

Intégration d'une toiture en bois et autres éléments combustibles dans un bâtiment du groupe A2 de 4 étages

Bibliothèque et espace communautaire
du Cœur-nomade

Préparé par :
Christine Laferrière, Architecte, Coarchitecture

coarchitecture AFFLECK DELA RIVA ARUP

Ce rapport a été réalisé dans le cadre du Programme
d'innovation en construction bois

31 octobre 2023



Mathieu Castonguay
Auteur



Christine Laferrière
Réviseur



Normand Hudon
Titre de l'approbateur

Avis de non responsabilité

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le promoteur du projet. Le ministère des Ressources Naturelles et des Forêts, ainsi que le Plan pour une économie verte 2030 (PEV) ne sont donc pas responsables du contenu de ce document.

Table des matières

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude	1
2. Introduction.....	2
2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction.....	4
2.2 Description du projet de construction.....	5
2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante.....	6
2.2.2 Échéancier global et durée.....	8
2.2.3 Budget global	9
2.2.4 Partenaires.....	9
2.2.5 Défis et risques généraux.....	10
3. Détails de l'étude.....	11
3.1 Introduction et hypothèses de départ.....	11
3.2 Objectifs.....	11
3.3 Méthodologie	12
3.4 Résultats et analyse	17
3.5 Conclusions	22
3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	24
3.7 Recommandations.....	25
4. Bibliographie.....	25
5. Annexes	26

Termes et abréviations

Code	Code de construction du Québec, Chapitre I – Bâtiments, et Code national du bâtiment – Canada 2015 (modifié)
GES	Gaz à effet de serre
RBQ	Régie du bâtiment du Québec

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Le projet de Bibliothèque et espace culturel du Cœur-nomade vise à mieux servir la population des arrondissements de Montréal-Nord et d'Achimsic-Cartierville en offrant en plus d'une bibliothèque, plusieurs espaces culturels et sociocommunautaires dans un bâtiment innovant dont l'empreinte carbone a été minimisée par l'utilisation du bois pour une partie de la structure.

Il s'agit d'une utilisation nouvelle du bois en raison des dispositions du Code de construction du Québec, chapitre Bâtiment (CNB 2015 modifié – Québec) qui demandent une structure incombustible pour une bibliothèque de 4 étages. L'équipe de conception a élaboré une demande de mesures différentes permettant de faire la démonstration qu'une structure de bois pour la toiture du bâtiment et du Jardin d'hiver respectait les objectifs du Code et que cette démonstration était acceptable par la Régie du bâtiment du Québec.

Différentes simulations d'incendie ont été réalisées de manière itérative en comparant un modèle de référence représentant la solution acceptable décrite par le Code, mais en employant la quantité maximale des finis combustibles autorisés au projet avec une structure en bois apparente. La stratégie visait deux objectifs simultanément : fournir des informations sur les risques relatifs à l'incendie des deux scénarios pour déterminer si la structure combustible présentait un risque plus important que la solution acceptable et permettre d'identifier des mesures susceptibles d'avoir un effet sur ces risques de manière à élaborer une solution de rechange susceptible d'avoir un impact significatif sur le risque lorsque requis.

Les simulations ont démontré que la structure proposée pour le Jardin d'hiver ne présentait pas de risque supérieur à l'utilisation de finis combustibles. Malgré que cette simulation présentait un profil d'incendie simulé plus avantageux, les concepteurs ont intégré une cloison vitrée pare-feu séparant l'aire du Jardin d'hiver des autres espaces pour minimiser les risques liés à la fumée et permettre l'intégration de fenêtres ouvrantes pour accroître la qualité de cet espace.

Dans l'aire de consultation de la bibliothèque au niveau 03, le processus a permis de développer une stratégie d'encapsulation des colonnes qui s'est révélé être une option acceptable permettant d'exposer l'intégralité de la structure de bois au plafond pour l'ensemble de l'étage à l'exception de locaux mineurs où un plafond suspendu formait un vide de construction.

La demande de mesures différentes a été acceptée par la RBQ telle que présentée et a permis au projet de Bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade d'offrir une structure partiellement en bois malgré la prémisse initiale qui prévoyait qu'un bâtiment de ce type devait être construit avec une structure incombustible. Le développement de la solution de remplacement a aussi permis d'éviter l'émission de 94,7 tonnes de GES, ce qui représente une réduction de 5,3 % par rapport à une structure entièrement incombustible.

2. Introduction

Le projet de bibliothèque et d'espace culturel du Cœur-Nomade vise à mieux servir la population des arrondissements de Montréal-Nord et d'Ahuntsic-Cartierville en combinant les fonctions de bibliothèque, d'espace culturel et d'espace sociocommunautaire. Il a été identifié par la Ville de Montréal de même que par le ministère de la Culture et des Communications du Québec comme une opportunité de créer un nouveau modèle pour le réseau des bibliothèques montréalais et québécois.

Le bâtiment comprend un étage de stationnement souterrain, une bibliothèque, une salle de diffusion, ainsi que plusieurs salles multifonctionnelles destinées aux activités sociocommunautaires. Un espace isolé du reste du bâtiment et ouvert sur 4 niveaux, désigné comme le Jardin d'hiver, abrite des espaces de réunions et des installations végétales.

Dès l'étape du concours architectural, l'équipe a proposé l'intégration d'une structure de bois pour la toiture du bâtiment et du Jardin d'hiver. Cette stratégie innovante vise directement la réduction des émissions de GES des bâtiments qui, au Québec, sont liés principalement à la production des matériaux qui les composent. La bibliothèque offre une efficacité énergétique exemplaire avec du vitrage triple et un système de chauffage et climatisation géothermique. Ainsi, son impact environnemental est très majoritairement dû aux matériaux de construction et principalement à sa structure. L'introduction d'une structure de bois, même partielle, offre un potentiel significatif de réduction des émissions de GES.

La combinaison du programme, du site et des exigences du Code nécessitait la construction d'un bâtiment de 4 étages de construction incombustible entièrement protégé par gicleurs. Coarchitecture ayant réalisé certains projets innovants en intégrant des structures en bois dans les atriums d'édifices publics de grande envergure, la bibliothèque et l'espace culturel du Cœur-Nomade offrait l'occasion d'innover de nouveau.

L'innovation consiste à recourir à une structure en partie combustible tout en faisant la démonstration que cette alternative novatrice ne présente pas plus de risques qu'une structure recouverte de finis combustibles permis par le Code. Les éléments en bois sont donc les suivants :

- le niveau 03 de la bibliothèque, notamment le toit et ses éléments porteurs (colonnes, poutres, poutrelles);
- le Jardin d'hiver (tous les niveaux), notamment le toit, les planchers, les plateformes de végétations et leurs éléments porteurs (colonnes, poutres, poutrelles).

Le reste du bâtiment est de construction incombustible et les finis sont comparables. La figure 1 présente la structure de la future bibliothèque.

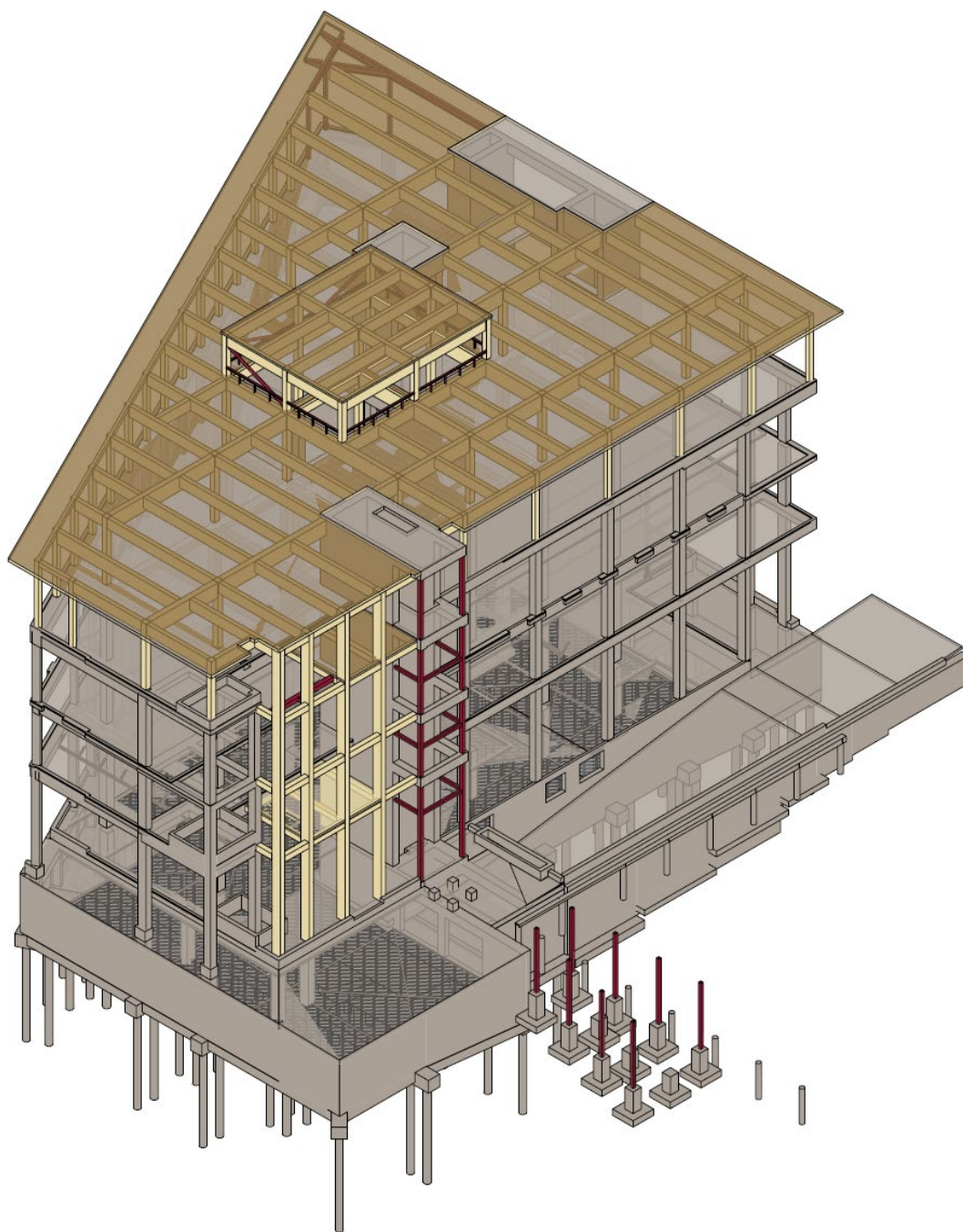


Figure 1 : Structure de la Bibliothèque et espace culturel du Cœur-nomade

L'appui du Programme d'Innovation en construction en bois a permis la réalisation d'études de modélisations d'incendies et le développement d'une solution équivalente. Ces démarches ont permis d'obtenir une réponse positive de la RBQ permettant ainsi l'intégration d'une structure de bois et l'introduction de certaines mesures retenues par la RBQ.



Figure 2 : Extrait d'une planche du concours présentant le concept de toiture en bois apparent

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Nom du bâtiment	Bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade
Adresse	3170, Boul. Henri-Bourassa Est, Montréal

2.2 Description du projet de construction

Le Projet consiste à construire un nouveau bâtiment de 4 étages abritant une bibliothèque, des espaces culturels et sociocommunautaires pour desservir la population des arrondissements de Montréal-Nord et Ahuntsic-Cartierville à Montréal. Le projet a notamment pour objectif de contribuer à la transition écologique et à l'agenda montréalais 2030 pour la qualité et l'exemplarité de son design et de son architecture en plus de viser une certification LEED-NC v4 de niveau Or.

Tableau 1 : Caractéristiques principales du bâtiment

Élément	Description	
Caractéristiques		
Nombre d'étages	4 étages au-dessus du sol 1 étage en sous-sol	
Aire de bâtiment	1 145 m²	
Superficie de plancher	4 193 m²	
Type de construction	Incombustible	
Bâtiment de grande hauteur	Non	
Nombre de rues	2	
Usages		
Fonction du bâtiment	Bibliothèque avec espaces communautaires	
Usage principal	Groupe A, division 2	Établissement de réunion
Usage secondaire	Groupe F, division 3	Garage de stationnement
	Groupe A, division 1	Salle de spectacle
Équipements de sécurité		
- Entièrement protégé par gicleurs - Système d'alarme incendie		
Aire communicantes		
Les niveaux 00 et 01 sont en aire communicantes.		

Le Jardin d'hiver est isolé des niveaux 02 et 03 de la bibliothèque par une cloison vitrée protégée par gicleurs, formant une séparation coupe-feu de 1 h. Le Jardin d'hiver n'a aucun plancher ou plateforme au niveau 02. Le niveau 03 du Jardin d'hiver est isolé du volume du Jardin d'hiver par des séparations coupe-feu verticales et horizontales de 1h. Les aires communicantes de l'ensemble du bâtiment sont donc limitées aux niveaux 00 et 01.

Aucune séparation coupe-feu n'est requise par la réglementation applicable entre le Jardin d'hiver et les niveaux 00 et 01 de la bibliothèque. Ces deux espaces sont séparés par une paroi vitrée ordinaire. En revanche, le concept architectural prévoit une séparation spatiale d'au moins 2 m entre cette paroi et tous les éléments combustibles présents aux niveaux 00 et 01 de la bibliothèque (mobilier, soufflage mural, revêtement de finition). Du côté de la bibliothèque, tous les plafonds situés à moins de 2 m sont en panneaux de plaque de plâtre ou plafond suspendu non combustible.

L'ensemble du plafond de l'aire de consultation au niveau 03 de la bibliothèque est en bois massif de même que les éléments porteurs. Seuls les plafonds des issues et de la cage d'ascenseur sont en construction incombustible. Tous les éléments en bois situés à l'intérieur de vides de construction ont été recouverts d'un revêtement incombustible.

2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante

Le concept lauréat du concours d'architecture pluridisciplinaire propose une toiture apparente en bois ainsi un espace ouvert sur tous les niveaux, le jardin d'hiver, comportant une structure de bois apparente.

En se basant sur la classification du Code (sous-section 3.2.2.), le bâtiment doit être de construction incombustible. Les matériaux combustibles permis sont donc limités; seuls les matériaux combustibles spécifiquement autorisés peuvent être installés (sous-section 3.1.5. du Code).

Notons que le toit et ses éléments porteurs peuvent être en gros bois d'œuvre, mais uniquement pour les bâtiments de deux étages ou moins (article 3.2.2.16.).

Or, les éléments porteurs, le platelage du toit et les plateformes du Jardin d'hiver, ainsi que les éléments porteurs et le platelage du toit de la bibliothèque seront en bois et, pour la plupart apparents. Cette conception ne respecte pas les énoncés des paragraphes 3.1.5.1. 1) et 3.1.5.10. 2) du Code.



Figure 3 : Schéma conceptuel du système structural élaboré à l'étape du concours architectural

L'utilisation d'une structure de bois, donc combustible, dans un bâtiment pour lequel le Code exige une structure incombustible est une innovation en soi. Le développement d'une solution de rechange a permis de faire la démonstration que le projet permettait de respecter les objectifs du Code et que l'intégration d'une structure combustible telle que proposée permettait de limiter la probabilité que des matériaux de construction contribuent à la croissance et à la propagation du feu, ce qui pourrait causer des blessures à des personnes ou des dommages au bâtiment de manière équivalente, ou meilleure, aux solutions acceptables applicables décrites par le Code.

Dans un premier temps, la modélisation de différents scénarios d'incendie plaçant des foyers à différents endroits des espaces où une structure combustible était prévue visait à déterminer la puissance minimale d'incendie activant le système de gicleurs et si cet incendie était en mesure d'allumer la structure du toit.

Par la suite, des modélisations d'incendie comparatives ont été effectuées pour développer une solution de rechange acceptable dont les caractéristiques de propagation d'incendie et de dégagement de chaleur demeuraient inférieures à la solution conforme au Code. Ces simulations ont permis de supporter une demande de mesure équivalente à la Régie du bâtiment du Québec.

L'utilisation d'une structure de bois pour la toiture et pour le Jardin d'hiver ont permis de réduire significativement les émissions de GES de pour ces éléments comparativement au scénario de référence. La modélisation du projet et du scénario de référence qui exclut les fondations et la

superstructure de béton des deux scénarios permet de mesurer l'impact de l'utilisation du bois en lieu et place des structures incombustibles. La figure 3 présente la réduction des émissions de GES pour ces éléments du projet.

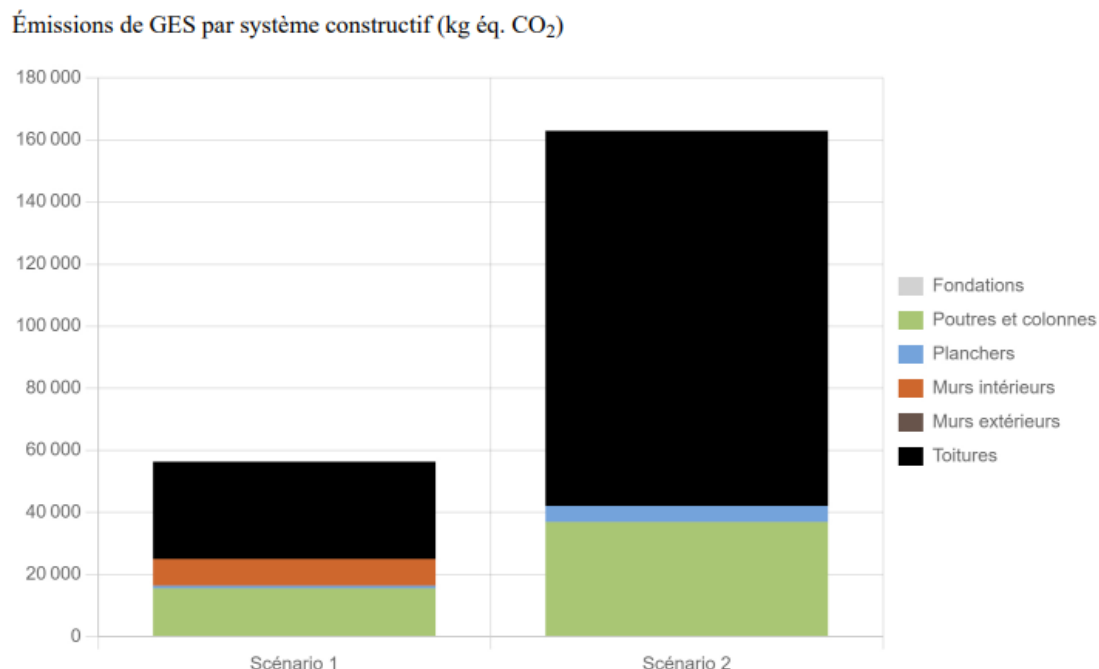


Figure 4 : Comparaison des émissions de GES excluant les fondations et la superstructure

2.2.2 Échéancier global et durée

L'échéancier global du projet est le suivant :

Étape	Trimestre & année
Plans et devis	T1 2022 à T3 2023
Solution de rechange acceptable développée	T4 2022
Approbation de la RBQ (bois)	T2 à T3 2023
Appel d'offres	T4 2023
Construction	T2 2024 à T3 2025
Ouverture prévue	T4 2025

2.2.3 Budget global

Le budget de construction est de 25,8 millions (avant taxes).

2.2.4 Partenaires

	Architecte 1195, Avenue Lavigerie, bureau 50 Québec (Québec) G1V 4N3 www.coarchitecture.com
	Architecte 1450, Rue City Councillors, bureau 320 Montréal (Québec) H3A 2E6 www.affleckdelariva.com
	Ingénieur en structure 1, Place Ville-Marie, bureau 3270 Montréal (Québec) H3B 3Y2 www.arup.com
	Ingénieur en électromécanique 1601, chemin d'Oka Deux-Montagnes (Québec) J7R 1N1 www.mra.qc.ca
	Consultant spécialisé, Code et modélisation incendie 5800, rue Saint-Denis, bureau 505 Montréal (Québec) H2S 3L5 www.technorm.qc.ca

2.2.5 Défis et risques généraux

Le défi consistait à faire la démonstration à la RBQ qu'une structure de bois ne présentait pas plus de risque que les dispositions actuelles du Code et qu'ainsi, il pouvait être acceptable de réaliser la structure de la toiture et du Jardin d'hiver du projet de bibliothèque et d'espace culturel du Cœur-Nomade en bois.

Les risques identifiés sont résumés dans le tableau suivant :

Risque	Description	Impact potentiel
La RBQ demande des informations complémentaires	La RBQ pourrait demander des simulations ou des précisions pour compléter son analyse.	Risque pour l'échéancier de conception. Maintien d'une solution de refuge incombustible plus longtemps, impact sur certains coûts de conception.
L'équivalence ne peut être démontrée	L'équipe n'arrive pas à démontrer que l'utilisation du bois atteint les objectifs du Code, ou la démonstration est insatisfaisante pour la RBQ.	Développement d'une solution incombustible, abandon de la stratégie d'intégration d'une structure de bois pour la toiture et le jardin d'hiver.
Équivalence démontrée partiellement	L'équipe n'arrive pas à démontrer que l'utilisation du bois atteint les objectifs du Code, ou la démonstration est insatisfaisante pour la RBQ pour une partie du projet.	Développement d'une solution incombustible pour l'élément non conforme, abandon de la stratégie d'intégration d'une structure de bois pour une partie du projet.
L'équivalence peut être démontrée en encapsulant la structure apparente en bois	La structure de bois est protégée par l'utilisation d'une stratégie d'encapsulation. La proportion de la structure de bois apparente est affectée de manière significative.	L'encapsulation de la structure entraîne une augmentation du coût de l'alternative en bois jusqu'à un point où les avantages perçus sont réduits et le coût augmenté rendant complexe la justification de la stratégie.

3. Détails de l'étude

L'ensemble des rapports de simulation ainsi que l'intégralité de la demande de mesures différentes présentée à la RBQ sont jointes à l'annexe A. La réponse de la RBQ est également présentée à l'annexe B. Ainsi, certaines précisions sur la méthodologie utilisée pour les simulations incendie de même que l'ensemble des résultats finaux y sont présentés. Les prochaines sections résument la démarche qui a guidé les concepteurs dans l'élaboration de la demande de mesures différents et certains résultats intérimaires ayant permis d'élaborer une solution alternative acceptable.

3.1 Introduction et hypothèses de départ

Cette stratégie visait dès les premières esquisses à réduire l'empreinte carbone intrinsèque du bâtiment et à favoriser l'utilisation du bois dans la construction, même dans le cas de bâtiments classés incombustibles par le Code de construction.

Lorsque les bâtiments atteignent une grande efficacité énergétique, leur consommation d'énergie est grandement réduite et, par conséquent, les émissions de GES générées par la production d'énergie les sont également. De plus, l'intensité d'émission de GES de l'électricité québécoise est très faible en comparaison à la moyenne nord-américaine. Par conséquent, l'impact sur les changements climatiques d'un nouveau bâtiment est principalement concentré au niveau du carbone intrinsèque. C'est-à-dire que le bilan carbone du projet est principalement dû aux émissions de GES provoquées lors de la fabrication des matériaux de construction mis en œuvre lors de la construction. Comme la structure du bâtiment est, de loin, l'élément dans le bâtiment qui consomme la plus grande partie des matériaux et c'est donc là qu'il est le plus efficace d'agir pour réduire l'empreinte carbone du projet.

Tous les matériaux de structure n'ont pas le même niveau de carbone intrinsèque. Le bois est nettement moins émetteur que les autres matériaux généralement utilisés dans la structure. Cependant, c'est un matériau combustible alors que le Code exige, pour un bâtiment de classe A2 de 4 étages, qu'il soit incombustible.

Cependant, le Code permet l'utilisation de revêtements intérieurs de finition combustibles à certaines conditions même dans les cas où une construction incombustible est exigée. La stratégie élaborée a donc consisté à faire la démonstration qu'une structure partiellement combustible ne présentait pas plus de risques que ce qui est déjà autorisé par le Code.

3.2 Objectifs

Pour atteindre cet objectif, l'équipe de conception a développé une stratégie visant à élaborer une solution équivalente aux solutions acceptables décrites dans Code et répondant aux mêmes objectifs et énoncés fonctionnels, mais en utilisant une structure partiellement en bois. Cette démonstration pourrait permettre à la RBQ d'approuver la conception alternative en vertu de l'article 127 de la Loi sur le Bâtiment.

3.3 Méthodologie

La démonstration s'est effectuée en trois étapes. La méthodologie de progression a été élaborée en vue de minimiser les modifications au concept structural initial et pour y intégrer de manière progressive des ajustements qui pourraient rendre la solution alternative acceptable.

Ainsi, les modélisations incendie visaient d'abord à vérifier si un foyer d'incendie et son contrôle par le système de gicleurs présentaient un potentiel de propagation à la structure. Ensuite, la structure de bois a été comparée à un scénario conforme au Code. Enfin, des ajustements et des modélisations complémentaires ont été effectués pour développer une solution alternative équivalente et soutenir la demande de mesure équivalente présentée et acceptée par la RBQ.

La méthodologie de chaque simulation a pris en compte les résultats des modélisations précédentes. Ainsi, la troisième série de simulations ne concerne que la portion de documentation au niveau 03 de la bibliothèque puisque les résultats de l'analyse comparative se sont révélés suffisants pour l'espace du Jardin d'hiver.

3.3.1 Potentiel de propagation d'incendie à la structure de bois

La première étape visait à déterminer si un scénario probable d'incendie suffisamment intense pour déclencher les gicleurs (incendie contrôlé) pouvait se propager et enflammer la structure de la toiture en bois à différents endroits pour le projet proposé. Trois scénarios d'emplacements de foyers d'incendie ont été simulés au niveau 03 et quatre emplacements ont été simulés pour le Jardin d'hiver.



Figure 5 : Emplacement des foyers d'incendie simulés

Pour chaque emplacement simulé, le temps de déclenchement des gicleurs et l'intensité (puissance) de l'incendie ont été simulés dans le modèle numérique. Les foyers d'incendie correspondaient à

des incendies génériques avec un taux d'accroissement rapide pour le niveau 03 et à des hypothèses de mobilier et de végétation dans le Jardin d'hiver. Deux types de végétaux ont été simulés aux emplacements Jh-3 et Jh-4.

Les conditions d'aménagement et de contenu combustible ont été analysées par l'expert responsable des modélisations incendie. Il est cependant à noter que les incendies modélisés étaient contrôlés par le système de gicleurs automatique. C'est-à-dire que le modèle d'incendie prend en compte le développement du foyer d'incendie et l'augmentation de température qui en résulte au niveau des têtes de gicleurs également présentes dans le modèle. Lorsque la température simulée au niveau d'un gicleur atteint la température de déclenchement, l'intensité de l'incendie simulé est plafonnée. La figure 5 illustre le développement de la puissance calorifique de l'incendie pris en compte par la simulation.

Ainsi, l'action des gicleurs dans le modèle n'a pas pour effet de réduire la puissance calorifique du foyer d'incendie, mais uniquement d'en limiter la puissance. L'incendie simulé continue sa progression en fonction des autres paramètres. Le logiciel de simulation permet d'estimer la puissance de l'incendie en fonction du temps. L'augmentation en puissance d'un foyer d'incendie contrôlé signifie qu'une plus grande surface est affectée et fournit le débit calorifique. Lorsque la puissance ne croît pas, cela indique que l'incendie ne progresse pas et consomme la matière combustible disponible à un rythme constant. Aucune extinction n'est considérée dans les modélisations effectuées.

Le niveau de résistance au feu exigé par le Code pour le bâtiment est d'une heure. Cette limite de temps a été appliquée aux modélisations d'incendie.

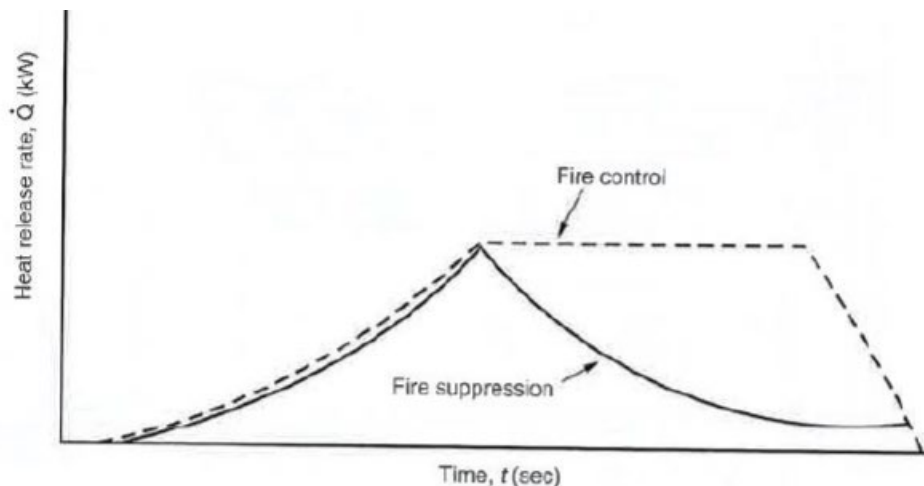


Figure 6 : Profil d'incendie contrôlé modélisé (ligne pointillée uniquement)

3.3.2 Comparaison des modélisations incendie

Cette deuxième étape a consisté à développer une solution équivalente basée sur la comparaison du risque par le biais de modélisation incendie de deux scénarios. Le premier, appelé solution de rechange, consistait à simuler le projet tel qu'élaboré à l'étape conceptuelle. Le second scénario a consisté à développer une alternative conforme au Code, mais respectant les intensions architecturales. C'est-à-dire que l'alternative conforme devait inclure des finis intérieurs en bois permettant de créer des espaces de qualité comparable.

La sous-section 3.1.5. du Code comprend certains articles qui autorisent l'utilisation de matériaux combustibles dans les bâtiments incombustibles. L'article 3.1.5.12. a été utilisé pour élaborer la solution acceptable décrite au Code :

3.1.5.12. Revêtements intérieurs de finition combustibles

2) Les revêtements intérieurs de finition *combustibles* des murs, à l'exception des mousses plastiques, qui ont au plus 25 mm d'épaisseur sont autorisés dans un *bâtiment* pour lequel une *construction incombustible* est exigée, à condition qu'ils aient un *indice de propagation de la flamme* d'au plus 150 sur toute surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens.

3) Sous réserve du paragraphe 4), les revêtements intérieurs de finition *combustibles* des plafonds, à l'exception des mousses plastiques, qui ont au plus 25mm d'épaisseur sont autorisés dans un *bâtiment* pour lequel une *construction incombustible* est exigée, à condition qu'ils aient un *indice de propagation de la flamme* d'au plus 25, sur toute surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens, sauf qu'au plus 10 % de la surface du plafond de chaque *compartiment résistant au feu* peut avoir un *indice de propagation de la flamme* d'au plus 150.

L'alternative conforme a donc été élaborée en exploitant ces solutions acceptables du Code. Ainsi, un modèle alternatif a été créé en appliquant les revêtements combustibles autorisés par les Codes. Le matériau de revêtement intérieur utilisé est un contreplaqué de pin du sud de 24 mm qui, selon le Tableau D.3.1.1.A. du Code, a un indice de propagation de la flamme compris entre 75 et 150 ¹. Tous les murs de la solution acceptable ont été simulés avec un revêtement combustible conformément au paragraphe 2) ainsi que pour 10% de la superficie des plafonds.

¹ L'indice de dégagement de fumée n'est pas applicable au cas présent, mais il est compris entre 100 et 300 pour le contreplaqué. Pour les bâtiments de grande hauteur, la solution conforme pourrait également être applicable pour les murs de certaines aires de plancher.

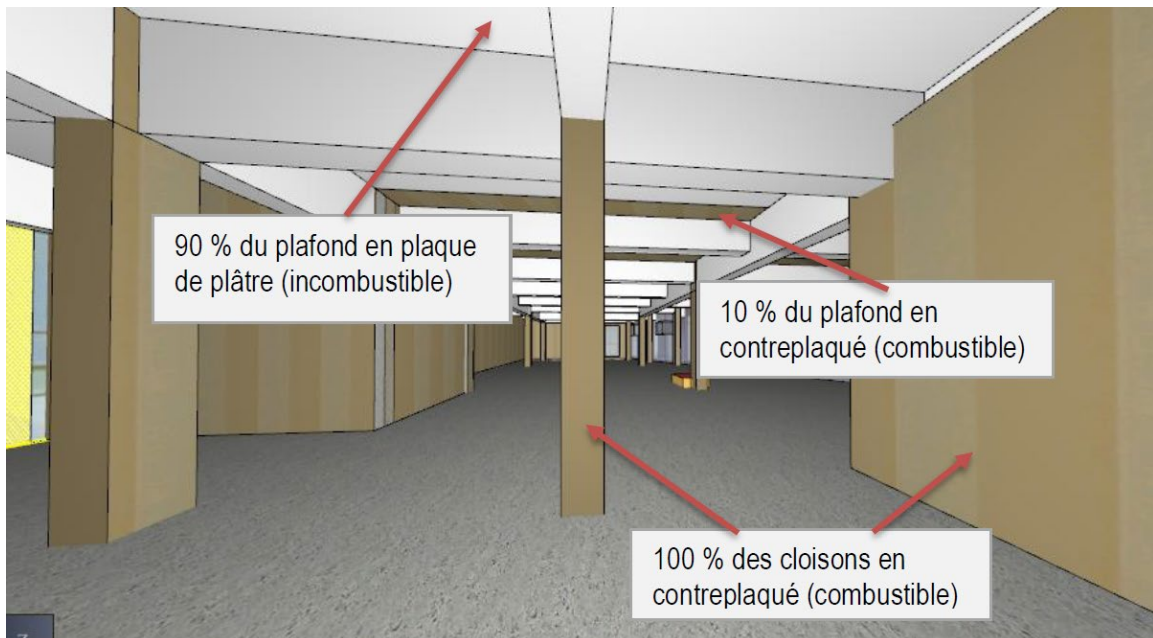


Figure 7 : Extrait du modèle de simulation incendie présentant la solution acceptable décrite au Code

Un modèle comparable a été réalisé pour la solution équivalente basé sur le concept structural recherché a également été simulé.

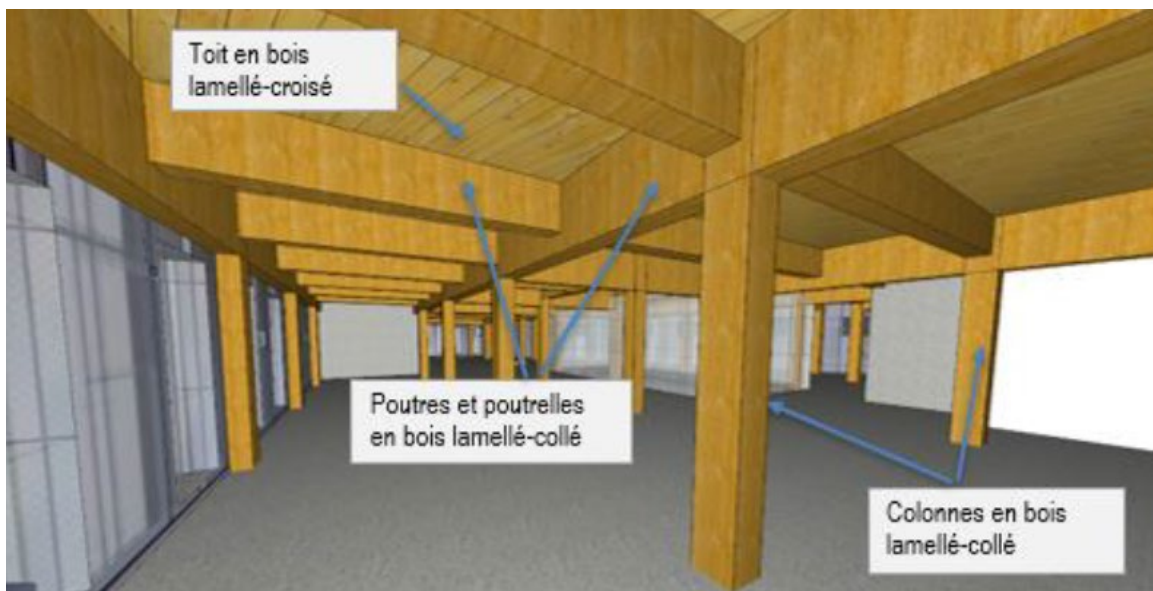


Figure 8 : Extrait du modèle de simulation incendie présentant la solution équivalente initiale (concept)

Cette comparaison a été appliquée aux deux aires du bâtiment où une structure apparente en bois était prévue, c'est-à-dire dans le Jardin d'hiver et au niveau 03 de la bibliothèque. Pour chaque scénario de système constructif et de revêtement, les mêmes foyers d'incendie ont été simulés.

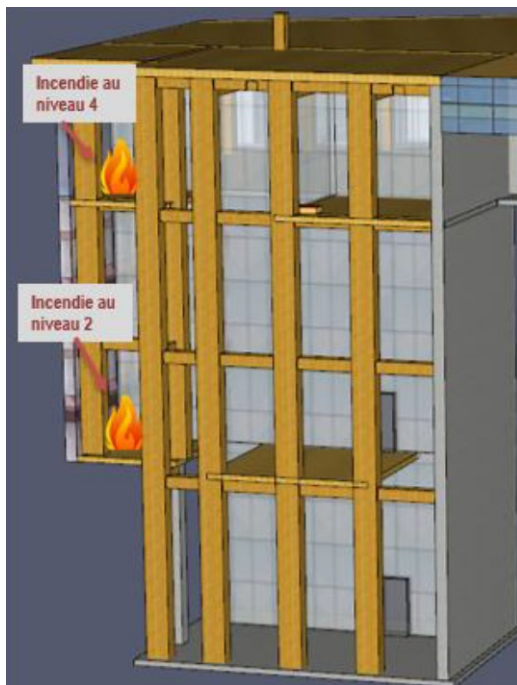


Figure 9 : emplacements des foyers d'incendie des scénarios des modélisations d'incendie

3.3.3 Développement de la solution alternative acceptable

L'aire de documentation au niveau 03 de la bibliothèque a nécessité des modélisations complémentaires. Deux stratégies pouvaient être envisagées pour que l'utilisation d'une structure de bois puisse être une alternative acceptable à l'égard des objectifs du Code. La première stratégie consiste à encapsuler le bois pour en augmenter la résistance au feu et ainsi retarder la propagation d'un incendie. La deuxième stratégie consiste à contrôler l'environnement une fois l'incendie déclaré. C'est-à-dire d'intégrer des mesures pour retarder ou contrôler les conditions dangereuses. Cette seconde option peut inclure l'ajout de systèmes qui, selon toute vraisemblance, aurait un impact plus significatif sur les coûts du projet que la première stratégie. C'est pour cette raison que la première stratégie a été simulée.

L'encapsulation du bois est une méthode efficace reconnue pour limiter la progression et l'intensité d'un incendie des structures de bois. L'encapsulation a cependant pour impact de dissimuler le bois, ce qui a un impact sur l'ambiance recherchée. Cette option a donc été analysée de manière progressive. C'est-à-dire que le niveau d'encapsulation du bois a été augmenté jusqu'à ce que la mesure se révèle être une alternative acceptable. Autrement dit, la méthodologie visait à déterminer jusqu'à quel niveau l'encapsulation du bois permettait de maintenir la puissance calorifique d'incendie à un niveau inférieur à la solution acceptable conforme comparable.

L'équipe a analysé différents scénarios d'encapsulation. L'équipe a réalisé de nouvelles simulations, cette fois, en comparant 3 scénarios d'encapsulation des colonnes et a comparé les résultats au modèle de solution acceptable élaboré à l'étape précédente.

Trois scénarios d'encapsulation des colonnes ont été modélisés afin de déterminer si l'encapsulation des colonnes pouvait atteindre une performance équivalente au scénario alternatif conforme et jusqu'à quel niveau il était requis d'encapsuler les colonnes pour que la solution équivalente soit

acceptable. La figure 10 présente les différents scénarios d'encapsulation évalués en modélisation d'incendie.

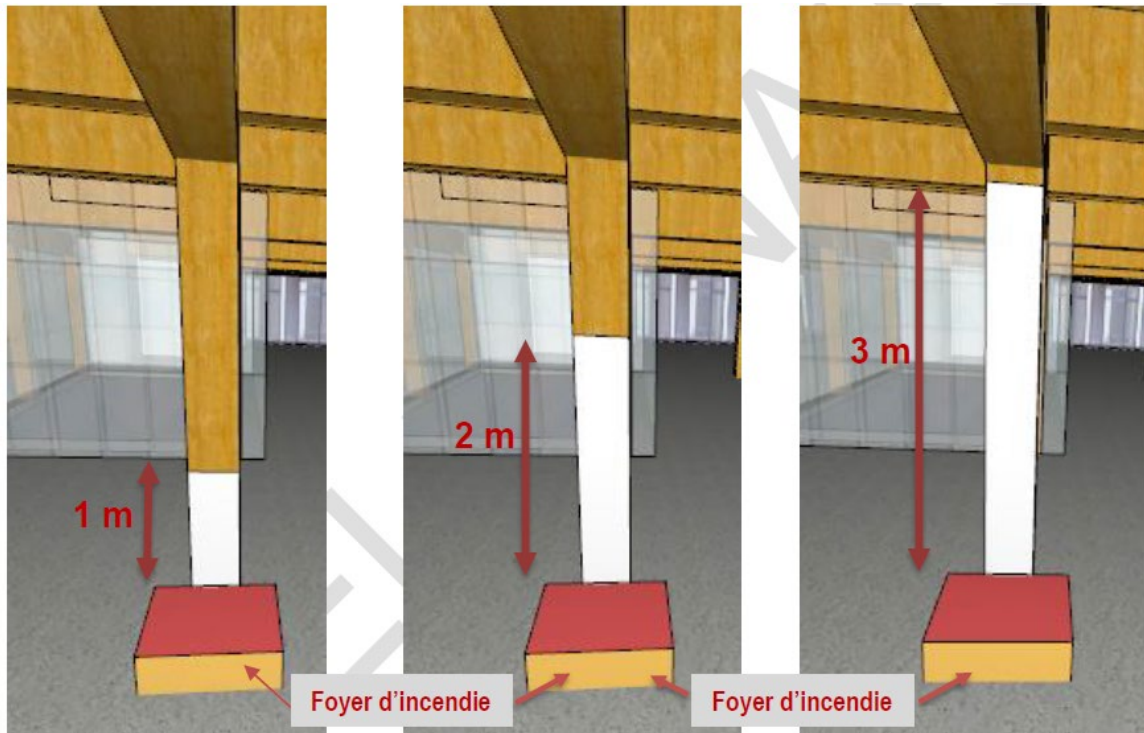


Figure 10 : Représentation des scénarios d'encapsulation des colonnes du modèle de solution alternative

Les trois scénarios d'encapsulation de colonne ont été comparés aux modélisations effectuées pour le modèle avec colonne de bois non encapsulé et au modèle de colonne incombustible avec un revêtement de finition combustible. Il n'a pas été requis d'augmenter le niveau d'encapsulation du bois au-delà des scénarios présentés ici.

3.4 Résultats et analyse

3.4.1 Potentiel de propagation d'incendie à la structure en bois

Les résultats de la première série de modélisation incendie ont démontré qu'il existait un risque qu'un foyer d'incendie situé dans un aire où la structure de bois est présente se propage à cette dernière. La figure 10 présente l'évolution des débits calorifiques dans le temps pour les différents scénarios d'incendie modélisés.

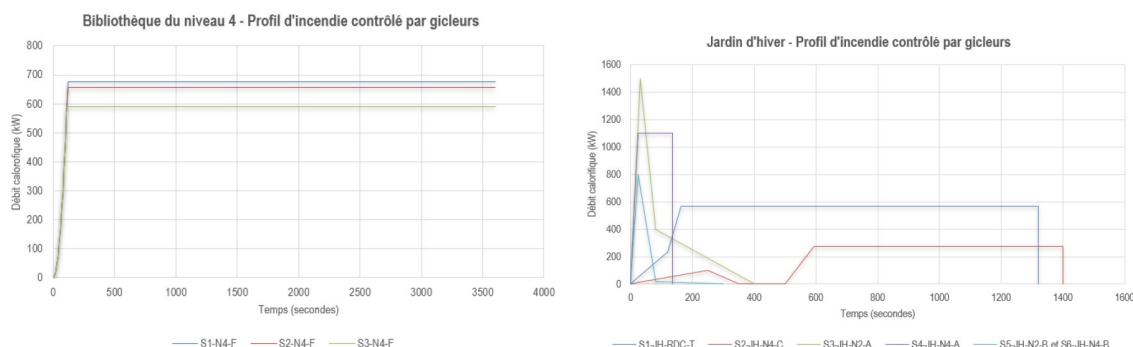


Figure 11 : Profil d'incendie de différents scénarios pour le niveau 03 et le Jardin d'hiver

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Emplacement	Temps de déclenchement des gicleurs (68 °C)	Puissance d'incendie	Allumage du toit en bois massif
N03-1	120 s	677 kW	Oui
N03-2	112 s	590 kW	Oui
N03-3	118 s	654 kW	Non
Jh-1	162 s	567 kW	Non
Jh-2	594 s	262 kW	Non
Jh-3A	Après le pic	Non considéré	Oui
Jh-3B	Après le pic	Non considéré	Non
Jh-4A	24 s	1 100 kW	Oui
Jh-4B	Après le pic	Non considéré	Non

Ces résultats ont démontré qu'il y avait un risque qu'un foyer d'incendie contrôlé par l'action des gicleurs atteigne la structure de la toiture lorsque ce foyer est situé près d'une colonne de bois au niveau 03. Le développement d'une solution de rechange acceptable a dû être entrepris.

3.4.2 Comparaison des modélisations incendie

L'analyse comparative des deux aires où la structure apparente a donné des résultats différents pour chaque espace. Les simulations effectuées dans l'aire du Jardin d'hiver ont permis de conclure que le recours à une structure de bois apparente avait un débit calorifique (puissance) global moins élevé et que l'incendie pleinement établi ainsi que l'embrasement général surviennent plus tardivement.

Les graphiques de la figure suivante permettent de constater que la structure de bois du Jardin d'hiver ne présente pas plus de risque pour les occupants que les solutions acceptables du Code.

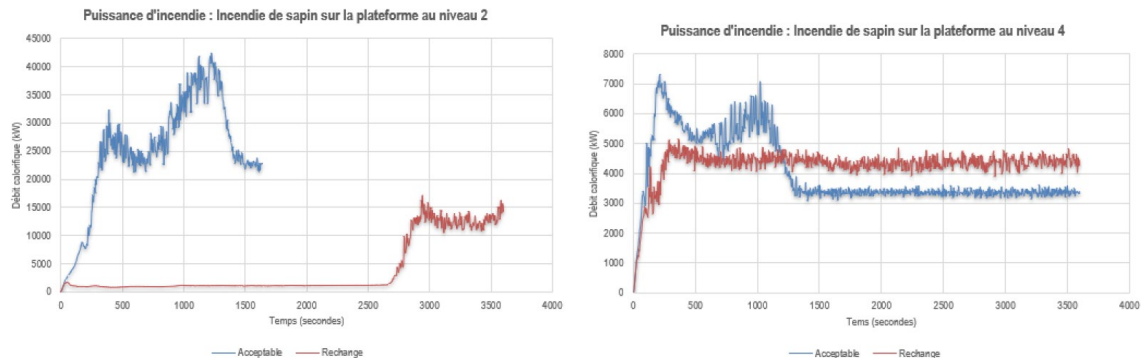


Figure 12 : Comparaison de la puissance simulée pour 2 foyers d'incendie dans le Jardin d'hiver pour les 2 solutions

Par contre, pour le niveau 03, les premières simulations de foyer d'incendie à proximité des colonnes n'ont pas permis d'en arriver aux mêmes conclusions. En effet, les simulations indiquent qu'il est probable que la propagation de l'incendie à la toiture par les colonnes de bois entraîne un développement plus intense et plus rapide de l'incendie comparativement à la solution acceptable du Code.

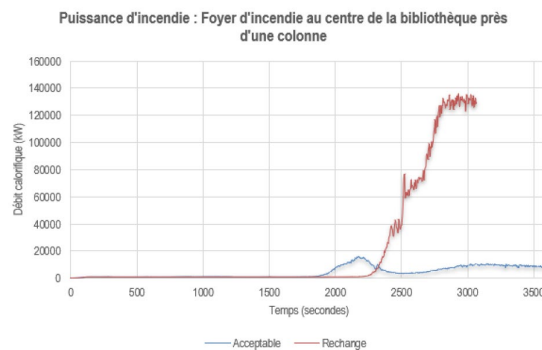


Figure 13 : Évolution de la puissance d'un incendie à proximité d'une colonne pour la solution de refuge initiale et du scénario alternatif conforme

Il a été démontré que si le foyer d'incendie contrôlé par gicleurs n'est pas situé à proximité d'une colonne de bois, la structure de la toiture ne s'embrase pas. En conséquence, la troisième étape a été initiée pour cet espace uniquement.

3.4.3 Développement de la solution alternative pour l'aire de consultation

Les simulations d'incendie pour les différents scénarios étudiés dans le Jardin d'hiver indiquent que la solution de recharge développée ne présente pas plus de risque pour les occupants que la solution acceptable. Aucune itération supplémentaire n'a été requise pour appuyer la demande de mesure équivalente.

Le processus itératif s'est poursuivi pour l'aire de consultation pour et a permis le développement d'une solution de recharge acceptable pour l'aire de consultation.

La figure 14 présente les résultats des cinq scénarios avec un foyer d'incendie contrôlé situé à proximité d'une colonne (voir figure 10).

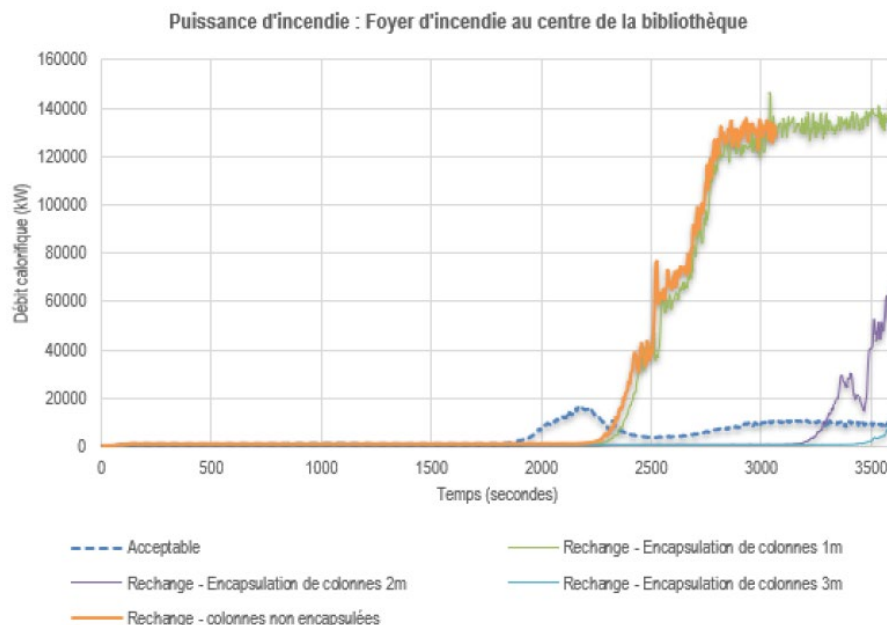


Figure 14 : Évolution de la puissance de l'incendie à proximité d'une colonne selon différents scénarios

Ces modélisations d'incendie permettent de constater que l'encapsulation du premier mètre au bas des colonnes de bois présente pratiquement le même comportement que le scénario sans encapsulation. L'encapsulation de 2 mètres retarde la propagation de l'incendie, mais le débit calorifique de la simulation surpasse celui du scénario alternatif conforme quelques minutes avant la fin de la période simulée. Enfin, l'encapsulation sur toute la hauteur des colonnes de bois retarde suffisamment la croissance de la puissance de l'incendie pour que cette dernière demeure inférieure à la solution acceptable conforme.

La solution de recharge élaborée et acceptée par la RBQ a donc consisté à encapsuler avec du gypse l'ensemble des colonnes de bois de l'aire de consultation du niveau 03. Les figures suivantes présentent les résultats des simulations d'incendie réalisées pour soutenir la demande de mesure équivalente acceptée par la RBQ.

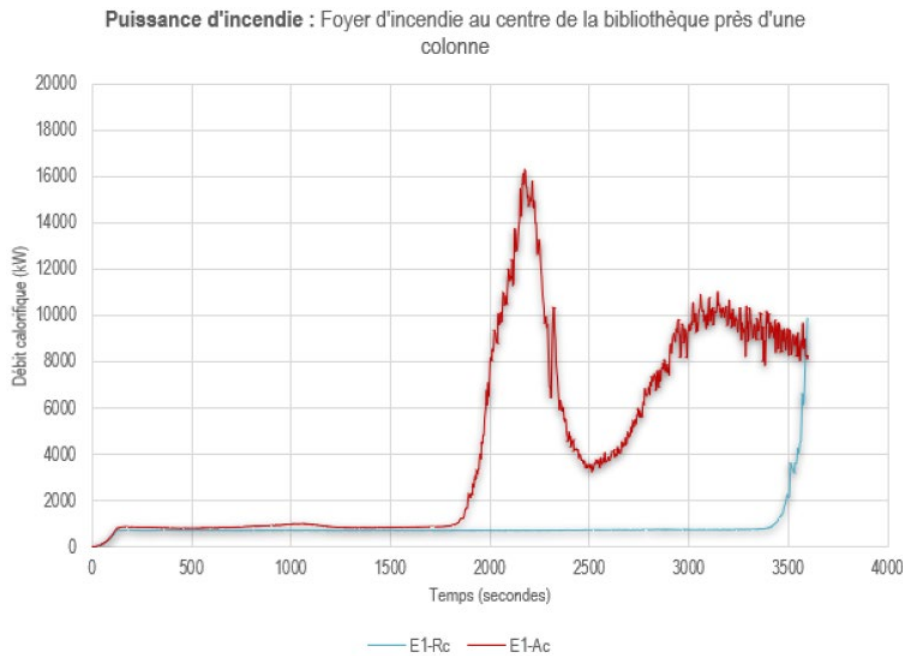


Figure 15 : Résultats de simulations d'incendie pour un la solution de rechange proposée et pour la solution acceptable – foyer d'incendie à proximité d'une colonne

La figure 15 indique que la croissance de l'intensité de l'incendie de la solution acceptable survient plus rapidement (courbe E1-Ac) que pour la solution de rechange proposée si le foyer d'incendie est localisé à proximité d'une colonne.

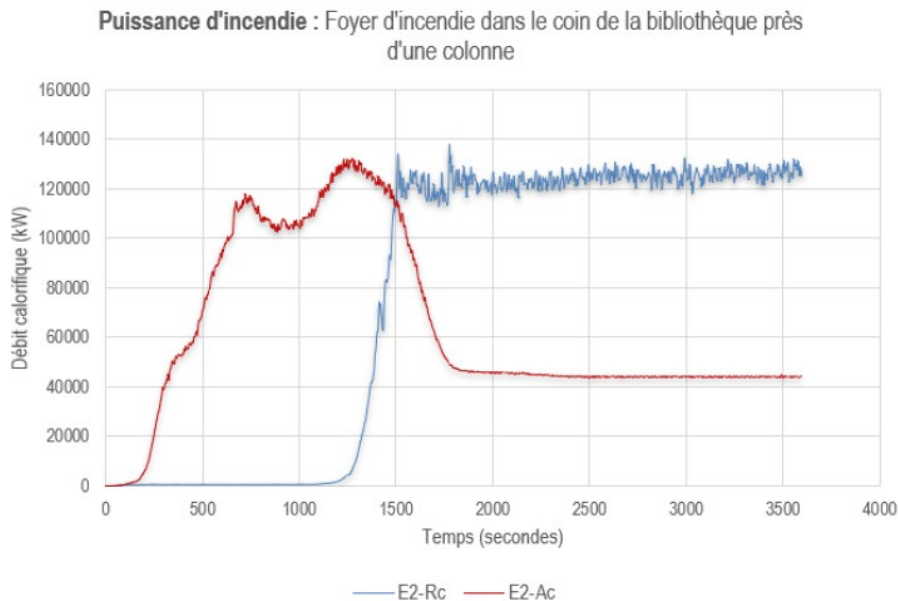


Figure 16 : Résultats de simulations d'incendie pour un la solution de rechange proposée et pour la solution acceptable – foyer d'incendie près d'un coin de mur

La figure 16 indique que la croissance de l'intensité de l'incendie de la solution acceptable survient plus rapidement (courbe E2-Ac) que pour la solution de rechange proposée si le foyer d'incendie est localisé près d'une colonne de coin. L'intensité maximale est comparable, mais l'augmentation

d'intensité de la solution de rechange est plus tardive, une condition plus favorable pour la sécurité des occupants.

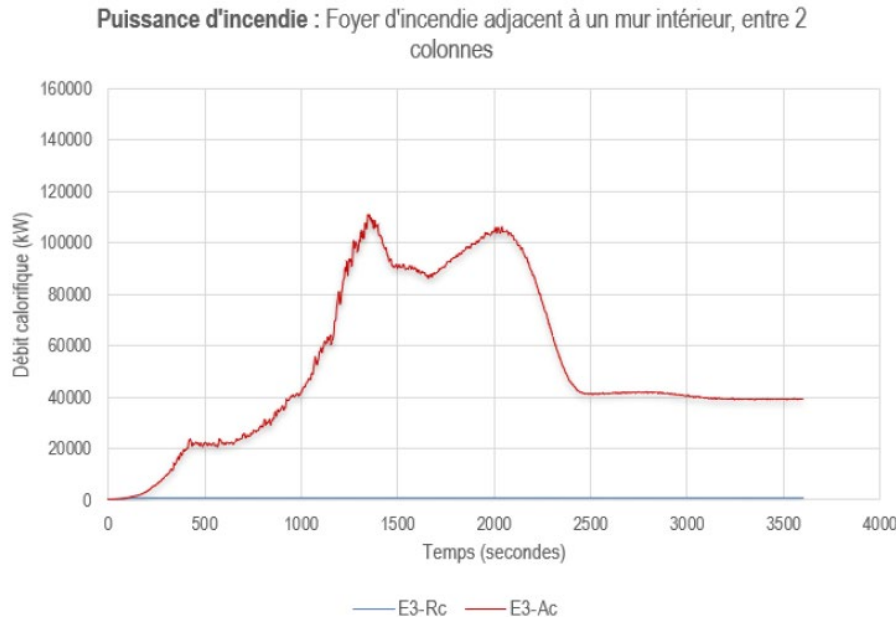


Figure 17 : Résultats de simulations d'incendie pour un la solution de rechange proposée et pour la solution acceptable – foyer d'incendie situé entre deux colonnes

La figure 17 illustre la différence d'intensité d'un incendie près d'un mur dont la finition est constituée de matériaux combustibles (courbe E3-Ac) et non combustibles (courbe E3-Rc).

3.4.4 Présence de bois apparent dans une aire communicante

La structure du plafond de l'escalier central est également en bois massif apparent et constitue le toit d'une aire communicante aux deux premiers niveaux du bâtiment. Bien qu'aucune simulation d'incendie spécifique n'ait été réalisée spécifiquement pour les aires communicantes, l'équipe a prévu un système d'évacuation des fumées en cas d'incendie. Ainsi, des fenêtres ouvrantes motorisées avec batteries reliées au système d'alarme incendie ont été intégrées au puits de lumière au sommet de l'escalier central.

3.5 Conclusions

Le processus systématique ayant permis le développement de la solution de rechange acceptable qui respecte les intentions des concepteurs a nécessité une démonstration rigoureuse que l'introduction d'une structure de bois apparente n'entraînait pas une augmentation inacceptable des risques pour les occupants. La stratégie basée sur des simulations incendie a permis de mieux évaluer les éléments pouvant présenter des risques supérieurs aux solutions acceptables autorisées et ainsi élaborer une stratégie permettant l'utilisation d'une structure partiellement combustible dans un bâtiment classé incombustible.

La stratégie a également permis de créer l'ambiance recherchée pour l'aire de consultation et a permis à la RBQ d'accepter la demande de mesure différente telle que présentée.

Les images suivantes permettent d'apprécier l'impact des simulations effectuées dans le cadre du projet qui ont entraîné l'encapsulation des colonnes de bois du niveau 03, le changement ayant permis de laisser l'ensemble de la structure du toit apparente.



Figure 18 : Rendu architectural de l'aire de consultation au niveau 03, à l'étape du concours (planche 3/4)



Figure 19 : Rendu architectural de l'aire de consultation au niveau 03, à l'étape des plans préliminaires

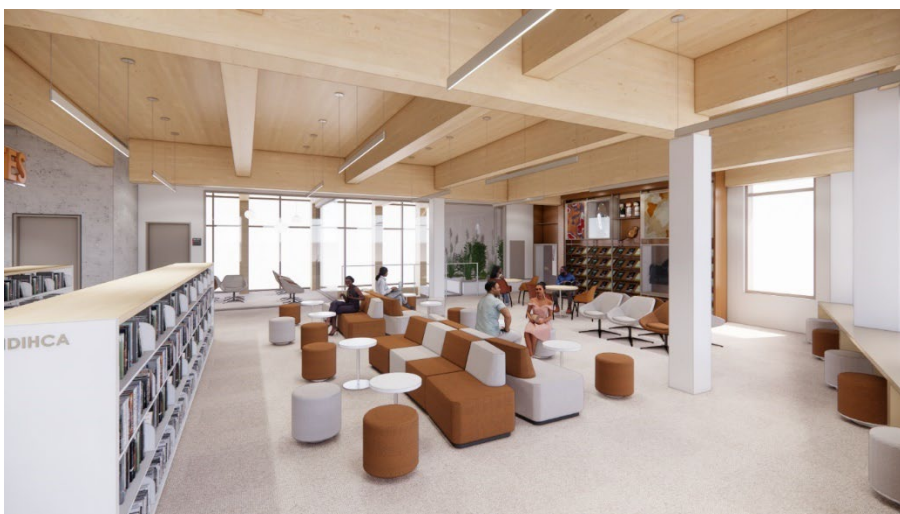


Figure 20 : Rendu architectural de l'aire de consultation au niveau 03, à l'étape des plans définitifs

3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie

La Régie a analysé la demande de mesure différente formulée et a accepté la proposition sans y ajouter de conditions. La démonstration que la structure en bois apparent de la Bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade atteint les objectifs du Code a permis de réduire la quantité d'acier de 25,6 tonnes et de substituer 336 m³ de béton par 372 m³ de bois d'ingénierie dont la majeure partie a pu être laissée apparente. L'application de cette solution de rechange n'entraîne pas d'augmentation des risques pour les occupants, mais permet de réduire les émissions de GES du projet de 5,3 %. Ces émissions évitées vont contribuer à réduire le volume global des émissions de GES du Québec, mais c'est surtout l'application plus fréquente de l'utilisation innovante du bois qui aura l'impact le plus significatif.

L'utilisation plus généralisée des toitures en bois dans tous les types de bâtiments pourrait favoriser la réduction de l'impact environnemental du secteur de la construction. Dans de nombreux bâtiments, le dernier étage est utilisé de manière différente des étages intermédiaires et l'utilisation d'une structure apparente en bois à cet étage pourrait en accroître la valeur pour les occupants. La perception généralement positive du bois par les usagers contribue à l'ambiance de ces espaces, ce, qui dans plusieurs cas pourrait bonifier la valeur des immeubles.

La bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade est un bâtiment de 4 étages, mais la méthodologie employée est tout à fait applicable à tous les étages. Il est possible que la présence d'une structure de bois conçue de manière à limiter la propagation des foyers d'incendie puisse aussi bien satisfaire les objectifs du Code avec un nombre différent d'étages ou avec un autre usage.

3.7 Recommandations

Le recours plus fréquent aux structures de bois dans un plus grand nombre de projets de bâtiments est souhaitable à plusieurs points de vue. Le bilan des GES réalisé dans le cadre démontre un des nombreux avantages du bois. Le projet bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade a permis de démontrer que le bois pouvait être une option acceptable, dans les conditions du projet, même pour un bâtiment classé incombustible.

Cependant, la démonstration requise pour atteindre l'objectif souhaité est relativement lourde, complexe et le résultat demeure incertain. Nous pensons que certaines mesures pourraient être mises en œuvre pour faciliter la réduction des émissions de GES de la construction ou de l'agrandissement des bâtiments par l'utilisation accrue et efficace du bois.

Aussi, afin d'atteindre cet objectif, nous formulons les recommandations suivantes :

1. Informer et sensibiliser davantage les professionnels concernés au sujet des demandes de mesures différentes et sur les stratégies à mettre en œuvre pour soutenir les demandes de mesures différentes visant une plus grande utilisation du bois.
2. Développer un guide pour la construction de toitures à structure massive en bois qui pourrait étendre l'application de l'article 3.2.2.16 à des hauteurs de bâtiment supérieure à 2 étages. Ce guide pourrait indiquer les conditions acceptables pour :
 - a. le groupe d'usage, la hauteur et la superficie
 - b. la taille minimale des éléments structuraux combustibles
 - c. l'encapsulation requise et le bois apparent permis
 - d. les autres mesures complémentaires.
3. Généraliser la réalisation de bilan de GES pour les projets publics dans un premier temps puis introduire des cibles de réduction de manière coordonnée avec l'évolution des réductions potentielles que le guide recommandé permet d'atteindre.

4. Bibliographie

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA, *Code de construction du Québec, Chapitre I – Bâtiments, et Code national du bâtiment – Canada 2015 (modifié)*, 4^e édition, [Fichier PDF], Conseil national de recherches du Canada, 2022, 1466p.

5. Annexes

Liste des annexes :

Annexe	Description
A.1	Demande de mesures équivalentes
A.2	Annexe 6 : Rapport de modélisations d'incendie – Jardin d'hiver
A.3	Annexe 7 : Rapport de modélisations d'incendie – Niveau 4
B	Réponse de la RBQ à la demande de mesure équivalente datée du 10 juillet 2023

Annexe A.1

Demande de mesures équivalentes

Demande de mesures équivalentes
DMÉ1 : Bibliothèque de construction combustible

Bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade
Arrondissements Ahuntsic-Cartierville & Montréal-Nord, Montréal (Québec)
220187-007

10 juillet 2023, rév. 01

Préparé pour :

Consortium AdIR & CO

PAR :



Kseniia Polukhina, ing.
Conseillère technique
Codes et normes – Sécurité incendie



Marc-André Langevin, ing., M. Ing., M. Sc. A.
Président

TABLE DES MATIÈRES

TYPE DE DEMANDE.....	1
1 OBJET DE LA DEMANDE	1
2 DEMANDEUR.....	1
3 PROPRIÉTAIRE	2
4 LIEU FAISANT L'OBJET DE LA PROPOSITION	2
5 RÉGLEMENTATION APPLICABLE	3
6 GÉNÉRALITÉS	3
7 DESCRIPTION DU BÂTIMENT	4
7.1 Plan clé	5
8 CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE	6
8.1 Mise en contexte	6
8.2 Problème soulevé	9
9 EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES.....	10
9.1 Classification de la sous-section 3.2.2.	10
9.2 Exigences réglementaires concernées.....	10
9.3 Objectifs, énoncés fonctionnels et énoncés d'intention	10
10 SOLUTION DE RECHANGE PROPOSÉE	11
10.1 Méthodologie.....	12
11 JUSTIFICATIONS ET DÉMONSTRATION	13
12 LISTE DES DOCUMENTS EN ANNEXE.....	15

Annexe 1 – Plans de structure du bâtiment

Annexe 2 – Dessins d'architecture du bâtiment –
Revêtement de finition combustible

Annexe 3 – Objectifs, énoncés fonctionnels et
énoncés d'intention

Annexe 4 – Rapport d'essai du CLT pour la
conformité avec les exigences applicables de la
norme CAN/ULC S102-10

Annexe 5 – Rapport sur le produit – Nordi Lam,
Nordic Structures

Annexe 6 – Rapport de modélisations d'incendie –
Jardin d'hiver

Annexe 7 – Rapport de modélisations d'incendie –
Niveau 4

TYPE DE DEMANDE

Cette demande de **mesures équivalentes** est présentée en vertu de l'article 127 de la *Loi sur le bâtiment* qui permet à la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) d'approuver une méthode de conception, un procédé de construction de même que l'utilisation d'un matériau ou d'un équipement différents de ce qui est prévu à un code ou à un règlement, lorsqu'elle estime que leur qualité est équivalente à celle recherchée par les normes prévues à ce code ou à ce règlement.

Cette démarche est présentée en utilisant la méthodologie décrite dans le *Guide de présentation d'une demande de mesures équivalentes ou d'une demande de mesures différentes*, publié par la Régie du bâtiment du Québec en 2016. La méthodologie présentée dans ce guide fait office de règle de l'art en la matière et son utilisation est recommandée pour des cas de mesures différentes qui découlent de l'application d'exigences réglementaires.

1 OBJET DE LA DEMANDE

La présente demande vise une construction incombustible avec des éléments structuraux combustibles apparents dans un bâtiment pour lequel une construction incombustible est exigée.

RÉVISION 01

Le présent document révisé la demande soumise le 7 mars 2023.

Cette révision est effectuée pour corriger une erreur commise dans la description du concept proposé, notamment la protection par gicleurs des parois vitrées entre le Jardin d'hiver et le reste du bâtiment.

Les changements apportés à ce document sont indiqués par un trait vertical situé dans la marge droite du document.

2 DEMANDEUR

La Régie du bâtiment du Québec est invitée à communiquer avec Mme Kseniia Polukhina, ingénieure, de la firme Technorm inc. Voici ses coordonnées pour toute demande d'information ou de précision concernant la présente proposition :

Kseniia Polukhina, ing.
Technorm inc.
5800, rue Saint-Denis, bureau 505
Montréal (Québec) H2S 3L5
Tél. : 514 861-1940, poste 63
Courriel : kpolukhina@technorm.ca

3 PROPRIÉTAIRE

Voici les coordonnées de la personne-ressource, responsable de la gestion du dossier en vue de la transmission d'une copie de l'accusé de réception et de la lettre de décision :

Geneviève Descoteaux

Chargée de projet

Division des Programmes de projets

Direction de la Gestion de projets immobiliers

Service de la gestion et de la planification immobilière

Ville de Montréal

303, rue Notre-Dame Est, 3^e étage

Montréal (Québec) H2Y 3Y8

Tél. : 514 261-8346

Courriel : genevieve.descoteaux@montreal.ca

4 LIEU FAISANT L'OBJET DE LA PROPOSITION

Le lieu faisant l'objet de la proposition est la Bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade, située à Montréal, à l'angle du boulevard Henri-Bourassa Est et de l'avenue Oscar.

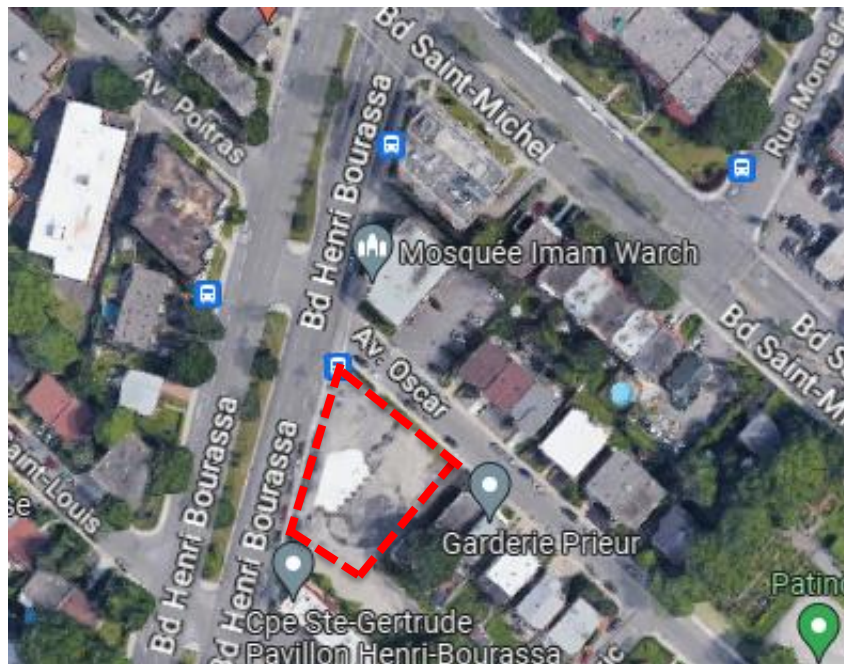


Figure 1 : Localisation du projet (tirée de Google Maps)



Figure 2 : Vue isométrique du bâtiment projeté

5 RÉGLEMENTATION APPLICABLE

La réglementation applicable à cette demande est le Chapitre I – Bâtiment, du Code de construction du Québec, adoptant avec modifications le Code national du bâtiment – Canada 2015 (CNB 2015 mod. Qc) [R.R.Q., c. B-1.1, r. 2].

6 GÉNÉRALITÉS

Le présent document **ne sera pas transmis** au service des incendies de la municipalité, en parallèle avec la démarche entreprise auprès de la Régie du bâtiment du Québec.

La transmission de la présente demande au service des incendies est à la discrétion de la Régie du bâtiment du Québec.

7 DESCRIPTION DU BÂTIMENT

Il s'agit d'un bâtiment neuf pour un usage partagé de bibliothèque et de salles communautaires (espaces culturels et sociocommunautaires). Un garage de stationnement est prévu au sous-sol. Les premier et deuxième étages se trouvent en aires communicantes. Les aires communicantes sont exemptées de l'application des articles 3.2.8.3. à 3.2.8.8. du CNB 2015 mod. Qc.

La Ville de Montréal étant propriétaire et utilisateur du bâtiment, aucune notion de suite locative n'a été considérée. Les travaux de construction débuteront à l'automne 2023.

Voici les principales caractéristiques architecturales et de sécurité incendie du bâtiment.

Élément	Description
Caractéristiques	
Hauteur de bâtiment (nombre d'étages)	4 étages
Nombre de sous-sols	1 étage
Aire de bâtiment	≈ 1 100 m ²
Type de construction	Mixte (incombustible et combustible) – Voir sujet de la présente demande
Bâtiment de grande hauteur	Non
Nombre de rues	2 rues
Usages du bâtiment	
Fonction du bâtiment	Bibliothèque avec des salles communautaires
Usage principal	Groupe A, division 2
Usages secondaires	Groupe F, division 3 (garage de stationnement)
Équipements de sécurité	
Système de gicleurs	Prévu
Système d'alarme incendie	Prévu
Système de communication phonique	Non requis
Réseau de canalisations d'incendie	Non requis
Autres éléments	
Aires communicantes	1 ^{er} et 2 ^e étages en aires communicantes

7.1 Plan clé – niveau 4

La figure suivante illustre le plan de la bibliothèque et du jardin d'hiver au niveau 4, ainsi que l'emplacement des parois protégées par gicleurs. Une de ces parois sépare le niveau 4 des aires communicantes et l'autre sépare le Jardin d'hiver de la bibliothèque.

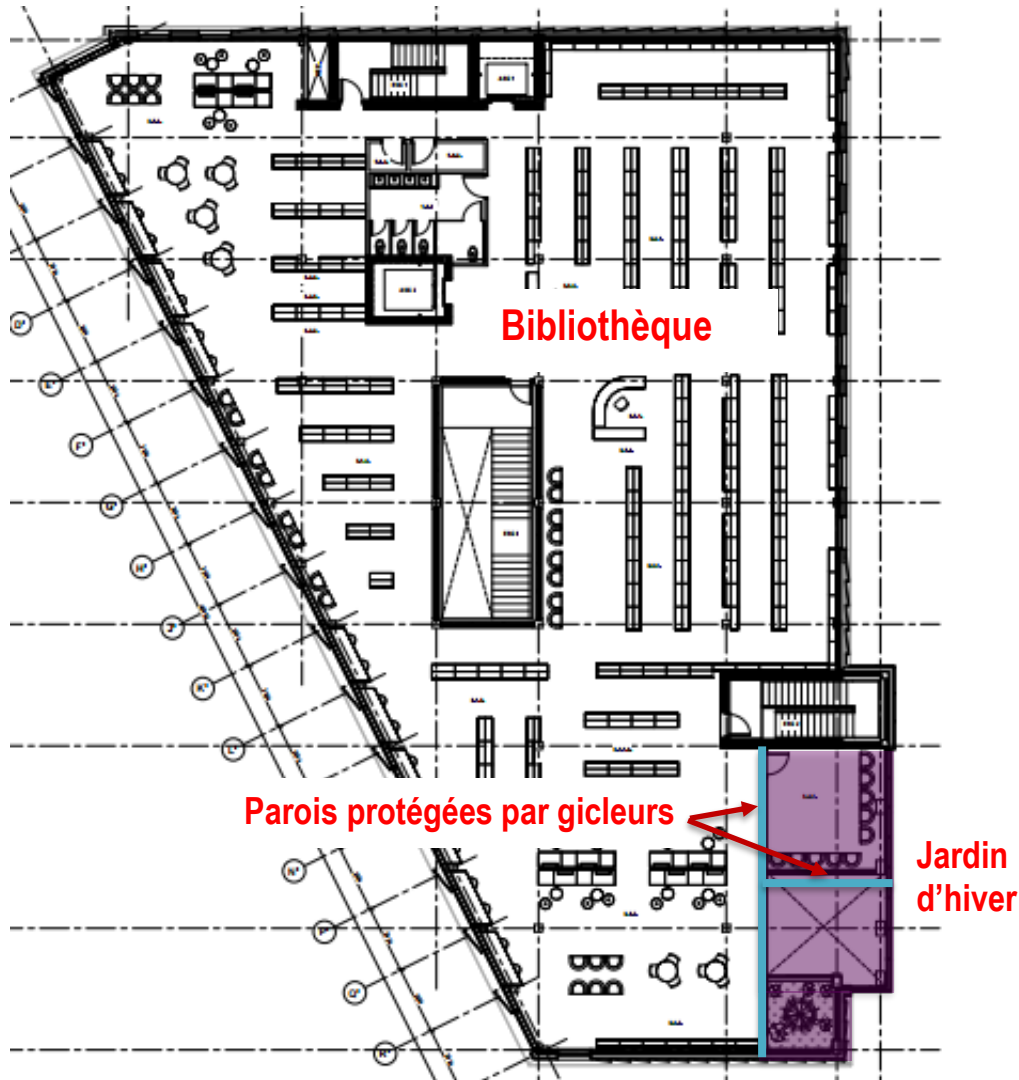


Figure 3 : Extrait du plan du niveau 4

8 CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

8.1 Mise en contexte

Le projet concerne la construction d'une nouvelle bibliothèque de quatre (4) étages. Outre la bibliothèque, le bâtiment comprendra également des espaces culturels et sociocommunautaires. Un espace isolé, désigné comme le Jardin d'hiver, abrite des installations végétales ainsi que des espaces communs aménagés de tables et de sièges.

Le concept du bâtiment prévoit la construction combustible :

- du niveau 4 de la bibliothèque, notamment le toit et ses éléments porteurs (colonnes, poutres, poutrelles);
- du Jardin d'hiver (tous les niveaux), notamment le toit, les planchers, les plateformes de végétations et leurs éléments porteurs (colonnes, poutres, poutrelles).

Le reste du bâtiment est de **construction incombustible** (voir Figure 4).

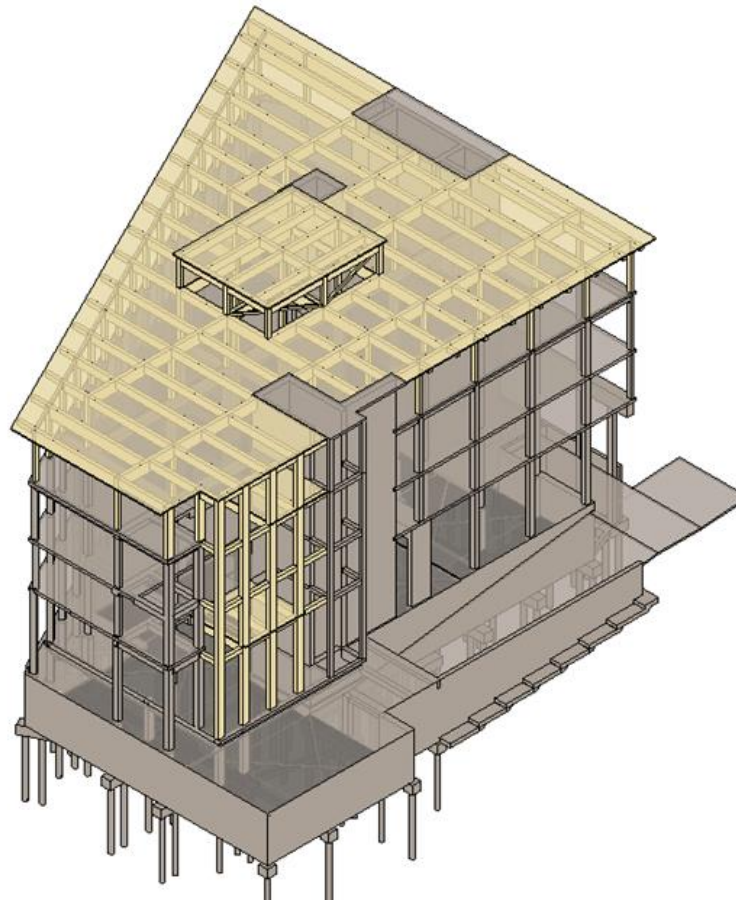


Figure 4 : Vue isométrique de la structure du bâtiment projeté

Le Jardin d'hiver est isolé des niveaux 3 et 4 de la bibliothèque par une cloison vitrée protégée par gicleurs, formant une séparation coupe-feu de 1 h. Le Jardin d'hiver n'a aucun plancher / plateforme au niveau 3. Le niveau 4 du Jardin d'hiver est isolé du volume du Jardin d'hiver par des séparations coupe-feu verticales et horizontales de 1h. Les aires communicantes de l'ensemble du bâtiment sont donc limitées aux 1 et 2 niveaux et sont visées par le paragraphe 3.2.8.2. 6).

Aucune séparation coupe-feu n'est requise par la réglementation applicable entre le Jardin d'hiver et les niveaux 1 et 2 de la bibliothèque. Ces deux espaces sont séparés par une paroi vitrée ordinaire. En revanche, le concept architectural prévoit une séparation spatiale d'au moins 2 m entre cette paroi et tous les éléments combustibles présents aux niveaux 1 et 2 de la bibliothèque (mobilier, soufflage mural, revêtement de finition) (Figure 5). Du côté de la bibliothèque, tous les plafonds situés à moins de 2 m sont en panneaux de plaque de plâtre ou plafond suspendu non combustible.

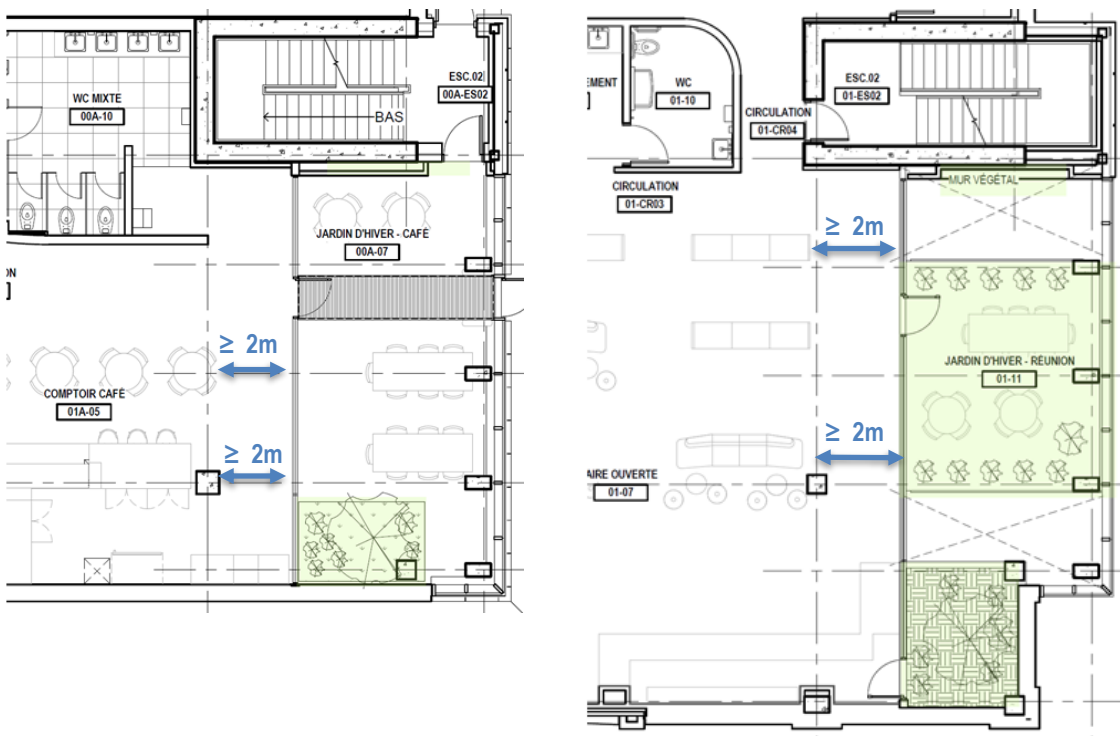


Figure 5. Séparation spatiale entre la paroi vitrée du Jardin d'hiver et les combustibles du côté de bibliothèque pour le niveau 1 (à gauche) et le niveau 2 (à droite)

Les éléments en bois massif exposés qui se trouvent dans la bibliothèque du niveau 4 sont :

- les poutres et les solives de toit en bois lamellé-collé de dimensions variables :
 - 175 mm x 266 mm,
 - 315 mm x 684 mm,
 - 315 mm x 950 mm,
 - 315 mm x 1 102 mm;

- le platelage du toit en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm [trois (3) couches].

Les éléments en bois massif exposés qui se trouvent dans le Jardin d'hiver sont :

- les poutres et les solives en bois lamellé-collé de dimensions variables :
 - 175 mm x 266 mm,
 - 315 mm x 684 mm,
 - 315 mm x 950 mm,
 - 315 mm x 1 102 mm;
- les colonnes en bois lamellé-collé de 315 x 304 mm;
- le platelage du toit en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm [trois (3) couches];
- les planchers et les plateformes aux 2^e et 4^e étages en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm [trois (3) couches].

À noter qu'au 4^e étage, les colonnes en bois lamellé-collé sont encapsulées par des panneaux de plaque de plâtre jusqu'au début des poutres.

Les éléments en bois massif sont illustrés à la Figure 4 et les dessins de structure se trouvent à l'**Annexe 1**.

Le concept architectural prévoit le revêtement de finition combustible dans les endroits décrits ci-dessous.

- Jardin d'hiver :
 - les plateformes en bois lamellé-croisé (CLT) seront recouvertes d'un revêtement de finition de lattes de bois.
- Bibliothèque :
 - aux niveaux 1, 2 et 3; le plafond des coursives et un secteur du plafond adjacent seront recouverts d'un revêtement de finition en lattes de pin de 25 mm x 55 mm espacés de 50 mm, la surface du plafond recouverte par de lattes de pin sera **inférieure à 10 %** de la surface totale du compartiment résistant au feu.
 - pour le mur de l'œuvre d'art prévu au niveau 1, le matériau qui sera utilisé n'est pas encore déterminé;
 - il y aura un soufflage mural avec tablettes de bois au niveau 1;
 - il y aura une finition murale combustible des cloisons au niveau 2 (moins de 5 % des surfaces de murs).
 - au sommet de l'escalier centrale (plafond au-dessus de l'atrium faisant partie des aires communicantes) le toit en platelage bois sera apparent (Figure 6).

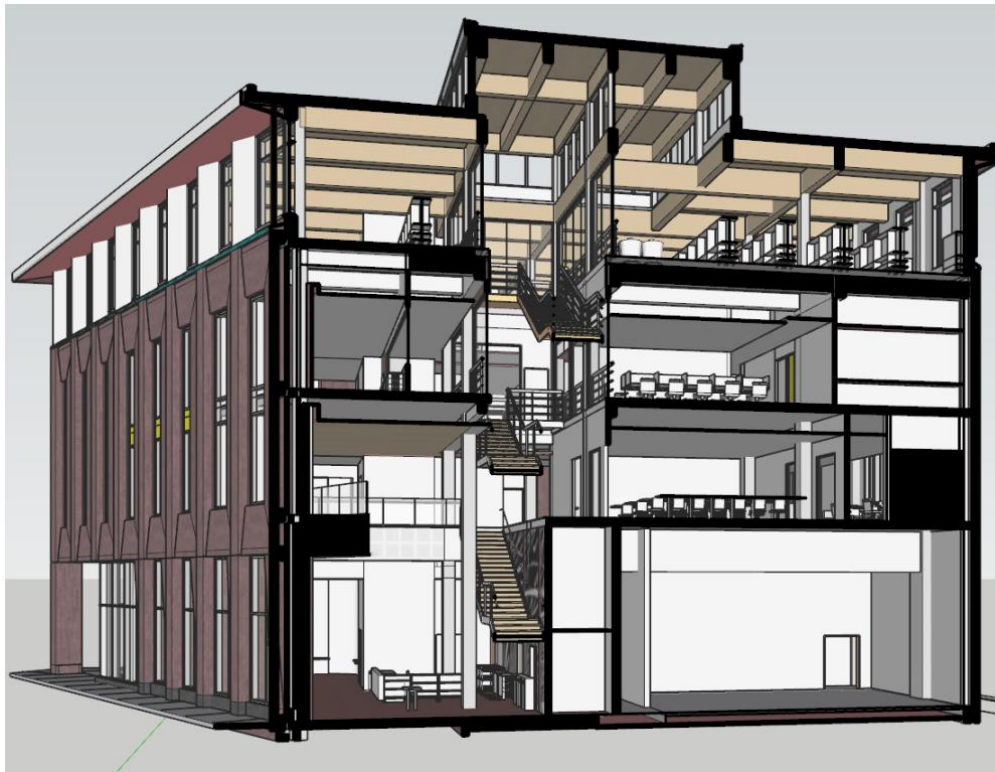


Figure 6. Escalier central

Aucun mur dans la bibliothèque du 4^e étage ainsi qu'à l'intérieur du Jardin d'hiver ne sera recouvert d'un matériau de revêtement combustible.

Les plans architecturaux illustrant les zones de mur et de plafond où des produits combustibles sont prévus se trouvent à l'**Annexe 2**.

À noter que l'appel d'offres pour ce projet n'a pas encore déposé. Ainsi, le choix final des matériaux de construction et leurs fournisseurs, de même que le choix des produits de revêtement et leurs fournisseurs ne sont pas encore déterminés.

8.2 Problème soulevé

En se basant sur la classification de la sous-section 3.2.2., le bâtiment doit être de construction incombustible. Les matériaux combustibles permis seront donc limités; seuls les matériaux combustibles autorisés spécifiquement à la sous-section 3.1.5. peuvent être installés.

Or, les éléments porteurs, le platelage du toit et les plateformes du Jardin d'hiver, ainsi que les éléments porteurs et le platelage du toit de la bibliothèque seront en bois, ce qui ne respecte pas l'énoncé du paragraphe 3.1.5.1. 1). Qui plus est, puisqu'ils sont apparents et qu'ils ont une épaisseur de plus de 25 mm, cela ne respecte pas le paragraphe 3.1.5.10. 2).

Notons que le toit et ses éléments porteurs peuvent être en gros bois d'œuvre, en vertu de l'article 3.2.2.16.

9 EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

9.1 Classification de la sous-section 3.2.2.

Le bâtiment est assujéti aux exigences suivantes de l'article 3.2.2.24. :

Usage principal	Article 3.2.2.	Limites	Type de construction	Protection par gicleurs	SCF planchers	DRF mezzanine	DRF toit	DRF éléments porteurs
A, div. 2	3.2.2.24.	Au plus 6 étages quelle que soit l'aire	Incombustible	Requise	1 h	1 h	Aucun	Planchers : 1 h Mezzanine : 1 h Toit : aucun

9.2 Exigences réglementaires concernées

Les exigences applicables au problème soulevé sont les suivantes :

Libellé des exigences	Objectifs et énoncés fonctionnels reliés
3.1.5.1. Matériaux incombustibles Dans un bâtiment requis d'être de construction incombustible, les matériaux combustibles autorisés sont limités à ceux décrits à la sous-section 3.1.5.	[OS1.2, OP1.2-F2]
3.1.5.10 Revêtements intérieurs de finition combustibles 2) Les revêtements intérieurs de finition combustibles des murs, à l'exception des mousses plastiques, sont autorisés dans un bâtiment pour lequel une construction incombustible est exigée, à condition : a) qu'ils aient au plus 25 mm d'épaisseur; et b) qu'ils aient un indice de propagation de la flamme d'au plus 150 sur toute surface exposée ou qui pourrait l'être en coupant le matériau dans n'importe quel sens.	-

9.3 Objectifs, énoncés fonctionnels et énoncés d'intention

Les principales intentions de la solution acceptable du Code sont de limiter la probabilité que les matériaux de construction contribuent à la croissance et à la propagation du feu, ce qui pourrait causer des blessures à des personnes ou des dommages au bâtiment. Elles visent également à exempter certains matériaux combustibles de l'application du paragraphe 3.1.5.1. 1), si certaines conditions sont satisfaites, parce que ces matériaux sont censés contribuer de façon négligeable à la croissance et à la propagation du feu.

Vous trouverez les objectifs, énoncés fonctionnels et énoncés d'intention des exigences à l'**Annexe 3**.

10 SOLUTION DE RECHANGE PROPOSÉE

Nous proposons de permettre la construction d'une bibliothèque de quatre (4) étages possédant une structure de toit combustible et apparente au 4^e étage ainsi que dans le Jardin d'hiver aux conditions suivantes :

- les éléments en bois massif exposés se limiteront à ceux énumérés à la sous-section 8.1 du présent rapport;
- le revêtement combustible des murs se limitera aux endroits énumérés à la sous-section 8.1 du présent rapport;
- les éléments en bois massif exposés auront un indice de propagation de la flamme (IPF) d'au plus 150, déterminé conformément à la norme CAN/ULC-S102, « Caractéristiques de combustion superficielle des matériaux de construction et assemblages ». Notamment :
 - le platelage de toit et les plateformes en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm (3 couches) auront un indice de propagation de la flamme inférieure à 150 (environ 35, voir l'exemple du produit équivalent à l'**Annexe 4**),
 - les poutres et les poteaux en bois lamellé-collé (essence de bois : épinette-pin) auront un indice de propagation de la flamme inférieure à 150 (soit entre 26 et 75, voir l'exemple du produit équivalent à l'**Annexe 5**);
- l'ensemble des colonnes du 4^e étage sera encapsulé par des panneaux de plaque de plâtre;
- les matériaux de revêtements combustibles auront un indice de propagation de la flamme déterminé conformément à la norme CAN/ULC S102, « Caractéristiques de combustion superficielle des matériaux de construction et assemblages » et l'épaisseur d'au plus 25 mm :
 - le revêtement de finition du plafond en lattes de pin des niveaux 1, 2 et 3 aura une épaisseur d'au plus 25 mm et l'indice de propagation de la flamme **d'au plus 150**, la surface du plafond combustible sera limitée à 10 % de la surface totale
 - le matériau du mur de l'œuvre d'art n'est pas encore déterminé, mais il aura l'indice de propagation de la flamme d'au plus 150 et une épaisseur d'au plus 25 mm ou sinon, il sera en matériau incombustible,
 - le revêtement mural aux niveaux 1 et 2 aura l'indice de propagation de la flamme d'au plus 150 et une épaisseur d'au plus 25 mm;
- le Jardin d'hiver sera isolé de la bibliothèque par :
 - des cloisons vitrées protégées par des gicleurs formant une séparation coupe-feu de 1 h aux niveaux 3 et 4;
 - des cloisons vitrées ordinaires et une séparation spatiale de ≥ 2 m par rapport aux éléments combustible du côté de la bibliothèque aux niveaux 1 et 2;
- les fenêtres ouvrantes sur batterie et reliées au système d'alarme incendie seront installées au sommet de l'escalier central comme une méthode de contrôle de fumée pour compenser la présence de bois apparent dans cet endroit (aires communicantes);
- aucun élément en bois massif ne sera apparent dans les vides de construction;

- le platelage de bois du débord de toit sera recouvert par des panneaux de plaque de plâtre;
- un système de gicleurs sera installé dans l'ensemble du bâtiment.

10.1 Méthodologie

L'équivalence de la solution proposée est démontrée par une étude comparative entre la solution acceptable (c.-à-d. configuration qui respecte les exigences réglementaires) et la solution de rechange (c.-à-d. configuration envisagée pour le bâtiment en question). Le rapport complet pour les modélisations d'incendie dans le Jardin d'hiver se trouve à l'**Annexe 6**, et celui pour la bibliothèque du 4^e étage se trouve à l'**Annexe 7**.

La solution acceptable est simulée comme ayant 100 % de la superficie des murs combustibles (contreplaqué d'au plus 25 mm [1 po], IPF 150), 90 % de la superficie du plafond en matériaux ayant un IPF d'au plus 25 (gypse) et 10 % du plafond en matériau combustible ayant un IPF de 150 (contreplaqué d'au plus 25 mm [1 po], IPF 150).

La solution de rechange reproduit le concept proposé, soit la présence des éléments en bois massif exposés dans la bibliothèque du 4^e étage ainsi qu'à l'intérieur du Jardin d'hiver tels qu'ils sont énumérés à la sous-section 8.1.

L'étude comparative est effectuée au moyen de modélisations d'incendie, qui permettent d'obtenir l'ordre de grandeur de la puissance d'incendie pour les scénarios considérés ainsi que la température ambiante.

Pour les modélisations d'incendie dans le Jardin d'hiver, les deux (2) emplacements de foyer d'incendie suivants ont été considérés comme étant les plus vulnérables et ayant la plus grande probabilité d'allumer la construction combustible, soit le feu d'un sapin :

- au niveau 2 sur la petite plateforme près d'une colonne;
- au niveau 4 sur la petite plateforme près d'une colonne.

Pour ce qui est des modélisations d'incendie dans la bibliothèque du 4^e étage, nous avons examiné les trois (3) emplacements de foyer d'incendie suivants :

- au centre de la bibliothèque, adjacent à une colonne;
- à proximité d'un coin, adjacent à une colonne;
- adjacent à un mur intérieur, entre deux (2) colonnes.

Dans tous les scénarios étudiés, l'incendie de départ a été contrôlé par les gicleurs automatiques. Notre prémisses est que les gicleurs n'éteignent pas l'incendie de départ (c.-à-d. foyer de l'incendie qui pourrait être un pupitre ou autre combustible, par exemple), mais limitent seulement sa croissance. La puissance maximale d'un incendie de départ est celle atteinte au moment de l'activation des gicleurs. Le temps de déclenchement de gicleurs varie selon l'emplacement du foyer d'incendie. Généralement, un incendie situé dans un coin déclenche les gicleurs plus rapidement qu'un incendie qui se trouve au milieu de la pièce, car la proximité des cloisons réduit la perte de chaleur dégagée.

11 JUSTIFICATIONS ET DÉMONSTRATION

11.1 Modélisations incendie

Les modélisations effectuées pour le Jardin d'hiver (voir l'**Annexe 6**) ont démontré que l'incendie de la solution de rechange, comparativement à celui de la solution acceptable, peut être caractérisé par :

- une puissance d'incendie globale (débit calorifique) moins élevée;
- la survenance de l'embrasement général et un début d'incendie pleinement établi plus tardifs si le foyer d'incendie se trouve au niveau 2;
- une propagation d'incendie plus tardive et un développement d'incendie (croissance) plus lent si le foyer d'incendie se trouve au niveau 2;
- la survenance de l'embrasement général et un début d'incendie pleinement établi comparables à ceux de la solution acceptable si le foyer d'incendie se trouve au niveau 4.
- une propagation d'incendie et un développement d'incendie (croissance) comparables à ceux de la solution acceptable si le foyer d'incendie se trouve au niveau 4.

Les modélisations effectuées pour la bibliothèque du 4^e étage (voir l'**Annexe 7**) ont démontré que peu importe l'emplacement du foyer d'incendie, l'incendie de la solution de rechange en bois massif partiellement apparent, comparativement à celui de la solution acceptable, peut être caractérisé par :

- une puissance d'incendie globale (débit calorifique) moins élevée;
- la survenance de l'embrasement général et un début d'incendie pleinement établi plus tardifs;
- une propagation d'incendie plus tardive et un développement d'incendie (croissance) plus lent.

Notre étude comparative a permis de conclure que la solution de rechange proposée est toujours plus sécuritaire que la solution acceptable pour des paramètres identiques.

11.2 Jardin d'hiver VS Bibliothèque aux niveaux 1 et 2

Aux niveaux 1 et 2, il n'y a pas des séparations coupe-feu entre le Jardin d'hiver et la bibliothèque. Les séparations coupe-feu de 1h sont prévues uniquement aux niveaux 3 et 4.

Le risque de propagation d'incendie de la bibliothèque (niveaux 1 et 2) vers le Jardin d'hiver ou vice versa n'est pas élevé pour les raisons suivantes :

- La construction de la bibliothèque aux niveaux 1 et 2 est incombustible,
- Le revêtement de finition combustible aux niveaux 1 et 2 est limité (voir Annexe 2);
- Au niveau 1, le dégagement d'au moins 2 m est prévu entre la paroi vitrée et :
 - le soufflage mural,
 - l'œuvre d'art mural,
 - le revêtement du plafond en lattes de pin (plus de 10 m de dégagement),
 - le mobilier combustible,

- les éléments décoratifs combustibles;
- Au niveau 2, le dégagement d'au moins 2 m est prévu entre la paroi vitrée et :
 - la finition murale combustible,
 - le revêtement du plafond en lattes de pin.
 - le mobilier combustible,
 - les éléments décoratifs combustibles;
- La charge combustible aux niveaux 1 et 2 du Jardin d'hiver est limitée. Les éléments combustibles consistent en tables, chaises et potagers. Les arbres sont prévus uniquement aux niveaux supérieurs;
- Le bâtiment est entièrement protégé par gicleurs.

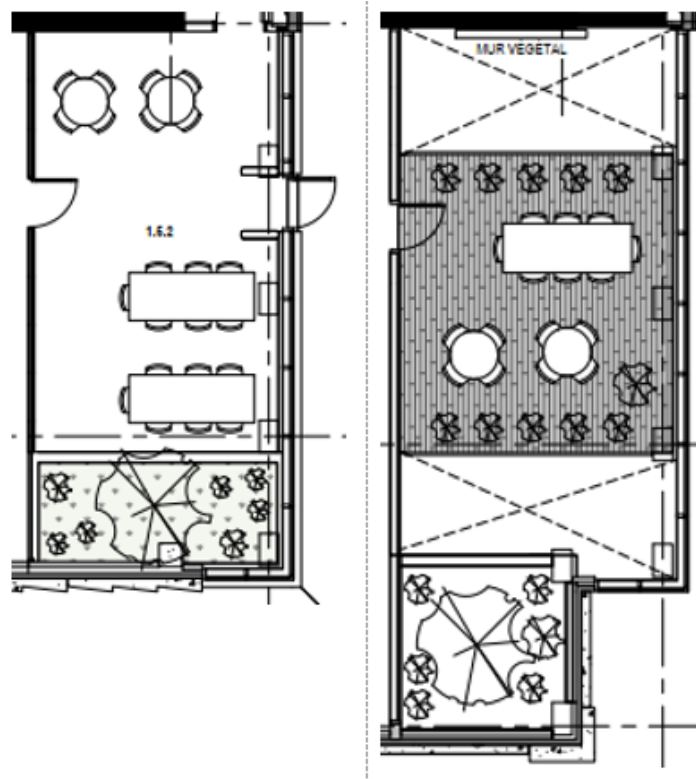


Figure 7. Aménagement prévu pour le Jardin d'hiver au niveau 1 (à gauche) et au niveau 2 (à droite)

12 LISTE DES DOCUMENTS EN ANNEXE

Annexe 1	Plans de structure du bâtiment	12 pages
Annexe 2	Dessins d'architecture du bâtiment – Revêtement de finition combustible	5 pages
Annexe 3	Objectifs, énoncés fonctionnels et énoncés d'intention	1 page
Annexe 4	Rapport d'essai du CLT pour la conformité avec les exigences applicables de la norme CAN/ULC S102-10	14 pages
Annexe 5	Rapport sur le produit – Nordi Lam, Nordic Structures	5 pages
Annexe 6	Rapport de modélisations d'incendie – Jardin d'hiver	19 pages
Annexe 7	Rapport de modélisations d'incendie – Niveau 4	18 pages

Annexe A.2

Annexe 6 : Rapport de modélisations d'incendie – Jardin d'hiver

Rapport de simulations numériques – Modélisations d’incendie Évaluation de la présence de bois apparent

Analyse comparative pour le Jardin d’hiver

Bibliothèque Cœur-Nomade
Montréal (Québec)
220187-002

3 février 2023, rév. 00

Préparé pour :

Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture

Préparé pour : Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture
1450, rue City Councillors, bureau 230
Montréal (Québec) H3A 2E6

Préparé par : Technorm
5800, rue Saint-Denis, bureau 505
Montréal (Québec) H2S 3L5

Par :



Marc-André Langevin, ing., M. Ing., M. Sc. A.
Président



Kseniia Polukhina, ing.
Conseillère technique
Codes et normes – Sécurité incendie

Index des révisions

N°	Date
0	2023-02-03

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Portée du rapport	1
1.2	Limitations.....	1
1.3	Références	1
1.4	Objectif	1
2	COMPARAISONS ENTRE LA SOLUTION DE RECHANGE ET LA SOLUTION ACCEPTABLE	2
2.1	Solution de rechange.....	2
2.2	Solution acceptable	2
2.3	Caractéristiques des matériaux	5
3	SCÉNARIOS D'INCENDIE	7
3.2	Répertoire des simulations	11
4	CRITÈRES COMPARATIFS.....	12
5	RÉSULTATS	13
6	CONCLUSION	16

1 INTRODUCTION

La présente fait état des résultats de nos recherches, analyses et modélisations numériques en ce qui a trait à la propagation d'incendie à l'intérieur de l'espace nommé « Jardin d'hiver » de la future bibliothèque Cœur-Nomade.

1.1 Portée du rapport

Technorm a été mandatée par le Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture pour réaliser des simulations d'incendie au moyen du logiciel *Fire Dynamics Simulator* (FDS – v.6.7.6) afin d'évaluer l'impact de la contribution de bois apparent dans l'espace nommé « Jardin d'hiver » de la future bibliothèque, lors d'un incendie considéré comme étant réaliste comparativement à la solution acceptable du CNB 2015 mod. Qc.

L'analyse tient compte de la charge combustible prévue, de l'emplacement des gicleurs automatiques, de la géométrie des espaces concernés, y compris la hauteur réelle entre les foyers d'incendie probables et les éléments combustibles de construction massive en bois, soit les éléments porteurs en gros bois d'œuvre, ainsi que le plancher et le toit en gros bois d'œuvre.

1.2 Limitations

Les résultats présentés ci-après sont représentatifs des scénarios d'incendie qui prennent en considération une architecture et des charges combustibles (scénarios d'incendie) spécifiques. Toute modification à l'architecture, à la structure, à l'usage et aux équipements (c.-à-d. charges combustibles) proposés pourrait engendrer des différences au niveau des résultats calculés. Les plans architecturaux pour la conception du modèle sont ceux du Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture, émis pour information en date du 31 août 2022.

1.3 Références

Ce rapport est basé sur les plans transmis et les informations communiquées, notamment :

- les plans préliminaires d'architecture reçus le 6 septembre 2022, préparés par le Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture;
- les plans d'emplacement des gicleurs reçus les 8 et 29 septembre 2022, préparés par Martin Roy & Associés.

1.4 Objectif

Le but de cette étude est d'analyser le développement d'incendie et la propagation des flammes lors de scénarios probables à l'intérieur du Jardin d'hiver de la future bibliothèque Cœur-Nomade pour laquelle une construction incombustible est requise.

L'étude vise à déterminer s'il est possible de conserver une construction massive en bois apparent pour la toiture et les planchers du Jardin d'hiver.

Nous procédons à la modélisation de scénarios d'incendie dont les paramètres respectent les solutions acceptables du Code, et nous les comparons avec des scénarios d'incendie identiques pour lesquels le Jardin d'hiver présente les caractéristiques de la solution de rechange.

2 COMPARAISONS ENTRE LA SOLUTION DE RECHANGE ET LA SOLUTION ACCEPTABLE

Selon l'analyse numérique préliminaire, il existe une possibilité qu'un incendie se déclenchant à l'intérieur du Jardin d'hiver allume la structure combustible du toit ou des planchers.

Afin de conserver la construction combustible du Jardin d'hiver, une analyse plus approfondie s'avère donc nécessaire pour développer une solution de rechange qui respecte les objectifs de sécurité de la réglementation applicable.

Pour chaque scénario d'incendie, deux configurations ont été analysées : une qui représente la solution proposée (désignée ici comme une solution de rechange), et l'autre, la solution acceptable. Les principales différences entre ces deux configurations sont décrites dans les sous-sections suivantes.

2.1 Solution de rechange

La configuration de la solution de rechange représente le concept architectural et structural actuellement proposé (Figure 1).

À l'intérieur du Jardin d'hiver, la structure en bois massif est composée de poutres, de poutrelles et de colonnes en bois lamellé-collé qui supportent le toit en panneaux de bois lamellé-croisé, ainsi que deux plateformes également en panneaux de bois lamellé-croisé faisant partie de l'aire de plancher des niveaux 2 et 4. L'essence des éléments structuraux, y compris le platelage, est l'épinette.

Aucun revêtement de finition combustible n'est prévu pour les cloisons.

2.2 Solution acceptable

La configuration de la solution acceptable représente un concept conforme à la sous-section 3.1.5. du CNB 2015 mod. Qc.

Dans le modèle de la solution acceptable, l'ensemble (100 %) des murs et des cloisons du Jardin d'hiver (à l'exception des murs-rideaux, mais incluant la surface exposée des colonnes) ainsi que 10 % de la surface du plafond (toit, plancher et plateforme) sont recouverts d'un revêtement intérieur de finition combustible ayant une épaisseur d'au plus 25 mm et possédant un indice de propagation de la flamme d'au plus 150 (Figure 2).

Nous avons choisi d'utiliser un panneau de contreplaqué de 24 mm en pin du Sud (*Southern Pine*) comme revêtement intérieur combustible et un panneau en plaque de plâtre de type X de 15,9 mm d'épaisseur comme revêtement intérieur incombustible.

Mentionnons que l'indice de propagation de la flamme n'est pas considéré comme tel dans notre analyse, puisque le logiciel utilisé (FDS) ne prend pas en considération ce paramètre qui n'est pas une caractéristique fondamentale d'un matériau (c.-à-d. qu'il s'agit d'une valeur non dimensionnelle calculée par la norme CAN/ULC-S102 et basée sur le chêne rouge = 100 et l'amiante = 0).

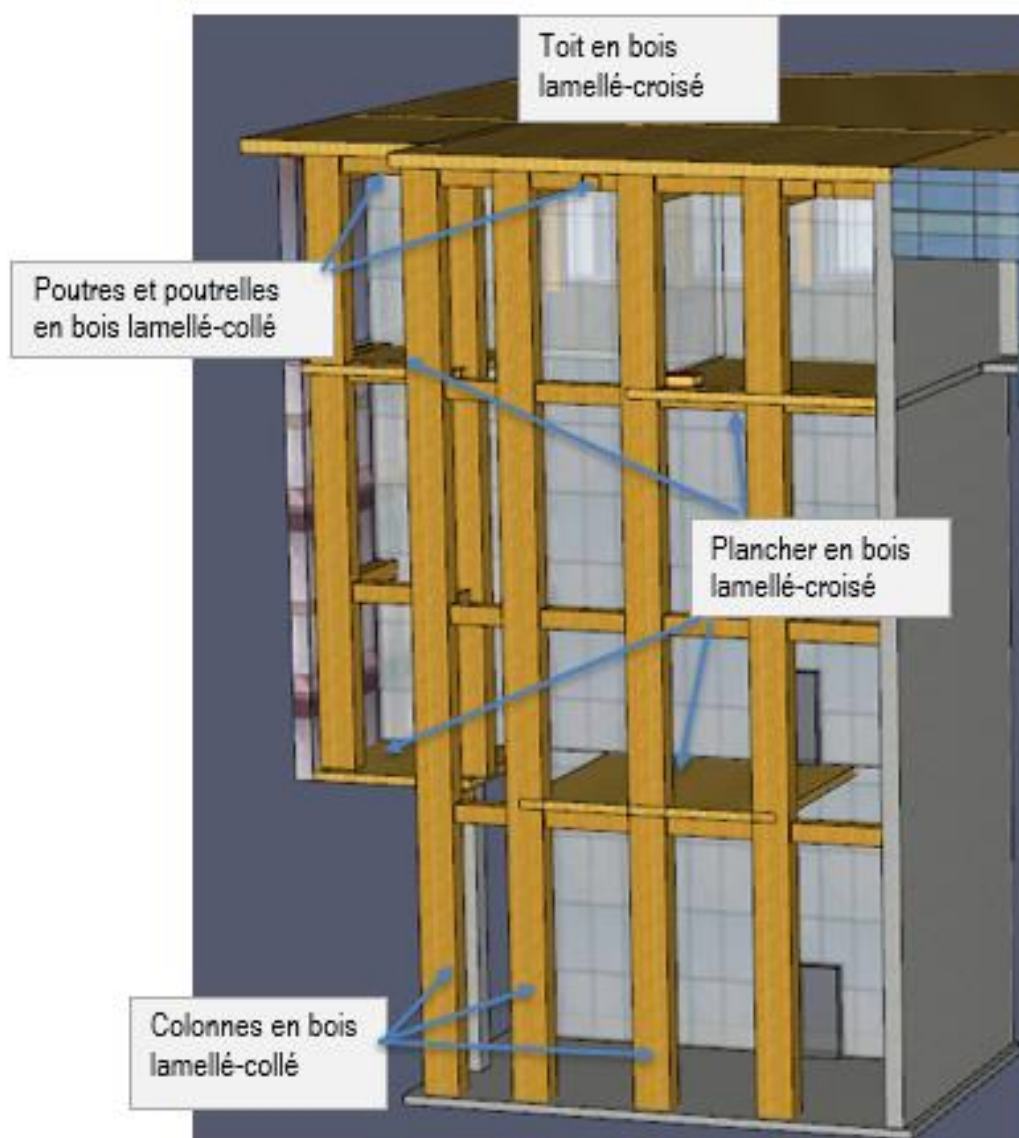


Figure 1. Extrait du modèle numérique : configuration de la solution de rechange (concept proposé)

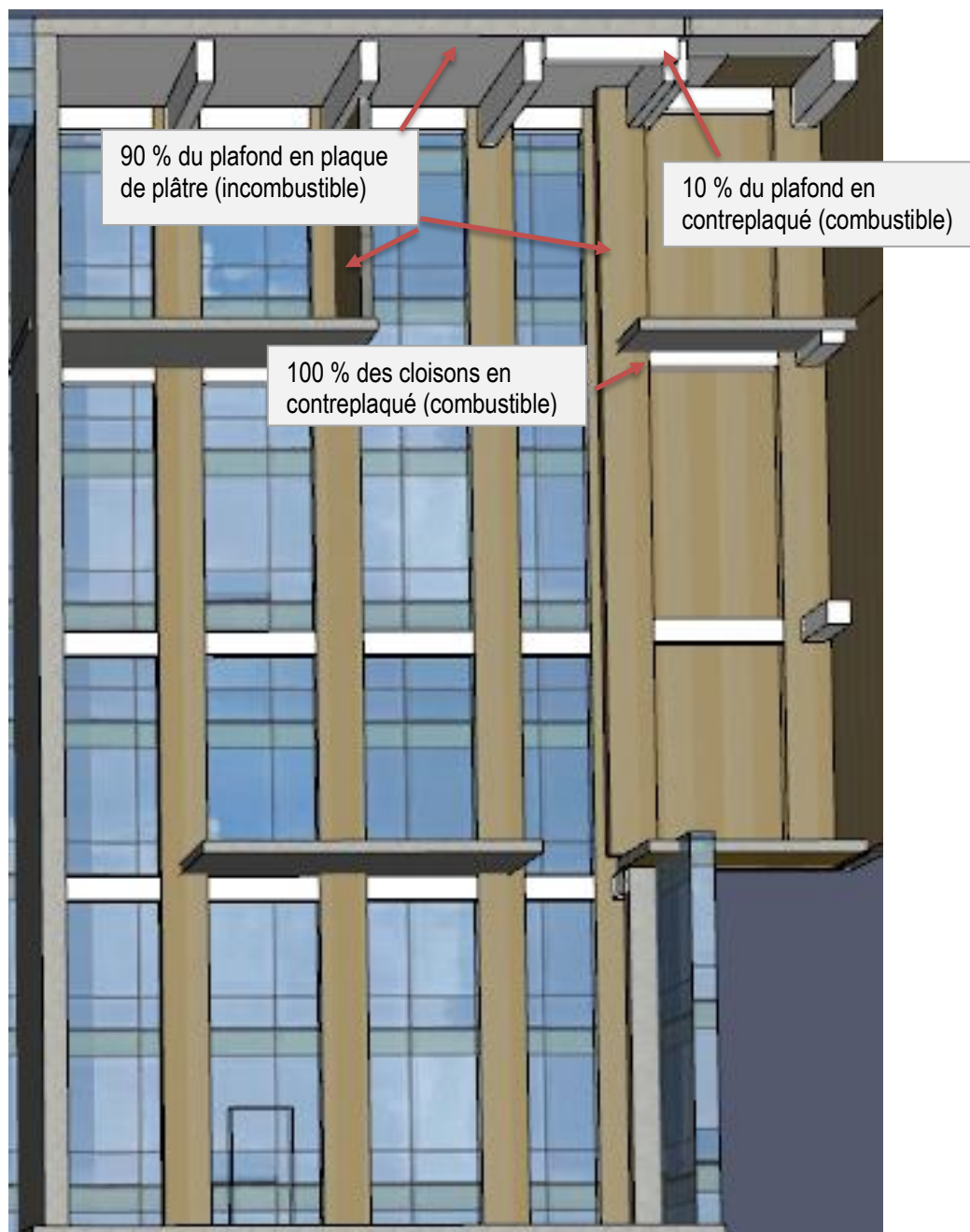


Figure 2. Extrait du modèle numérique : configuration de la solution acceptable

2.3 Caractéristiques des matériaux

2.3.1 Panneau de contreplaqué en pin du Sud

La température d'allumage des panneaux de contreplaqué en pin du Sud est de 323 °C selon les essais de Dietenberger, M. et al. (1999)¹. Pour les données de la contribution énergétique de ce matériau, nous avons utilisé les données d'essais trouvées sur le site Web du *Forest Product Laboratory*².

La contribution énergétique de 24 mm d'un panneau de contreplaqué en pin du Sud exposé à une source radiante de 50 kW/m² est illustrée à la Figure 3.

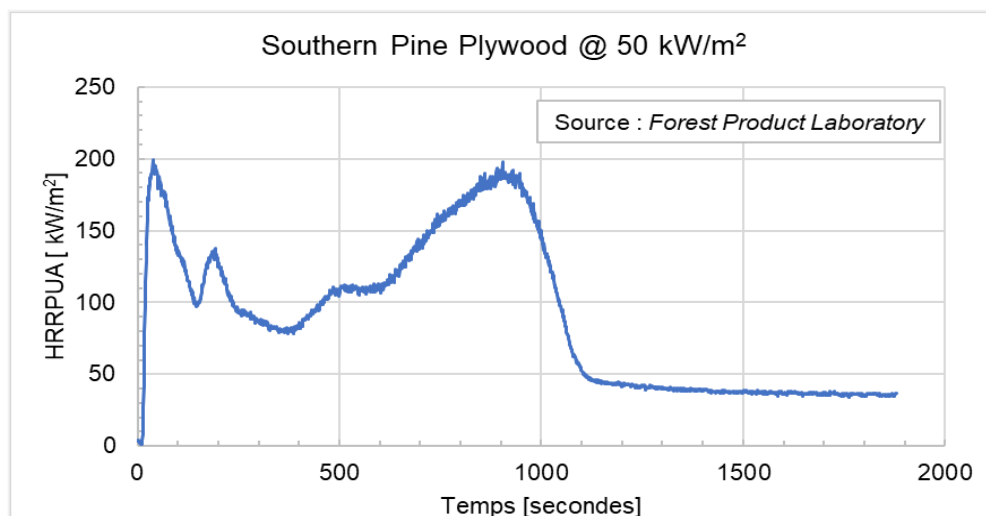


Figure 3. Contribution énergétique d'un panneau de contreplaqué en pin du Sud de 24 mm

2.3.2 Panneau de plaque de plâtre de type X

La température d'allumage d'un panneau de plaque de plâtre de type X est de 335 °C, selon le tableau 18-2 du *Wood Handbook*³. Pour les données de la contribution énergétique de ce matériau, nous avons utilisé les données d'essais trouvées sur le site Web du *Forest Product Laboratory*.

La contribution énergétique d'un panneau de plaque de plâtre de type X de 15,9 mm exposé à une source radiante de 50 kW/m² est illustrée à la Figure 4.

¹ Dietenberger, M. & Grexa, O. (1999). *Analytical Model of Flame Spread in Full-Scale Room/Corner Tests (ISO 9706)*.

² Forest Products Laboratory. *Cone Calorimeter Datasets – Publications and Datasets*, USDA Forest Service, 20 juillet 2005; consulté le 25 février 2022, à l'adresse https://www.fpl.fs.fed.us/products/products/cone/by_materials.php.

³ Laboratory, F. P. (2013). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*.

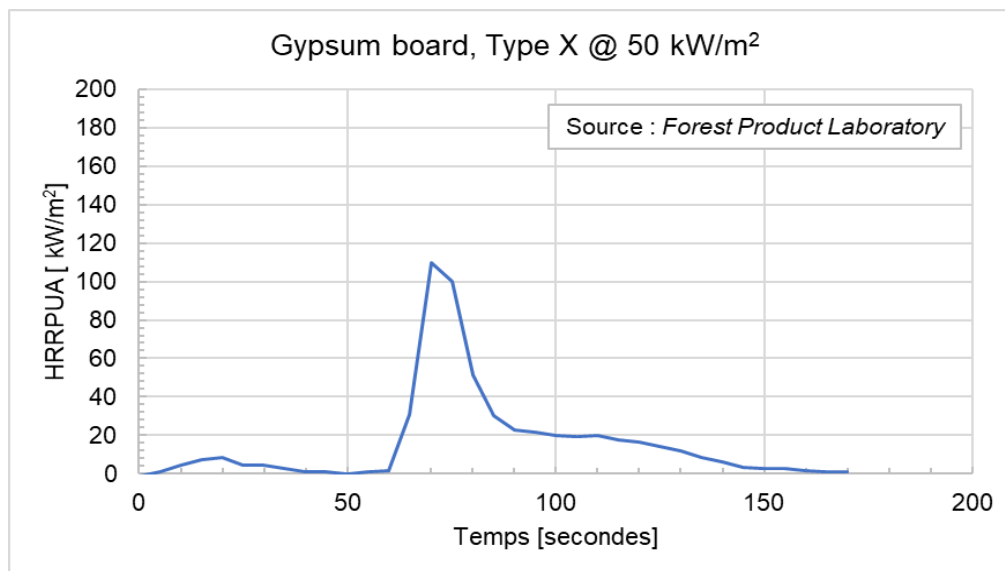


Figure 4. Contribution énergétique d'un panneau de plaque de plâtre de type X de 15,9 mm

2.3.3 Bois lamellé-collé et platelage de bois

L'essence de bois d'épinette noire est considérée pour les poutres et colonnes en lamellé-collé, ainsi que les panneaux en bois lamellé-croisé. Pour nos modélisations, nous avons utilisé les données d'essais de l'essence de bois d'épinette noire (*Black Spruce*) fournies par *FP Innovations* pour ces éléments structuraux massifs en bois.

La température d'allumage de l'épinette noire est de 343 °C. La contribution énergétique de 38 mm d'épinette noire exposée à une source radiante de 50 kW/m² est illustrée à la Figure 5.

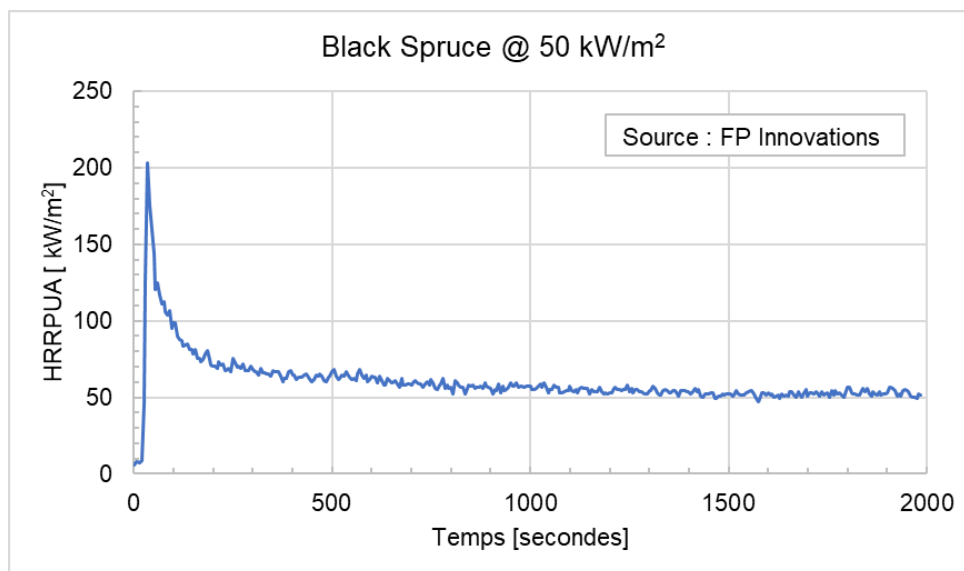


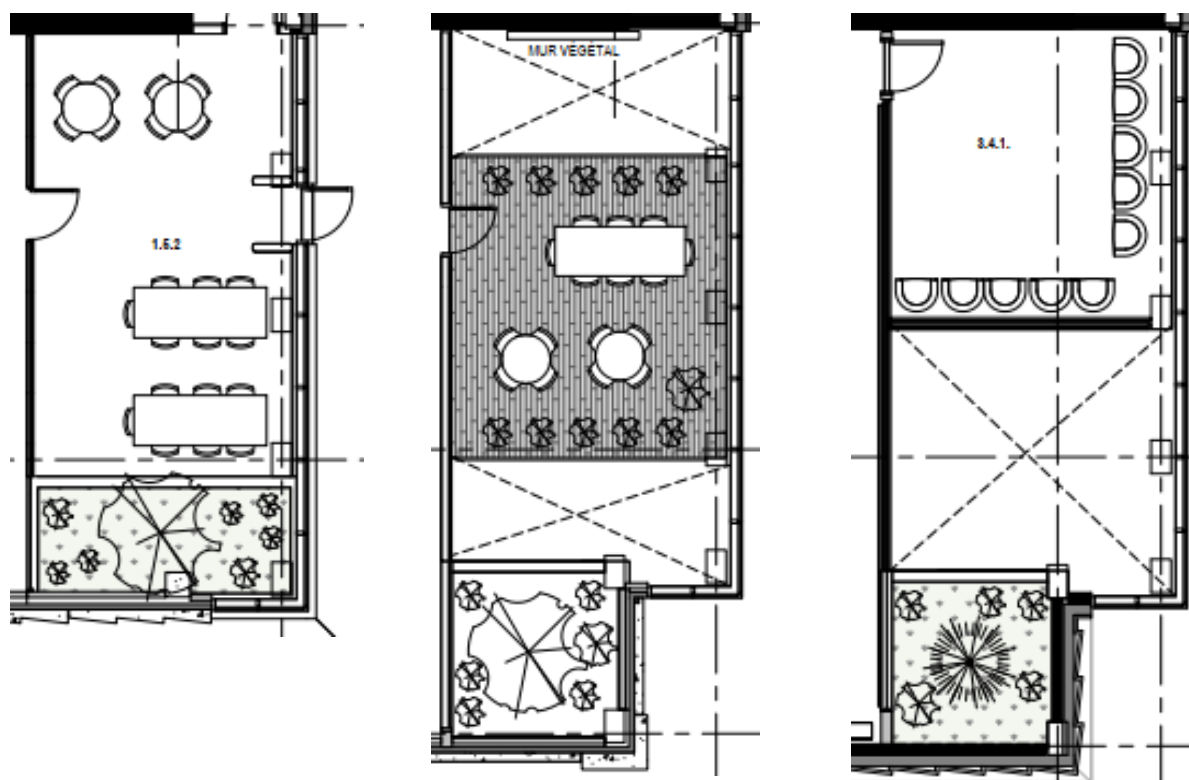
Figure 5. Contribution énergétique de 38 mm d'épinette noire

3 SCÉNARIOS D'INCENDIE

Les mêmes scénarios d'incendie sont examinés pour les configurations de la solution de rechange et de la solution acceptable.

3.1.1 Profil d'incendie

Le mobilier prévu pour les niveaux RDC, 2 et 4 du Jardin d'Hiver consiste en des tables et des chaises. Des potagers et des arbres seront également présents. Il n'y a pas de plancher au niveau 3.



Niveau RDC

Niveau 2

Niveau 4

Figure 6. Extrait des plans – Exemple d'aménagement prévu pour le Jardin d'hiver

La charge combustible qui se trouvera à l'intérieur de l'espace nommé Jardin d'hiver sera relativement petite, et ne sera donc pas susceptible de soutenir un incendie d'une longue durée. L'emploi d'une courbe générique comme pour la bibliothèque du niveau 4 n'est pas justifiable.

Les courbes de débit calorifique de mobilier similaire à celui prévu pour le projet sont illustrées à la Figure 7.

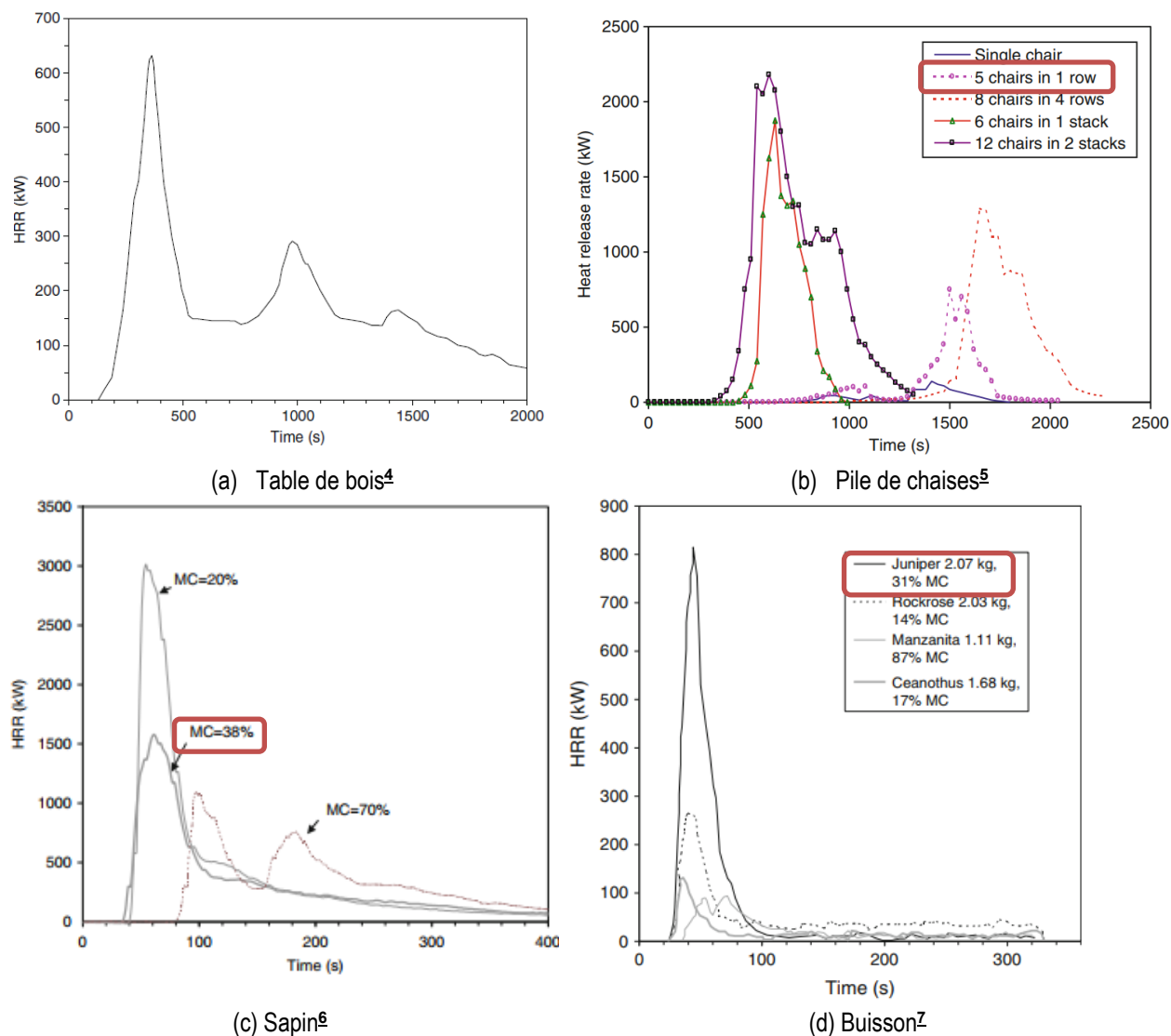


Figure 7. Courbes de débit calorifique utilisées comme références pour les modélisations

L'analyse préliminaire a démontré que le feu de mobilier (tables, chaises) et le feu de buisson ne semblent pas entraîner la propagation des flammes jusqu'au toit ou jusqu'à une plateforme de bois. En revanche, un feu d'arbre (sapin) risque d'allumer la structure combustible du toit si celui-ci est situé au niveau 4, ou la plateforme du niveau 4 si elle est située au niveau 2.

Pour cette raison, seulement le **profil d'incendie d'un sapin** a été retenu pour l'analyse comparative [Figure 7 (c)].

⁴ SFPE Handbook, Fig. 26.39

⁵ SFPE Handbook, Fig. 26.20

⁶ SFPE Handbook, Fig. 26.77

⁷ SFPE Handbook, Fig. 26.78

3.1.2 Effet de gicleurs automatiques

Les modèles numériques du Jardin d'hiver comportent des trames de gicleurs permettant de suivre l'augmentation de la température des maillons fusibles. Les gicleurs sont installés sous le toit, ainsi que sous les plateformes/planchers des niveaux 2 et 4.

Le type et l'espacement des gicleurs dans notre modèle correspondent aux plans de protection incendie reçus. L'indice de temps de réponse (RTI pour *Response Time Index*) des gicleurs modélisés est de $50 \text{ (m/sec)}^{1/2}$, soit la valeur typique pour les gicleurs à déclenchement rapide. La température d'activation est de 68°C .

En présence des gicleurs automatiques, la croissance d'incendie est contrôlée. Les profils d'incendie pour les scénarios dans le Jardin d'hiver comprennent deux (2) phases, soit :

- la phase de croissance jusqu'à la valeur maximale du débit calorifique;
- la phase constante ou « plateau ».

La phase de décroissement sera omise.

Le débit calorifique maximal est la puissance d'incendie nécessaire pour déclencher le système de gicleurs. Le débit calorifique maximal est établi à partir des résultats des simulations en fonction de l'emplacement du foyer d'incendie, du positionnement des gicleurs entre les poutres et de la hauteur entre les gicleurs et le plancher.

La durée totale d'incendie de départ (des deux phases) est calculée en fonction de la charge calorifique du mobilier utilisé comme référence. La charge calorifique représente l'énergie totale disponible pour la combustion du combustible et est calculée comme étant la surface sous la courbe du dégagement de chaleur (*total energy released*).

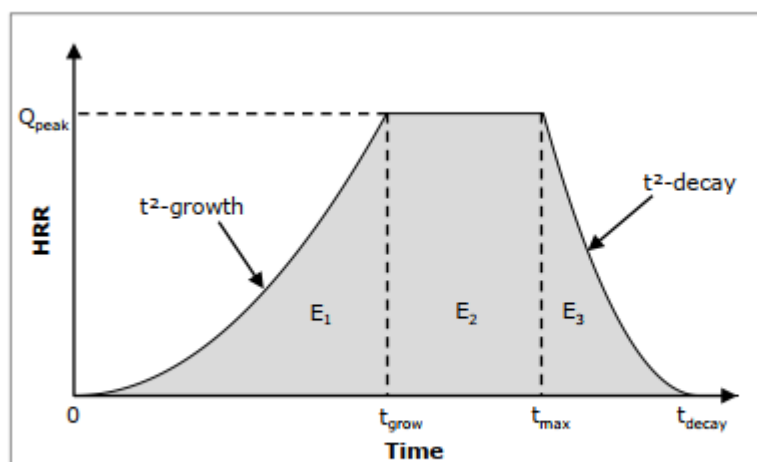


Figure 14.2 Heat release rate curve where the energy released is the area under the curve, i.e. $E_b = E_1 + E_2 + E_3$.

Figure 8. Extrait de « Selecting design fires » de Leif Staffanson

3.1.3 Emplacement du foyer d'incendie

En termes de géométrie des espaces, deux (2) emplacements d'incendie ont été identifiés pour le Jardin d'hiver :

- Emplacement 1 : Au niveau 2 sur la petite plateforme près d'une colonne;
- Emplacement 2 : Au niveau 4 sur la petite plateforme près d'une colonne.

Ces emplacements correspondent aux endroits où le concept architectural prévoit de la verdure (arbres, buissons, etc.).



Figure 9. Deux (2) emplacements du foyer d'incendie (feu de sapin)

En nous basant sur les résultats du temps de déclenchement des gicleurs, nous avons produit un ensemble de courbes de la puissance d'incendie en fonction du temps pour les deux (2) scénarios à l'étude (Figure 10). Nous considérons que l'effet des gicleurs est négligeable pour le scénario d'incendie au niveau 2, puisque le déclenchement des gicleurs se produit après que le feu (sa puissance) a atteint son maximum.

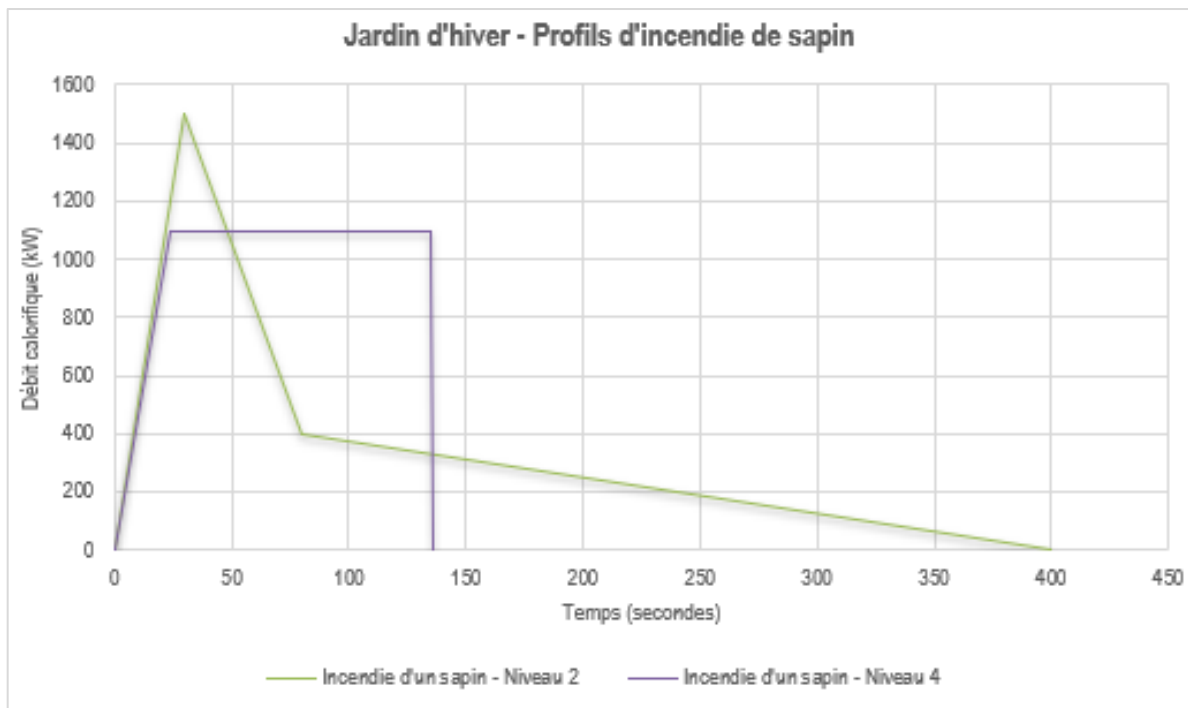


Figure 10. Profils d'incendie retenu pour l'analyse comparative

3.2 Répertoire des simulations

Le tableau ci-dessous dresse la liste des principaux scénarios d'incendie et des variables y étant associées. Au total, nous avons effectué quatre (4) simulations numériques.

N°	ID	Configuration	Foyer d'incendie	
			Emplacement	Profil
1	N2-Rc	Solution de rechange	Sur la petite plateforme du niveau 2	Incendie d'un sapin
2	N4-Rc	Solution de rechange	Sur la petite plateforme du niveau 4	Incendie d'un sapin, contrôlé par gicleurs
3	N2-Ac	Solution acceptable	Sur la petite plateforme du niveau 2	Incendie d'un sapin
4	N4-Ac	Solution acceptable	Sur la petite plateforme du niveau 4	Incendie d'un sapin, contrôlé par gicleurs

Tableau 1. Répertoire des scénarios d'incendie modélisés

4 CRITÈRES COMPARATIFS

Le développement d'un incendie prenant naissance à l'intérieur d'une pièce peut être divisé en cinq (5) phases qui pourraient ne pas toutes survenir, selon les diverses conditions qui seraient présentes ou non⁸. Ces cinq (5) phases sont les suivantes :

1. allumage;
2. croissance;
3. embrasement;
4. incendie pleinement développé;
5. décroissance.

Les deux premières étapes d'un incendie ne sont pas dommageables pour la structure du bâtiment, mais peuvent devenir problématiques pour les occupants. Généralement, seuls des dommages thermiques aux objets par la fumée et la suie se manifestent au cours de cette période. À ce stade, l'incendie est relativement petit et les températures relativement basses. S'il y a suffisamment d'apports d'air frais (oxygène) et de combustible, les phases subséquentes de l'incendie peuvent se produire.

La troisième phase est l'une des plus critiques dans tout incendie à l'intérieur d'un compartiment. Il s'agit de l'**embrasement général**. Un embrasement se traduit par une très haute température au niveau du plafond ($\approx 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) et une importante radiation vers le plancher d'environ 20 kW/m^2 ^{9,10}. À ce moment, **tous les éléments combustibles** à l'intérieur du compartiment s'allument, compte tenu des conditions ambiantes extrêmes. Lors de l'embrasement général, les caractéristiques de combustion superficielle des matériaux des murs et des plafonds entrent en considération et l'on constate que les flammes sortent par les fenêtres pour aller « chercher » de l'oxygène à l'extérieur du compartiment.

La quatrième phase est celle d'un **incendie pleinement développé** à l'intérieur du compartiment. Cette phase de l'incendie est la plus destructrice et la plus dommageable à la construction et à la structure de l'immeuble, puisque les températures peuvent atteindre plus de $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans certains cas.

Finalement, après un certain temps, le combustible commence à manquer à l'intérieur du compartiment et il s'ensuit une décroissance de l'incendie.

Dans la présente étude, nous allons principalement nous concentrer sur la comparaison, entre la solution proposée et la solution acceptable, du temps requis pour atteindre les phases 3 et 4, soit l'**embrasement général** et l'**incendie pleinement développé** dans le compartiment, sous réserve que ces phases soient atteintes.

⁸ Walton, W. D., & Thomas, T. H. (2002). *SFPE Handbook of fire protection engineering*, 3rd edition, Chapter 6 – Section 3, "Estimating temperatures and compartment fires."

⁹ Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*.

¹⁰ Cluster, R. (2008). *NFPA Fire Protection Handbook*, 20th edition, Chapter 4 – Section 2, "Dynamics of compartment fire growth."

5 RÉSULTATS

La présente sous-section vise à comparer le développement de l'incendie et la propagation des flammes à l'intérieur du Jardin d'hiver de la solution acceptable à ceux de la solution de rechange.

Comme mentionné plus haut, nous allons principalement nous concentrer sur la comparaison du temps requis pour atteindre l'embrasement général et l'incendie pleinement établi, sous réserve que ces phases soient atteintes.

Le développement d'incendie selon les résultats de nos simulations numériques est illustré :

- à la Figure 11 pour le scénario d'incendie d'un sapin situé sur la plateforme du niveau 2 (N2-Rc vs N2-Ac);
- à la Figure 12 pour le scénario d'incendie d'un sapin situé sur la plateforme du niveau 4 (N4-Rc vs N4-Ac).

Peu importe le scénario d'incendie, le foyer d'incendie se trouve à proximité du bois apparent des colonnes de la solution de rechange et du revêtement combustible des murs de la solution acceptable. La propagation des flammes a lieu pour la configuration de la solution de rechange ainsi que pour la configuration de la solution acceptable.

Dans les simulations de la **solution acceptable** (N2-Ac et N4-Ac), dans les minutes suivant le début de l'incendie, le contreplaqué du mur adjacent au foyer d'incendie atteint la température d'allumage de 323 °C. À ce moment, le revêtement de finition du mur devient impliqué dans l'incendie. Par la suite, la propagation d'incendie à travers le compartiment se produit assez rapidement. Puisque la propagation des flammes se produit de façon ascendante, seulement les surfaces combustibles qui se trouvent plus hautes que le foyer d'incendie sont impliquées dans l'incendie. La puissance d'incendie est donc plus élevée lorsque l'incendie prend naissance au niveau 2 (N2-Ac).

Dans les simulations de la **solution de rechange** (N2-Rc et N4-Rc), les surfaces de la colonne adjacente au foyer d'incendie atteignent assez rapidement la température d'allumage de 343 °C. À ce moment, elles deviennent impliquées dans l'incendie. Les flammes se propagent le long de la colonne, vers le toit combustible, ainsi que sur la plateforme du niveau 4 pour le scénario N2-Rc. Puisque le dégagement entre le foyer d'incendie et le toit combustible est considérablement plus faible pour le scénario N4-Rc, l'embrasement général dans ce scénario est atteint plus rapidement que pour le scénario N2-Rc. En effet, pour le scénario N4-Rc les flammes ont à parcourir seulement 4,4 m pour atteindre les panneaux de lamellé-croisé du toit, tandis que pour le scénario N2-Rc, les flammes doivent se propager le long de la colonne d'une hauteur 8,5 m pour atteindre la plateforme du niveau 4, et ensuite encore 4,4 m pour arriver au toit.

Pour le scénario d'incendie débutant au niveau 2 (Figure 11), le développement d'incendie est plus rapide et la puissance maximale d'incendie est deux à trois fois plus importante pour la configuration de la solution acceptable comparativement à la solution de rechange.

Pour le scénario d'incendie débutant au niveau 4 (Figure 12), la vitesse de propagation des flammes est comparable pour les deux configurations examinées. Toutefois, la puissance maximale absolue de l'incendie de la solution acceptable est d'environ **7 MW** (7 000 kW), tandis que celle de la solution de rechange est d'environ **5 MW** (5 000 kW).

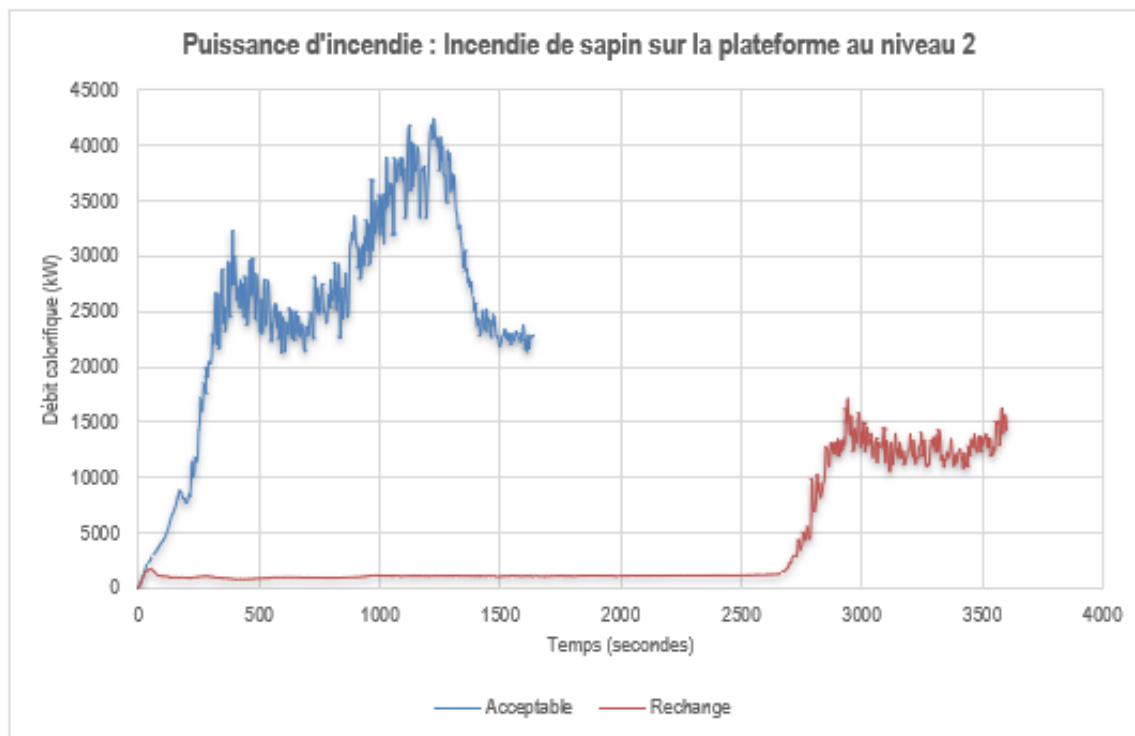


Figure 11. Développement d'incendie lorsque le foyer se trouve sur la plateforme du niveau 2

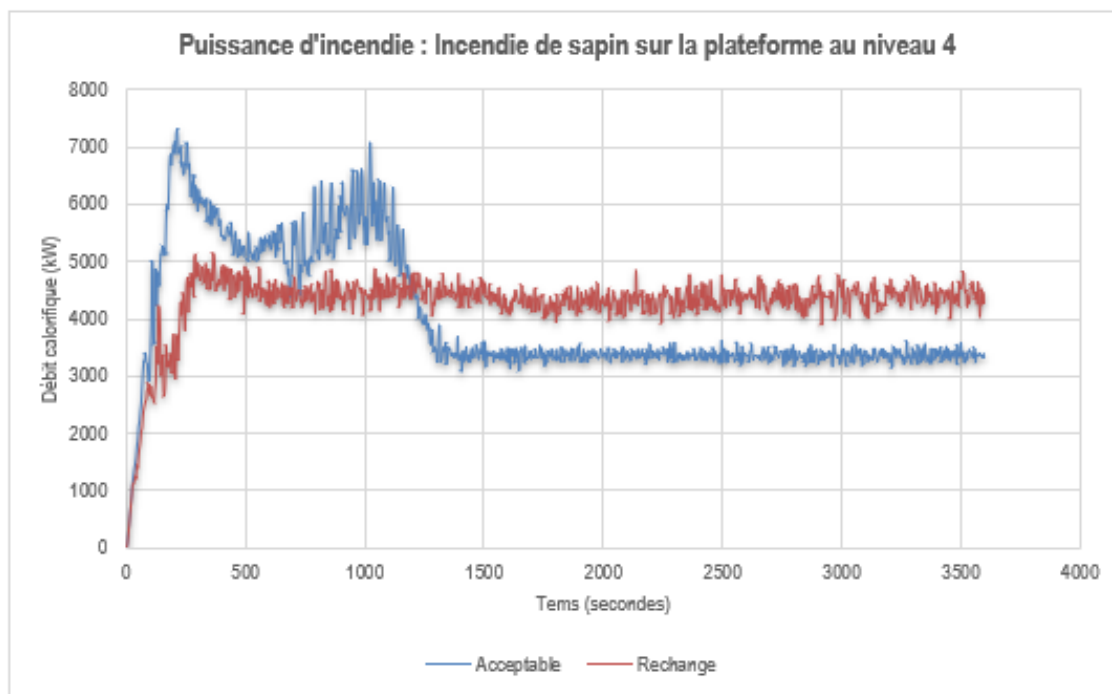


Figure 12. Développement d'incendie lorsque le foyer se trouve sur la plateforme du niveau 4

En résumé, l'incendie de la solution de rechange comparativement à celui de la solution acceptable peut être caractérisé par :

- une puissance d'incendie globale (débit calorifique) moins élevée;
- la survenance de l'embrasement général et le début plus tardif de l'incendie pleinement établi;
- une propagation d'incendie plus tardive et un développement d'incendie (croissance) plus lent si le foyer d'incendie se trouve au niveau 2;
- une propagation d'incendie et un développement d'incendie (croissance) comparables à ceux de la solution acceptable si le foyer d'incendie se trouve au niveau 4.

6 CONCLUSION

Selon les résultats de l'analyse effectuée, en termes de sécurité incendie, le choix du matériau de construction combustible pour le Jardin d'hiver entièrement protégé par gicleurs s'avère une solution équivalente et même supérieure à une solution considérée comme acceptable selon les exigences du CNB 2015 mod. Qc.

Selon les résultats des simulations numériques, la puissance d'incendie maximale atteinte lors de l'incendie de la solution de rechange est inférieure à celle de la solution acceptable. D'ailleurs, les scénarios de la solution de rechange présentent une survenance plus tardive de l'embrasement général que les scénarios comparatifs acceptables. Finalement, le développement d'incendie pour la solution de rechange est plus lent ou comparable à celui de la solution acceptable.

Aucune modification du concept architectural ou structural n'est requise pour le Jardin d'hiver. Les conclusions du présent rapport pourront être employées comme justification pour la future proposition de rechange auprès de la Régie du bâtiment du Québec (RBQ).

Annexe A.3

Annexe 7 : Rapport de modélisations d'incendie – Niveau 4

Rapport de simulations numériques – Modélisations d'incendie Évaluation de la présence de bois apparent

Analyse comparative du niveau 4 de la bibliothèque

Bibliothèque Cœur-Nomade
Montréal (Québec)
220187-004

3 février 2023, rév. 00

Préparé pour :

Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture

Préparé pour : Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture
1450, rue City Councillors, bureau 230
Montréal (Québec) H3A 2E6

Préparé par : Technorm
5800, rue Saint-Denis, bureau 505
Montréal (Québec) H2S 3L5

Par :

Marc-André Langevin, ing., M. Ing., M. Sc. A.
Président

Kseniia Polukhina, ing.
Conseillère technique
Codes et normes – Sécurité incendie

Index des révisions

N°	Date
0	2023-02-03

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Portée du rapport	1
1.2	Limitations.....	1
1.3	Références	1
1.4	Objectif	1
2	COMPARAISONS ENTRE LA SOLUTION DE RECHANGE ET LA SOLUTION ACCEPTABLE	2
2.1	Solution de rechange.....	2
2.2	Solution acceptable	2
2.3	Caractéristiques des matériaux	3
3	SCÉNARIOS D'INCENDIE	6
3.2	Répertoire des simulations	10
4	CRITÈRES COMPARATIFS.....	11
5	RÉSULTATS	12
6	CONCLUSION	15

1 INTRODUCTION

La présente fait état des résultats de nos recherches, analyses et modélisations numériques en ce qui a trait à la propagation d'incendie au niveau 4 de la future bibliothèque Cœur-Nomade.

1.1 Portée du rapport

Technorm a été mandatée par le Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture pour réaliser des simulations d'incendie au moyen du logiciel *Fire Dynamics Simulator* (FDS – v.6.7.6) afin d'évaluer l'impact de la contribution de bois apparent au niveau 4 de la future bibliothèque, lors d'un incendie considéré comme étant réaliste comparativement à la solution acceptable du CNB 2015 mod. Qc.

L'analyse tient compte de la charge combustible prévue, de l'emplacement des gicleurs automatiques, de la géométrie des espaces concernés, y compris la hauteur réelle entre les foyers d'incendie probables et les éléments combustibles de construction massive en bois, soit les éléments porteurs en gros bois d'œuvre, ainsi que le plancher et le toit en gros bois d'œuvre.

1.2 Limitations

Les résultats présentés ci-après sont représentatifs des scénarios d'incendie qui prennent en considération une architecture et des charges combustibles (scénarios d'incendie) spécifiques. Toute modification à l'architecture, à la structure, à l'usage et aux équipements (c.-à-d. charges combustibles) proposés pourrait engendrer des différences au niveau des résultats calculés. Les plans architecturaux pour la conception du modèle sont ceux du Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture, émis pour information en date du 31 août 2022.

1.3 Références

Ce rapport est basé sur les plans transmis et les informations communiquées, notamment :

- les plans préliminaires d'architecture reçus le 6 septembre 2022, préparés par le Consortium Affleck de la Riva | Coarchitecture;
- les plans d'emplacement des gicleurs reçus les 8 et 29 septembre 2022, préparés par Martin Roy & Associés.

1.4 Objectif

Le but de cette étude est d'analyser le développement d'incendie et la propagation des flammes lors de scénarios probables à l'intérieur de l'espace se trouvant au niveau 4 de la future bibliothèque Cœur-Nomade pour laquelle une construction incombustible est requise.

L'étude vise à déterminer s'il est possible de conserver une construction massive en bois apparent pour la toiture de la bibliothèque.

Nous procédons à la modélisation de scénarios d'incendie dont les paramètres respectent les solutions acceptables du Code, et nous les comparons avec des scénarios d'incendie identiques pour lesquels le niveau 4 de la bibliothèque présente les caractéristiques de la solution de rechange.

2 COMPARAISONS ENTRE LA SOLUTION DE RECHANGE ET LA SOLUTION ACCEPTABLE

Pour chaque scénario d'incendie, deux configurations ont été analysées : une qui représente la solution proposée (désignée ici comme une solution de rechange), et l'autre, la solution acceptable. Les principales différences entre ces deux configurations sont décrites dans les sous-sections suivantes.

2.1 Solution de rechange

La configuration de la solution de rechange représente le concept architectural et structural actuellement proposé (Figure 1).

À l'intérieur de cette aire de plancher, la structure en bois massif est composée de poutres, de poutrelles et de colonnes en bois lamellé-collé qui supportent le toit en panneaux de bois lamellé-croisé. L'essence des éléments structuraux, y compris le platelage, est l'épinette. Afin de réduire les surfaces de bois exposé, l'ensemble des colonnes du niveau 4 sont encapsulées avec les panneaux de plaques de plâtre (1 rang 5/8 po Type X).

Aucun revêtement de finition combustible n'est prévu pour les cloisons.

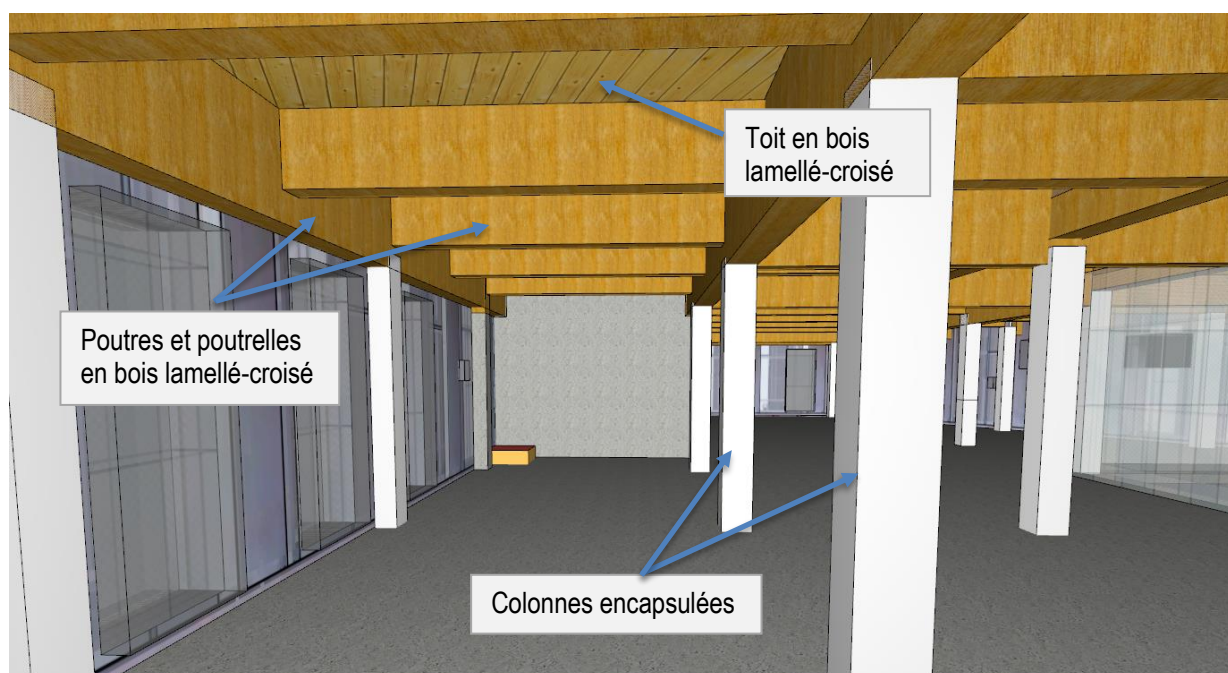


Figure 1. Extrait du modèle numérique : configuration de la solution de rechange (concept proposé)

2.2 Solution acceptable

La configuration de la solution acceptable représente un concept conforme à la sous-section 3.1.5. du CNB 2015 mod. Qc.

Dans le modèle de la solution acceptable, l'ensemble (100 %) des murs et des cloisons de la bibliothèque au niveau 4 (à l'exception des murs-rideaux, mais incluant la surface exposée des

colonnes) ainsi que 10 % de la surface du plafond (toit), y compris des poutres qui se trouvent dans cette zone, sont recouverts d'un revêtement intérieur de finition combustible ayant une épaisseur d'au plus 25 mm et un indice de propagation de la flamme d'au plus 150 (Figure 2).

Nous avons choisi d'utiliser un panneau de contreplaqué de 24 mm en pin du Sud (*Southern Pine*) comme revêtement intérieur combustible et un panneau en plaque de plâtre de type X de 15,9 mm d'épaisseur comme revêtement intérieur incombustible.

Mentionnons que l'indice de propagation de la flamme n'est pas considéré comme tel dans notre analyse, puisque le logiciel utilisé (FDS) ne prend pas en considération ce paramètre qui n'est pas une caractéristique fondamentale d'un matériau (c.-à-d. qu'il s'agit d'une valeur non dimensionnelle calculée par la norme ULC-S102 et basée sur le chêne rouge = 100 et l'amiante = 0).

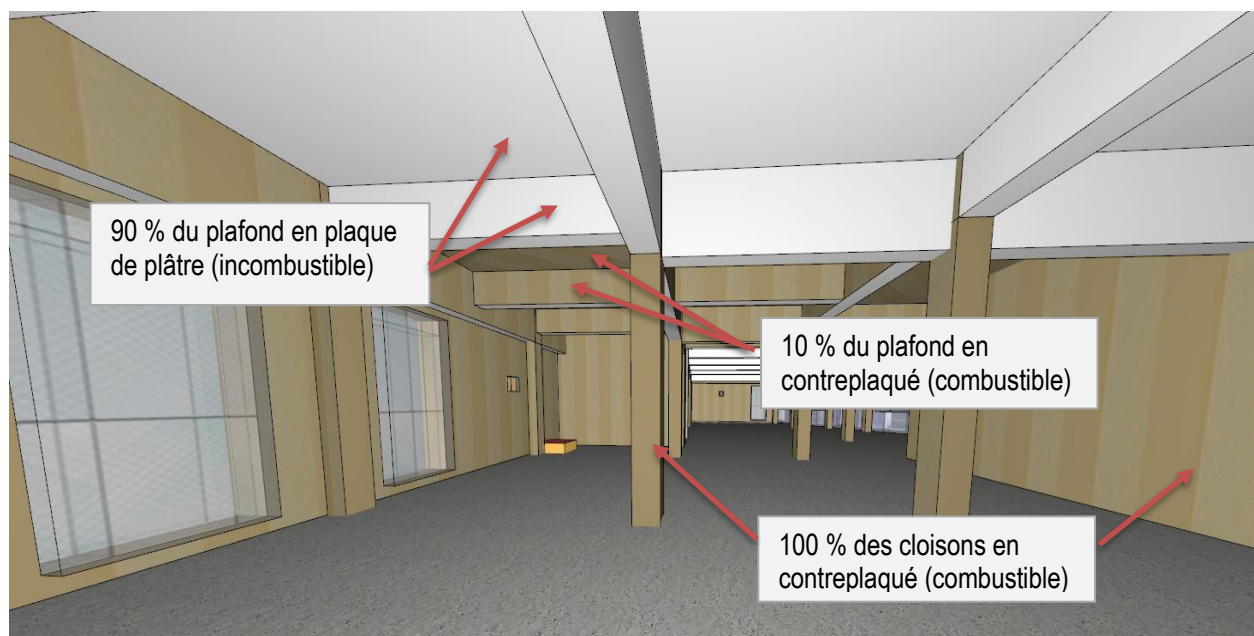


Figure 2. Extrait du modèle numérique : configuration de la solution acceptable

2.3 Caractéristiques des matériaux

2.3.1 Panneau de contreplaqué en pin du Sud

La température d'allumage des panneaux de contreplaqué en pin du Sud est de 323 °C selon les essais de Dietenberger, M. et al. (1999)¹. Pour les données de la contribution énergétique de ce matériau, nous avons utilisé les données d'essais trouvées sur le site Web du *Forest Product Laboratory*².

¹ Dietenberger, M. & Grexa, O. (1999). *Analytical Model of Flame Spread in Full-Scale Room/Corner Tests (ISO 9706)*.

² Forest Products Laboratory. *Cone Calorimeter Datasets – Publications and Datasets*, USDA Forest Service, 20 juillet 2005; consulté le 25 février 2022, à l'adresse https://www.fpl.fs.fed.us/products/products/cone/by_materials.php.

La contribution énergétique d'un panneau de contreplaqué en pin du Sud de 24 mm exposé à une source radiante de 50 kW/m² est illustrée à la Figure 3.

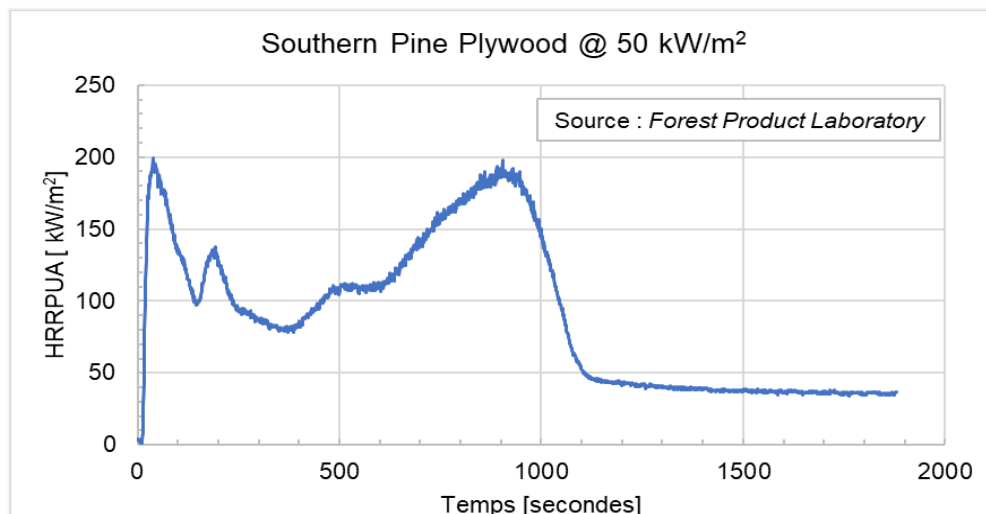
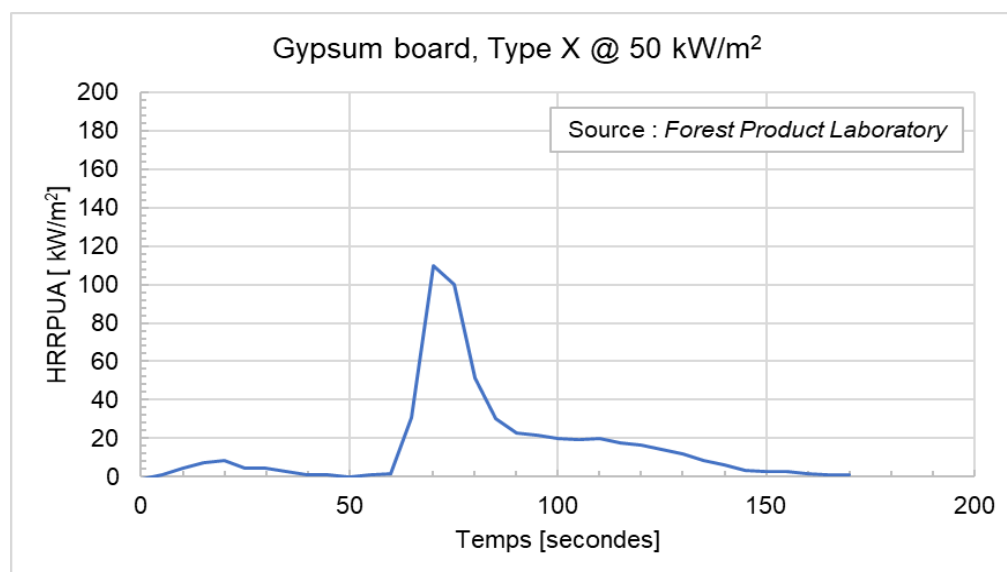


Figure 3. Contribution énergétique de 24 mm d'un panneau de contreplaqué en pin du Sud

2.3.2 Panneau de plaque de plâtre de type X

La température d'allumage d'un panneau de plaque de plâtre de type X est de 335 °C, selon le tableau 18-2 du *Wood Handbook*³. Pour les données de la contribution énergétique de ce matériau, nous avons utilisé les données d'essais trouvées sur le site Web du *Forest Product Laboratory*.

La contribution énergétique d'un panneau de plaque de plâtre de type X de 15,9 mm exposé à une source radiante de 50 kW/m² est illustrée à la Figure 4.



³ Laboratory, F. P. (2013). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*.

Figure 4. Contribution énergétique d'un panneau de plaque de plâtre de type X de 15,9 mm

2.3.3 Bois lamellé-collé et platelage de bois

L'essence de bois d'épinette noire est considérée pour les poutres et les colonnes en lamellé-collé, ainsi que pour les panneaux en bois lamellé-croisé. Pour nos modélisations, nous avons utilisé les données d'essais de l'essence de bois d'épinette noire (*Black Spruce*) fournies par *FP Innovations* pour ces éléments structuraux massifs en bois.

La température d'allumage de l'épinette noire est de 343 °C. La contribution énergétique de 38 mm d'épinette noire exposée à une source radiante de 50 kW/m² est illustrée à la Figure 5.

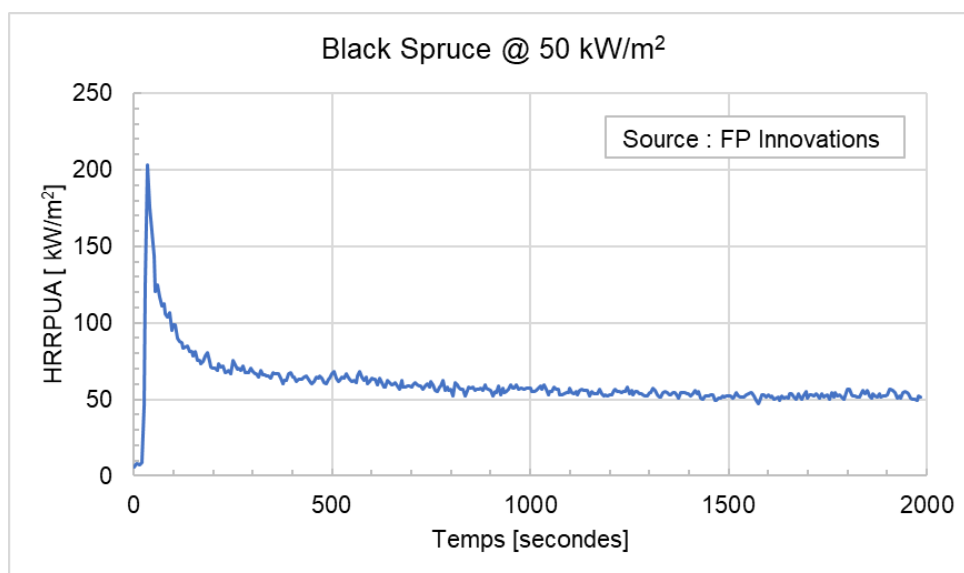


Figure 5. Contribution énergétique de 38 mm d'épinette noire

3 SCÉNARIOS D'INCENDIE

Pour les fins de l'analyse comparative, les mêmes scénarios d'incendie sont examinés pour les configurations de la solution de rechange et de la solution acceptable.

3.1.1 Emplacement d'incendie

En termes de géométrie des espaces, trois (3) emplacements d'incendie ont été identifiés pour la bibliothèque du niveau 4 (voir également Figure 6) :

- Emplacement 1 : Au centre de la bibliothèque, adjacent à une colonne;
- Emplacement 2 : À proximité d'un coin, adjacent à une colonne;
- Emplacement 3 : Adjacent à un mur intérieur, entre deux (2) colonnes.

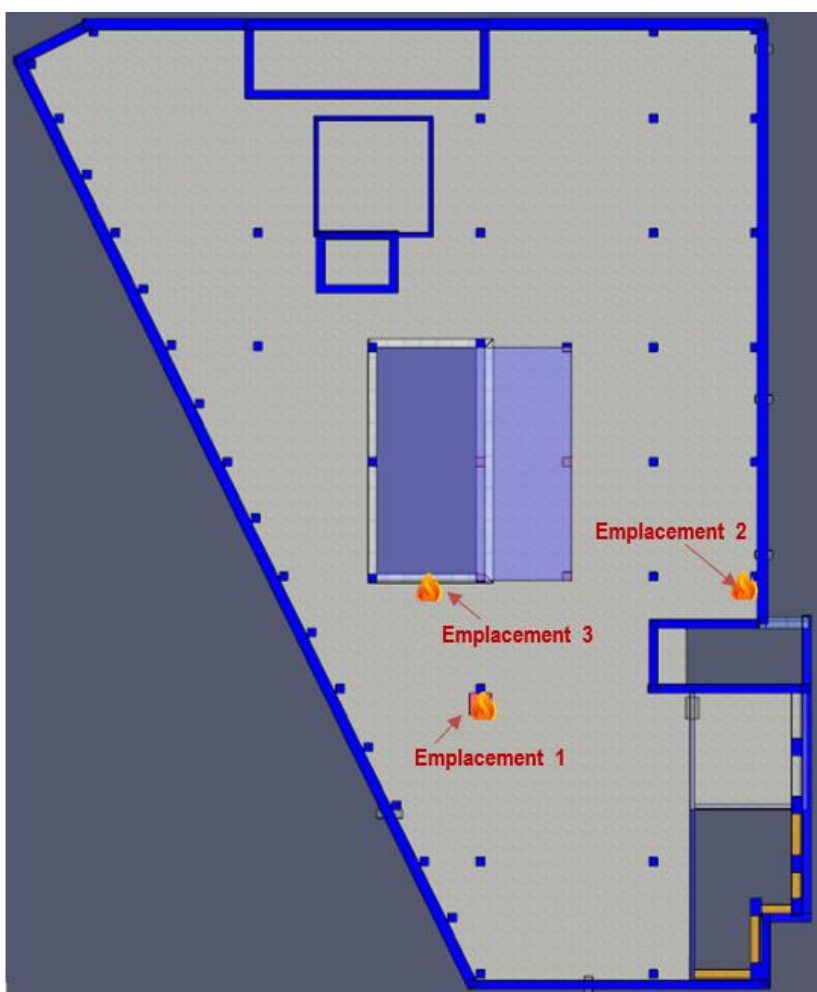


Figure 6. Trois (3) scénarios d'emplacement du foyer d'incendie examinés⁴

⁴ Les poutres et les poutrelles modélisées sont cachées.

Dans tous les cas, le foyer d'incendie se trouve, dans le plan, à une distance maximale des gicleurs. Une telle configuration permet de retarder le déclenchement de gicleurs et donc, d'obtenir des résultats conservateurs. Ceci est illustré sur la Figure 7.

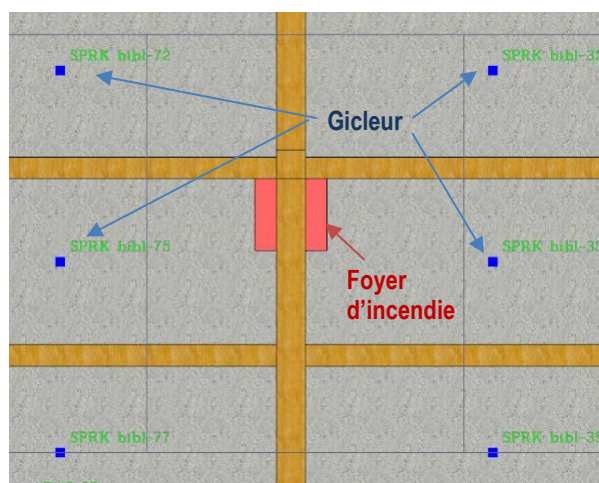


Figure 7. Emplacement du foyer d'incendie et des gicleurs

3.1.2 Profil d'incendie

Mis à part le bois massif apparent, la charge combustible qui se trouvera au 4^e étage de la bibliothèque sera constituée d'étagères de livres, de tables et de sièges rembourrés ou de sofas. Un exemple du mobilier projeté est illustré à la Figure 8.



Figure 8. Extrait des dessins d'architecture – Exemple de l'aménagement prévu

Compte tenu de la diversité des éléments combustibles pouvant être présents dans l'espace de la future bibliothèque, le profil d'incendie générique de type t^2 -fire sera employé, soit un incendie hypothétique, dont la puissance (débit calorifique) à chaque instant est calculée avec l'équation suivante :

$$Q = \alpha \cdot t^2$$

Où : α = taux d'accroissement (kW/s^2)

t = temps (s)

Il s'agit d'un type d'incendie typique pour les usages non industriels, dont la charge combustible ne comprend pas de quantités importantes de matières inflammables. Le développement d'un incendie de type t^2 -fire est graduel. La différence entre les profils d'incendie considérés est la vitesse de développement de l'incendie, représentée par le paramètre désigné comme le taux d'accroissement (α). Le taux d'accroissement **rapide** est retenu pour l'étude.

Afin de représenter ce à quoi correspondent les différents taux d'accroissement, vous trouverez ci-dessous une illustration tirée d'un ouvrage publié par John H. Klote, dans laquelle sont présentés différents exemples de taux d'accroissement d'incendie (Figure 9).

En présence de gicleurs automatiques, la croissance d'incendie n'est pas illimitée, comme illustré à la Figure 9, mais elle est contrôlée. Ce mécanisme est illustré à la Figure 10⁵. L'*International Building Code* (2018) stipule que la puissance de l'incendie peut être jugée comme étant constante dès qu'il y a déclenchement des gicleurs automatiques [IBC-2018, art. 909.9.4.].

Le profil d'incendie prévu comprend donc deux (2) phases, soit :

- la phase de croissance jusqu'à la valeur maximale du débit calorifique;
- la phase constante ou « plateau ».

La phase de décroissement sera omise.

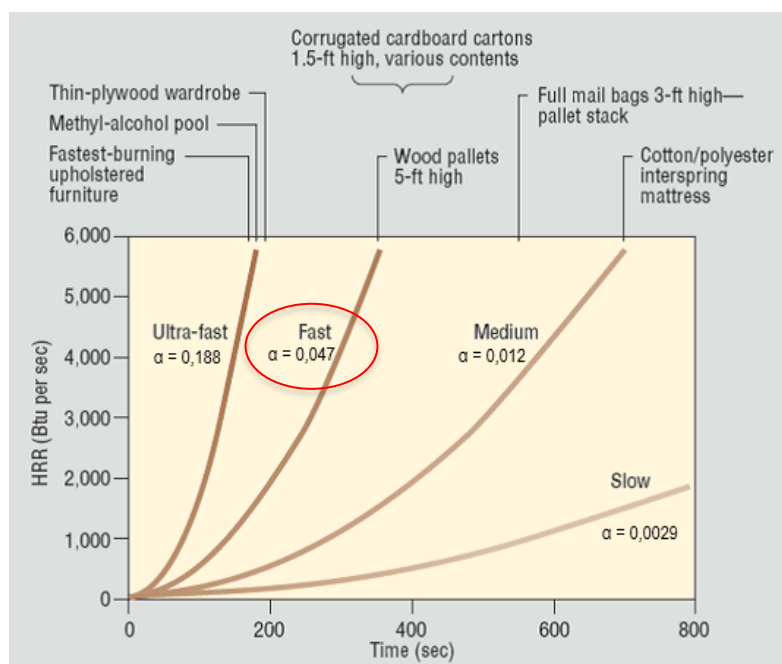


Figure 9. Puissance de différents combustibles vs croissance (αt^2)⁶

⁵ NFPA Handbook, 20^e éd., section 16, chapitre 3.

⁶ John H. Klote. *DESIGN FIRES: What You Need to Know*, HPAC Engineering, Sept. 2002.

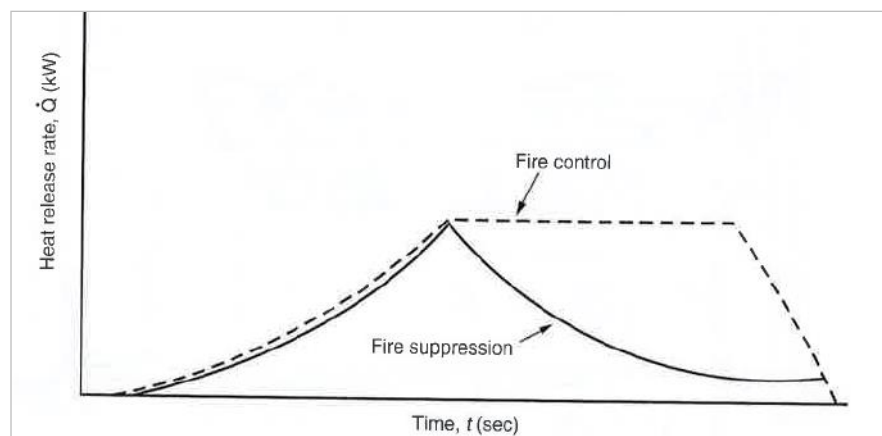


Figure 10. Effet d'un système de gicleurs sur la croissance d'un incendie

Le débit calorifique maximal est la puissance d'incendie nécessaire pour déclencher le système de gicleurs. Le débit calorifique maximal est établi à partir des résultats des simulations en fonction de l'emplacement du foyer d'incendie, du positionnement des gicleurs entre les poutres et de la hauteur entre les gicleurs et le plancher.

La durée totale d'incendie de départ (des deux phases) est de 1 heure.

Les profils d'incendie retenus pour l'analyse comparative sont illustrés ci-dessous (Figure 11). Lorsque le foyer d'incendie se trouve près d'une obstruction verticale (emplacements 2 & 3), les pertes de chaleur sont quelque peu réduites et par conséquent, les gicleurs se déclenchent plus rapidement.

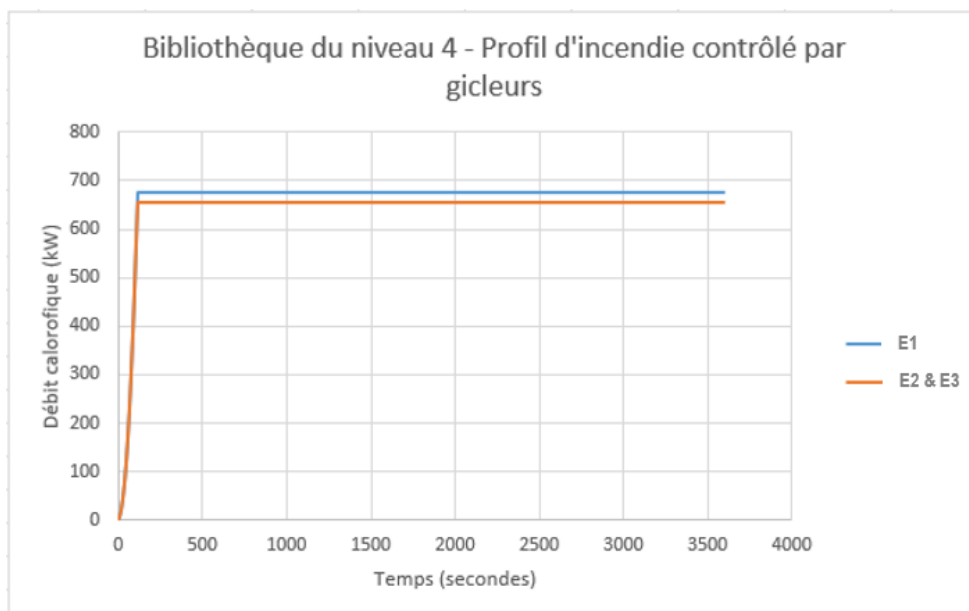


Figure 11. Profils d'incendie retenus pour l'analyse comparative

3.2 Répertoire des simulations

Le tableau ci-dessous dresse la liste des principaux scénarios d'incendie et des variables y étant associées. Au total, nous avons effectué quatre (4) simulations numériques.

N°	ID	Configuration	Foyer d'incendie	
			Emplacement	Profil
1	E1-Rc	Solution de rechange	Au centre de la bibliothèque, près d'une colonne	Incendie générique t²-fire, taux d'accroissement « rapide », contrôlé par gicleurs
2	E1-Ac	Solution acceptable		
3	E2-Rc	Solution de rechange	Dans le coin de la bibliothèque, près d'une colonne	
4	E2-Ac	Solution acceptable		
5	E3-Rc	Solution de rechange	Adjacent à un mur intérieur, entre deux (2) colonnes	
6	E3-Ac	Solution acceptable		

Tableau 1. Répertoire des scénarios d'incendie modélisés

4 CRITÈRES COMPARATIFS

Le développement d'un incendie prenant naissance à l'intérieur d'une pièce peut être divisé en cinq (5) phases qui pourraient ne pas toutes survenir, selon les diverses conditions qui seraient présentes ou non⁷. Ces cinq (5) phases sont les suivantes :

1. allumage;
2. croissance;
3. embrasement;
4. incendie pleinement développé;
5. décroissance.

Les deux premières étapes d'un incendie ne sont pas dommageables pour la structure du bâtiment, mais peuvent devenir problématiques pour les occupants. Généralement, seuls des dommages thermiques aux objets par la fumée et la suie se manifestent au cours de cette période. À ce stade, l'incendie est relativement petit et les températures relativement basses. S'il y a suffisamment d'apports d'air frais (oxygène) et de combustible, les phases subséquentes de l'incendie peuvent se produire.

La troisième phase est l'une des plus critiques dans tout incendie à l'intérieur d'un compartiment. Il s'agit de l'**embrasement général**. Un embrasement se traduit par une très haute température au niveau du plafond ($\approx 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) et une importante radiation vers le plancher d'environ 20 kW/m^2 ^{8,9}. À ce moment, **tous les éléments combustibles** à l'intérieur du compartiment s'allument, compte tenu des conditions ambiantes extrêmes. Lors de l'embrasement général, les caractéristiques de combustion superficielle des matériaux des murs et des plafonds entrent en considération et l'on constate que les flammes sortent par les fenêtres pour aller « chercher » de l'oxygène à l'extérieur du compartiment.

La quatrième phase est celle d'un **incendie pleinement développé** à l'intérieur du compartiment. Cette phase de l'incendie est la plus destructrice et la plus dommageable à la construction et à la structure de l'immeuble, puisque les températures peuvent atteindre plus de $1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans certains cas.

Finalement, après un certain temps, le combustible commence à manquer à l'intérieur du compartiment et il s'ensuit une décroissance de l'incendie.

Dans la présente étude, nous allons principalement nous concentrer sur la comparaison du temps requis pour atteindre les phases 3 et 4, soit l'**embrasement général** et l'**incendie pleinement développé** dans le compartiment, entre la solution proposée et la solution acceptable, sous réserve que ces phases soient atteintes.

⁷ Walton, W. D., & Thomas, T. H. (2002). *SFPE Handbook of fire protection engineering*, 3rd edition, Chapter 6 – Section 3, "Estimating temperatures and compartment fires."

⁸ Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics*.

⁹ Cluster, R. (2008). *NFPA Fire Protection Handbook*, 20th edition, Chapter 4 – Section 2, "Dynamics of compartment fire growth."

5 RÉSULTATS

La présente sous-section vise à comparer la solution acceptable à la solution de rechange pour ce qui est du développement de l'incendie et la propagation des flammes à l'intérieur de la bibliothèque, au niveau 4.

Comme mentionné plus haut, nous allons principalement nous concentrer sur la comparaison du temps requis pour atteindre l'embrasement général et le stade d'incendie pleinement établi, sous réserve que ces phases soient atteintes.

Le développement d'incendie selon les résultats de nos simulations numériques est illustré :

à la Figure 12

- Figure 12 pour le scénario où le foyer d'incendie est situé au centre de la bibliothèque, près d'une colonne (E1-Rc vs E1-Ac);
- à la Figure 13 pour le scénario où le foyer d'incendie est situé dans un coin de la bibliothèque, près d'une colonne (E2-Rc vs E2-Ac);
- à la Figure 14 pour le scénario où le foyer d'incendie est situé adjacent au mur intérieur, entre deux (2) colonnes (E3-Rc vs E3-Ac).

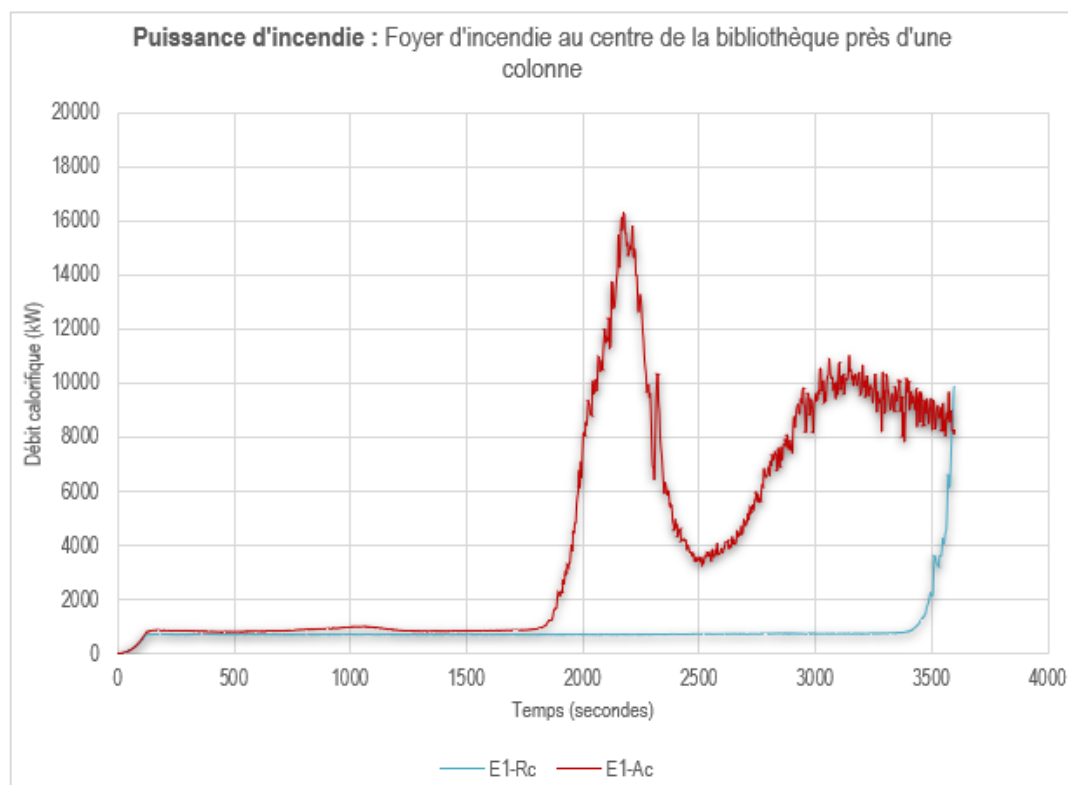


Figure 12. Développement d'incendie lorsque le foyer est situé au centre de la bibliothèque près d'une colonne (E1)

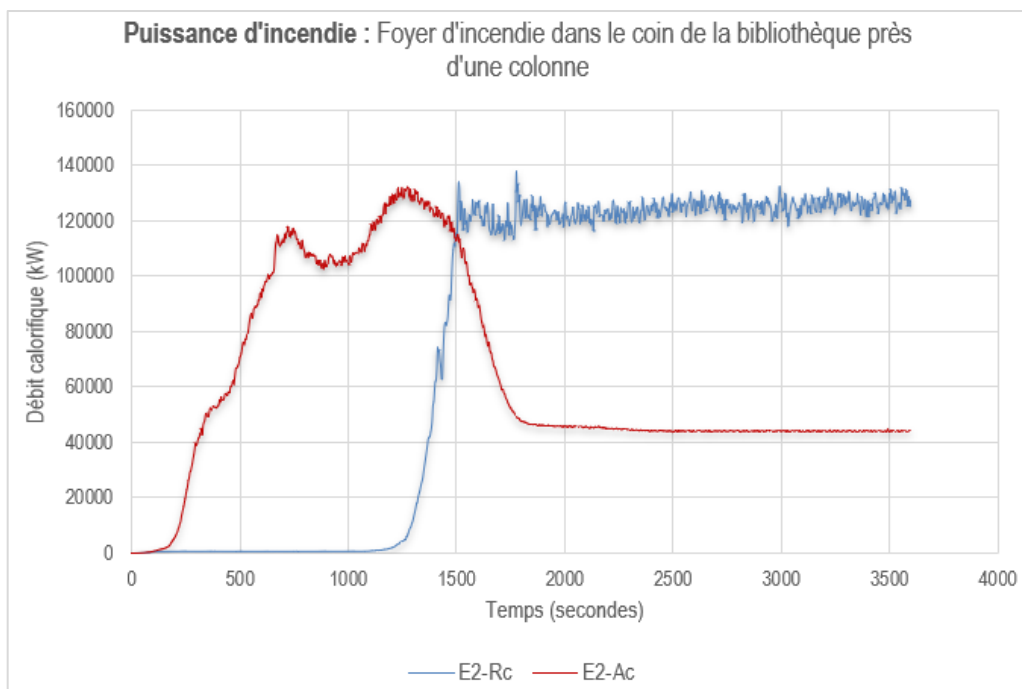


Figure 13. Développement d'incendie lorsque le foyer est situé dans un coin de la bibliothèque près d'une colonne (E2)

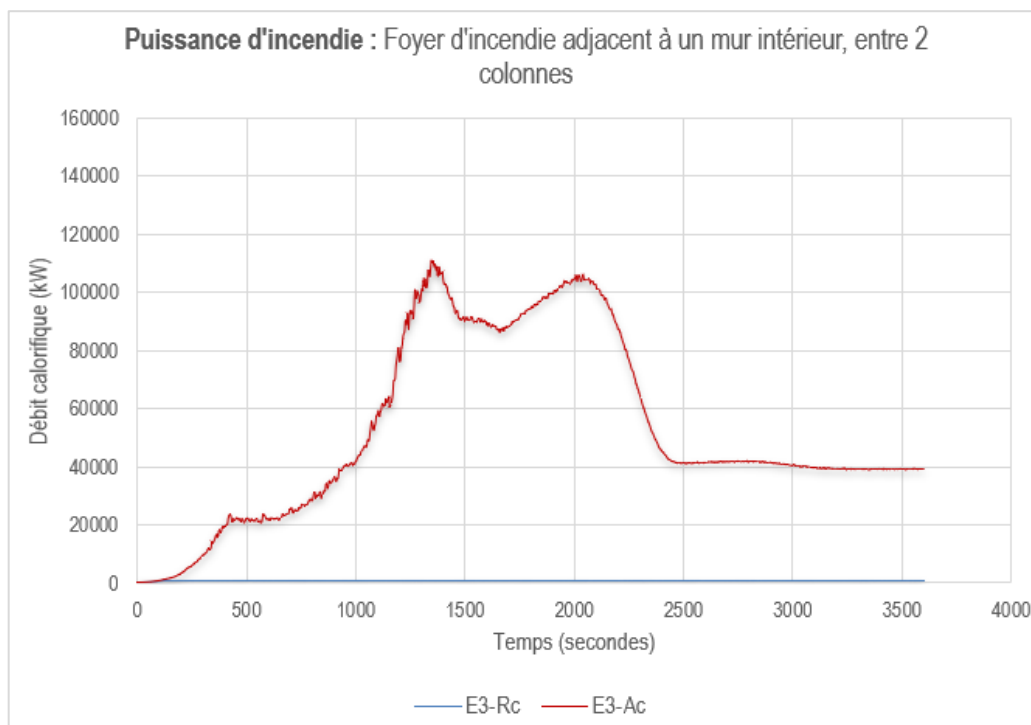


Figure 14. Développement d'incendie lorsque le foyer est situé adjacent à un mur intérieur, entre deux (2) colonnes (E3)

Lorsque le foyer est situé au centre de la bibliothèque (Figure 12) près d'une colonne (E1), la propagation d'incendie se produit plus rapidement dans la simulation de la solution acceptable (E1-Ac) que dans le cas de la solution de rechange (E1-Rc) car dans cette configuration, la colonne est recouverte de contreplaqué. Dans la configuration de la solution de rechange (E1-Rc), la colonne est recouverte du panneau de plaque de plâtre, ce qui ralentit la propagation des flammes jusqu'à la fin de la période simulée. La puissance d'incendie maximale de l'incendie de la solution acceptable est de 16 MW et cette valeur ayant été atteinte après 36 minutes de l'incendie simulé. Pour la solution de rechange, la puissance maximale atteinte après 1 heure de simulation et est d'environ 10 MW.

Lorsque le foyer est situé dans un coin de la bibliothèque près d'une colonne (E2, Figure 13), les flammes du foyer d'incendie sont plus hautes en raison de la proximité des obstructions verticales. L'incendie de départ a donc plus de facilité à allumer la construction combustible du toit de la solution de rechange (E2-Rc). Nous pouvons constater la propagation des flammes pour cette configuration après 20 minutes suivant le début de simulation. Toutefois, la propagation d'incendie se produit encore plus rapidement dans la simulation de la solution acceptable (E2-Ac). Dans les minutes suivant le début de l'incendie, le contreplaqué du mur adjacent au foyer d'incendie atteint la température d'allumage de 323 °C. À ce moment, le revêtement de finition du mur devient impliqué dans l'incendie. Par la suite, la propagation d'incendie à travers le compartiment se produit assez rapidement. Pour les deux configurations, la puissance maximale absolue de l'incendie est d'environ 130 MW. Cependant, pour la solution acceptable, le pic est atteint 4 minutes plus tôt que pour la solution de rechange (21 minutes vs 25 minutes).

Le troisième scénario d'incendie soit l'incendie près d'un mur intérieur (E3, Figure 14) s'avère être défavorable pour la solution acceptable. En effet, pour la simulation E3-Ac, dans les minutes suivant le début de l'incendie, le contreplaqué recouvrant le mur intérieur adjacent au foyer d'incendie atteint sa température d'allumage et devient impliqué dans l'incendie. Par la suite, la propagation d'incendie vers le secteur combustible du plafond se produit assez rapidement. La puissance maximale absolue de l'incendie de la solution acceptable est d'environ 110 MW. Quant à la solution de rechange, l'incendie de la simulation E3-Rc demeure limité au foyer d'incendie ($\approx 0,7$ MW).

En résumé, l'incendie de la solution de rechange en bois massif partiellement apparent comparativement à celui de la solution acceptable peut être caractérisé par :

- une puissance d'incendie globale (débit calorifique) moins élevée;
- la survenance de l'embrasement général et le début plus tardif de l'incendie pleinement établi;
- une propagation d'incendie plus tardive et un développement d'incendie (croissance) plus lent.

6 CONCLUSION

Selon les résultats de l'analyse effectuée, en termes de sécurité incendie, le choix du matériau de construction combustible pour la bibliothèque (niveau 4) entièrement protégée par gicleurs s'avère une solution équivalente et même supérieure à une solution considérée comme acceptable selon les exigences du CNB 2015 mod. Qc.

Selon les résultats des simulations numériques, la puissance d'incendie maximale atteinte lors de l'incendie de la solution de rechange est inférieure à celle de la solution acceptable. De plus, les scénarios de la solution de rechange présentent une survenance plus tardive de l'embrasement général que les scénarios comparatifs acceptables. Finalement, le développement d'incendie pour la solution de rechange est plus lent ou comparable à celui de la solution acceptable.

Dans tous les cas, l'effet de gicleurs pour éteindre l'incendie ne fut pas considéré, ni le combat des du service d'incendie.

Annexe B

Réponse de la RBQ à la demande de mesures équivalentes datée du 10 juillet 2023



Le 12 juillet 2023

Madame Kseniia Polukhina, ingénieure
Technorm inc.
5800 rue Saint-Denis
Montréal (Québec) H2S 3L5

Référence : BAT-06839

Objet : Annule et remplace la réponse datée du 21 mai 2023
Demande de mesures équivalentes
Construction
Bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade
Arrondissements Ahuntsic-Cartierville & Montréal-Nord, Montréal

Madame,

La présente fait suite à votre demande de mesures équivalentes datée du 7 mars 2023 ayant pour objet la construction du bâtiment cité en objet.

Cette demande est présentée en vertu de l'article 127 de la Loi sur le bâtiment qui permet à la Régie du bâtiment du Québec d'approuver une méthode de conception, un procédé de construction de même que l'utilisation d'un matériau ou d'un équipement différent de ce qui est prévu à un code ou à un règlement, lorsqu'elle estime que leur qualité est équivalente à celle recherchée par les normes prévues à ce code ou à ce règlement.

Nous vous informons de la décision de la Régie du bâtiment du Québec.

Les changements apportés à la décision initiale sont indiqués par un trait vertical situé dans la marge droite de cette décision.

DESCRIPTION DU BÂTIMENT

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales du bâtiment :

Année de construction	2023
Hauteur de bâtiment	4 étages et 1 sous-sol
Aire de bâtiment	Environ 1100 m ²
Type de construction	Combustible
Bâtiment de grande hauteur	Non
Protection par gicleurs	Oui
Système d'alarme incendie	Oui
Canalisation incendie	Non
Usage principal	Bibliothèque avec des salles communautaires : usage du groupe A division 2.
Usage secondaire	Sous-sol : garage de stationnement : usage du groupe F division 3
Aires communicantes	1er et 2e étages en aires communicantes. Les aires communicantes sont exemptées de l'application des articles 3.2.8.3. à 3.2.8.8. du Code

...2

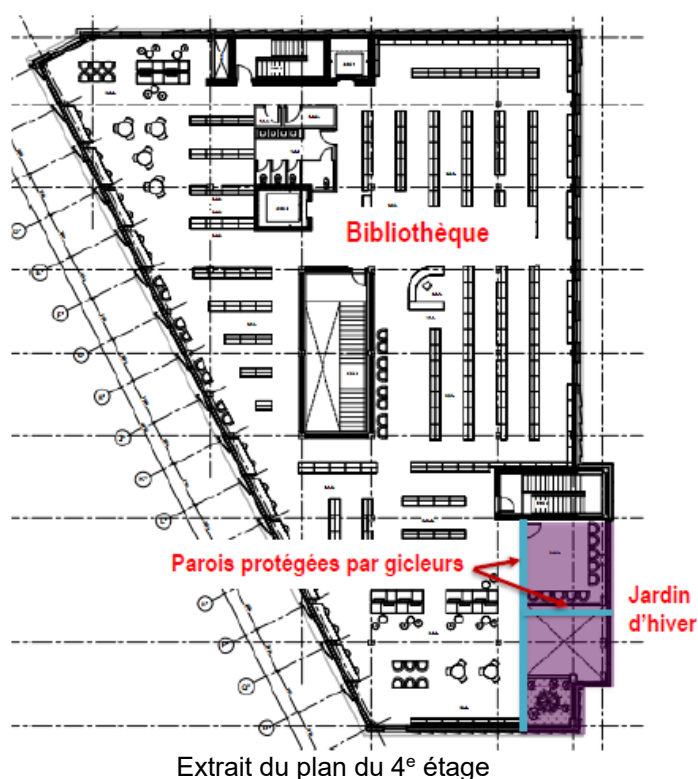
CONTEXTE

Le projet concerne la construction d'une nouvelle bibliothèque de quatre (4) étages. Outre la bibliothèque, le bâtiment comprendra également des espaces culturels et sociocommunautaires. Un espace isolé, désigné comme le Jardin d'hiver, abrite des installations végétales ainsi que des espaces communs aménagés de tables et de sièges.

Le concept du bâtiment prévoit la construction combustible :

- du 4^e étage, notamment le toit et ses éléments porteurs (colonnes, poutres, poutrelles);
- du Jardin d'hiver (tous les étages), notamment le toit, les planchers, les plateformes de végétations et leurs éléments porteurs (colonnes, poutres, poutrelles).

Le reste du bâtiment sera de construction incombustible.



RÉGLEMENTATION APPLICABLE

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

Sujet : Construction

PROBLÉMATIQUE

Les éléments porteurs, les planchers, le platelage du toit et les plateformes du Jardin d'hiver, ainsi que les éléments porteurs et le platelage du toit de la bibliothèque seront en bois. Ceci n'est pas conforme à la réglementation qui exige que la construction du bâtiment soit entièrement en matériaux incombustibles.

PROPOSITION DU REQUÉRANT

La requérante propose de permettre la construction d'une bibliothèque de quatre (4) étages possédant une structure de toit combustible et apparente au 4^e étage ainsi que la construction combustible de l'ensemble du Jardin d'hiver, aux conditions suivantes :

- les éléments en bois massif exposés se limiteront à ceux énumérés ci-dessous :
 - les éléments en bois massif exposés qui se trouvent au 4^e étage de la bibliothèque sont :
 - les poutres et les solives de toit en bois lamellé-collé de dimensions variables :
 - ❖ 175 mm x 266 mm,
 - ❖ 315 mm x 684 mm,
 - ❖ 315 mm x 950 mm,
 - ❖ 315 mm x 1 102 mm;
 - le platelage du toit en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm [trois (3) couches];
 - les éléments en bois massif exposés qui se trouvent dans le Jardin d'hiver sont :
 - les poutres et les solives en bois lamellé-collé de dimensions variables :
 - ❖ 175 mm x 266 mm,
 - ❖ 315 mm x 684 mm,
 - ❖ 315 mm x 950 mm,
 - ❖ 315 mm x 1 102 mm;
 - les colonnes en bois lamellé-collé de 315 x 304 mm;
 - le platelage du toit en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm [trois (3) couches];
 - les planchers et les plateformes aux 2^e et 4^e étages en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm [trois (3) couches].
- les revêtements combustibles seront limités aux endroits énumérés ci-dessous :
 - Jardin d'hiver :
 - les plateformes en bois lamellé-croisé (CLT) seront recouvertes d'un revêtement de finition de lattes de bois;

...4

- bibliothèque:
 - aux 1^{er}, 2^e et 3^e étage : le plafond des coursives et un secteur du plafond adjacent seront recouverts d'un revêtement de finition en lattes de pin de 25 mm x 55 mm espacés de 50 mm, la surface du plafond recouverte par de lattes de pin sera inférieure à 10 % de la surface totale du compartiment résistant au feu;
 - pour le mur de l'œuvre d'art prévu au 1^{er} étage, le matériau qui sera utilisé n'est pas encore déterminé;
 - il y aura un soufflage mural avec tablettes de bois au 1^{er} étage;
 - il y aura une finition murale combustible des cloisons au 2^e étage (moins de 5 % des surfaces de murs);
 - au sommet de l'escalier centrale (plafond au-dessus de l'atrium faisant partie des aires communicantes) le toit en platelage de bois sera apparent;
- aucun mur dans la bibliothèque du 4^e étage ainsi qu'à l'intérieur du Jardin d'hiver ne sera recouvert d'un matériau de revêtement combustible;
- les éléments en bois massif exposés auront un indice de propagation de la flamme (IPF) d'au plus 150, déterminé conformément à la norme CAN/ULC-S102, « Caractéristiques de combustion superficielle des matériaux de construction et assemblages ». Notamment :
 - le platelage de toit et les plateformes en bois lamellé-croisé (CLT) de 105 mm (3 couches) auront un indice de propagation de la flamme inférieure à 150 (environ 35);
 - les poutres et les poteaux en bois lamellé-collé (essence de bois : épinette-pin) auront un indice de propagation de la flamme inférieure à 150 (soit entre 26 et 75);
- l'ensemble des colonnes du 4^e étage de la bibliothèque sera encapsulé par des panneaux de plaque de plâtre;
- les matériaux de revêtements combustibles auront un indice de propagation de la flamme déterminé conformément à la norme CAN/ULC S102, « Caractéristiques de combustion superficielle des matériaux de construction et assemblages » et l'épaisseur d'au plus 25 mm :
 - le revêtement de finition du plafond en lattes de pin du 1^{er}, 2^e et 3^e étage aura une épaisseur d'au plus 25 mm et l'indice de propagation de la flamme d'au plus 150, la surface du plafond combustible sera limitée à 10 % de la surface totale;
 - le matériau du mur de l'œuvre d'art n'est pas encore déterminé, mais il aura l'indice de propagation de la flamme d'au plus 150 et une épaisseur d'au plus 25 mm ou sinon, il sera en matériau incombustible;
 - le revêtement mural aux étages 1 et 2 aura l'indice de propagation de la flamme d'au plus 150 et une épaisseur d'au plus 25 mm;

...5

- le Jardin d'hiver sera isolé du reste du bâtiment par des cloisons vitrées.
- les cloisons vitrées, isolant le Jardin d'hiver des étages 3 et 4, seront protégées par des gicleurs et formeront des séparations coupe-feu de 1 h;
- les cloisons vitrées, isolant le Jardin d'hiver des étages 1 et 2, seront à une distance d'au moins 2 m par rapport aux éléments combustibles situés du côté de la bibliothèque aux étages 1 et 2;
- des fenêtres ouvrantes sur batterie et reliées au système d'alarme incendie seront installées au sommet de l'escalier central comme une méthode de contrôle de la fumée pour compenser la présence de bois apparent dans cet endroit (aires communicantes);
- aucun élément en bois massif ne sera apparent dans les vides de construction;
- le platelage de bois du débord de toit sera recouvert par des panneaux de plaque de plâtre;
- l'ensemble du bâtiment sera entièrement protégé par gicleurs;
- l'équivalence de la solution proposée est démontrée par une étude comparative entre la solution acceptable (c.-à-d. configuration qui respecte les exigences réglementaires) et la solution de rechange (c.-à-d. configuration envisagée pour le bâtiment en question). Un rapport complet pour les modélisations d'incendie dans le Jardin d'hiver et la bibliothèque (4^e étage) est joint à la présente demande. Cette analyse comparative a été réalisée par les ingénieurs monsieur Marc-André Langevin et madame Kseniia Polukhina, les résultats suivants ont été obtenus :
 - les modélisations effectuées pour le Jardin d'hiver ont démontré que l'incendie de la solution de rechange, comparativement à celui de la solution acceptable, peut être caractérisé par :
 - une puissance d'incendie globale (débit calorifique) moins élevée;
 - la survenance de l'embrasement général et un début d'incendie pleinement établi plus tardifs si le foyer d'incendie se trouve au 2^e étage;
 - une propagation d'incendie plus tardive et un développement d'incendie (croissance) plus lent si le foyer d'incendie se trouve au 2^e étage;
 - la survenance de l'embrasement général et un début d'incendie pleinement établi comparables à ceux de la solution acceptable si le foyer d'incendie se trouve au 4^e étage.
 - une propagation d'incendie et un développement d'incendie (croissance) comparables à ceux de la solution acceptable si le foyer d'incendie se trouve au 4^e étage;

- les modélisations effectuées pour la bibliothèque au 4^e étage ont démontré que peu importe l'emplacement du foyer de l'incendie, l'incendie de la solution de rechange en bois massif partiellement apparent, comparativement à celui de la solution acceptable, peut être caractérisé par :
 - une puissance d'incendie globale (débit calorifique) moins élevée;
 - la survenance de l'embrasement général et un début d'incendie pleinement établi plus tardifs;
 - une propagation d'incendie plus tardive et un développement d'incendie (croissance) plus lent;
- l'étude comparative a permis de conclure que la solution de rechange proposée est toujours plus sécuritaire que la solution acceptable pour des paramètres identiques.

DÉCISION

La Régie du bâtiment du Québec accepte la proposition.

Les documents suivants font partie intégrante de la demande :

- demande de mesures équivalentes – Bibliothèque et espace culturel du Cœur-Nomade située dans les arrondissements Ahuntsic-Cartierville & Montréal-Nord à Montréal, signée le 7 mars 2023 par madame Kseniia Polukhina, ingénieure;
- complément d'information reçu de madame Kseniia Polukhina, en date du 10 juillet 2023.

Cette décision est prise sous réserve des informations contenues dans votre demande et n'est applicable que pour celle-ci. Cette décision ne doit pas être interprétée comme une approbation du projet et elle ne dispense pas le requérant d'obtenir toute autre autorisation requise par toute loi ou tout règlement, le cas échéant.

Pour tous renseignements supplémentaires concernant ce dossier, veuillez communiquer avec le soussigné par courriel à l'adresse suivante, Amar.Khif@rbq.gouv.qc.ca.

Veuillez agréer, Madame, nos meilleures salutations.



Amar Khif
Ingénieur

c.c. Mme. Geneviève Descoteaux, genevieve.descoteaux@montreal.ca