

EN004177**RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident mortel survenu à un travailleur
le 8 août 2017 sur un chantier de l'entreprise
Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc.
515, boulevard Industriel à Gatineau,
Secteur Gatineau**

Direction régionale de l'Outaouais

VERSION DÉPERSONNALISÉE

Inspecteurs :

**Jean-Charles
Marengère, Ing**

**Michel Croteau
Inspecteur chef d'équipe**

Date du rapport : 3 avril 2018

Rapport distribué à :

- Monsieur [A], [...], Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc.
- Monsieur [B], [...], [...], Association internationale des travailleurs en ponts, en fer structural, ornemental et d'armature
- Monsieur [C], [...], [...], Fraternité unie des charpentiers menuisiers d'Amérique
- Dr Pierre Bourassa, Coroner
- Dr Horacio Arruda, Directeur de la santé publique
- ASP Construction

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>3</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	3
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	3
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>5</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	5
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>6</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	6
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	6
4.2.1	PLAN DE MONTAGE	6
4.2.2	PROCÉDURE DE MONTAGE	7
4.2.3	NORMES ET RÈGLES DE L'ART	7
4.2.4	CARACTÉRISTIQUES DE LA SECTION DE MUR IMPLIQUÉE DANS L'ACCIDENT	10
4.2.5	TÉMOIGNAGES	12
4.2.6	EXPERTISE	12
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	13
4.3.1	UNE SECTION DE MUR ÉRIGÉE DEPUIS QUELQUES MINUTES SUBIT LES FORCES DU VENT ET DE SON PROPRE POIDS, LE SYSTÈME D'ANCRAGE CÈDE ET CELLE-CI TOMBE SUR UN TRAVAILLEUR, L'ÉCRASANT MORTELLEMENT	13
4.3.2	LA PROCÉDURE DE MONTAGE DE L'EMPLOYEUR NE PRÉVOIT AUCUN MOYEN CONFORME À LA RÉGLEMENTATION AFIN D'ASSURER LA STABILITÉ DES MURS PENDANT LES TRAVAUX D'ÉRECTION	14
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>15</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	15
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	15
5.3	SUIVI À L'ENQUÊTE	15

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	16
ANNEXE B :	Liste des personnes rencontrées et contactées	17
ANNEXE C :	Rapport d'expertise	18
ANNEXE D :	[...]	33
ANNEXE E :	Références bibliographiques	70

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Sur le chantier, des travailleurs de l'entreprise *Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc.* effectuent le montage d'une structure d'acier. Les sections de mur préfabriquées sont levées et placées à l'aide d'une grue. Les ancrages sont boulonnés à partir du sol et des plateformes ciseaux sont utilisées pour le travail en hauteur. Alors qu'une section est en préparation pour le levage, la dernière section de mur érigée et boulonnée penche, le système d'ancrage à la base cède et le mur tombe, écrasant un travailleur.

Conséquences

Le travailleur est écrasé par la section de mur, son décès est constaté au centre hospitalier.



Photo 1 : Section de mur tombée sur le travailleur (Source : CNESST)

Abrégé des causes

- Une section de mur érigée depuis quelques minutes subit les forces du vent et de son propre poids, le système d'ancrage cède et celle-ci tombe sur un travailleur, l'écrasant mortellement.
- La procédure de montage de l'employeur ne prévoit aucun moyen conforme à la réglementation afin d'assurer la stabilité des murs pendant les travaux d'érection.

Mesures correctives

À la suite des constatations faites sur les lieux de l'accident le 8 août 2017, l'inspecteur de la CNESST ordonne l'arrêt des travaux. L'élaboration d'une méthode de montage conforme au *Code de sécurité pour les travaux de construction* (CSTC) et le remplacement des matériaux endommagés constituent les conditions de reprise des travaux. Ceci est consigné au rapport numéro RAP9098268.

Le maître d'œuvre du chantier s'est conformé aux conditions de reprise établies.

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 de l'établissement

Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc. possède un établissement situé au 5-329 chemin Industriel à Gatineau. L'entreprise oeuvre dans le domaine des bâtiments d'acier, incluant la conception, les plans de fabrication et les travaux d'érection de structure.

L'équipe des bureaux est composée de chargés de projet, d'ingénieurs, d'estimateurs, de dessinateurs et d'autres professionnels.

Pour les chantiers, l'entreprise emploie un contremaître ainsi que quelques monteurs d'acier qui sont aussi charpentiers-menuisiers. Des effectifs additionnels sont recrutés selon les projets. Un représentant du maître d'œuvre est généralement présent. La majeure partie des travaux, autre que l'érection des structures d'acier, est effectuée par des sous-traitants.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Les travailleurs participent à des formations en santé et sécurité, aux réunions de sécurité, aux inspections d'équipements, à l'identification des dangers et à l'application des mesures de sécurité sur les chantiers.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

L'employeur a élaboré un programme de prévention pour les chantiers. Le programme prévoit que le surintendant ou le contremaître assure une surveillance soutenue pour s'assurer que les mesures de prévention sont appliquées tout au long du déroulement des travaux. On y indique qu'il y aura des séances d'information lors de l'accueil des travailleurs et lors des pauses-sécurité. Les principaux dangers et risques ainsi que les moyens pour les réduire ou les éliminer y sont identifiés. Il dresse la liste des équipements de protection individuelle obligatoires en tout temps et de ceux requis selon les différentes tâches.

L'employeur prévoit les éléments suivants pour chaque chantier :

- Ouverture du chantier auprès de la CNESST ;
- Demande d'identification à Info-Excavation et identification sur place des risques spécifiques au chantier, par exemple liés aux lignes électriques ;
- Préparation d'un échancier afin de bien visualiser les étapes et les interactions entre les différents métiers sur le chantier ;
- Installation du programme de prévention, trousse de 1ers soins, toilettes sur place dès le début des travaux ;

- Pendant la phase du coulage des fondations, analyse d'échantillons de béton pour s'assurer de la conformité de la résistance des ancrages ;
- Préparation de la conformité des ancrages ;
- Préparation de la procédure de sauvetage et de la procédure de planification de montage ;
- Surveillance quotidienne des travaux faite par un représentant de l'employeur ;
- Chaque nouveau sous-traitant est rencontré et accueilli sur le chantier par un représentant de l'employeur.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Il s'agit d'un chantier de construction d'un bâtiment commercial de 548 mètres carrés à charpente métallique. Le site est situé au 515 chemin Industriel à Gatineau sur un lot de 4769 mètres carrés.



Photo 2 : Vue aérienne du site du chantier (Source : Google maps)

3.2 Description du travail à effectuer

Le travail consiste à faire la manutention du matériel livré au chantier et à ériger la structure d'acier préfabriquée au moyen d'une grue. La structure est livrée au chantier en sections. Il y a [...] et [...] sur le chantier. L'un d'eux est [...], il coordonne les travaux et boulonne les sections aux ancrages des fondations. [...] prennent place chacun dans une plateforme élévatrice afin de boulonner les sections les unes aux autres. [...] est [...] qui exécute diverses tâches en appui à l'équipe. L'emplacement des sections de mur est spécifié dans le plan de montage. L'ordre de montage est établi par groupes dans la procédure de montage. [...] choisit l'ordre des sections individuelles à même le chantier. Les sections sont mises en place avec les écrous placés sur les tiges d'ancrage sans les serrer. Ceci permet les ajustements pendant le montage.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 8 août 2017, les travailleurs débutent la journée sur le chantier en déchargeant le matériel d'une semi-remorque. Ils amorcent ensuite le montage des sections de mur de la charpente d'acier. Peu après 10 h 00, la section M7 est attachée à la grue. La section M7 est levée et placée sur les tiges d'ancrage. Elle est boulonnée par M. [D] et détachée de la grue. Ensuite, l'assemblage des deux parties de la section M6 est débuté avec la base appuyée au sol et le dessus attaché au câble de la grue.

Soudainement, M. [E] et M. [F] s'aperçoivent que la section M7 commence à tomber et ils lancent un cri d'avertissement à M. [D] qui se trouve devant. Les rondelles des ancrages cèdent et le mur tombe sur M. [D], l'écrasant. [G] descend de son appareil et détache la section M6 afin d'utiliser la grue pour dégager M. [D]. Pendant ce temps, messieurs [H], [E] et [F] soulèvent le mur M7 et dégagent la victime. La grue n'étant plus requise pour le sauvetage, [G] positionne celle-ci en retrait. Les services d'urgence sont contactés par téléphone cellulaire à 10 h 38.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Plan de montage

Le plan de montage contient les dessins et les informations concernant toutes les pièces de charpente métallique du bâtiment à construire. Les dimensions des tiges d'ancrage, leur position et les détails nécessaires à leur fixation y sont spécifiés, tel qu'exigé à l'article 3.24.11 alinéa 1 du *Code de sécurité des travaux de construction* (CSTC).

[...], M. [I], a affirmé lors de l'enquête que les systèmes d'ancrage et les trous associés sont conçus pour le bâtiment complété. Les systèmes d'ancrage ne sont pas conçus pour résister aux charges présentes sur le chantier lors du montage.

La section de mur M7 a été fabriquée conformément au plan. Les membrures, les trous et les composants du système d'ancrage sont dimensionnés et positionnés comme prévu.

4.2.2 Procédure de montage

La procédure de montage élaborée avant l'accident présente une série d'étapes à mettre en œuvre sur le chantier. À l'étape du montage de la charpente métallique, la procédure indique :

« Une fois toutes les remorques déchargées. Débuter le montage des murs (M) 27, 28 jusqu'à 34. En second, M1 jusqu'à 10. Troisièmement, mur 12, 11. Quatrièmement, mur 13 jusqu'à 18. Cinquièmement, mur 19 jusqu'à 26. »

Il y a aussi un commentaire associé à cette étape :

« Avec plateforme élévatrice. S'assurer de la stabilité des murs. »

4.2.3 Normes et règles de l'art

[I] a affirmé que la conception du bâtiment du 515 chemin Industriel à Gatineau est conforme au *Code national du bâtiment - Canada* (CNBC) 2010 et à la norme CSA S16-09 « *Règles de calcul des charpentes en acier* ». Le CNBC spécifie que les bâtiments et leurs éléments structuraux en acier doivent être conformes à la norme CSA S16.

Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC)

Les articles suivants sont d'un intérêt particulier par rapport à l'accident :

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.

3.24.11 Tiges d'ancrage : Les tiges d'ancrage des poteaux doivent être installées selon un plan d'ancrage fourni par le fabricant de la charpente métallique. Ce plan doit :

- 1° contenir notamment les renseignements suivants :
 - a) les dimensions des tiges d'ancrage et leur position ;
 - b) les détails nécessaires à la fixation des tiges d'ancrage ;

2° prévoir une procédure de montage lorsque des poteaux sont ancrés avec moins de 4 tiges d'ancrage ou lorsque la position des tiges d'ancrage n'assure pas la stabilité des poteaux dans tous leurs axes.

De plus, les tiges d'ancrage des poteaux doivent pouvoir résister à l'application d'une charge de construction verticale minimale de 1,33 kN située à une distance de 45 cm de la face du poteau dans chacun de ses axes et à sa hauteur maximale.

Norme CAN/CSA S16-09 « Règles de calcul des charpentes en acier »

Articles pertinents :

4.3.4 Méthodes de montage

Les méthodes de montage doivent décrire les méthodes de construction, l'ordre de montage, les éléments de contreventement provisoire et les autres exigences techniques nécessaires à l'expédition, au montage et au maintien de la stabilité de la charpente d'acier. Elles doivent être accompagnées de dessins et de croquis permettant de déterminer l'emplacement des éléments porteurs temporaires et permanents qui sont essentiels à l'intégrité de la charpente partiellement terminée. Les méthodes de montage doivent, le cas échéant, être approuvées.

7.1 Sécurité au moment du montage et au cours de la construction

On doit tenir compte des charges imposées à la charpente en acier au moment du montage. Au cours de la construction du bâtiment, on doit prévoir une marge de sécurité lorsqu'il s'agira de faire supporter à la charpente les charges de construction.

25.1 Charges

Les précautions nécessaires doivent être prises pour que les charges axiales pondérées, y compris le soulèvement, les cisaillements et les moments, soient transmis aux assises et aux fondations. Il doit y avoir résistance aux efforts qui s'exercent au cours de la construction, ainsi qu'aux efforts présents dans la charpente achevée.

25.2 Nombre minimal de tiges d'ancrage

Les poteaux doivent être dotés d'au moins quatre tiges d'ancrage. Si cela n'est pas possible, des mesures de sécurité spéciales doivent être prises.

29.1 Conditions temporaires

29.1.1 Généralités

On doit prendre des précautions appropriées, conformément à cette norme, afin de s'assurer qu'il existe une marge de sécurité suffisante pour la charpente en voie d'achèvement et ses éléments durant le montage. (Voir aussi l'article 4.3.4).

29.1.2 Charges temporaires

On doit prendre des précautions appropriées pour s'assurer que les charges appliquées durant le montage peuvent être supportées en toute sécurité et qu'il ne s'ensuivra aucune déformation permanente ni aucun endommagement d'un élément quelconque de l'ossature en acier ou de tout autre élément de la charpente. Les charges temporaires peuvent comprendre, notamment, les charges dues au vent, au matériel de montage et à l'exploitation de ce dernier ainsi qu'à l'entreposage des matériaux de construction.

29.1.3 Contreventement temporaire

Un contreventement temporaire doit être employé si nécessaire pour résister à toutes les charges qui peuvent être imposées à la charpente au cours du montage. Le contreventement temporaire doit rester en place aussi longtemps que cela sera nécessaire pour la sécurité et l'intégrité de la charpente.

CODE DE PRATIQUE STANDARD pour l'acier de charpente, 8^e édition, Institut canadien de la construction en acier (ICCA)

Articles pertinents :

*7.2.1.2 L'entrepreneur général doit indiquer au fabricant et/ou au monteur le plan général d'exécution de la construction, comprenant le calendrier d'installation des éléments du système de résistance aux charges latérales qui ne sont pas en acier de charpente et les éléments du diaphragme. **L'entrepreneur général doit indiquer les exigences de contreventement provisoire pour tenir compte de ce plan.***

*7.2.1.3 Selon les informations fournies dans les articles 7.2.1 et 7.2.2, **le fabricant et/ou le monteur doivent déterminer, fournir et installer tout le contreventement de montage nécessaire pour l'opération de montage. Ce contreventement provisoire sera suffisant pour stabiliser la charpente d'acier ou toute partie de celle-ci contre les charges auxquelles elle peut être sujette pendant le montage, y compris les charges dues au vent et celles causées par les opérations de montage.***

4.2.4 Caractéristiques de la section de mur impliquée dans l'accident

La section de mur M7 est constituée de tubes d'acier rectangulaires de 127 mm (5 pouces) par 50,8 mm (2 pouces) avec une épaisseur de paroi de 3,175 mm (1/8 de pouce). Les dimensions extérieures de la section sont de 9,685 m (31 pieds et 9 pouces) de hauteur et de 2,1 m (7 pieds) de largeur. La masse de la section est de 553,4 kg (1220 lbs). Pour les tiges d'ancrage de 19 mm (3/4 pouce) et pour les tiges d'ancrage de 15,9 mm (5/8 pouce), les trous ont tous un diamètre de 25,4 mm (1 pouce).

Les rondelles en acier pour les tiges d'ancrage de 15,9 mm (5/8 pouce) ont un diamètre de 44,5 mm, un trou au centre d'un diamètre de 17,5 mm et une épaisseur de 2,8 mm.

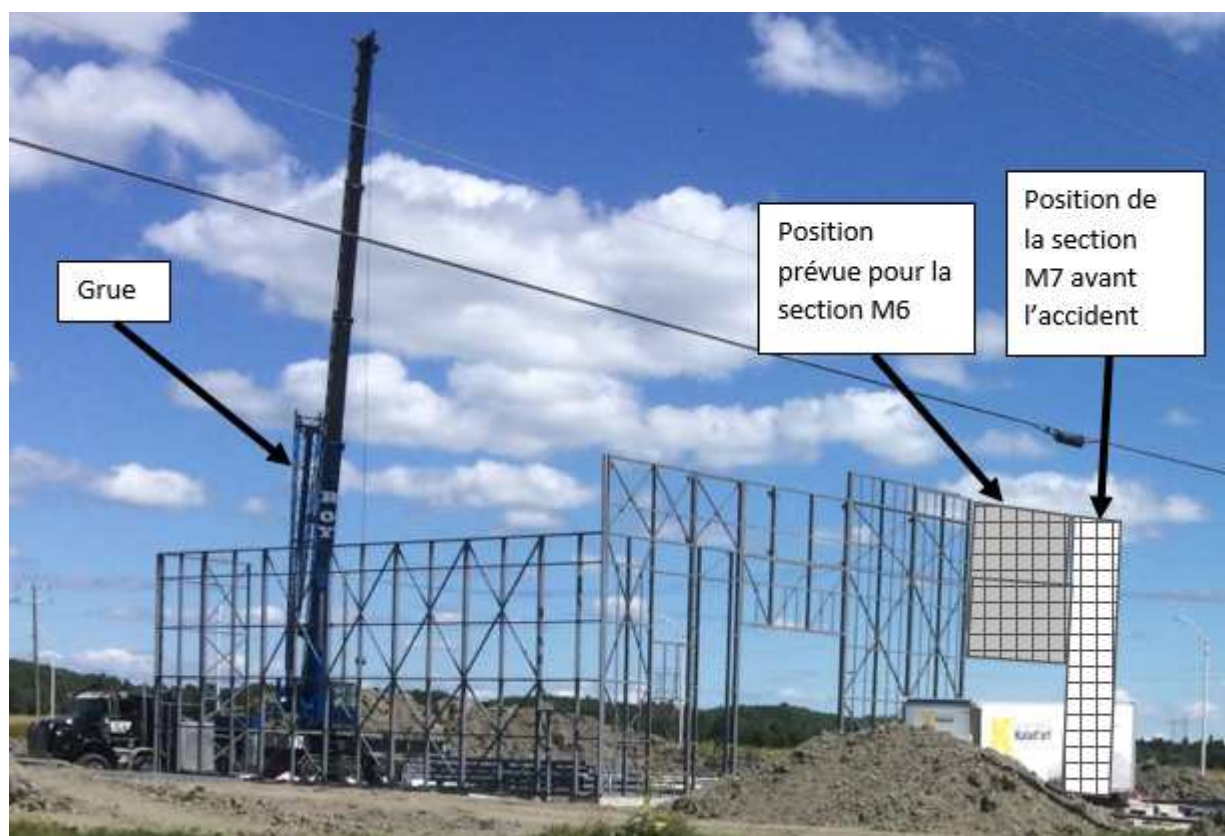


Photo 3 : Positionnement de la grue et des sections de mur (Source : CNESST)

Après l'accident, la section de mur M7 repose au sol. Les deux tiges d'ancrage sont pliées. Les parois de la base de M7 sont enfoncées sur le dessus et les trous d'ancrages sont déchirés en-dessous. Les rondelles se sont enfoncées au centre suffisamment pour que les écrous passent au travers.



Photo 4 : Section de mur M7 tombée et ses deux tiges d'ancrage pliées (Source : CNESST)



Photo 5 : Rondelle et paroi M7 enfoncés (Source : CNESST)



Photo 6 : Exemple de tiges d'ancrage boulonnées (Source : CNESST)

4.2.5 Témoignages

Les témoignages de l'évènement accidentel concordent, sauf pour le moment qui précède la chute de la section de mur M7. Selon [...], M. [G], ainsi que M. [E] et M. [F], la section M6 n'avait pas encore été levée par la grue. M. [H] témoigne plutôt à l'effet qu'il a entendu un bruit qu'il associe à une manœuvre de la grue causant une collision de la section M6 avec la section M7. Cette discordance est analysée dans la présente enquête.

4.2.6 Expertise

Une demande d'expertise a été adressée à la firme *Consultants MESAR inc.* afin d'analyser l'installation du mur M7. Plus spécifiquement, le mandat est d'établir la résistance du système d'ancrage du mur au vent, de vérifier les effets P-Delta et d'établir s'il était nécessaire qu'un objet frappe le mur pour qu'il tombe. Les effets P-Delta sont des efforts supplémentaires engendrés par un défaut de verticalité ou un déplacement de la structure sous une charge. Dans le présent cas, le mur est poussé par le vent faisant de sorte que le centre de gravité devient excentrique par rapport à l'axe des ancrages, ce qui cause une charge supplémentaire sur le système d'ancrage.

On y présente des calculs théoriques et des essais de charge réalisés avec du matériel qui représente les conditions du chantier lors de l'accident.

L'expertise a permis de déterminer qu'un système d'ancrage tel que celui du mur M7 ne résiste pas à l'application d'une charge de construction verticale minimale de 1,33 kN tel qu'exigé à l'article 3.24.11 al. 2 du *Code de sécurité pour les travaux de construction* (CSTC). La bande de mousse isolante présente sous les murs a été considérée car elle permet une inclinaison du mur qui augmente la charge dans le système d'ancrage. Dans ce contexte, si les écrous des ancrages ne sont pas serrés, ils ne résistent pas à l'effet p-delta et aux vents de 17 km/h mesurés à proximité du chantier dans les minutes qui précèdent l'accident.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Une section de mur érigée depuis quelques minutes subit les forces du vent et de son propre poids, le système d'ancrage cède et celle-ci tombe sur un travailleur, l'écrasant mortellement

L'expertise réalisée par la firme *Consultants MESAR inc.* confirme que le système d'ancrage du mur M7 ne pouvait pas résister à un vent de 17 km/h combiné à l'effet p-delta du mur si les écrous étaient en contact avec les rondelles, mais sans être serrés. Cette hypothèse est retenue comme étant la plus probable en raison des écrous des autres sections déjà montées qui ne sont pas serrés. Les travailleurs du chantier ont expliqué que, généralement, les écrous ne sont pas serrés en raison du besoin d'ajuster les sections lors du montage.

[...] témoins ont déclaré que la section de mur M6 n'a pas quitté le sol. [...] a dit avoir entendu un son juste avant l'accident qu'il attribue à une collision des sections M6 et M7. Le fait que les deux parties de la section M6 n'étaient pas complètement boulonnées rend illogique de la lever pour l'installer. De plus, l'expertise établit que la chute de la section M7 est possible sans la collision avec la section M6. En conclusion, selon ces informations, il est extrêmement improbable qu'une manipulation de la section M6 ait contribué à la chute de la section M7.

La mousse isolante sous le mur en acier a permis une inclinaison. La base du mur s'est ensuite écrasée sous les rondelles des ancrages et les rondelles elles-mêmes se sont déformées. Les rondelles ont ensuite cédé aux forces subies par le mur M7, ce qui a conduit à la chute du mur.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La procédure de montage de l'employeur ne prévoit aucun moyen conforme à la réglementation afin d'assurer la stabilité des murs pendant les travaux d'érection

La procédure de montage utilisée ne contient aucune instruction quant aux éléments structuraux temporaires à mettre en place tels que le haubanage ou le contreventement. La procédure prévoit plutôt de s'assurer de la stabilité des murs à l'aide de plates-formes élévatrices. Ces appareils ne sont pas conçus pour un tel usage et cela représente un danger de renversement en position de hauteur alors qu'il y a des travailleurs qui y prennent place. Il est à noter que le jour de l'accident, aucun appareil n'a servi à assurer la stabilité de la section de mur M7.

L'expertise a établi qu'un serrage des écrous augmente la résistance des rondelles des ancrages. Cependant, un serrage maximal demeure insuffisant pour garantir la stabilité du mur dans toutes les conditions de vent et de contacts avec d'autres pièces manipulées sur le chantier. Tel qu'indiqué par [I], les systèmes d'ancrage des sections de mur préfabriquées en acier ne sont pas conçus pour résister aux forces présentes sur le chantier.

Finalement, la procédure de montage n'est pas conforme aux articles 3.24.10 al. 2 et 3.24.11 al. 2 du CSTC qui énoncent les exigences au niveau des procédures de montage et des tiges d'ancrage. Aussi, le projet de construction du bâtiment n'est pas conforme aux articles 4.3.4, 7.1, 25.1, 25.2, 29.1.1, 29.1.2 et 29.1.3 de la norme CSA S16-09 qui traitent des opérations de montage.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

- Une section de mur érigée depuis quelques minutes subit les forces du vent et de son propre poids, le système d'ancrage cède et celle-ci tombe sur un travailleur, l'écrasant mortellement.
- La procédure de montage de l'employeur ne prévoit aucun moyen conforme à la réglementation afin d'assurer la stabilité des murs pendant les travaux d'érection.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le rapport RAP9098268, émis le 8 août 2017, comporte une décision ordonnant la suspension des travaux de montage de charpente métallique sur le chantier.

Le rapport RAP1194922 émis le 7 septembre 2017, comporte une décision qui autorise la reprise des travaux de montage de charpente métallique sur le chantier.

5.3 Suivi à l'enquête

Pour éviter qu'un tel accident se reproduise, la CNESST transmettra les résultats de son enquête à l'Association de la construction du Québec (ACQ), à l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ), ainsi qu'à l'Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec (ACRGQTQ).

ANNEXE A

Accidenté

Nom, prénom : [D]

Sexe : Masculin

Âge : [...]

Fonction habituelle : [...]
[...]

Fonction lors de l'accident : Monteur d'acier

Expérience dans cette fonction : [...]

Ancienneté chez l'employeur : [...]

Syndicats : [...]
[...]

ANNEXE B

Liste des personnes rencontrées et contactées

Personnes rencontrées :

- M. [A], [...], Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc.
- M. [H], [...], Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc.
- M. [F], [...], Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc.

- M. [E], [...], entreprise individuelle

- M. [G], [...], Grues Gaétan Roy ltée

- Mme [J], [...], Association de la construction du Québec (ACQ)

- Sergent-Détective Pierre Bastien, Service de police de la Ville de Gatineau (SPVG)
- Sergent-Détective Michel Mongeon, SPVG
- Agent J-P Daigle, SPVG
- Agente Arbour, SPVG
- M. Pat Quinn, Technicien d'identité judiciaire, SPVG

- M. [B], [...], [...], Association internationale des travailleurs en ponts, en fer structural, ornemental et d'armature
- M. [K], [...], [...], Association internationale des travailleurs en ponts, en fer structural, ornemental et d'armature
- M. [L], [...], [...], Association internationale des travailleurs en ponts, en fer structural, ornemental et d'armature
- M. [C], [...], [...], Fraternité unie des charpentiers menuisiers d'Amérique

Personnes contactées :

- M. [I], [...], Les Bâtiments Kalad'Art 2015 inc.

- M. [M], [...], Fondations Leblanc

- M. [N], [...], Consultants MESAR inc.

ANNEXE C

Rapport d'expertise externe

CNESST
MONTREAL



**EXPERTISE SUR LES CAUSES DE LA CHUTE D'UNE
SECTION DE MUR D'UN BÂTIMENT EN CONSTRUCTION**
RAPPORT D'EXPERTISE

RÉF. : 17458
31 JANVIER 2018

**CNESST
MONTRÉAL****EXPERTISE SUR LES CAUSES
DE LA CHUTE D'UNE SECTION DE MUR
D'UN BÂTIMENT EN CONSTRUCTION****RAPPORT D'EXPERTISE**

DATE : 31 JANVIER 2018

RÉDIGÉ ET
APPROUVÉ PAR :

Jean Lacoursière, ing., N° OIQ : 36320

VÉRIFIÉ PAR :
APPROUVÉ PAR :**RÉFÉRENCES**
V/N° PROJET :
N/N° PROJET : 17458Fichier : 17458PRapp001_SRapp
CONSULTANTS MESAR INC.
4500, rue Charles-Malliot, Trois-Rivières (Québec) G9B 0V4
Tél. : 819 376-7771 - Téléc. : 819 537-4985



TABLE DES MATIÈRES

1.0	SOMMAIRE DE L'EXPERTISE	1
2.0	INTRODUCTION	1
3.0	MANDAT DE CONSULTANTS MESAR INC.	1
4.0	DONNÉES DE BASE	1
5.0	DESCRIPTION DE LA CHARPENTE DU BÂTIMENT	2
6.0	DESCRIPTION DES DOMMAGES CONSTATÉS	2
7.0	CALCULS THÉORIQUES DE CAPACITÉ	3
8.0	ESSAIS	4
9.0	ANALYSES STRUCTURALES	8
10.0	DISCUSSION ET CONCLUSIONS	10

ANNEXES

I	PLANS
II	GRAPHIQUES "FORCE VS DÉPLACEMENT"
III	FICHE TECHNIQUE BANDE "ÉTAFOAM"

**RAPPORT D'EXPERTISE****1.0 SOMMAIRE DE L'EXPERTISE**

Consultants MESAR Inc. a été mandatée pour effectuer une expertise des causes du renversement d'un mur d'un bâtiment en construction au 515, chemin Industriel à Gatineau. Dans le cadre de cette expertise, des calculs théoriques et des essais de charges ont été effectués pour déterminer la résistance du système d'ancrage de la base du mur qui s'est renversé. Les conclusions sont essentiellement à l'effet que la résistance de ce système d'ancrage n'était pas suffisante pour résister à la poussée causée par le vent qui soufflait au moment de l'accident. La capacité n'était pas non plus suffisante pour satisfaire les exigences de l'article 3.24.11 du Code de sécurité dans les travaux de construction.

2.0 INTRODUCTION

Lors de l'érection de la charpente d'acier d'un nouveau bâtiment situé au 515, chemin Industriel à Gatineau, une section de mur composant la charpente d'acier s'est renversée vers l'extérieur du bâtiment causant un accident de travail. La CNESST a mandaté Consultants MESAR inc. afin de faire l'expertise des causes de cet accident.

3.0 MANDAT DE CONSULTANTS MESAR INC.

Le mandat de Consultants MESAR inc. a été réalisé de la façon suivante :

- Collecte des documents et discussions avec l'équipe d'inspection de la CNESST;
- Étude des plans de conception des murs et des fondations du bâtiment;
- Examen des photos prises après l'accident;
- Calcul théorique de la capacité à la rupture de l'assemblage d'ancrage du mur;
- Vérification de la capacité à la rupture de l'assemblage en procédant à des essais de traction d'une tige d'ancrage à travers des profils tubulaires tels que ceux du mur renversé;
- Évaluation de la ou des charges qui ont pu causer la rupture de l'assemblage et causer la chute du mur, incluant vérification de la conformité de l'ensemble mur / ancrages avec les exigences de l'article 3.24.11 du Code de Sécurité pour les travaux de construction;
- Rédaction du rapport d'expertise incluant résultats, explications, photos, schémas, dessins et autres informations utiles à la compréhension de la ou des causes de l'accident;
- Présentation du rapport aux inspecteurs.

4.0 DONNÉES DE BASE

Les données de base sont comme suit :

- Photographies prises par la CNESST suite à l'accident;
- Plans des fondations et de la charpente d'acier du bâtiment (voir annexe 1);



RAPPORT D'EXPERTISE

- Échantillons des écrous et des rondelles des tiges d'ancrage;
- Certificats de coulée des profilés tubulaires qui composent la charpente d'acier;
- Données d'Environnement Canada quant aux vitesses du vent la journée de l'accident;

5.0 DESCRIPTION DE LA CHARPENTE DU BÂTIMENT

Suivant les plans obtenus, les dimensions extérieures du bâtiment sont 88'-11" (27.10 m) par 66'-6" (20.27 m) et la hauteur est de 31'-9" (9.68 m) du côté où une section de mur s'est renversée. Le bâtiment est supporté par des fondations conventionnelles en béton, et sa charpente est composée de modules préfabriqués en acier qui forment les murs auxquels sont fixées des fermes en acier également préfabriquées. Les autres éléments nous sont inconnus, cependant ceci n'est pas pertinent puisqu'au moment de l'accident, seulement une partie des murs était érigée, il n'y avait pas de revêtement sur ces murs, et aucunes fermes de toit n'étaient en place.

Les éléments principaux des modules des murs sont des profilés tubulaires de 5 pouces (127 mm) de profondeur et de 2 pouces (51 mm) de largeur généralement, ou 5 pouces (127 mm) de largeur à certains endroits. Les bases des modules sont composées de tubulaires 5" x 2" x 1/8" (127 x 51 x 3.2 mm) avec la face de 5 pouces qui repose sur le mur de fondation. Le mur qui fait l'objet de la présente étude était ancré à l'aide de deux tiges d'ancrage de 5/8 pouce de diamètre.

6.0 DESCRIPTION DES DOMMAGES CONSTATÉS

La constatation des dommages a été faite à partir des deux photos qui ont été fournies par la CNESST.





RAPPORT D'EXPERTISE

Essentiellement on y voit le mur renversé sur le sol à l'extérieur du bâtiment, au bas du mur on voit les rondelles des tiges d'ancrage qui sont incrustées dans les trous. Sur le mur de fondation on voit les tiges d'ancrage qui sont pliées vers l'extérieur, avec les écrous encore en place. Sur le mur on peut aussi voir une bande de mousse de plastique de type ETAFOAM qui était sous les pièces de la base du mur.

Sur les photos ci-dessous, on peut voir le dessus des profilés qui est enfoncé, avec la rondelle également enfoncée à l'intérieur du trou de la tige d'ancrage. On voit aussi que le centre des rondelles porte les marques des coins des écrous qui les ont déchirées en les traversant.



7.0 CALCULS THÉORIQUES DE CAPACITÉ

Les détails soulignés au paragraphe précédent ont servi à orienter les calculs théoriques. En effet, ceci permet d'expliquer comment s'est produite la rupture. Tout d'abord il faut mentionner que les trous d'ancrage ont un diamètre de 1 pouce (25.4 mm), les rondelles ont un diamètre extérieur de 1-3/4 pouce (44.5 mm) et un trou de 11/16 de pouce (17.5 mm), avec une épaisseur d'un peu moins de 1/8 de pouce (0.110" ou 2.8 mm), et les écrous ont un peu moins de 15/16 de pouce (.928" ou 23.6 mm) sur les plats et un peu moins de 1-1/16 pouce (1.061" ou 27.0 mm) sur les coins. Il est donc clair qu'en l'absence de rondelle, l'écrou ne s'appuierait que légèrement sur les bords du trou, c'est donc la rondelle qui doit répartir l'effort de traction à la paroi du tubulaire. La rupture se produit donc suivant les étapes décrites ci-dessous :

- Au début, la rondelle répartit la charge sur la paroi du tubulaire qui fléchit vers le bas;
- À mesure que la paroi s'enfonce, sa résistance augmente dû à la forme conique qu'elle adopte;
- À un certain degré d'enfoncement, la résistance de la paroi devient supérieure à celle de la rondelle et cette dernière commence à fléchir;
- À mesure que la rondelle fléchit, l'écrou s'y enfonce ce qui fait fléchir la bordure du trou de la paroi;



RAPPORT D'EXPERTISE

- À ce point, les limites ultimes respectives de la rondelle et du bord du trou de la paroi sont atteintes et la force requise pour faire pénétrer l'écrou plus loin cesse d'augmenter;
- Si le mouvement continue, la rupture se produit.

Des calculs approximatifs ont été faits pour avoir un ordre de grandeur des forces requises pour causer les deux étapes principales, soit l'enfoncement de la paroi jusqu'à l'atteinte de la résistance de la rondelle, puis le fléchissement du bord du trou pour la traversée de l'écrou. Les forces calculées sont respectivement d'environ 5 000 lb (22.3 kN) pour la première étape et d'environ 9 000 lb (40.0 kN) pour la seconde.

8.0 ESSAIS

Les essais ont été réalisés sur des échantillons fournis par le fabricant. Ceux-ci consistent en des reproductions des deux extrémités inférieures du mur qui s'est renversé, soit la pièce horizontale du bas ancrée au mur de fondation avec à chaque extrémité une pièce verticale de 6 pouces de hauteur soudée au pourtour de façon à bien simuler les conditions existantes.

Les essais ont été réalisés à nos bureaux avec un vérin hydraulique creux actionné par une pompe manuelle et une tige de 5/8 de pouce (16.9 mm) de diamètre passée à travers l'échantillon et le vérin afin de simuler la tige d'ancrage. La tige prenait appui sur la paroi du tubulaire avec un écrou et une rondelle fournis par le fabricant et du même type que ceux qui retenaient le mur qui s'est renversé. La force exercée à l'aide du vérin était calculée à partir des lectures prises sur le manomètre installé sur la pompe. Au total neuf essais ont été faits. Pour sept essais, les déplacements ont été mesurés, ceci a été fait à l'aide d'un cadran indicateur gradué en 0.0005 pouce (5 dix millièmes de pouce ou 0.0127 mm). Le montage est illustré ci-dessous :





RAPPORT D'EXPERTISE

Deux premiers essais ont été effectués en faisant monter la pression de façon assez rapide afin de simuler autant que possible les conditions lors de l'accident. La force maximale mesurée lors de ces deux essais était respectivement d'environ 8 600 lb (38.3 kN) et de 9 040 lb (40.2 kN). Ces deux essais ont été effectués sans mesurer les déplacements.



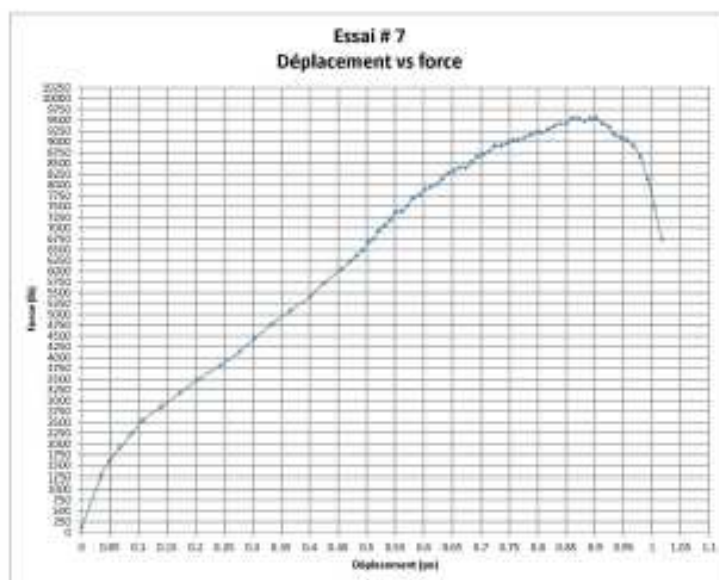


RAPPORT D'EXPERTISE



Les autres essais ont été effectués en prenant les mesures de déplacement après chaque coup de pompe. La force maximale mesurée varie d'environ 8 800 lb (39.2 kN) à 10 000 lb (44.5 kN).

Les résultats de ces essais ont permis de tracer des courbes « Force vs Déplacement » qui sont incluses à l'annexe II, et dont un exemple apparaît ci-dessous :



**RAPPORT D'EXPERTISE**

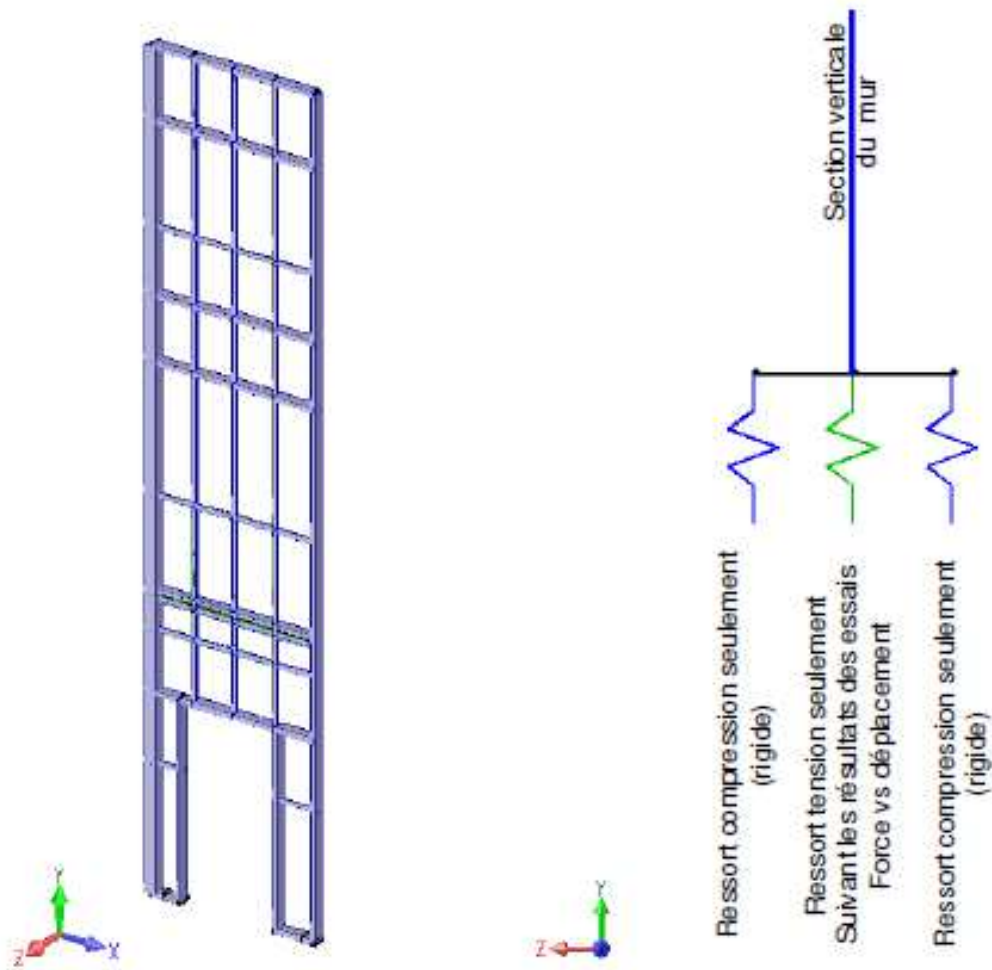
Les essais 3, 4, 6, 7 et 8 ont tous été faits de la même façon, seuls les rythmes d'augmentation des déplacements ont été variés quelque peu, ce qui a permis de voir que cette variation n'avait pas d'effet à toutes fins pratiques. Pour l'essai n° 5, au début nous avons appliqué et relâché la charge à six reprises ce qui a permis de constater qu'il y a plastification dès qu'une charge d'environ 1 000 lb (4.5 kN) est appliquée. L'essai 9 diffère un peu des autres parce que la pompe a été actionnée par erreur 3 à 4 reprises avant que le cadran de mesure de déplacements ait été mis en place. L'essai a néanmoins été poursuivi une fois la situation corrigée ce qui a permis d'obtenir une courbe très semblable à celles obtenues avec les autres essais.

Les courbes ainsi obtenues permettent de constater l'évolution des déformations suivant les étapes décrites à la section précédente. La courbe de l'essai n° 7 ci-dessus est celle qui l'illustre le mieux :

- Première portion relativement linéaire assez abrupte qui représente le début du fléchissement de la paroi du tubulaire avant plastification;
- Seconde portion aussi presque linéaire un peu moins abrupte qui représente la suite du fléchissement du tubulaire mais avec un début de plastification, et début de fléchissement de la rondelle;
- Troisième portion encore un peu moins abrupte qui représente la plastification de la paroi du tubulaire, de la rondelle et du bord du trou;
- Quatrième portion, après avoir passé le point de résistance maximale, qui courbe progressivement vers le bas et qui représente la diminution de capacité et la rupture.
- On remarque que pour la troisième portion, les déplacements sont au-delà de trois fois ceux de la première portion pour la même augmentation de charge.

9.0 ANALYSES STRUCTURALES

La section de mur a été modélisée à l'aide du logiciel SAFI en utilisant les profils montrés aux plans du fabricant. La base du mur a été simulée à l'aide de trois supports tels qu'illustrés à la figure ci-dessous :



Les supports extérieurs sont rigides mais ne peuvent prendre que de la compression alors que le support central est un « ressort » qui ne peut prendre que de la tension. Ce « ressort » a été modélisé de façon à refléter les pentes des courbes mentionnées ci-dessus.



RAPPORT D'EXPERTISE

Un premier ensemble d'analyses ont été faites en appliquant au mur les charges de vent calculées à partir des données mesurées par Environnement Canada à l'aéroport de Gatineau la journée de l'accident qui sont illustrées au tableau ci-dessous qui a été préparé par la CNESST :

Ottawa Gatineau A					
Latitude	45°31'18,000" N				
longitude	75°33'49,000" O				
Altitude	64,30 m				
Rapport de données horaires pour le 8 août 2017					
<u>Temp.</u>	<u>Point de rosée</u>	<u>Hum. rel.</u>	<u>Dir. du vent</u>	<u>Vit. du vent</u>	
°C	°C	%	10's deg	km/h	
HEURE					
<u>05:00</u>	13,3	12,7	96	30	4
<u>06:00</u>	14,1	13,5	96	27	4
<u>07:00</u>	16,8	14,2	84	30	5
<u>08:00</u>	18,4	15	80	35	1
<u>09:00</u>	20,6	14,6	68	22	9
<u>10:00</u>	21,4	8,4	43	31	17
<u>11:00</u>	21,9	8,3	41	31	10
<u>12:00</u>	22,7	9,8	43	32	12
<u>13:00</u>	22,4	9,5	43	32	12
<u>14:00</u>	23,7	9,7	41	30	9
<u>15:00</u>	24,4	8,7	36	26	17
<u>16:00</u>	24,2	9,7	39	27	19
<u>17:00</u>	23,9	9,8	40	25	15

Selon les informations obtenues de la CNESST, l'accident s'est produit vers 10 h 00 et à ce moment la direction du vent était 310 degrés, soit à environ 43 degrés par rapport à la face du mur, vers l'extérieur du bâtiment. Avec cet angle de 43 degrés, la valeur moyenne du coefficient de traînée du vent vers les différentes membrures est de 1.25. Dans ces analyses on a aussi tenu compte de l'écrasement de la bande d' « ETAFOAM » présente sous la base du mur, qui se comprime du côté opposé aux charges appliquées, et qui cause un déplacement additionnel du mur (voir fiche technique incluse à l'annexe III). Le poids propre du mur a été ajouté à ces charges, et les effets P-delta ont été calculés. Rappelons que les effets P-delta sont l'accroissement des efforts causés par le déplacement latéral du centre de gravité d'un élément. Dans le cas du mur à l'étude, la poussée du vent cause un déplacement vers l'extérieur et ce déplacement fait en sorte que son centre de gravité est déporté hors de l'axe du mur, ce qui augmente le moment de flexion à la base.

**RAPPORT D'EXPERTISE**

Enfin, trois conditions de départ ont été vérifiées avec les résultats suivants :

- .1 Aucun serrage initial des écrous des tiges d'ancrage : renversement du mur avec vitesse de vent de 17 km/h, sans rafale, ce qui correspond à une force de 17 lb (76 N).
- .2 Serrage initial d'un tour des écrous des tiges d'ancrage : il faut une vitesse de vent de 27.4 km/h pour causer le renversement du mur, qui correspond à une force de 45 lb (200 N).
- .3 Serrage initial de deux tours des écrous des tiges d'ancrage : il faut une vitesse de vent de 35 km/h, pour une force de 71 lb (316 N).

Une analyse a été faite avec la charge spécifiée à l'article 3.24.11, soit 1.33 kN au sommet du mur, à 450 mm de la face. Le moment de flexion causé par cette charge cause aussi l'écrasement de la bande d' « ÉTAFOAM » sous la base du mur. Comme pour les analyses précédentes, le poids du mur a été ajouté et les effets P-delta ont été calculés. Le résultat de cette analyse, qui a été faite en ne considérant aucun serrage initial des écrous des ancrages, est que le mur se renverse. Aucune autre analyse n'a été effectuée avec serrage des écrous puisque ce n'est pas la présence d'un travailleur au sommet du mur qui aurait causé le renversement.

10.0 DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les travaux de la présente étude ont permis de mettre au jour plusieurs aspects du système d'ancrage du mur qui s'est renversé, soit :

- Les tiges d'ancrage s'appuyaient sur une paroi relativement mince, 1/8 de pouce (3.2 mm) d'épaisseur au moyen d'une rondelle et d'un écrou standards de 5/8 de pouce (15.9 mm);
- Les trous pour ces ancrages avaient un diamètre de 1 pouce (25.4 mm);
- Les écrous avaient environ 1-1/16 de pouce (27 mm) de largeur sur les coins, ce qui est à peine plus grand que les trous dans la paroi de la base;
- Cet arrangement fait en sorte que la résistance à la traction des tiges d'ancrage est limitée par la résistance de la paroi de la base et des rondelles d'appui;

Dans un contexte où la construction du bâtiment est complétée, il est possible que cet arrangement soit suffisant pour résister aux charges qui le sollicitent, la vérification de cet aspect ne fait pas partie de la présente étude. Par contre, dans un contexte de construction en progression dans lequel le sommet du mur n'est pas retenu, la stabilité du mur repose sur la capacité de l'arrangement d'ancrage à résister à un moment de flexion vertical qui peut être causé par une pression de vent, un mauvais alignement vertical, ou encore un travailleur qui serait monté dans le mur pour y effectuer un assemblage, comme l'exige l'article 3.24.11 du Code de sécurité dans les travaux de construction. D'autres sollicitations sont aussi possibles telle la poussée causée par un équipement de construction.

**RAPPORT D'EXPERTISE**

Dans tous ces cas, le moment vertical est résisté par un couple formé par une réaction en compression au coin de la base du mur, et par une réaction en traction dans la tige d'ancrage.

Ce que les essais ont permis de constater est que dès qu'on applique une traction dans la tige, les écrous commencent à s'enfoncer dans la paroi et la rondelle. Ceci se produit même avec des efforts relativement faibles. Or, vu la hauteur du mur, près de 32 pieds (9.8 m), le bras de levier est considérable en comparaison de celui des tiges d'ancrage qui est de 2.25 pouces (57 mm). À titre d'exemple, une charge latérale de 100 lb (0.5 kN) à la mi-hauteur du mur se traduit par un effort de traction d'environ 4 200 lb (18.7 kN) par ancrage. Suivant les courbes obtenues, une telle charge fait en sorte que les écrous s'enfoncent de plus de 1/4 de pouce (6 mm) dans la paroi, et la réaction sous le coin de la base comprime la bande d'ETAFOAM à une épaisseur pratiquement nulle, ce qui entraîne un déplacement du sommet du mur d'environ 5 pieds (1.5 m), et provoque son renversement.

Nous avons aussi pu constater que le serrage initial des écrous a un effet sur le comportement du mur. N'ayant pas d'information à l'effet qu'un serrage initial était appliqué ou non, et qu'aucune note aux plans n'y fait référence, nous avons effectué les calculs avec les trois hypothèses mentionnées à la section 9.0. Nous croyons cependant que les deux premières hypothèses sont les plus plausibles pour les raisons suivantes :

- Dans la première hypothèse, aucun serrage, la vitesse de vent mesurée dans la période où s'est produit l'accident, 17 km/h, est suffisante pour renverser le mur;
- Dans la seconde hypothèse, serrage avec un tour des écrous, il faut une vitesse de vent supérieure à celle mesurée, cependant nous croyons plausible qu'une rafale à 27 ou 28 km/h se soit produite, causant le renversement du mur.

La troisième hypothèse, serrage avec deux tours des écrous, nous semble peu probable pour les raisons suivantes :

- La vitesse de vent de 35 km/h requise pour renverser le mur est de beaucoup supérieure à toutes les vitesses mesurées la journée de l'accident;
- Un serrage initial de deux tours d'écrou cause un enfoncement d'environ 3/16 de pouce (5 mm), soit près du tiers de la hauteur de l'écrou, il nous apparaît peu probable qu'un travailleur cause de telles déformations intentionnellement.
- En cours de construction il est normal qu'il y ait des ajustements suite à l'érection des éléments, or en ayant déformé les pièces comme mentionné au paragraphe ci-dessus, les ajustements deviendraient plus difficiles, ce dont un travailleur devrait être conscient et chercherait à éviter.

**RAPPORT D'EXPERTISE**

Enfin, puisqu'il s'agit d'un règlement, la vérification qui conclut au non-respect des exigences de l'article 3.24.11 du Code de sécurité dans les travaux de construction a été faite même si les informations que nous avons sont à l'effet qu'aucun travailleur n'était monté dans le mur au moment du renversement. Soulignons que suivant notre analyse, le renversement se produit sans que soit inclus le facteur de majoration de charge qui doit normalement être appliqué lors de la conception.

À la lumière des résultats des calculs, des essais et des analyses décrits ci-dessus, nous pouvons conclure ce qui suit :

- Le système d'ancrage à la base du mur qui s'est renversé offre une faible résistance en termes de moment de flexion vertical;
- S'il n'y avait pas de serrage initial des écrous des ancrages, la vitesse du vent mesurée vers 10 h 00, soit 17 km/h, cause une poussée suffisante pour faire renverser le mur.
- S'il y avait un serrage initial d'un tour des écrous des ancrages, une rafale de vent de 27.4 km/h aurait causé une poussée suffisante pour faire renverser le mur. Nous n'avons cependant pas d'information à l'effet que de telles rafales se soient produites à l'heure de l'accident.
- S'il y avait un serrage initial de deux tours des écrous des ancrages, les vitesses de vent mesurées n'auraient pu causer à elles seules le renversement du mur, il aurait fallu que le mur subisse une poussée additionnelle vers l'extérieur. Nous n'avons cependant pas d'information à cet effet, et les photos que nous avons obtenues ne montrent pas d'équipement à proximité du mur susceptible d'avoir causé une telle poussée.
- Contrairement à ce qui est exigé à l'article 3.24.11 du Code de sécurité dans les travaux de construction, le système d'ancrage du mur n'a pas la résistance suffisante pour supporter la charge causée par un travailleur qui serait monté au sommet du mur. Il est à noter que les calculs ont été faits seulement en considérant aucun serrage initial des écrous des ancrages. D'autres hypothèses n'ont pas été investiguées parce que selon les informations obtenues, il n'y avait pas de travailleur au sommet du mur lors du renversement.

ANNEXE D

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

[...]

ANNEXE E

Références bibliographiques

LOIS ET RÈGLEMENTS DU QUÉBEC, *Code de sécurité pour les travaux de construction*, C.S-2.1, r. 4, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2016

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Règles de calcul des charpentes en acier*, Mise à jour février 2013, CAN/CSA S16-09

INSTITUT CANADIEN DE LA CONSTRUCTION EN ACIER, *Code de pratique standard pour l'acier de charpente*, 8^e édition, décembre 2015

ENVIRONNEMENT CANADA, *Données météorologiques en ligne*, 8 août 2017, [http://climat.meteo.gc.ca/historical_data/search_historic_data_f.html]