EN004385

RAPPORT D'ENQUÊTE

Accident ayant causé des blessures à deux travailleurs des entreprises 9267-1056 Québec inc. et ConstruQc – Intendance de projet inc., survenu le 2 novembre 2022 sur un chantier de construction situé sur le site de l'aéroport de Charlevoix à Saint-Irénée.

VERSION DÉPERSONNALISÉE

Service de la prévention-inspection – Capitale-Nationale

Inspectrice : Véronique Dansereau

Inspecteur: Pierre D'Amours

Date du rapport : 13 septembre 2023

Rapport distribué à :

- Monsieur Michaël Drouin, président, Construction MDMC inc.
- Monsieur Denis Filiatreault, président, 9267-1056 Québec inc. (CDF Immobilier)
- Monsieur Denis Rodrigue, président, 2BR Construction inc.
- Monsieur François-Xavier Aubry, co-président, ConstruQc – Intendance de projet inc.
- Docteur André Dontigny, directeur de santé publique, CIUSSS de la Capitale-Nationale
- Monsieur A, CSN-Construction
- Monsieur B, CSD-Construction
- Monsieur C, Syndicat québécois de la construction (SQC)
- Monsieur D, FTQ-Construction
- Monsieur Michel Trépanier, président, conseil provincial du Québec des métiers de la construction (International)

TABLE DES MATIÈRES

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT 1

2 ORGANISATION DU TRAVAIL 3

2.1 STRUCTURE GÉNÉRALE DU CHANTIER 3
2.1.1 MAÎTRE D'ŒUVRE 3
2.1.2 CONSTRUQC – INTENDANCE DE PROJET INC. 4
2.1.3 AUTRES ENTREPRISES PRÉSENTES 4
2.2 ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL 4
2.2.1 MÉCANISMES DE PARTICIPATION 4
2.2.2 GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ 4

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL 6

3.1 DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL 6
3.2 DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER 7

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE 9

4.1 CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT 9
4.2 CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES 11
4.2.1 FERMES DE TOIT 11
4.2.2 CONTREVENTEMENTS DES FERMES DE TOIT 12
4.2.2.1 Contreventement permanent 12
4.2.2.2 Contreventement temporaire 12
4.2.3 PLANS ET GUIDES D'INSTALLATION 13
4.2.4 COMPOSITION DE L'ÉQUIPE DE TRAVAIL ET EXPÉRIENCE DES TRAVAILLEURS 15
4.2.4.1 E - ConstruQC 15
4.2.4.2 F Construction MDMC inc. 15
4.2.4.3 G – Construction MDMC inc. 15
4.2.4.4 H – CDF Immobilier 15
4.2.4.5 I – CDF Immobilier 16
4.2.4.6 Autres travailleurs 16
4.2.5 MÉTHODE D'INSTALLATION DES CONTREVENTEMENTS 16
4.2.6 TRAVAIL EN HAUTEUR 21
4.2.6.1 Appareils de levage 21
4.2.6.2 Protection contre les chutes 22
4.2.7 INFORMATIONS RECUEILLIES À PARTIR DU RAPPORT D'EXPERTISE 22
4.2.7.1 La résistance des composants de la charpente du toit 23

4.2.7.2 Charges sur les fermes de toit lors de l'installation et forces sur les composants 24
4.2.7.3 Amorces d'un flambement des membrures supérieures 25
4.2.8 LOIS, RÈGLEMENTATIONS ET RÈGLES DE L'ART 27
4.2.8.1 Loi sur la santé et la sécurité du travail 27
4.2.8.2 Code de sécurité pour les travaux de construction 28
4.2.8.3 Loi sur les ingénieurs 28
4.2.8.4 Règles de l'art 29
4.2.9 CONTREVENTEMENT TEMPORAIRE ACCEPTABLE 35
4.3 ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES 36
4.3.1 ALORS QUE DES TRAVAILLEURS SONT POSITIONNÉS DANS LA CHARPENTE DU TOIT EN CONSTRUCTION DONT LE CONTREVENTEMENT EST INSUFFISANT, LE FLAMBEMENT DE MEMBRURES SUPÉRIEURES ENTRAÎNE L'EFFONDREMENT EN CASCADE DE 19 FERMES DE TOIT ET LA CHUTE DE 2 TRAVAILLEURS D'UNE HAUTEUR DE 6,3 M (20 PI 8 PO). 36
4.3.2 LA MÉTHODE DE TRAVAIL UTILISÉE POUR LA CONSTRUCTION DE LA CHARPENTE DU TOIT EST DANGEREUSE EN CE QU'ELLE N'ASSURE PAS LA STABILITÉ DES FERMES DE TOIT PENDANT LEUR INSTALLATION. 38

5 CONCLUSION 42

5.1 CAUSES DE L'ACCIDENT 42
5.2 SUIVI DE L'ENQUÊTE 42

ANNEXES

ANNEXE A : Liste des accidentés 43
ANNEXE B : Liste des personnes interrogées 44
ANNEXE C : Rapport d'expertise 45
ANNEXE D : Dessins techniques et plans 68
ANNEXE E : Relevés météorologiques 81
ANNEXE F : Références bibliographiques 83

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 2 novembre 2022, vers 14 h 25, sur un chantier de construction situé sur le site de l'aéroport de Charlevoix, 8 travailleurs installent des fermes de toit d'environ 20,12 m (66 pi) sur la structure d'un garage. Alors qu'ils complètent l'installation de la 25e ferme de toit, 19 des fermes déversent et s'effondrent au sol. L'effondrement entraîne la chute de deux charpentiers-menuisiers d'une hauteur de 6,3 m (20 pi 8 po).

Conséquences

Les deux travailleurs sont blessés, dont un gravement.

Figure 1 - *Photo du lieu de l'accident*
Source : CNESST

Abrégé des causes

- Alors que des travailleurs sont positionnés dans la charpente du toit en construction dont le contreventement est insuffisant, le flambement[1] de membrures supérieures entraîne

[1] Flambement : Phénomène d'instabilité d'une structure sous l'effet d'un effort de compression qui se manifeste sous forme de féchissement et de déformation.

l'effondrement en cascade de 19 fermes de toit et la chute de 2 travailleurs d'une hauteur de 6,3 m (20 pi 8 po).

- La méthode de travail utilisée pour la construction de la charpente du toit est dangereuse en ce qu'elle n'assure pas la stabilité des fermes de toit pendant leur installation.

Mesures correctives

Le 2 novembre 2022, la CNESST interdit le déplacement et le démantèlement de la charpente, y compris les fermes de toit, du garage en construction. La CNESST exige du maître d'œuvre qu'il mette en place une procédure signée, scellée et supervisée par un ingénieur pour les travaux de démantèlement de la charpente endommagée. La CNESST interdit également la reconstruction de la charpente du toit. Elle exige qu'une procédure d'installation des fermes de toit préfabriquées en usine soit signée et scellée par un ingénieur (RAP1404812).

Le 8 novembre 2022, la CNESST permet l'ajout d'étaiements temporaires par l'extérieur sur les murs latéraux du garage et sur la ferme d'extrémité après la réception d'une première version d'une procédure de démantèlement et de sécurisation de la charpente du toit, signée et scellée par un ingénieur (RAP1405843).

Le 9 novembre 2022, la CNESST autorise le démantèlement des fermes de toit effondrées et la sécurisation de quatre fermes installées sur la structure du garage, après la réception d'une deuxième version de la procédure de démantèlement et de sécurisation, signée et scellée par le même ingénieur (RAP1405816).

Le 18 novembre 2022, la CNESST autorise l'installation de nouvelles fermes de toit préfabriquées à la suite de la réception d'une procédure de montage spécifique au bâtiment en construction comprenant un pré-assemblage au sol, signée et scellée par un ingénieur (RAP140678).

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

La figure 2 présente la structure organisationnelle du chantier pour l'érection de la structure en bois du bâtiment.

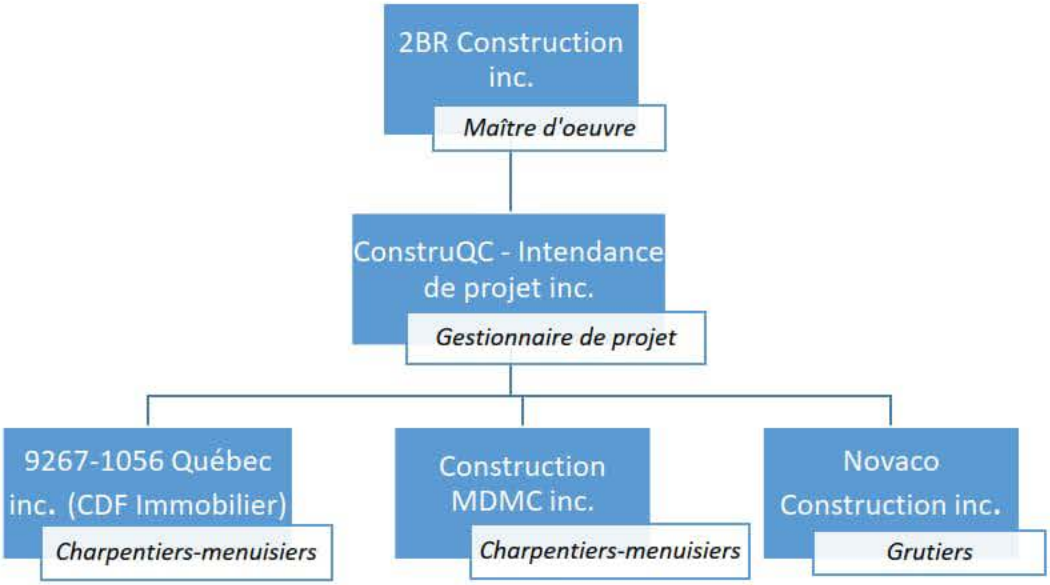


Fig. 2 - *Structure organisationnelle du chantier pour l'érection de la charpente*
Source : CNESST

2.1.1 Maître d'œuvre

La municipalité régionale de comté (MRC) de Charlevoix-Est, propriétaire de l'aéroport de Charlevoix, a octroyé un contrat à l'entreprise 2BR Construction inc. pour la construction d'un garage servant à entreposer de la machinerie. 2BR Construction inc. est le maître d'œuvre du chantier puisque l'entreprise est responsable de l'exécution de l'ensemble des travaux de construction de même que de l'octroi des contrats de travail aux employeurs sous-traitants.

2BR Construction inc. œuvre dans le secteur d'activité économique *Autres services commerciaux et personnels*. Elle se spécialise dans les travaux de construction et rénovation, principalement dans les secteurs commercial et institutionnel. Elle offre des services de gestion de projet et de surintendance sur les chantiers. Elle emploie [redacted] travailleur.

Au chantier, la supervision des travaux est chapeautée par J [redacted] chez 2BR Construction inc. Il visite hebdomadairement le chantier. Cependant, la gestion de projet, la planification des travaux et la supervision directe des travailleurs sont assumées par ConstruQc Intendance de projet inc. (ci-après nommé ConstruQc).

2.1.2 ConstruQc – Intendance de projet inc.

2BR Construction inc. a octroyé un contrat de travail à ConstruQc pour la gestion du projet de construction. L'entreprise œuvre dans le secteur d'activité économique Bâtiment et travaux publics et se spécialise dans la gestion de chantier.

Un chargé de projet de ConstruQc est présent sur le chantier lors de l'exécution des travaux pour assurer leur bon déroulement.

Pour l'érection de la charpente en bois et l'installation des fermes de toit, ConstruQc a fait appel à de la main-d'œuvre provenant de trois entreprises : 9267-1056 Québec inc. (ci-après nommé CDF Immobilier), Construction MDMC inc. et Novaco Construction inc.

2.1.3 Autres entreprises présentes

CDF Immobilier se spécialise dans la construction de bâtiments résidentiels et commerciaux. L'entreprise emploie une dizaine de travailleurs de la construction.

Construction MDMC inc. a été fondée en 2022 par . .

L'entreprise Novaco Construction inc. offre les services de location de grue et de main-d'œuvre spécialisée. Elle emploie plus de 10 travailleurs.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Il n'y a pas de mécanisme de participation tel qu'un comité de santé et sécurité. Pour un chantier de cette envergure, la *Loi sur la santé et sécurité du travail* (LSST) n'oblige pas la constitution d'un comité de chantier, ni la présence d'un agent de sécurité.

Les questions de santé et sécurité sont discutées directement entre les travailleurs et, au besoin, avec E de ConstruQC.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

2BR Construction inc.

Le maître d'œuvre possède un programme de prévention général élaboré par l'Association de la construction du Québec. Le programme de prévention n'est pas mis à la disposition des travailleurs du chantier et n'est pas connu de ceux-ci.

Il n'y a pas de programme de prévention spécifique au chantier de construction en cours.

ConstruQC – Intendance de projet inc.

ConstruQC ne possède pas de programme de prévention, malgré les dispositions prévues à l'article 58 de la LSST concernant les entreprises dont les activités relèvent du secteur d'activité économique *Bâtiment et travaux publics*. Aucun processus formel n'est mis en place afin de gérer la santé et sécurité sur le chantier de construction.

Des rappels verbaux sont effectués sporadiquement par le chargé de projet concernant le port des équipements de protection individuels et certaines consignes de sécurité telles que la conduite d'appareils de levage. Cependant, il n'y a pas d'écrits à cet effet.

CDF Immobilier et Construction MDMC inc.

Malgré leurs obligations en vertu de la LSST, CDF Immobilier et Construction MDMC inc. ne possèdent pas de programme de prévention. Aucun mécanisme de gestion de la santé et sécurité n'est mis en place.

Il n'y a pas de programme d'accueil et d'intégration structuré pour les nouveaux travailleurs. Ils sont formés par compagnonnage.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le chantier consiste en la construction d'un garage prévu pour entreposer de la machinerie sur le site de l'aéroport de Charlevoix situé au 400, rang Sainte-Madeleine, à Saint-Irénée. Les travaux de construction du bâtiment ont débuté à la mi-septembre 2022. Le coût des travaux est estimé à 1 250 000$ selon l'avis d'ouverture de chantier.

Fig. 3 - *Vue aérienne du site de l'aéroport de Charlevoix*
Source : Google Map, modifiée par la CNESST

Le bâtiment rectangulaire de 20,22 m x 22,25 m (66 pi 4 po x 73 pi) est orienté vers le nord-ouest. Les murs à ossature en bois reposent sur des fondations de béton ressortant du sol. Les fermes de toit s'appuient sur les murs extérieurs.

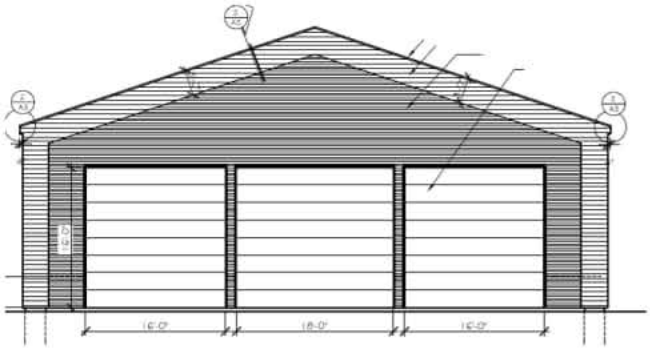


Fig. 4 - *Élévation de la façade avant du garage*
Source : Mathieu Simard Architecte

Selon le rapport d'observation météorologique pour l'aviation (METAR : *Meteorological Aerodrome Report*) recueilli auprès de l'aéroport de Charlevoix, vers 14 h 20, la température est de 9 °C et le ciel

est dégagé. Le vent, provenant du nord-ouest, souffle à 13 km/h (7 nœuds) avec des rafales à 33 km/h (18 nœuds).

3.2 Description du travail à effectuer

Les principales étapes de la construction d'un tel bâtiment sont les suivantes :

- Construction des fondations en béton;
- Érection des murs à ossature en bois;
- Installation des fermes de toit;
- Pose des panneaux de contreplaqué sur les fermes de toit;
- Pose de la couverture du toit;
- Pose du revêtement des murs extérieurs, des portes et des fenêtres;
- Finition intérieure.

Le 2 novembre 2022, seuls des travaux de charpenterie sont en cours sur le chantier. Les murs extérieurs étant érigés, les travaux prévus pour la journée consistent à installer 34 fermes de toit sur la structure du bâtiment, dont 32 fermes principales (nommées T1) et 2 fermes maîtresses (GE1 et GE2). Huit travailleurs participent aux travaux.

La figure 6 présente la terminologie employée pour désigner les composants d'une ferme de toit.

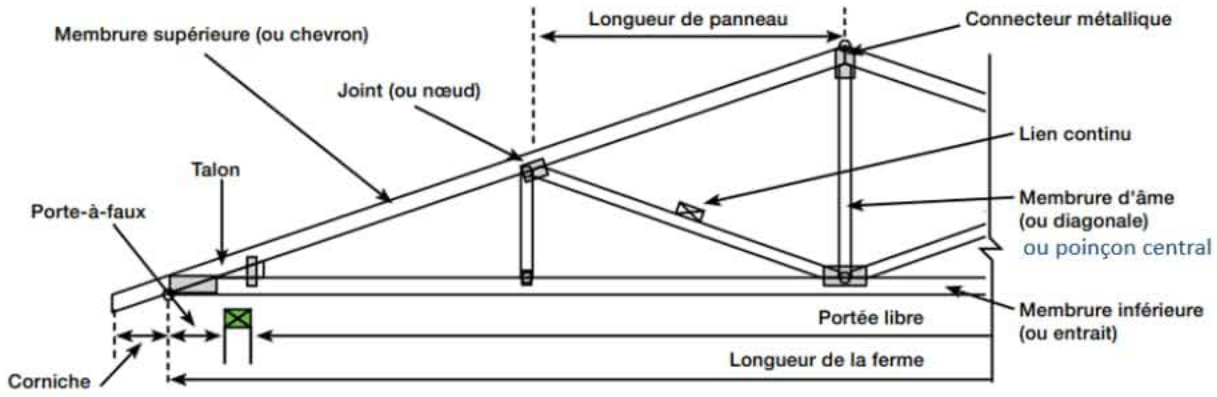


Fig. 5 - *Éléments constituant une ferme en bois*
Source : Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (Cecobois), Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale, modifiée par la CNESST

Selon les informations obtenues, les travaux d'installation des fermes de toit s'effectuent à l'aide d'une grue mobile et suivent cette séquence pour le garage :

- Livraison sur le chantier des fermes de toit préfabriquées directement au sol;
- Assemblage des fermes maîtresses au sol (isolation, panneaux de contreplaqué et lattes);

- Installation de la première ferme maîtresse GE1, appuyée sur le mur arrière du bâtiment à l'extrémité nord-ouest du chantier;
- Stabilisation de la première ferme maîtresse GE1 à l'aide d'étais fixés sur le mur nord-ouest par l'extérieur;
- Installation de la première ferme de toit principale T1 (ci-après nommée ferme *T1*) sur les murs nord-est et sud-ouest du bâtiment et clouage de celle-ci à chaque extrémité;
- Fixation de pièces de bois de 1 x 3 mesurant 65 cm (25 ½ po), appelées espaceurs, sur les membrures des fermes de toit et reliant celles-ci deux par deux;
- Installation des fermes T1 suivantes, au nombre de 32, en les clouant à chaque extrémité et en fixant des espaceurs sur leurs membrures pour les stabiliser;
- Pendant la fixation des fermes de toit T1, installation de contreventements temporaires en X, appelés « *croisillons* », reliant minimalement trois fermes de toit. Les croisillons sont placés sur les membrures d'âme à chaque extrémité de la longueur du bâtiment et à des intervalles de 6,10 m (20 pi);
- Installation des liens continus sur les membrures inférieures et supérieures selon les plans du fabricant, à temps perdu entre l'installation de deux fermes de toit;
- Installation de la deuxième ferme de toit maîtresse GE2 à l'extrémité sud-est du bâtiment;
- Après le départ de la grue, installation des liens continus et autres contreventements permanents prévus aux plans du fabricant.

Les travailleurs prévoient compléter l'installation des 34 fermes de toit en une journée.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 31 octobre 2022, K , transmet par courriel à F les documents reçus de la part de La Charpenterie. K ne précise pas de méthode de travail.

G , F et H prennent connaissance des plans de construction. Ils conviennent des principales étapes de la méthode d'installation des fermes de toit.

Le 2 novembre 2022, les sept charpentiers-menuisiers débutent leur journée de travail au chantier vers 6 h 45. Le grutier arrive avec son appareil de levage quelques minutes plus tard.

Pendant que le grutier positionne et déploie la grue mobile, les charpentiers-menuisiers scient des pièces de bois de 1 x 3 d'une longueur de 65 cm (25 ½ po) qui serviront d'espaceurs.

Vers 7 h 30, les charpentiers-menuisiers se regroupent pour discuter de la méthode de travail et de leur positionnement respectif pendant l'installation des fermes de toit. Le représentant du maître d'œuvre ne participe pas à la rencontre. Selon les plans, 34 fermes de toit doivent être installées.

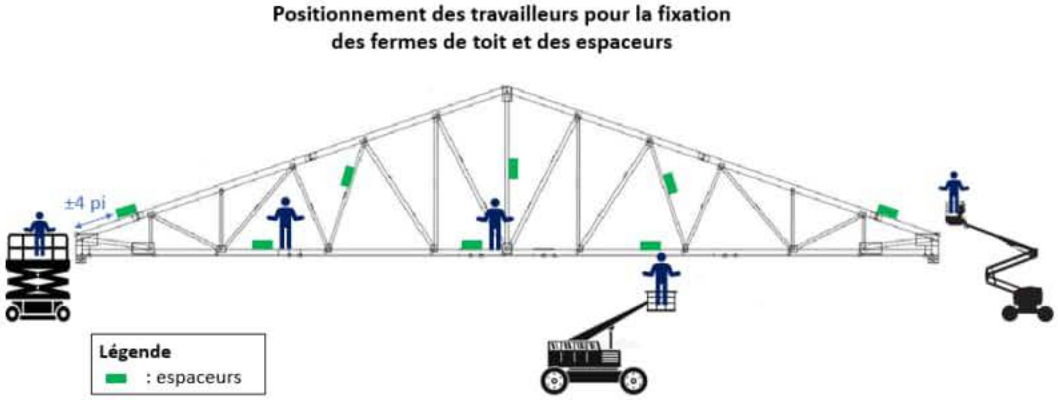


Fig. 6 - *Positionnement approximatif des travailleurs pour l'installation des fermes de toit et des espaceurs*
Source : CNESST

Vers 9 h, les travailleurs débutent l'installation de la première ferme maîtresse (GE1) qui s'appuie sur le mur nord-ouest du bâtiment. Ils la stabilisent en plaçant trois étais.

Les travailleurs fixent ensuite la première ferme T1 à une distance d'environ 30 cm (12 po) de la GE1. Ils la clouent à chaque extrémité à l'aide de huit clous, sur les sablières des murs nord-est et sud-ouest. Ils installent des espaceurs sur les membrures entre la ferme T1 et la GE1 selon le principe illustré à la figure 7. La seconde ferme T1 est installée, à 30 cm (12 po) de la première.

Une fois les 3 premières fermes de toit stabilisées, les travailleurs placent les 3 fermes T1 suivantes à 61 cm (24 po) d'intervalle. Trois contreventements composés de 1 x 3 assemblés en X (ci-après nommé contreventement en X) sont fixés sur les six premières fermes. Ils sont cloués sur les membrures d'âme.

Les travailleurs poursuivent ensuite l'installation des fermes T1 à 61 cm (24 po) d'intervalle en les stabilisant à l'aide d'espaceurs.

Entre la 15e et la 20e ferme de toit, F place un seul contreventement en X sur les poinçons centraux. À temps perdu, il fixe des liens continus en 2 x 4 sur les membrures inférieures des 14 premières fermes.

Vers 14 h 10, alors que les travailleurs installent la 25e ferme, ils observent que les fermes de toit penchent vers la façade avant (vers le sud-est). Avisés du problème, E et F se rendent vers l'arrière du bâtiment pour redresser les fermes en posant deux liens continus sous les membrures supérieures. Alors qu'il s'apprête à fixer un des liens continus, F constate un espace de 65 cm (25 ½ po) entre deux fermes de toit qui est dû à un espaceur trop long, près de la 13e ferme. Il décloue alors l'espaceur problématique situé sur le poinçon central et tire sur la 13e ferme pour la repositionner à 24 po de la précédente. Pendant que F la tient en position, E recloue l'espaceur. Quelques minutes plus tard, E observe que l'espaceur du poinçon central de la 15e ferme est décloué.

Entre-temps, I et L, positionnés dans la partie avant du bâtiment, observent que des espaceurs fixés sur les membrures d'âme côté droit (vers l'est) entre la 25e et 22e fermes de toit sont fendus. Le clouage de l'espaceur de la 22e ferme a cédé. I rejoint L dans la plate-forme du chariot-élévateur pour aller corriger le clouage. Incapable d'atteindre la membrure d'âme à partir de la plate-forme du chariot-élévateur, I monte sur les membrures inférieures, traverse 4 fermes et se rend vis-à-vis la 22e ferme.

Vers 14 h 20, alors qu' I s'apprête à poser un nouvel espaceur, les quatre dernières fermes de toit installées déversent vers l'avant du bâtiment et s'accotent sur la plate-forme du chariot-élévateur. L repousse les fermes de toit vers l'arrière (vers le nord-ouest). Il s'en suit un effet domino entraînant l'effondrement de 19 fermes sur 25 au sol.

I, alors sur les membrures inférieures d'une ferme, s'agrippe à celle-ci et est entraîné sur une hauteur de 6,3 m dans l'effondrement.

Au même moment, alors que E se rend vers l'espaceur décloué de la 15e ferme, il entend un craquement et observe que les fermes déversent dans sa direction. Il se met à courir vers l'arrière du bâtiment. Cependant, la corde de son harnais de protection contre les chutes se coince dans les membrures des fermes et il chute sur la charpente effondrée, environ 6 m plus bas.

Les travailleurs ayant pu fuir l'effondrement portent assistance aux deux travailleurs blessés et les dégagent des décombres. Les services d'urgence sont contactés. Les travailleurs accidentés sont évacués du chantier par ambulance.

4.2 Constatations et informations recueillies

Les mesures utilisées par les charpentiers-menuisiers au Québec sont principalement exprimées en pieds et en pouces sur les chantiers de construction puisque plusieurs matériaux proviennent des États-Unis. Afin de faciliter la lecture du présent rapport, voici un tableau résumant les dimensions réelles du bois de charpente.

Dimensions réelles du bois de charpente		
Bois de charpente	**Mesures réelles impériales**	**Mesures réelles métriques**
1 x 3	¾ po x 2 ½ po	1,9 cm x 6,4 cm
2 x 4	1 ½ po x 3 ½ po	3,8 cm x 6,4 cm
2 x 6	1 ½ po x 5 ½ po	3,8 cm x 14 cm
4 x 4	3 ½ po x 3 ½ po	8,9 cm x 8,9 cm

4.2.1 Fermes de toit

Le plan de structure du bâtiment élaboré par Laro Experts, signé et scellé par l'ingénieur M en date du 3 octobre 2022, spécifie les dimensions du garage. La longueur des fermes de toit correspond à celle du bâtiment, c'est-à-dire environ 20,12 m (66 pi). L'ingénieur prévoit un espacement maximal des fermes de toit de 61 cm (24 po). De plus, le plan indique les charges de conception[2].

Les fermes de toit préfabriquées proviennent de l'usine de l'entreprise La Charpenterie située à Saguenay. Elles ont été conçues conformément à la partie 4 du Code national du bâtiment du Canada et selon les spécifications du plan de structure. Le plan de montage élaboré par La Charpenterie prévoit l'installation de 34 fermes de toit : 2 fermes maîtresses (GE1 et GE2) et 32 fermes T1.

Les trois modèles de fermes de toit sont dessinés individuellement par l'ingénieur concepteur, N pour l'entreprise MiTek Canada inc. Il a conçu les fermes de toit spécifiques au projet à partir des données fournies par La Charpenterie.

Le tableau suivant résume les dimensions des fermes de toit :

	GE1 Ferme maîtresse située au nord-ouest		**GE2** Ferme maîtresse située au sud-est		**T1** Fermes principales	
Longueur	20,17 m	66 pi 2 po	20,17 m	66 pi 2 po	20,17 m	66 pi 2 po
Largeur	4,45 cm	1 ¾ po	4,45 cm	1 ¾ po	4,45 cm	1 ¾ po
Hauteur	3,66 m	12 pi	3,66 m	12 pi	3,66 m	12 pi
Poids	268,98 kg	593 lb	242,67 kg	535 lb	178,26 kg	393 lb

[2] Charges de conception : Afin qu'elle résiste à toutes les charges susceptibles d'agir sur elle pendant sa durée de vie, une structure doit être conçue en considérant notamment les charges dues au vent, à la neige et les effets dus aux séismes.

4.2.2 Contreventements des fermes de toit

4.2.2.1 Contreventement permanent

Le contreventement permanent sert à assurer l'intégrité structurale de l'ensemble du toit et du bâtiment. Il permet d'assurer la stabilité du bâtiment en empêchant le flambement des membrures chargées en compression, en partageant les charges entre les fermes de toit adjacentes, en transmettant les charges de vents et de séisme, et en limitant les déplacements latéraux des membrures.

Le contreventement permanent est composé principalement de liens continus et du revêtement rigide du toit. Les liens continus sont indiqués dans les dessins techniques des fermes de toit préparés par MiTeck inc. Selon ces dessins, les liens continus sont des pièces de bois de 2 x 4 clouées sur les membrures des fermes de toit et les reliant entre elles (voir figure 7). Le revêtement rigide est spécifié dans le plan de structure de Laro Experts. Il permet de créer un effet de diaphragme sur les membrures supérieures et inférieures des fermes de toit.

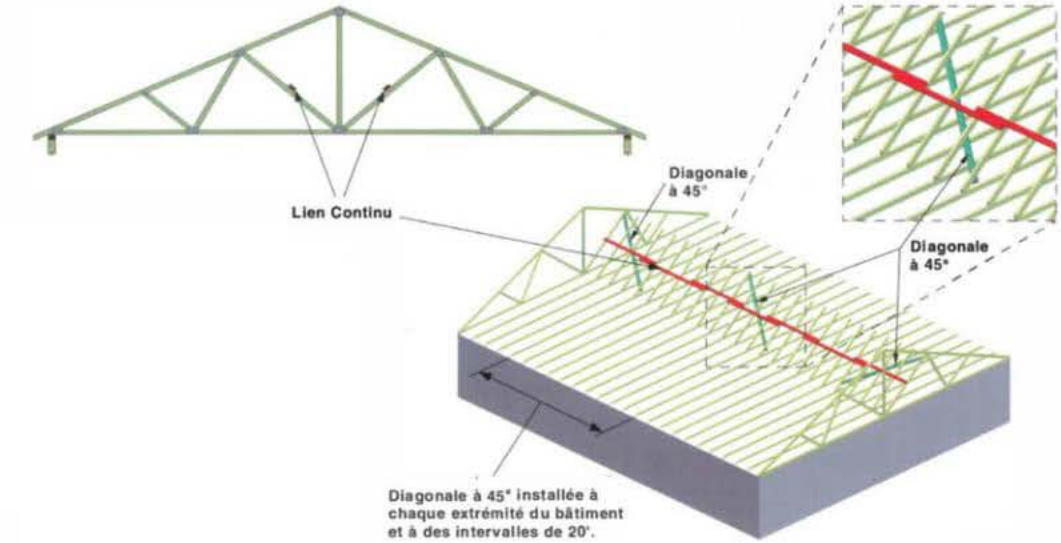


Fig. 7 - *Exemple de liens continus*
Source : Manufacturiers de structures de bois du québec, Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée

4.2.2.2 Contreventement temporaire

Le contreventement temporaire permet de stabiliser la charpente en cours de construction. Il maintient à la verticale les fermes de toit pendant leur installation. Certains composants du contreventement temporaire seront conservés pour faire partie intégrante du contreventement permanent. D'autres composants seront remplacés par le revêtement rigide sur l'ouvrage complété.

Le contreventement temporaire doit être fixé au fur et à mesure de l'installation des fermes de toit. Il est composé de matériaux de construction placés perpendiculairement et en diagonale sur les fermes de toit. Selon les règles de l'art, il est constitué de :

- Espaceurs ou contreventement latéral : pièces de bois en 2 x 4 servant de contreventement temporaire latéral sur les membrures supérieures (voir figure 8 A);
- Contreventement en X : longues pièces de bois minimalement en 2 x 4 assemblées en X reliant plusieurs fermes de toit servant de contreventement en diagonale sur les membrures intérieures (voir figure 8 C);
- Contreventement latéral et en diagonale sur les membrures inférieures : longues pièces de bois minimalement en 2 x 4 (voir figure 8 D et E);
- Contreventement en diagonale sur les membrures supérieures des 5 premières fermes (voir figure 8 B).

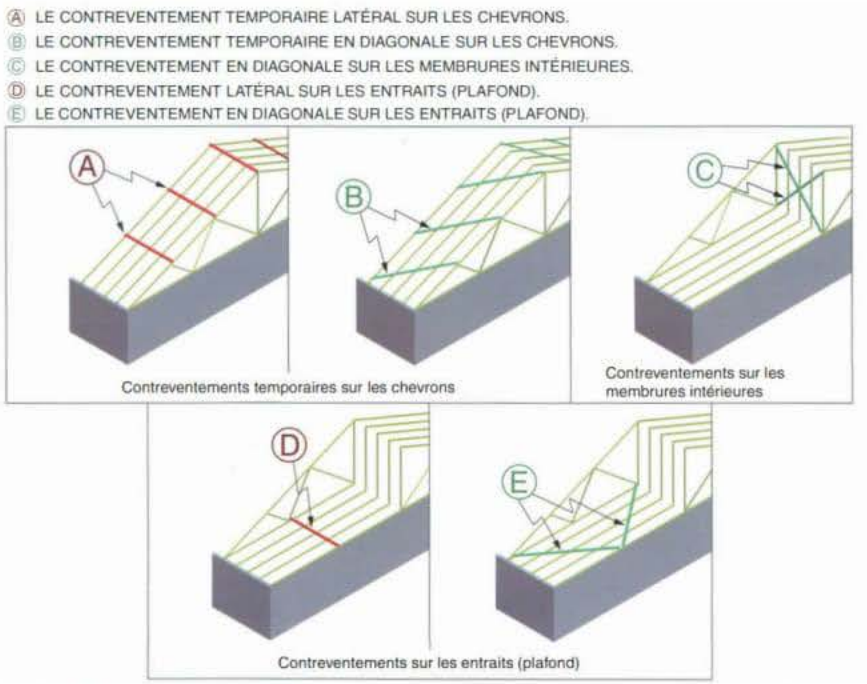


Fig. 8 - *Les différents types de contreventements temporaires pour les fermes de toit*
Source : Manufacturiers de structures de bois du québec, Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée

4.2.3 Plans et guides d'installation

Pour l'installation des fermes de toit, l'entreprise La Charpenterie fournit au E :

- Un plan de montage;
- Un plan 3D type comprenant des informations générales sur les liens continus et les contreventements temporaires;
- Les dessins techniques des fermes de toit élaborés par MiTeck inc.;

- Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée des Manufacturiers de structures de bois du Québec (ci-après MSBQ).

Le plan de montage

Le plan de montage spécifie l'emplacement des fermes de toit GE1, GE2 et T1. Il précise l'installation des étriers anti-soulèvement sur les sablières des murs. Il réfère aux dessins techniques, au plan 3D type et au guide du MSBQ pour la mise en place des contreventements.

Le plan de montage n'est pas signé et scellé par un ingénieur.

Le plan 3D type

Élaboré par La Charpenterie, le plan 3D donne un aperçu des contreventements temporaires et permanents types à installer lors de la mise en place de fermes de toit sur la charpente d'un bâtiment. Il s'agit d'un document général (non spécifique au projet) référant aux dessins techniques et au guide du MSBQ.

Dessins techniques de MiTeck inc.

Les plans et calculs des dessins techniques s'appliquent aux composantes individuelles des fermes de toit et non à un ensemble de fermes. Les dessins comprennent les exigences de contreventement latéral permanent des fermes afin de prévenir le flambement des membrures principales. Ainsi, les dessins montrent l'emplacement et les caractéristiques des liens continus permanents.

Les liens continus assurent le support latéral permanent des membrures en compression. Ils sont nécessaires pour que la ferme de toit supporte la charge pour laquelle elle a été calculée.

Pour les fermes T1 utilisées pour la construction du garage, il est mentionné quant au contreventement :

- Longueur de la membrure supérieure maximale non-supportée : 0,62 m (2,05 pi);
- Longueur de la membrure inférieure maximale non-supportée : 1,59 m (5,21 pi) ou plafond rigide.

De plus, la mention « L'érection et l'installation de cette ferme doivent être supervisées par un ingénieur professionnel ou une autorité compétente » apparaît sur les dessins techniques.

Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée MSBQ

Le guide est transmis au E avec les plans de montage. Il contient des renseignements fournis à titre indicatif. Le préambule du guide indique qu'il est nécessaire de consulter un ingénieur pour les situations particulières.

Il décrit les cinq différents types de contreventements temporaires et les huit étapes pour installer et contreventer sécuritairement les fermes d'un toit.

Les travailleurs ont reçu le guide par courriel avant le début des travaux d'installation des fermes de toit. Le guide n'a pas été abordé par le maître d'œuvre ou E lors des rencontres au chantier.

4.2.4 Composition de l'équipe de travail et expérience des travailleurs

Le jour de l'accident, l'équipe de travail est composée de huit travailleurs : sept charpentiers-menuisiers et un grutier. Le représentant du maître d'œuvre, J , est présent sur le chantier en avant-midi. Il quitte les lieux en début d'après-midi pour effectuer des commissions.

K , qui agit habituellement comme surintendant, est absent pour la semaine du 31 octobre 2022. Il se fait remplacer par son employé, E , principalement pour les tâches administratives.

4.2.4.1 E - ConstruQC

4.2.4.2 F – Construction MDMC inc.

Il œuvre comme charpentier-menuisier depuis l'obtention de son diplôme en .

Il a participé à l'installation de fermes de toit préfabriquées sur une trentaine d'immeubles à logements et maisons unifamiliales.

4.2.4.3 G – Construction MDMC inc.

Il a obtenu son diplôme en charpenterie-menuiserie en .

Il a participé à l'érection de charpentes de plus d'une vingtaine de bâtiments résidentiels et à environ 5 charpentes de bâtiments agricoles.

4.2.4.4 H – CDF Immobilier

Il a participé à l'installation de fermes de toit sur une dizaine d'immeubles à logements.

4.2.4.5 [redacted] – CDF Immobilier

Diplômé en charpenterie-menuiserie depuis [redacted]

4.2.4.6 Autres travailleurs

[redacted]

[redacted]

4.2.5 Méthode d'installation des contreventements

La méthode de travail est établie le matin-même. Le positionnement durant l'installation est discuté et décidé en fonction des compétences de chacun et des équipements disponibles.

Trois appareils de levage sont présents sur le chantier, soit un chariot-élévateur tout-terrain muni d'une plate-forme de travail, une plate-forme élévatrice et une nacelle. Ainsi, le positionnement convenu est le suivant :

Fig. 9 - *Positionnement des travailleurs pour l'installation des fermes de toit*
Source : CNESST

Les travaux préparatoires à l'installation des fermes de toit consistent à mesurer et découper des espaceurs. Un travailleur trace également des lignes sur les sablières des murs afin d'indiquer l'emplacement exact des fermes de toit. L'espacement de 61 cm (24 po) est mesuré à l'aide d'un ruban.

L'installation des fermes de toit est réalisée une à une sur le bâtiment à l'aide de la grue mobile.

La ferme de toit est d'abord attachée au sol avec des accessoires de levage. Elle est ensuite déplacée sur la structure du bâtiment. Durant son déplacement, un travailleur guide la ferme de toit à l'aide d'une corde. Une fois positionnée sur les lignes préalablement tracées sur les sablières, les travailleurs situés aux extrémités fixent la ferme en place à l'aide d'une cloueuse pneumatique. Six à huit clous de 8 cm (3,25 po), calibre .120 sont utilisés par extrémité.

Fig. 10 - *Clouage de l'extrémité d'une ferme de toit sur la sablière d'un mur*
Source : CNESST

Afin d'assurer la stabilité de la première ferme maîtresse GE1, les travailleurs installent des pièces en bois de 2 x 10 de 4,88 m (16 pi) assemblées en T qui rejoignent le côté extérieur de la ferme de toit et le mur du bâtiment. Trois assemblages en T sont fixés à l'aide de vis tire-fond à bois de 19 cm (7 ½ po).

Fig. 11 - *Étaiement de la ferme maîtresse GE1*
Source : CNESST

Une fois la GE1 stabilisée, les sangles sont retirées. Ensuite, les travailleurs procèdent à l'installation des fermes principales T1. De la même façon que la ferme maîtresse, les T1 sont déplacées une à la fois à l'aide de la grue, puis déposées sur les sablières des murs où elles sont clouées.

Les travailleurs situés près des murs placent ensuite un espaceur sur la membrure supérieure à environ 1,22 m (4 pi) du bout. Afin de s'assurer que l'espacement entre chaque ferme est de 61 cm (24 po) centre à centre (c/c) sur l'entièreté de sa portée, les travailleurs se fient à la longueur des espaceurs.

Ils égalisent les bouts des espaceurs avec le côté externe des membrures de la ferme de toit.

Fig. 12 *Exemples de clouage et positionnement d'un espaceur sur des fermes de toit (en vert sur la 2e photo)*
Source : CNESST

Entre-temps, les trois travailleurs situés à l'intérieur de l'enceinte du bâtiment installent chacun minimalement deux espaceurs : un sur la membrure inférieure et un sur une membrure d'âme. L'emplacement des espaceurs est tributaire de la position et de la taille du travailleur (voir la figure 13). Une fois la ferme T1 stabilisée à l'aide d'espaceurs, les sangles sont retirées.

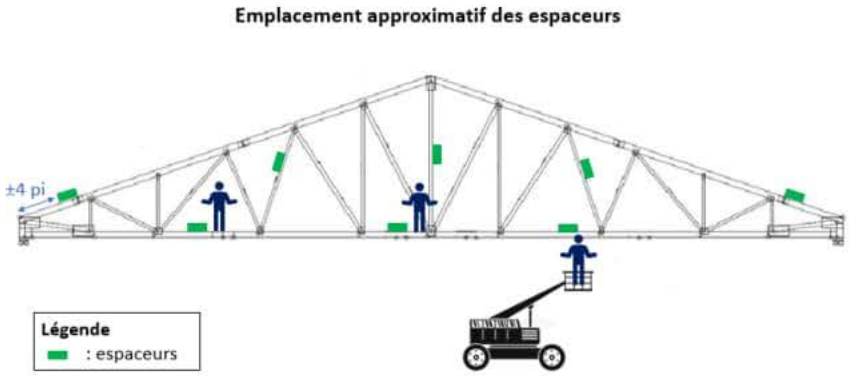


Fig. 13 - *Positionnement et emplacement approximatif des espaceurs sur une ferme de toit*
Source : CNESST

Après l'installation des 6 premières fermes, des contreventements en X faits de pièces de 1 x 3 de 3,66 m (12 pi) de longueur sont fixés au centre et à chaque tiers entre les fermes de toit.

L'installation des fermes de toit se poursuit, mais la pose des éléments de contreventement ne la suit pas systématiquement. Entre les 15e et 20e fermes de toit, un contreventement en X est fixé uniquement sur les poinçons centraux à temps perdu.

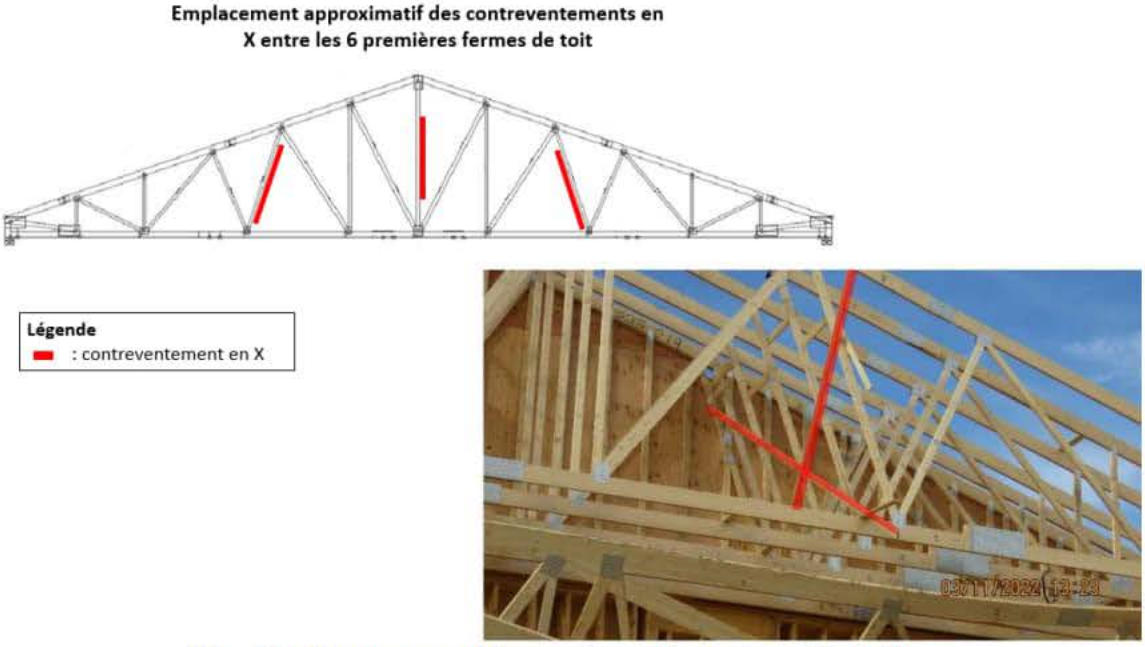


Fig. 14 - *Emplacement des contreventements en X sur les 6 premières fermes de toit*
Source : CNESST

La méthode de travail prévoyait l'installation des 34 fermes de toit sur les murs du bâtiment avant que les travailleurs ne procèdent à la fixation de tous les liens continus indiqués sur les dessins techniques de

MiTeck inc. Les liens continus sont des 2 x 4 de 4,88 m (16 pi) de longueur qui sont fixés par 2 clous sur chaque ferme et qui permettent de les lier. Le chevauchement entre deux longueurs est d'environ 1,22 m (4 pi).

Fig. 15 - *Emplacement des liens continus prévus aux plans*
Source : MiTeck inc., modifié par CNESST

À la suite de la mise en place de la 25e ferme, deux travailleurs retournent vers l'arrière du bâtiment et procèdent à l'installation de 2 liens continus sur les membrures inférieures. Au moment de l'accident, deux longueurs de 4,88 m (16 pi) par côté sont clouées. Ainsi, des liens continus situés sur les membrures inférieures créent une liaison estimée entre les 14 premières fermes de toit installées.

Fig. 16 - *Emplacement des liens continus installés avant l'accident*
Source : CNESST

Coupe des espaceurs

Les espaceurs sont découpés au sol à l'aide d'une scie ronde. La méthode de travail est la suivante :

- Le travailleur prend une première pièce de bois de 1 x 3, mesure une longueur de 65 cm (25 ½ po) à l'aide de son ruban, puis trace une ligne;
- Il coupe une première longueur de 65 cm (25 ½ po) qui servira de guide de coupe;
- Il prend ensuite plusieurs pièces de 1 x 3 (entre 3 et 4) qu'il empile. Il place le guide de coupe sur le dessus du paquet et procède à la coupe des pièces superposées en un trait de scie.

La longueur de chaque espaceur n'est pas vérifiée à l'aide d'un ruban à mesurer.

4.2.6 Travail en hauteur

4.2.6.1 Appareils de levage

Pour les travaux exécutés en hauteur, trois appareils de levage sont mis à la disposition des travailleurs :

- Un chariot-élévateur tout-terrain à mât télescopique Manitou MTA 6034 Series III muni d'une plate-forme de travail;
    - La plate-forme mesure 1,27 m x 2,49 m (50 po x 98 po).

- Une plate-forme élévatrice Skyjack SJ 7135;
  - La plate-forme mesure 1,68 m x 3,03 m (66 po x 117,25 po).
- Une nacelle JLG Lift 450AJ Series II;
  - Le panier mesure 0,69 m x 1,83 m (27 po x 72 po).

Aucune des plates-formes de ces appareils de levage ne peut se placer entre deux fermes de toit puisque l'espace entre ces dernières est de moins de 0,61 m (24 po).

4.2.6.2 Protection contre les chutes

Pour installer les différents types de contreventements (espaceurs, contreventements en X, liens continus), les travailleurs circulent sur les membrures inférieures des fermes de toit. Ils sont alors situés à plus de 6,3 m du sol.

Au moment de l'accident, E porte un harnais lié à un ancrage par une corde lors de ses déplacements. La corde du travailleur est rattachée à un ancrage fixé sur la sablière du mur nord-ouest du bâtiment.

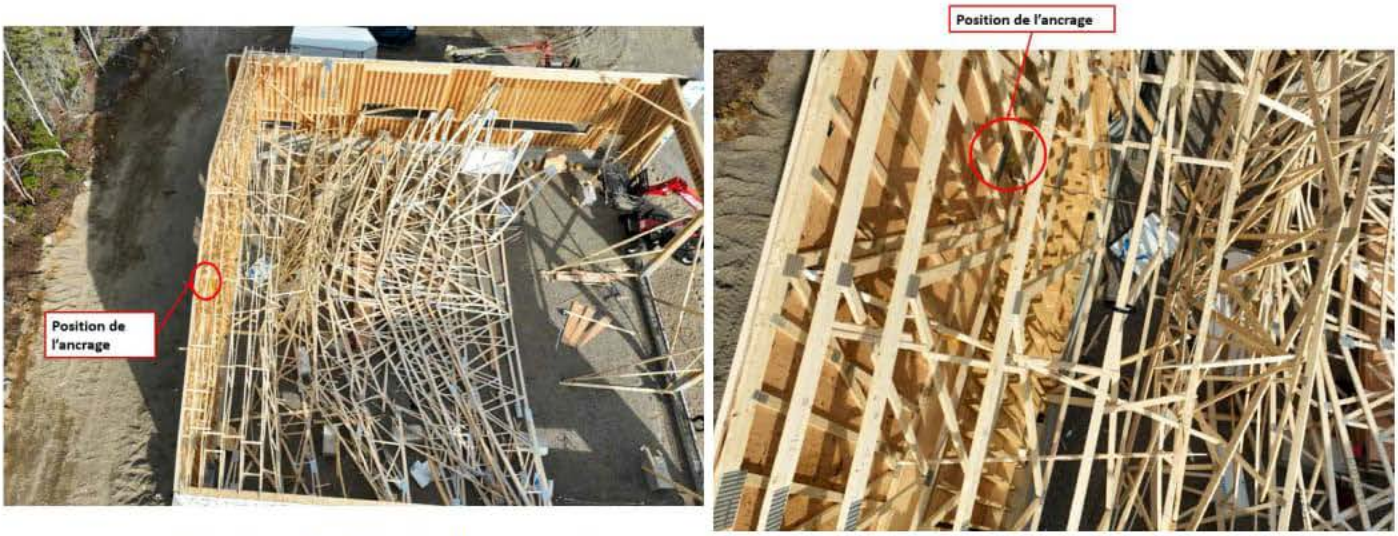


Fig. 17 - *Position de l'ancrage de protection contre les chutes du travailleur*
Source : CNESST

4.2.7 Informations recueillies à partir du rapport d'expertise

Le mandat d'expertise technique confié à la firme Mesar Ingénieurs-Conseils a permis de préciser :

- La résistance des composants de la charpente du toit, c'est-à-dire des membrures supérieures et des contreventements en place avant l'effondrement;
- Les charges sur les fermes de toit lors de leur installation et les forces applicables sur les composants;
- Les amorces d'un flambement des membrures supérieures.

Le rapport d'expertise est retrouvé intégralement à l'annexe C.

4.2.7.1 La résistance des composants de la charpente du toit

Résistance des contreventements installés

À partir des témoignages et des photos prises après l'effondrement, il a été possible de déterminer l'emplacement des contreventements et de calculer la résistance estimée de ceux-ci.

Rappelons que les espaceurs et les contreventements en X sont composés de 1 x 3. Or, la résistance des éléments de contreventements temporaires est estimée par calculs, car « […] des pièces de 1 x 3 ne sont normalement pas utilisées pour résister à des efforts calculés » (p.6) selon la norme CSA 086-14 Règles de calcul des charpentes en bois. De plus, les espaceurs sont fixés sur les fermes de toit à l'aide d'un clou placé à 2 cm (¾ po) de chaque extrémité, ce qui est moins que le minimum permis de 4 cm (1 ½ po).

Ainsi, la résistance des contreventements est dictée par la résistance des clous. Elle est présentée dans le tableau ci-dessous :

	Résistance pondérée (comprenant un facteur de réduction)		**Résistance ultime*** (1,5 x la résistance pondérée)	
Liens continus 2 x 4 fixés avec 2 clous/par extrémité	144,2 kg	318 lb	216,3 kg	477 lb
Espaceurs 1 x 3 fixés avec 1 clou/extrémité	49 kg	108 lb	73,5 kg	162 lb
Contreventements en X 1 x 3 fixés avec 1 clou/ferme de toit	49 kg	108 lb	73,5 kg	162 lb
*Pour les explications du calcul de la résistance ultime, se référer au rapport d'expertise inséré en annexe.				

Résistance des membrures supérieures des fermes de toit

Les membrures supérieures des fermes principales T1 sont constituées de 2 x 6. L'épaisseur de la membrure supérieure est de 4 cm (1 ½ po). Selon les informations recueillies, les membrures supérieures étaient supportées latéralement que par des espaceurs placés à chaque extrémité des fermes de toit et dans la partie centrale. Pour chaque versant, la longueur non supportée de la membrure supérieure était d'environ 5,03 m (16 pi 6 po) tel que montré sur la figure 18.

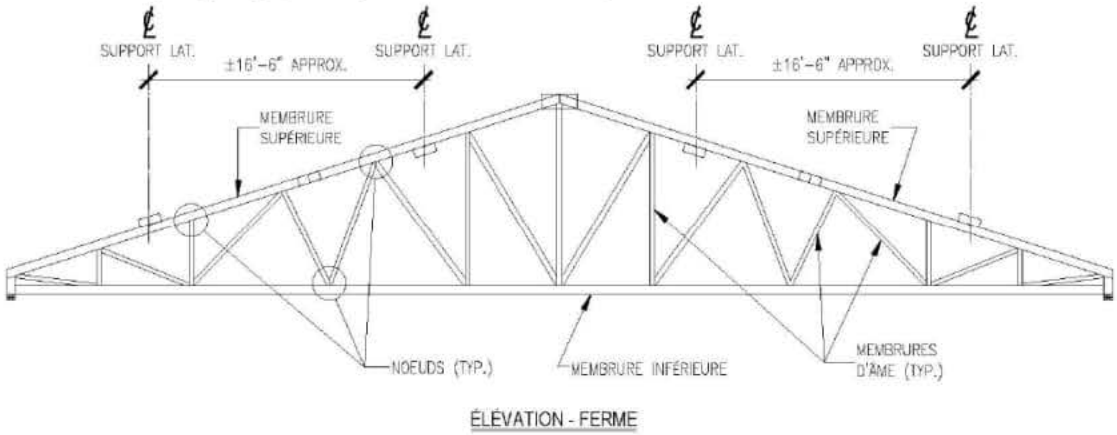


Fig. 18 - *Longueur non supportée des membrures supérieures*
Source : MESAR Ingénieurs-conseils

La capacité théorique ultime en compression d'une membrure supérieure, composée de 2 x 6 sans support latéral sur 5,03 m (16 pi 6 po) est d'environ 263,1 kg (580 lb), sans aucune marge de sécurité.

À noter que :

> *La capacité en compression d'une membrure donnée est calculée à partir du ratio {longueur entre les supports latéraux / épaisseur de la membrure}, qui est appelé « élancement ». Pour les pièces en bois, l'élancement maximal permis est de 50, au-delà de cette valeur la capacité en compression de la membrure est considérée nulle.*

Par conséquent, la longueur maximale entre les supports latéraux devrait être de 1,91 m (6 pi 3 po). Selon la norme CSA 086-14 Règles de calcul des charpentes en bois, la capacité de la membrure supérieure, avec une longueur de plus de 4,88 m (16 pi) non supportée, est nulle.

4.2.7.2 Charges sur les fermes de toit lors de l'installation et forces sur les composants

En fonction du poids des fermes T1, du poids des travailleurs circulant sur les membrures inférieures et leur positionnement, la force de compression se produisant dans la membrure supérieure d'une ferme de toit est calculée comme suit :

- Poids de la ferme elle-même, sans travailleur : force de compression d'environ 265,8 kg (586 lb);
- Charge additionnelle de 2 travailleurs se positionnant aux tiers de la portée d'une ferme : force de compression de 271,2 kg (598 lb), pour un total de 537,1 kg (1 184 lb).

Les forces induites dans les contreventements temporaires sont dépendantes des forces de compression dans les membrures retenues. On considère habituellement 2 % de ces forces. Ainsi, les forces à retenir au sommet d'une ferme T1 selon les données précédentes sont de :

- 5,44 kg (12 lb) pour une ferme de toit sans travailleur : 2 % x 265,8 kg (586 lb);
- 10,88 kg (24 lb) pour une ferme avec deux travailleurs : 2 % x 537,1 kg (1184 lb).

De plus, « la force à retenir par les contreventements est cumulative jusqu'à l'endroit d'un contreventement en X, qui reprend ces forces et les dissipe dans l'ensemble des fermes qu'il relie […] » (p.8). Cet effet est montré dans la figure suivante :

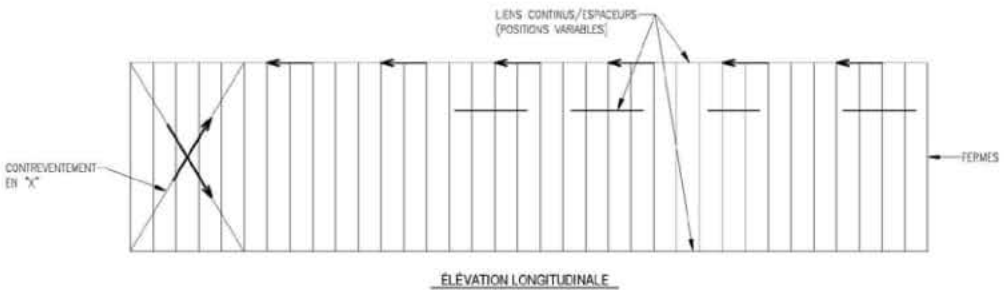


Fig. 19 - *Transfert des forces de compression des membrures dans un contreventement en X*
Source : MESAR Ingénieurs-conseils

Au moment de l'effondrement, 25 fermes sont posées sur les murs du bâtiment. Ainsi, les forces cumulatives calculées sont de :

- 141,5 kg (312 lb) sur un espaceur;
- 100,2 kg (221 lb) sur un contreventement en X.

Le tableau suivant résume la résistance des composants de la charpente du toit, les charges applicables et les forces cumulatives calculées sur les contreventements :

Résistance en compression d'une membrure supérieure		**Charge**	
Membrure supérieure sans support latéral sur 16 pi 6 po	263,1 kg (580 lb)	Poids d'une ferme	265,8 kg (586 lb)
		Charge d'une ferme avec 2 travailleurs	537,1 kg (1184 lb)
Résistance ultime des contreventements		**Forces cumulatives**	
Espaceur	73,5 kg (162 lb)	sur un espaceur	141,5 kg (312 lb)
Contreventement en X	73,5 kg (162 lb)	sur un contreventement en X	100,2 kg (221 lb)

Les forces cumulatives dans les contreventements dépassent la résistance ultime de ces derniers.

4.2.7.3 Amorces d'un flambement des membrures supérieures

Tel qu'expliqué dans le rapport d'expertise :

> *Les membrures supérieures des fermes de toit sont sollicitées en compression. Une membrure en compression doit avoir du support latéral à différents intervalles pour empêcher le flambement. Le flambement est un mode de rupture en compression qui se caractérise par un déplacement hors de son axe lorsque la capacité en compression de la membrure est dépassée.*

Mesar Ingénieurs-Conseils identifie plusieurs éléments de la charpente du toit en construction qui augmentent les possibilités de flambement d'une membrure supérieure :

- L'emplacement des contreventements sur les membrures d'âme;
- La présence d'épissures;
- La verticalité insuffisante des fermes de toit et la pression exercée.

<u>Contreventements sur les membrures d'âme</u>

Les contreventements fixés sur les membrures d'âme fournissent un support latéral moins efficace que ceux placés sur les membrures supérieures. En raison d'un effet de levier, les forces cumulatives exercées sur les espaceurs plus bas que les membrures supérieures sont accrues. Elles sont calculées selon la formule retrouvée dans la figure 20.

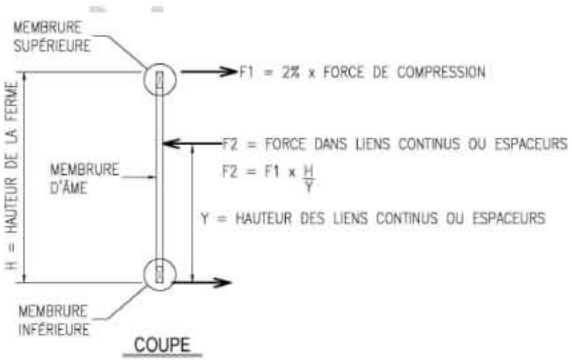


Fig. 20 - *Illustration de l'effet de levier créé par la fixation d'espaceurs sur les membrures d'âme*
Source : MESAR Ingénieurs-conseils

La capacité en compression des membrures supérieures est ainsi affectée.

De plus, clouer des contreventements sur les membrures d'âme engendre une flexion de ces dernières, entraînant un déplacement latéral de la membrure supérieure, ce qui constitue une amorce possible de flambement.

Présence d'épissures

La résistance au flambement pour les membrures en compression est faible au niveau des épissures. Habituellement, un support latéral est placé près des épissures. Selon les informations recueillies, les épissures sont situées presque au centre de la partie non supportée latéralement de la membrure supérieure. Cette discontinuité de la membrure représente une amorce de flambement.

Verticalité des fermes et pression latérale exercée

Avant l'effondrement, les fermes de toit penchent vers l'avant du bâtiment. Ce déplacement latéral entraîne une force additionnelle sur les contreventements en place.

De plus, le fait de déclouer un espaceur pour corriger l'aplomb d'une ferme réduit dans un premier temps le support latéral et peut, dans un second temps, accentuer son inclinaison et donc, les forces cumulatives dans les contreventements restants.

Enfin, selon l'expert, lors du déplacement d'une ferme de plus de 18,29 m (60 pi) de longueur, « il est inévitable que des déformations latérales vont se produire et créer des excentricités non prévues » (p.11) (voir figure 21).

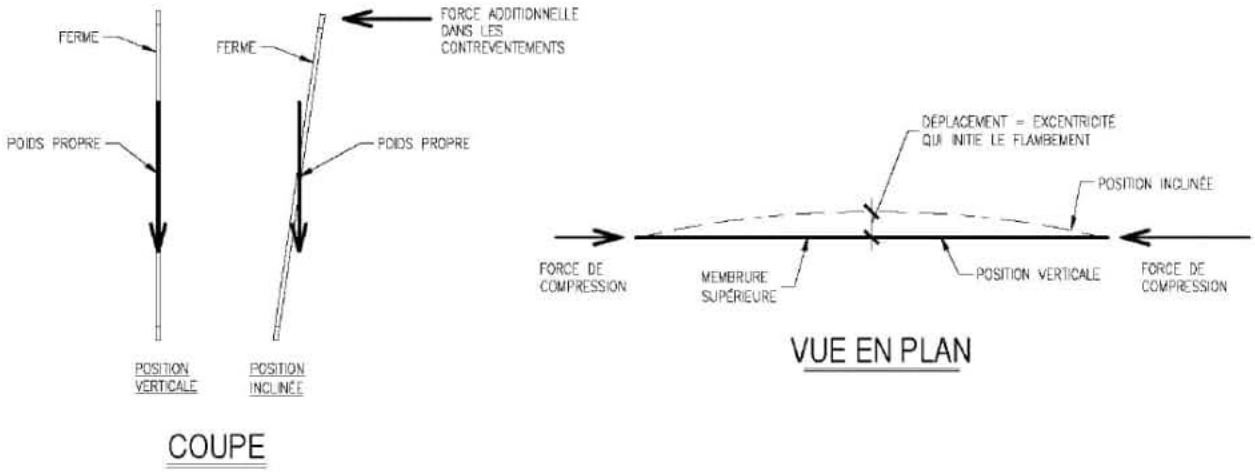


Fig. 21 - *Illustrations des déformations latérales créées par l'inclinaison d'une ferme et la correction de sa verticalité*
Source : MESAR Ingénieurs-conseils

Les probabilités de flambement d'une membrure supérieure sont donc accrues.

L'expert ajoute que « lorsque la membrure flambe, la ferme plie à l'endroit du flambement et perd la capacité de supporter son poids propre. En pliant elle tombe de côté et s'appuie sur la ferme adjacente qui plie à son tour et l'effondrement se poursuit en cascade » (p.21).

4.2.8 Lois, règlementations et règles de l'art

4.2.8.1 Loi sur la santé et la sécurité du travail (R.R.Q. 1981, c. S-2.1)

> ***Article 51.*** *L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique et psychique du travailleur. Il doit notamment:*
>
> *3° 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;*
>
> *5° utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;*
>
> *9° informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié.*

4.2.8.2 Code de sécurité pour les travaux de construction (R.R.Q. 1981, c. S-2.1, r. 4)

Le Code énonce les exigences réglementaires propres aux chantiers de construction. Il mentionne les précautions à prendre pendant la construction :

> *2.12.1. Toute charpente doit être calculée, construite, placée, appuyée, contreventée et haubanée afin de résister à toute charge qui pourrait y être imposée pendant la construction ou la démolition.*

Bien qu'il ne s'agisse pas d'une charpente métallique, l'article 3.24.10 énonce de bonnes pratiques à instaurer lors de l'érection d'une charpente.

> *3.24.10. **Procédure de montage:** En plus d'être effectués conformément au plan de montage prévu à l'article 3.24.9, les travaux doivent être exécutés selon une procédure élaborée par l'employeur. Cette procédure doit contenir notamment les renseignements suivants:*
>
> *1° la méthode d'installation et les étapes du montage de la charpente;*
>
> *2° les mesures à prendre pour assurer la stabilité des éléments de la charpente;*
>
> *3° les mesures de protection des travailleurs contre les chutes.*
>
> *Outre les exigences prévues au premier alinéa, la procédure de montage doit contenir la procédure de levage prévue à l'article 3.24.15.*

4.2.8.3 Loi sur les ingénieurs (chapitre I-9)

Le contreventement temporaire des fermes de toit est un ouvrage assujetti à la *Loi sur les ingénieurs*. Il doit donc être réalisé suivant l'avis d'un ingénieur. Le contreventement temporaire des fermes de toit et les fermes elles-mêmes entrent dans deux catégories d'ouvrages d'ingénierie énumérées à l'article 3 de la Loi, c'est-à-dire qu':

- Ils sont des éléments structuraux d'un bâtiment. Peu importe qu'il s'agisse de bâtiments industriels, commerciaux ou résidentiels (incluant ceux de moins de 3 étages et de moins de 600 m^2), ils sont considérés comme des éléments structuraux. Pour les bâtiments résidentiels, la partie 9 du *Code National du Bâtiment* ne propose aucune solution acceptable complète à cet égard.
- Ils constituent une structure temporaire ou permanente qui nécessite le recours à des études des propriétés des matériaux qui la composent ou qui la supportent.

Selon l'article 2 de la Loi :

> *Dans le cadre de l'exercice de l'ingénierie, sont réservées à l'ingénieur, lorsqu'elles se rapportent à un ouvrage visé à l'article 3, les activités professionnelles suivantes:*
>
> *1° déterminer les concepts, les paramètres, les équations ou les modèles qui, à partir de modèles issus de principes d'ingénierie, permettent d'anticiper le comportement des structures, des matériaux, des procédés ou des systèmes;*

2° effectuer des essais ou des calculs nécessitant le recours à des modèles issus de principes d'ingénierie;

3° surveiller des travaux, notamment aux fins de produire une attestation de conformité exigée en vertu d'une loi;

4° inspecter un ouvrage;

5° préparer, modifier, signer et sceller un plan, un devis, un rapport, un calcul, une étude, un dessin, un manuel d'opération ou d'entretien, un plan de déclassement ou un cahier des charges;

6° donner un avis ainsi que signer et sceller un avis écrit relatif à une activité professionnelle.

4.2.8.4 Règles de l'art

Les règles de l'art quant à l'installation sécuritaire et au contreventement des fermes de toit en bois sont présentées dans trois guides de bonnes pratiques :

- Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée élaboré par les Manufacturiers de structures de bois du Québec (MSBQ);
- Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale du Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (Cecobois);
- Guide to good practice for handling, installing, restraining and bracing of metal plate connected wood trusses (ci-après nommé guide BCSI) élaboré par Structural Building Components Association, Truss Plate Institute et Truss Plate Institute of Canada.

Les guides sont basés sur la norme CSA 086 Règles de calcul des charpentes en bois et les directives du Truss Plate Institute of Canada (TPIC).

Dans les trois cas, ils préconisent l'installation de contreventements temporaires pendant la construction de la charpente.

Extraits du Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée du MSBQ :

1) Les 5 différents types de contreventements temporaires

Ces contreventements sont appelés temporaires, car ils ne servent qu'à stabiliser et à maintenir verticalement en place les fermes pendant la durée de leur installation. Celle-ci terminée, on pourrait théoriquement les enlever. Toutefois certains de ces contreventements sont généralement laissés en place, ils deviennent alors une partie du contreventement permanent du toit.

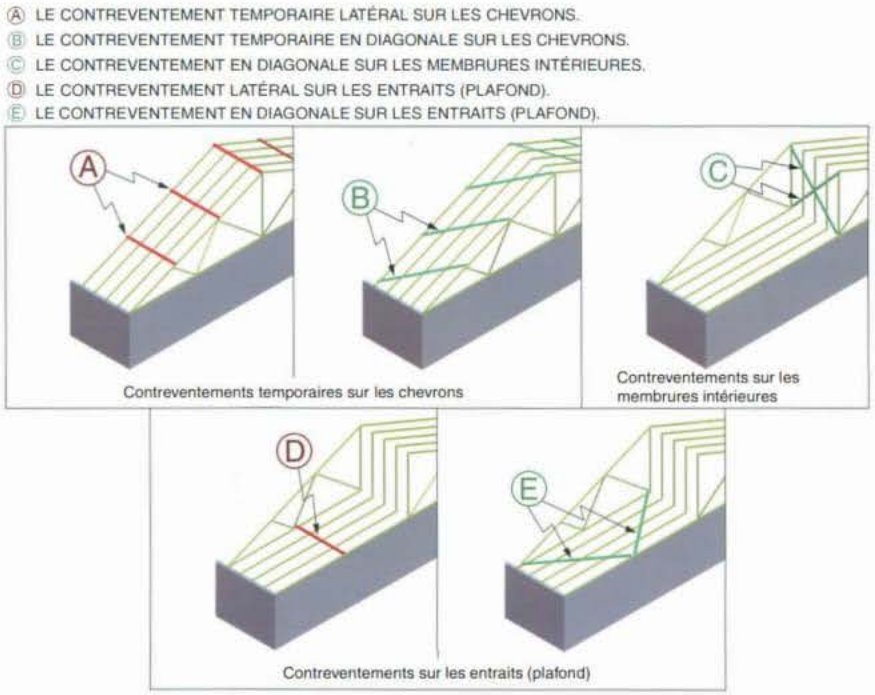


Fig. 22 – Les 5 différents types de contreventements temporaires
Source : Manufacturiers de structures de bois du Québec, Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée

Pour les contreventements temporaires latéraux du chevron, le guide propose trois options pour installer les espaceurs, dont deux pour ceux en bois. La figure 23 précise les dimensions des espaceurs selon les règles de l'art. De plus, le guide indique que « ces contreventements sont constitués de courtes pièces en 2 x 4 appelés espaceurs. […] ».

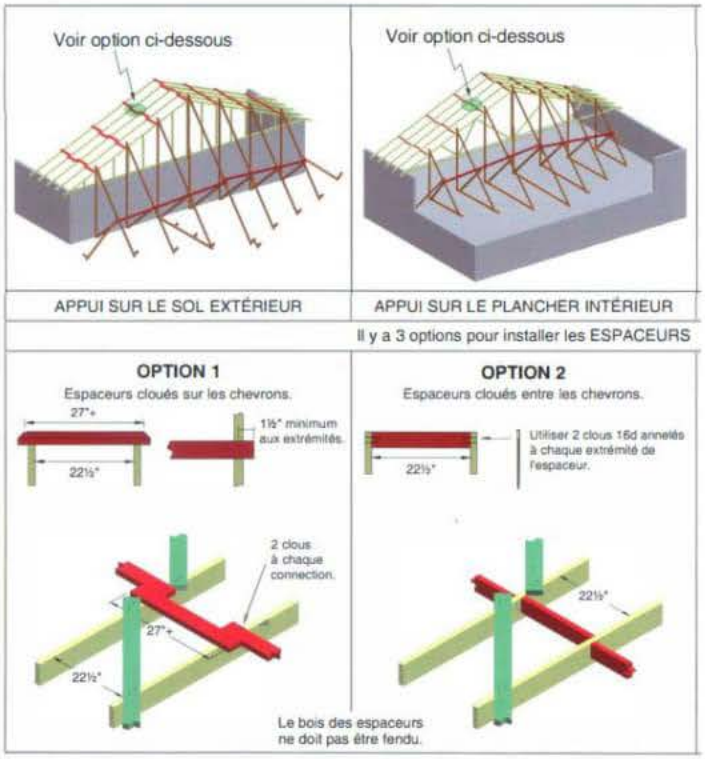


Fig. 23 - *Méthodes d'installation des espaceurs*
Source : Manufacturiers de structures de bois du Québec, Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée

Le guide précise l'espacement maximal permis entre deux contreventements latéraux selon la portée de la ferme de toit. Pour une ferme de toit de 20,12 m (66 pi), l'espacement maximal est de 1,22 m c/c (4 pi c/c).

Portée de la ferme	Espacement des étais et des contreventements latéraux.
Jusqu'à 30'	10' c/c max.
de 30' à 45'	8' c/c max.
de 45' à 60'	6' c/c max.
de 60' à 80'	4' c/c max.

Fig. 24 - *Espacements des contreventements latéraux*
Source : Manufacturiers de structures de bois du Québec, Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée

De plus, dans une étape ultérieure, les espaceurs doivent être jumelés à des contreventements latéraux longs.

> […] *Installer des contreventements latéraux longs sur chaque groupe de 4 fermes qui ont été installées avec des espaceurs. Installer des contreventements en diagonale tous les 20' maximum.*

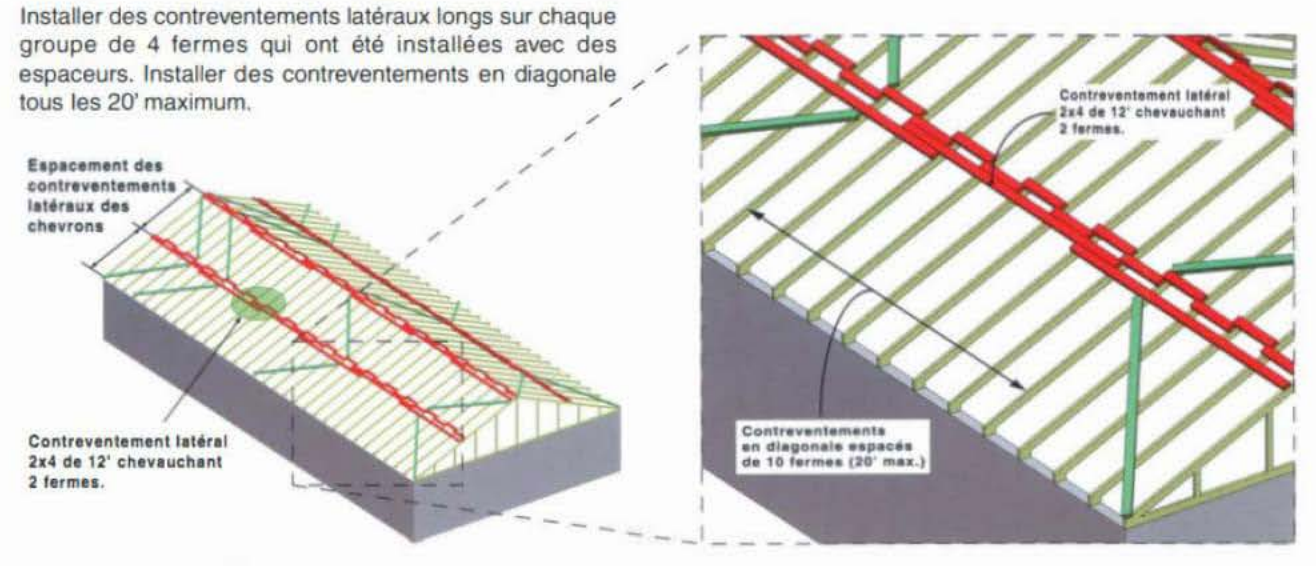


Fig. 25 - *Installation de contreventements latéraux longs en plus des espaceurs*
Source : Manufacturiers de structures de bois du Québec, Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée

Les autres types de contreventements temporaires sont précisés dans les extraits suivants du Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale de Cecobois :

> ***7.1 Contreventement temporaire***
>
> […] *On recommande d'utiliser des pièces d'au moins 38 x 89 mm (2 x 4) de qualité no 2 ou meilleur et de les attacher aux membrures des fermes avec au moins deux clous de 76 mm (3 po) (10d, 0,144 po de diamètre).* […]
>
> *a) Contreventement temporaire sur les chevrons des cinq premières fermes (à répéter à tous les 20 pi max)* […]

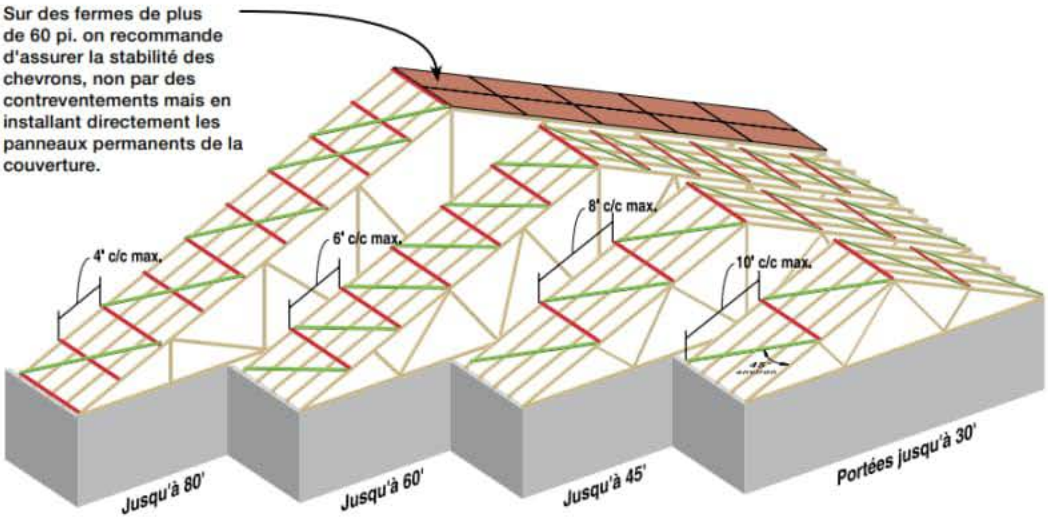


Fig. 26 - *Contreventement temporaire des membrures supérieures*
Source : Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (Cecobois), Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale, modifiée par la CNESST

b) Contreventement temporaire au plafond sur les entraits des fermes

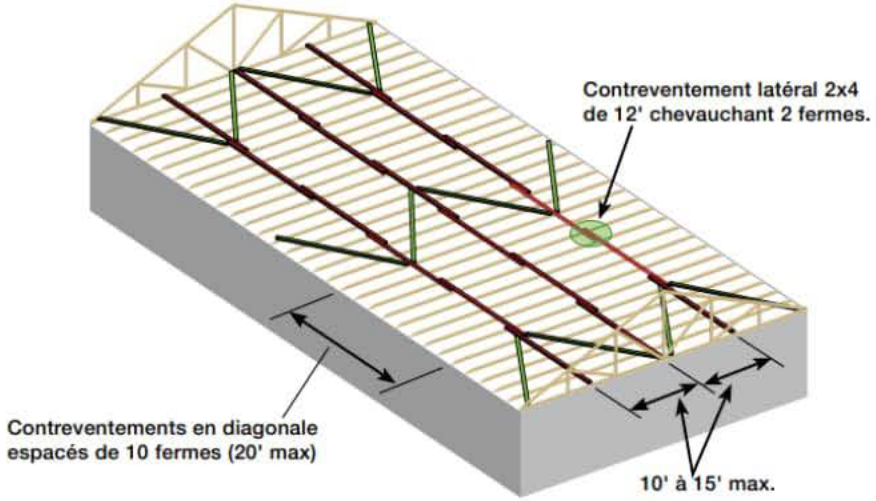


Fig. 27 - *Contreventement temporaire des membrures inférieures*
Source : Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (Cecobois), Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale, modifiée par la CNESST

c) Contreventement temporaire en diagonale sur les membrures d'âme

Les pièces en diagonale posées sur les membrures d'âme travaillent de concert avec les contreventements latéraux posés sur les chevrons et les entraits pour stabiliser les fermes dans le plan perpendiculaire afin de les empêcher de basculer sur le côté en cas d'un coup de vent ou d'impact durant l'installation. […]

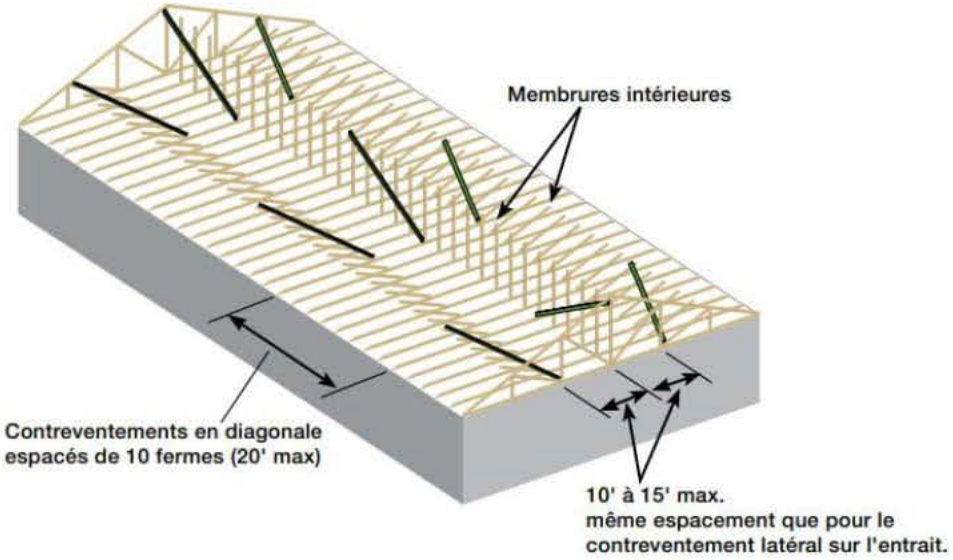


Fig. 28 - *Contreventement temporaire des membrures d'âme*
Source : Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (Cecobois), Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale, modifiée par la CNESST

À noter que pour les fermes de toit d'une portée de plus de 18,29 m (60 pi), les guides recommandent de poser directement les panneaux permanents composant la couverture de la toiture en remplacement des contreventements temporaires. Ils suggèrent également une méthode d'assemblage au sol supervisée par un ingénieur. Selon cette méthode, quatre à six fermes sont groupées à la verticale au sol à l'aide de contreventements latéraux et d'étaiements. Une fois le groupe de fermes stabilisées, il est soulevé à l'aide d'un cadre de levage par une grue et déplacé sur les murs d'appuis pour leur installation.

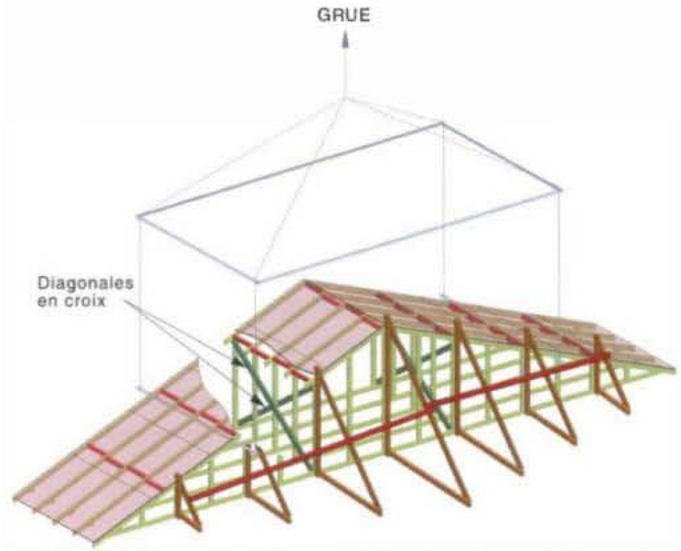


Fig. 29 - *Exemple d'une méthode d'assemblage au sol*
Source : Manufacturiers de structures de bois du Québec, Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée

En lien avec le contreventement, le guide BCSI indique des pratiques dangereuses lors de l'installation des fermes de toit. Il précise notamment de ne pas marcher sur des fermes de toit non contreventées.

Fig. 30 - *Pratiques dangereuses lors de l'installation des fermes de toit*
Source : Structural Building Components Association, Truss Plate Institute, et Truss Plate Institute of Canada, Guide to good practice for handling, installing, restraining and bracing of metal plate connected wood trusses (BCSI)

4.2.9 Contreventement temporaire acceptable

Le 18 novembre 2022, la CNESST autorise l'installation de nouvelles fermes de toit préfabriquées à la suite de la réception d'une procédure de montage spécifique au bâtiment en construction comprenant un pré-assemblage au sol, signée et scellée par l'ingénieur O. Voici le contreventement installé sur les fermes en suivant cette procédure de montage :

Contreventements en place lors de la reprise des travaux

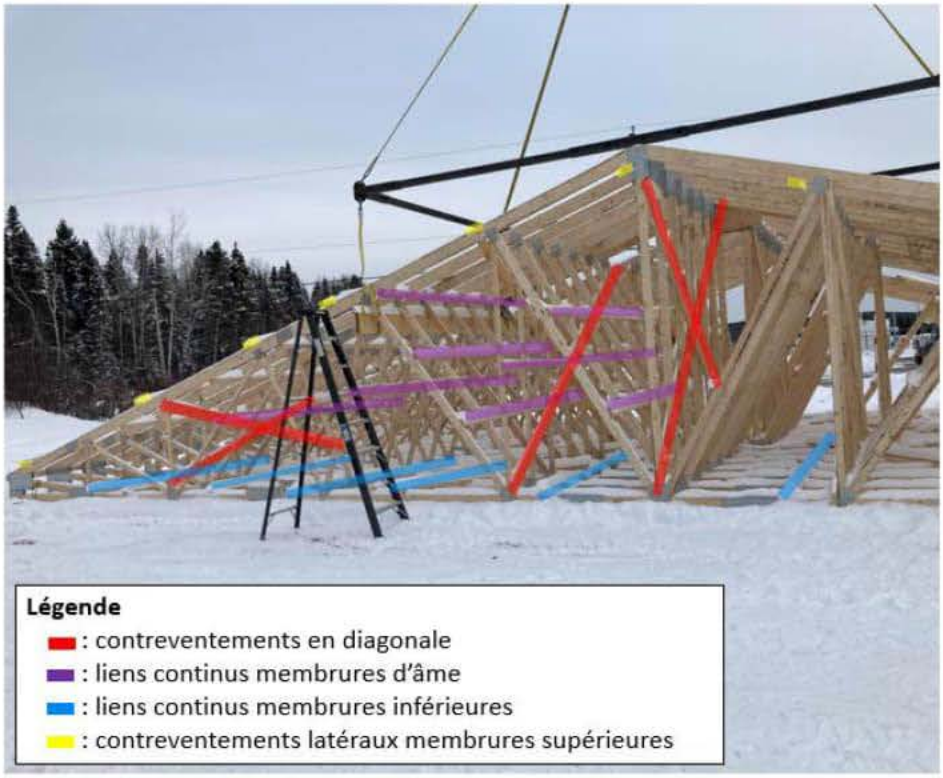


Fig. 31 - *Photographie des contreventements en place lors de la reprise des travaux (en surbrillance)*
Source : CNESST

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Alors que des travailleurs sont positionnés dans la charpente du toit en construction dont le contreventement est insuffisant, le flambement de membrures supérieures entraîne l'effondrement en cascade de 19 fermes de toit et la chute de 2 travailleurs d'une hauteur de 6,3 m (20 pi 8 po).

Pour le garage de l'aéroport de Charlevoix, les plans prévoyaient l'installation de 34 fermes, dont 32 étaient des fermes principales T1. Les fermes étaient déposées une à la fois sur les murs du bâtiment à l'aide de la grue mobile. En raison de leurs dimensions, soit une longueur d'environ 20,12 m (66 pi), les fermes T1 étaient instables lorsqu'elles étaient appuyées sur la structure du bâtiment, sans supports latéraux. Les travailleurs fixaient chaque extrémité de la ferme au mur par 8 clous de 7,6 cm (3 po). Avant de détacher les sangles de levage, pour assurer un minimum de retenue latérale, ils plaçaient des contreventements entre les fermes de toit.

La figure suivante résume l'emplacement des différents types de contreventements qui étaient présents au moment de l'accident, alors que la 25e ferme de toit venait d'être posée :

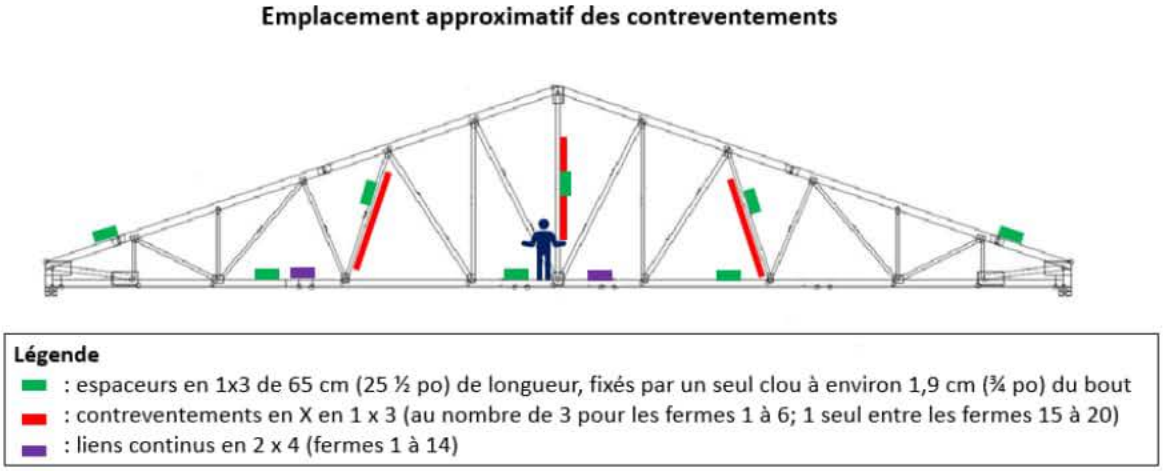


Fig. 32 - *Emplacement des contreventements à la 25e ferme*
Source : CNESST

Lors de l'installation des fermes de toit, les membrures supérieures des fermes étaient sollicitées en compression. Lorsqu'une membrure en compression n'est pas supportée latéralement de façon adéquate, le dépassement de sa capacité en compression peut entraîner son flambement et éventuellement sa rupture.

Or, selon le rapport d'expertise, plusieurs éléments présents rendaient les membrures supérieures très vulnérables au flambement :

- La force de compression se produisant dans la membrure supérieure de la ferme de toit T1, dû à son propre poids était d'environ 265,8 kg (586 lb). Telle que calculée dans l'expertise de MESAR Ingénieurs-Conseils, la capacité théorique ultime en compression d'une membrure supérieure composée de pièces de bois de 2 x 6 sans support latéral sur 5,03 m (16 pi 6 po) est d'environ 263,1 kg (580 lb), sans aucune marge de sécurité.
- En ajoutant le poids de deux travailleurs circulant sur une ferme de toit, la force de compression était de l'ordre d'environ 537,1 kg (1 184 lb), ce qui est grandement supérieur à la capacité théorique ultime de 263,1 kg (580 lb).
- Le clouage des espaceurs sur les membrures d'âme, et non sur les membrures supérieures, augmentait substantiellement les efforts dans les contreventements. La capacité en compression était réduite, en plus de créer une flexion des membrures d'âme entraînant un déplacement latéral des membrures supérieures. La capacité ultime estimée des espaceurs fixés sur une membrure d'âme était de 73,5 kg (162 lb), ce qui est inférieur à la force cumulative calculée de 141,5 kg (312 lb).
- Les épissures dans les membrures supérieures des fermes de toit n'étaient pas supportées latéralement, ce qui rendait la membrure encore plus sujette au flambement.
- Le repositionnement manuel d'une ferme de toit, en déclouant un espaceur et un lien continu, peut avoir créé une force additionnelle sur les contreventements toujours en place et des déformations latérales sur les fermes, réduisant la capacité en compression d'une membrure supérieure.

Le contreventement étant inadéquat, il suffisait de peu pour provoquer l'effondrement de la charpente du toit en construction; par exemple, une légère charge additionnelle, une bourrasque de vent, le déclouage d'un espaceur ou le déplacement manuel d'une ferme de toit.

En présence d'un contreventement insuffisant et dû aux contraintes mentionnées plus haut exercées sur les fermes de toit, la force appliquée sur les membrures supérieures des fermes excédait leur capacité ultime en compression, ce qui a mené à leur flambage. Ne pouvant plus supporter son propre poids, une des fermes s'est alors pliée à l'endroit du flambement. En pliant sur elle-même, la ferme s'est appuyée sur la ferme adjacente, qui a plié à son tour et créé un effet en cascade sur les 17 fermes suivantes.

Deux travailleurs alors positionnés sur les membrures inférieures de fermes de toit à 20 pi 8 po (6,3 m) de hauteur ont été entraînés dans l'effondrement jusqu'au sol.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La méthode de travail utilisée pour la construction de la charpente du toit est dangereuse en ce qu'elle n'assure pas la stabilité des fermes de toit pendant leur installation.

Encadrement des travaux

Le jour de l'accident, comme le surintendant était absent et qu'il n'avait pas établi une méthode de travail concernant l'érection de la charpente du toit, les trois charpentiers-menuisiers d'expérience ont convenu de la méthode d'installation des fermes de toit en fonction du positionnement de chacun, sans consulter le Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée. Chacune des étapes du montage de la charpente n'a pas été pas détaillée, ce qui a laissé place à l'improvisation.

De plus, l'installation des fermes de toit n'était pas supervisée par un ingénieur, tel qu'indiqué sur les dessins techniques. Aucun plan, devis ou directive n'a été émis par un ingénieur concernant le contreventement temporaire des fermes de toit, ce qui va à l'encontre de la Loi sur les ingénieurs.

Les contreventements

Pour le contreventement temporaire, c'est-à-dire les espaceurs et les contreventements en X, les travailleurs se sont servis de pièces de bois de 1 x 3. Les règles de calculs établies dans la norme CSA 086-14 - Règles de calcul des charpentes en bois indiquent que des 1 x 3 ne peuvent être utilisés pour résister à des efforts calculés. Les règles de l'art préconisent minimalement l'utilisation de 2 x 4. La résistance des contreventements était faible.

Afin d'obtenir la mesure de 61 cm c/c (24 po c/c) entre deux fermes de toit, les travailleurs ont coupé des espaceurs d'une longueur de 65 cm (25 ½ po). Les travailleurs ont cloué les espaceurs sur les fermes à environ 1,9 cm (¾ po) de chaque extrémité, alors que les clous doivent être placés au minimum à 3,81 cm (1 ½ po) des extrémités afin d'éviter que le bois ne fende. Pendant l'installation des fermes, des travailleurs ont même observé que des espaceurs avaient fendu et que le clouage avait cédé à certains endroits.

Lors de la pose des espaceurs entre les fermes, leur emplacement était dicté par le positionnement des travailleurs et leur taille, et non selon des calculs d'ingénierie. Au nombre de six par fermes, les espaceurs étaient fixés au fur et à mesure sur les membrures inférieures et les membrures d'âme. Un 7e et un 8e

espaceur étaient cloués sur la membrure supérieure de chaque versant à environ 1,2 m (4 pi) de l'extrémité. Or, les dessins techniques des fermes de toit indiquent que la longueur d'une membrure supérieure non supportée ne doit pas dépasser 0,62 m (2 pi). Dans le cas présent, la distance pouvait atteindre 5,03 m (16 pi 6 po) entre deux espaceurs. Il en est de même des espaceurs et liens continus sur les membrures inférieures qui auraient dû être placés à des intervalles d'au plus 1,59 m (5 pi 3 po).

De plus, la pose des contreventements en X n'a pas suivi la pose des fermes de toit. Selon les règles de l'art, des contreventements en X auraient dû être placés à chaque 6,10 m (20 pi) maximum et environ aux 4,57 m (15 pi) latéralement, donc un minimum de 3 pour des fermes de plus de 18,29 m (60 pi). Or, dans le cas présent, un seul contreventement en X sur 3 a été installé entre la 15e ferme et la 20e ferme.

Les photographies suivantes montrent les contreventements en place lors de l'accident et un exemple de ce qui aurait dû être observé en fonction des règles de l'art.

Contreventements en place au moment de l'accident

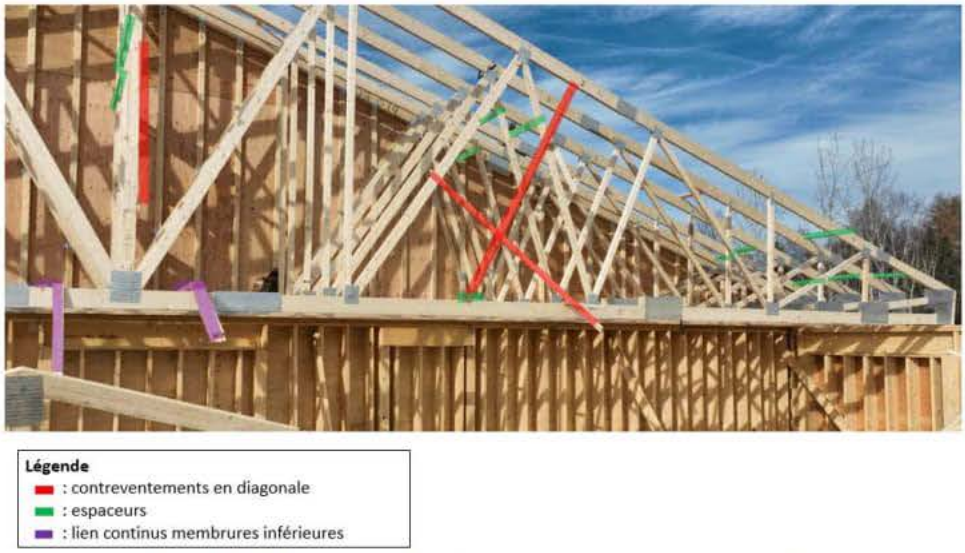


Fig. 33 - *Photographie des contreventements en place lors de l'accident (en surbrillance)*
Source : CNESST

Contreventements en place lors de la reprise des travaux

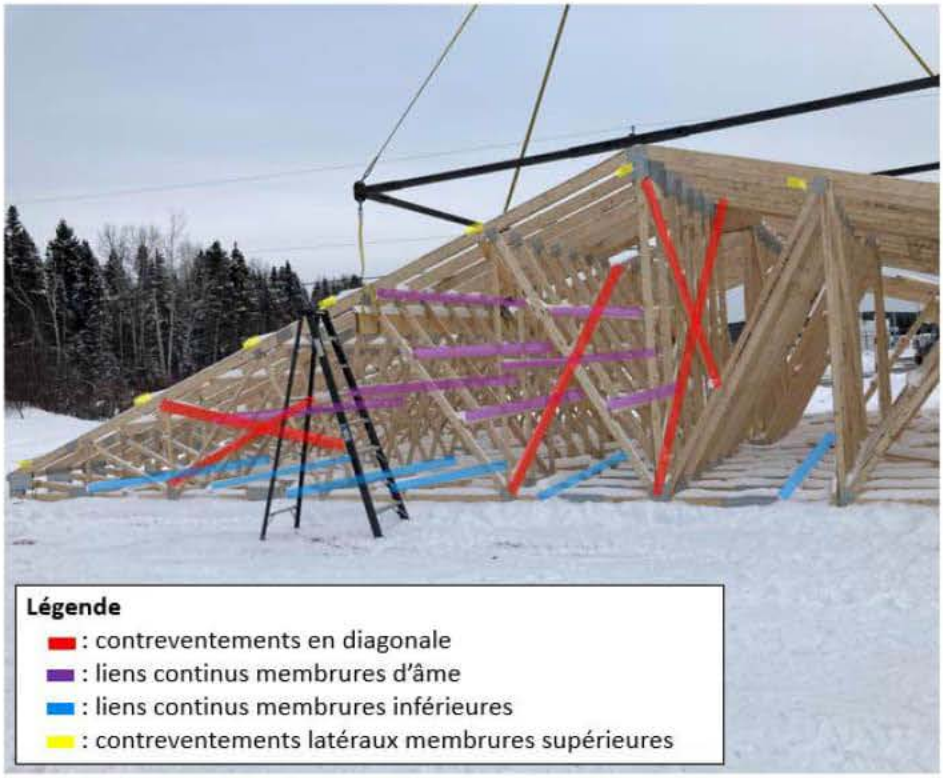


Fig. 34 - *Photographie des contreventements en place lors de la reprise des travaux (en surbrillance)*
Source : CNESST

Ainsi, les membrures supérieures et inférieures étaient très peu supportées latéralement, ce qui les rendaient instables et sujettes au flambement.

Travailleurs dans la structure du toit

Étant donné les appareils de levage disponibles et les dimensions de la charpente, la méthode de travail utilisée impliquait la circulation de travailleurs sur les membrures inférieures des fermes de toit pendant leur installation pour poser les différents types de contreventements. Cette méthode exposait les travailleurs à des risques de chute de hauteur et d'effondrement de la charpente.

À cet effet, le guide BCSI interdit qu'une personne ne se tienne debout sur les membrures d'une ferme de toit alors que celle-ci n'est pas contreventée. Ajouter du poids sur des fermes de toit augmente les forces en compression sur les membrures supérieures.

Or, selon l'expertise, les membrures supérieures des fermes de toit, en fonction des contreventements en place, pouvaient supporter environ 263,1 kg (580 lb) , ce qui est un peu moins que la force en compression généré par le poids de la ferme elle-même (265,8 kg; 586 lb). La seule présence de travailleurs sur les fermes de toit représentait donc une surcharge en compression, la charge additionnelle étant de 271,2 kg (598 lb) pour deux travailleurs (total de 537,1 kg; 1 184 lb).

Manipulation des fermes et verticalité

Après la pose de la 25e ferme, les charpentiers-menuisiers ont observé que certaines penchaient vers l'avant du bâtiment. Pour corriger la situation, un travailleur a décloué l'espaceur trop long et tiré sur la ferme de toit pour la ramener à la verticale. Cette méthode de travail improvisée a affecté la stabilité de la ferme de toit en réduisant le nombre de supports latéraux. Elle a également créé des déformations latérales exacerbant le flambement de membrures supérieures.

Selon le guide BCSI, la présence de contreventements en diagonale sur les membrures supérieures aurait pu réduire les probabilités de déversement et d'effondrement en cascade.

Enfin, selon l'article 51(3) de la LSST, l'employeur doit : « 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 ». Selon les différents guides portant sur le montage de structure en bois, pour des fermes de toit d'une portée de plus de 18,29 m (60 pi), une méthode d'assemblage au sol, supervisée par un ingénieur, est préconisée. L'assemblage de plusieurs fermes en bloc, contreventées et soulevées par une grue à l'aide d'un cadre de levage réduit la durée des travaux exécutés en hauteur et les risques d'effondrement.

En résumé, considérant que les éléments suivants rendaient les fermes de toit vulnérables au flambement :

- L'installation des fermes de toit n'étant pas supervisée par un ingénieur, tel qu'indiqué aux plans;
- L'absence d'indications claires de la part du surintendant concernant la procédure d'installation et les étapes de montage de la charpente du toit;
- L'utilisation de 1 x 3 pour les contreventements temporaires;
- La méthode de clouage des contreventements;
- La pose des différents types de contreventements ne suivant pas la cadence d'installation des fermes de toit;
- L'emplacement des contreventements déterminé par le positionnement et la taille des travailleurs et non par des calculs d'ingénierie;
- Les travailleurs circulant sur les fermes de toit;
- La manipulation d'une ferme de toit en la tirant ou la poussant pour corriger son aplomb.

La méthode de travail utilisée n'assurait pas la stabilité des fermes de toit lors de leur installation.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

- Alors que des travailleurs sont positionnés dans la charpente du toit en construction dont le contreventement est insuffisant, le flambement de membrures supérieures entraîne l'effondrement en cascade de 19 fermes de toit et la chute de 2 travailleurs d'une hauteur de 6,3 m (20 pi 8 po).

- La méthode de travail utilisée pour la construction de la charpente du toit est dangereuse en ce qu'elle n'assure pas la stabilité des fermes de toit pendant leur installation.

5.2 Suivi de l'enquête

- Afin qu'ils informent leurs membres des conclusions de cette enquête et, en conformité avec la *Loi sur les ingénieurs*, de la nécessité de recourir aux services d'un ingénieur compétent en la matière pour élaborer un plan, un devis ou émettre des directives en lien avec le contreventement temporaire des fermes de toit, la CNESST transmettra le rapport d'enquête à l'Association de la construction du Québec, l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec, l'Association patronale des entreprises en construction du Québec, l'Association des entrepreneurs en construction du Québec et à l'Association des Manufacturiers de structures de bois du Québec.

- La CNESST informera les fabricants québécois de fermes de toit des conclusions de son enquête et de l'obligation découlant de la *Loi sur les ingénieurs,* à l'effet que le contreventement temporaire des fermes de toit doive faire l'objet d'un plan, d'un devis ou de directives d'un ingénieur compétent en la matière.

- La CNESST informera le comité de révision du *Code de sécurité pour les travaux de construction* des conclusions de son enquête et de l'obligation découlant de la *Loi sur les ingénieurs* à l'effet que le contreventement temporaire des fermes de toit doive faire l'objet d'un plan, d'un devis ou de directives d'un ingénieur compétent en la matière.

- De plus, le rapport d'enquête sera distribué aux associations sectorielles paritaires de même qu'aux gestionnaires de mutuelles de prévention.

- Finalement, dans le cadre de son partenariat avec la CNESST visant l'intégration de la santé et de la sécurité dans la formation professionnelle et technique, le ministère de l'Éducation diffusera, à titre informatif et à des fins pédagogiques, le rapport d'enquête dans les établissements de formation qui offrent le programme d'études en charpenterie-menuiserie.

ANNEXE A

Travailleur - 9267-1056 Québec inc. (CDF Immobilier)

Nom, prénom	:	I
Sexe	:	
Âge	:	
Fonction habituelle	:	
Fonction lors de l'accident	:	Charpentier-menuisier
Expérience dans cette fonction	:	
Ancienneté chez l'employeur	:	
Syndicat	:	

Travailleur – ConstruQC – Intendance de projet

Nom, prénom	:	E
Sexe	:	
Âge	:	
Fonction habituelle	:	
Fonction lors de l'accident	:	Charpentier-menuisier / Chargé de projet
Expérience dans cette fonction	:	
Ancienneté chez l'employeur	:	
Syndicat	:	

ANNEXE B

Liste des témoins et autres personnes rencontrées

Construction MDMC inc.

- F
- G
- P

9267-1056 Québec inc. (CDF Immobilier)

- L
- H
- I

2BR Construction inc.

- J

ConstruQC inc. – Intendance de projet

- K
- E

Nova Construction inc.

- Q

Autres personnes rencontrées

- Dominic Moisan, agent, Sûreté du Québec MRC Charlevoix-Est
- Amélie Rousseau, sergente-enquêtrice, Sûreté du Québec MRC Charlevoix-Est
- R, Association de la construction du Québec
- S, Syndicat Québécois de la Construction
- T, Aéroport de Charlevoix
- O, Mapicor inc.

ANNEXE C

Rapport d'expertise

MESAR
INGÉNIEURS-CONSEILS

CNESST

EXPERTISE EXPLIQUANT LE RENVERSEMENT DES FERMES DE TOIT D'UN BÂTIMENT EN CONSTRUCTION À L'AÉROPORT DE CHARLEVOIX À SAINT-IRÉNÉE

RAPPORT D'EXPERTISE

Date : 23 février 2023
N/N° Projet : CM19698
V/N° Projet : S/O

MEMBRE DU GROUPE MESAR

CONSULTANTS MESAR
4500, rue Charles-Malhiot, Trois-Rivières (Québec) G9B 0V4
Téléphone : 819 376-7771
www.mesar.qc.ca

CNESST

EXPERTISE EXPLIQUANT LE RENVERSEMENT DES FERMES DE TOIT D'UN BÂTIMENT EN CONSTRUCTION À L'AÉROPORT DE CHARLEVOIX À SAINT-IRÉNÉE

RAPPORT D'EXPERTISE

DATE : 23 février 2023

RÉDIGÉ PAR :

Jean-Lacoursière, ing. N° OIQ : 36320
Directeur – Projets spéciaux – Structure

N/N° PROJET : CM19698
V/N° PROJET : S/O

TABLE DES MATIÈRES

1.0 CONTEXTE DE L'ACCIDENT 1
2.0 MANDAT 2
3.0 DONNÉES DE BASE 3
4.0 ANALYSES 4
4.1 GÉNÉRALITÉS 4
4.2 DÉFINITIONS 4
4.3 CONTREVENTEMENTS TEMPORAIRES 5
4.4 CHARGES SUR LES FERMES LORS DE L'INSTALLATION 6
4.5 FORCES DANS LES CONTREVENTEMENTS TEMPORAIRES 7
4.6 FLAMBEMENT DES MEMBRURES SUPÉRIEURES 9
4.7 ÉPISSURES DANS LES MEMBRURES SUPÉRIEURES 10
4.8 ESPACEMENT DES FERMES ET VERTICALITÉ 11
4.9 CONSTATATIONS À PARTIR DES PHOTOS 12
5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 17

1.0 CONTEXTE DE L'ACCIDENT

Le 2 novembre 2022, des travaux d'installation de fermes de toit préfabriquées d'une portée de 66'-2" (20.17 mètres) et d'une hauteur de 12' (3.66 m) sont en cours sur un garage. Peu de temps après l'installation de la 25e ferme, cette dernière se déverse latéralement et entraîne un effet domino sur les 18 fermes suivantes. Elles s'effondrent au sol. Deux travailleurs alors situés sur les membrures inférieures de fermes de toit sont entraînés dans l'effondrement et font une chute d'une hauteur d'environ 20'-6" (6.30 m).

2.0 MANDAT

Le mandat de Consultants MESAR Inc. inclut les activités suivantes :

.1 Calculer la résistance aux charges verticales et horizontales de l'ensemble des fermes de toit installées au moment de l'accident en fonction des contreventements temporaires et permanents en place. En fonction des scénarios établis, déterminer les conditions ayant pu contribuer au déversement des fermes de toit (travailleurs se déplaçant sur les fermes, conditions météorologiques, manipulation des contreventements dans le but de les redresser).

.2 Expliquer le renversement des fermes de toit lors de l'installation de la 25e ferme sur 34 en fonction des résultats précédents et des conditions qui étaient présentes lors de l'accident.

.3 Déterminer les types et nombres de contreventements temporaires et permanents minimaux requis lors de l'installation de fermes de toit d'une portée de 66 pieds 2 pouces (selon les règles de l'art).

3.0 DONNÉES DE BASE

Les données de base utilisées dans le cadre de la présente expertise sont comme suit :

- Plans pour construction du bâtiment.
- Dessins d'atelier des fermes de toit.
- Guide d'installation et de contreventement de fermes de toit, publié par les Manufacturiers de Structures de Bois du Québec, MSBQ.
- Guide sur les fermes de bois publié par l'organisme CECOBOIS.
- Croquis de l'arrangement présumé des contreventements des fermes, préparé par le personnel de la CNESST et basé sur les témoignages des travailleurs.
- Reconstitution par la CNESST des événements sur la base des témoignages des travailleurs présents lors de l'accident.
- Données climatiques de la journée du 2 novembre 2022.
- Norme CSA 086-14, Règles de calcul des charpentes en bois.

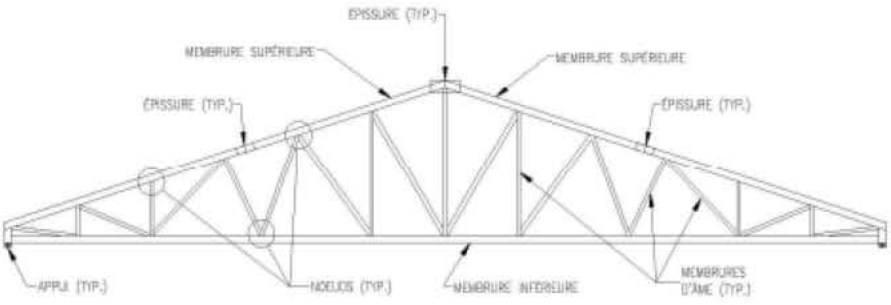
4.0 ANALYSES

4.1 GÉNÉRALITÉS

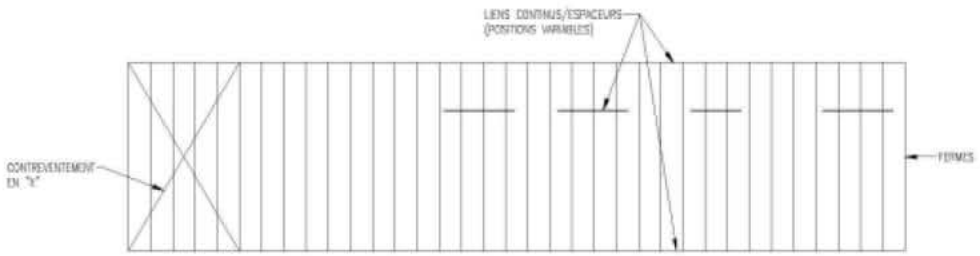
Pour nos analyses, nous avons commencé par étudier l'arrangement général du toit montré aux dessins pour construction et nous avons recueilli, sur les dessins d'atelier des fermes de bois, les dimensions des fermes elles-mêmes et celles de leurs composantes, les grades respectifs de bois des composantes, et le poids total de chaque ferme. Nous avons également étudié la description des contreventements temporaires qui nous a été fournie par la CNESST. Toutes les données obtenues sont dans le système de mesures impériales, nous avons donc fait nos calculs en utilisant ce système afin d'éviter les imprécisions que peuvent entraîner les conversions. Enfin, nous avons étudié les documents du MSBQ et de CECOBOIS qui donnent des lignes directrices pour le montage de fermes de toits en bois. Un extrait de ces documents est présenté à la section 5.0, page 19 du présent rapport.

4.2 DÉFINITIONS

Pour aider à la compréhension du présent rapport, nous incluons les figures suivantes qui illustrent les différents termes utilisés dans le texte :



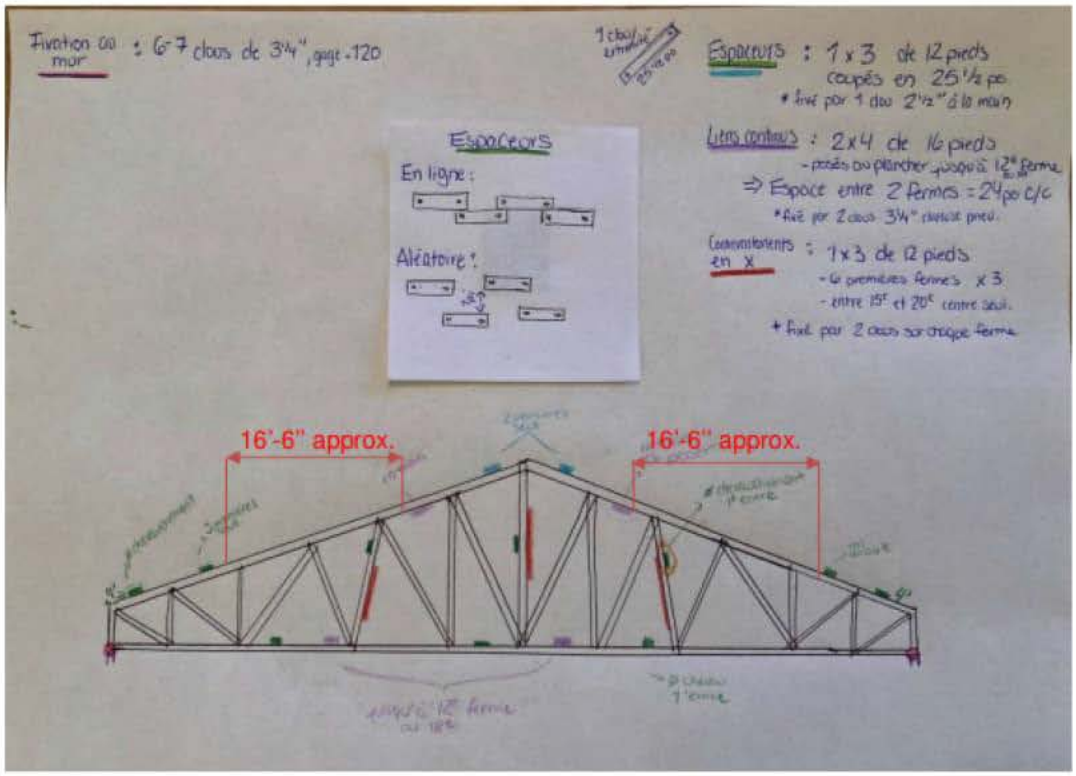
ÉLÉVATION TRANSVERSALE



ÉLÉVATION LONGITUDINALE

4.3 CONTREVENTEMENTS TEMPORAIRES

Deux scénarios nous ont été soumis pour la disposition des contreventements temporaires, l'un plus conservateur et l'autre plus faible. Dans les deux cas, il apparaît que la membrure supérieure des fermes était supportée latéralement par les contreventements temporaires seulement dans la partie centrale et vers les extrémités. Suivant le croquis obtenu, il y avait une longueur d'environ 16 pieds et 6 pouces sans support latéral sur chaque versant de la ferme. Ceci est illustré sur le croquis ci-dessous qui a été fourni par la CNESST :



Le fait que la membrure supérieure soit sans support sur une telle longueur dans les deux scénarios rend ces deux scénarios équivalents. Il appert aussi que les espaceurs étaient fixés à mesure que la pose des fermes progressait, alors que liens continus étaient mis en place par la suite, à temps perdu. Nous ne savons pas si les fermes étaient supportées ou non par la grue jusqu'au moment où les espaceurs étaient fixés au complet, cependant si la grue ne supporte plus une

ferme qui n'est pas fixée ou qui l'est partiellement, il y a augmentation du risque de flambement et de renversement.

Par ailleurs, nous avons estimé par calculs la résistance des différents éléments de contreventement temporaire, i.e. les liens continus en 2 x 4, et les espaceurs en 1 x 3, et les contreventements en X, en 1 x 3. Nous parlons ici de capacité estimée parce que des pièces comme des 1 x 3 ne sont normalement pas utilisées pour résister à des efforts calculés, et parce que les clous pour les fixer sont à 3/4 de pouce des extrémités ce qui est moins que le minimum permis de 1-1/2 pouce.

La résistance de ces éléments est dictée par la résistance des clous et est comme suit :

- Liens continus 2 x 4 fixés avec deux clous aux extrémités : 318 lb
- Espaceurs 1 x 3 fixés avec un clou aux extrémités : 108 lb
- Contreventements en X, 1 x 3, fixés avec un clou à chaque ferme : 108 lb

Ces valeurs estimées sont des capacités pondérées, i.e. elles incluent un facteur de réduction et ne constituent pas la résistance ultime des éléments. La résistance ultime est plus élevée, mais très compliquée à déterminer, et pour les fins de la présente expertise il sera suffisant de considérer que la capacité ultime est environ 50 % plus élevée que la capacité pondérée.

4.4 CHARGES SUR LES FERMES LORS DE L'INSTALLATION

Les dessins indiquent un poids de 393 lb pour les fermes intérieures, et de 593 lb pour les fermes des extrémités. Nous avons fait les calculs avec le poids des fermes intérieures étant donné que ce sont ces fermes qui se sont renversées. Nous avons ajouté le poids de deux travailleurs, 175 lb chacun aux tiers de la portée, i.e. à 22 pieds de chaque extrémité.

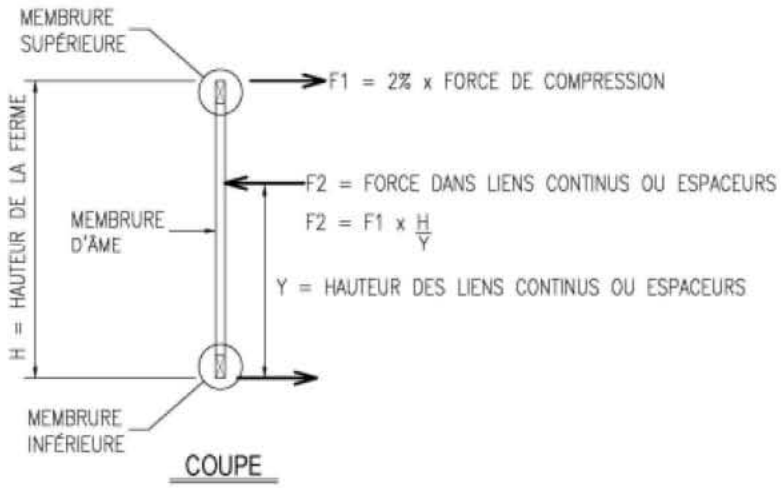
Suivant les données d'Environnement Canada, la vitesse du vent à 14 h 00 était de 15 km/h. Étant donné la vitesse relativement faible, nous avons commencé par faire nos calculs sans en tenir compte afin de voir si le renversement était susceptible de se produire avec les autres conditions présentes, en l'absence de vent.

Avec le poids propre des fermes, nous avons calculé la force de compression qui se produit dans la membrure supérieure, cette force est d'environ 586 lb. Lorsque deux travailleurs pesant 175 lb chacun se tiennent aux tiers de la portée, la force additionnelle dans la membrure supérieure est d'environ 598 lb pour un total de 1 184 lb. À titre de comparaison, lorsque la construction est complétée et qu'une ferme supporte la pleine charge de neige, la force de compression dans la membrure supérieure est de l'ordre de 17 200 lb. Cependant il faut garder à l'esprit que cette force se produit lorsque la membrure a un support latéral continu, ce qui n'est pas le cas lors du montage des fermes.

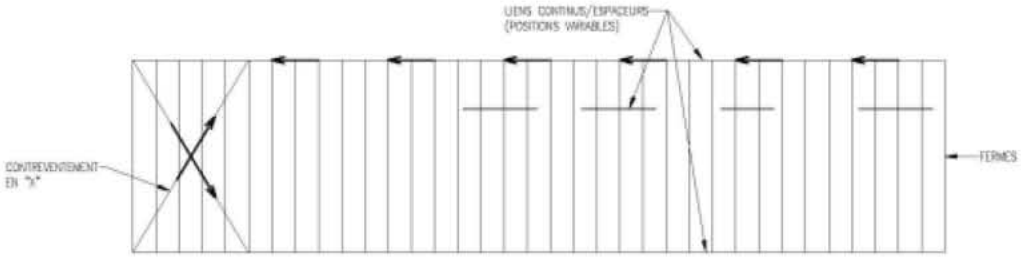
4.5 FORCES DANS LES CONTREVENTEMENTS TEMPORAIRES

Les forces dans les contreventements temporaires sont dépendantes des forces de compression dans les membrures qu'elles retiennent, la valeur utilisée normalement est 2 % de ces forces. En considérant les valeurs données au paragraphe précédent, ceci fait en sorte que la force à retenir au sommet d'une ferme serait 2 % x 586 lb, soit environ 12 lb pour une ferme sans autre charge que son poids propre, et 2 % x 1 184 lb, soit environ 24 lb pour une ferme avec deux travailleurs.

Ceci est valable aux endroits où les contreventements sont fixés directement aux membrures supérieures. Cependant aux endroits où les contreventements sont fixés plus bas sur les membrures d'âme, la force sur ces contreventements est augmentée en raison de l'effet de levier comme montré au croquis ci-dessous.

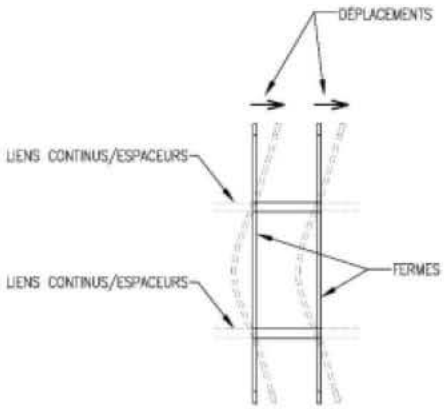


La force à retenir par les contreventements est cumulative jusqu'à l'endroit d'un contreventement en X, qui reprend ces forces et les dissipe dans l'ensemble des fermes qu'il relie comme montré au croquis ci-dessous.



ÉLÉVATION LONGITUDINALE

De plus, les espaceurs qui sont fixés aux membrures d'âme plus bas que les membrures supérieures fournissent un support latéral moins efficace puisque ceci cause une flexion des membrures d'âme ce qui entraîne un déplacement latéral de la membrure supérieure et augmente la possibilité de flambement comme illustré ci-dessous :



COUPE

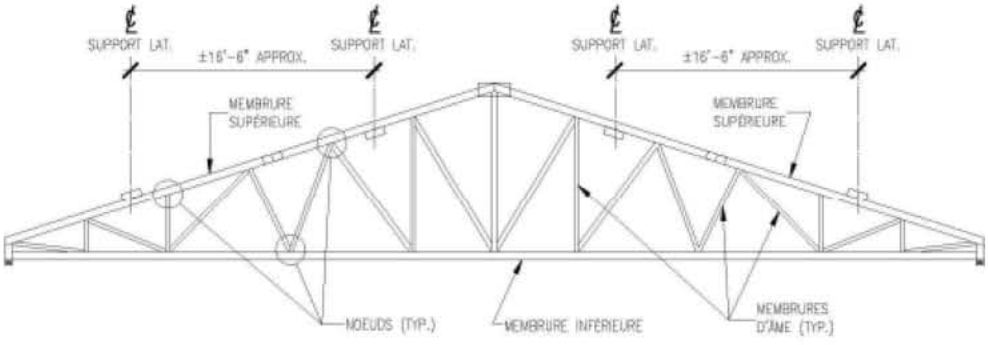
Dans le cas présent, de part et d'autre du centre il y avait des contreventements en X seulement à une extrémité, la force cumulative totale sur les espaceurs et sur les contreventements en X serait 24 fois 12 lb et une fois 24 lb pour un total de 312 lb sur un espaceur, et pour un total de 221 lb sur un contreventement une fois divisé par deux et ramené dans l'angle des contreventements. À noter que les espaceurs et les contreventements en X étant placés plus bas que la

membrure supérieure, comme expliqué dans le paragraphe précédent la force dans ces éléments se trouve augmentée substantiellement dépendamment de la hauteur où ils sont placés. On constate donc que les forces dans les éléments dépassaient la capacité ultime estimée des clous avec lesquels ils étaient fixés, 108 lb x 1.5 = 162 lb. Ceci qui est corroboré par les travailleurs qui ont rapporté que des espaceurs étaient fendus ou décloués juste avant l'effondrement.

4.6 FLAMBEMENT DES MEMBRURES SUPÉRIEURES

Comme expliqué aux paragraphes précédents, les membrures supérieures des fermes sont sollicitées en compression. Une membrure en compression doit avoir du support latéral à différents intervalles pour empêcher le flambement. Le flambement est un mode de rupture en compression qui se caractérise par un déplacement hors de son axe lorsque la capacité en compression de la membrure est dépassée. La capacité en compression d'une membrure donnée est calculée à partir du ratio {longueur entre les supports latéraux / épaisseur de la membrure}, qui est appelé « élancement ». Pour les pièces en bois, l'élancement maximal permis est de 50, au-delà de cette valeur la capacité en compression de la membrure est considérée nulle.

Les membrures supérieures des fermes sont des 2 x 6, dont l'épaisseur est 1-1/2 pouce, par conséquent la longueur maximale entre les supports latéraux doit être de 50 x 1-1/2", soit 75 pouces, 6 pieds et 3 pouces. Suivant les données obtenues de la CNESST, la disposition des contreventements temporaires au sommet des fermes faisait en sorte que les membrures supérieures des fermes étaient sans support latéral sur une distance d'environ 16 pieds et 6 pouces, comme montré ci-dessous :



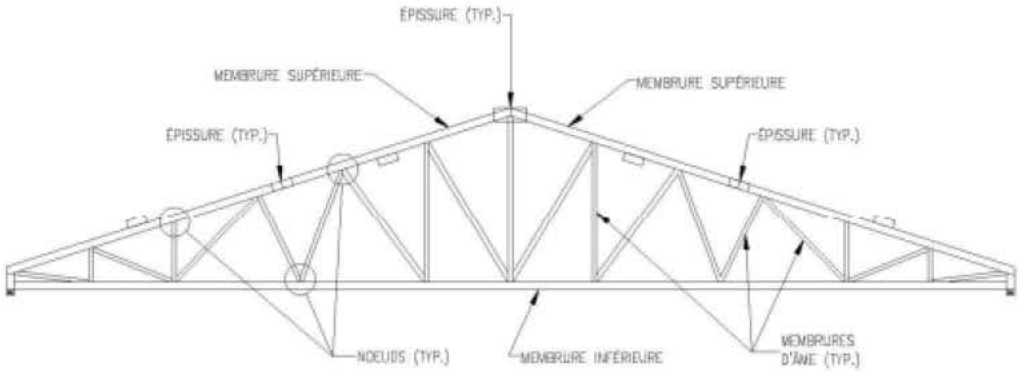
ÉLÉVATION - FERME

Suivant la norme CSA 086, avec une telle distance entre les supports, la capacité des 2 x 6 serait nulle. En réalité il y a tout de même une certaine capacité en compression mais il est interdit de la considérer pour des raisons de sécurité. La capacité théorique en compression des 2 x 6 sans support latéral sur 16'-6" serait d'environ 580 lb, qui est une valeur ultime, sans aucune marge de sécurité.

Or comme mentionné aux paragraphes précédents, la charge de compression calculée dans une membrure supérieure est de l'ordre de 586 lb sans considérer le poids des travailleurs, et de l'ordre de 1 184 lb en considérant le poids des travailleurs. Dans les deux cas on voit que la capacité théorique des membrures supérieures est dépassée, ce qui peut avoir causé un flambement.

4.7 ÉPISSURES DANS LES MEMBRURES SUPÉRIEURES

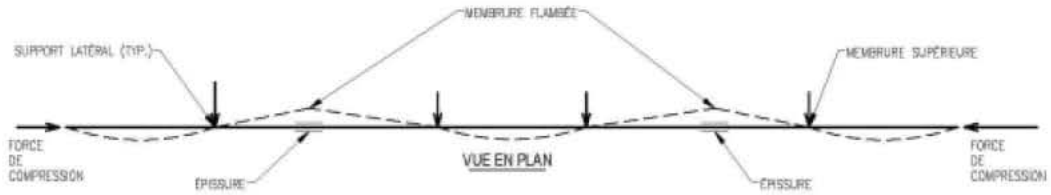
Sur les dessins d'atelier on peut voir sur la membrure supérieure qu'il y a une épissure au faîte et de part et d'autre à peu près au centre de chaque versant, comme montré ci-dessous :



ELÉVATION - FERME

Les épissures sont composées de plaques en acier qui comportent de multiples pointes qui sont pressées sur les membrures à l'endroit d'un joint pour rendre ces membrures continues en traction ou en compression. Ce type d'épissure est toujours placé près d'un point où il y a du support latéral parce qu'elles n'offrent normalement pas une résistance au flambement pour les membrures en compression. Or, avec l'arrangement présumé des contreventements temporaires, les épissures dans les membrures supérieures se retrouvaient presque au centre de la longueur sans support latéral, et une discontinuité dans

la membrure à cet endroit rend la membrure encore plus sujette au flambement comme illustré au croquis ci-dessous :

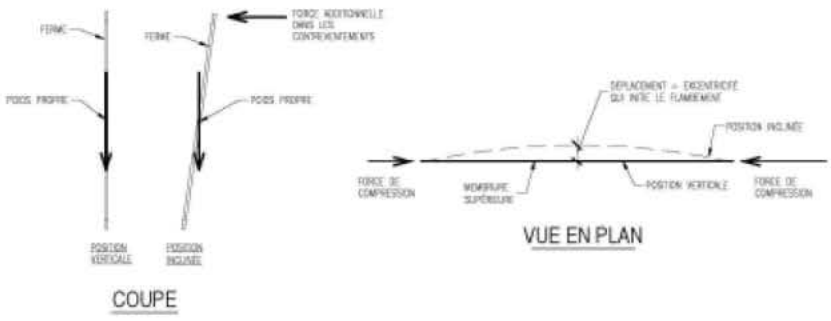


4.8 ESPACEMENT DES FERMES ET VERTICALITÉ

Il a été rapporté qu'à un moment donné les travailleurs ont constaté qu'une ou des fermes n'étaient pas placées à l'espacement requis de 24 pouces, et qu'ils ont travaillé à les repositionner. Pour ce faire ils ont décloué des espaceurs et des contreventements.

Ceci peut avoir eu deux effets, soit que la ou les fermes espacées de façon incorrecte ne soient plus verticales ce qui crée une force additionnelle sur les contreventements, et que les espaceurs et/ou les contreventements décloués laissent la ferme avec encore moins de support latéral. De plus, en déplaçant une ferme de 66'-2" de longueur, 12'-0" de hauteur et 1-1/2" d'épaisseur, il est inévitable que des déformations latérales vont se produire et créer des excentricités non prévues.

Si la ferme ainsi déplacée n'est pas supportée par une grue et qu'elle repose uniquement sur les murs aux deux extrémités, et que le sommet se met à pencher d'un côté ou de l'autre lors du déplacement, il y a une forte possibilité de flambement de la membrure supérieure sur la longueur totale de 66'-2". Ces effets sont illustrés ci-dessous :



4.9 CONSTATATIONS À PARTIR DES PHOTOS

Sur les photos fournies par la CNESST, on peut faire les constatations suivantes :

- Des espaceurs et des contreventements sont décloués et certains sont visiblement fendus comme il a été rapporté par les travailleurs. On en voit des exemples sur les photos suivantes : photos 3150, 3151, 3155, 3157 et 3158.

Photo 3150 Espaceurs décloués

Photo 3151 Espaceur décloué

MESAR
INGÉNIEURS-CONSEILS

RAPPORT D'EXPERTISE

4.0 – ANALYSES

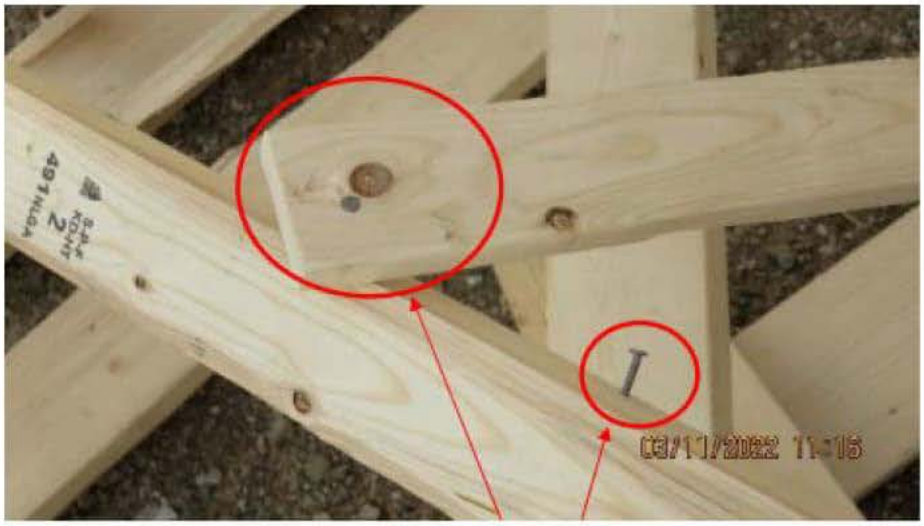


Photo 3155 Espaceurs décloués

Photo 3157 Espaceur décloué

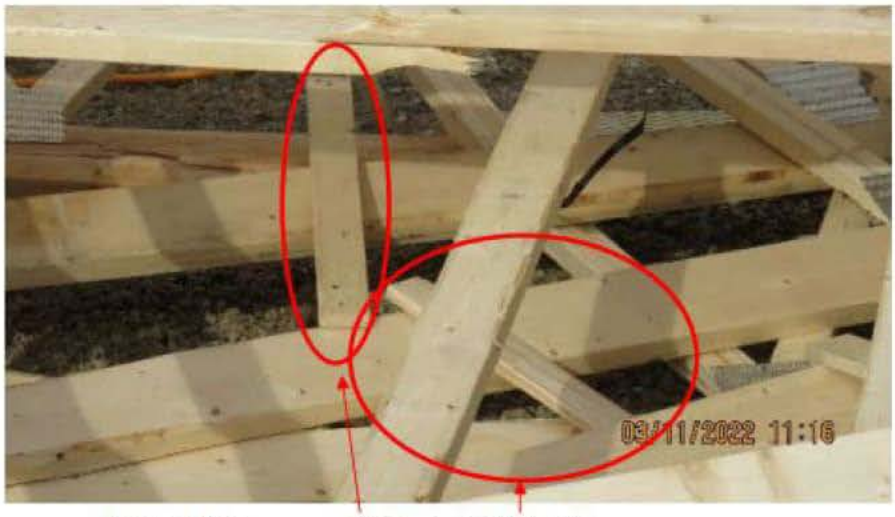


Photo 3158 Espaceurs décloués

- Les fermes sont toutes couchées vers l'arrière du bâtiment : photo 3148.

Photo 3148

- Plusieurs des membrures supérieures des fermes sont pliées à l'endroit de l'épissure située à environ 17 pieds de l'extrémité, surtout du côté gauche : photos 3149 et 3160.

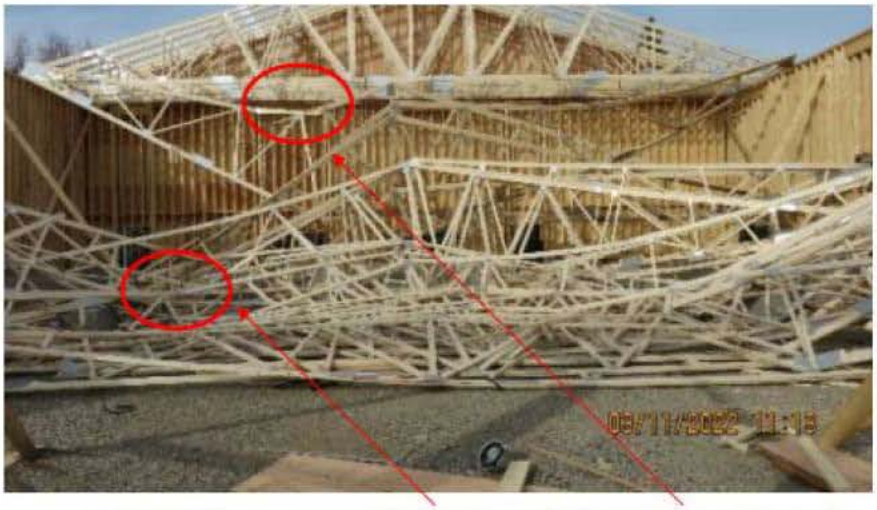


Photo 3149 Membrures supérieures pliées à l'endroit d'une épissure

Photo 3160 Membrures supérieures pliées à l'endroit d'une épissure

- Les fermes qui sont restées en place sont les six premières fermes à l'arrière du bâtiment. Ces fermes étaient reliées par des contreventements en X à trois endroits : photo 3201 et 0342.

Photo 3201

Contreventements en X
Contreventement en X décloué

Photo 0342

Contreventements en X

5.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'étude des informations et des analyses que nous avons effectuée nous amène à conclure ce qui suit :

- Le système de contreventements temporaires n'était pas fait suivant les recommandations incluses aux documents du MSBQ et de CECOBOIS.
- Le système de contreventements temporaires était mis en place de façon progressive, et de façon irrégulière.
- La capacité théorique des espaceurs et des contreventements, qui est limitée par la capacité du clouage, est inférieure aux forces calculées pour la retenue latérale des fermes. Le fait que les travailleurs ont constaté des espaceurs fendus et/ou décloués confirme que la capacité a été excédée.
- Les membrures supérieures étaient sans support latéral sur des longueurs plus grandes que la limite de 50 fois l'épaisseur.
- La capacité théorique ultime d'une membrure supérieure sans support sur 16'-6" est d'environ 580 lb, soit légèrement inférieure à la force causée par le poids propre d'une ferme, et deux fois moins que la force à supporter lorsque deux travailleurs se tiennent sur une ferme.
- Le fait de fixer des contreventements temporaires sur les membrures d'âme augmente les efforts dans ces contreventements, en plus de fournir un support flexible pour les membrures supérieures ce qui augmente les déplacements latéraux, réduit la capacité en compression et peut amorcer un flambement.
- Le fait de déplacer une ferme manuellement pour la repositionner alors qu'elle n'est plus supportée par la grue et qu'elle repose seulement sur les murs aux extrémités peut également avoir causé des déplacements latéraux ce qui réduit la capacité en compression et peut amorcer un flambement.
- La présence d'épissures dans la partie non supportée latéralement de la membrure supérieure constitue une discontinuité dans la membrure, et est susceptible de causer l'amorce d'un flambement. Sur les photos on voit plusieurs des membrures supérieures qui sont pliées à l'endroit de ces épissures.

Ces conclusions nous permettent d'affirmer avec certitude que le système de contreventement temporaire était insuffisant, ce qui faisait en sorte que les fermes étaient en équilibre instable à cause des membrures supérieures qui étaient très vulnérables au flambement. Dans cette condition, il peut suffire de peu pour initier le flambement et rompre cet équilibre :

- Le clouage d'un espaceur qui commence à céder ce qui cause le déplacement d'une ferme et augmente davantage les efforts.
- Une légère charge additionnelle.
- Un impact causé par un équipement de levage.
- Une bourrasque.
- Ou le fait de déplacer une ferme pour la remettre à sa position désirée, comme il a été rapporté, peut avoir causé un mouvement similaire à une vague.

Lorsque cette membrure flambe, la ferme plie à l'endroit du flambement et perd la capacité de supporter son poids propre. En pliant elle tombe de côté et s'appuie sur la ferme adjacente qui plie à son tour et l'effondrement se poursuit en cascade.

La conclusion finale est donc que le système de contreventement temporaire des fermes était insuffisant et que ceci est la cause première de l'accident. En effet, puisque ces contreventements étaient insuffisants, ceci rendait les fermes instables et susceptibles de flamber, et de s'effondrer en cours normal d'installation, ce qui s'est effectivement produit.

Concernant le type et le nombre de contreventements temporaires et permanents requis pour les fermes du bâtiment qui font l'objet de la présente expertise, deux méthodes sont possibles et sont décrites ci-dessous :

1- <u>Érection des fermes une par une</u> :

- Assemblage au sol de cinq premières fermes avec leurs contreventements permanents horizontaux et en X comme spécifié aux dessins d'atelier des fermes.

- Mise en place de contreventements diagonaux en 2 x 4 dans le plan des membrures supérieure et inférieure entre les contreventements en X. Ces contreventements diagonaux doivent être fixés avec deux clous minimum à chacune des fermes. Ceci est illustré au dessin suivant tiré des guides du MSBQ et de CECPBOIS :

a) Contreventement temporaire sur les chevrons des cinq premières fermes (à répéter à tous les 20 pi max)

Sur l'illustration de la **figure 75**, seulement les cinq premières fermes sont représentées. Les fermes de plus de 60 pi pourraient exiger un contreventement plus élaboré.

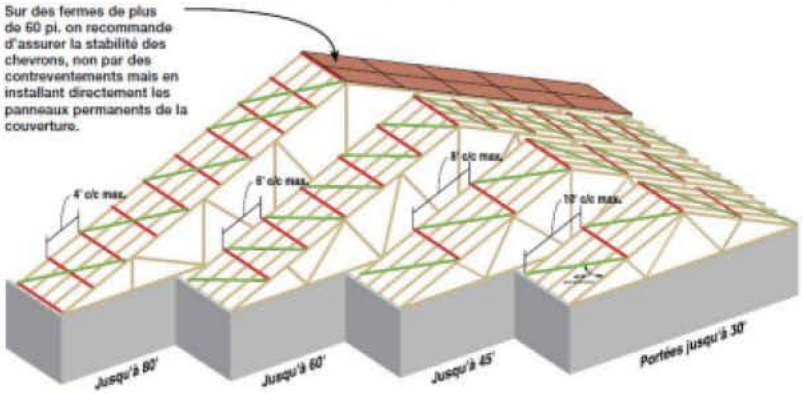


FIGURE 75 • Contreventement temporaire du chevron
(Image : *Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit de longue portée*, AQFSB)

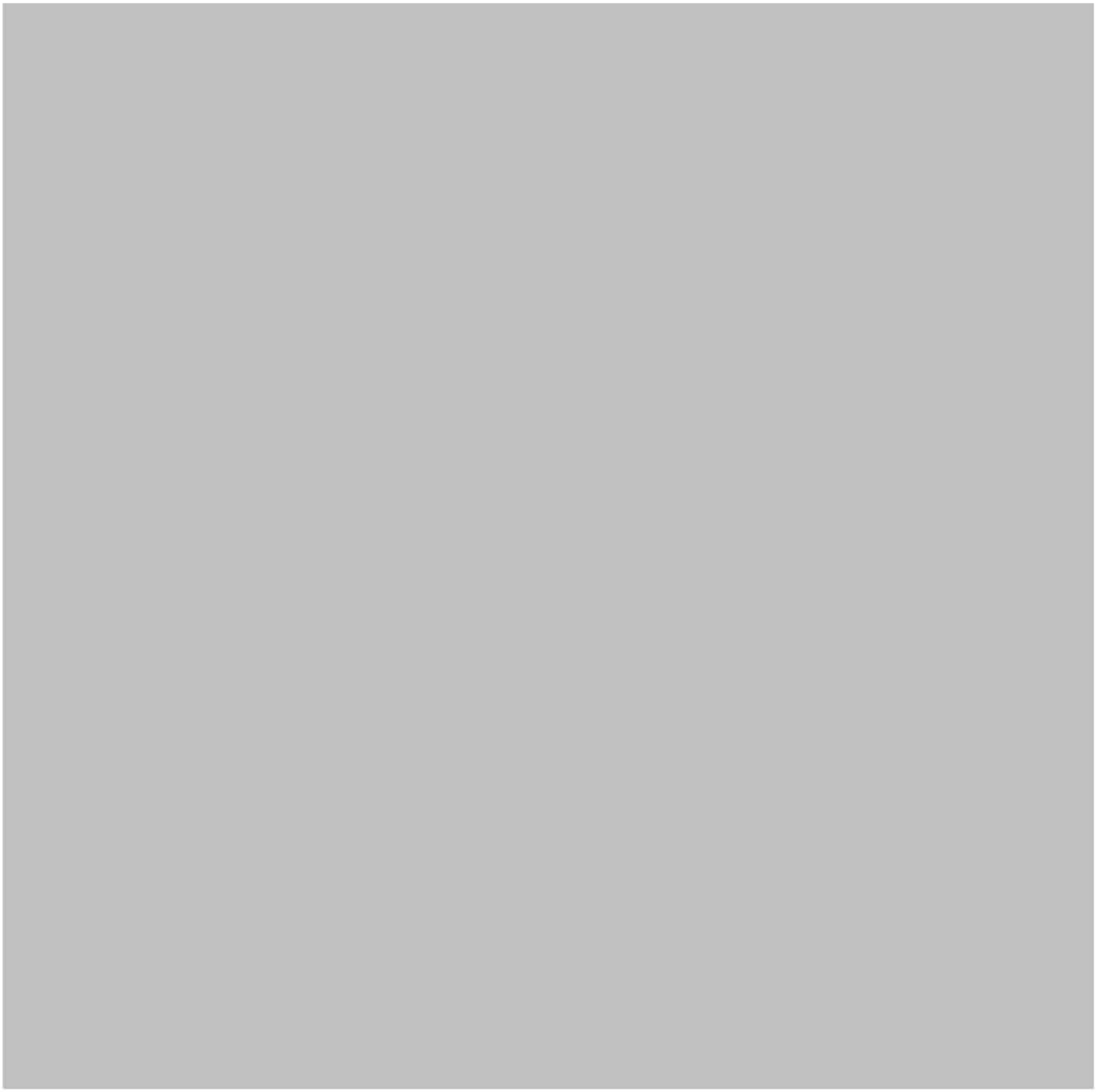
- Mise en place de ces cinq premières fermes en bloc sur les murs porteurs.
- Mise en place de liens continus vis-à-vis chaque nœud de la ferme sur les membrures supérieure et inférieure. Les liens continus doivent être au minimum en 2 x 4, avec minimum deux clous de 3'' de longueur et 0.144'' de diamètre à chacune des fermes.
- Les liens continus doivent être placés de sorte qu'ils se prolongent pour être fixés aux fermes suivantes qui seront érigées.
- À mesure que des fermes additionnelles sont érigées, mise en place de liens continus qui doivent chevaucher au moins deux fermes déjà érigées et qui se prolongent pour les fermes subséquentes.
- Mise en place de contreventements en X entre la 16e et la 21e ferme, et de contreventements diagonaux dans le plan des membrures supérieure et inférieure, et ainsi de suite afin d'avoir un espace maximum de vingt pieds entre les contreventements.

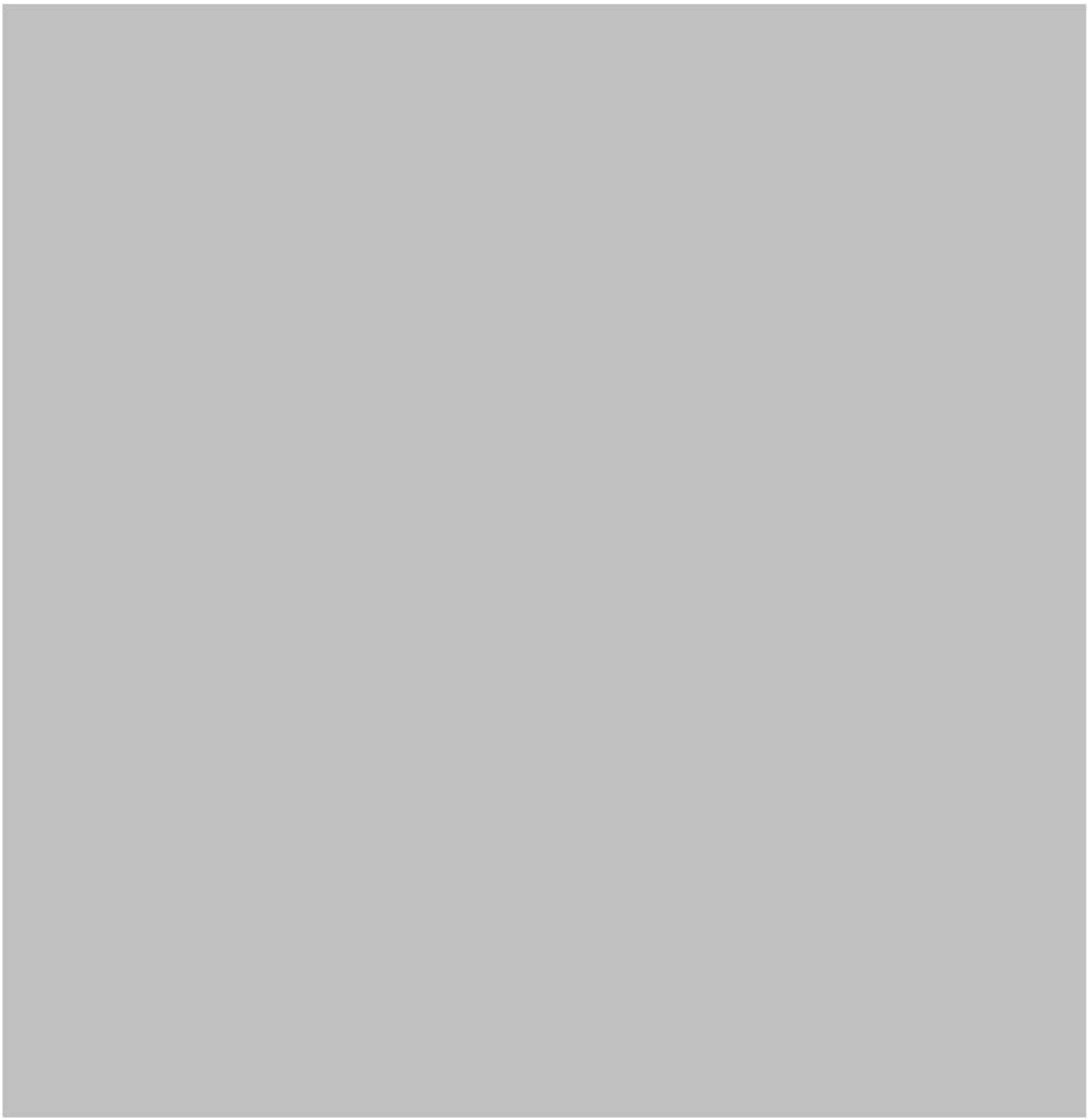
2- Érection des fermes en blocs

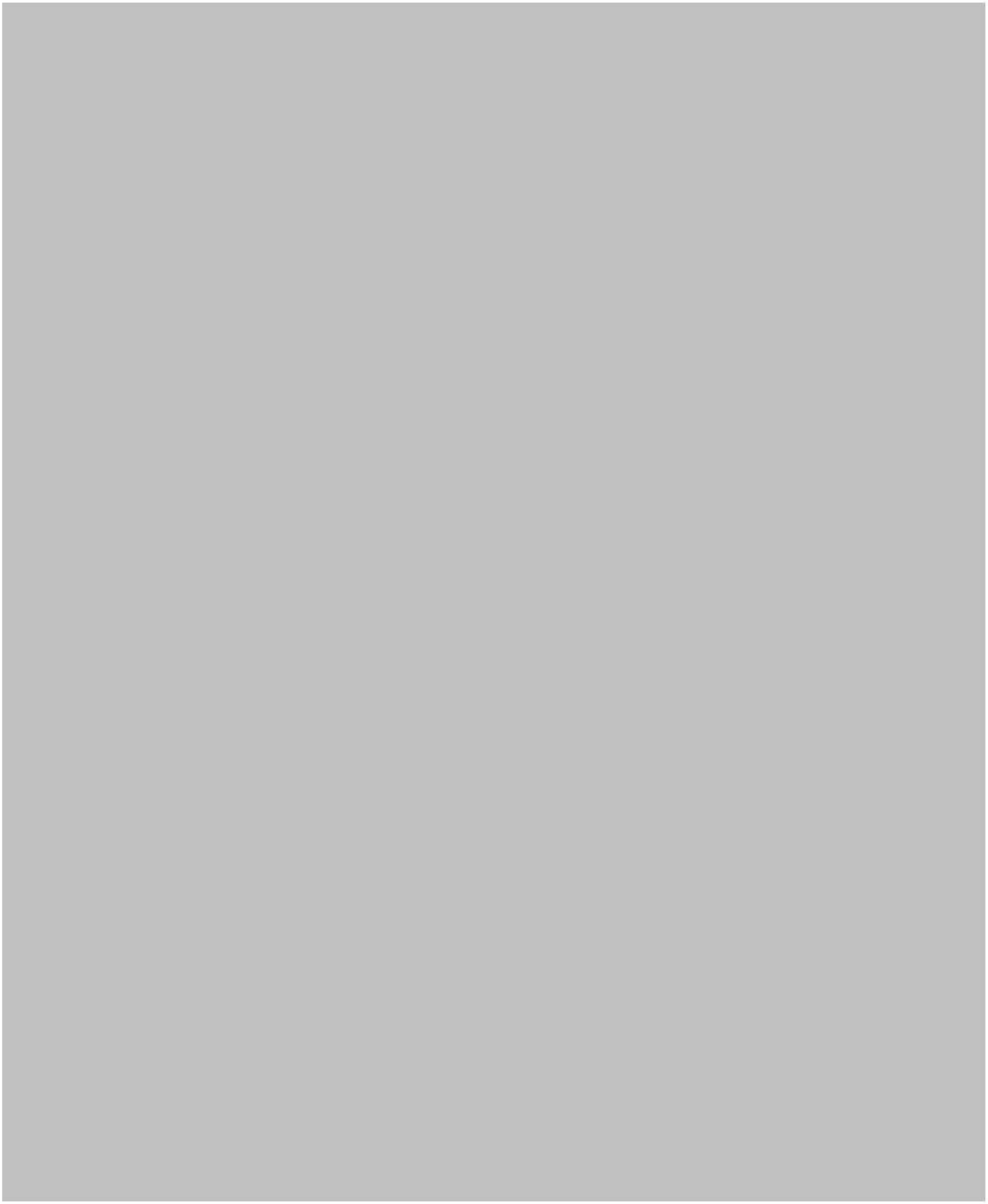
- Assemblage au sol d'ensembles de fermes avec leurs liens continus permanents et leurs contreventements verticaux en X comme spécifié aux dessins d'atelier des fermes. Ces éléments sont dimensionnés par le concepteur pour soutenir les fermes lorsque chargées au maximum, ils sont par conséquent suffisants pour fournir le support requis aux fermes en cours de montage. Le nombre de fermes peut varier de quatre ou cinq à 10 et même plus, ceci est à la discrétion de l'entrepreneur en fonction de la capacité de la grue et du palonnier qui sont disponibles.
- Érection des ensembles de fermes ainsi construits, et mise en place des contreventements permanents suivant les spécifications aux dessins d'atelier.

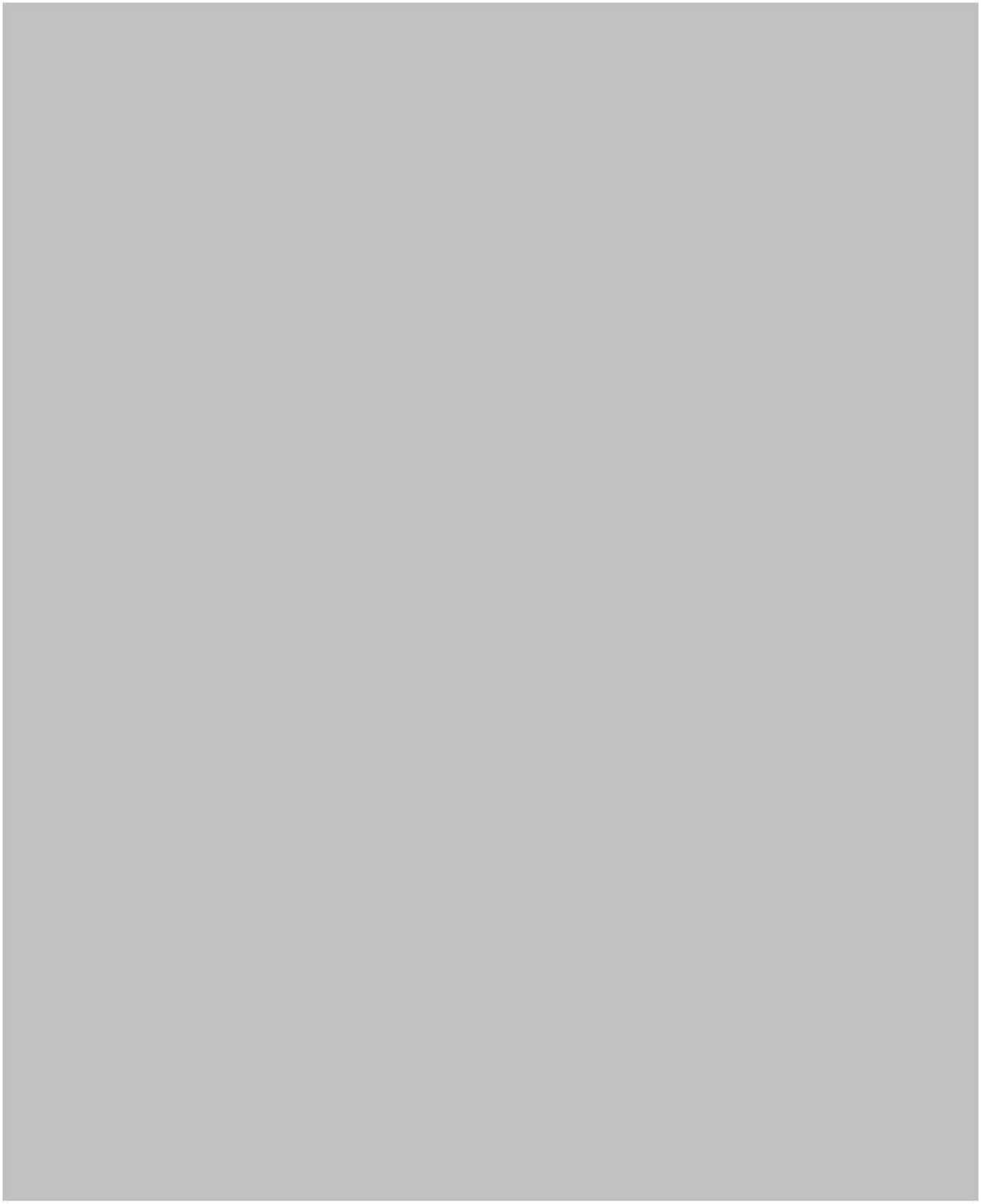
Les deux méthodes peuvent être sécuritaires, cependant pour des fermes de cette dimension, l'érection une par une des fermes demande plus de précautions et oblige à exécuter en hauteur une plus grande portion des travaux, de sorte que nous croyons qu'il est préférable de préconiser la méthode d'érection en blocs de plusieurs fermes. Nous avons parlé à des entrepreneurs à ce sujet, ces derniers nous ont confirmé utiliser les deux méthodes, mais qu'ils préfèrent l'érection en blocs pour des fermes de grande portée. Ceci est d'ailleurs la méthode recommandée pour des fermes de plus de 60 pieds de portée dans le guide publié par le MSBQ et dans celui publié par CECOBOIS, et c'est la méthode que nous recommandons également.

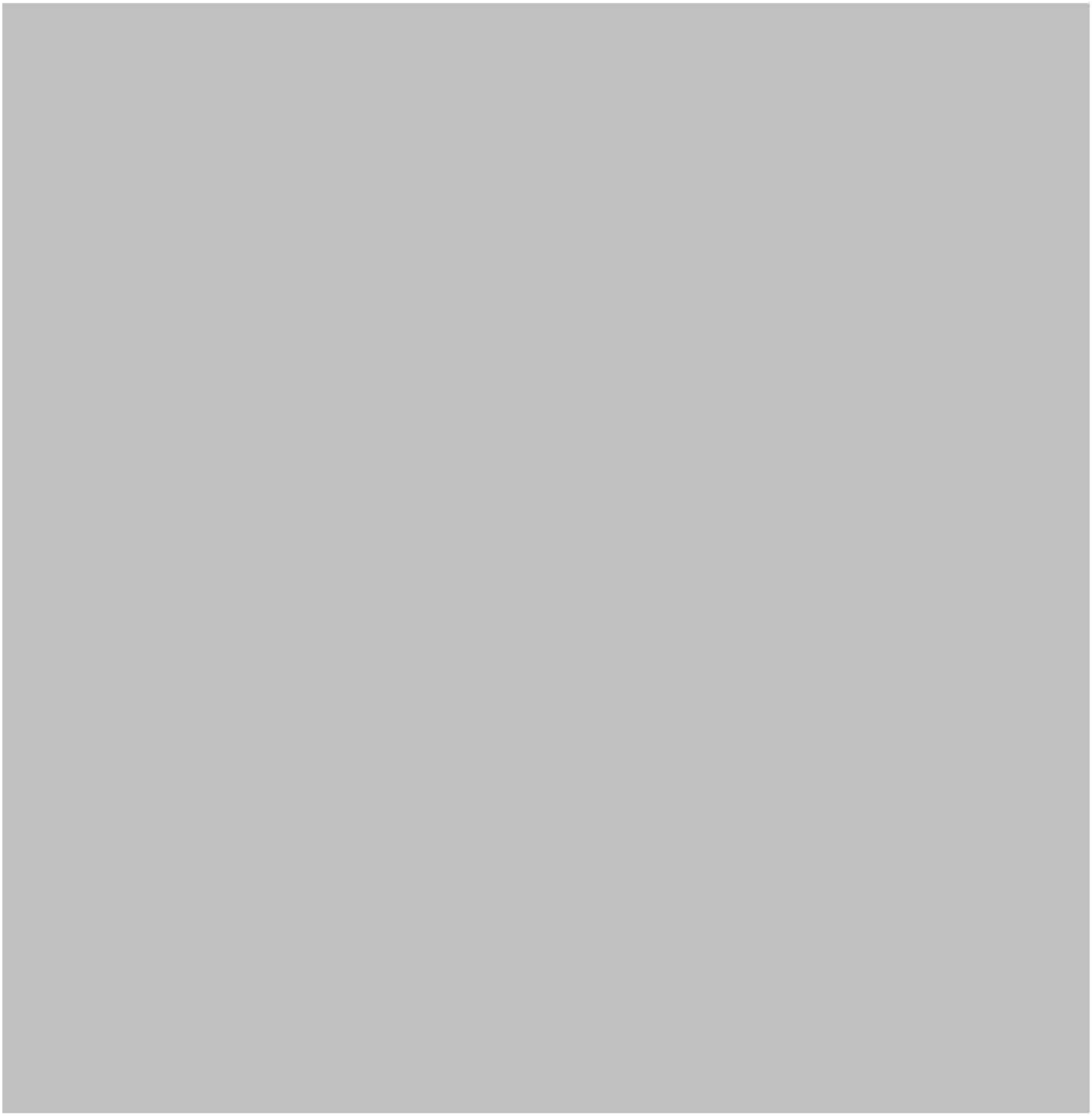
ANNEXE D
Dessins techniques des fermes de toit de MiTek inc.

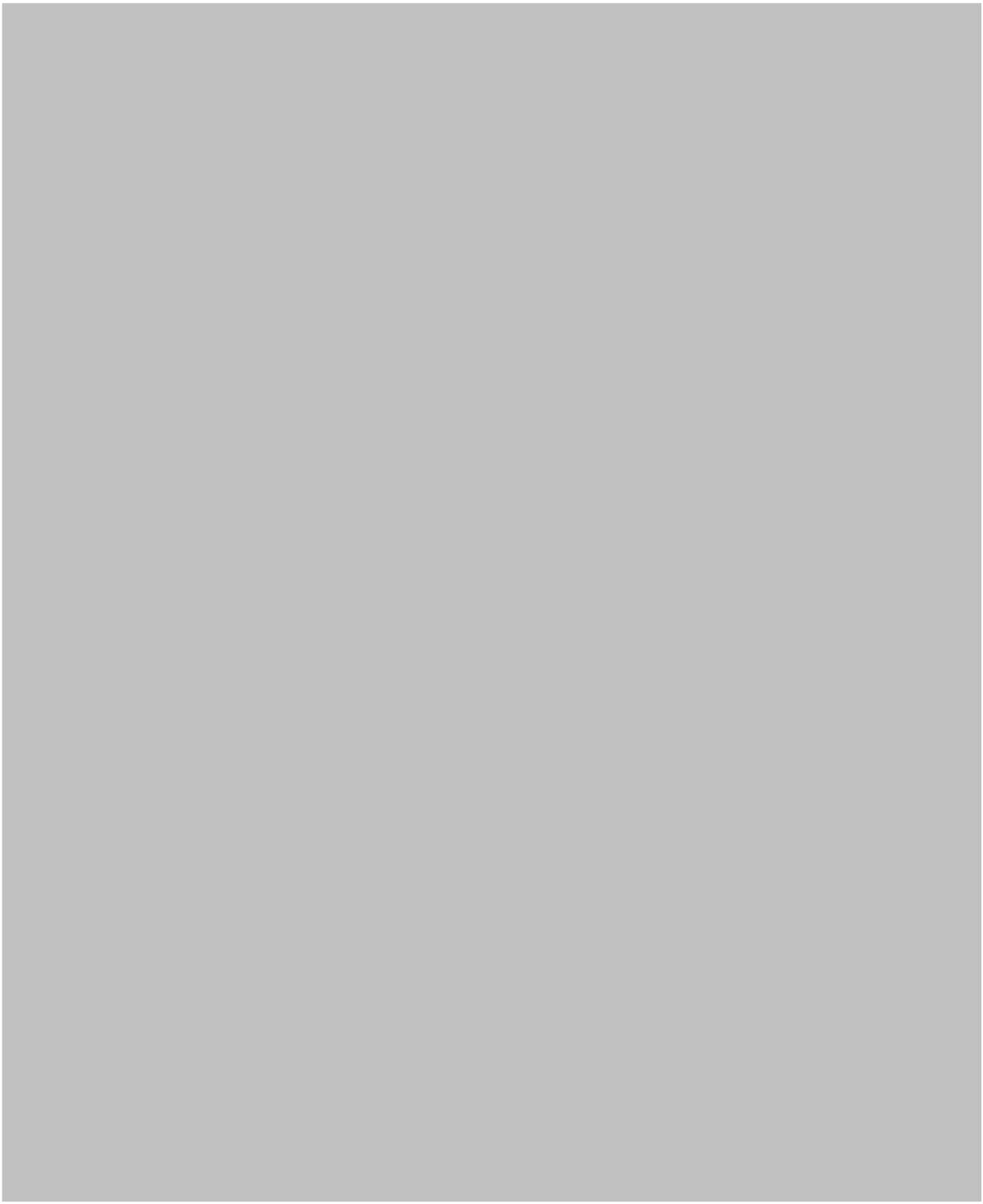


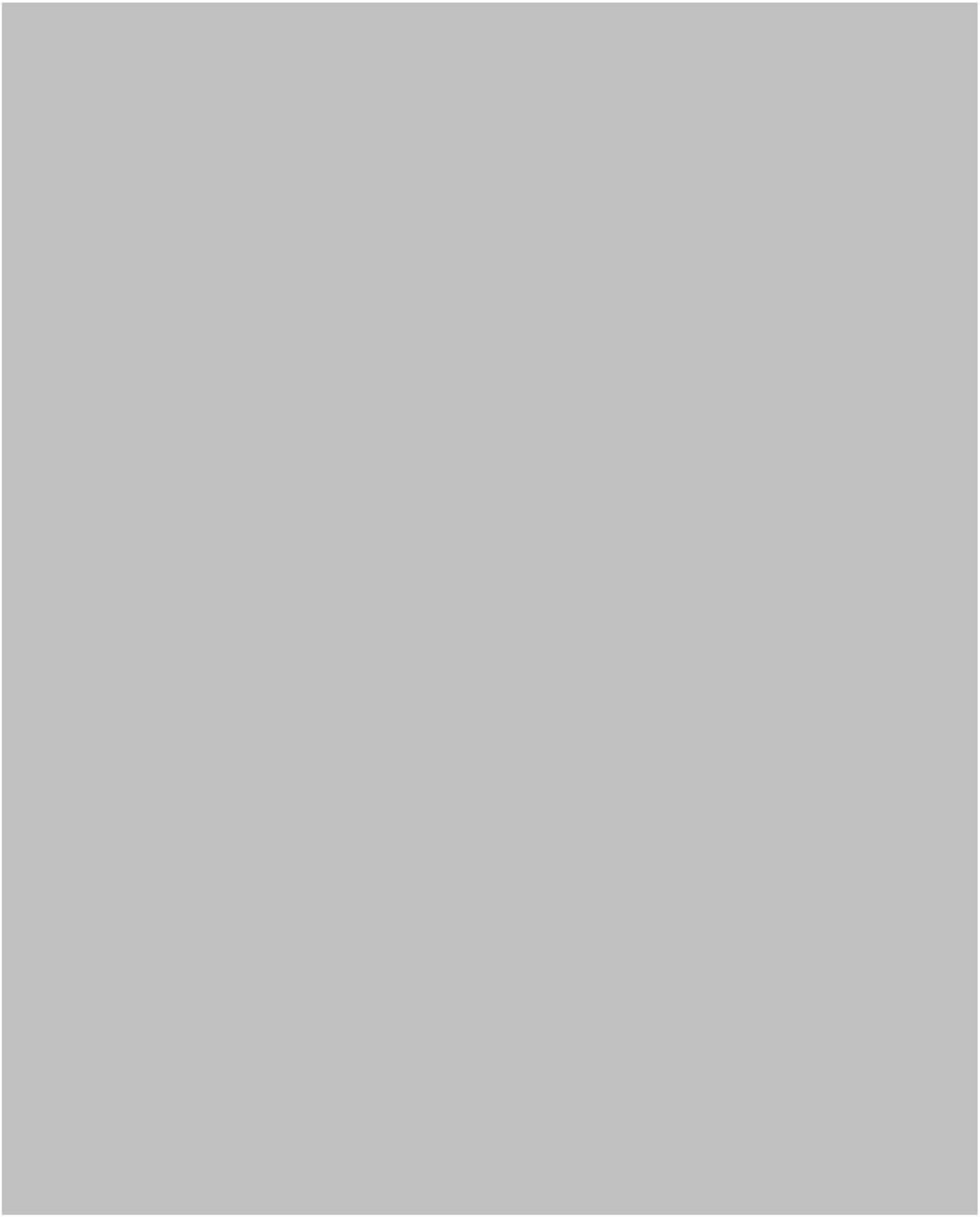


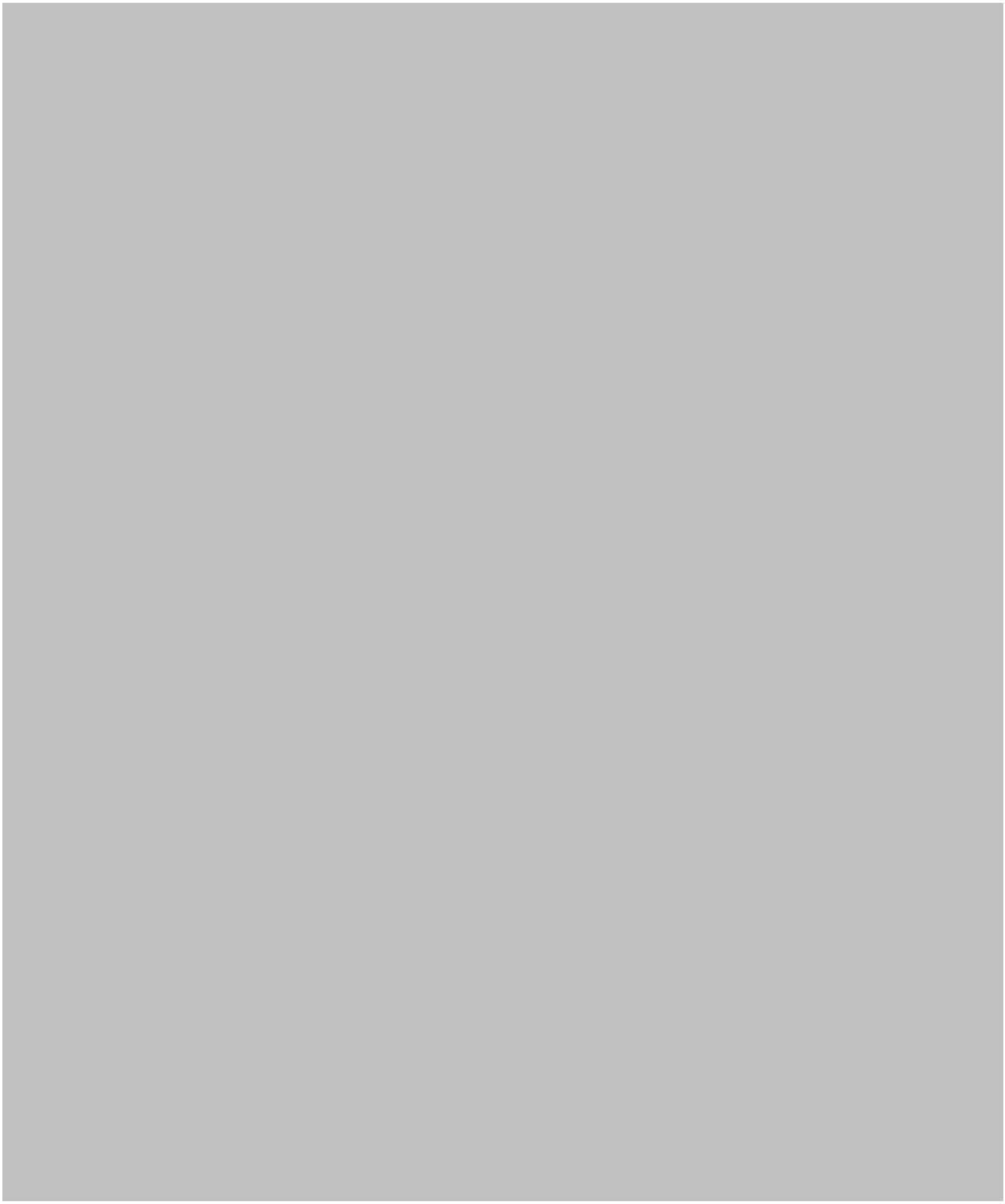


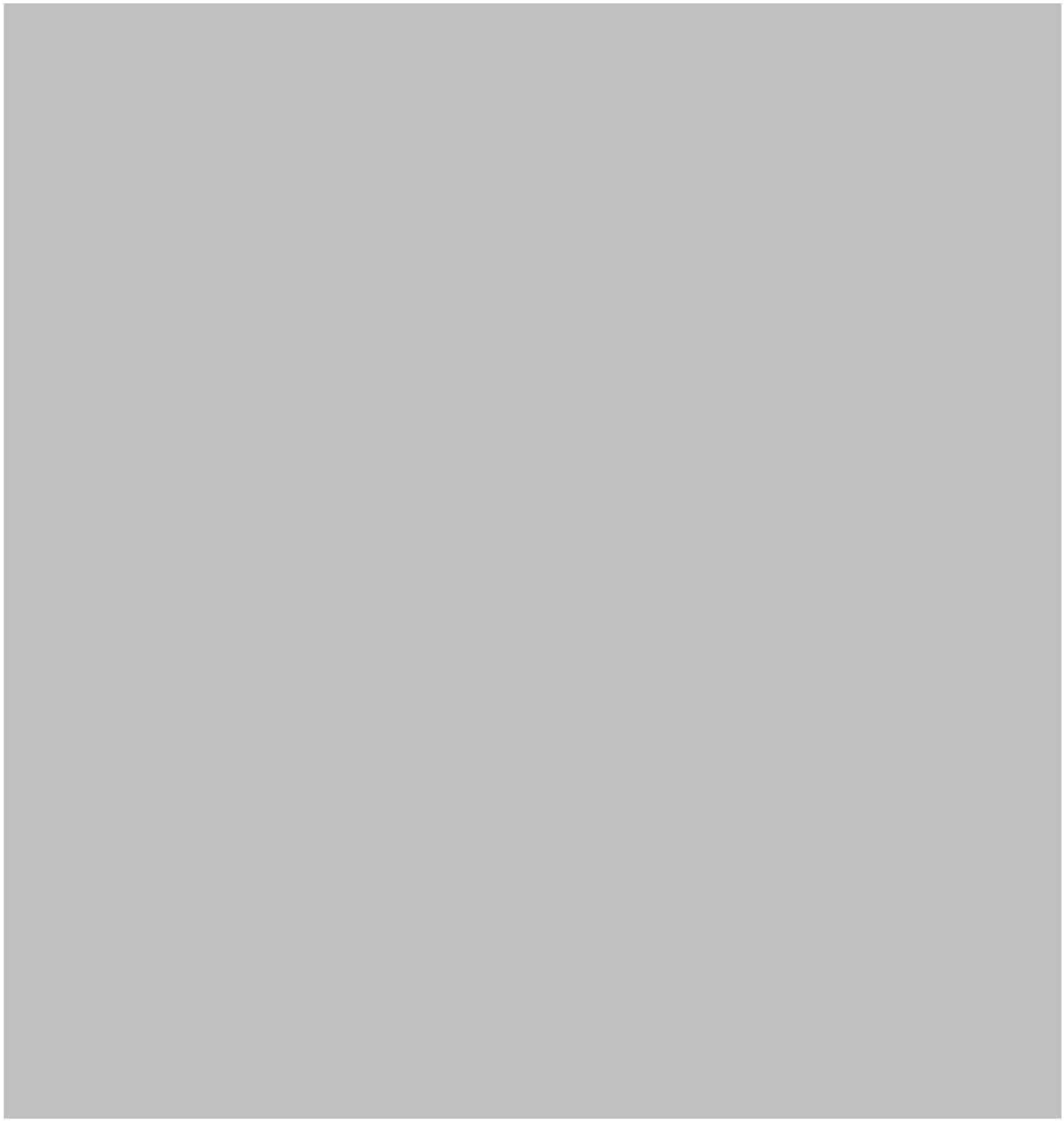


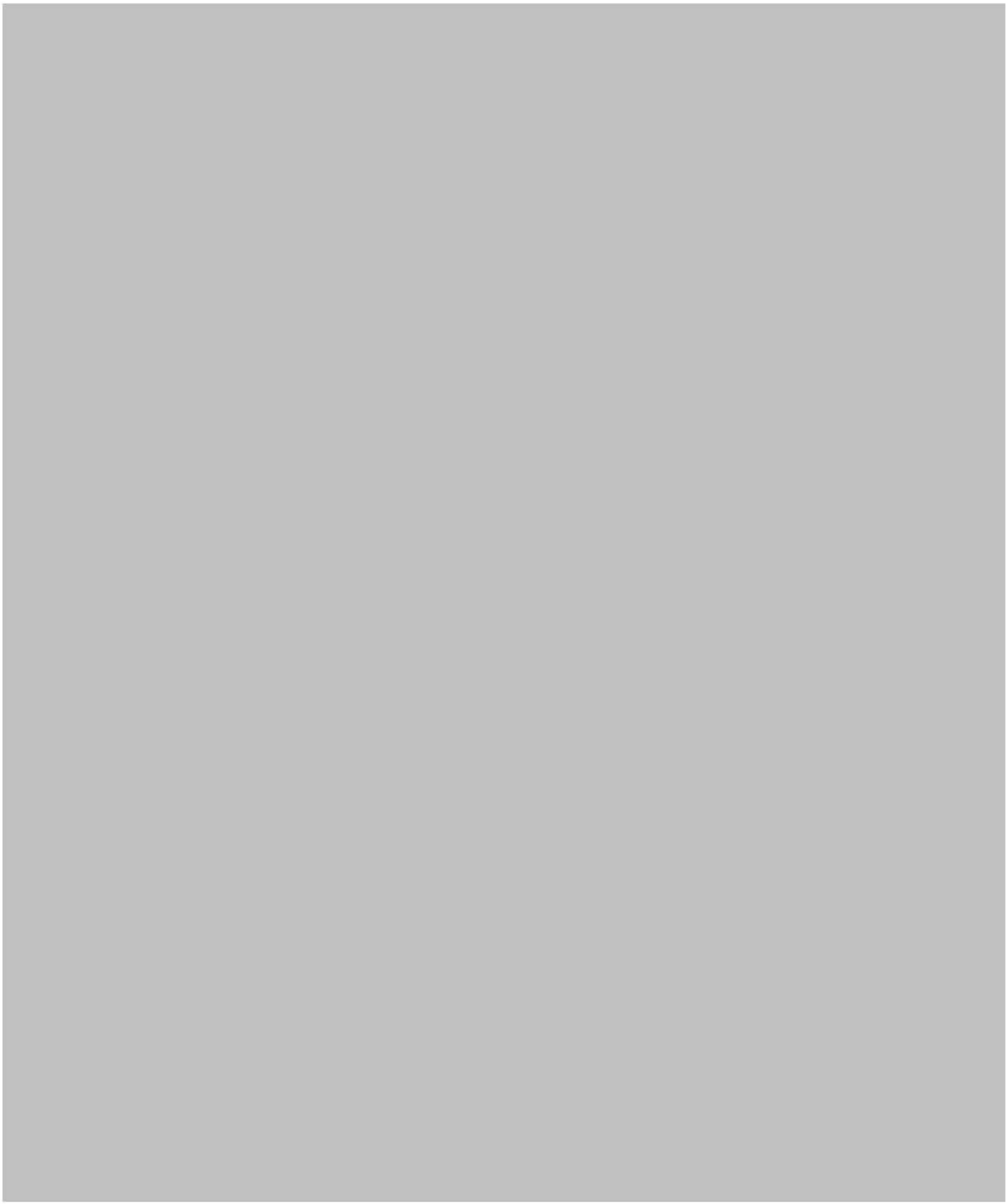












ANNEXE E

Relevés météorologiques du 2 novembre 2022

METAR

```
2022-11-02 14:21:58, 2022-11-02 14:31:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 330,
10, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:22:57, 2022-11-02 14:32:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 320,
09, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:23:57, 2022-11-02 14:33:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 330,
09, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:24:57, 2022-11-02 14:34:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 340,
10, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:25:57, 2022-11-02 14:35:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 340,
11, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:26:58, 2022-11-02 14:36:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 340,
12, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:27:57, 2022-11-02 14:37:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 340,
12, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:28:57, 2022-11-02 14:38:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 330,
10, G16,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:29:57, 2022-11-02 14:39:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 330,
08,  ,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:30:57, 2022-11-02 14:40:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 330,
05,  ,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:31:57, 2022-11-02 14:41:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 330,
06,  ,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:32:57, 2022-11-02 14:42:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 320,
09,  ,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:33:57, 2022-11-02 14:43:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 320,
10, G14,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:34:57, 2022-11-02 14:44:00, 06, M03, 30.25,  , 10,  , 330,
10, G14,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:35:57, 2022-11-02 14:45:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 330,
10, G14,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:36:57, 2022-11-02 14:46:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 320,
10, G14,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:37:57, 2022-11-02 14:47:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 320,
11, G14,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
2022-11-02 14:38:57, 2022-11-02 14:48:00, 06, M04, 30.25,  , 10,  , 320,
13, G18,  , CLR,  ,  ,  , METAR CYML 021355Z AUTO 32007KT 10SM CLR 06/M02
A3024 RMK AO2,  ,  , YML, CHARLEVOIX AIRPORT, 977
```

Environnement Canada

Gouvernement du Canada | Government of Canada

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

Rapport de données horaires pour le 02 novembre 2022

Si vous avez sélectionné l'heure normale locale (HNL), ajoutez 1h pour convertir l'heure locale en heure avancée, s'il y a lieu.

CHARLEVOIX (MRC)
QUÉBEC
Opérateur de station opérationnelle : ECCC - SMC

Latitude :	47°17'03,000" N	Longitude :	70°38'15,000" O
Altitude :	722,70 m	ID climatologique :	7041312
ID de l'OMM :	71319	ID de TC :	WIS

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	6,3	2,3	76	0,0	32	6		93,23			ND
01:00	5,1	1,1	75	0,0	31	5		93,30			ND
02:00	4,7	0,0	71	0,0	31	7		93,37			ND
03:00	3,4	-0,9	74	0,0	30	4		93,42			ND
04:00	1,2	-1,0	85	0,0	24	2		93,48			ND
05:00	0,9	-2,4	79	0,0	27	3		93,53			ND
06:00	0,6	-3,0	77	0,0	27	4		93,61			ND
07:00	0,0	-4,8	70	0,0	28	2		93,72		-1	ND
08:00	2,2	-8,3	46	0,0	32	13		93,80			ND
09:00	3,8	-9,8	36	0,0	32	15		93,88			ND
10:00	5,4	-9,6	33	0,0	32	12		93,91			ND
11:00	7,0	-10,3	28	0,0	31	8		93,97			ND
12:00	7,4	-10,3	27	0,0	31	8		93,93			ND
13:00	7,9	-11,0	25	0,0	32	8		93,94			ND
14:00	7,1	-12,4	24	0,0	32	15		93,99			ND
15:00	6,6	-12,3	24	0,0	32	11		94,04			ND
16:00	4,7	-11,1	31	0,0	32	8		94,09			ND
17:00	3,1	-10,7	36	0,0	31	7		94,14			ND
18:00	1,0	-8,4	49	0,0	9	4		94,17			ND
19:00	0,8	-9,8	45	0,0	30	2		94,19			ND
20:00	2,6	-11,9	33	0,0	34	8		94,18			ND
21:00	2,3	-11,9	34	0,0	1	6		94,14			ND
22:00	1,7	-11,5	37	0,0	7	3		94,17			ND
23:00	-1,3	-8,0	60	0,0		0		94,17			ND

Légende

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

Date de modification :
2022-08-17

ANNEXE F

Références bibliographiques

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

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

CENTRE D'EXPERTISE SUR LA CONSTRUCTION COMMERCIALE EN BOIS. *Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale,* 1ère édition, Québec, CECOBOIS, 2012, 64 p. [https://cecobois.com/wp-content/uploads/2020/04/CECO-1131_Guide_Ferme_Toit_WEB.pdf].

INFRASTRUCTURE HEALTH & SAFETY ASSOCIATION. *Residential roof truss installation procedures,* Mississauga, IHSA, 2013, 21 p. [https://www.ihsa.ca/PDFs/Products/Id/W210.pdf].

MANUFACTURIERS DE STRUCTURES DE BOIS DU QUÉBEC. *Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit à longue portée,* Québec, MSBQ, 2020, 14 p. [https://msbq.org/wp-content/uploads/2020/10/Guide-installation-fermes-longue-portee-MSBQ-voct2020r.pdf].

STRUCTURAL BUILDING COMPONENTS ASSOCIATION, TRUSS PLATE INSTITUTE, et TRUSS PLATE INSTITUTE OF CANADA. *Guide to good practice for handling, installing, restraining and bracing of metal plate connected wood trusses,* États-Unis, BCSI, 2014, 81 p. [https://tpic.ca/wp-content/uploads/2018/06/canadabcsi.pdf].

QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction, RLRQ, chapitre S-2.1, r. 4, à jour au 1er septembre 2022*, [En ligne], 2022. [http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/S-2.1,%20r.%204] (Consulté le 27 février 2023).

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 15 février 2023*, [En ligne], 2023. [http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/S-2.1] (Consulté le 27 février 2023)

QUÉBEC. *Loi sur les ingénieurs, chapitre I-9, à jour au 1er avril 2023*, [En ligne], 2023. [https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/lc/I-9] (Consulté le 5 mai 2023)