

RAPPORT D'ENQUÊTE**EN004314**

Accident ayant causé la mort du propriétaire ainsi que des blessures à un travailleur de l'entreprise [REDACTED] sur un chantier de construction, situé au 2150, rue Mackay, à Québec, le 12 août 2020.

**Service de la prévention-inspection de la Capitale-Nationale
Direction de la prévention-inspection Capitale-Nationale et Centre-Nord**

Version dépersonnalisée

Inspecteurs :

_____ **Stéphanie Deschamps**

_____ **Étienne Girardin, CRIA**

Date du rapport : 22 juin 2021

Rapport distribué à :

- M. A [REDACTED], CSN-Construction;
- M. B [REDACTED], CSD-Construction;
- M. C [REDACTED], Syndicat québécois de la construction (SQC);
- M. D [REDACTED], FTQ-Construction;
- M. E [REDACTED], conseil provincial du Québec des métiers de la construction (International);
- Docteur Jean-Marc Picard, coroner;
- Docteur André Dontigny, directeur régional de santé publique, CIUSSS de la Capitale-Nationale;

TABLE DES MATIÈRES

1	RÉSUMÉ DU RAPPORT	1
2	ORGANISATION DU TRAVAIL	3
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DU CHANTIER	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	3
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	3
3	DESCRIPTION DU TRAVAIL	4
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	4
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	6
4	ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE	8
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	8
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	9
4.2.1	CONFIGURATION DES LIEUX ET HAUTEUR DE CHUTE	9
4.2.2	MADRIERS EN BOIS D'ŒUVRE ACHETÉS POUR CE CHANTIER	10
4.2.3	CLASSIFICATION DU BOIS D'ŒUVRE	10
4.2.4	EXPOSITION DES MADRIERS AUX INTEMPÉRIES	11
4.2.5	AUTRES MADRIERS DISPONIBLES SUR LE CHANTIER	12
4.2.6	RÈGLES CONCERNANT LES PLANCHERS D'ÉCHAFAUDAGE FAITS DE MADRIERS EN BOIS D'ŒUVRE	13
4.2.7	INSPECTION ET ENTREPOSAGE DES MADRIERS	14
4.2.8	AUTRES TYPES DE PLANCHERS (OU PLATES-FORMES) POUR LES ÉCHAFAUDAGES	15
4.2.9	ANALYSE DE SDM CONSULTANTS	16
4.2.10	CHARGE SUR LE MADRIER LORS DE L'ACCIDENT	18
4.2.11	CAPACITÉ DES MADRIERS LORS DE L'ACCIDENT	18
4.2.12	PROGRAMME DE PRÉVENTION DE [REDACTED]	18
4.2.13	LOI SUR LA SANTÉ ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL (LSST)	19
4.2.14	EXPÉRIENCE DU PROPRIÉTAIRE ET DU TRAVAILLEUR	19
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	20
4.3.1	LES MADRIERS UTILISÉS COMME PLANCHER D'ÉCHAFAUDAGE N'ONT PAS UNE RÉSISTANCE SUFFISANTE ET CÈDENT SOUS LE POIDS DU PROPRIÉTAIRE ET DU TRAVAILLEUR, CE QUI ENTRAÎNE LEUR CHUTE D'UNE HAUTEUR 5,73 MÈTRES AU SOL.	20
4.3.2	LA PLANIFICATION DES TRAVAUX DE MAÇONNERIE EN HAUTEUR COMPORTE DES LACUNES MENANT À L'UTILISATION DE MADRIERS NON CONFORMES COMME PLANCHER D'ÉCHAFAUDAGE.	20
5	CONCLUSION	23
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	23
5.2	SUIVI DE L'ENQUÊTE	23

ANNEXES

ANNEXE A :	Liste des accidentés	24
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	25
ANNEXE C :	Rapport d'expertise	26
ANNEXE D :	Relevé météorologique 12 août 2020	61
ANNEXE E :	Relevé météorologique 11 août 2020	62
ANNEXE F :	Références bibliographiques	63

SECTION 1**1 RÉSUMÉ DU RAPPORT****Description de l'accident**

Le 12 août 2020 vers 16h15, sur un chantier de construction situé au 2150, rue Mackay, à Québec, un propriétaire d'entreprise et son travailleur, œuvrant dans un échafaudage, chutent d'une hauteur de 5,73 mètres après que les deux madriers sur lesquels ils prenaient place se soient rompus.

Conséquences

Le propriétaire décède et le travailleur subit des blessures.



Figure 1 – Lieu de l'accident
Source : CNESST

Abrégé des causes

- Les madriers utilisés comme plancher d'échafaudage n'ont pas une résistance suffisante et cèdent sous le poids du propriétaire et du travailleur, ce qui entraîne leur chute d'une hauteur 5,73 mètres au sol.
- La planification des travaux de maçonnerie en hauteur comporte des lacunes menant à l'utilisation de madriers non conformes comme plancher d'échafaudage.

Mesures correctives

- Dans le rapport RAP1315376, la CNESST interdit la modification, le démontage ainsi que l'utilisation de l'échafaudage à cadre métallique en cause dans l'accident. Le scellé #E63591 y est apposé. Il est exigé que le démontage soit exécuté sous la surveillance et le contrôle d'une personne qualifiée conformément à l'article 3.9.4.1 du Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC). De plus, l'utilisation d'un plancher conforme est exigée lors du démontage de l'échafaudage.
- Dans le rapport RAP1325020, le 4 novembre 2020, la CNESST autorise la modification, le démontage ainsi que l'utilisation de l'échafaudage à cadre métallique et le scellé #E63591 est retiré. L'inspection complète de l'échafaudage a été effectuée par une personne qualifiée. Le plancher de travail utilisé est conforme et sécuritaire.

Le présent résumé n'a pas de valeur légale et ne tient lieu ni de rapport d'enquête ni d'avis de correction ou de toute autre décision de l'inspecteur. Il constitue un aide-mémoire identifiant les éléments d'une situation dangereuse et les mesures correctives à apporter pour éviter la répétition de l'accident. Il peut également servir d'outil de diffusion dans votre milieu de travail.

SECTION 2**2 ORGANISATION DU TRAVAIL****2.1 Structure générale du chantier**

Le propriétaire du bâtiment, Gilbert Immobilier inc., octroie à l'entreprise [REDACTED] (ci-après nommé [REDACTED]) le mandat d'effectuer quelques travaux de réfection de la maçonnerie sur le bâtiment Lauréat I, situé au 2150, rue Mackay à Québec. [REDACTED] effectue régulièrement des travaux de maçonnerie sur les différents immeubles locatifs appartenant à Gilbert Immobilier inc..

[REDACTED] est une entreprise de construction spécialisée dans les travaux de maçonnerie et de briquetage. L'entreprise emploie [REDACTED] travailleur et opère trois saisons par année. Le propriétaire, également briqueteur-maçon, planifie les travaux de maçonnerie sur les chantiers, supervise directement le travailleur et participe à la réalisation des travaux. Le propriétaire et le travailleur œuvrent ensemble sur les différents chantiers de construction.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail**2.2.1 Mécanismes de participation**

L'entreprise ne possède pas de mécanisme de participation tel qu'un comité de santé et sécurité au travail. Les questions et discussions en santé et sécurité du travail sont abordées directement entre le propriétaire et le travailleur lorsqu'elles se présentent.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

L'entreprise possède un programme de prévention. Ce dernier est mis à jour annuellement, conjointement avec [REDACTED] à laquelle l'entreprise adhère. Les risques spécifiques aux travaux de maçonnerie y sont identifiés ainsi que les mesures de prévention à appliquer. Les règles générales de sécurité, les consignes concernant l'utilisation d'échafaudage, le travail en hauteur, les équipements de protection individuelle, ainsi que des procédures de travail sécuritaire sont abordés. Le programme de prévention contient également plusieurs outils afin que l'employeur puisse s'assurer de la conformité et de la sécurité de ces chantiers, notamment lors de la planification des travaux. Un conseiller en prévention [REDACTED] visite les chantiers de l'entreprise une à deux fois par année. Il effectue une inspection et sensibilise les parties à la gestion de la santé et sécurité du travail.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le lieu de travail est un chantier de construction situé au 2150, rue MacKay à Québec. Le chantier est localisé à l'arrière de l'immeuble locatif de 4 étages. La façade où s'effectuent les travaux est orientée vers l'ouest.



Figure 2 – Lieu de travail
Source : Google Maps, modifiée CNESST

Le bâtiment est de forme irrégulière et sa configuration présente trois décrochements, soient des parties de façade en retrait. Les travaux de briquetage s'effectuent sur le mur du fond dans le décrochement de l'entrée arrière du bâtiment.

Les dimensions du décrochement à l'arrière du bâtiment sont les suivantes :

- Longueur du mur du fond : 2,48 m;
- Largeur du mur latéral côté nord : 1,67 m;
- Hauteur totale du bâtiment : 11,30 m;

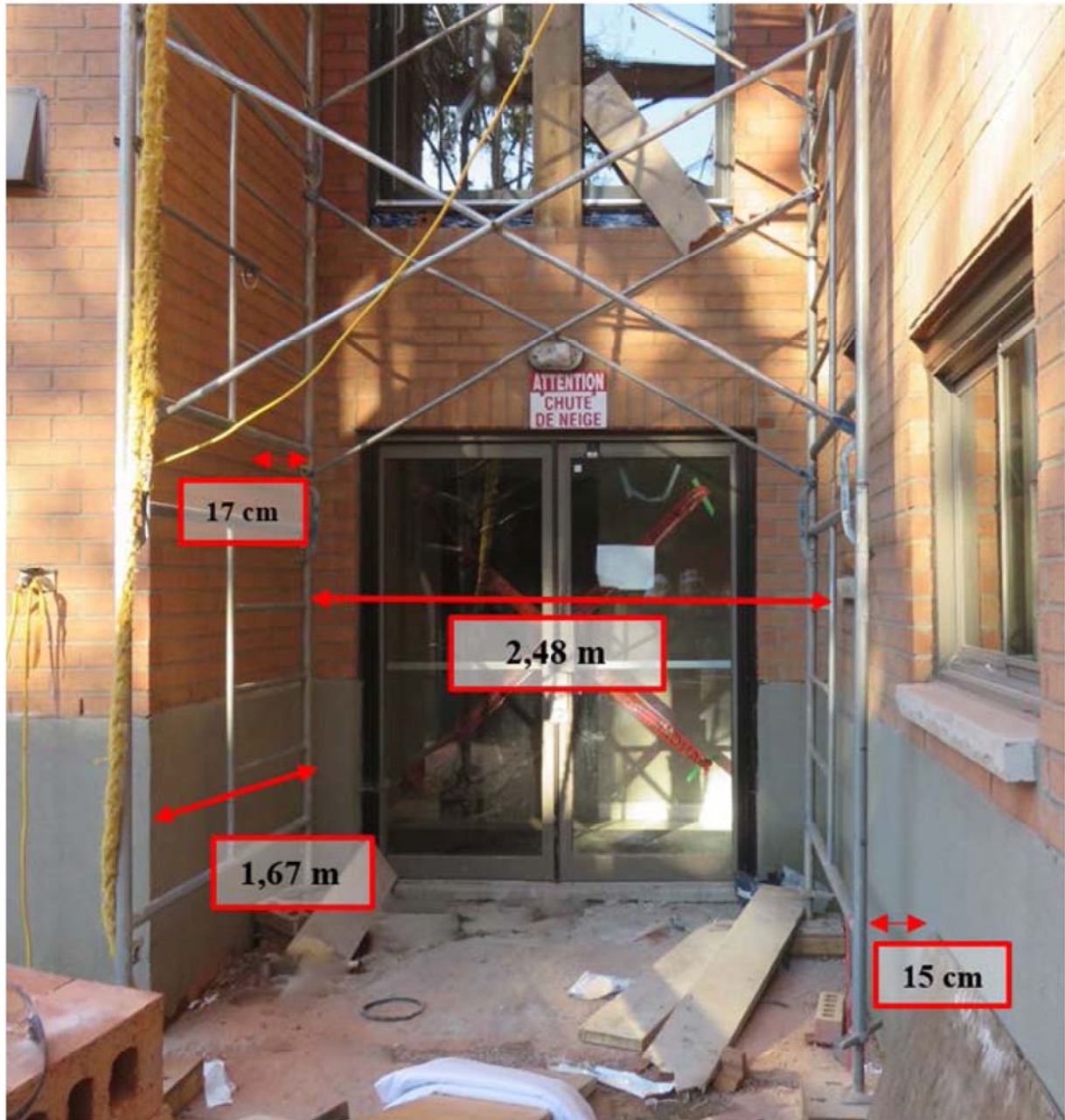


Figure 3 – Zone des travaux dans le décrochement
Source : CNESST

Selon Environnement Canada, le 12 août 2020 à 16h00, le temps est généralement ensoleillé, la température est de 27°C et le vent souffle à 16 km/h.

3.2 Description du travail à effectuer

À la suite d'infiltrations d'eau, le mur de brique est à refaire. Pour réaliser les travaux, un échafaudage doit être érigé, la brique doit être démontée, puis le mur doit être briqueté.

L'échafaudage est installé entre les deux murs latéraux du décrochement. Les sections d'échafaudage ont 2,15 mètres (7 pieds) de longueur par 1,5 mètre (5 pieds) de largeur et 1,5 mètre (5 pieds) de hauteur. Il y a 7 sections au total. Il y a un dégagement de 17 cm entre le mur nord et le côté de l'échafaudage et de 15 cm entre le mur sud et l'autre côté de l'échafaudage (figure 3).

Afin de positionner le plancher de travail près du mur à briqueter, des consoles d'échafaudage (équerres) sont installées sur l'échafaudage (figure 4). Les consoles sont positionnées en porte-à-faux entre l'échafaudage et le mur à briqueter. Deux madriers en bois d'œuvre sont déposés sur les consoles et forment le plancher de travail. Ces consoles et les madriers sont déplacés au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

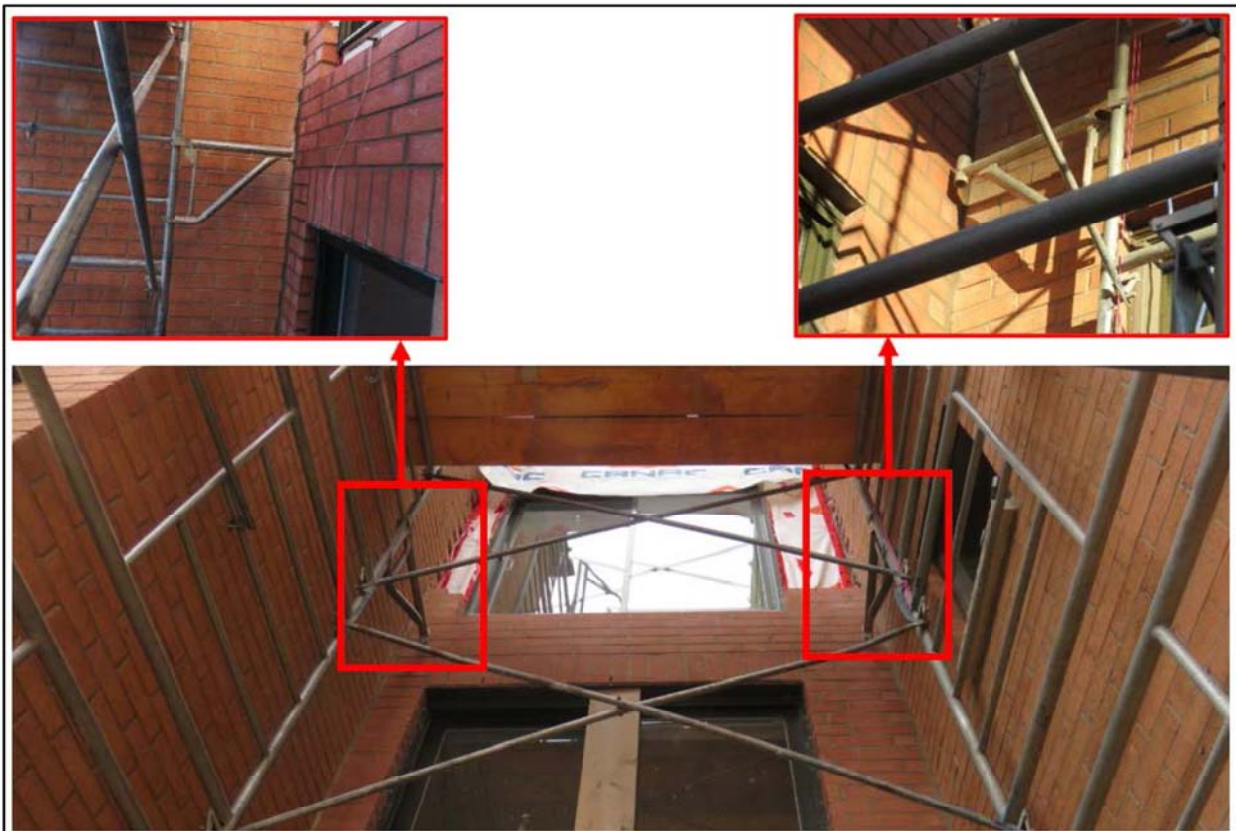


Figure 4 – Échafaudage et consoles
Source : CNESST

Les madriers utilisés sont du groupe d'essence nommé épinette – pin – sapin identifié par le sigle français E-P-S ou par le sigle anglais S-P-F pour *spruce – pine – fir*. Ils sont certifiés par l'organisme National Lumber Grades Authority (NLGA)¹ et classés dans la catégorie n°2.



Figure 5 – Estampillage des madriers
Source : CNESST

Les madriers ont les dimensions suivantes :

- Longueur : 2,43 m (7,95 pieds)
- Largeur : 235 mm (9,25 pouces)
- Hauteur : 38 mm (1,49 pouce)
- Distance entre les points appuis sur console : 2,15 m



Figure 6 – Madriers utilisés comme plancher de travail
Source : CNESST

¹ En français, la NLGA se nomme : Commission nationale de classification des sciages.

SECTION 4**4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE****4.1 Chronologie de l'accident**

En juillet 2020, le propriétaire et le travailleur érigent l'échafaudage et effectuent le démontage de la brique sur le chantier. Les travaux sont interrompus entre la mi-juillet et le 12 août 2020. Durant cette période l'échafaudage et les madriers sont laissés sur place.

Le 12 août 2020, le propriétaire et le travailleur arrivent sur le chantier vers 7 h 30 et commencent les travaux de briquetage du mur. Le briquetage s'effectue progressivement du bas vers le haut, une rangée à la fois. Le propriétaire et le travailleur prennent place chacun à une extrémité du même madrier et se rejoignent au centre du plancher de travail lorsque la rangée est complétée. Ainsi, les étapes se succèdent et se répètent : préparation du mortier, manutention du matériel et des outils, mise en place de la brique, déplacement du plancher et des tables de travail, etc. Ils prennent une pause en avant-midi et un diner de trente minutes vers midi. Ils déplacent le plancher de travail, en montant les consoles et les madriers, environ trois fois durant la journée.

Vers 16 h 00, le travailleur descend au sol et prépare le dernier contenant de mortier qui sera utilisé. Le propriétaire reste dans l'échafaudage et continue le briquetage. Une fois le mélange du mortier complété, le travailleur monte le contenant à l'aide du système de poulie et celui-ci est déposé sur la table de travail située derrière leur plancher. Le travailleur remonte dans l'échafaudage et rejoint le propriétaire pour continuer la pose de la brique. Il s'installe à la droite du propriétaire sur le madrier le plus près du mur. Alors qu'ils sont positionnés vers le centre du madrier afin de poser les dernières briques de la rangée, le madrier, sur lequel ils se tiennent, casse. Le deuxième madrier cède à son tour et les deux briqueteurs-maçons chutent au sol d'une hauteur de 5,73 m. Les services d'urgence sont contactés, les deux travailleurs sont conduits à l'hôpital.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Configuration des lieux et hauteur de chute

Lors de l'accident, le propriétaire et le travailleur sont positionnés sur un plancher de travail constitué de madriers en bois d'œuvre déposés sur deux consoles d'échafaudage. Le propriétaire se positionne à gauche et le travailleur à droite.

Les consoles sont placées à une hauteur de 5,73 m (18,8 pieds). Derrière les travailleurs, dans l'échafaudage, d'autres madriers sont installés et forment un plancher de travail plein. Ce plancher est utilisé pour déposer les outils et les matériaux nécessaires à l'exécution des travaux. Ce plancher est environ 0,65 m plus haut que le plancher installé sur les consoles, ce qui contrôle le danger de chute pour les travailleurs qui s'y trouvent.

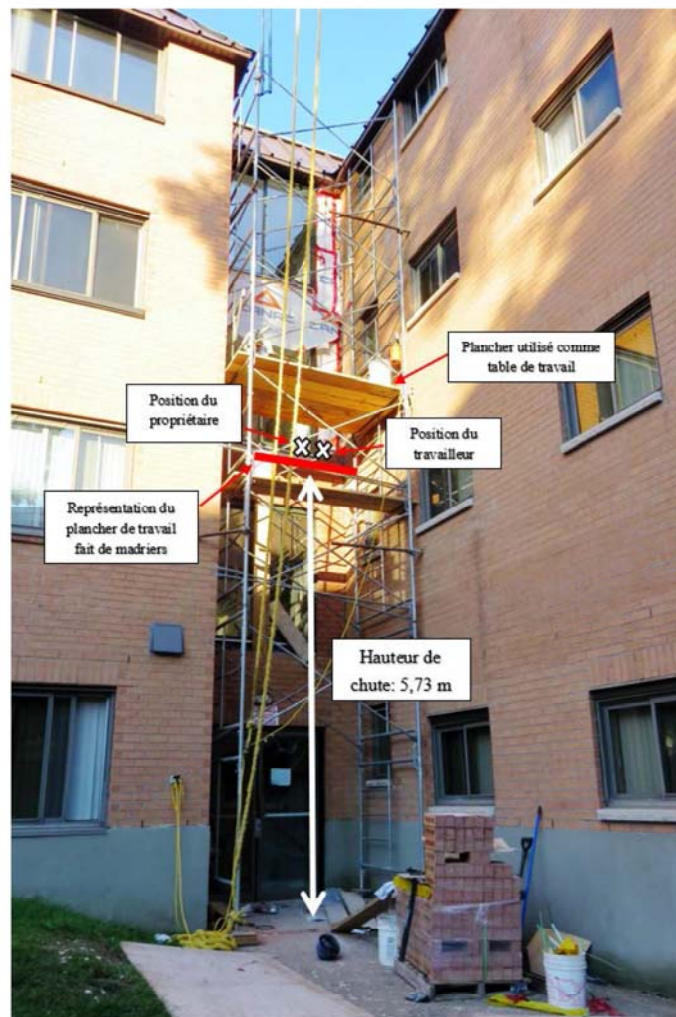


Figure 7 – Position de travail sur les madriers dans l'échafaudage
Source : CNESST

4.2.2 Madriers en bois d'œuvre achetés pour ce chantier

Les madriers en bois d'œuvre de catégorie n°2, de 38 mm par 235 mm, ont été achetés par le propriétaire spécifiquement pour ce chantier de construction afin de tenir compte de la configuration des lieux. Ces madriers ne sont pas certifiés selon la norme CSA S269.2-M-87 : *Échafaudages*. Les madriers d'échafaudage utilisés habituellement par l'employeur sont trop courts ou trop longs pour être installés dans le décrochement.

Les deux madriers en cause ont été sélectionnés par le propriétaire parmi les autres madriers en bois d'œuvre achetés pour ce chantier, puisqu'ils présentaient moins de défauts.

Sur un des madriers, un nœud d'une dimension d'environ 40 mm de diamètre est adjacent au plan de rupture. Selon SDM consultants S.E.N.C. (ci-après appelé SDM consultants), ce madrier présente « *une faiblesse importante* » et « *ce nœud [diminue] la section efficace du madrier [...] [réduisant] sa capacité portante* ».



Figure 8 – Nœud près du plan de rupture
Source : SDM consultants (modifiée CNESST)

4.2.3 Classification du bois d'œuvre

« Au Canada [la] NLGA est l'organisme responsable de rédiger et appliquer les règles de classification du bois d'œuvre canadien. Le bois d'œuvre est classifié selon les exigences de la norme CSA-O141 : *Bois débité résineux* »². La classification (mécanique ou visuelle) permet de déterminer la qualité et la résistance d'une pièce. La déviation du fil dans le bois, la dimension et l'emplacement des défauts (nœuds, trous, fentes, gerces, etc.), le gauchissement et les défauts de fabrication sont des caractéristiques prises en compte lors de la classification visuelle du bois. Ainsi, une pièce de bois de catégorie n°1 présentera moins de défauts qu'une pièce de catégorie n°2.

La NLGA précise que la présence de nœuds, selon leur emplacement et leur dimension, influence la résistance de la pièce de bois.

² Cecobois. *Bois d'œuvre*. <https://cecobois.com/produits/produits-structuraux/bois-doeuvre/>

4.2.4 Exposition des madriers aux intempéries

Selon l'information obtenue, ce sont toujours les deux mêmes madriers qui sont déplacés et utilisés comme plancher de travail.

Les madriers sont exposés aux intempéries entre la mi-juillet 2020 et le 12 août 2020 alors que les travaux sont arrêtés. Le 11 août 2020, entre 18h00 et 22h00, il tombe 22 mm de pluie (annexe E). De plus, la configuration du bâtiment et la pente en bordure du toit font converger l'écoulement de la pluie vers l'échafaudage.



Figure 9 – Configuration du toit dans le décrochement
Source: Google Earth et CNESST

4.2.5 Autres madriers disponibles sur le chantier

Sur le chantier, dans la remorque de l'entreprise, des madriers lamellés³ et estampillés CSA sont disponibles.



Figure 10 – Madriers lamellés disponibles sur le chantier
Source : CNESST

Ces madriers ont les dimensions suivantes : 50 mm x 254 mm x 3,7 m (12 pieds). Ils sont plus haut de 12 mm que les madriers utilisés lors de l'accident.



Figure 11 – Madrier en bois d'œuvre de catégorie n°2 et madrier lamellé certifié CSA
Source : CNESST

³ Madriers lamellés : Ces madriers sont des produits manufacturés faits de lamelles de bois collés. Ces madriers doivent être testés et estampillés selon la norme CSA S269.2-M-87 *Échafaudages*. Ils sont aussi appelés « lamellés-collés » ou « laminés ».

Afin d'utiliser les madriers lamellés disponibles sur le chantier, il aurait fallu les couper pour qu'ils entrent dans le décrochement du bâtiment.

Selon les informations obtenues, un autre chantier de construction de [REDACTED] allait débuter prochainement. Pour ce chantier, tous les madriers lamellés de 3,7 m (12 pieds) allaient être utilisés.

4.2.6 Règles concernant les planchers d'échafaudage faits de madriers en bois d'œuvre

Le *Code de sécurité pour les travaux de construction*, la norme canadienne CSA-Z797-18 : *Règles d'utilisation des échafaudages d'accès* et des publications de la CNESST⁴ énoncent les règles d'utilisation des planchers de travail d'un échafaudage constitués de madriers en bois d'œuvre. Selon ces références, les madriers en bois d'œuvre utilisés comme plancher d'échafaudage doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- Avoir des dimensions minimales de 50 mm sur 250 mm (2 pouces sur 10 pouces);
- être estampillés de catégorie n°1 (qualité équivalente à celle de l'épinette de catégorie n°1) par un organisme accrédité par la Commission canadienne de normalisation du bois d'œuvre;
- être testés et estampillés conformément à la section 11 de la norme CSA-S269.2-M87 : *Échafaudages* lorsque la portée excède 2,1 mètres;
- présenter une déflexion maximale au centre de la portée qui ne dépasse pas $L/80$, « L » étant la distance entre les deux points d'appui.

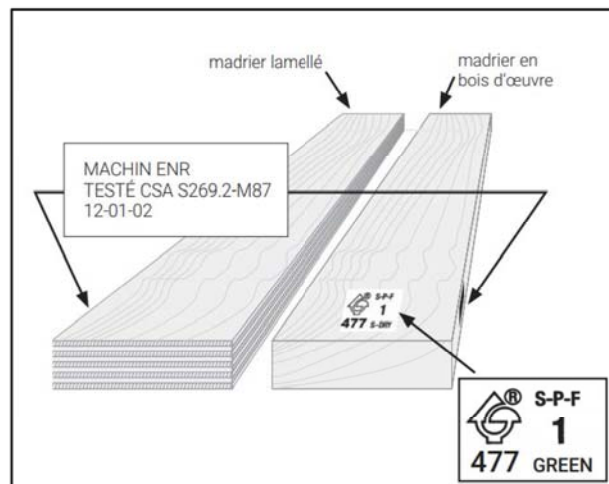


Figure 12 – Marquage sur madrier lamellé et en bois d'œuvre
Source : CNESST

⁴ CNESST. *Guide d'installation et d'utilisation des échafaudages. Composant : Planchers.*

4.2.7 Inspection et entreposage des madriers

Les madriers doivent être inspectés visuellement avant leur utilisation afin de déceler les altérations qui pourraient compromettre leur solidité. Selon la norme CSA-Z797-18 : *Règles d'utilisation des échafaudages d'accès*, et également selon le guide de la CNESST, *L'inspection des madriers d'échafaudage en bois d'œuvre*, le marquage sur les madriers en bois d'œuvre doit être vérifié afin d'obtenir de l'information sur la qualité du bois et sa certification.

De plus, les madriers doivent être inspectés régulièrement afin de déceler les défauts importants qui peuvent compromettre leur résistance. La présence de nœuds, fentes, gerces, roulures, voilement, arc, cambrure, trait de scie, flache, pourriture, etc. est à vérifier.

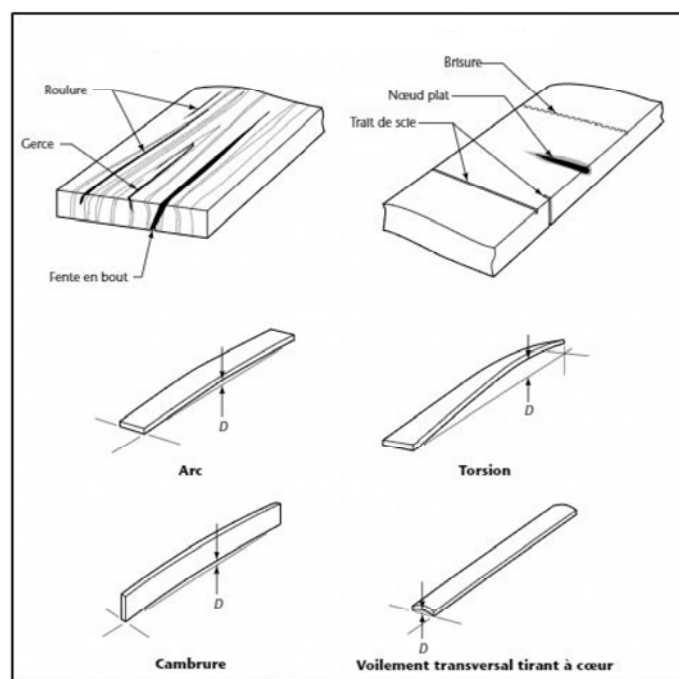


Figure 13 – Défauts dans les madriers
Source : Groupe CSA

Ainsi, les madriers en bois d'œuvre de 50 mm sur 250 mm qui présentent des nœuds lâches ou vicieux de plus de 38 mm de diamètre ou des nœuds entremêlés ou encastrés de 50 mm de diamètres doivent être retirés du service.

La norme CSA suggère une règle simple à mettre en application lors de l'évaluation des madriers d'échafaudage, soit : « Dans le doute, jeter le madrier »⁵.

Concernant l'entreposage des madriers, la norme indique que les conditions humides doivent être évitées et qu'autant que possible ceux-ci devraient être entreposés au sec, notamment en se servant de toile de protection si nécessaire.

⁵CAN/CSA-Z797-18 : *Règles d'utilisation des échafaudages d'accès*

4.2.8 Autres types de planchers (ou plates-formes) pour les échafaudages

En plus des madriers en bois d'œuvre, il existe d'autres types de composants qui peuvent constituer des planchers d'échafaudages. Les madriers peuvent être faits de produits manufacturés, tels que le bois lamellé (ceux disponibles sur le chantier) et l'aluminium. Il peut également s'agir d'une plate-forme en composites. L'utilisation de ces composants est encadrée par la réglementation et les normes.

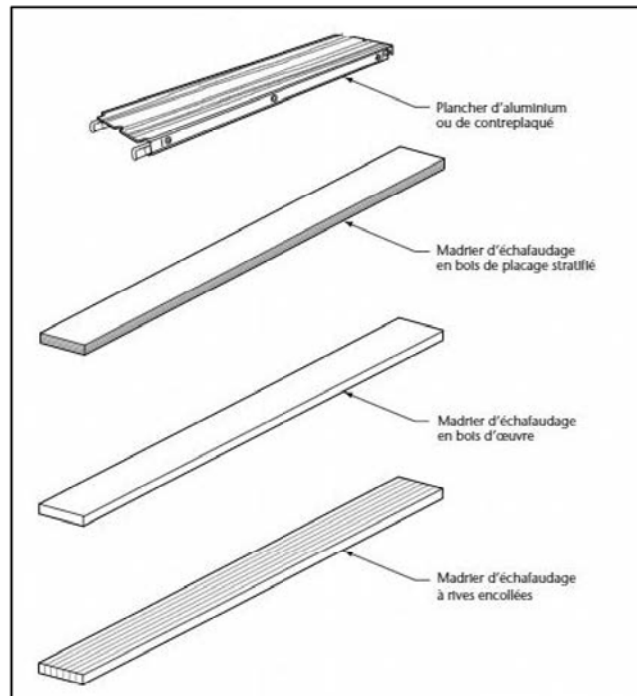


Figure 14 – Exemple de plancher d'échafaudage
Source : Groupe CSA

Ainsi, pour assurer la reprise des travaux sécuritairement sur le chantier, une plate-forme en contreplaqué avec un cadre en métal (conforme à la norme CSA S269.2) a été utilisée (figure 15).

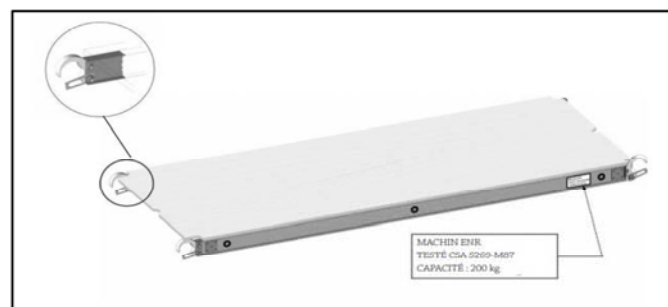


Figure 15 – Exemple de plancher d'échafaudage
Source : CNESST

4.2.9 Analyse de SDM consultants

La CNESST a confié un mandat d'expertise technique à la firme SDM consultants. L'expertise a permis de préciser les propriétés et les valeurs de références pour trois types de madriers et de les comparer :

- Madrier en bois d'œuvre tel qu'utilisé lors de l'accident (38 mm sur 235 mm);
- Madrier en bois d'œuvre de catégorie n°1 (50 mm sur 250 mm);
- Madrier lamellé.

L'expertise se divise en trois analyses, la première identifie les propriétés théoriques des trois types de madriers, la deuxième présente les efforts réels dans les madriers lors de l'accident et la dernière analyse les trois types de madriers en fonction des efforts théoriques prévus dans la norme CSA Z797 : *Règles d'utilisation des échafaudages d'accès*.

4.2.9.1 Propriétés théoriques des trois types de madriers

- Un madrier de 38 mm sur 235 mm, en condition humide, a une capacité de charge⁶ de 113 kg (250 lb). En milieu sec, il a une capacité de 137 kg (301 lb).
- Un madrier en bois d'œuvre de 50 mm sur 250 mm, en condition humide, a une capacité de charge de 211 kg (465 lb).
- Un madrier lamellé, de 50 mm sur 250 mm, en condition humide, a une capacité de charge de 229 kg (505 lb).
- Soumis à des charges équivalentes, un madrier en bois d'œuvre de 38 mm sur 235 mm aura une déflexion⁷ deux fois plus importante qu'un madrier de type lamellé ou un madrier en bois d'œuvre de 50 mm sur 250 mm.

4.2.9.2 Efforts réels présents dans les madriers lors de l'accident

En fonction de la position des travailleurs, de leur poids et des points d'appui du madrier, l'effort (force appliquée dans le madrier) est établi à 0,85 kN-m. En comparant cet effort réel avec la capacité en flexion théorique, 0,55 kN-m, d'un madrier de 38 mm par 235 mm, le pourcentage en sollicitation du madrier est établi. Ainsi, au moment de l'accident, le madrier sur lequel prenaient place les travailleurs était sollicité à 155%.

⁶ Capacité de charge maximale : Charge maximale qui peut être appliquée au centre du madrier (soit le point le plus défavorable) en fonction de la configuration des lieux lors de l'accident.

⁷ Déflexion: Déviation de la pièce de bois, en unité de distance, de son plan axial (aussi nommé flèche).

De plus, la déflexion du madrier lors de l'accident est évaluée à 37 mm alors que la limite réglementaire est établie à 27 mm (L/80).

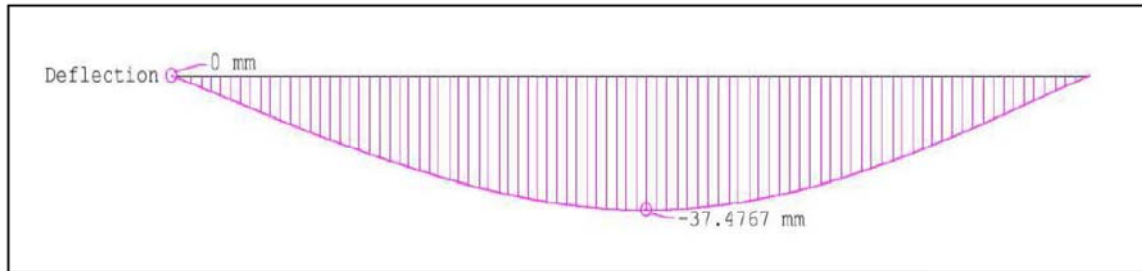


Figure 16 – Déflexion du madrier soumis aux charges réelles lors de l'accident
Source : SDM consultants

À titre de comparaison, lorsqu'ils sont exposés aux mêmes efforts, un madrier en bois d'œuvre de 50 mm x 250 mm, conforme à la réglementation, aura une déflexion de 15 mm et un madrier lamellé, tels que ceux disponibles sur le chantier, présentera une déflexion de 17 mm. Leurs déflexions respectent donc le ratio L/80 de 27 mm.

4.2.9.3 Efforts théoriques selon les charges prévues dans la norme CSA Z797

Cette dernière analyse permet de déterminer si les madriers résistent à la charge prévue dans la norme CSA Z797 pour un service léger⁸ (1,2 kN-m²). Un service léger a été retenu puisque la charge sur les madriers, au moment de l'accident, était constituée seulement des travailleurs et de leur truelle. Cette charge est plus élevée que la charge réelle présente lors de l'accident. Ainsi :

- Le madrier de 38 mm x 235 mm n'a pas la capacité portante pour résister à la charge prévue pour un service léger;
- Les madriers conformes à la réglementation, soit le lamellé et le bois d'œuvre de 50 mm sur 250 mm, offrent chacun une capacité portante suffisante;
- Le madrier de 38 mm sur 235 mm présente une déflexion de 26,6 mm lorsqu'il est soumis à la charge pour un service léger, ce qui est tout près de la limite de 27 mm;
- Les deux autres types de madriers auront une déflexion similaire d'environ 11 mm.

4.2.9.4 Conclusion de SDM consultants

Deux causes sont identifiées pour expliquer l'effondrement du plancher de travail : soit le type de madrier choisi qui n'offre pas une capacité suffisante et la présence d'un nœud qui diminue la résistance du madrier compte tenu de sa dimension et de sa position critique.

⁸ La norme CSA Z797 Règles d'utilisation des échafaudages d'accès, établie des catégories de service pour les composantes de plancher d'échafaudage (plates-formes). La catégorie « service léger » prévoit que la charge présente sur le plancher soit seulement constituée des travailleurs et de leur outil personnel.

La firme conclut que les travailleurs devaient se tenir sur le madrier qui présentait le nœud. Ainsi, ce madrier a cédé sous l'effet de leur poids puisque sa capacité portante était réduite par la présence du nœud. En tentant de reprendre pied sur le second madrier, le poids des ouvriers et l'amplification dynamique causée par l'effet de la chute auraient provoqué la rupture du second madrier puis la chute des travailleurs.

4.2.10 Charge sur le madrier lors de l'accident

La charge qui se trouve sur le madrier utilisé comme plancher d'échafaudage correspond à la masse des deux travailleurs, soit 110 kg (242 lb) et 82 kg (181 lb), pour un total de 192 kg (423 lb). Il n'y a pas de matériel entreposé sur les madriers utilisés sur les consoles.

4.2.11 Capacité des madriers lors de l'accident

Étant donné que les madriers ont été exposés aux précipitations pendant plus d'un mois en raison de leur entreposage à l'extérieur, des conditions humides ont été considérées pour établir leur capacité. Ainsi, au moment de l'accident, la capacité du madrier est établie à 113 kg (250 lb).

Il est à noter que cette capacité est théorique. Celle-ci est pondérée de coefficients de correction de la résistance permettant, notamment, de tenir compte de la variabilité du bois. Il ne s'agit donc pas de la capacité réelle du madrier utilisé ce jour-là. La capacité réelle des madriers n'a pu être établie puisqu'il y a eu rupture. Conséquemment, des tests de résistance ultime se sont avérés impossibles à réaliser.

4.2.12 Programme de prévention de [REDACTED]

Un programme de prévention pour l'année 2020 est disponible sur le chantier. Plusieurs sections du programme traitent des principales règles et des mesures de prévention à respecter concernant les planchers d'échafaudage.

Dans la section sur l'utilisation d'un échafaudage et plus spécifiquement concernant les planchers, les mesures préventives suivantes sont indiquées :

- S'assurer du bon état des composantes et du plancher;
- S'assurer que la résistance du plancher correspond à la portée et aux charges imposées;
- La charge admissible sur les planchers doit respecter les indications mentionnées à la section 5 de la norme CSA S269.2-M87 : *Échafaudages*.

En annexe du programme, une grille d'inspection d'échafaudage est disponible. Dans cette grille, l'inspection du plancher est prévue, elle permet de valider si les madriers sont « estampillés CSA, en bon état [s'ils présentent des] écorchures [ou des] fêlures »⁹.

De plus, un outil de gestion, nommé *Réunion d'information SST* est présent en annexe du programme. Il s'agit d'un aide-mémoire présentant des sujets que l'employeur peut aborder lors

⁹ Programme de prévention de [REDACTED]

des rencontres sur la santé et sécurité. Dans cet outil, un rappel concernant les échafaudages est présent et il précise que les planchers doivent être constitués de « madrier CSA en bon état [...] »¹⁰.

4.2.13 Loi sur la santé et sécurité du travail (LSST)

Selon l'article 51 de la LSST, l'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur. Il doit notamment :

- s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur;
- utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;
- fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état.

De plus, selon l'article 58 de la LSST, l'employeur doit mettre en application son programme de prévention.

4.2.14 Expérience du propriétaire et du travailleur



¹⁰ Programme de prévention de [redacted]

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Les madriers utilisés comme plancher d'échafaudage n'ont pas une résistance suffisante et cèdent sous le poids du propriétaire et du travailleur, ce qui entraîne leur chute d'une hauteur 5,73 mètres au sol.

Le jour de l'accident, le propriétaire et le travailleur effectuent des travaux de briquetage. Ils utilisent des consoles d'échafaudage sur lesquels des madriers en bois d'œuvre ayant les dimensions de 38 mm sur 235 mm sont déposés afin de former un plancher de travail. Au moment de l'accident, le propriétaire et le travailleur sont positionnés vers le centre du madrier installé le plus près du mur à briqueter. Aucun matériel n'est entreposé sur le plancher. Ainsi, une charge de 192 kg (423 lb) est présente sur le madrier.

Selon l'expertise de SDM consultants, un madrier en bois d'œuvre d'une dimension de 38 mm sur 235 mm, en condition humide, a une capacité de 113 kg (250 lb). Cette capacité est pondérée par des coefficients de correction de la résistance. Il ne s'agit donc pas de la capacité réelle du madrier utilisé ce jour-là. Cela explique pourquoi les travailleurs ont pu circuler sur les madriers, pendant un certain temps, sans que ces derniers cèdent.

Lors de l'accident, le madrier, utilisé comme plancher de travail, est sollicité à 155%.

De plus, la présence d'un nœud près de l'endroit où les travailleurs sont positionnés affecte la capacité de ce madrier et diminue sa résistance.

Ainsi, la charge induite par le poids des travailleurs dépasse la capacité réelle du premier madrier, qui est affaiblie par sa condition humide et par la présence du nœud, ce qui occasionne sa rupture. Cette rupture déséquilibre le propriétaire et le travailleur qui prennent alors appui sur le deuxième madrier. L'amplification dynamique de la charge qui est alors imposée au deuxième madrier cause une surcharge et occasionne sa rupture. Le propriétaire et le travailleur chutent d'une hauteur de 5,73 mètres jusqu'au sol.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La planification des travaux de maçonnerie en hauteur comporte des lacunes menant à l'utilisation de madriers non conformes comme plancher d'échafaudage.

Avant d'entreprendre les travaux de démontage de la brique sur le chantier, le propriétaire achète des madriers en bois d'œuvre de 38 mm x 235 mm afin de les utiliser comme plancher de travail. En effet, la configuration des lieux de travail ne lui permet pas d'utiliser les madriers lamellés qu'il possède sans les modifier, par exemple en les coupant.

Les madriers de bois d'œuvre achetés pour le chantier sont estampillés par la NLGA et classés catégorie n°2. Les madriers ne portent pas d'estampillage indiquant qu'ils sont conformes à la norme CSA-S269.2-M87 : *Échafaudages*.

Selon la réglementation et les règles de l'art, seuls des madriers en bois d'œuvre de catégorie n°1 doivent être utilisés, car ceux-ci présentent moins de défauts qui risquent d'affaiblir leur résistance. Les madriers en bois d'œuvre utilisés comme plancher d'échafaudage doivent également être de dimensions minimales de 50 mm sur 250 mm.

De plus, lorsque la portée entre les points d'appui des madriers d'un plancher d'échafaudage est de plus de 2,1 mètres, les madriers doivent être testés et estampillés conformément à la section 11 de la norme CSA-S269.2-M87 : *Échafaudages*. Ainsi, pour ce chantier, la portée des madriers dépassait légèrement cette limite, ils auraient donc dû être testés et estampillés conformément à cette norme.

Par conséquent, les madriers achetés spécifiquement pour ce chantier ne sont pas conformes à la réglementation et aux règles de l'art. Ce type de madrier ne doit pas être utilisé comme plancher d'échafaudage.

Le programme de prévention de l'entreprise indique à plusieurs endroits les règles en matière de plancher d'échafaudage, notamment en ce qui concerne l'utilisation de madriers en bois d'œuvre.

Un programme de prévention permet à l'employeur d'identifier les risques spécifiques à son milieu. Cet outil l'aide à prévoir les mesures de prévention permettant d'éliminer ou de contrôler les risques. L'employeur doit s'en servir, notamment lors de la planification des travaux, afin de mettre en place les mesures de prévention adaptées à ses chantiers.

Dans le programme de l'entreprise, des mesures de prévention sont prévues pour contrôler les risques liés à l'utilisation des échafaudages, notamment en procédant à des inspections et à des vérifications.

Toutefois, lors du choix des madriers, le propriétaire n'a pas mis en œuvre son programme de prévention. Le respect des mesures prévues à son programme lui aurait permis de constater que les madriers achetés pour ce chantier n'étaient pas conformes à la réglementation et que leur capacité de charge n'était pas suffisante pour effectuer le travail de façon sécuritaire.

En procédant à une inspection, tel que le prévoyait le programme de prévention, le propriétaire aurait pu identifier les défauts dans le madrier, notamment le nœud de 40 mm qui justifiait le rejet. Il aurait également constaté que les madriers ne possédaient pas un marquage (estampillage) conforme.

De plus, la déflexion, causée par le poids du propriétaire et du travailleur, dépassait la déflexion maximale tolérable pour ce madrier, ce qui aurait dû lui indiquer qu'il ne devait pas l'utiliser.

Rappelons que selon l'article 51(5) de la LSST, l'employeur doit : « utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques qui peuvent affecter la santé et sécurité du travail »¹¹.

¹¹ Loi sur la santé et sécurité du travail

Toujours selon la LSST, l'article 51(7), l'employeur doit, « fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état »¹².

Le non-respect des mesures de prévention concernant les planchers d'échafaudage prévues au programme de prévention et l'utilisation d'un matériel non sécuritaire confirment que la planification des travaux était incomplète. En effet, l'achat de nouveaux planchers d'échafaudage pour tenir compte des caractéristiques du bâtiment démontre que l'employeur a planifié les travaux pour ce chantier. Toutefois, sa planification n'a pas pris en compte les aspects de sécurité des travaux de maçonnerie, particulièrement en ce qui concerne les planchers d'échafaudage.

Cette cause est retenue.

¹² Loi sur la santé et sécurité du travail

SECTION 5**5 CONCLUSION****5.1 Causes de l'accident**

Les madriers utilisés comme plancher d'échafaudage n'ont pas une résistance suffisante et cèdent sous le poids du propriétaire et du travailleur, ce qui entraîne leur chute d'une hauteur 5,73 mètres au sol.

La planification des travaux de maçonnerie en hauteur comporte des lacunes menant à l'utilisation de madriers non conformes comme plancher d'échafaudage.

5.2 Suivi de l'enquête

La CNESST transmettra les conclusions de son enquête aux associations sectorielles paritaires ainsi qu'aux gestionnaires de mutuelles de prévention, à l'Association de la construction du Québec (ACQ), à l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ), à l'Association patronale des entreprises en construction du Québec (APECQ), à l'Association des maîtres couvreurs du Québec (AMCQ), à l'Association des entrepreneurs en construction (AECQ) et à l'Association québécoise de l'industrie de l'échafaudage, afin qu'ils informent leurs membres.

Le rapport d'enquête sera diffusé dans les établissements offrant des programmes d'études professionnelles dans le domaine de la construction afin de sensibiliser les futurs travailleurs et travailleuses.

ANNEXE A**Propriétaire**

Nom, prénom : F [redacted]
Sexe : [redacted]
Âge : [redacted]
Fonction habituelle : [redacted]
Fonction lors de l'accident : Briqueteur-maçon
Expérience dans cette fonction : [redacted]
Ancienneté chez l'employeur : [redacted]
Syndicat : [redacted]

Travailleur

Nom, prénom : G [redacted]
Sexe : [redacted]
Âge : [redacted]
Fonction habituelle : [redacted]
Fonction lors de l'accident : Briqueteur-maçon
Expérience dans cette fonction : [redacted]
Ancienneté chez l'employeur : [redacted]
Syndicat : [redacted]

ANNEXE B

Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

Madame H [REDACTED], ACQ;
Monsieur I [REDACTED];
Monsieur J [REDACTED];
Madame K [REDACTED], Gilbert Immobilier inc.;
Madame L [REDACTED];
Monsieur M [REDACTED], Plomberie Aquamax;
Monsieur N [REDACTED], Gilbert Immobilier inc.;
Monsieur O [REDACTED], Gilbert Immobilier inc.
Madame P [REDACTED],
Monsieur Dominic Michaud, ing. SDM consultants;
Monsieur Q [REDACTED], Apogée construction;

ANNEXE C

Rapport d'expertise

SDM
LE GÉNIE DE LA STRUCTURE

EXPERTISE STRUCTURALE

PROJET S20238
ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 – EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT

PRÉSENTÉ À
CNESST – DIRECTION RÉGIONALE DE LA CAPITALE-NATIONALE
425 rue du Pont, Québec, QC G1K 9K5

RÉALISÉ PAR
SDM CONSULTANTS
200-750, CHEMIN OLIVIER, LÉVIS (QC) G7A 2P7

Dominic Michaud, ing.
Dominic Michaud, ing. M.Sc
MEMBRE C.I.Q. NO 5031053

RÉVISION : 1 2021-03-23

MANDAT

Le 12 août 2020, deux travailleurs ont chuté en conséquence de la rupture de madriers d'un échafaudage érigé au 2150 rue Mackay, Québec. Suite à ces événements, SDM Consultant a été mandaté afin d'en faire l'expertise technique dans le but d'en expliquer les causes. Cette expertise vise exclusivement le volet technique structural de la rupture des madriers. Dominic Michaud, ing. M.Sc a donc procédé à une visite d'inspection le mardi 15 septembre 2020 en compagnie de Stéphanie Deschamps, inspectrice CNESST, et Étienne Girardin, inspecteur CNESST.

Plus précisément, notre mandat consiste à :

- Effectuer une visite des lieux pour avoir un aperçu global des échafaudages;
- Inspecter visuellement les madriers qui ont cédés;
- Analyser les contraintes théoriques et réelles dans les madriers utilisés;
- Analyser les contraintes théoriques et réelles dans les madriers recommandés par la littérature;
- Analyser la situation et rédiger un rapport d'expertise.

RÉSERVES ET LIMITATIONS

Tout usage ou décision prise par une tierce partie en lien ou basée sur le contenu de ce rapport doit préalablement être approuvé par SDM Consultants. Sans cette approbation écrite, la responsabilité de cet usage ou décision est la responsabilité de cette tierce partie.

Les informations et conclusions dont il est question dans ce rapport sont basées sur la portée du mandat accordé. L'inspection se limite aux éléments visibles, accessibles et ciblés par le client ou son représentant lors de la visite, une expertise exhaustive de l'ensemble de l'ouvrage n'a pas été faite. L'analyse et les calculs de capacité portante ont été réalisés seulement lorsqu'explicitement mentionnés sur les éléments présentés dans ce rapport.

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

Les analyses présentées sont basées sur les documents et normes de référence suivants :

- Bois : CAN-O86, dernière édition;
- Échafaudages : CSA S269.2-M87;
- Code de sécurité pour les travaux de construction : S-2.1r.4;
- Guide d'installation et d'utilisation Échafaudages, par CSST, mars 2014;
- L'inspection des madriers d'échafaudages en bois d'œuvre, par CSST, DC100-9033, septembre 2009;
- Product report PR-L317, Nordic Lam™ Scaffold Plank, octobre 2017.

DÉFINITIONS/LEXIQUE

Contrainte :	Force par unité de surface.
CSTC :	Code de sécurité pour les travaux de construction.
Déflexion/Fleche :	Déviation, en unité de distance, de son plan axial.
Efforts :	Force exercée dans un élément structural.
Kilonewton (kN) :	Unité de charge correspondant à 101.97 kg (224.81 lbs) en considérant la gravité à 9.81 m-s ⁻² .
Moment en flexion (kN-m) :	Également appelé « moment fléchissant », moment interne à un élément structural dont le vecteur est perpendiculaire à la courbe moyenne et provoquant une flexion.
Portée :	Distance libre entre deux appuis d'une poutre.
Rigidité en flexion Es*I :	Capacité d'un élément à s'opposer à des déformations en flexion lorsqu'il est soumis à des sollicitations mécaniques.
Pourcentage de sollicitation (%) :	Rapport entre les efforts dans un élément structural et la capacité de cet élément à résister à ces efforts.

OBSERVATIONS/FAITS RAPPORTÉS

CODE DE SÉCURITÉ POUR LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION (CSTC)

L'article 3.9.8 du CSTC indique :

3.9.8 Planchers: Les éléments qui constituent le plancher doivent être posés de façon à ne pouvoir ni basculer ni glisser. De plus, le plancher d'un échafaudage doit:

1. Avoir une surface uniforme entre deux points d'appui;
2. Avoir une largeur minimale libre de 470 mm;
3. S'il est en bois d'œuvre, être constitué de madriers:
 - a. Estampillés par un organisme accrédité par la Commission canadienne de normalisation du bois d'œuvre comme étant de qualité équivalente à celle de l'épinette de catégorie no 1;
 - b. De dimensions minimales, en hauteur de 38 mm et en largeur de 235 mm;
 - c. De longueur telle qu'ils dépassent leurs supports d'au moins 150 mm et d'au plus 300 mm; s'ils sont disposés bout à bout, leurs extrémités doivent reposer sur des points d'appui distincts;
 - d. Disposés de telle sorte que la portée entre deux points d'appui n'excède pas:
 - i. 3,0 m s'ils sont testés et estampillés conformément à la section 11 de la norme Échafaudage CAN/CSA-S269.2-M87;
 - ii. 2,1 m dans les autres cas;
 - e. Dont la déflexion au centre de la portée ne dépasse pas L/80, où L est la distance entre 2 points d'appui;
4. S'il est constitué de produits manufacturés, être:
 - a. Fabriqué conformément à la norme Échafaudage CAN/CSA-S269.2-M87;

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



- b. Ouvré de façon à éviter les glissades;
- c. Entretenu pour empêcher la corrosion et la détérioration;
- 5. Avant chaque utilisation, être inspecté visuellement afin d'en détecter toute altération qui pourrait compromettre sa solidité;
- 6. Avoir une inclinaison inférieure à 1 sur 5 (11° par rapport à l'horizontale);
- 7. Être situé à moins de 350 mm d'un mur ou d'un autre plancher lorsqu'il n'y a pas de garde-corps.

CONDITIONS À LA CHUTE

Les deux travailleurs ayant chuté se tenaient, au moment des évènements, sur deux madriers 38mmx235mm (2"x10" nominal), É-P-S No.2, voir photographie 1.



PHOTOGRAPHIE 1

Ces madriers étaient installés sur des consoles d'échafaudages, voir photographies 2 à 4. La distance entre les appuis des madriers était de 2.15m.

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



PHOTOGRAPHIE 2



PHOTOGRAPHIE 3

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



PHOTOGRAPHIE 4

Les deux travailleurs pesaient 110 kg et 82 kg. Selon les témoignages rapportés, il n'y avait pas d'entreposage de matériaux sur les madriers. Seulement deux truelles ayant un poids négligeable s'y retrouvaient.

MADRIERS RECOMMANDÉS

D'après la littérature, voir *Guide d'installation et d'utilisation Échafaudages* dans les documents en références de ce rapport, ainsi que d'après la réglementation, les madriers à utiliser dans l'échafaudage concerné par cette analyse devraient avoir les caractéristiques suivantes :

- 50mm x 250mm, section non blanchie;
- Estampillé suivant la norme NLGA;
- De qualité équivalente à de l'É-P-S de catégorie 1, testés et estampillés conformément à la section 11 de la norme Échafaudage CSA 269.2-M87, tel que prescrit à l'article 3.9.8 du CSTC;

ÉTAT DES MADRIERS UTILISÉS

Un des madriers utilisés dans l'échafaudage montre la présence d'un nœud d'environ 40mm de diamètre, adjacent au plan de rupture, voir photographie 5.

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



PHOTOGRAPHIE 5

Il a également été rapporté que les madriers ont été laissés à l'extérieur pour une durée de plus d'un mois avant les travaux.

NŒUDS DANS LES MADRIERS

Le nœud montré sur la photographie 5 mesure environ 40mm de diamètre. Selon le document intitulé *L'inspection des madriers d'échafaudages en bois d'œuvre*, voir références, les madriers d'échafaudages ne devraient pas avoir de nœuds ayant un diamètre supérieur à 38mm.

On remarque d'ailleurs que la rupture a emprunté un plan similaire à celui du nœud au travers du madrier. Il y avait visiblement une faiblesse importante au madrier à cet endroit. Ce nœud a diminué la section efficace du madrier ce qui a eu comme incidence de réduire sa capacité portante.

L'amplitude de la réduction de capacité portante du madrier n'a pu être validée puisque le madrier est rompu.

ANALYSES

PROPRIÉTÉ DES MATÉRIAUX

La note de calculs présentée en annexe 1 analyse les propriétés théoriques des madriers utilisés au chantier, ceux recommandés par la littérature et un madrier en lamellé collé de STARR FOREST, dont les propriétés sont décrites dans le document en références intitulé **Product report PR-L317, Nordic Lam™ Scaffold Plank**. Les calculs sont basés sur la norme mentionnée dans les documents en référence.

Un madrier en bois dont la teneur en humidité d'équilibre est égale ou inférieure à 15% selon une moyenne annuelle, tout en ne dépassant jamais 19% peut être considéré comme étant dans un milieu sec. Autrement, une hypothèse de milieu humide doit être considérée, ce qui a comme effet de diminuer sa capacité en flexion par un facteur de 0.84 (bois d'œuvre) ou 0.80 (lamellé collé) selon la norme en référence.

Selon les faits rapportés, un milieu humide devrait être considéré. Pour des fins de discussion, les madriers ont été analysés en condition humide et en condition sèche.

Il est à noter que les classes de bois No1 et No2 ont été regroupées dans la norme. Il n'existe donc aucune différence entre ces deux classes dans la norme et elles y sont représentées sous la classe « No1/No2 ». Toutefois, pour les madriers d'échafaudages de 50 mm x 250 mm (section non blanchie), il est possible d'en obtenir de catégorie 1 qui sera comportera moins de défauts.

Voici un résumé des résultats de l'annexe 1 :

	Madrier utilisé au chantier 38mmx235mm É.P.S No2	Madrier recommandé 50mmx250mm É.P.S. No1	Rapport madrier utilisé/madrier recommandé (%)	Madrier lamellé collé STARR LAM 50mmx240mm	Rapport madrier utilisé/madrier lamellé collé (%)
Rigidité en flexion sec $E_{s,sec} \times I$ ($N \cdot mm^2 \cdot 10^9$)	10.21	24.74	41%	25.85	39%
Rigidité en flexion humide $E_{s,hum} \times I$ ($N \cdot mm^2 \cdot 10^9$)	9.60	23.26	41%	21.53	45%
Moment résistant humide en flexion de la section (kN-m)	0.55	1.02	54%	1.11	50%
Charge ponctuelle équivalente (lbs)	250	465	S-O	505	S-O
Moment résistant sec en flexion de la section (kN-m)	0.66	1.22	54%	1.39	47%
Charge ponctuelle équivalente (lbs)	301	556	S-O	633	S-O

Tableau 1 – Comparaison des propriétés des madriers

** Le rapport « madrier utilisé/madrier recommandé » a été obtenu en divisant le résultat obtenu suite à l'analyse de la membrure utilisé au chantier par le résultat obtenu suite à l'analyse du madrier recommandé par la littérature. Dans le cas de la rigidité en flexion, la charge maximale permettant de ne pas dépasser la déflexion maximale recommandée a*

été utilisée. Dans le cas du moment en flexion, le moment en flexion calculé selon les charges estimées lors de l'effondrement, soit 0.8505 kN-m, a été utilisé, voir annexe 1.

** La charge ponctuelle équivalente (en lbs) illustre la charge maximale qui pourrait être appliquée au centre du madrier, selon la configuration relevée sur place, permettant d'atteindre le Moment résistant en flexion de la membrure. Cette précision a été ajoutée afin de faciliter la lecture du rapport.

Ces résultats indiquent que :

- Le facteur Es*I est utilisé pour représenter la rigidité des madriers. Plus ce facteur est bas, plus le madrier aura une déflexion importante due aux charges y étant appliquées. Le madrier 38x235 aura une flèche plus de deux fois plus importante que pour les madriers 50x250 ou le madrier lamellé collé soumis à des charges équivalentes.
- Le madrier 38mm x 235mm résisterait à une charge maximale correspondant à environ la moitié de la charge maximale du 50mm x 250mm;
- Le madrier en lamellé collé résisterait à une charge maximale légèrement plus élevée qu'un 50mm x 250mm;

EFFORTS RÉELS – MADRIERS 38X235, 50X250 ET LAMELLÉ COLLÉ

Afin de représenter un scénario probable de rupture, les efforts dans les madriers ont été évalués en considérant les hypothèses suivantes :

- Le travailleur de 110 kg est au centre de la portée du madrier;
- Le travailleur 82 kg se trouve à 0.4m à côté de ce dernier;
- Les deux se tiennent sur un seul madrier;
- La distance entre les appuis du madrier est de 2.15m.

Les analyses des madriers soumis aux charges réelles, en condition humide sont présentées en annexe 2, 3 et 4. Les résultats sont les suivants :

	Madrier utilisé au chantier 38mmx235mm É.P.S No2		Madrier recommandé 50mmx250mm É.P.S No1		Madrier lamellé collé STARR LAM 50mmx240mm	
	Efforts et déflexion	Sollicitation (%)	Efforts et déflexion	Sollicitation (%)	Efforts et déflexion	Sollicitation (%)
Flexion (charges pondérées) (kN-m)	0,85	155% (humide) 129% (sec)	0,85	83% (humide) 71% (sec)	0,85	77% (humide) 61% (sec)
Déflexion (mm), cond. humide (limite de L/80, soit 27mm)	37	137%	15	56%	17	62%

Tableau 2 – Efforts en flexion et flèche réels

Cette analyse prend en considération que les charges sont exclusivement statiques, soit immobiles. Une amplification dynamique devrait être prise en considération. L'amplification dynamique réelle

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



au chantier ne peut pas être évaluée puisque c'est occasionné par les mouvements arbitraires des ouvriers. Il faut cependant considérer qu'elle peut faire augmenter les charges significativement si un travailleur pose un mouvement brusque.

Nous retirons de cette analyse que :

- Le madrier 38mm x 235 n'a pas une capacité portante suffisante pour résister aux charges qui y étaient appliquées, et ce, même s'il n'aurait présenté aucun défaut tel que nœuds excessifs, ce qui n'est pas le cas ici;
- La déflexion était importante, soit 37mm, ce qui aurait dû éveiller les soupçons, voir image 1 pour illustration de la déflexion;
- Un madrier 50mm x 250mm ou un madrier en lamellé collé STARR LAM n'aurait pas rompu.



Image 1 – Déflexion maximale d'un 38mm x 235mm soumis aux charges réelles en condition humide, extrait de l'annexe 2

EFFORTS THÉORIQUES

Selon les charges de conception recommandées par la norme d'échafaudages mentionnée dans les ouvrages de référence, nous devons utiliser une charge répartie de 1.2 kPa pour une utilisation en catégorie de service léger (travailleurs et leurs outils à main personnels) ainsi qu'une charge linéique au centre de 3.63 kN/m, selon la norme CSA 269. En considérant une largeur de madrier de 235mm, nous obtenons une charge linéaire au madrier de 0.282 kN/m et une charge ponctuelle de 0.853 kN. Ces charges doivent être pondérées par un facteur de 1.5 puisqu'il s'agit d'une charge vive.

Les analyses des madriers soumis aux charges théoriques en condition humide sont détaillées aux annexes 5, 6 et 7. Les résultats sont les suivants :

	38mmx235mm	50mmx250mm	Lamellé collé
Moment résistant en flexion de la section (kN-m)	0.55 (humide) 0.66 (sec)	1.02 (humide) 1.22 (sec)	1.11 (humide) 1.39 (sec)
Charge ponctuelle équivalente (lbs)	250 (humide) 301 (sec)	456 (humide) 556 (sec)	505 (humide) 633 (sec)
Sollicitation en flexion (%)	169% (humide) 141% (sec)	91% (humide) 76% (sec)	84% (humide) 67% (sec)
Déflexion (mm), cond. humide (limite de L/80, soit 27mm) *	26.6	11.0	11.8

Tableau 3 – Efforts et flèche théoriques

**Les efforts sur une poutre doivent être calculés en utilisant une charge pondérée (bonifiée par un facteur de 1.5 dans ce cas-ci). Les efforts illustrés dans ce tableau ainsi que ceux en annexe prennent en considération cette pondération. Dans le cas de déflexion, puisqu'il ne s'agit pas d'une rupture, mais d'un critère « en service », on ne doit pas utiliser une charge pondérée. La déflexion réelle présentée dans ce tableau a été estimée pour des charges non pondérées. Puisque la déflexion des analyses présentées en annexe 5, 6 et 7 sont dues à des charges pondérées, la valeur a été divisée par le facteur 1,5. Ainsi, à noter que les illustrations, concernant la déflexion, présentées en annexe ne correspondent pas aux déflexions réelles indiquées dans le tableau.*

*** La sollicitation en flexion (%) est obtenue en divisant la capacité en flexion du madrier analysé par son moment en flexion calculée selon les charges estimées lors de l'effondrement, soit 0.9321 kN-m, a été utilisé, voir annexe 1.*

**** La charge ponctuelle équivalente (en lbs) illustre la charge maximale qui pourrait être appliquée au centre du madrier, selon la configuration relevée sur place, permettant d'atteindre le Moment résistant en flexion de la membrure. Cette précision a été ajoutée afin de faciliter la lecture du rapport.*

Nous retirons de cette analyse que :

- Les charges théoriques sont plus élevées que les charges réelles ayant été analysées dans la section précédente;
- Le madrier 38mm x 235mm n'a pas la capacité portante pour résister aux charges qui y étaient appliquées, et ce, même s'il n'aurait présenté aucun défaut tel que nœuds excessifs, ce qui n'est pas le cas ici;
- Le madrier 50mm x 250mm et le madrier en lamellé collé STARR LAM ont chacun une capacité portante suffisante pour résister aux charges de conception.
- Le madrier 38mm x 235mm pourrait fléchir de 26.6mm alors que la limite permise de L/80 est de 27mm. Il respecte donc ce critère de conception toutefois, il n'est pas certifié CSA S269 et ne répond pas à la réglementation du CSTC.
- Les autres madriers ont une flèche considérablement moins élevée, soit 11mm pour le 50mm x 250mm et 11.8mm pour le lamellé collé.

CODE DE SÉCURITÉ POUR LES TRAVAUX DE CONSTRUCTION (CSTC)

Selon le CSTC, la déflexion ne peut pas excéder L/80, ce qui correspond à 27 mm pour une portée de 2,15 m. Puisque le calcul théorique de déflexion atteint 26,6 mm, ce critère est respecté.

Toutefois, il est également mentionné que le madrier doit être de classe no.1, testé et estampillé conformément à la section 11 de la norme Échafaudages CSA S269.2. Ce critère n'était pas respecté.

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



DISCUSSION

Bien que les efforts dans le madrier dépassent les limites prévues par la norme CAN-O86 (jusqu'à 169% de sollicitation), cette norme, de par la nature hétérogène et imprévisible du bois, garde en provision des facteurs réduisant considérablement la capacité théorique du bois. Il n'est donc pas surprenant que des ouvriers y aient circulé un certain temps avant qu'il n'y ait eu rupture.

Les madriers utilisés n'étaient pas conformes. L'utilisation de madriers d'échafaudage non blanchi, de catégorie 1 et estampillés conformément à la norme CSA S269.2 permettrait d'atteindre un niveau de sécurité acceptable.

L'utilisation d'un madrier en lamellé collé aurait également eu une capacité portante suffisante.

Les deux causes suivantes ont eu un impact prédominant dans l'effondrement :

- Le type de madrier choisi, 38mm x 235mm;
- La présence d'un nœud dont le diamètre et la position étaient critiques.

La déflexion excessive du plancher de travail qui devait s'élever à environ 35mm selon nos analyses aurait dû être suffisante pour indiquer aux travailleurs que le plancher n'était pas sécuritaire.

SCÉNARIO D'EFFONDREMENT

Puisque le nœud était présent sur un seul des deux madriers, nous posons l'hypothèse que les travailleurs se tenaient sur ce madrier affaibli.

Il aurait alors cédé sous le poids des travailleurs. En tentant de s'agripper au second madrier, le poids des ouvriers en plus de l'amplification dynamique occasionnée par la chute aurait provoqué la rupture du second madrier.

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



ANNEXE 1 – NOTE DE CALCULS CAPACITÉ MADRIERS

	FEUILLE DE PROJET	Page: 1	
<p>Nom du Projet: CNESST - Accident 2150 Rue Mackay, Qc</p> <p>No de Projet: S20238 Par: Dominic Michaud ing. M.Sc</p> <p style="text-align: right;">Date: 2020-11-25</p> <p style="text-align: center;">Sujet: Note de calcul - Capacité madriers</p> <p>Révisé par: _____ Date rév: _____</p>			
Intrants			
Madrier	Épaisseur	Largeur	Longueur
Utilisé au chantier	38 mm	235 mm	2425 mm
Recommandé par la littérature	50 mm	250 mm	2425 mm
Type de madrier : Bois d'oeuvre Essence des madrier : E-P-S Classe des madrier : N° 1/N° 2			
Autre madrier analysé: Lamellé-Collé de STARR FOREST			
Madrier	Épaisseur	Largeur	Longueur
STARR-LAM, de STARR FOREST	50 mm	240 mm	3658 mm
Type de madrier : Lamellé Collé Essence des madrier : E-P-S Classe des madrier : Classé mécaniquement Module élastique: 10 300 MPa			
Général:			
Portée des madriers : 2150 mm			
Définitions			
M_r : Capacité en flexion d'un élément (résistance pondérée au moment de flexion); φ : Coefficient de tenue, coefficient servant à majorer à la baisse de la capacité d'une membrure; f_b : Résistance prévue en flexion; F_b : Résistance prévue en flexion en prenant en considération les coefficients; K_D : Coefficient de durée d'application de la charge; K_H : Coefficient de système; K_S : Coefficient de condition d'utilisation relatif à la flexion; K_T : Coefficient de traitement, de préservation et d'ignifugation; K_{zb} : Coefficient de dimensions en flexion; K_{zbg} : Coefficient de dimensions en flexion pour les éléments en bois lamellé-collé; K_L : Coefficient de stabilité latérale;			
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> SDM Consultants - 200-750 chemin olivier, Lévis, Qc, G7A 2P7			

FEUILLE DE PROJET

Page: 2

Nom du Projet: CNESST - Accident 2150 Rue Mackay, Qc

No de Projet: S20238 Par: Dominic Michaud ing. M.Sc

Date: 2020-11-25

Sujet: Note de calcul - Capacité madriers

Révisé par: _____ Date rév: _____

(suite)

Calcul de la résistance en flexion - Bois d'œuvre [5.5.4 - CSA O86-09]

Généralités [5.5.4.1 - CSA O86-09]

$$M_r = \varphi F_b S K_{Zb} K_L$$

$$\varphi = 0,9$$

$$F_b = f_b (K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

f_b	11,8 MPa	[Tableau 5.3.1A - CSA O86-09]
K_D	1,00 Durée d'application normale	[Tableau 4.3.2.2 - CSA O86-09]
K_H	1,00 Pas d'effet de système	[4.3.5 - CSA O86-09]
K_{Sb}	1,00 Utilisation milieu sec	[Tableau 5.4.2 - CSA O86-09]
K_{Sb}	0,84 Utilisation milieu humide	[Tableau 5.4.2 - CSA O86-09]
K_T	1,00 Bois non traité	[Tableau 5.4.3 - CSA O86-09]

$F_{b\ sec} = 11,8$ MPa Milieu sec

$F_{b\ hum} = 9,91$ MPa Milieu humide

$K_{Zb} = 1,1$ Coefficient de dimension [Tableau 5.4.5 - CSA O86-09]

$K_L =$ Calcul du coefficient de stabilité latérale selon l'article 6.5.6.4

$l_u = 2150$ mm Longueur non supportée [6.5.6.4.1 - CSA O86-09]

$$C_B = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}}$$

$l_e = 1,92 l_u = 4128$ mm [Tableau 6.5.6.4.3 - CSA O86-09]

$C_{BM\ utilis\acute{e}} = 1,69$	≤ 10	→	$K_L = 1$
$C_{BM\ recomm.} = 1,82$	≤ 10	→	$K_L = 1$

$$S_{M,\text{utilis\acute{e}}} = \frac{bd^2}{6} = 56557 \text{ mm}^3$$

(module de section madrier utilisé)

$$S_{M,\text{recomm.}} = \frac{bd^2}{6} = 104167 \text{ mm}^3$$

(module de section madrier recommandé)

$$I_{M,\text{utilis\acute{e}}} = \frac{bd^3}{12} = 1074577 \text{ mm}^4$$

(Inertie madrier utilisé)

$$I_{M,\text{recomm.}} = \frac{bd^3}{12} = 2604167 \text{ mm}^4$$

(Inertie madrier recommandé)

SDM Consultants - 200-750 chemin olivier, Lévis, Qc, G7A 2P7

FEUILLE DE PROJET

Page: 3

Nom du Projet: CNESST - Accident 2150 Rue Mackay, Qc

No de Projet: S20238 Par: Dominic Michaud ing. M.Sc

Date: 2020-11-25

Sujet: Note de calcul - Capacité madrier brute

Révisé par: _____ Date rév: _____

(suite)

Résistance au moment de flexion - Bois lamellé-collé

$$M_r = \min(Mr1; Mr2) \quad [6.5.6.5 - CSA O86-09]$$

$$M_{r1} = \varphi F_b S K_X K_{Zbg}$$

$$M_{r2} = \varphi F_b S K_X K_L \quad * \text{ non évalué puisqu'il s'agit d'un madrier et non d'une poutre}$$

$$\varphi = 0,9$$

$$F_b = f_b (K_D K_H K_{Sb} K_T)$$

f_b	14,06 MPa	[Valeur du fabricant]
K_D	1,00 Durée d'application normale	[Tableau 4.3.2.2 - CSA O86-09]
K_H	1,00 Pas d'effet de système	[6.4.3 - CSA O86-09]
K_{Sb}	1,00 Utilisation milieu sec	[Tableau 6.4.2 - CSA O86-09]
	0,80 Utilisation milieu humide	[Tableau 6.4.2 - CSA O86-09]
K_T	1,00 Bois non traité	[6.4.4 - CSA O86-09]

$$F_{b \text{ sec}} = 14,06 \text{ MPa}$$

$$F_{b \text{ hum.}} = 11,248 \text{ MPa}$$

$$S_{M.LAM} = \frac{bd^2}{6} = 100000 \text{ mm}^3 \quad (\text{module de section madrier LAM})$$

$$K_X = 1,00 \text{ Aucun cintrage} \quad [6.5.6.5.2 - CSA O86-09]$$



$$K_{Zbg} = 1,03(BL)^{-0,18} \leq 1$$

B	0,030 m	
L	2,150 m	

$$K_{Zbg} = 1,1 \quad * \text{ La norme recommande d'utiliser 1,0 cependant, puisqu'on évalue un madrier et non une poutre, une valeur de 1,1 a été choisie.}$$

$$I_{M.LAM} = \frac{bd^3}{12} = 2500000 \text{ mm}^4 \quad (\text{Inertie madrier LAM})$$

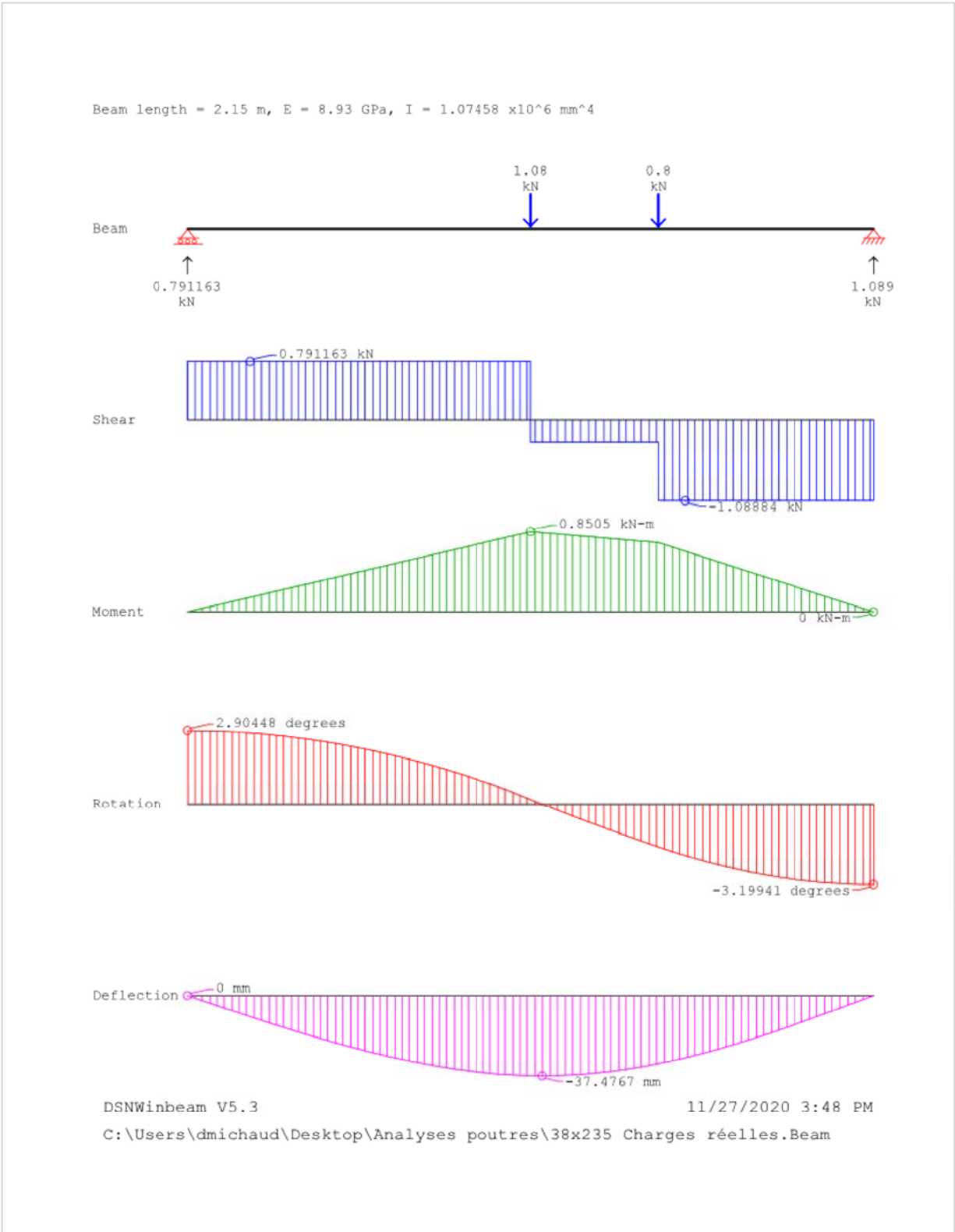
SDM Consultants - 200-750 chemin olivier, Lévis, Qc, G7A 2P7

		FEUILLE DE PROJET		Page: 4
Nom du Projet: <u>CNESST - Accident 2150 Rue Mackay, Qc</u>				
No de Projet: <u>S20238</u>		Par: <u>Dominic Michaud ing. M.Sc</u>		
Date: <u>2020-11-25</u>				
Sujet: <u>Note de calcul - Capacité madrier brute</u>				
Révisé par: _____		Date rév: _____		
(suite)				
Résultats				
Madrier utilisé au chantier, Moment résistant:				
		Milieu sec	Milieu humide	
M_r selon norme =		0,66 kN*m	0,55 kN*m	
Madrier recommandé par la littérature, Moment résistant:				
		Milieu sec	Milieu humide	
M_r selon norme =		1,22 kN*m	1,02 kN*m	
Madrier lamellé collé, par STARR FOREST:				
		Milieu sec	Milieu humide	
M_r selon norme =		1,39 kN*m	1,11 kN*m	
				
<hr/> SDM Consultants - 200-750 chemin olivier, Lévis, Qc, G7A 2P7				

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



**ANNEXE 2 – ANALYSE MADRIER 38X235, CHARGES RÉELLES,
CONDITION HUMIDE**



Input:

Beam Element: Length = 2.15 m; E = 8.93 GPa; I = 1.074577 x10⁶ mm⁴;
 Roller Support: X = 0 m;
 Pin Support: X = 2.15 m;
 Point Load: X = 1.075 m; P = -1.08 kN;
 Point Load: X = 1.475 m; P = -0.8 kN;

Analysis Data:

Beam Length = 2.15 m
 503 Nodes, 502 Beam Elements, 1006 Degrees of Freedom

Reactions:

X	Vert	Rot
m	kN	kN-m
0	0.791163	
2.150	1.089	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	-1.880	1.880	0.000 kN
Rot	2.341	-2.341	-0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-1.089 kN	at	1.558838 m
Max Shear	=	0.791163 kN	at	0.196430 m
Min Moment	=	-2.055e-13 kN-m	at	2.150000 m
Max Moment	=	0.850500 kN-m	at	1.075000 m
Min Rotation	=	-3.199 degrees	at	2.150000 m
Max Rotation	=	2.904 degrees	at	0 m
Min Deflection	=	-37.477 mm	at	1.111559 m
Max Deflection	=	0 mm	at	0 m

DSNWinbeam V5.3

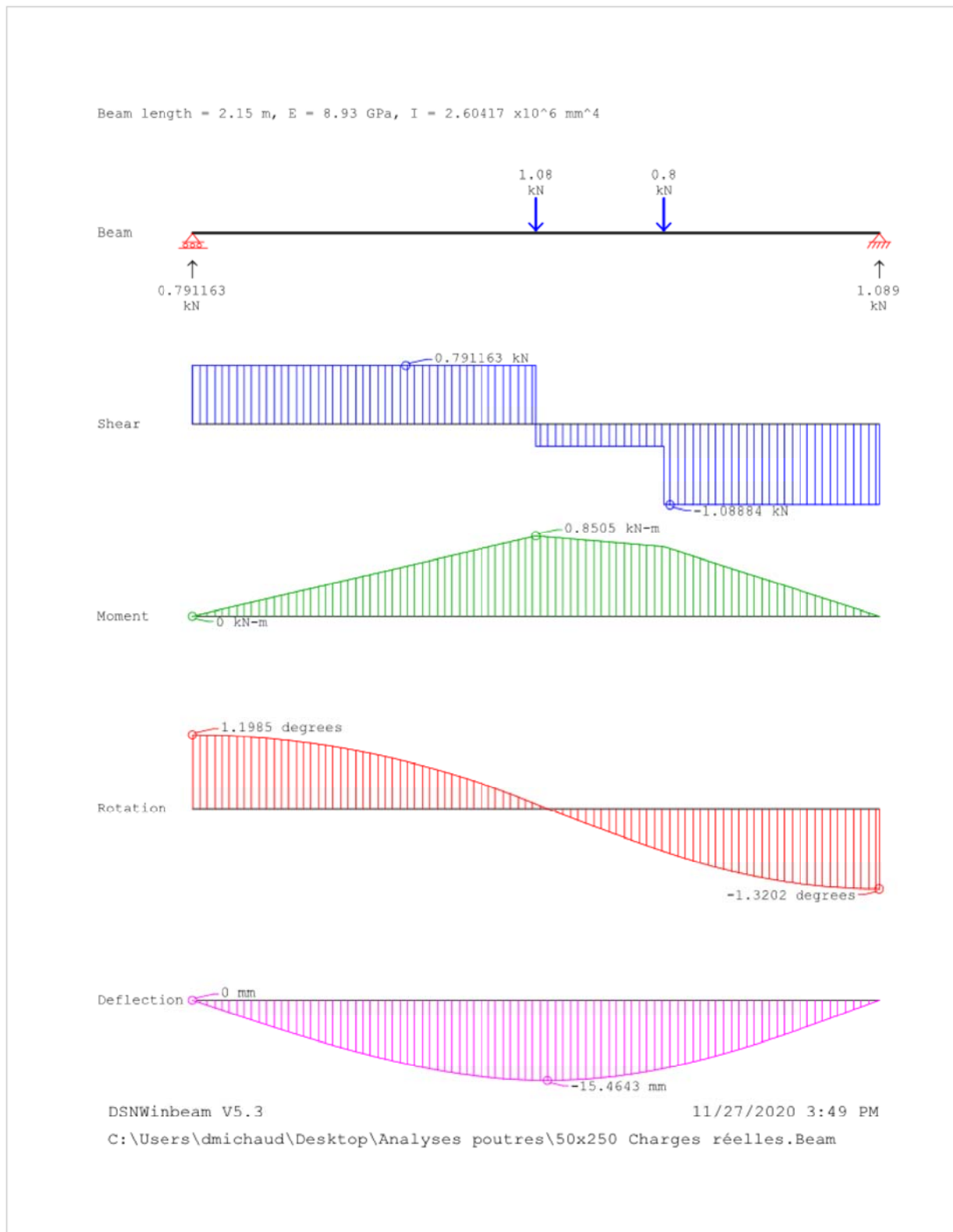
11/27/2020 3:48 PM

C:\Users\dmichaud\Desktop\Analyses poutres\38x235 Charges réelles.Beam

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



**ANNEXE 3 – ANALYSE MADRIER 50X250, CHARGES RÉELLES,
CONDITION HUMIDE**



Input:

Beam Element: Length = 2.15 m; E = 8.93 GPa; I = 2.604167 x10⁶ mm⁴;
 Roller Support: X = 0 m;
 Pin Support: X = 2.15 m;
 Point Load: X = 1.075 m; P = -1.08 kN;
 Point Load: X = 1.475 m; P = -0.8 kN;

Analysis Data:

Beam Length = 2.15 m
 503 Nodes, 502 Beam Elements, 1006 Degrees of Freedom

Reactions:

X m	Vert kN	Rot kN-m
0	0.791163	
2.150	1.089	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	-1.880	1.880	-0.000 kN
Rot	2.341	-2.341	0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-1.089 kN	at	1.494347 m
Max Shear	=	0.791163 kN	at	0.667020 m
Min Moment	=	-1.028e-13 kN-m	at	0 m
Max Moment	=	0.850500 kN-m	at	1.075000 m
Min Rotation	=	-1.320 degrees	at	2.150000 m
Max Rotation	=	1.198 degrees	at	0 m
Min Deflection	=	-15.464 mm	at	1.111559 m
Max Deflection	=	0 mm	at	0 m

DSNWinbeam V5.3

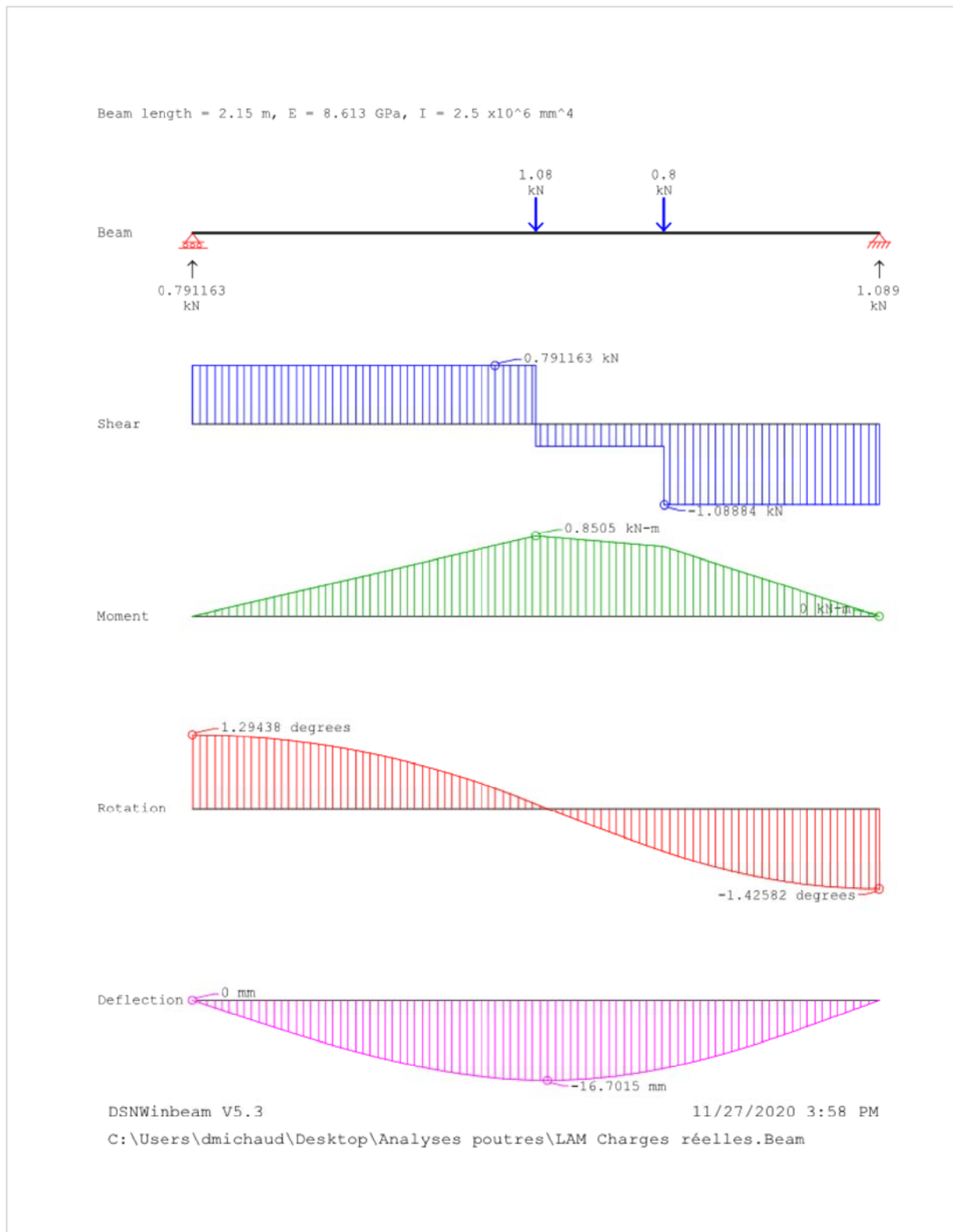
11/27/2020 3:49 PM

C:\Users\dmichaud\Desktop\Analyses poutres\50x250 Charges réelles.Beam

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



**ANNEXE 4 – ANALYSE MADRIER LAMELLÉ COLLÉ, CHARGES
RÉELLES, CONDITION HUMIDE**



Input:

Beam Element: Length = 2.15 m; E = 8.613 GPa; I = 2.5 x10⁶ mm⁴;
 Roller Support: X = 0 m;
 Pin Support: X = 2.15 m;
 Point Load: X = 1.075 m; P = -1.08 kN;
 Point Load: X = 1.475 m; P = -0.8 kN;

Analysis Data:

Beam Length = 2.15 m
 503 Nodes, 502 Beam Elements, 1006 Degrees of Freedom

Reactions:

X m	Vert kN	Rot kN-m
0	0.791163	
2.150	1.089	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	-1.880	1.880	-0.000 kN
Rot	2.341	-2.341	0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-1.089 kN	at	1.477150 m
Max Shear	=	0.791163 kN	at	0.947647 m
Min Moment	=	-0 kN-m	at	2.150000 m
Max Moment	=	0.850500 kN-m	at	1.075000 m
Min Rotation	=	-1.426 degrees	at	2.150000 m
Max Rotation	=	1.294 degrees	at	0 m
Min Deflection	=	-16.701 mm	at	1.111559 m
Max Deflection	=	0 mm	at	0 m

DSNWinbeam V5.3

11/27/2020 3:58 PM

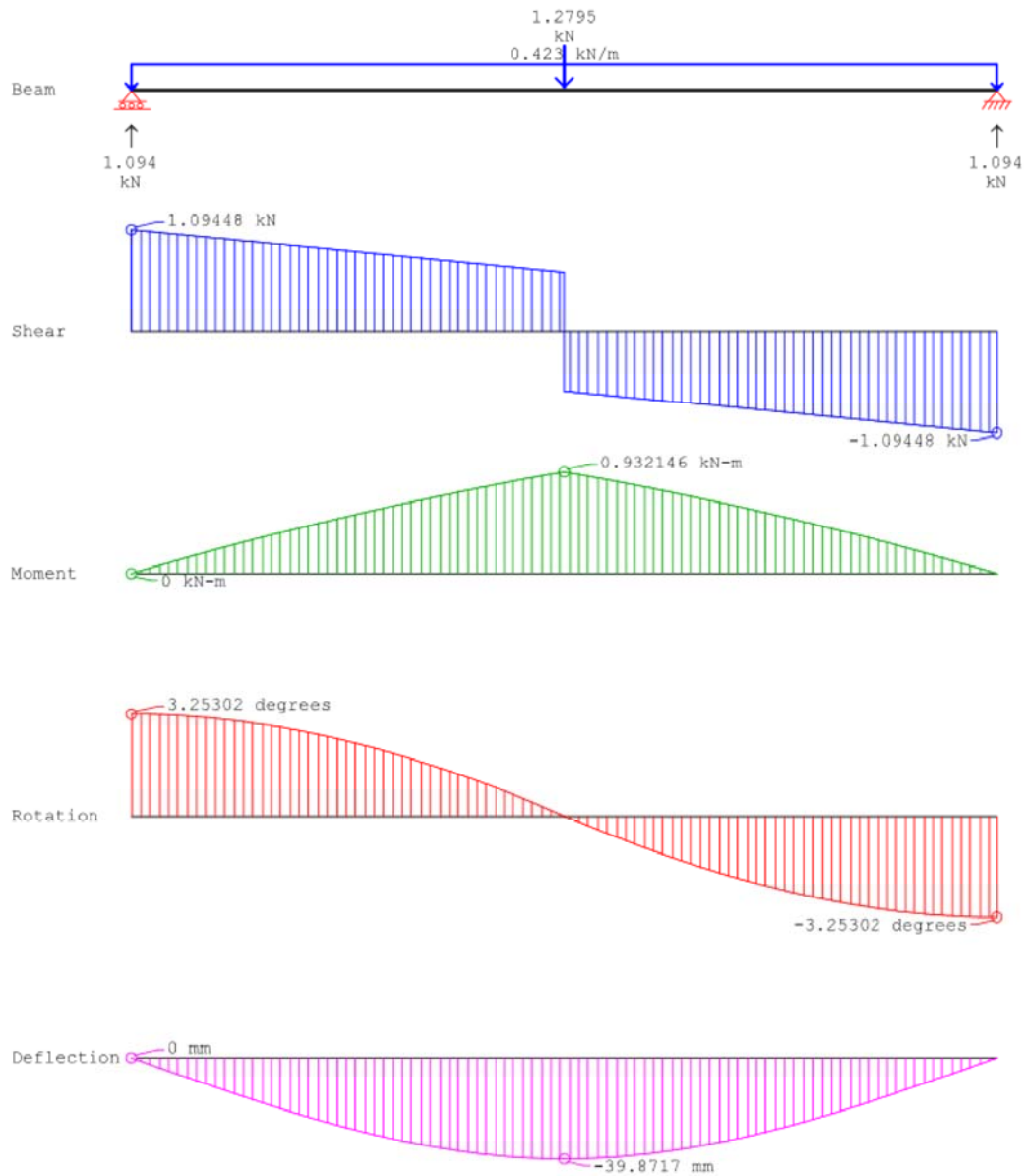
C:\Users\dmichaud\Desktop\Analyses poutres\LAM Charges réelles.Beam

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



**ANNEXE 5 – ANALYSE MADRIER 38X235, CHARGES THÉORIQUES,
CONDITION HUMIDE**

Beam length = 2.15 m, E = 8.93 GPa, I = 1.07458 x10⁶ mm⁴



DSNWinbeam V5.3

11/27/2020 4:21 PM

C:\Users\dmichaud\Desktop\Analyses poutres\38x235 Charges théoriques.Beam

Input:

Beam Element: Length = 2.15 m; E = 8.93 GPa; I = 1.074577 x10⁶ mm⁴;
 Roller Support: X = 0 m;
 Pin Support: X = 2.15 m;

Point Load: X = 1.075 m; P = -1.2795 kN;

Analysis Data:

Beam Length = 2.15 m
 501 Nodes, 500 Beam Elements, 1002 Degrees of Freedom

Reactions:

X m	Vert kN	Rot kN-m
0	1.094	
2.150	1.094	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	-2.189	2.189	0.000 kN
Rot	2.353	-2.353	-0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-1.094 kN	at	2.150000 m
Max Shear	=	1.094 kN	at	0 m
Min Moment	=	-6.995e-14 kN-m	at	0 m
Max Moment	=	0.932146 kN-m	at	1.075000 m
Min Rotation	=	-3.253 degrees	at	2.150000 m
Max Rotation	=	3.253 degrees	at	0 m
Min Deflection	=	-39.872 mm	at	1.075000 m
Max Deflection	=	0 mm	at	0 m

DSNWinbeam V5.3

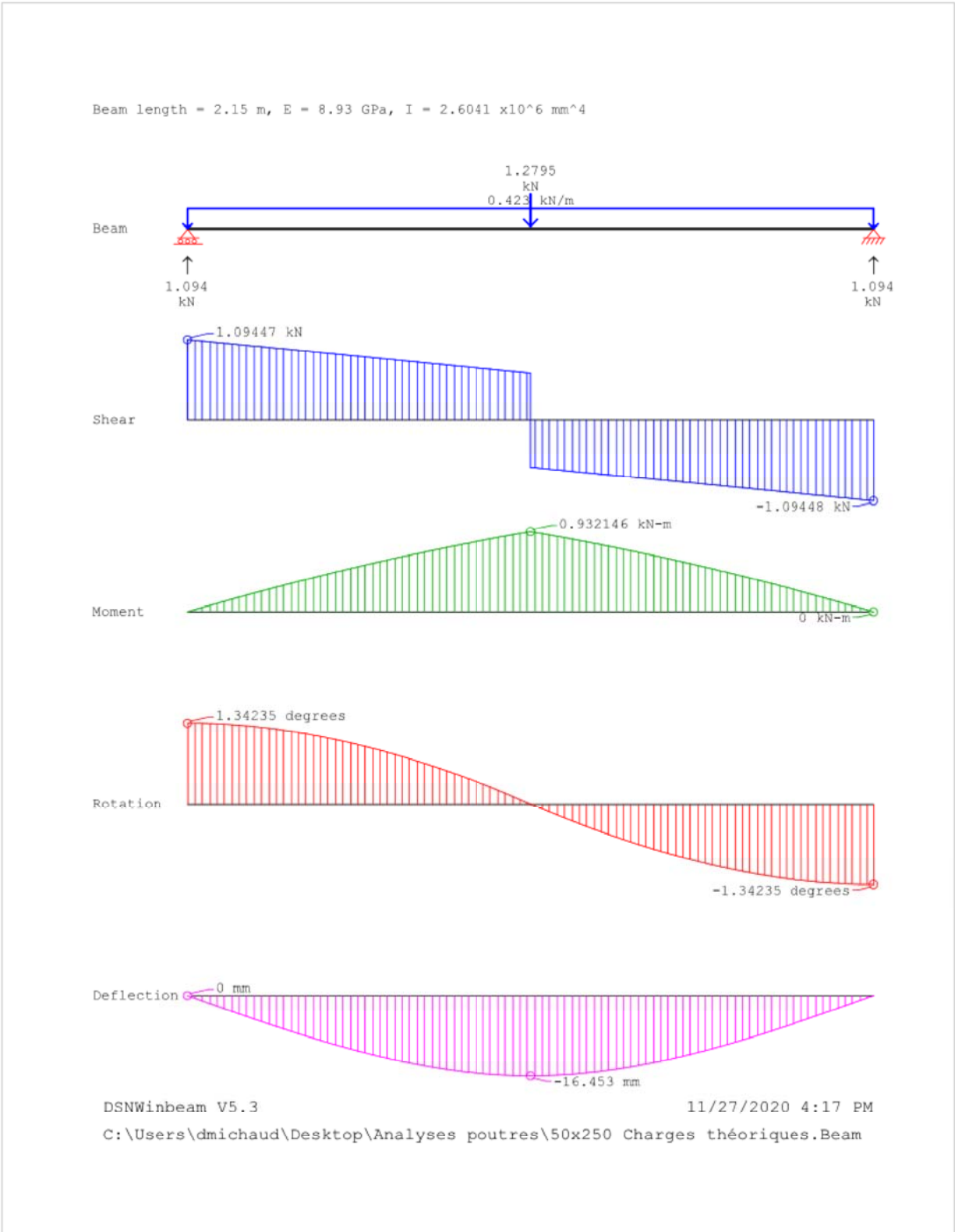
11/27/2020 4:21 PM

C:\Users\dmichaud\Desktop\Analyses poutres\38x235 Charges théoriques.Beam

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



**ANNEXE 6 – ANALYSE MADRIER 50X250, CHARGES THÉORIQUES,
CONDITION HUMIDE**



Input:

Beam Element: Length = 2.15 m; E = 8.93 GPa; I = 2.6041 x10⁶ mm⁴;
 Roller Support: X = 0 m;
 Pin Support: X = 2.15 m;

Point Load: X = 1.075 m; P = -1.2795 kN;

Analysis Data:

Beam Length = 2.15 m
 501 Nodes, 500 Beam Elements, 1002 Degrees of Freedom

Reactions:

X m	Vert kN	Rot kN-m
0	1.094	
2.150	1.094	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	-2.189	2.189	0.000 kN
Rot	2.353	-2.353	-0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-1.094 kN	at	2.150000 m
Max Shear	=	1.094 kN	at	0 m
Min Moment	=	-6.995e-14 kN-m	at	2.150000 m
Max Moment	=	0.932146 kN-m	at	1.075000 m
Min Rotation	=	-1.342 degrees	at	2.150000 m
Max Rotation	=	1.342 degrees	at	0 m
Min Deflection	=	-16.453 mm	at	1.075000 m
Max Deflection	=	0 mm	at	0 m

DSNWinbeam V5.3

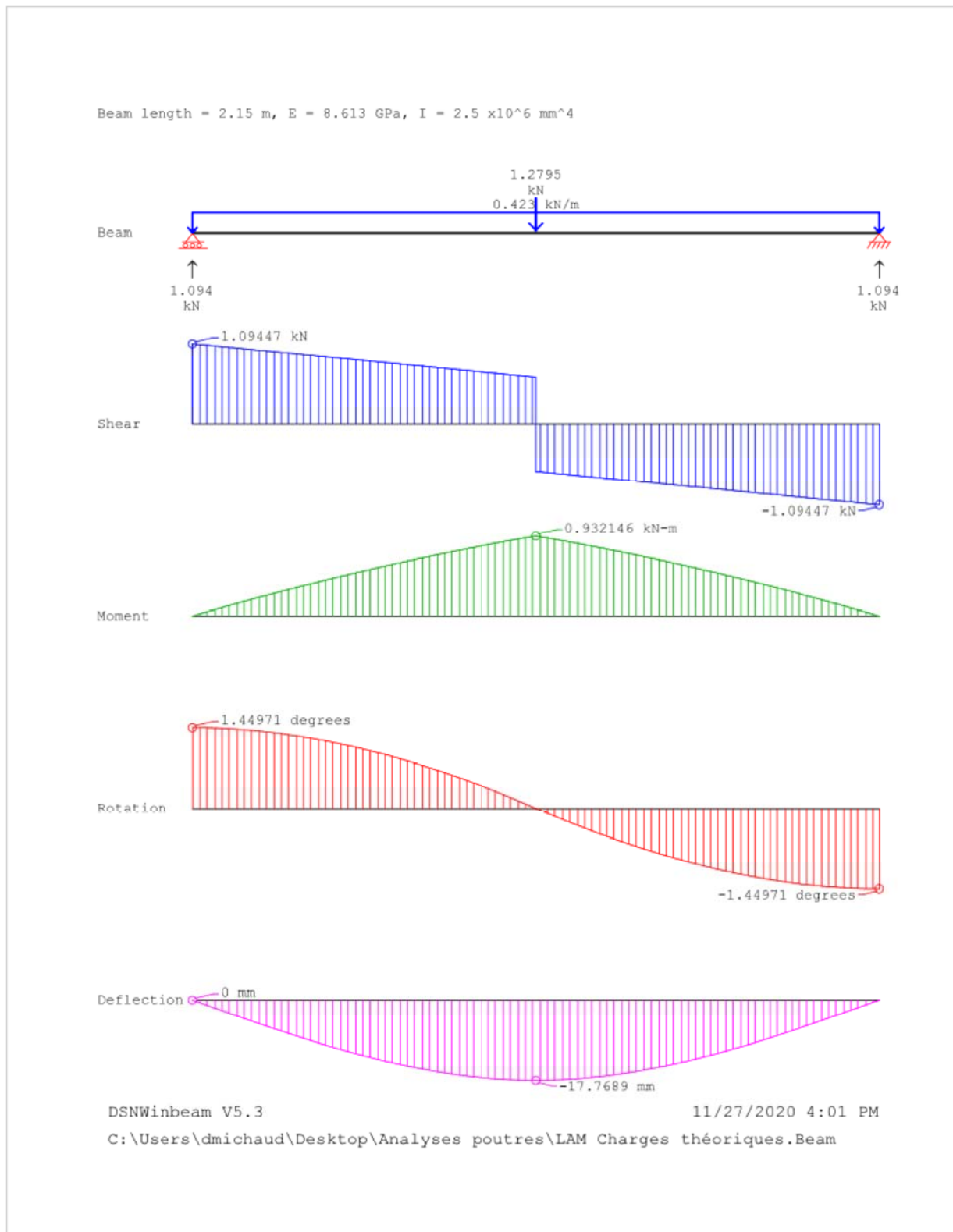
11/27/2020 4:17 PM

C:\Users\dmichaud\Desktop\Analyses poutres\50x250 Charges théoriques.Beam

EXPERTISE STRUCTURALE
PROJET 20238 - ACCIDENT 2150 RUE MACKAY, 12 AOÛT 2020 - EXPERTISE STRUCTURALE POST EFFONDREMENT



**ANNEXE 7 – ANALYSE MADRIER LAMELLÉ COLLÉ, CHARGES
THÉORIQUES, CONDITION HUMIDE**



Input:

Beam Element: Length = 2.15 m; E = 8.613 GPa; I = 2.5 x10⁶ mm⁴;
 Roller Support: X = 0 m;
 Pin Support: X = 2.15 m;

Point Load: X = 1.075 m; P = -1.2795 kN;

Analysis Data:

Beam Length = 2.15 m
 501 Nodes, 500 Beam Elements, 1002 Degrees of Freedom

Reactions:

X	Vert	Rot
m	kN	kN-m
0	1.094	
2.150	1.094	

Equilibrium:

	Force	Reaction	Error
Vert	-2.189	2.189	-0.000 kN
Rot	2.353	-2.353	0.000 kN-m

Min & Max values:

Min Shear	=	-1.094 kN	at	2.150000 m
Max Shear	=	1.094 kN	at	0 m
Min Moment	=	3.281e-14 kN-m	at	0 m
Max Moment	=	0.932146 kN-m	at	1.075000 m
Min Rotation	=	-1.450 degrees	at	2.150000 m
Max Rotation	=	1.450 degrees	at	0 m
Min Deflection	=	-17.769 mm	at	1.075000 m
Max Deflection	=	0 mm	at	0 m

DSNWinbeam V5.3

11/27/2020 4:01 PM

C:\Users\dmichaud\Desktop\Analyses poutres\LAM Charges théoriques.Beam

ANNEXE D

Relevé météorologique 12 août 2020



Gouvernement
du Canada

Government
of Canada

Accueil > Environnement et ressources naturelles > Météo, climat et catastrophes naturelles > Conditions météorologiques et climatiques passées
> Données historiques



► Avis

Rapport de données horaires pour le 12 août 2020

Si vous avez obtenu des heures normales locales (HNL), utilisez-les pour convertir l'heure locale en heure standard, s'il y a lieu.

QUEBEC/JEAN LESAGE INTL QUÉBEC Opérateur de station opérationnelle : ECCC - SMC

Latitude : 46°48'13,000" N Longitude : 71°22'54,000" O
Altitude : 60,00 m ID climatologique : 7015001
ID de l'OMM : 71714 ID de TC : WQB

HEURE HNL	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Hauteur de précip. mm	Dir. du vent 10's deg	Vit. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refr. éolien	Météo
00:00	20,2	19,9	98	0,0	25	3		100,22	28		ND
01:00	20,8	20,4	97	0,0	23	5		100,26	29		ND
02:00	20,6	20,0	96	0,0	25	7		100,31	28		ND
03:00	20,1	19,5	96	0,0	21	6		100,36	27		ND
04:00	19,8	19,0	96	0,0	24	12		100,40			ND
05:00	19,6	19,1	97	0,0	24	13		100,49			ND
06:00	19,8	19,1	95	0,0	24	11		100,57			ND
07:00	20,5	19,3	93	0,0	24	9		100,64	28		ND
08:00	21,2	19,3	89	0,0	24	11		100,69	28		ND
09:00	22,4	19,6	84	0,0	24	11		100,72	30		ND
10:00	23,9	19,8	78	0,0	25	14		100,75	31		ND
11:00	25,3	20,0	72	0,0	23	11		100,75	33		ND
12:00	26,3	19,5	66	0,0	24	12		100,73	33		ND
13:00	26,9	16,6	53	0,0	24	16		100,71	32		ND
14:00	26,6	16,3	53	0,0	23	11		100,70	31		ND
15:00	27,4	16,4	51	0,0	24	13		100,69	32		ND
16:00	27,1	15,6	49	0,0	24	16		100,70	31		ND
17:00	26,7	16,6	54	0,0	24	10		100,70	32		ND
18:00	25,5	17,8	62	0,0	24	9		100,74	31		ND
19:00	23,1	17,9	73	0,0	24	5		100,79	29		ND
20:00	21,8	17,4	76	0,0	24	6		100,87	27		ND
21:00	19,7	17,5	87	0,0		0		100,91			ND
22:00	17,7	16,3	91	0,0	29	6		100,92			ND
23:00	17,6	17,0	96	0,0	7	1		100,93			ND

Légende

- E = Valeur estimée
- M = Données manquantes
- ND = Non disponible*
- [vide] = Indique une valeur non observée

Date de modification :
2021-03-25

ANNEXE E

Relevé météorologique 11 août 2020



Gouvernement du Canada
Government of Canada

Accueil > Environnement et ressources naturelles > Météo, climat et catastrophes naturelles > Conditions météorologiques et climatiques passées
> Données historiques



► Avis

Rapport de données horaires pour le 11 août 2020

S'il vous plaît sélectionner l'heure normale locale (HNL), ajoutez 1h pour convertir l'heure locale en heure universelle (H à 6h).

QUEBEC/JEAN LESAGE INTL
QUEBEC
Opérateur de station opérationnelle : ECCE - SMC

Latitude : 46°48'13,000" N **Longitude :** 71°22'54,000" O
Altitude : 60,00 m **ID climatologique :** 7015001
ID de l'OMM : 71714 **ID de TC :** WQB

HEURE	Temp. °C	Point de rosée °C	Hum. rel. %	Hauteur de précip. mm	Dir. du vent 10's deg	Vis. du vent km/h	Visibilité km	Pression à la station kPa	Hmdx	Refr. folien	Météo
HNL	°C	°C	%	mm		km/h	km	kPa			
00:00	18,3	17,6	95	0,0	3	1		100,42			ND
01:00	18,7	17,4	92	0,0	14	1		100,36			ND
02:00	18,5	17,9	96	0,0	30	4		100,35			ND
03:00	18,6	17,9	96	0,0		0		100,32			ND
04:00	18,3	17,6	96	0,0		0		100,34			ND
05:00	17,8	17,3	97	0,0	34	3		100,38			ND
06:00	20,3	19,5	95	0,0		0		100,41	27		ND
07:00	21,6	19,9	90	0,0	0	1		100,41	29		ND
08:00	22,9	20,5	86	0,0	25	9		100,42	31		ND
09:00	20,7	18,6	88	2,0	23	10		100,47	27		ND
10:00	23,6	20,6	83	0,8	23	8		100,43	32		ND
11:00	26,0	21,8	78	0,0	26	9		100,36	35		ND
12:00	27,8	22,3	72	0,0	25	8		100,26	37		ND
13:00	29,6	23,4	69	0,0	26	5		100,16	40		ND
14:00	29,9	23,7	69	0,0	23	7		100,10	41		ND
15:00	30,9	22,2	60	0,0	22	9		100,03	40		ND
16:00	31,0	22,0	59	0,0	23	6		100,00	40		ND
17:00	29,1	21,3	63	0,0	21	4		99,93	38		ND
18:00	23,0	20,3	85	4,0	32	16		100,07	31		ND
19:00	20,9	19,1	89	4,3	31	11		100,12	28		ND
20:00	20,3	19,4	95	9,3	27	13		100,36	27		ND
21:00	20,2	19,5	96	4,1	22	2		100,25	27		ND
22:00	20,2	19,8	98	0,3	6	3		100,20	28		ND
23:00	20,1	19,7	98	0,0	29	3		100,17	27		ND

Légende

- E = Valeur estimée
- M = Données manquantes
- ND = Non disponible
- [vide] = Indique une valeur non observée

Date de modification :
2021-03-25

ANNEXE F**Références bibliographiques**

ASP CONSTRUCTION. *Les échafaudages à cadres métalliques en 8 consignes de sécurité*, Anjou, ASP Construction, 2020, 31 p.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Échafaudages d'accès pour les travaux de construction*, Toronto, CSA, 2016, 81 p. (CSA-S269.2-16).

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Règles de calcul des charpentes en bois*, Toronto, CSA, 2014, 249 p. (CSA O86-14).

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Règles d'utilisation des échafaudages d'accès*, Toronto, CSA, 2018, 126 p. (CSA Z797-18).

BUREAU DE PROMOTION DES PRODUITS DU BOIS DU QUEBEC. *Essences : Épinette, Pin, Sapin (EPS)*, [En ligne], 2020. [<https://quebecwoodexport.com/produits/bois-resineux/essences/epinette-pin-sapin-eps/>] (Consulté le 17 août 2020).

BUREAU DE PROMOTION DES PRODUITS DU BOIS DU QUEBEC. *Le Groupe EPS*, Québec, QWEB, 2020, 2 p. [<http://www.quebecwoodexport.com/assets/uploads/Fiche-EPSnew.pdf>].

CENTRE D'EXPERTISE SUR LA CONSTRUCTION COMMERCIALE EN BOIS. *Bois d'œuvre*, [En ligne], 2020. [<https://cecobois.com/produits/produits-structuraux/bois-doeuvre/>] (Consulté le 17 août 2020).

CENTRE D'EXPERTISE SUR LA CONSTRUCTION COMMERCIALE EN BOIS. *Guide technique sur la conception de bâtiments à ossature légère en bois*, 2^e édition, Québec, Cecobois, 2019, 71 p. [https://cecobois.com/wp-content/uploads/2020/04/CECO-11896_Correction_Guide_OssatureLegere_LR.pdf].

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *L'inspection des madriers d'échafaudage en bois d'œuvre : monté sur du solide*, Québec, CSST, 2003, 6 p. (DC 100-9033). [<https://www.cnesst.gouv.qc.ca/sites/default/files/publications/inspection-madriers-echafaudage-bois-duvre.pdf>].

COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *Guide d'installation et d'utilisation, échafaudages. Composant : planchers*, Québec, CNESST, 2014, 16 p. (DC 200-1693-2). [<https://www.cnesst.gouv.qc.ca/sites/default/files/publications/planchers-echafaudages.pdf>].

COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *Guide d'installation et d'utilisation, échafaudages. Type : sur cadres métalliques*, Québec, CNESST, 2020, 20 p. (DC 200-1703-4).

[<https://www.cnesst.gouv.qc.ca/sites/default/files/publications/cadres-metalliques-des-echafaudages.pdf>]

COMMISSION NATIONALE DE CLASSIFICATION DES SCIAGE 2017 NLGA *Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien*, [En ligne], 2017. [<http://nlga.org/fr/publications-pour-telecharger/>] (Consulté le 11 janvier 2020)

CONSEIL CANADIEN DU BOIS. *Classement*, [En ligne], 2020. [[Classement - The Canadian Wood Council - CWC : The Canadian Wood Council – CWC](#)] (Consulté le 20 août 2020).

CONSEIL CANADIEN DU BOIS. *Manuel de calcul des charpentes en bois, 2018 : l'ouvrage de référence complet pour le calcul des charpentes en bois au Canada*, Ottawa, Conseil canadien du bois, 2018, 2 v.

QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 10 décembre 2020*, [En ligne], 2020. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/S-2.1,%20r.%204>] (Consulté le 11 janvier 2021).

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 10 décembre 2020*, [En ligne], 2020. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/S-2.1>] (Consulté le 11 janvier 2021)

STARRFOREST. *Madrier d'échafaudage Starr-Lam*, [En ligne], 2020. [<http://www.starrforest.ca/madrier-d-echafaudage-starr-lam/?lang=fr>] (consulté le 19 août 2020)