choisie à l'avance par les parties à la planification de la démonstration d'incendie, du fait que le CNB prescrit que les planchers et les murs porteurs de tout bâtiment de plus de six étages doivent avoir un degré de résistance au feu de deux heures, même si la démonstration ne constituait pas un essai standard de résistance au feu. L'incendie a été éteint au moyen d'un tuyau d'incendie. Les doubles couches du placoplâtre de type X sont demeurées sur les murs tout au long de la démonstration d'incendie jusqu'à l'extinction de ce dernier. L'isolant de laine minérale est aussi demeuré sur le mur mitoyen avec le puits d'escalier ou d'ascenseur.

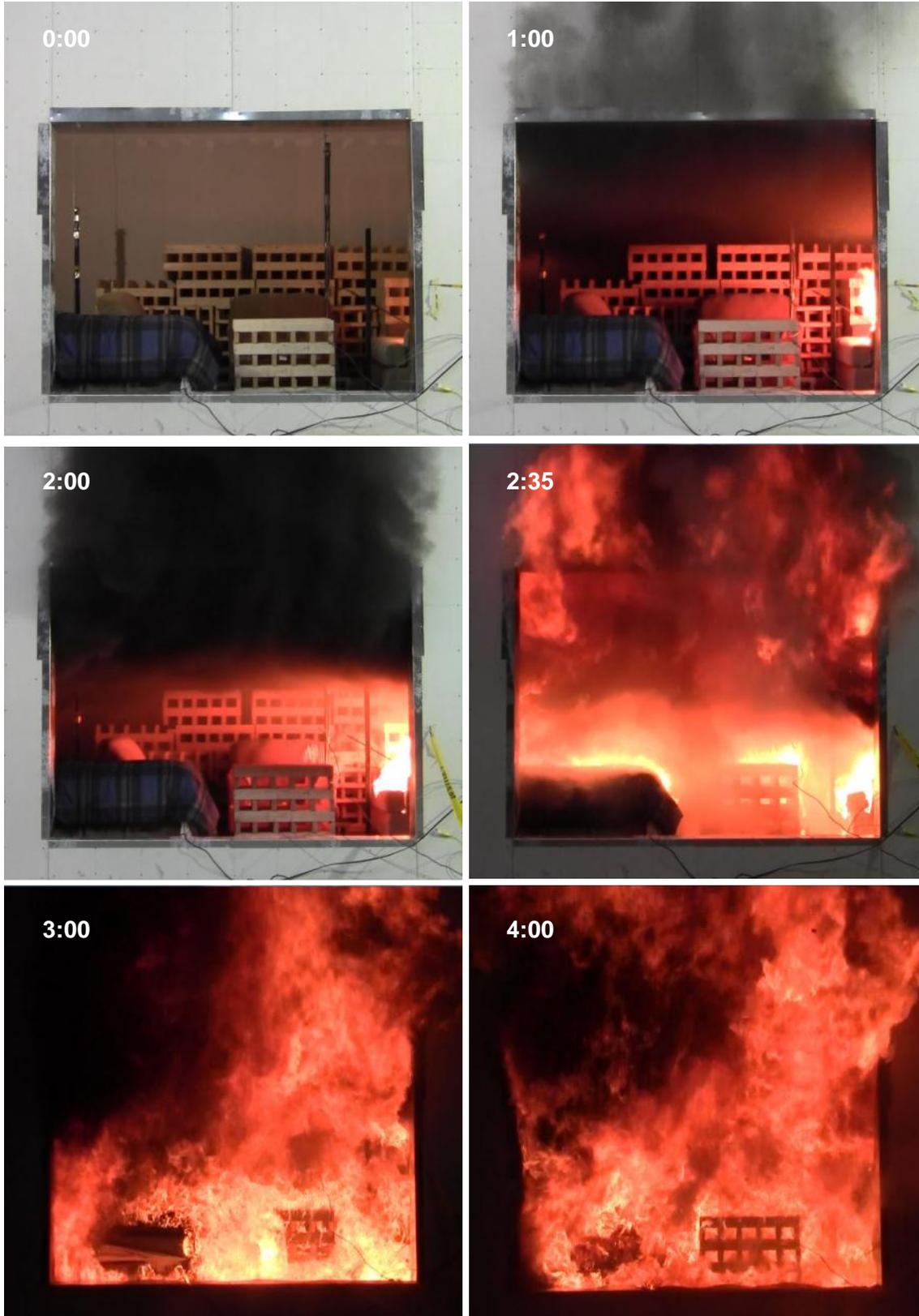


Figure 18. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (0-4 min)

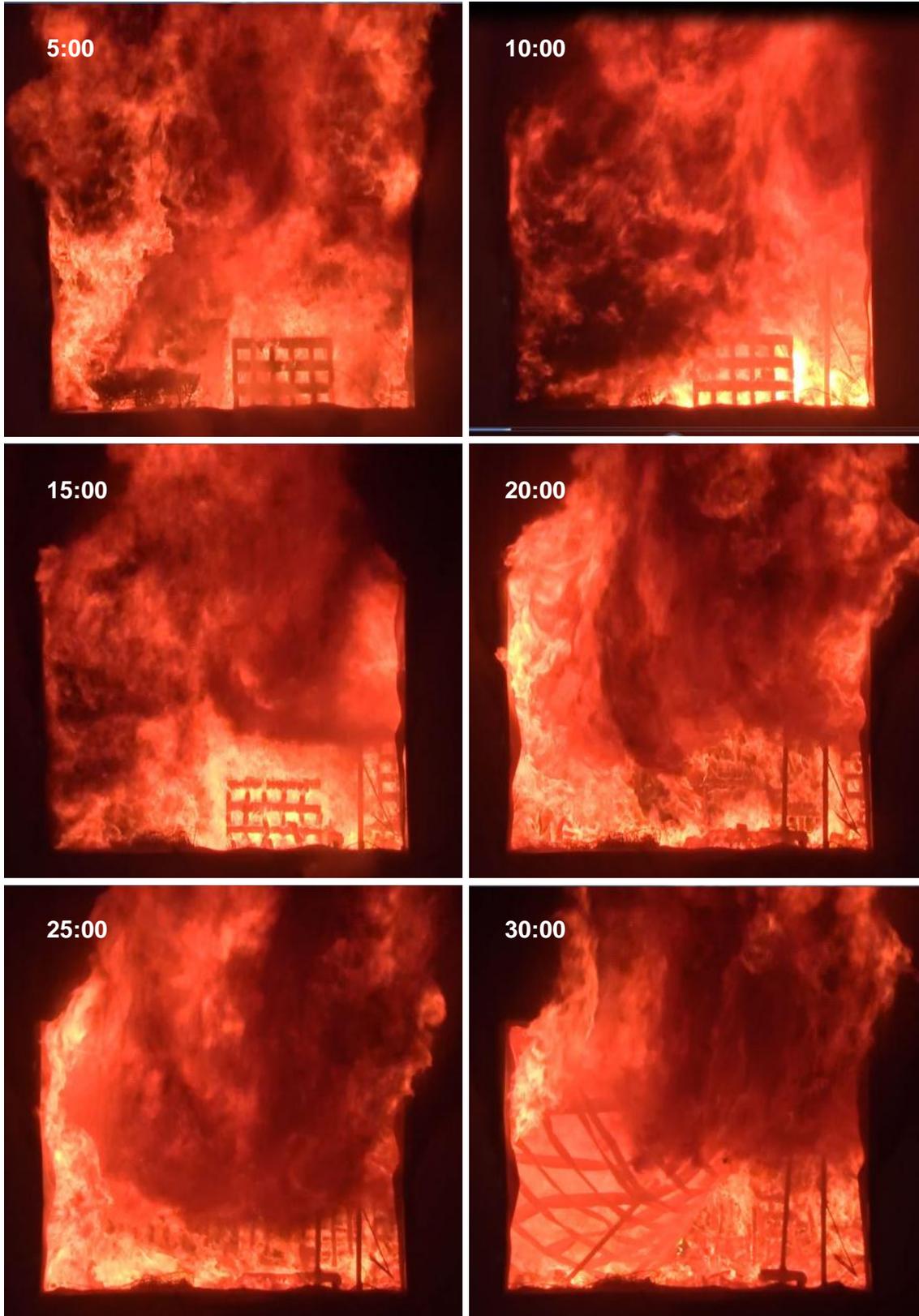


Figure 19. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (5-30 min)

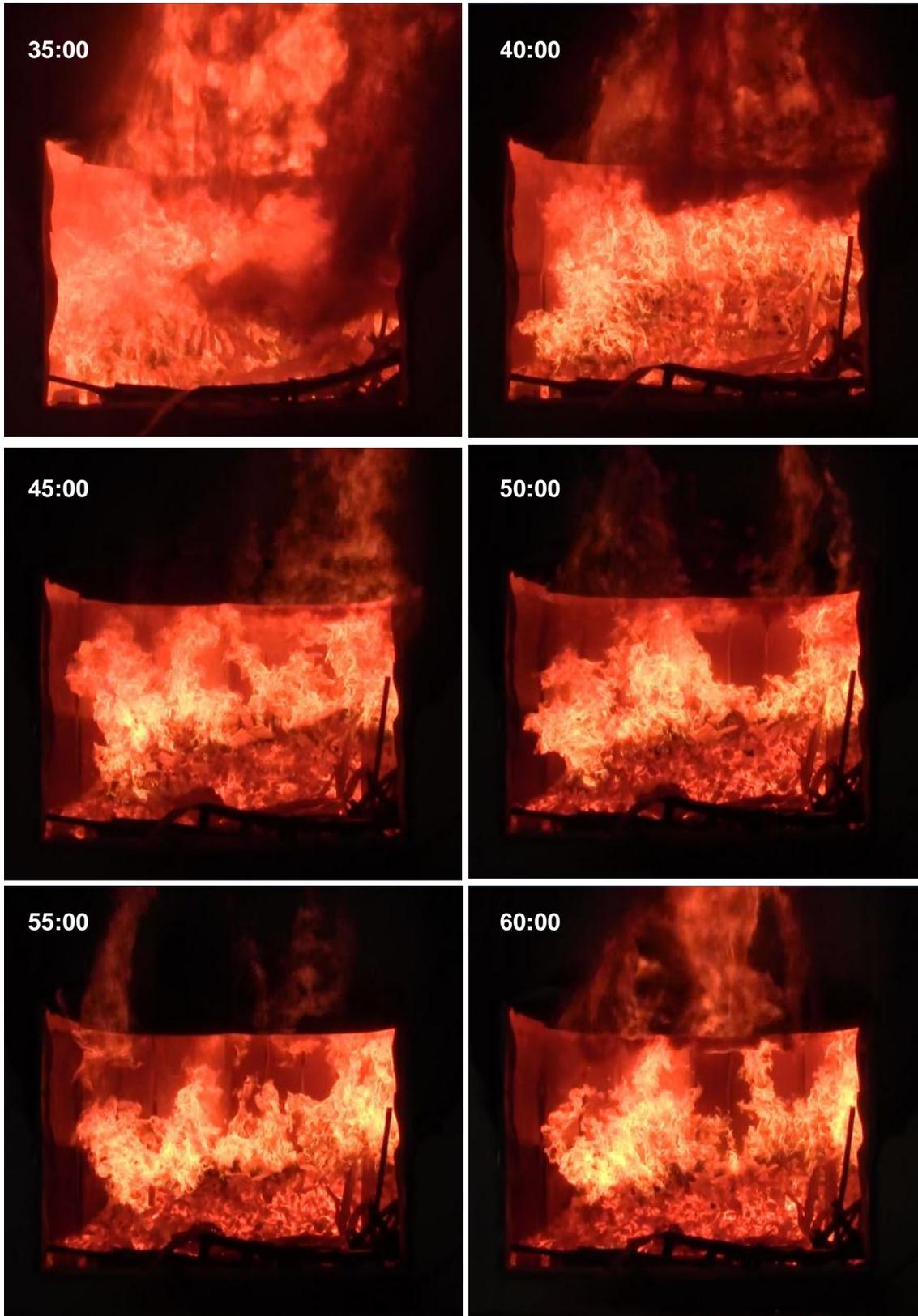


Figure 20. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (35-60 min)



Figure 21. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (65-90 min)

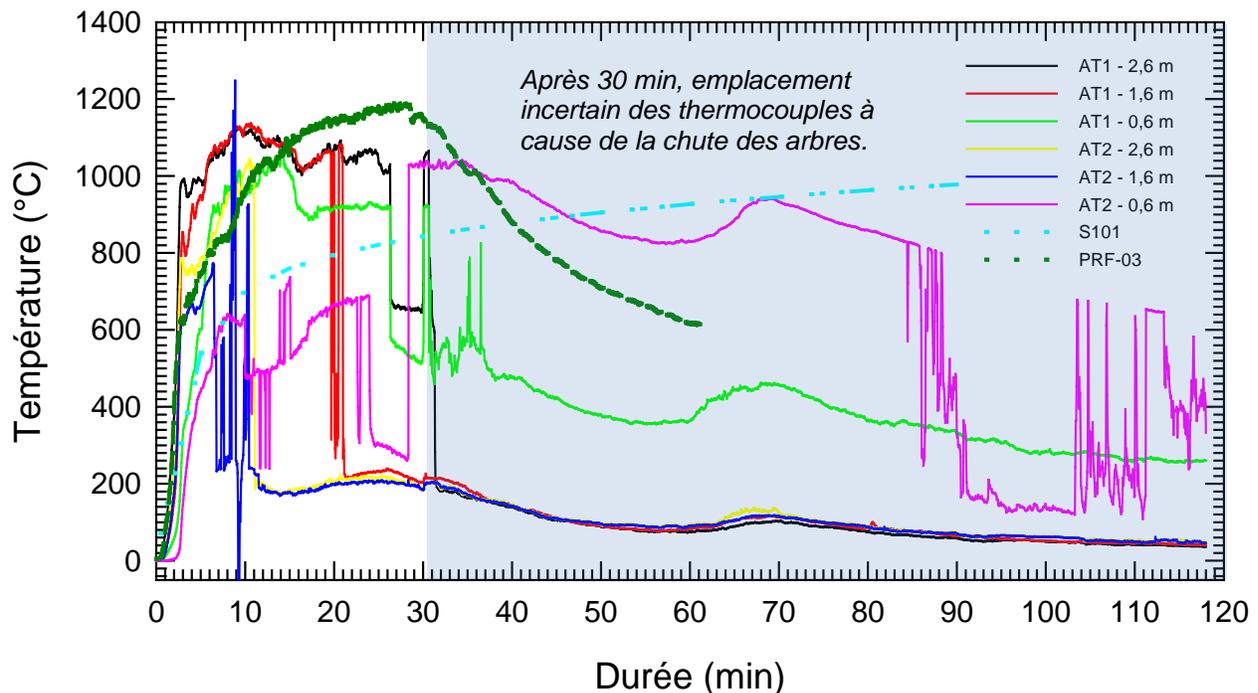


Figure 22. Images vidéo de l'évolution de l'incendie (95-120 min)

La figure 23 illustre les températures mesurées dans l'appartement par les thermocouples montés sur les deux arbres. Les températures étaient uniformes en hauteur dans la partie supérieure de la pièce (températures similaires à 2,6 m et à 1,6 m). L'incendie ne s'est cependant pas développé uniformément dans l'ensemble de la zone, comme l'illustre la figure.

Des températures de pointe de 1 000 à 1 100 °C ont été atteintes 10 minutes après le début de la démonstration. Passé 10 minutes, les températures restaient à 1 000 °C ou plus dans la partie supérieure de l'appartement.

Malheureusement, à 30 minutes, les deux arbres de thermocouples ont été jetés par terre par la chute de l'ensemble des profilés d'acier en Z et des tasseaux métalliques du système de plafond. Après 30 minutes, l'emplacement exact des thermocouples devient incertain. Certains pourraient avoir été enfouis sous les débris, et les températures illustrées à la figure 23 ont une valeur principalement indicatrice des températures dans la partie inférieure de l'appartement. Néanmoins, la tendance générale de ces mesures de température concorde avec les images vidéo (figures 18 à 22) de l'évolution de l'incendie.



**Figure 23. Températures à 0,6 m, à 1,6 m et à 2,6 m de hauteur, mesurées avec les deux arbres de thermocouples (AT1 et AT2) dans l'appartement.**

La figure 23 montre également la courbe durée-température de la norme CAN/ULC-S101 employée dans les essais de résistance au feu [11]. Les températures de pointe dans l'appartement dépassaient de beaucoup celles de la courbe durée-température standard employée pour les essais de résistance au feu. Pendant la première heure de la démonstration, l'incendie dans l'appartement était beaucoup plus intense que l'incendie standard utilisé dans les essais de résistance au feu, attaquant vigoureusement la structure. Après 75 minutes, les températures mesurées dans tous les emplacements diminuaient de façon continue, et l'incendie a été confiné dans les limites de la pièce jusqu'à la fin de la démonstration.

La figure 23 montre aussi une courbe durée-température dérivée d'un essai d'incendie antérieur (PRF-03) dans une chambre de construction incombustible avec mobilier complet, dans le cadre d'un projet de création de données pour définir des modèles d'incendie d'immeubles résidentiels [13]. La courbe PRF-03 représente la température moyenne au plafond de cette chambre. Les profils de température au plafond dans le studio de cette démonstration d'incendie étaient similaires à ceux de la courbe PRF-03, mais avec des températures plus élevées pendant les 15 premières minutes.

#### 4.3.2 Durée et performance de l'encapsulation de la structure de PLC

Il est possible d'employer une approche d'encapsulation pour protéger des matériaux structuraux combustibles dans des bâtiments de bois en hauteur, à titre de solution de remplacement pour respecter l'esprit de l'exigence d'incombustibilité [7, 14-15]. L'efficacité des matériaux d'encapsulation comme couverture de protection de matériaux de construction combustible a été démontrée dans des essais d'incendie en laboratoire, à échelle intermédiaire et à échelle réelle menés par le CNRC dans le cadre d'autres projets de recherche [7].

Dans cette démonstration d'incendie, du placoplâtre et de l'isolant incombustible ont servi de matériau d'encapsulation pour protéger les éléments structuraux de PLC, afin de retarder ou même prévenir les effets de l'incendie sur les éléments structuraux de PLC, en particulier la structure du puits d'escalier ou d'ascenseur en PLC. Cette façon de procéder permet de retarder ou d'éviter l'allumage de la structure en PLC et toute contribution subséquente des éléments structuraux combustibles à la gravité de l'incendie.

Les profils de température à l'interface de PLC du côté exposé à l'incendie ont servi à établir la durée d'encapsulation pour la protection des PLC de mur et de plafond. Les durées auxquelles les valeurs de montée en température dépassaient les critères suivants ont défini les durées d'encapsulation [16] :

- la valeur d'augmentation moyenne de la température sur toute la surface se limite à 250 °C;
- la valeur d'augmentation maximale de la température à un point quelconque sur cette surface ne dépasse pas 270 °C.

Ces critères se fondent sur la température à laquelle des produits de bois commencent à carboniser (environ 300 °C) [16-17]. À de moindres températures, l'incendie n'affecterait pas les éléments structuraux et il n'y aurait pas de gazéification ou de pyrolyse du bois. On présume qu'une couverture protectrice serait efficace pourvu que la valeur d'augmentation moyenne de la température sur la surface exposée de l'élément de bâtiment protégé se limite à 250 °C, et que la valeur d'augmentation maximale de la température à un point quelconque sur cette surface ne dépasse pas 270 °C. Ces critères fournissent une estimation conservatrice et techniquement fondée pour l'évaluation de la performance d'un système d'encapsulation.

Le tableau 2 Tableau 2 résume les durées pour lesquelles les valeurs d'augmentation de la température dépassent les critères spécifiques pour chaque élément. Ces durées d'encapsulation se rapportent aux conditions d'exposition à un incendie intense non standard ayant servi à cette démonstration d'incendie. La durée d'encapsulation serait différente pour diverses expositions au feu, comme celle de la courbe standard de durée-température de la norme CAN/ULC-S101.

**Tableau 2. Durée d'encapsulation (min) – Durée pour l'atteinte des critères d'augmentation de la température**

<b>Élément – interface</b>	<b>Moyenne <math>\Delta T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}</math></b>	<b>Point unique <math>\Delta T = 270\text{ }^{\circ}\text{C}</math></b>
<b>Plafond – isolant et surface PLC</b>	<b>15,7</b>	<b>15,2</b>
<b>Mur TYPE 2 (pas le mur du puits) – couche de base PP et surface PLC</b>	<b>60,9</b>	<b>56,9</b>
<b>Mur du puits TYPE 4 – couche de base PP et surface PLC</b>	<b>CNA (&lt; 210 °C)</b>	<b>91,00</b>

PP – placoplâtre

CNA – critères d'augmentation de température non atteints

#### 4.3.2.1 Performance du plafond de PLC dans l'appartement résistant au feu

Les PLC du plafond étaient protégés par une couche simple de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur et un isolant de fibre de verre de 90 mm d'épaisseur monté dans les tasseaux d'acier et les profilés en Z.

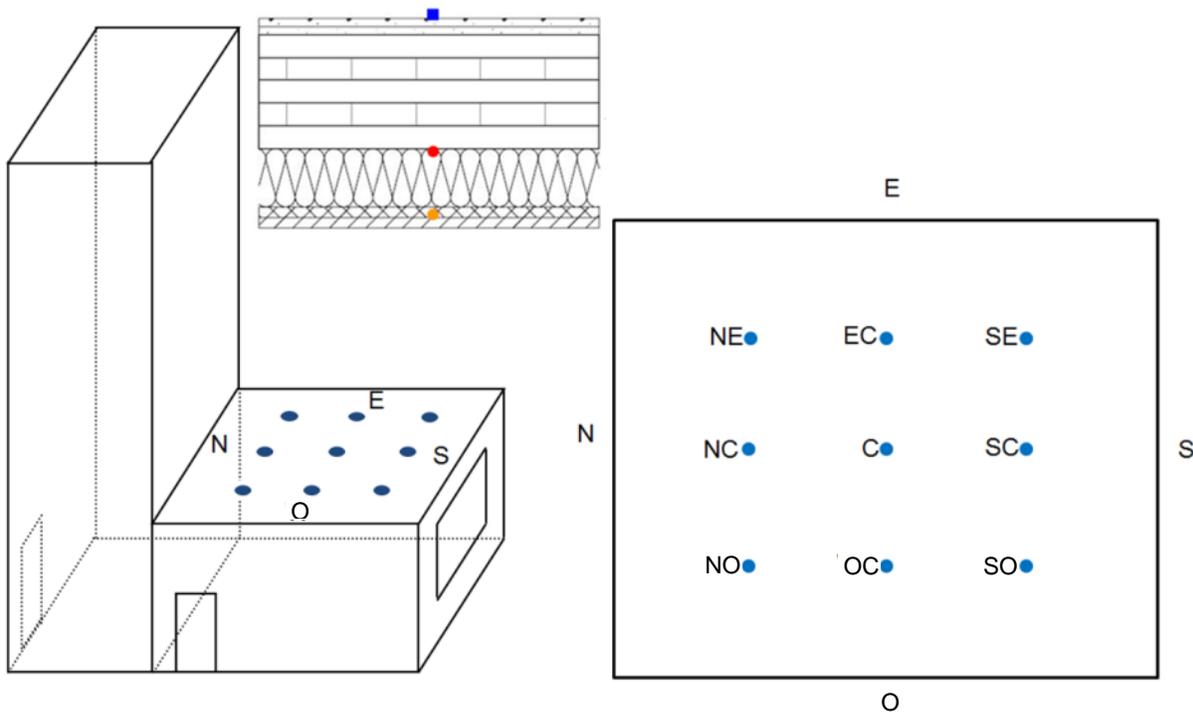
La figure 24 montre les thermocouples installés, et la figure 25 illustre les profils de température mesurés à diverses interfaces dans le plafond.

Les températures mesurées par les neuf thermocouples installés au-dessus du placoplâtre fixé aux tasseaux indiquent que le transfert thermique à travers le placoplâtre suivait un modèle typique en trois phases, soit une phase initiale, les températures atteignant environ 100 °C, une deuxième phase de températures soutenues d'environ 100 °C pendant la calcination du placoplâtre, et une troisième phase d'augmentation plus rapide de la température. La valeur d'augmentation de la température a atteint 270 °C à un point unique, à 12,2 minutes, et une température moyenne de 250 °C à 12,9 minutes.

Les températures mesurées par les neuf thermocouples installés à l'interface de l'isolant et des PLC étaient similaires à celles mesurées sur les tasseaux. La durée d'encapsulation pour les PLC du plafond atteignait 15,2 minutes pour l'augmentation de température à un point unique, ou 15,7 minutes pour l'augmentation moyenne de température des neuf thermocouples. Après ces périodes, l'observation visuelle et les profils de température indiquaient une chute du placoplâtre du plafond. Après 16 minutes, les PLC du plafond étaient attaqués par l'incendie, mais il n'y a pas eu de pénétration de flammes à travers les PLC pendant les deux heures de la démonstration.

On a observé après la démonstration que deux plis des PLC du plafond avaient été carbonisés et consumés par l'incendie, plis qui sont tombés lorsqu'arrosés au tuyau d'incendie pour éteindre l'incendie. Les plis restants des PLC du plafond n'avaient pas été affectés notablement par l'incendie. Le troisième pli était carbonisé à quelques endroits, mais demeurait à peu près intact.

Les neuf thermocouples couverts de tampons employés dans des essais standards de résistance au feu au-dessus du plafond avaient enregistré une hausse de température de moins de 6 °C, sauf le thermocouple situé au centre du plafond, qui affichait une hausse de température de 46 °C. (Il faut préciser que la clavette horizontale de jonction des PLC de plafond au milieu était formée d'un joint de bandes de contreplaqué collées avec un adhésif de construction.) Toutes les augmentations de température étaient de beaucoup inférieures aux augmentations de 140 °C en moyenne et de 180 °C en un point unique prescrites par la norme CAN/ULC-S101 [11].



**Figure 24. Thermocouples aux interfaces du plafond à  $\frac{1}{4}$ , à  $\frac{1}{2}$  et à  $\frac{3}{4}$  de la longueur et de la largeur**

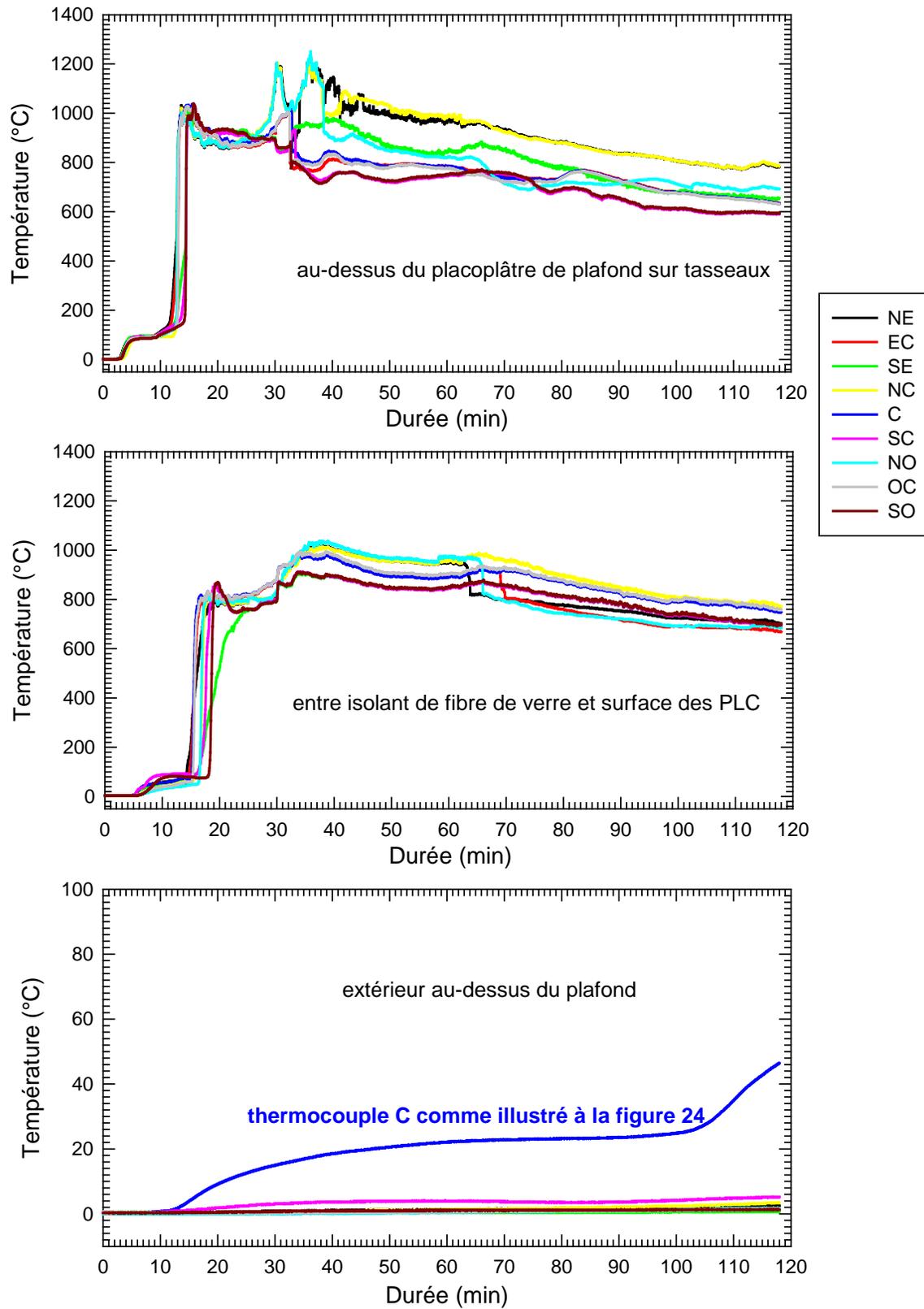


Figure 25. Températures à diverses interfaces du plafond de l'appartement

#### 4.3.2.2 Performance des trois murs de PLC (TYPE 2 et TYPE 3) dans l'appartement résistant au feu

Les trois murs ne faisant pas partie du puits d'escalier ou d'ascenseur étaient protégés par une double couche de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur fixée directement au côté intérieur des PLC muraux.

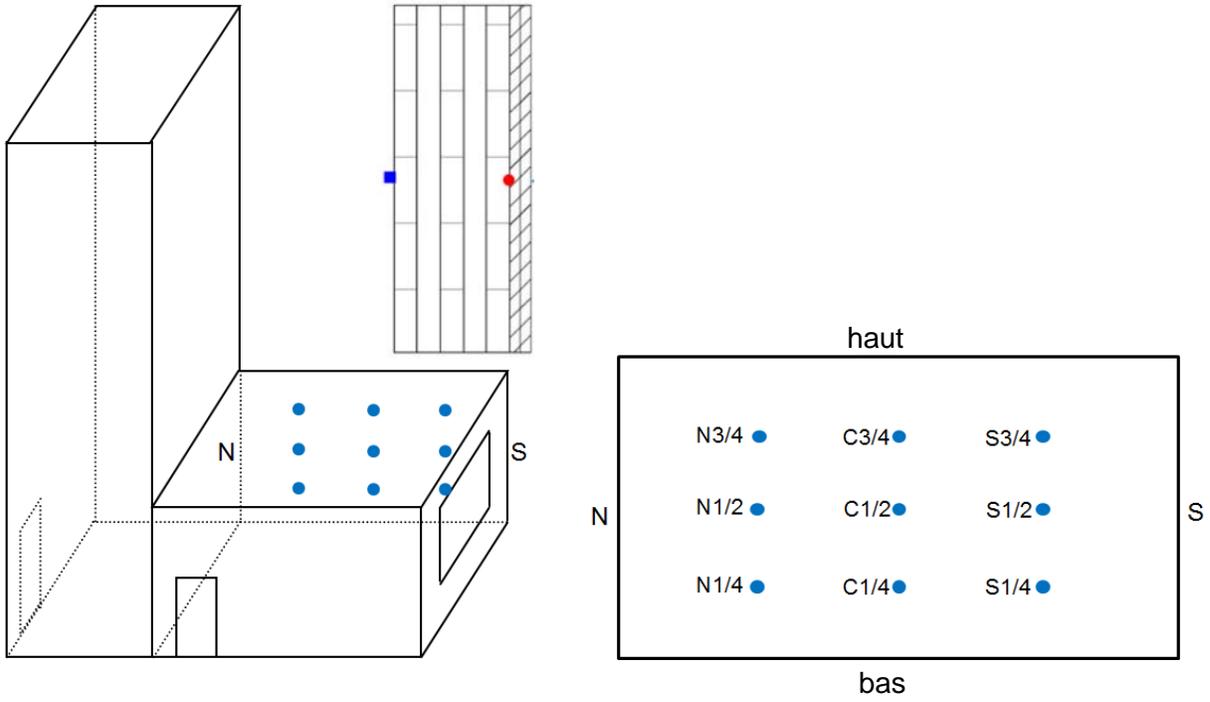
La figure 26 illustre les thermocouples installés, et la figure 27 illustre les profils de température mesurés à diverses interfaces du mur.

Les températures mesurées par les neuf thermocouples installés à l'interface de la couche de base de placoplâtre et les PLC indiquent également un processus de transfert thermique en trois phases à travers le placoplâtre, avec une hausse initiale de température atteignant 100 °C, la calcination du placoplâtre à une température soutenue de 100 °C, et une augmentation plus rapide de la température après la calcination.

La durée d'encapsulation pour les PLC muraux atteignait 56,9 minutes pour l'augmentation de température à un point unique, ou 60,9 minutes pour l'augmentation moyenne de température des neuf thermocouples. Après ces périodes, les températures aux interfaces montaient à 300 °C et les PLC commençaient à carboniser. Toutefois, les températures d'interface demeuraient inférieures à 500 °C car la double couche de placoplâtre est restée fixée aux murs jusqu'à la fin de la démonstration, comme le montre la figure 28, qui ne dénote aucune combustion accompagnée de flammes dans les murs de PLC. Le placoplâtre n'est tombé que lorsqu'il a été arrosé pour éteindre le feu.

Il n'y a pas eu de pénétration de flammes à travers les PLC muraux pendant la démonstration. Les températures mesurées par les neuf thermocouples couverts de tampons du côté extérieur du mur de PLC ont enregistré une hausse de moins de 4 °C pendant la démonstration. Toutes les augmentations de température étaient de beaucoup inférieures aux augmentations de 140 °C en moyenne et de 180 °C en un point unique prescrites par la norme CAN/ULC-S101 [11].

Après la démonstration d'incendie, on a observé que seul le pli de surface des PLC muraux à l'intérieur de l'appartement avait été carbonisé, et que les quatre plis intérieurs des panneaux n'avaient pas été affectés par l'incendie. Le côté extérieur des PLC ne montrait pas de signe de carbonisation.



**Figure 26. Thermocouples à diverses interfaces du mur de TYPE 2 de l'appartement, à  $\frac{1}{4}$ , à  $\frac{1}{2}$  et à  $\frac{3}{4}$  de la longueur et de la hauteur**

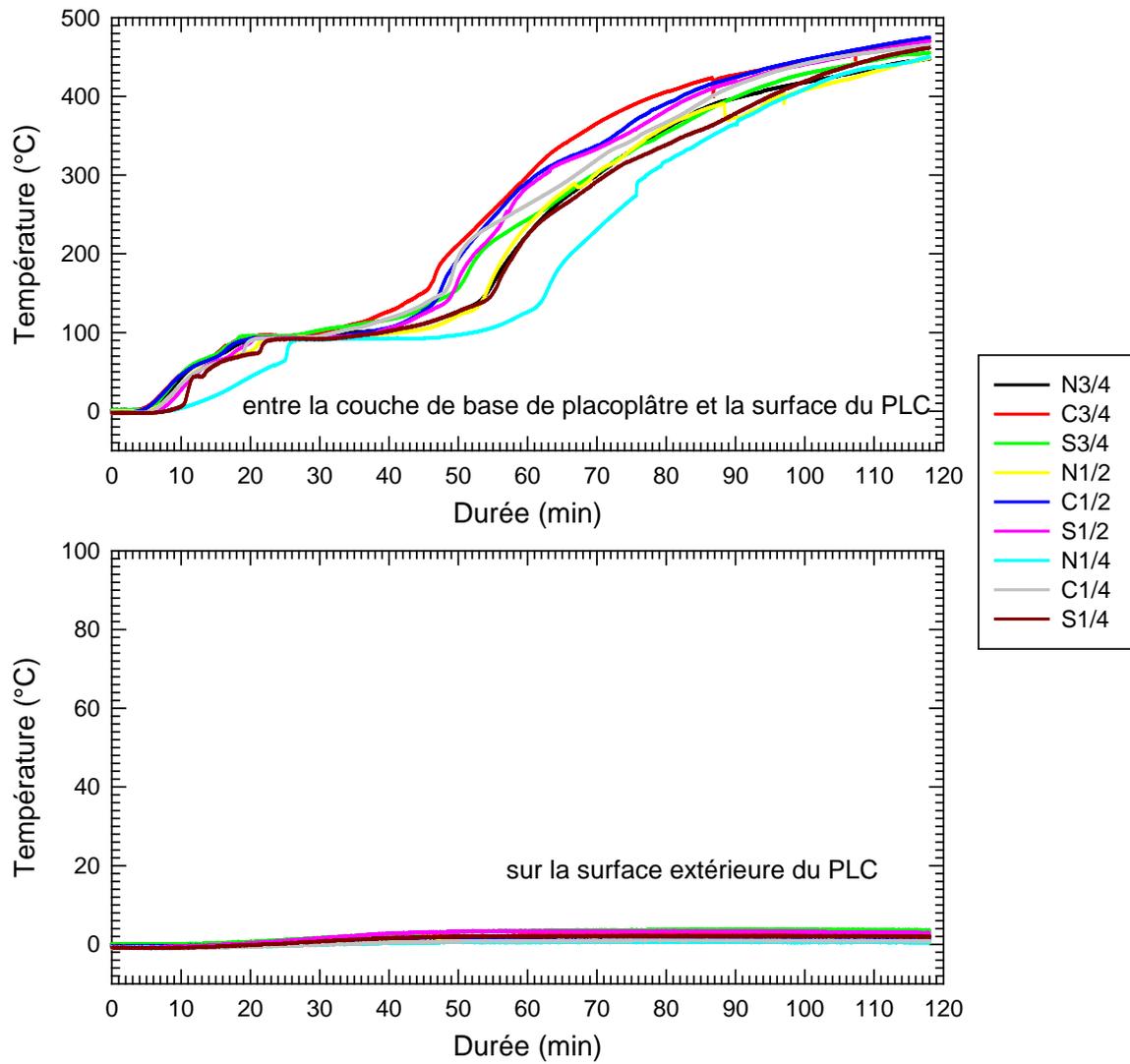


Figure 27. Températures à diverses interfaces du mur de TYPE 2 de l'appartement



**Figure 28. Double couche de placoplâtre et isolant rigide de laine minérale demeurés en place sur le mur de l'appartement jusqu'à la fin de la démonstration**

#### 4.3.2.3 Performance du mur d'appartement mitoyen avec le puits d'escalier ou d'ascenseur (TYPE 4)

En plus des deux couches de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur fixées directement sur le mur mitoyen entre l'appartement et le puits d'escalier ou d'ascenseur, un mur de montants d'acier avec isolant rigide de laine minérale a été ajouté sur ce mur côté appartement à des fins acoustiques.

La figure 29 montre les thermocouples installés dans le mur, et la figure 30 illustre les profils de température mesurés à diverses interfaces du mur mitoyen entre l'appartement et le puits d'escalier ou d'ascenseur.

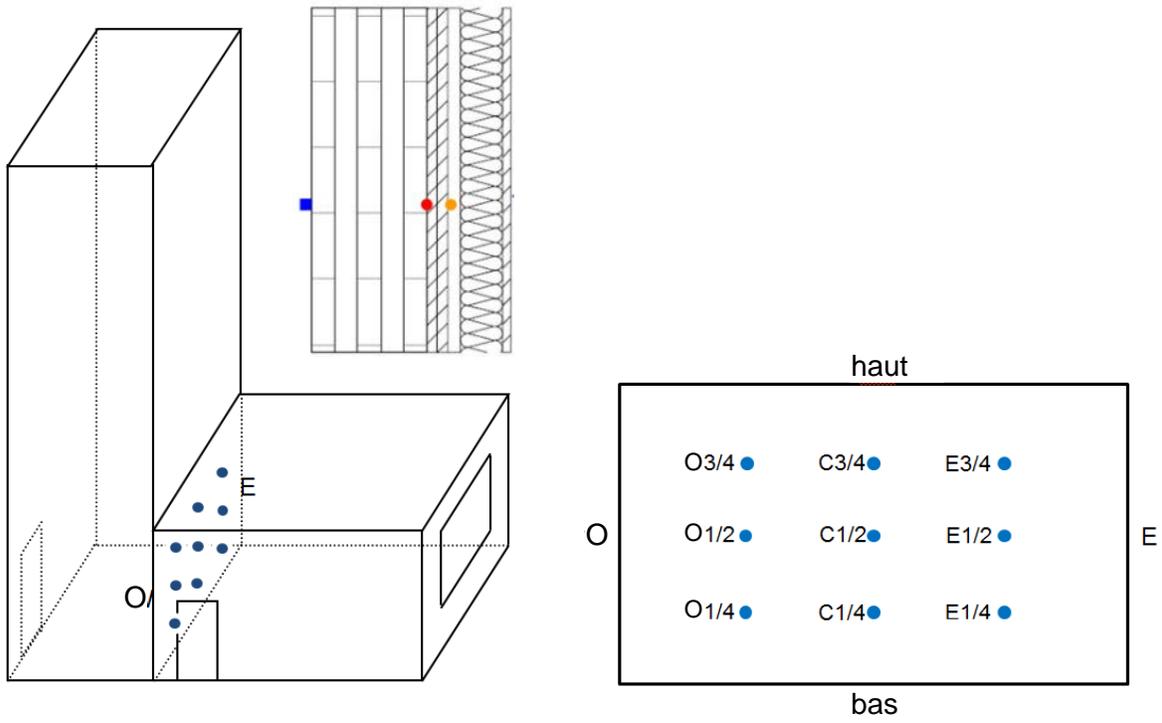
Les températures mesurées par les neuf thermocouples montés sur la couche de surface de placoplâtre derrière le mur de montants d'acier isolé affichaient une valeur d'augmentation de la température à 270 °C en un point unique à 22,2 minutes, avec une valeur moyenne d'augmentation de la température pour les neuf thermocouples atteignant jusqu'à 250 °C à 30,5 minutes. Le mur de montants d'acier isolé conférait une protection supplémentaire d'au moins ces durées aux PLC du puits d'escalier ou d'ascenseur. On a observé que l'isolant rigide de laine minérale est demeuré en place jusqu'à la fin de la démonstration (figure 28).

Les températures mesurées par les neuf thermocouples installés à l'interface de la couche de base de placoplâtre et des PLC dénotaient un processus de transfert thermique similaire à celui observé pour d'autres éléments, soit une augmentation initiale de température atteignant 100 °C suivie d'une calcination du placoplâtre à une température soutenue de 100 °C. La calcination complète du placoplâtre a seulement affecté le quadrant supérieur gauche (près de la porte de l'appartement), comme l'indique l'augmentation plus rapide de température dans ce quadrant. Les températures mesurées dans les autres quadrants sont demeurées entre 100 et 130 °C jusqu'à la fin de la démonstration. L'augmentation moyenne de température de 250 °C n'a pas été atteinte dans ces zones pendant la démonstration.

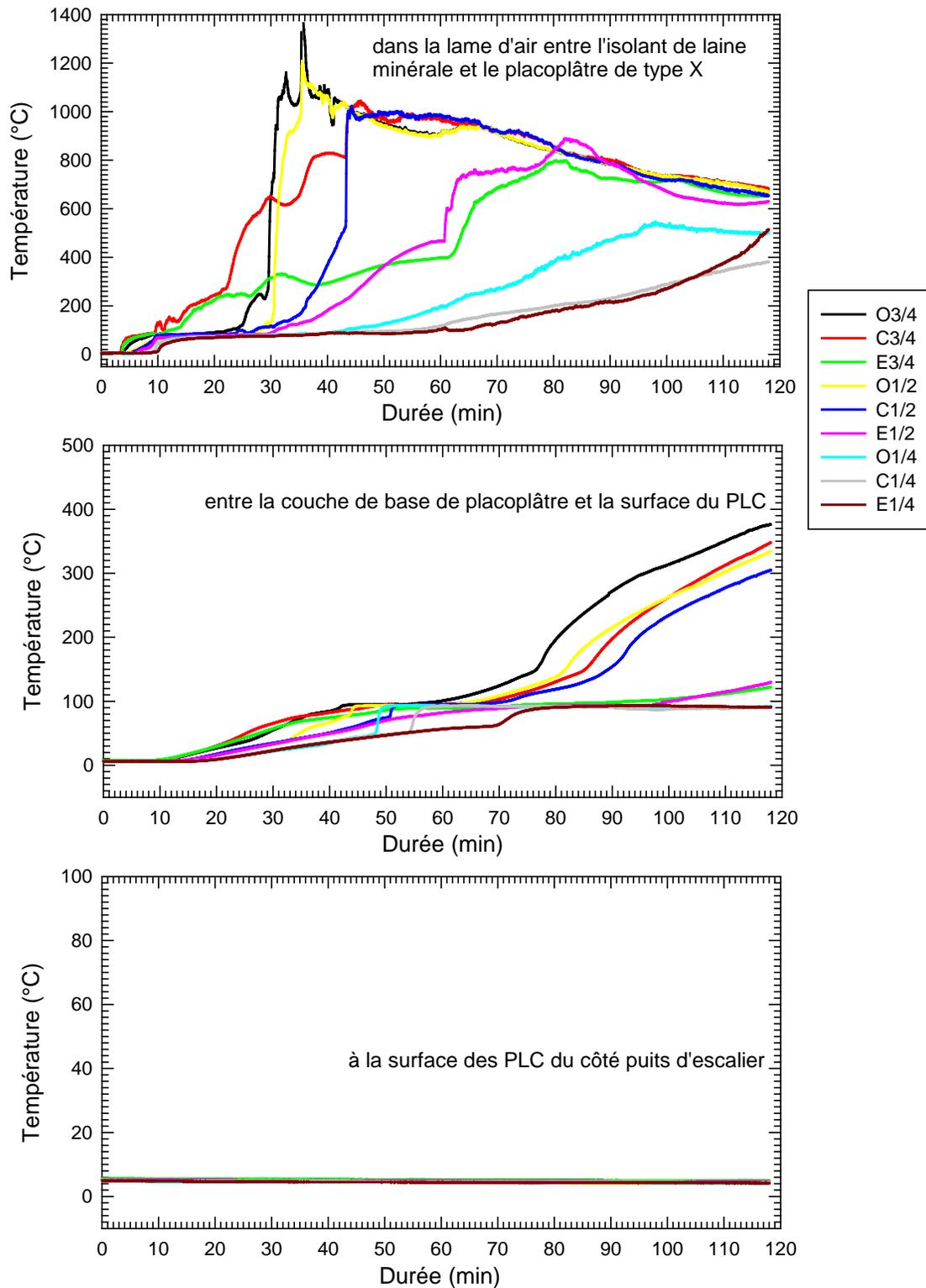
Une augmentation de température en un point unique à 270 °C a permis d'établir la durée d'encapsulation des PLC muraux du puits d'escalier ou d'ascenseur à 91,0 minutes. Le critère de hausse moyenne de température n'a pas été dépassé pour les températures mesurées par les neuf thermocouples à cet endroit. Les températures d'interface des PLC au quadrant supérieur gauche ont atteint 300 °C à 95 minutes ou plus, demeurant cependant sous les 400 °C. Comme le montre la figure 28, les deux couches de placoplâtre et l'isolant rigide de laine minérale sont restés fixés au mur jusqu'à la fin de la démonstration (avant que l'on arrose au tuyau pour éteindre l'incendie).

Après la démonstration, on a constaté que la surface des PLC du quadrant supérieur gauche était carbonisée sur moins de 5 mm de profondeur, alors que cette surface ne comportait aucune carbonisation sur les trois autres quadrants. L'incendie a eu un impact très limité sur les PLC muraux du puits.

Les températures mesurées par les neuf thermocouples recouverts de tampons du côté puits du mur de PLC n'ont pas augmenté pendant la démonstration. Aucun transfert thermique ne s'est effectué à travers les PLC vers le puits d'escalier ou d'ascenseur.



**Figure 29. Thermocouples à diverses interfaces dans le mur mitoyen de l'appartement et du puits d'escalier ou d'ascenseur, à 1/4, à 1/2 et à 3/4 de la largeur et de la hauteur**



**Figure 30. Températures à diverses interfaces dans le mur mitoyen de l'appartement et du puits d'escalier ou d'ascenseur**

#### 4.3.2.4 Performance du puits d'escalier ou d'ascenseur en PLC

La figure 31 illustre des valeurs mesurées dans le puits d'escalier ou d'ascenseur pendant la démonstration d'incendie. Le puits était maintenu sous pression par un apport d'air frais à 12 Pa au-dessus de la pression ambiante, soit la mise sous pression prévue pour les puits dans la conception du projet Origine. Le groupe de neuf thermocouples mesurait la température à différentes hauteurs au centre du puits d'escalier ou d'ascenseur. Aucune augmentation de température n'a été enregistrée dans le puits d'escalier ou d'ascenseur au cours de la démonstration.

La densité optique a été mesurée à 7 m de hauteur. Aucun changement de densité optique de la fumée n'a été mesuré dans le puits d'escalier ou d'ascenseur, démontrant l'absence de fuites de fumée dans le puits. Il n'y avait aucun signe d'impact de feu ou de fumée sur les conditions de sécurité dans le puits d'escalier ou d'ascenseur.

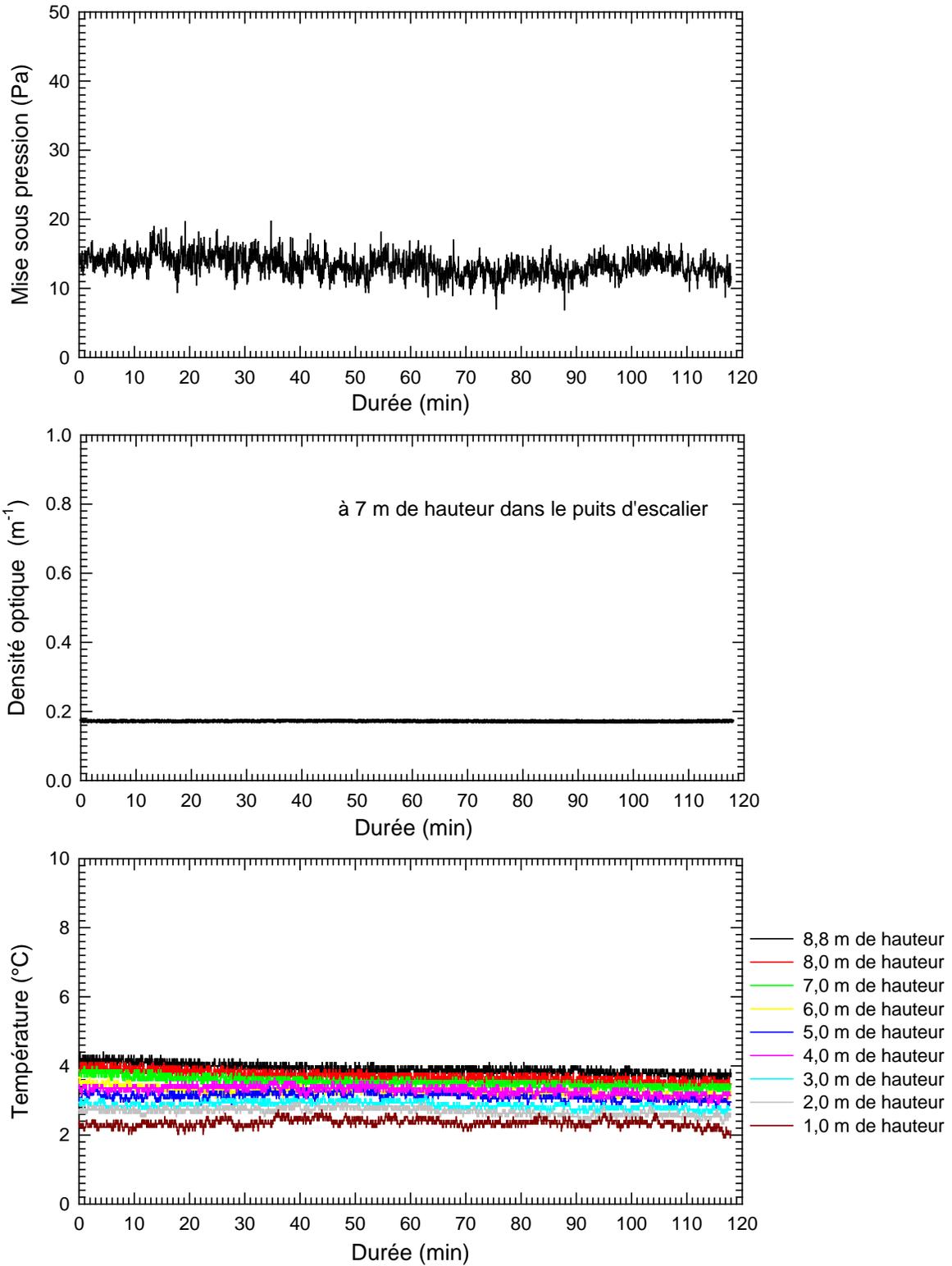


Figure 31. Températures, pression différentielle et densité optique dans le puits

## 5 SOMMAIRE

Une démonstration d'incendie à grande échelle a été réalisée afin d'observer et de valider la performance de sécurité-incendie d'un puits d'escalier ou d'ascenseur en panneaux lamellés-croisés (PLC), à titre de solution de remplacement pour un puits de construction incombustible dans le cadre d'un projet d'immeuble résidentiel de 13 étages en bois massif, le projet Origine.

L'installation de démonstration à grande échelle représentait une section du bâtiment proposé, soit un puits d'escalier ou d'ascenseur de neuf mètres de hauteur et un appartement adjacent construits avec des PLC structuraux à cinq plis de 175 mm d'épaisseur. L'intérieur de l'appartement a reçu une finition de placoplâtre conforme à la conception du projet Origine. Aucun panneau de placoplâtre n'a été installé à l'extérieur de l'appartement, à l'exception d'une zone restreinte autour des ouvertures de porte et de fenêtre. Le puits d'escalier ou d'ascenseur en PLC était entièrement exposé à l'intérieur et à l'extérieur, sans revêtement de placoplâtre.

L'incendie a été allumé dans l'appartement meublé d'un lit, d'une causeuse et de fauteuils rembourrés, d'un mobilier de bois et de caissons de bois. La densité de charge calorifique des pièces de l'appartement s'établissait à 790 MJ/m<sup>2</sup>, équivalant à la valeur au 95<sup>e</sup> centile d'une charge calorifique résidentielle. La démonstration d'incendie a été menée sans extincteurs automatiques à eau, simulant le scénario le plus pessimiste dans lequel les extincteurs ne fonctionneraient pas ou ne suffiraient pas à maîtriser l'incendie.

La causeuse rembourrée était le premier article allumé. L'embrassement général s'est déclenché à 2 min 35 s. Un incendie à haute intensité évoluant rapidement, plus intense que l'incendie standard des essais de résistance au feu, s'est propagé dans le contenu des pièces de l'appartement. Les PLC du plafond de l'appartement ont été affectés par l'incendie après 15 minutes, et entièrement impliqués après 30 minutes.

Entre 40 et 60 minutes, l'incendie a baissé d'intensité, à cause de la couche carbonisée formée sur la surface des PLC du plafond et de l'état partiellement consumé du contenu des pièces. À environ 60 minutes, de nombreux morceaux carbonisés sont tombés du plafond de PLC et le deuxième pli était exposé à l'incendie. Une combustion vigoureuse a repris au plafond. À compter de 75 minutes, la contribution des PLC du plafond à l'incendie diminuait graduellement. Après 90 minutes, l'incendie dans l'appartement a continué de décliner jusqu'à la fin de la démonstration. L'incendie a été confiné dans les limites de l'appartement jusqu'à la fin de la démonstration. Peu après 120 minutes, l'incendie a été éteint au moyen d'un tuyau d'incendie. Cette durée avait été choisie à l'avance par les parties à la planification de la démonstration d'incendie, du fait que le CNB prescrit que les planchers et les murs porteurs de tout bâtiment de plus de six étages doivent avoir un degré de résistance au feu de deux heures, même si la démonstration ne constituait pas un essai standard de résistance au feu.

Les figures 32 et 33 montrent l'intérieur et l'extérieur de l'appartement et du puits d'escalier ou d'ascenseur après la démonstration d'incendie.

Dans l'appartement, les panneaux muraux et de plafond étaient protégés par du placoplâtre, avec et sans isolant. Les PLC de plafond comportant une couche simple de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur et de 90 mm d'isolant de fibre de verre installé dans des tasseaux d'acier et des profilés en Z avaient une durée d'encapsulation d'environ 15 minutes. Après cette période, les PLC du plafond devenaient impliqués dans l'incendie. Deux plis de surface des

PLC ont été carbonisés et consumés pendant la démonstration, mais les plis restants des panneaux de plafond n'ont pas été notablement affectés par le feu. Comme le montre la figure 32, le troisième pli des PLC de plafond était carbonisé par endroits, mais demeurait à peu près intact. Il n'y a pas eu de pénétration de flamme à travers les PLC du plafond pendant la démonstration. Les températures mesurées à l'extérieur du plafond ont augmenté de moins de 46 °C au-dessus de la température ambiante.

Dans le cas des PLC muraux protégés par deux couches de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur, la durée d'encapsulation atteignait environ 60 minutes. Par la suite, la surface intérieure des PLC a connu une certaine carbonisation, mais il n'y a pas eu de combustion avec flammes des murs de PLC et la double couche de placoplâtre est demeurée fixée aux murs jusqu'à la fin de la démonstration. Seul le pli de surface des PLC muraux était carbonisé à l'intérieur de l'appartement. Les températures mesurées à l'extérieur des murs de PLC ont augmenté de moins de 4 °C pendant la démonstration.

Le mur mitoyen de l'appartement et du puits d'escalier ou d'ascenseur était protégé du côté appartement par deux couches de placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur, une ossature de montants d'acier remplie d'isolant rigide de laine minérale et une couche de placoplâtre ordinaire de 13 mm d'épaisseur. Les valeurs d'augmentation de température mesurées par les neuf thermocouples sur la couche de surface du placoplâtre de type X de 16 mm d'épaisseur derrière l'ossature métallique isolée ont atteint 270 °C en un point unique à 22,2 minutes, alors que l'augmentation moyenne de température atteignait 250 °C à 30,5 minutes, ce qui indique que l'ossature d'acier isolée ajoutait de 22 à 30 minutes de protection pour les PLC.

L'augmentation moyenne de température mesurée par les neuf thermocouples en surface des PLC côté appartement était inférieure à 210 °C à la fin de la démonstration, valeur nettement inférieure au critère d'augmentation moyenne de la température de 250 °C. Seulement le quart de la surface murale dans l'appartement (quadrant supérieur gauche) a enregistré des hausses de température supérieures. Avec une augmentation de la température en un point unique à 270 °C, la durée d'encapsulation pour ce quadrant dépassait les 90 minutes. Les températures d'interface des PLC au quadrant supérieur gauche ont atteint 300 °C à 95 minutes ou plus, demeurant cependant sous les 400 °C, et les deux couches de placoplâtre sont restées sur les PLC jusqu'à la fin de la démonstration. La surface des PLC du quadrant supérieur gauche était carbonisée sur moins de 5 mm de profondeur; les trois autres quadrants de PLC sur ce mur ont maintenu des températures de 100 à 130 °C jusqu'à la fin de la démonstration, et la surface des PLC ne montrait pas de signes de carbonisation. L'incendie a eu un impact très limité sur le mur de PLC du puits, même du côté incendie.

Le puits d'escalier ou d'ascenseur a été mis sous pression à 12 Pa au-dessus de la pression ambiante. Aucun transfert de chaleur ou de fumée n'a été constaté dans le puits d'escalier ou d'ascenseur. Les températures mesurées du côté puits du mur mitoyen en PLC n'ont pas connu d'augmentation pendant la démonstration. Il n'y avait aucun signe d'impact de feu ou de fumée sur les conditions de sécurité dans le puits d'escalier ou d'ascenseur.



Figure 32. Intérieur du compartiment résistant au feu après la démonstration d'incendie



Figure 33. Extérieur de la structure de démonstration et intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur après la démonstration d'incendie

## 6 CONCLUSIONS

Les résultats de la démonstration ont permis d'établir que l'incendie très intense à évolution rapide dans l'appartement adjacent n'a eu aucun impact sur le puits d'escalier ou d'ascenseur en bois massif; les conditions à l'intérieur du puits d'escalier ou d'ascenseur étaient les mêmes avant, pendant et après l'incendie.

## 7 REMERCIEMENTS

Ce projet de démonstration d'incendie a été financé par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, par l'intermédiaire de FPInnovations. Les auteurs remercient Nordic, FPInnovations et GHL Consultants pour leur soutien en nature et leur contribution technique.

## 8 RÉFÉRENCES

1. *Code de construction du Québec*, chapitre I, Bâtiment, et *Code national du bâtiment du Canada de 2005* (modifié), 2014.
2. *Code national du bâtiment*, Conseil national de recherches, Ottawa, 2010.
3. Su, J., A. Roy-Poirier, P. Leroux, P.-S. Lafrance, K. Gratton, E. Gibbs et R. Berzins. *Fire Endurance of Cross-Laminated Timber Floor and Wall Assemblies for Tall Wood Buildings*, CLIENT REPORT A1-005991.1, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ontario), 2014.
4. Su, J. et E. Gibbs. *Fire Test of Cross-Laminated Timber Exterior Wall Assembly for Tall Wood Buildings*, CLIENT REPORT A1-006009.1, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ontario), 2015.
5. Hall, J.R. *U.S. Experience with Sprinklers*, National Fire Protection Association, Quincy (Massachusetts), 2013.
6. Garris, L. et J. Clare. *Sprinkler systems and residential structure fires: Exploring the impact of sprinklers for life safety and fire spread*, University of the Fraser Valley, 2013.
7. Su, J.Z. et G.D. Lougheed. *REPORT TO RESEARCH CONSORTIUM FOR WOOD AND WOOD-HYBRID MID-RISE BUILDINGS: Fire Safety Summary – Fire Research Conducted for the Project on Mid-Rise Wood Construction*, CLIENT REPORT A1- 004377.1, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ontario), 2014.
8. ANSI/APA PRG 320-2012. *Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber*, American National Standards Institute, 2012.
9. *Guide de l'utilisateur – CNB 2010, Commentaires sur le calcul des structures (Partie 4 de la division B)*, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa, 2010.
10. Bwalya, A., G. Lougheed, A. Kashef et H. Saber. *Survey Results of Combustible Contents and Floor Areas in Canadian Multi-Family Dwellings*, Fire Technology, volume 47, 2011, p. 1121-1140.
11. CAN/ULC-S101. *Méthodes d'essai normalisées de résistance au feu pour les bâtiments et les matériaux de construction*, Laboratoires des assureurs du Canada (ULC), Ottawa (Ontario), 2014.
12. ASTM E1537-13. *Standard Test Method for Fire Testing of Upholstered Furniture*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken (Pennsylvanie), 2013.
13. Bwalya, A., E. Gibbs, G. Lougheed et A. Kashef. *Characterization of Fires in Multi-Suite Residential Dwellings - Part 1: A Compilation of Post-Flashover Room Fire Test Data*, rapport de recherche, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ontario), 2013.
14. Su, J., B. Gover, G. Lougheed, N. Benichou, M. Swinton, S. Schoenwald, M. Lacasse, B. Di Lenardo, H. Mostafaei et G. Pernica. *Wood And Wood-Hybrid Mid-Rise Buildings*,

*Phase 1: Scoping Study*, B4726.1, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa (Ontario), 2011.

15. FPInnovations SP-55F, *Guide technique pour la conception et la construction de bâtiments en bois de grande hauteur au Canada*, Karacabeyli, E. et C. Lum, 2014.
16. Östman, B., E. Mikkola, R. Stein, A. Frangi, J. König, D. Dhima, T. Hakkarainen et J. Bregulla. *Fire Safety in Timber Buildings*, SP Report 2010:19, SP Technical Research Institute of Sweden, Boras (Suède), 2010.
17. Babrauskas, V. *Ignition Handbook*, Fire Science Publishers, Issaquah (Washington), 2003.

**Siège social**

**Pointe-Claire**

570 boul. Saint-Jean  
Pointe-Claire, QC  
Canada H9R 3J9  
T 514 630-4100

**Vancouver**

2665 East Mall  
Vancouver, CB  
Canada V6T 1Z4  
T 604 224-3221

**Québec**

319 Franquet  
Québec, QC  
Canada G1P 4R4  
T 418 659-2647



NOTRE NOM EST INNOVATION