

CONSTRUIRE EN BOIS

Le journal de la construction
commerciale en bois

du **labo**
AU **CHANTIER**

Concevoir des assemblages en bois performants en situation d'incendie

Dans l'intention de concevoir plus efficacement les assemblages en construction massive en bois offrant le niveau de performance au feu requis, un projet de maîtrise a été réalisé à la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) de l'Université Laval, par Mathieu Létourneau-Gagnon, maintenant à l'emploi chez Technorm, pour évaluer la performance au feu des assemblages vissés en situation d'incendie principalement pour les bâtiments en bois de plus de six étages. Ses travaux de recherches ont été supervisés par l'ingénieur Christian Dagenais, professeur invité à l'Université Laval et scientifique leader chez FPInnovations, et par le professeur Pierre Blanchet, de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval, en collaboration avec Art massif, MTC Solutions et d'autres partenaires de la Chaire.



Le CIRCERB

La chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) de l'Université Laval est une plateforme académique multidisciplinaire et intégrée jumelée à un consortium industriel. Évoluant au sein de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval, la chaire oeuvre sur tout le réseau de création de valeur du secteur de la construction, dans le but de développer des solutions écoresponsables, qui utilisent le bois pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. Trois axes de recherche orientent son programme de recherche du CIRCERB: Concevoir, Construire et Exploiter.

La publication

Du Labo au chantier est une nouvelle publication de Cecobois qui a pour objectif la diffusion des travaux de recherche du CIRCERB. Elle vise la vulgarisation de projets réalisés par des étudiants à la maîtrise, au doctorat.



Source : Mathieu Létourneau - Gagnon

Figure 1 Carbonisation du bois soumis à de hautes températures

Les exigences contemporaines demandent que les éléments structuraux dans un bâtiment doivent fournir un degré de résistance au feu suffisant pour prévenir l'effondrement prématuré de la structure et pour offrir des moyens sécuritaires d'évacuation des occupants. Ce degré de résistance feu exigé doit être maintenu entre les éléments structuraux afin de former un ensemble de construction continu pouvant résister à la propagation des flammes pendant une durée donnée, établi selon les principes de comparaisons véhiculés dans le Code National du Bâtiment au Canada (CNBC).

« L'utilisation de matériaux combustibles amène plusieurs préoccupations quant à leur performance au feu dans le secteur de la construction. »

Dans la construction massive en bois, la légèreté des éléments structuraux massifs en bois combinée à la ductilité des attaches métalliques permet d'avoir des assemblages avantageux en réduisant le poids du cadre structural et en permettant à la structure de se déformer sans s'effondrer. En revanche, en situation d'incendie, la haute conductivité thermique de l'acier constitue un point critique de l'assemblage, car les attaches et les plaques métalliques transfèrent la chaleur à l'intérieur du bois et peuvent affaiblir localement la résistance du bois de l'assemblage. Bien que la norme des *Règles de calcul des charpentes en bois CSA O86* fournisse une méthode de conception pour estimer la résistance au feu des éléments massifs en bois de grande dimension, elle ne fournit pas encore de directive de conception pour les assemblages qui assurent la continuité du compartiment.

L'utilisation de matériaux combustibles amène plusieurs préoccupations quant à leur performance au feu dans le secteur de la construction. Lorsque le bois est exposé à des températures élevées, les composantes chimiques du bois subissent une dégradation thermique qui affecte les propriétés mécaniques du matériau et remet en cause son utilisation en situation d'incendie (Figure 1).



Figure 2 Évaluation de la performance au feu d'assemblages vissés dans la construction massive pour différentes durées d'exposition, soit après 30 minutes (à gauche), après une heure (au centre) et après deux heures (à droite).

À une exposition thermique de 100 °C, toute l'humidité libre dans le bois commence à s'évaporer, ce qui influence sa masse volumique et son comportement mécanique. Ensuite, si l'exposition thermique continue, une dégradation thermique de la matière ligneuse survient, s'accompagnant d'une perte de poids et de sa résistance mécanique jusqu'à l'atteinte d'une température d'environ 300 °C. En revanche, la formation de cette couche carbonisée à la surface exposée agit comme un isolant thermique en limitant la diffusion de la température du bois non exposé dans l'élément structural (Figure 2).

Dans les *Règles de calcul des charpentes en bois CSA O86*, plusieurs vitesses de combustion sont déjà données afin d'estimer l'épaisseur de la couche carbonisée au pourtour des faces exposées de la section initiale de l'élément massif en bois. Cependant, cette méthode ne considère pas l'interaction entre les différents matériaux qui peuvent affaiblir localement la résistance au feu de l'assemblage. Bien qu'une zone chauffée thermiquement de 35 mm sous la couche carbonisée est définie dans la norme CSA O86, la Figure 3 démontre que la présence d'éléments métalliques (c.-à-d. vis ou boulon) augmente la température interne de la section transversale en bois massif.

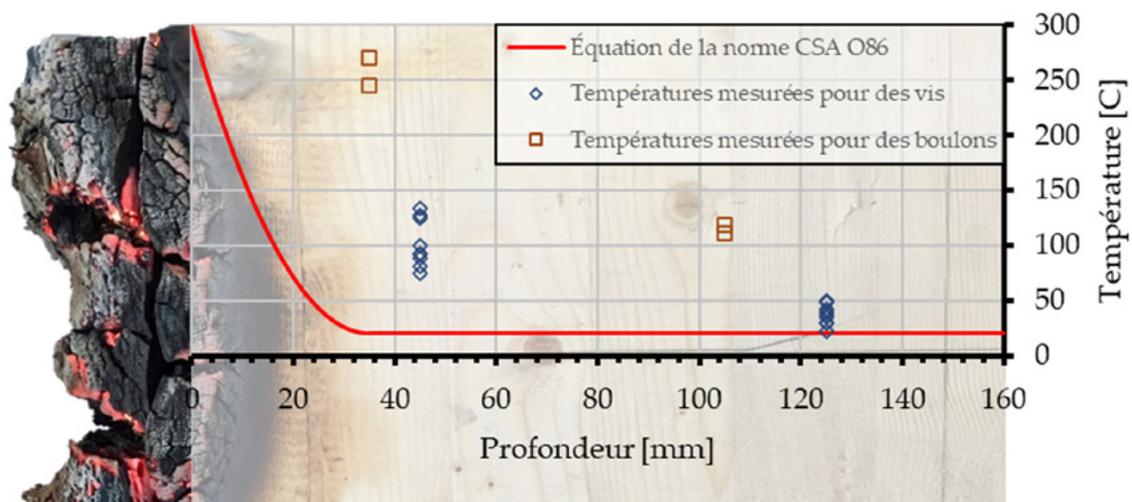


Figure 3 Distribution de la température le long d'attaches non protégées exposées après une heure à un flux radiant constant de 50 kW/m². (Source : Mathieu Létourneau-Gagnon)

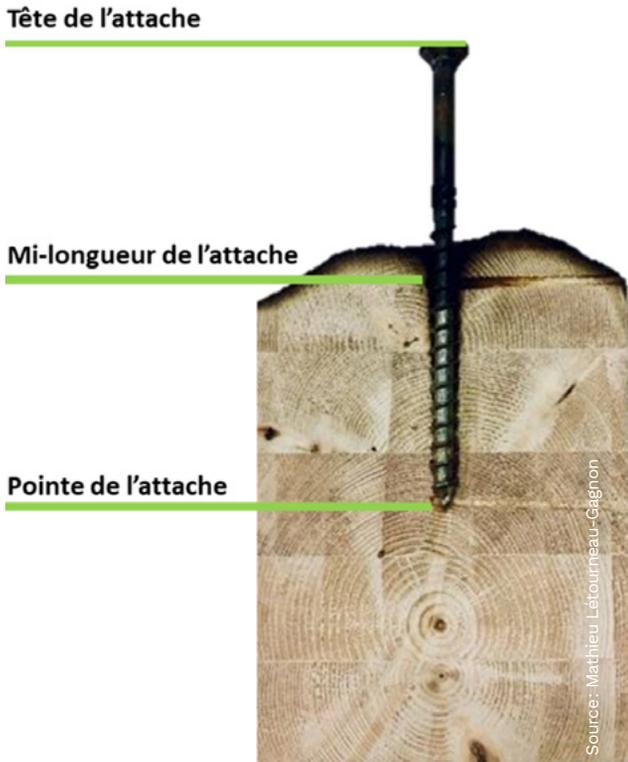


Figure 4 Positionnement des capteurs afin de mesurer le profil de température au travers de l'attache.

Afin d'évaluer le transfert de chaleur des attaches dans les assemblages en bois, des essais au feu à l'aide d'une exposition à la chaleur radiante ont été conduits sur des échantillons de bois lamellé-collé assemblés avec différentes configurations d'assemblage (voir Figure 4). Ces derniers ont ensuite été soumis à des essais d'arrachement à petite et grande échelle. Dans un second lieu, ces données expérimentales ont permis de valider un modèle thermique transitoire par la méthode des éléments finis prédisant le transfert thermique dans le cadre de l'exposition à un feu naturel ou un essai normalisé conformément à la norme CAN/ULC S101, tel qu'exigé par le CNBC. Les résultats obtenus démontrent une excellente performance au feu des vis autotaraudeuses pour les assemblages dans la construction massive en bois à la suite d'une exposition au feu de longue durée (voir Figure 5). Étant généralement de plus petit diamètre et plus élancées que les boulons et les goujons, les vis limitent le transfert thermique le long de la section transversale en bois et maintiennent la température à la pointe en dessous de 100 °C pour une vis autotaraudeuse d'un diamètre de 12 mm durant deux heures d'exposition, tandis qu'une température à la pointe d'environ de 165 °C est observée pour un boulon d'un diamètre de 15,9 mm.

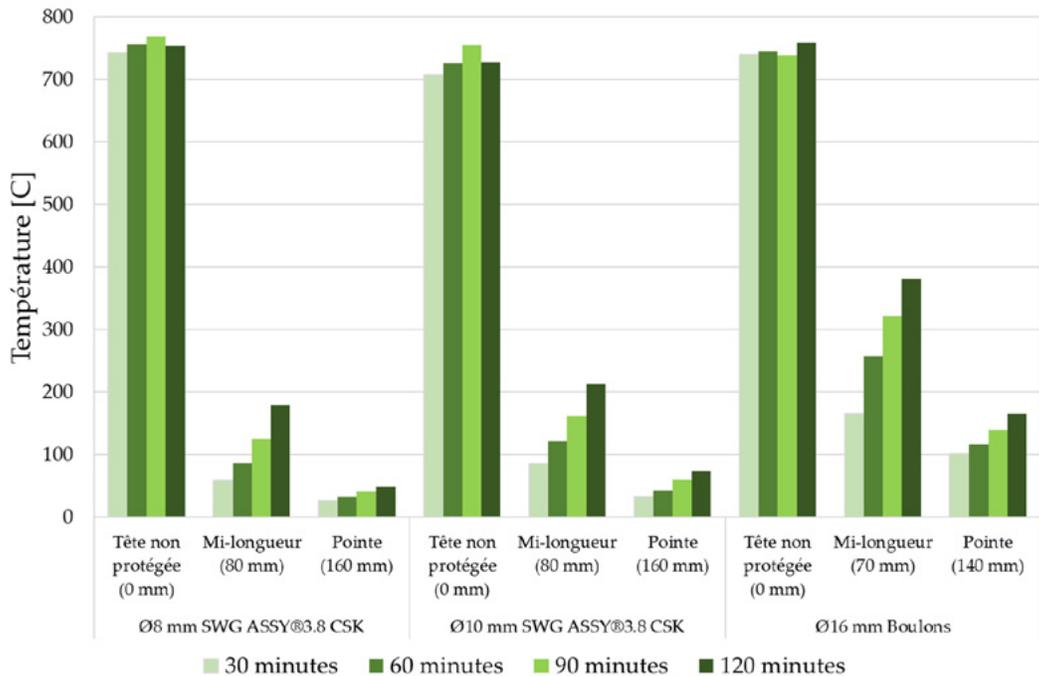


Figure 5 Températures mesurées d'attaches non protégées à un flux radiant constant de 50 kW/m². (Source : Mathieu Létourneau-Gagnon)



Figure 6 Le transfert de chaleur d'attache non protégée à l'intérieur d'une section en bois massif de lamellé-collé après deux heures exposition; a) un boulon Ø 15.9x140 mm et b) une SWG ASSY® 3.8 CSK Ø10x160mm. (Source : Mathieu Létourneau-Gagnon)

Lorsqu'il brûle, le bois carbonise en surface, protégeant les couches sous-jacentes de la chaleur. Cependant, la présence de l'acier augmente la température ambiante à l'intérieur du bois et carbonise le bois qui entraîne une réduction localisée de la résistance et de la rigidité du bois comme montré à la Figure 6. Les résultats obtenus démontrent ainsi que le transfert de chaleur à l'intérieur de la tige d'attache augmente selon la quantité de surface d'acier exposée. Par exemple, la combinaison de l'effet isolant du bois massif et les géométries favorables des éléments métalliques démontre que les vis autotaraudeuses ont une meilleure performance au feu que les attaches de type boulon, en maintenant une température le long de l'attache relativement faible.

Principalement influencés par la réduction de la résistance du bois à des températures élevées, les résultats obtenus visent aussi à prédire les profils de température le long de l'attache non protégée avec l'influence de la zone du bois chauffée thermiquement qui fournira la résistance résultante de l'assemblage. Une nouvelle méthode de conception proposée vise à considérer à la fois la vitesse de combustion des surfaces de bois exposées déjà prédéfinie dans les normes contemporaines, mais également, de l'interaction entre l'élément métallique et l'effet isolant du bois massif transférant les efforts à l'attache, soit une longueur de pénétration résiduelle de l'attache qui fournira la résistance résultante adéquate. Cette longueur de pénétration résiduelle peut être définie comme la longueur de pénétration initiale filetée de l'attache dans l'élément en

bois, réduite par la longueur filetée carbonisée n'ayant plus la résistance adéquate du bois comme montré à la Figure 7. Avec un point d'évaporation de l'eau libre présente dans le bois à environ 100 °C, plusieurs recherches recommandent que cette température ne doit pas être atteinte dans le bois afin que les fibres

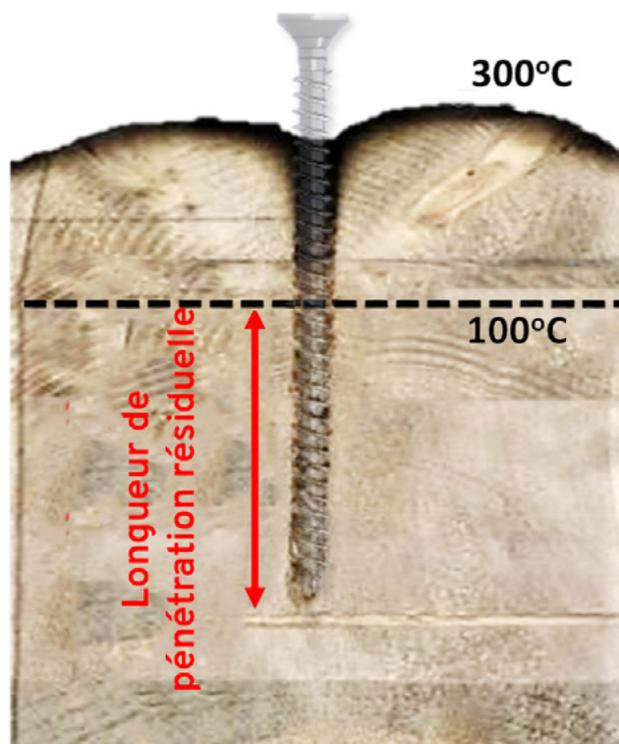


Figure 7 Nouvelle méthode de calcul afin de déterminer la longueur de pénétration résiduelle de l'attache non protégée sous une longue exposition au feu. (Source : Mathieu Létourneau-Gagnon)

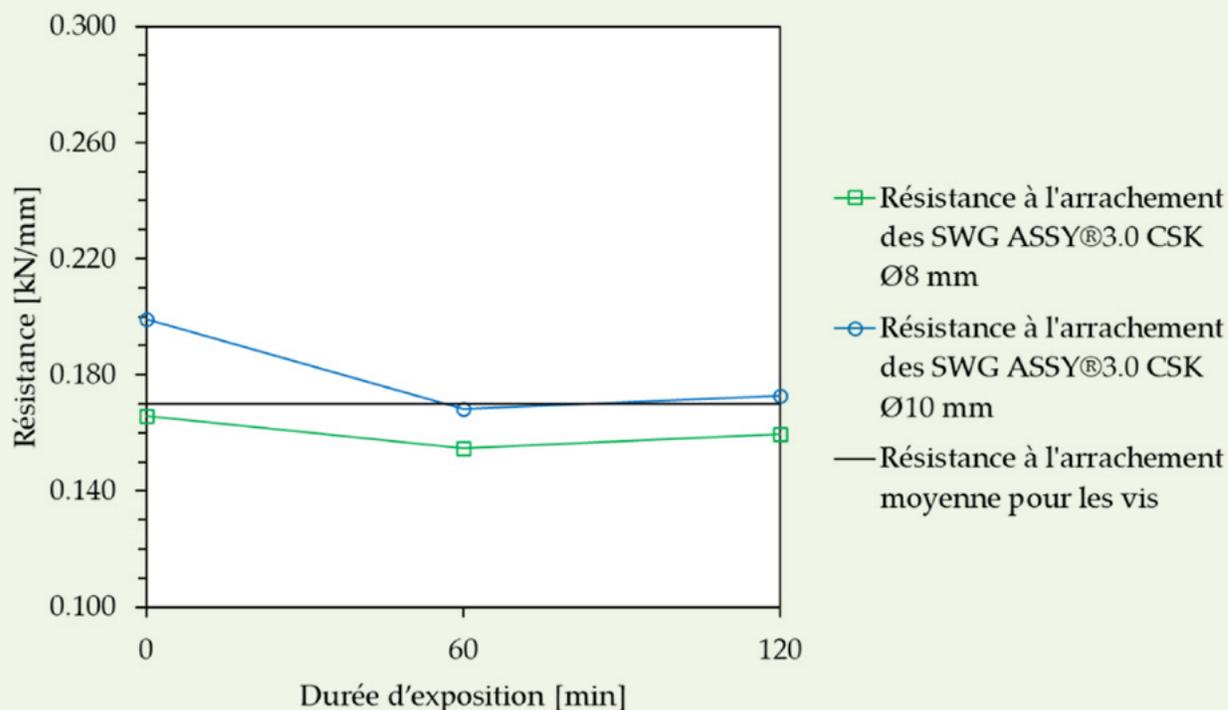


Figure 8 Résistance à l'arrachement de vis autotaraudeuses en condition ambiante et incendie avec la tête non protégée. (Source : Mathieu Létourneau-Gagnon)

de bois puissent avoir une résistance résiduelle suffisante. Ainsi, la longueur de pénétration résiduelle peut être estimée à partir de la longueur de pénétration filetée des vis autotaraudeuses située sous les 100 °C à l'intérieur de l'élément en bois massif.

Dans l'intention de démontrer l'approche proposée dans le cadre d'une longue exposition au feu, le calcul d'une longueur de pénétration résiduelle de l'attache peut être estimé à partir des essais thermiques et des essais d'arrachement réalisés dans la présente étude. Avec des vitesses de combustion moyenne de 0,58 mm/min et 0,52 mm/min pour une et deux heures d'exposition des vis autotaraudeuses, la longueur de pénétration résiduelle peut être estimée à partir d'équations développées prédisant le profil de température des attaches insérées dans l'élément structural en bois en lamellé-collé avec une tête exposée initialement non protégée et exposées à un flux de chaleur constant d'un côté, soit :

$$\theta(x) = 20 + 370 \left(\frac{\beta t}{x} \right)^\alpha$$

$$\alpha(t) = 0.01t + 1.4$$

Où θ est la température en °C en fonction de la profondeur x , β est la vitesse de combustion en mm/min, t est le temps en min, et x est la profondeur mesurée à partir de la surface de la section transversale en mm.

Ainsi, la longueur résiduelle de pénétration des vis autotaraudeuses correspond à la longueur initiale de 160 mm soustraite de 75 mm et de 112 mm calculés avec les équations pendant une et deux heures, respectivement. Pour évaluer la performance au feu des vis autotaraudeuses en fonction du temps d'exposition au feu, la résistance à l'arrachement par unité de longueur peut être calculée de nouveau avec la capacité de chargement maximal obtenue dans les essais, divisée par la longueur résiduelle estimée de pénétration, comme illustré à la Figure 8.



« (...) le calcul d'une longueur de pénétration résiduelle de l'attache peut être estimé afin de mieux prédire la résistance au feu des assemblages massives en bois (...) »

Lors du maintien d'une capacité structurale adéquate des fibres du bois à une température maximum de 100 °C, la capacité des vis autotaraudeuses a été peu influencée par une augmentation de la durée d'exposition (voir Figure 8). La méthode de conception présentée ici permet de calculer la résistance résiduelle

des vis autotaraudeuses non protégées exposées au feu jusqu'à deux heures pour des assemblages dans les constructions massives en bois.

En tenant compte de la réduction de la résistance du bois à l'intérieur de la section en bois massif, le calcul d'une longueur de pénétration résiduelle de l'attache peut être estimé afin de mieux prédire la résistance au feu des assemblages dans les constructions massives en bois pendant une longue durée d'exposition. D'autres travaux devraient être menés avec l'utilisation de vis autotaraudeuses puisque les résultats démontrent que ce type d'attache limite l'augmentation de température du noyau interne de la composante structurale en bois en l'empêchant potentiellement d'être affectée thermiquement à la suite d'une longue exposition, tel qu'exigé pour les bâtiments en bois de plus de six étages.

Partenaires du CIRCERB



Partenaires majeurs Cecobois

