

RAPPORT D'ENQUÊTE

EN004192

**Accident mortel survenu au
[A] de Structure Robert inc.
le 14 mars 2018 sur un chantier situé au
10225, rue Irénée-Vachon à Mirabel**

Direction régionale des Laurentides

Inspecteurs :

Mohammed Taïl

Jean-Philippe Gaudreault, ing.

Date du rapport : 06 septembre 2018

Rapport distribué à :

- Monsieur [B], Le groupe G.V. inc.
 - Me Denyse Langelier, coroner
 - Monsieur Éric Goyer, directeur de la santé publique, Centre intégré de santé et de services sociaux des Laurentides (CISSS des Laurentides)
 - Confédération des Syndicats Démocratiques (C.S.D. Construction)
 - Fédération des Travailleurs et Travailleuses du Québec (F.T.Q. Construction)
 - Confédération des Syndicats Nationaux (C.S.N. Construction)
 - Syndicat Québécois de la Construction (S.Q.C.)
 - Conseil Provincial du Québec des Métiers de la Construction (International) (C.P.Q.M.C.I.)
-

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 DU CHANTIER	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.2.1	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL POUR <i>IMMODEV</i>	3
2.2.1.1	Mécanismes de participation	3
2.2.1.2	Gestion de la santé et de la sécurité	4
2.2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL POUR <i>MÉTAUTEK</i>	4
2.2.2.1	Mécanismes de participation	4
2.2.2.2	Gestion de la santé et de la sécurité	4
2.2.3	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL POUR STRUCTURE ROBERT INC.	5
2.2.3.1	Mécanismes de participation	5
2.2.3.2	Gestion de la santé et de la sécurité	5
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>6</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	6
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	7
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>11</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	11
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	13
4.2.1	ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL	13
4.2.2	MATÉRIEL	13
4.2.3	PLANIFICATION DU TRAVAIL	14
4.2.4	EXPERTISE ET CALCULS	14
4.2.5	FORMATION	15
4.2.6	LOI ET RÉGLEMENTATION APPLICABLES	16
4.2.6.1	Loi sur la santé et la sécurité du travail	16
4.2.6.2	Code de sécurité pour les travaux de construction	16
4.2.6.3	Code National du bâtiment — 1985	16
4.2.6.4	Norme CSA S269.1-16	17
4.2.6.5	Loi sur les ingénieurs du Québec (article 2)	18
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	19

4.3.1	L'ESCALIER, FIXÉ EN PORTE-À-FAUX SUR LE MUR DE FONDATION DU BÂTIMENT EN CONSTRUCTION, SE RENVERSE SUITE À LA RUPTURE DU BÉTON AUX POINTS DE FIXATION DES TROIS POUTRES SUR LESQUELLES IL REPOSE	19
4.3.2	LA MÉTHODE D'INSTALLATION DE L'ESCALIER N'EST PAS SÉCURITAIRE EN CE QUE SA MISE EN PLACE EN PORTE-À-FAUX NE PERMET PAS D'EN ASSURER LA STABILITÉ	20
4.3.3	LA PLANIFICATION DES TRAVAUX D'INSTALLATION DE L'ESCALIER EN PÉRIODE HIVERNALE EST DÉFICIENTE EN CE QU'ELLE NE TIENT PAS COMPTE DU NIVEAU RÉEL DU SOL	21
5	CONCLUSION	22
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	22
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	22
5.3	SUIVI À L'ENQUÊTE	22
 <u>ANNEXES</u>		
ANNEXE A :	Accidenté	24
ANNEXE B :	Plans	25
ANNEXE C :	Liste des personnes et témoins rencontrés	27
ANNEXE D :	Rapport d'expertise interne	29
ANNEXE E :	Références bibliographiques	44

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

Le 14 mars 2018 vers 12 h 50, monsieur [A] s'affaire à installer un escalier de secours métallique. La mise en place de l'escalier complétée, il ramasse ses outils. Alors qu'il se trouve en dessous, l'escalier se renverse. En voulant l'éviter, il se dirige dans sa trajectoire. L'escalier l'écrase.

Conséquences

Monsieur [A] (ci-après nommé [A]) est transporté à l'hôpital, où son décès est constaté (voir photo n° 1).



Photo n° 1 : **Illustration du lieu de l'accident**

Source : CNESST

Abrégé des causes

L'enquête a permis de retenir les causes suivantes :

- L'escalier, fixé en porte-à-faux sur le mur de fondation du bâtiment en construction, se renverse suite à la rupture du béton aux points de fixation des trois poutres sur lesquelles il repose.
- La méthode d'installation de l'escalier n'est pas sécuritaire en ce que sa mise en place en porte-à-faux ne permet pas d'en assurer la stabilité.

- La planification des travaux d'installation de l'escalier en période hivernale est déficiente en ce qu'elle ne tient pas compte du niveau réel du sol.

Mesures correctives

Lors de l'intervention du 14 mars 2018, une décision est émise et est contenue dans le rapport RAP9111149. Cette décision ordonne la suspension des travaux de déplacement de l'escalier renversé au chantier ainsi que l'installation de l'escalier de secours métallique.

Une méthode sécuritaire d'installation est exigée pour l'escalier de secours métallique.

Le maître d'œuvre décide d'installer un escalier de secours provisoire sur échafaudage. Une méthode sécuritaire est alors demandée.

Une décision, autorisant le démantèlement de l'escalier renversé, est émise le 6 avril 2018 et est consignée dans le rapport d'intervention RAP1218259. L'entrepreneur, Le groupe G.V. inc. (ci-après nommé *Immodev*), nous transmet la procédure de travail sécuritaire de démontage et de déplacement de l'escalier renversé élaborée par Les entreprises Métautek inc. (ci-après nommé *Métautek*). Les travailleurs affectés à cette tâche ont reçu une formation sur la procédure.

Le rapport d'intervention RAP1219594 émis le 20 avril 2018 consigne l'installation de l'escalier de secours provisoire sur échafaudage à rosette pour desservir la sortie de secours du 1^{er} étage. *Immodev* nous transmet la procédure de travail spécifique à ces travaux, élaborée par l'employeur sous-traitant responsable de ceux-ci. Les travailleurs ont reçu une formation sur la procédure et une supervision est assurée.

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale du chantier

Il s'agit d'un chantier visant la construction d'un bâtiment commercial neuf d'une superficie totale de 1456 m² pour Gestion Tano inc. Un espace d'environ 1317 m² est loué à l'entreprise Transit Nord Plus inc. et une section d'environ 139 m² est prévue pour être en location à une tierce entreprise. Les travaux de construction ont débuté au mois d'octobre 2017. À ce moment, le local commercial de 139 m² n'est pas loué.

L'entreprise *Immodev* a reçu du [C] un contrat pour la construction du bâtiment, l'aménagement intérieur du local commercial occupé par Transit Nord Plus inc., l'installation du gypse, incluant le tirage des joints pour le second local commercial ainsi que l'aménagement du stationnement et de la cour. Les travaux d'aménagement intérieur du second local commercial sont exclus puisque ce dernier n'est pas loué au moment de la signature du contrat.

L'entreprise *Immodev* est déclarée maître d'œuvre du chantier de construction puisqu'elle a la responsabilité de l'exécution de l'ensemble des travaux sur le chantier et octroie les contrats aux employeurs sous-traitants.

L'entreprise *Immodev* a octroyé un contrat de travail à *Métautek* pour la fabrication et l'installation de l'escalier de secours métallique pour desservir la sortie de secours située au 1^{er} étage du bâtiment.

L'entreprise *Métautek* a à son tour engagé l'entreprise Structure Robert inc. pour effectuer l'installation en chantier de l'escalier.

L'entreprise Structure Robert inc. se spécialise dans les travaux d'installation de métaux ouvrés et n'emploie aucun travailleur. Monsieur [A] [...]. Ce dernier installe l'escalier avec l'aide de monsieur [D] qui est également [...] (ci-après nommé [D]), ainsi que monsieur [E] (ci-après nommé [E]), travailleur de *Métautek* qui opère la grue de chargement lors de l'installation.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Organisation de la santé et de la sécurité du travail pour *Immodev*

2.2.1.1 Mécanismes de participation

Pour un chantier de cette envergure, la *Loi sur la santé et la sécurité du travail* (LSST) n'oblige pas l'implantation d'un comité de chantier ou la présence d'un agent de sécurité. Il n'y a pas de comité de chantier ni d'agent de sécurité sur le chantier.

2.2.1.2 Gestion de la santé et de la sécurité

L'entreprise *Immodev* se spécialise dans le domaine de la construction résidentielle et commerciale et fait donc partie du secteur d'activité économique « Bâtiment et travaux publics ». Conformément à l'article 58 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST), l'inclusion dans ce groupe oblige les entreprises à mettre en application un programme de prévention.

L'entreprise possède un programme de prévention propre au chantier de construction en cours. Il s'agit d'une obligation du maître d'œuvre puisque 19 travailleurs de la construction ont œuvré simultanément sur le chantier à un certain moment.

L'entreprise *Immodev* n'exécute pas les travaux elle-même sur le chantier. L'ensemble des travaux est donné en sous-traitance à des employeurs de la construction. Un surintendant est présent sur le chantier et agit à titre de coordonnateur de chantier. Il veille au bon déroulement des différentes étapes des travaux, fait la réception des commandes de matériaux ainsi que des équipements en location et s'assure de leur conformité. Il accueille les sous-traitants et fournisseurs au chantier afin de coordonner leurs opérations.

Une supervision de la santé et de la sécurité des travailleurs est réalisée par le directeur des opérations qui fait des rondes d'inspection journalière sur chacun des chantiers. Il s'assure, lors de son inspection, que les travailleurs au chantier appliquent les règles de sécurité mises en place.

Le maître d'œuvre doit, avant le début des travaux sur un chantier de construction, transmettre à la CNESST un avis d'ouverture de chantier. Aucun avis d'ouverture de chantier n'a été transmis à la CNESST avant l'accident.

2.2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail pour *Métautek*

2.2.2.1 Mécanismes de participation

L'employeur *Métautek* effectue des rencontres statutaires lors desquelles la santé et la sécurité sont traitées. Un compte rendu est fait de chaque rencontre. Une personne est désignée pour chaque tâche devant être réalisée. Les rencontres ne sont pas faites de façon paritaire. Les comptes rendus transmis à la CNESST permettent de constater que les éléments abordés lors de ces rencontres ne traitent pas des éléments chantier.

2.2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

L'entreprise *Métautek* se spécialise dans le domaine de la construction, notamment au niveau de l'installation des métaux ouvrés. Elle possède un programme de prévention général propre à ses activités en chantier.

L'entreprise *Métautek* emploie [...] travailleurs et fait affaire avec trois employeurs sous-traitants, dont Structure Robert inc., pour installer des métaux ouvrés en chantier.

[A] coordonne les installations de métaux ouvrés faites par *Métautek* et les employeurs sous-traitants. Il effectue également certaines installations lui-même avec l'aide d'un travailleur de *Métautek* ou d'un employeur sous-traitant. Lors de ces installations, [A] est responsable des travaux. Structure Robert inc. facture *Métautek* pour les travaux effectués à la fin de chaque mois.

2.2.3 Organisation de la santé et de la sécurité du travail pour Structure Robert inc.

2.2.3.1 Mécanismes de participation

Structure Robert inc. n'emploie pas de travailleur. [...].

2.2.3.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Aucune information ne nous est fournie sur l'existence d'un programme de prévention pour cette entreprise.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le chantier de construction se situe au 10225, rue Irénée-Vachon à Mirabel (voir photo n°2). Les travaux incluent l'aménagement intérieur du local commercial occupé par l'entreprise Transit Nord Plus inc. d'environ 1317 m² et l'aménagement extérieur du bâtiment tel que le stationnement et l'asphaltage de la cour. Les travaux d'aménagement intérieur du second local commercial dont la superficie est d'environ 139 m², prévu pour être en location, ne sont pas inclus.

Le bâtiment est complètement érigé. Il reste des travaux à compléter au niveau du revêtement extérieur en façade du bâtiment. Le stationnement et la cour ne sont pas encore aménagés et les escaliers extérieurs ne sont pas encore installés. L'intérieur du bâtiment a été livré le 9 mars 2018 et il est occupé par le locataire Transit Nord Plus inc. Le second local commercial a été livré vers la mi-février.



Photo n°2 : Vue aérienne du lieu du chantier

Source : Google Maps

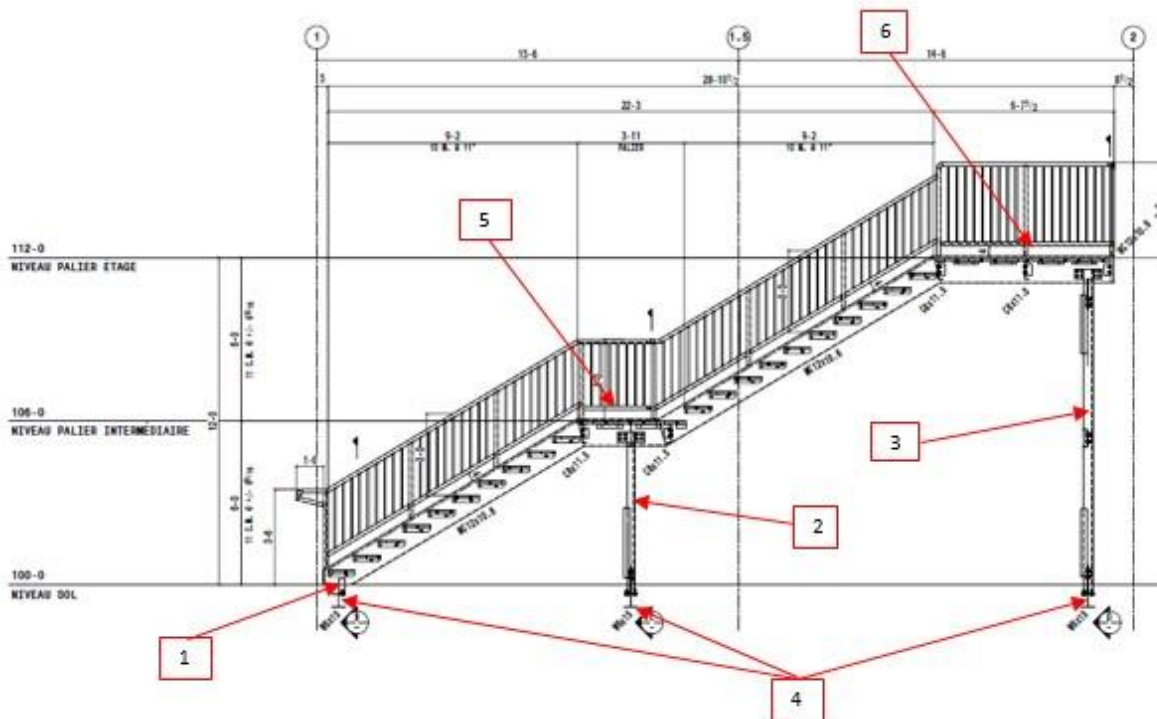
Le 14 mars 2018, la température était comprise entre 1.3 et -0.7 degré Celsius, environ onze centimètres de neige sont tombés et le vent a atteint un maximum de 41 kilomètres par heure. Les travaux sont exécutés en condition hivernale et de la neige recouvre le sol (voir photo n°3).



Photo n° 3 : Vue du chantier le jour de l'accident Source : CNESST

3.2 Description du travail à effectuer

Le jour de l'accident, l'activité principale consiste à installer l'escalier de secours métallique qui dessert le 1^{er} étage (voir dessin n° 1). Il est installé sur le mur nord du bâtiment.



Dessin n° 1 : Escalier de secours métallique

- 1 : Patte inférieure
- 2 : Patte intermédiaire
- 3 : Patte supérieure
- 4 : Les 3 poutres W6
- 5 : Palier intermédiaire
- 6 : Palier supérieur

Source : Métautek

Le matin même, l'escalier de chantier en échafaudage sur cadre métallique est retiré par l'entreprise AGF Accès inc. (voir la photo n° 4).



Photo n° 4 : Escalier de chantier Source : Immodev

L'escalier de secours métallique est livré au chantier en quatre morceaux préassemblés (les parties supérieure et inférieure de l'escalier ainsi que les pattes supérieures et intermédiaires) par un camion muni d'une grue de chargement (ci-après nommé *la grue*) (voir la photo n° 5).



Photo n° 5 : Camion muni d'une grue Source : CNESST

L'installation de l'escalier est prévue par *Métautek* selon la séquence suivante :

- Décharger les quatre parties préassemblées de l'escalier de la remorque du camion à l'aide de *la grue*;
- déterminer l'emplacement des poutres W6 sur le mur de fondation à l'aide du plan d'installation;
- percer les trous et fixer les trois poutres W6 au mur de fondation du bâtiment en utilisant quatre ancrages Hilti KH Ø 5/8, 4 pouces de longueur (ci-après nommé *ancrages*) par poutres (voir les photos n° 6 et 7);



Photo n° 6 : **Poutre W6**

Source : CNESST



Photo n° 7 : **Ancre Hilti KH Ø 5/8**

Source : CNESST

- assembler au sol les deux pattes à la partie supérieure de l'escalier (voir la photo n° 8);



Photo n° 8 : **Patte intermédiaire installée sur l'escalier**

Source : CNESST

- mettre en place, sur les poutres W6, la partie supérieure de l'escalier à l'aide de *la grue*;

- mettre la partie supérieure de l'escalier de niveau et serrer les boulons de fixation aux poutres W6 supérieure et intermédiaire;
- mettre en place la partie inférieure de l'escalier à l'aide de *la grue*;
- fixer la partie intermédiaire à sa patte;
- fixer la partie inférieure à la poutre W6 et la mettre de niveau;
- serrer les boulons de fixation;
- installer le grillage du palier intermédiaire et le fixer;
- vérifier le serrage de tous les boulons mis pendant l'installation.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 14 mars 2018 vers 10 h 30, [A], [D] et [E] arrivent sur le lieu du chantier. Au même moment, l'escalier est livré en quatre parties préassemblées à l'aide de *la grue*.

À leur arrivée, des véhicules sont stationnés et la neige n'est pas retirée de l'aire de travail. Ils demandent alors [F] d'*Immodev* de faire déplacer les véhicules et d'enlever la neige. Un véhicule ne peut être déplacé.

Vers 10 h 50, [A] et [D] utilisent le plan d'installation pour tracer l'emplacement des trous à percer au mur de fondation afin de fixer les poutres W6. Par la suite, [A] perce les trous et fixe chacune des trois poutres W6. La poutre W6 de la partie inférieure est fixée par les deux *ancrages* du bas, une tige d'acier d'armature empêche de percer les deux trous supérieurs à une profondeur suffisante pour permettre l'installation des ancrages (voir les photos n°9 et 10). Les deux autres poutres W6 sont fixées en utilisant quatre *ancrages*. Les poutres W6 sont installées en porte-à-faux.



Photo n° 9 : **Poutre W6 avec les 2 ancrages du bas**

Source : CNESST



Photo n° 10 : **Perçage incomplet des trous supérieurs**

Source : CNESST

[A], [D] et [E] assemblent au sol les deux pattes sur la partie supérieure de l'escalier. Ils installent cet assemblage à l'aide de *la grue* sur les poutres W6 (levée n° 1) et le fixe à l'aide de boulons. [D], à la demande du [A], utilise un escabeau et monte sur l'escalier pour enlever les élingues et libérer *la grue*. Il redescend ensuite.

[D] remonte et met une élingue à l'extrémité de la partie supérieure pour que [A] installe des cales entre les pattes et les poutres W6 afin de mettre l'escalier de niveau. [D] détache l'élingue et redescend.

Par la suite, la partie inférieure est installée de la même façon (levée n° 2). L'alignement des trous de la poutre W6 située à la partie inférieure ne permet pas l'installation des boulons. [A] soude les deux pattes de l'escalier à la poutre W6 (voir les photos n° 11 et 12).



Photo n° 11 : **Poutre W6 soudée**

Source : CNESST



Photo n° 12 : **Patte inférieure soudée**

Source : CNESST

Constatant que l'escalier n'est pas de niveau, il utilise la meule à disque pour enlever la soudure et installe les cales pour le mettre de niveau. L'utilisation de *la grue* n'est pas nécessaire pour cette opération.

[A] monte sur l'escalier pour installer le grillage manquant du palier intermédiaire et le fixe. Au même moment, [D] serre les boulons des pattes de la partie supérieure en utilisant une échelle.

La mise en place complétée, [E] ramasse ses élingues et quitte le chantier.

[A] et [D] ramassent les outils situés sous l'escalier. Ils discutent de la nécessité d'installer des blocages pour supporter les extrémités des poutres W6 qui sont en porte-à-faux. À cet instant, l'escalier se renverse, [D] s'accroupit sur place et [A] tente de s'éloigner. Il se dirige vers le stationnement et se retrouve dans la trajectoire de l'escalier. L'escalier tombe sur [A] qui demeure coincé sous le limon. Il est alors 12 h 51.

De l'aide est demandée aux travailleurs de Transit Nord Plus inc. et d'une autre entreprise située à proximité. Des secouristes et d'autres travailleurs soulèvent l'escalier, dégagent [A] et lui prodiguent les premiers soins.

Vers 13 h 03, les policiers arrivent sur les lieux suivis des services ambulanciers de la Ville de Mirabel vers 13 h 20 afin de prendre en charge les premiers secours et les premiers soins.

[A] est transporté par ambulance au centre hospitalier de Saint-Jérôme où son décès est constaté.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Environnement de travail

Suite à la préparation du terrain par *Immodev*, réalisée le matin de l'accident à la demande [A], tous les véhicules, sauf un, sont retirés de l'aire de travail. La neige est enlevée à l'aide d'un engin de terrassement.

Le niveau du sol est d'environ 400 à 565 millimètres plus bas que le niveau prévu par *Métautek* pour l'installation de l'escalier métallique. La préparation du sol n'a pas été réalisée en prévision de la coulée de la dalle de béton planifiée au printemps.

4.2.2 Matériel

1. Escalier de chantier :

Le jour de l'accident, l'escalier de chantier « *Tour d'escalier* » de type échafaudage sur cadre métallique de 7 pieds de long, 5 pieds de large et 12 pieds de haut (voir la photo n° 4) utilisé pendant la construction est démonté.

2. Escalier de secours métallique :

L'escalier de secours métallique est installé le matin de l'accident pour desservir la sortie de secours du 1^{er} étage (voir le dessin n° 1).

3. Poutre W6x15 :

Les poutres W6 (voir la photo n° 6) sont prévues pour fixer et soulever les pattes de l'escalier en attente de la coulée de la dalle de béton. Selon la planification des travaux par *Métautek*, ces poutres doivent reposer sur la surface préparée (gravier) en attente de la coulée de béton qui devra recouvrir totalement les poutres.

4. Type d'ancrage :

Les ancrages Hilti KH Ø 5/8, de quatre pouces de longueur (voir la photo n° 7) sont prévus pour l'ancrage des poutres W6 à la fondation. Des trous doivent être percés dans la fondation à un minimum de quatre pouces de profondeur afin de pouvoir procéder à leur installation.

5. Fondation de béton :

Le mur de fondation est composé de béton ayant une résistance de 25 MPA. Des tiges d'acier d'armature sont présentes dans le mur de fondation. Lors du perçage des deux trous supérieurs de la poutre W6 inférieure, une tige est rencontrée à moins de quatre pouces de profondeur.

4.2.3 Planification du travail

Le contrat est donné par *Immodev* à *Métautek* au mois de janvier 2018.

Monsieur [G] (ci-après nommé *monsieur [G]*), prend les mesures pour concevoir l'escalier au mois de janvier. La prise de mesure s'effectue en présence de neige. Une démarcation le porte à croire qu'un trottoir est préparé. Il présume alors que le sol n'est pas loin en dessous de la surface de la neige.

L'escalier est conçu pour être installé et fixé directement sur une dalle en béton. Puisque les travaux sont réalisés en période hivernale, *monsieur [G]* est informé que la dalle n'a pu être bétonnée. Les travaux de préparation du sol et du bétonnage de la dalle sont sous la responsabilité d'*Immodev* et ne font pas partie du contrat accordé à *Métautek*.

Malgré l'absence de la dalle, le maître d'œuvre tient à ce que l'escalier soit installé puisque le bâtiment est livré, que des travailleurs sont présents à l'étage et qu'une sortie de secours est obligatoire.

Monsieur [G] prévoit alors une solution temporaire pour pallier à l'absence de la dalle en ajoutant les poutres W6. Ces poutres seront coulées dans la dalle de béton qui reprendra la charge de l'escalier. Les poutres W6 qui doivent reposer sur le sol préparé seront ancrées au mur de fondation pour maintenir la position de l'escalier vis-à-vis de la porte du 1^{er} étage.

4.2.4 Expertise et calculs

Afin de déterminer la résistance des points d'ancrage qui ont servi à fixer l'escalier et à vérifier leur capacité à reprendre les efforts transmis lors de l'installation, une expertise est réalisée. Le détail des calculs est à l'annexe D.

Étant donné que l'expertise porte sur les circonstances d'un accident qui s'est produit, des ajustements sont apportés à la méthode habituelle de calcul des structures :

- Les charges réelles (sans facteur de pondération) sont utilisées;
- au niveau de la résistance des matériaux, les facteurs de réduction de résistance liés à la qualité de fabrication et de mise en place ne sont pas appliqués;
- seul le poids de l'escalier est considéré puisqu'au moment de la rupture du béton, aucun travailleur n'est sur la structure.

La charge réelle est donc comparée à la résistance au point de rupture du béton.

Le plan d'atelier fourni par *Métautek* permet de déterminer la masse totale de l'escalier qui est d'environ 1677 kg. Elle est répartie sur les trois poutres W6, soit 257 kg pour la poutre inférieure, 796 kg pour la poutre intermédiaire et 623 kg pour la poutre supérieure.

La poutre inférieure est fixée au mur de fondation par deux *ancrages* alors que les deux poutres intermédiaire et supérieure le sont par quatre *ancrages*, ce qui explique la différence de la charge pouvant être exercée sur celle-ci.

Le rapport de l'expertise nous révèle les charges en arrachement exercées sur le béton par les poutres W6 inférieure, intermédiaire et supérieure respectivement d'environ 28,1 kN, 60,5 kN et 46,1 kN.

La résistance en arrachement du béton de 25 MPA utilisé pour le mur de fondation, pour le groupe de deux *ancrages* est d'environ 39,4 kN et pour le groupe de quatre est d'environ 56,0 kN.

La charge en arrachement de 60,5 kN provenant du poids de l'escalier exercé sur les quatre *ancrages* de fixation de la poutre intermédiaire excède de 4,5 kN la résistance du béton qui est de 56,0 kN. Ce qui provoque la rupture par arrachement du béton.

Les *ancrages* des deux autres poutres ne sont pas en mesure de reprendre la charge en arrachement de 58,3 kN et 76,4 kN respectivement sur les poutres inférieure et supérieure engendrée par l'arrachement de la poutre intermédiaire. La rupture par arrachement du béton aux points de fixation de ces deux autres poutres se produit également.

Tableau 1 : résumé des charges exercées et des résistances en arrachement suite à la mise en place de l'escalier sur les trois poutres W6 :

Poutre	inférieure	intermédiaire	supérieure
Résistance en arrachement du béton en kN	39,4	56,0	56,0
Charge en arrachement exercée par les poutres W6 en kN	28,1	60,5	46,1
Surcharge avant la rupture de la fixation intermédiaire en kN	0	4,5	0
Charge en arrachement après la rupture de la poutre W6 intermédiaire en kN	58,3	----	76,4
Surcharge après la rupture de la fixation intermédiaire en kN	18,9	----	20,5

4.2.5 Formation

[A] est un monteur d'acier compagnon. Il travaille dans le domaine de la construction depuis [...] ans.

[D] a une carte de compétence de la construction à titre de manœuvre spécialisé. Il a travaillé [...] ans dans le domaine de la construction. Il est aussi soudeur-assembleur et [...]. Il occupe le poste [...] chez *Métautek* depuis [...] ans.

[E] a un permis de conduire classe 1 avec plus de [...] ans d'expérience. Il travaille à la livraison pour *Métautek* depuis [...] ans.

4.2.6 Loi et réglementation applicables

4.2.6.1 Loi sur la santé et la sécurité du travail

Articles : 51. L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique 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.*

4.2.6.2 Code de sécurité pour les travaux de construction

Articles : 3.6.1. Tout bâtiment en construction doit être pourvu de 2 sorties desservies par des escaliers permanents ou provisoires.

4.2.6.3 Code National du bâtiment — 1985

Sous-section 3.4.2 nombre et dispositifs des issues des aires de plancher

3.4.2.1. 1) Sous réserve des paragraphes 2) à 4), les aires de plancher visées par les dispositions du paragraphe 3.4.1.1 1) doivent être desservies par au moins 2 issues.

Section 4.1. Charges et méthodes de calcul

4.1.1.3. Exigences de calcul

- 1) *Les bâtiments, leurs éléments structuraux et leurs liaisons, ainsi que les coffrages et les ouvrages provisoires, doivent être calculés de manière à avoir une résistance et une intégrité structurales suffisantes pour supporter*

effectivement et en toute sécurité les charges, effets des charges et autres sollicitations pouvant être raisonnablement prévus, compte tenu de la durée utile de ces bâtiments, et doivent dans tous les cas satisfaire aux exigences de la présente section (voir la note A-4.1.3.3. 1)).

- 2) *Les bâtiments et leurs éléments structuraux doivent être calculés en fonction de leur tenue en service, conformément aux articles 4.1.3.4., 4.1.3.5. et 4.1.3.6. (voir la note A-4.1.1.3. 2)).*
- 3) *Les éléments structuraux permanents ou provisoires, ainsi que les coffrages et les ouvrages provisoires, ne doivent pas être soumis, pendant la construction, à des charges supérieures aux charges spécifiées, sauf s'il a été prouvé par analyse ou par essai que le supplément d'effort temporaire n'a aucune conséquence nuisible sur eux ou sur tout autre élément.*
- 4) *Les ouvrages provisoires, les échafaudages et les coffrages doivent être calculés conformément à la norme :*
 - a) **CSA S269.1, « Falsework for Construction Purposes »**;
 - b) *CAN/CSA-S269.2-M, « Échafaudages »*; ou
 - c) *CAN/CSA-S269.3-M, « Coffrages »*.
- 5) *Il faut prendre toutes les précautions nécessaires, à toutes les étapes de la construction, pour empêcher que le bâtiment ne soit exposé à des charges pouvant provoquer une détérioration ou une déformation.*

4.2.6.4 Norme CSA S269.1-16

CSA S269.1, Ouvrages provisoires et coffrages.

Domaine d'application

*Cette norme énonce les règles et les exigences relatives à la conception, la fabrication, le montage, l'inspection, les essais, l'entretien et l'utilisation des matériaux, des éléments et **des systèmes d'ouvrages provisoires** et de coffrages qui sont installés de manière à offrir un appui vertical et latéral temporaire ou à contenir le béton fraîchement coulé pour les bâtiments et autres ouvrages qui sont construits, modifiés ou réparés; elle traite également du ré-étalement des nouveaux systèmes de dalles dont la résistance maximale n'a pas encore été atteinte. Cette norme porte également sur la conception des systèmes d'enceintes de périmètre.*

Notes :

- 1) *Il peut être nécessaire de prévoir des règles et des exigences supplémentaires pour certains types inhabituels d'ouvrages provisoires ou de coffrages*
 - a) *exposés à un environnement ou à des éléments inhabituels;*
 - b) *dont les matériaux ou les procédures ne sont pas abordés dans cette norme; et*

c) qui sont destinés à être utilisés à plusieurs reprises pour des applications de préfabrication.

2) Les normes AS 3600, AS 3610, BS 5975 et BS EN 12812 traitent de questions similaires.

1.2 Cette norme est structurée et organisée de manière à être utilisée de concert avec les normes et les concepts relatifs au calcul aux contraintes admissibles, ou au calcul aux états limites.

1.3 Cette norme ne s'applique pas

- a) aux échafaudages suspendus ou aux échafaudages volants;*
- b) aux plateformes installées sur camion ou sur véhicule;*
- c) aux échafaudages d'accès;*
- d) à la conception des structures en béton;*
- e) aux coffrages empilables de cheminée; et*
- f) à la démolition.*

1.4 Dans cette norme, le terme «doit» indique une exigence, c'est-à-dire une prescription que l'utilisateur doit respecter pour assurer la conformité à la norme; «devrait» indique une recommandation ou ce qu'il est conseillé, mais non obligatoire de faire; et «peut» indique une possibilité ou ce qu'il est permis de faire.

Les notes qui accompagnent les articles ne comprennent pas de prescriptions ni de recommandations. Elles servent à séparer du texte les explications ou les renseignements qui ne font pas proprement partie de la norme.

Les notes au bas des figures et des tableaux font partie de ceux-ci et peuvent être rédigées comme des prescriptions.

Les annexes sont qualifiées de normatives (obligatoires) ou d'informatives (facultatives) pour en préciser l'application.

4.2.6.5 Loi sur les ingénieurs du Québec (article 2)

2. Les travaux de la nature de ceux ci-après décrits constituent le champ de la pratique de l'ingénieur :

- i) les ouvrages ou équipements industriels impliquant la sécurité du public ou des employés.*

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 L'escalier, fixé en porte-à-faux sur le mur de fondation du bâtiment en construction, se renverse suite à la rupture du béton aux points de fixation des trois poutres sur lesquelles il repose

Immodev, qui est le maître d'œuvre, demande à *Métautek* d'installer l'escalier de secours métallique. Le jour de l'accident, le bâtiment est occupé par des travailleurs et l'escalier de chantier qui dessert le premier étage est démonté.

Selon la conception d'installation faite par *Métautek*, les trois poutres W6 doivent être posées sur le sol et fixées au mur de fondation en béton de 25 MPA à l'aide de quatre *ancrages*. Ces *ancrages* doivent maintenir l'escalier aligné avec la sortie de secours.

[A] installe l'escalier de secours, qui a une masse totale d'environ 1677 kg, en porte-à-faux, à une hauteur située entre 400 et 565 mm du sol.

Le rapport de l'expertise nous révèle les résultats suivants :

- La résistance en arrachement du béton est d'environ 39,4 kN pour la poutre inférieure et 56,0 kN pour les poutres intermédiaire et supérieure;
- la charge en arrachement par poutre W6 est d'environ 28,1 kN, 60,5 kN et 46,1 kN respectivement sur les poutres inférieure, intermédiaire et supérieure.

Donc, la charge en arrachement sur le groupe de quatre *ancrages* de la poutre intermédiaire dépasse de 4,5 kN la résistance en arrachement du béton ce qui entraîne sa rupture au point d'ancrage.

Suite à la rupture du point d'ancrage de la poutre intermédiaire, le poids de l'escalier se répartit sur les deux poutres inférieure et supérieure. Les charges en arrachement excèdent alors la résistance du béton de 18,9 kN pour la poutre inférieure et de 20,5 kN pour la poutre supérieure. Ces deux autres poutres cèdent à leur tour et l'escalier se renverse.

Considérant que l'escalier est installé en porte-à-faux sur le mur de fondation;

Considérant que la charge en arrachement produite dans le béton par les *ancrages* des poutres excède la résistance du béton;

Considérant qu'il y a rupture du béton aux points d'ancrage, les poutres cèdent et provoquent le renversement de l'escalier;

L'escalier, fixé en porte-à-faux sur le mur de fondation du bâtiment en construction, se renverse suite à la rupture du béton aux points de fixation des trois poutres sur lesquelles il repose.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La méthode d'installation de l'escalier n'est pas sécuritaire en ce que sa mise en place en porte-à-faux ne permet pas d'en assurer la stabilité

L'escalier est installé par l'entreprise Structure Robert inc. qui a obtenu un contrat de l'entreprise *Métautek*. L'installation d'un escalier métallique se fait habituellement sur une dalle de béton ou un autre type de fondation (ex. : Sonotube, pieux vissés, etc.). Le jour de l'accident, l'installation s'effectue en condition hivernale et la dalle de béton, prévue pour recevoir l'escalier, n'est pas encore en place.

Une fois en chantier, l'installation débute par la fixation des poutres W6 au mur de fondation prévue au plan fourni par *Métautek*. Le niveau du sol n'y est pas indiqué.

Suite à la mise en place des poutres W6, [A] est en mesure de constater que l'escalier est en porte-à-faux puisqu'il se trouve à une hauteur variant de 400 mm à 565 mm du sol.

Les poutres W6 constituent des supports structuraux temporaires selon le Code National du Bâtiment « CNB ». Le dimensionnement et les connexions des supports W6 sont donc assujettis à la section 4 du CNB et de la norme CSA S269.1 « Ouvrages provisoires et coffrages ».

Dans ces conditions, afin de poursuivre l'installation de l'escalier, un plan signé par un ingénieur est nécessaire conformément à l'article 2. i) de la Loi sur les ingénieurs.

L'installation de l'escalier en porte-à-faux fait en sorte que la totalité de sa masse est répartie sur les trois poutres W6. La force appliquée par l'escalier est transférée aux *ancrages* qui ne sont pas conçus pour supporter une telle force. Les ancrages cèdent, l'escalier se renverse et écrase [A].

L'article 51 de la *Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST)* donne la responsabilité à l'entreprise Structure Robert inc. de prévoir une méthode de travail sécuritaire pour l'installation de l'escalier puisqu'elle est responsable de ces travaux.

Considérant que la méthode d'installation ne tenait pas compte du niveau du sol;

Considérant que l'escalier est installé en porte-à-faux et que cette façon de faire n'est pas usuelle;

Considérant qu'aucun plan signé par un ingénieur n'est disponible pour effectuer une telle installation;

Considérant que l'installation en porte-à-faux compromet la stabilité de l'escalier;

La méthode d'installation de l'escalier n'est pas sécuritaire en ce que sa mise en place en porte-à-faux ne permet pas d'en assurer la stabilité.

Cette cause est retenue.

4.3.3 La planification des travaux d'installation de l'escalier en période hivernale est déficiente en ce qu'elle ne tient pas compte du niveau réel du sol

Le maître d'œuvre est responsable de coordonner les travaux sur le chantier de construction. Le chantier est rendu à l'étape de l'installation de l'escalier pour desservir la sortie de secours du 1^{er} étage du bâtiment. En janvier 2018, le maître d'œuvre, soit *Immodev*, donne un contrat à *Métautek* pour la conception, la fabrication et l'installation de l'escalier.

Les escaliers conçus par *Métautek* sont généralement installés et fixés sur une dalle en béton. Les travaux de bétonnage ne pouvant être réalisés en période hivernale, *Immodev* demande à *Métautek* de prévoir une solution temporaire pour installer l'escalier sans la présence de la dalle. *Monsieur [G]* propose l'ajout de poutres W6 et prévoit que ces dernières reposent sur le sol et soient fixées au mur de fondation du bâtiment pour maintenir l'escalier aligné avec la sortie de secours. Il soumet le plan à *Immodev* qui l'accepte.

Métautek effectue la prise de mesure en présence de neige. *Monsieur [G]* observe une démarcation qui le porte à croire que le sol a été préparé en prévision de la construction de la dalle de béton pour recevoir l'escalier. Il présume alors le niveau du sol et ne fait aucune vérification physique.

Au moment de produire son plan, il n'a donc pas l'information que le sol n'a pas été préparé et aucune demande n'est faite à *Immodev* à cet égard.

Le plan soumis à *Immodev* contient les informations sur les pièces de l'escalier et leur assemblage, mais ne fournit aucune information sur quoi celui-ci doit reposer. *Immodev* a la responsabilité de préparer le sol et de fournir la dalle de béton pour l'escalier de secours métallique puisque ces éléments ne sont pas prévus au contrat de *Métautek*.

Le manque de communication entre *Métautek* et *Immodev* concernant la préparation du sol en vue de l'installation de l'escalier de secours fait en sorte qu'il se retrouve en porte-à-faux alors que son système d'ancrage au mur de fondation du bâtiment n'a pas été prévu à cet effet et n'a pas la capacité de supporter la charge appliquée.

Considérant que les travaux sont effectués en condition hivernale;

Considérant que la vérification du niveau du sol et, le cas échéant, la préparation du sol n'ont pas été réalisées;

Considérant le manque de communication entre les intervenants concernant la préparation du sol en vue de l'installation de l'escalier de secours;

La planification des travaux d'installation de l'escalier en période hivernale est déficiente en ce qu'elle ne tient pas compte du niveau réel du sol.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

Les causes suivantes sont retenues pour expliquer cet accident :

- L'escalier, fixé en porte-à-faux sur le mur de fondation du bâtiment en construction se renverse suite à la rupture du béton aux points de fixation des trois poutres sur lesquelles il repose.
- La méthode d'installation de l'escalier n'est pas sécuritaire en ce que sa mise en place en porte-à-faux ne permet pas d'en assurer la stabilité.
- La planification des travaux d'installation de l'escalier en période hivernale est déficiente en ce qu'elle ne tient pas compte du niveau réel du sol.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le 14 mars 2018, la CNESST, par une décision remise sur les lieux, ordonne la suspension des travaux de déplacement de l'escalier renversé au chantier ainsi que l'installation de l'escalier de secours métallique.

Le 5 avril 2018, la CNESST, détermine que l'entreprise *Immodev* est maître d'œuvre du chantier de construction.

Le 6 avril 2018, la CNESST, autorise le démantèlement de l'escalier renversé suite à la réception, de la part d'*Immodev*, d'une procédure de travail sécuritaire de démontage et de déplacement de l'escalier renversé élaborée par *Métautek*. Les travailleurs affectés à cette tâche ont reçu une formation sur cette procédure.

Le 20 avril 2018, la CNESST, autorise l'installation de l'escalier de secours provisoire sur échafaudage à rosette pour desservir la sortie de secours du 1^{er} étage. *Immodev* nous transmet la procédure de travail spécifique élaborée par l'employeur sous-traitant responsable de ces travaux. Les travailleurs ont reçu une formation sur la procédure et une supervision est assurée.

Le 25 mai 2018, la CNESST, fait un suivi auprès de *Métautek* concernant la méthode de travail pour l'installation des escaliers métalliques extérieurs.

5.3 Suivi à l'enquête

Pour éviter la répétition d'un accident similaire, la CNESST informera 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 et l'Association des

entrepreneurs en construction du Québec afin qu'elles diffusent, auprès de leurs membres, les conclusions de cette enquête.

De plus, 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 et de l'Enseignement supérieur diffusera, à titre informatif et à des fins pédagogiques, le rapport d'enquête dans les établissements de formation qui offrent les programmes d'étude de Montage structural et architectural.

ANNEXE A

Accidenté

ACCIDENTÉ

Nom, prénom : **Monsieur [A]**

Sexe : [...]]

Âge : [...]]

Fonction habituelle : [...]]

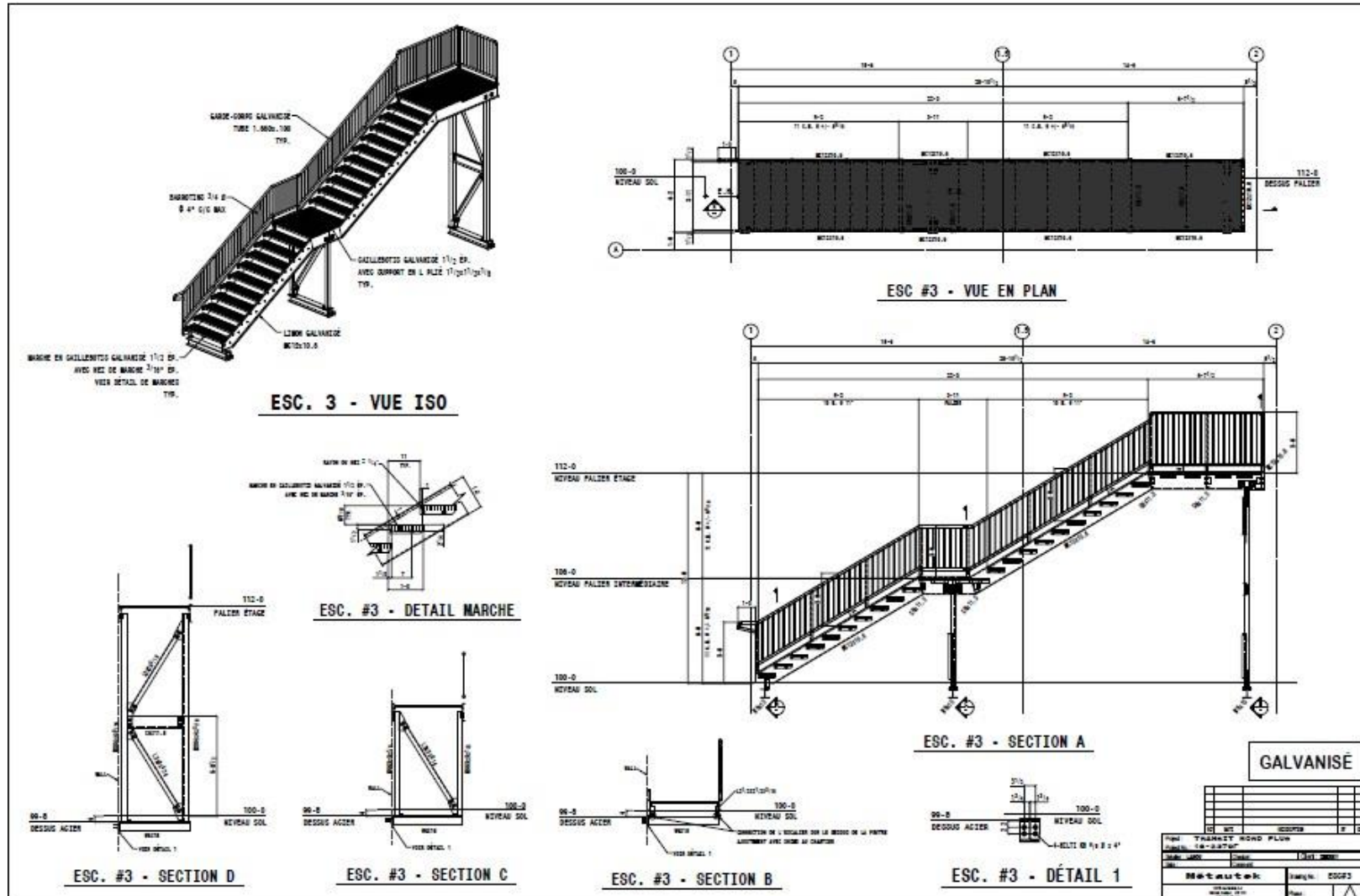
Fonction lors de l'accident : **Monteur-assembleur**

Expérience dans cette fonction : [...]]

Ancienneté chez l'employeur : [...]]

Syndicat : [...]]

ANNEXE B
Plans



Dessin n° 2 : Escalier de secours métallique installé le jour de l'accident

Source : Métautek

ANNEXE C

Liste des personnes et témoins rencontrés

Personnes rencontrées et contactées

Monsieur [B], Le groupe G.V. inc.

Monsieur [H], Le groupe G.V. inc.

Monsieur [I], Le groupe G.V. inc.

Monsieur [J], Le groupe G.V. inc.

Monsieur [G], Les entreprises Métautek inc.

Monsieur [D], Les entreprises Métautek inc.

Me [K], Borden Ladner Gervais LLP

Monsieur [L], Les entreprises Métautek inc.

Madame [M], Les entreprises Métautek inc.

Monsieur [N] Tek Métaux inc.

Monsieur [E], Métautek inc.

Monsieur [O], Tek Métaux inc.

Monsieur [P], Gestion Tano inc.

Madame [Q], Gestion Tano inc.

Me [R], Dunton Rainville S.E.N.C.R.L

Monsieur [S], JCV Soudure mobile inc.

Madame [T], JCV Soudure mobile inc.

Monsieur [U], Grues Leblanc inc.

Monsieur [V], Groupe AGF Accès inc.

Monsieur [W], Groupe AGF Accès inc.

Madame [X], Groupe AGF Accès inc.

Monsieur [Y], Groupe AGF Accès inc.

Madame Denyse Langelier, Coroner

Madame Chelsea Bracegirdle, enquêteur, Sûreté municipale de Mirabel

Monsieur André Desrochers, identité judiciaire, Sûreté municipale de Mirabel

Monsieur Nicolas Côté, Policier, Sûreté municipale de Mirabel

ANNEXE D
Rapport d'expertise interne



*Structure Robert
Effondrement escalier
14 mars 2018*

Rapport présenté à

Mohammed Taïl
Jean-Philippe Gaudreault ing.
Direction régionale des Laurentides
CNESST

Préparé par

Claude Rochon ing.
#OIQ 38824
Direction générale de la prévention-inpsection
CNESST

date 12 juillet 2018

Table des matières

SOMMAIRE

1. Mise en contexte
2. Description du mandat
3. Informations recueillies
4. Méthodologie
5. Analyse
6. Conclusion
7. Annexes
 - Annexe 1 : Tableaux 1 à 6
 - Annexe 2 : Croquis
 - Annexe 3 : Photos

1. Mise en contexte

Un accident mortel survient le 14 mars 2018 au chantier situé au 10225, rue Irénée-Vachon à Mirabel. Un escalier métallique de secours, dont l'installation vient d'être finalisée, se renverse et écrase un des membres de l'équipe d'installation.

2. Description du mandat

Le mandat consiste à déterminer la résistance des ancrages mécaniques qui ont servi à fixer les supports de l'escalier et à vérifier leur capacité à reprendre les efforts transmis lors de l'installation.

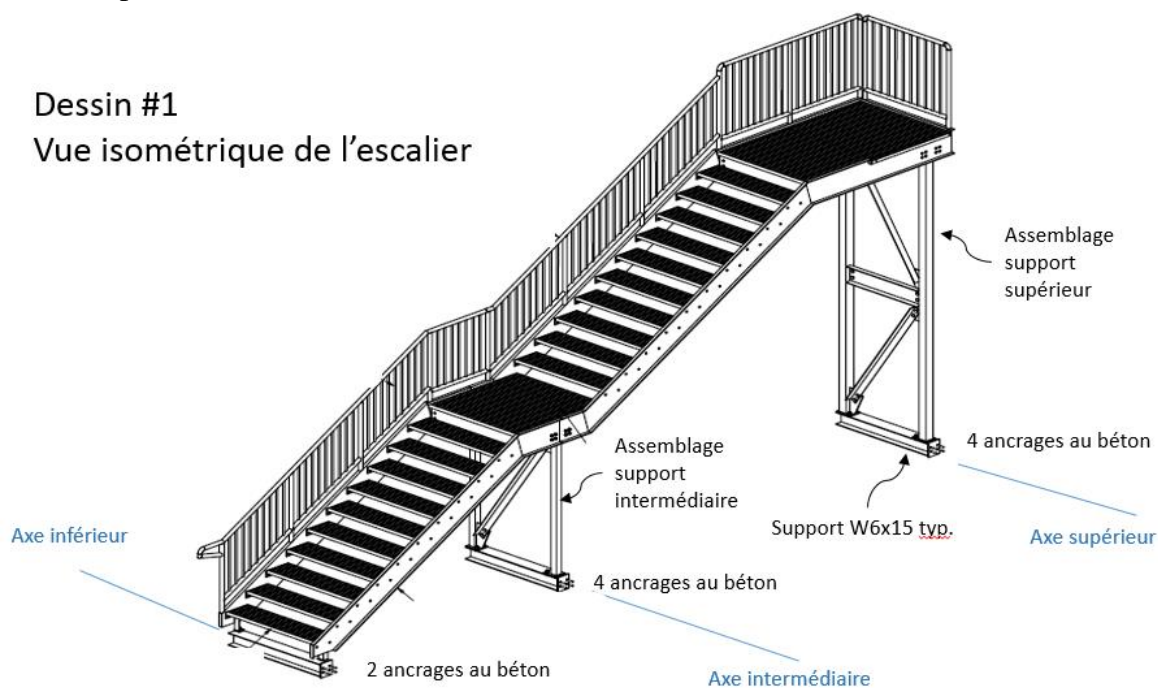
3. Informations recueillies

Je n'ai pas visité le site de l'accident. Toutes les informations (photos, dimensions, plans) et les circonstances de l'accident ont été transmises par les inspecteurs de la CNESST.

3.1 La structure

Les informations pertinentes à la structure de l'escalier et aux ancrages proviennent des documents suivants :

- 26 dessins d'atelier de l'escalier de *Métautek* datés du 21 ou du 22 février 2018
- 1 plan d'installation des ancrages de *Métautek* daté du 21 février 2018
- 1 plan d'ensemble ESC#3 de *Métautek* pas daté
- 5 photos de la CNESST datés du 14 mars 2018



Source: *Métautek*, Plan ESC#3, VUE ISO
modifications par C. Rochon

Les dimensions des membrures W6 x 15 qui étaient ancrées au mur, et au bout desquelles étaient les ancrages qui ont cédé, de même que l'escalier et les assemblages de support des paliers sont conformes aux plans d'atelier transmis.

Les ancrages utilisés sont de type Hilti KH 5/8 po de diamètre et de 4 po de longueur. Il n'y a aucune information sur le torque transmis aux ancrages lors de l'installation.

3.2 Le mur de béton

Concernant le mur de béton sur lequel les ancrages ont été fixés, les inspecteurs ont transmis les informations suivantes :

- Le mur a été coulé le 3 novembre 2017.
- L'épaisseur du mur est de 250 mm (10 po)
- Le béton est en bonne condition et non fissuré.
- Le béton a une résistance de 25 MPa (3625 psi).
- Les trous mesurés dans le béton pour les ancrages ont un diamètre de 22 mm, une profondeur de 126 mm. Ils sont espacés de 74 mm en largeur et 50 mm en hauteur, ce qui correspond plus ou moins aux dimensions sur les plans. Les calculs seront effectués avec les dimensions apparaissant sur le ESC#3. Le croquis #1 en annexe montre le positionnement des trous.
- Les membrures W6 x 15 servant de support pour les paliers intermédiaires et supérieurs étaient ancrées avec 4 ancrages.
- La membrure W6 x 15 supportant l'escalier au niveau du sol était ancrée avec 2 ancrages. Ces ancrages étaient situés dans les 2 trous inférieurs de la plaque d'ancrage située au bout du W6 x 15. Les 2 autres trous n'ont pu être percés complètement étant donné la présence de barre d'armature.

3.3 La séquence des évènements

Les éléments pertinents de la séquence des évènements lors de l'installation sont les suivants :

- Les trous ont été localisés et percés sur le mur de béton.
- Les membrures W6 x 15 ont été installées avec les ancrages.
- La section supérieure de l'escalier et les deux assemblages de support ont été installés sur les W6 x 15 aux axes intermédiaire et supérieur. (levée #1).
- La section inférieure de l'escalier a été installée entre la section supérieure et la membrure W6 x 15 à l'axe inférieure (levée #2).
- La grue a démobilisé.
- L'escalier s'est renversée alors que les travailleurs étaient au sol et finalisaient l'installation ou ramassaient leurs équipements. Un travailleur a été écrasé.

4. Méthodologie

Les méthodes et données fournies par le Code national du bâtiment, de même que par le fabricant des ancrages, tiennent compte de la variabilité dans la confection et la mise en place des matériaux en se basant sur les règles d'ingénierie et de probabilité pour parvenir à l'objectif d'éviter la rupture d'une structure avec une marge d'erreur presque nulle. Étant donné que l'expertise porte sur les circonstances d'un accident qui s'est produit, et non sur le dimensionnement d'une structure en vue d'une utilisation future qui respecte les exigences du Code national du Bâtiment, des ajustements sont apportés au niveau des coefficients de sécurité. Les charges réelles (sans facteur de pondération) sont utilisées. Au niveau de la résistance des matériaux, les facteurs de réduction de résistance liés à la qualité de fabrication et de mise en place ne sont pas appliqués. La charge réelle est donc comparée à une résistance au point de rupture du matériau sans facteur de sécurité.

4.1 La charge

Lors de l'effondrement, il n'y avait aucun travailleur sur l'escalier. Seul le poids mort de l'escalier est considéré pour déterminer la charge dans les ancrages. Le poids de l'escalier utilisé pour les calculs provient de la somme des poids identifiés des membrures sur les plans d'atelier, augmenté d'une valeur de 2% pour prendre en compte le poids des boulons, des soudures et de la galvanisation. Le poids total est réparti entre les 3 supports en fonction des 2 levées.

Le tableau 1 à l'annexe 1 indique la répartition du poids après la levée #1, soit après la mise en place de la section supérieure, tandis que le tableau 2 à l'annexe 1 indique la répartition après la levée 2, soit après la mise en place de la section inférieure ce qui complète l'installation et génère le maximum de charge sur le support W6 x 15 intermédiaire.

Le tableau 3 à l'annexe 1 indique les charges (cisaillement et tension) transmises aux ancrages. Étant donné la proximité des ancrages, il a été considéré que la tension et le cisaillement se répartissaient également entre les 4 ancrages aux axes intermédiaire et supérieur et entre les 2 ancrages à l'axe inférieur.

4.2 La résistance des ancrages

Les données techniques pour effectuer les calculs de résistance des ancrages proviennent du Guide technique des produits Amérique du Nord de Hilti, édition 17, qui est le fabricant des ancrages mécaniques utilisés pour fixer au mur de béton les membrures W6 x 15. Les tableaux de la section 3.3.6.3.2 ont été utilisés.

La rupture s'est produite par l'arrachement du béton. La résistance à la traction et au cisaillement de l'ancrage en acier n'est pas en cause. La vérification va porter sur la résistance à l'arrachement du béton autour du périmètre du groupe d'ancrage.

Le tableau 4 de l'annexe 1 indique les données utilisées pour le calcul de la capacité des ancrages. Étant donné la proximité des ancrages entre eux, l'effet de groupe est considéré dans le calcul par l'utilisation de facteurs. Les tableaux de résistance du fabricant limitent l'espacement minimal à 3 po. Étant donné que l'espacement vertical des ancrages est de 2 po tandis que celui horizontal est de 3 ½ po (périmètre de 11 po aux ancrages), pour les besoins de calculs, un espacement de 3 po autant vertical qu'horizontal (périmètre aux ancrages de 12 po) est considéré.

La dernière colonne du tableau 5 de l'annexe 1 donne les valeurs de capacité en arrachement et en cisaillement des groupes d'ancrage aux 3 supports.

Le tableau 6 met en relation les charges et la capacité des groupes d'ancrages en fonction des 3 supports, et des 2 levées. Un rapport charge-capacité plus grand que 1 indique une rupture. La dernière colonne du tableau donne le ratio d'interaction, qui est la somme des rapports charge-capacité pour le cisaillement et l'arrachement. Un ratio d'interaction plus grand que 1,2 indique une rupture.

Finalement les calculs ont été effectués avec des unités impériales. Les résultats ont été convertis en unités métriques.

5. Analyse

Les données utilisées pour l'argumentation de cette section se retrouvent au tableau #6.

Après la première levée, qui est la plus lourde, les charges se répartissent plus ou moins également entre les 2 supports. Les charges en arrachement sont respectivement 42,49 et 46,15 kN pour le support à l'axe intermédiaire et celui à l'axe supérieur. La capacité en arrachement de 55,95 kN excède la charge. Même en considérant les efforts de cisaillement, le ratio d'interaction étant sous 1,2, la capacité excède la charge, ce qui explique que l'ensemble est stable.

Après la deuxième levée, la section met sous charge le support W6 x 15 inférieur qui est fixé avec 2 ancrages, ajoute du poids au support intermédiaire sans changer la charge sur celui supérieur.

Les données du tableau A nous indiquent qu'au support inférieur, là où la capacité des ancrages est minimale, la capacité excède la charge. Le ratio d'interaction cisaillement-arrachement 0,79 (0,71 + 0,08) est sous 1,2. La rupture initiale ne s'est donc pas produite à ce support.

Tableau A : Charge vs capacité, support inférieure, levée 2

	Charge (kN)	Capacité (kN)	Ratio < 1,0
Arrachement	28,10	39,40	0,71
Cisaillement	2,53	33,54	0,08

La charge la plus forte est située au support intermédiaire après la levée #2. La charge en arrachement de 60,48 kN excède la capacité de 55,95 (tableau B). Le béton fissure, la fixation cède. La charge au support intermédiaire se transfère aux supports extérieurs.

Tableau B : Charge vs capacité, support intermédiaire, levée 2

	Charge (kN)	Capacité (kN)	Ratio < 1,0
Arrachement	60,49	55,95	1,08
Cisaillement	7,81	40,92	0,19

Le transfert de charge provoque une situation de surcharge aux supports extérieurs. La charge en arrachement au support inférieur augmente à 58,34 kN, la capacité est de 39,40 kN. La charge au support supérieur augmente à 76,39 kN et dépasse la capacité qui est de 55,95 kN. Le béton fissure, les fixations cèdent. L'escalier s'effondre.

Conclusion

Les hypothèses et la suppression de facteurs de sécurité pertinents amènent des valeurs de capacité et de charge conservatrices. La charge de calcul est minimale, elle ne considère que le poids mort non pondéré. La capacité est maximale, car les facteurs de sécurité qui réduisent sa valeur ne sont pas appliqués. La charge sur le béton (60,5 kN) provenant du poids de l'escalier au support intermédiaire excède la capacité (55,9 kN) du groupe de 4 ancrages, provoquant la rupture en arrachement du béton. Les ancrages aux 2 supports extérieurs n'étant pas en mesure de reprendre cette surcharge, l'escalier s'effondre.

Les annexes

Annexe 1 Tableaux

Tableau 1 Répartition du poids sur les supports Levée #1

Tableau 2 Répartition du poids sur les supports Levée #2

Tableau 3 Charges dans les ancrages

Tableau 4 Données calcul capacité des ancrages

Tableau 5 Calcul capacité des ancrages

Tableau 6 Charges vs capacité et Interaction

Tableau 1 Répartition du poids (lb) sur les supports
Levée #1 : support axe 1.5 et 2

éléments	Charge située à 2' du béton					Charge située à 4' du béton			
	axe 1	axe 1.5		axe 2		axe 1	axe 1.5		axe 2
	bas	intermédiaire		haut.		bas	intermédiaire		haut
escalier				225					
limon				224					
marches				502					
palier			192	269					
4x C8x11.5			90	45	45				
garde corps					107			271	
W6x15			67		67				
supports			93		283				
X bracing			21		42				
C8X11.5					36				
sous total	0	0	463	1265	580	0		271	
bou.soud. galv.2%	0	0	472	1290	592	0		276	
total	0		1117		1237	0	138		138
Grand total	2631	lb							
	ou 11,70	kN							

Note: basé sur les plans d'atelier de l'escalier

Tableau 2 Répartition du poids (lb) de l'escalier
Levée #2: supports 1, 1.5 et 2

éléments	Charge située à 2' du béton					Charge située à 4' du béton			
	axe 1	axe 1.5		axe 2		axe 1	axe 1.5		axe 2
	bas	intermédiaire		haut.		bas	intermédiaire		haut
escalier		147		225					
limon		154		224					
marches		502		502					
palier			192	269					
4x C8x11.5			90	45	45				
garde corps					107	176		271	
W6x15	67		67		67				
supports			93		283				
X bracing			21		42				
C8X11.5					36				
sous total	67	803	463	1265	580	176		271	
bou.soud. galv.2%	68	819	472	1290	592	180		276	
total	478		1527		1237	90	228		138
Grand total	3698	lb							
	ou 16,45	kN							

Note: basé sur les plans d'atelier

Tableau 3
Charge dans les ancrages

	Situation #1		Situation #2			
	Poids levée #1			Poids levées #1 et #2		
	axe 1	axe 1.5	axe 2	axe 1	axe 1.5	axe 2
L: levier (po)		3,5	3,5	2,5	3,5	3,5
Vcentre: poids à 2' (lb)		1117	1237	478	1527	1237
V ext. poids à 4' (lb)		138	138	90	228	138
Mcentre: Moment à 2' (lb-pi)		2234	2474	956	3054	2474
Mext: Moment à 4' (lb-pi)		552	552	360	912	552
M total (lb-pi)		2786	3026	1316	3966	3026
Nc = Tension = Mtotal/L (lb)		9552	10375	6317	13598	10375
ou (kN)		42,49	46,15	28,10	60,49	46,15
Vc = Cisaillement total (lb)		1255	1375	568	1755	1375
ou (kN)		5,58	6,12	2,53	7,81	6,12

Tableau 4
Données pour le calcul de la capacité des ancrages

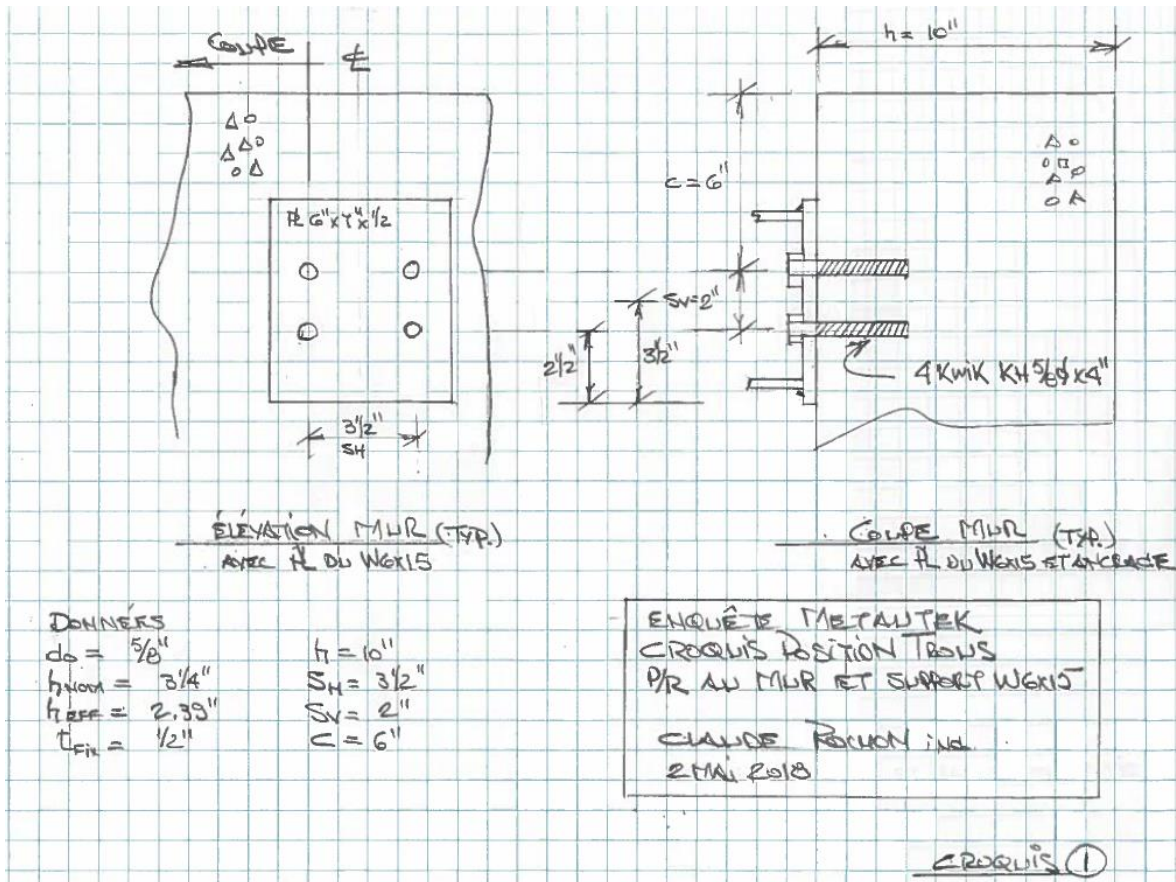
Guide Technique Hilti, volume 2: Chevillage, éd.17, section 3.3.6

Acier tableau 23		
facteur pondération traction	0,7	
Npond résistance en traction (lb)	14405	
facteur pondération cisaillement	0,65	
Vpond résistance cisaillement (lb)	6200	
Béton tableau 24		
(25 Mpa ou 3625 psi)		
Cb:coef résistance	0,65	
facteur pondération cond. B	1	
Nr résistance pondérée traction (lb)	3890	
Vr résistance pondérée cisail. (lb)	3890	
Facteurs tableau 12 hilti 5/8		
Fan traction espacement 3" et 3.5"	0,71	0,74
Frn traction rive 6" et 8"	1	1
Fav cisaillement espacement 3" et 3.5"	0,61	0,63
Frv cisaillement rive	1	
Fhv épaisseur béton	1	
Points à vérifier		
exigences relatives à la géométrie	$S=2$ ou $3.5 < 3$ $h_{eff} = 7.17$	donc effet de groupe
	$C=6 > 1,5$ $h_{eff} = 3,58$	donc pas d'influence de rive
résistance de calcul à la traction	$N_b = n N_r F_{anx} F_{any} F_{rn} / C_b$	voir tableau 5
résistance de calcul en cisaillement	$V_b = n V_r F_{avx} F_{avy} F_{rv} F_{hv} / C_b$	voir tableau 5
interaction traction et cisaillement	$N_c / N_b + V_c / V_b < 1,2$	voir tableau 6

Tableau 5 Calcul capacité ancrage										
Géométrie		L'effet de groupe est considérée dans les facteurs du tableau 12								
Arrachement										
	n	Nr (lb)	Fanx	Fany	Frn	Cb	Nb (lb)	Nb (kN)		
axe 1	2	3890	0,74	1	1	0,65	8857	39,40		
axe 1.5 et 2	4	3890	0,74	0,71	1	0,65	12577	55,95		
Cisaillement										
	n	Vr (lb)	Favx	Favy	Frv	Cb	Vb (lb)	Vb (kN)		
axe 1	2	3890	0,63	1	1	0,65	7541	33,54		
axe 1.5 et 2	4	3890	0,63	0,61	1	0,65	9200	40,92		

Tableau 6 Charge versus Capacité et Interaction							
	Nc	Nb	$Nc/Nb \leq 1.0$	Vc	Vb	$Vc/Vb \leq 1.0$	$I \leq 1.2$
levée #1							
							$I = Nc/Nb + Vc/Vb$
axe 1,5	9552	12577	0,76	1255	9200	0,14	0,90
axe 2	10375	12577	0,82	1375	9200		0,97
levée #2							
axe 1	6317	8857	0,71	568	7541	0,08	0,79
axe 1,5	13598	12577	1,08	1755	9200	0,19	1,27
axe 2	10375	12577	0,82	1375	9200	0,15	0,97
après rupture axe 1,5							
axe 1	13116	8857	1,48	7194,5	7541	0,95	2,43
axe 1,5	0	0		0	0		
axe 2	17174	12577	1,37	11252,5	9200	1,22	2,59

Annexe 2 Croquis



Annexe 3 Photos

Source CNESST



Photo #1 : Vue générale de l'escalier après l'effondrement



Photo #2 : Support W6 x15 boulonné à l'escalier



Photo #3 : Ancrage typique Hilti Kwik KH 5/8 dia. x 4 po



**Photo #4 : Vue du mur de béton après l'arrachement
d'un groupe d'ancrages**

ANNEXE E

Références bibliographiques

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. [*Échafaudages : calcul des structures*](#), Rexdale, Ont., ACNOR, 1989-, 68 p. (CAN/CSA : S269.2-M87).

CODE NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA. *Code national du bâtiment du Canada*, 1985. Ottawa, CNRC, 1985, xx, 487 p. (CNRC : 23174f)

CONVERTWORLD.COM. *Kilonewton (kN - Métrique), masse*. [En ligne], 2018. [<https://www.convertworld.com/fr/masse/kilonewton.html>](Consulté le 2018-07-10).

MÉTÉOMÉDIA. *Mirabel, QC : mars 2018*, [En ligne], 2018. [<https://www.meteomedia.com/ca/mensuel/quebec/mirabel?year=2018&month=3&dispt=calendar-container-monthly>](Consulté le 2018-07-10).

QUÉBEC, [*Loi sur les ingénieurs*](#) : RLRQ, c. I-9, à jour au 1^{er} avril 2018, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2018, 10 p.

QUÉBEC, [*Loi sur la santé et la sécurité du travail*](#) : RLRQ, c. S-2.1, à jour au 1^{er} avril 2018, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2018, 74 p.

« Vis d'ancrage en acier ordinaire KWIK HUS-EZ (KH-EZ) 3.3.6 », dans HILTI. *Guide technique des produits : Amérique du Nord. Volume 2, Guide technique du chevillage*, édition 17, Tulsa, Okl., Hilti inc., 2016, p. 307-328. [En ligne], [https://www.hilti.ca/medias/sys_master/documents/h98/h20/9272239587358/Fiche-technique-ASSET-DOC-LOC-1544972.pdf] (Consulté le 2018-07-10).