

RAPPORT D'ENQUÊTE**EN004378**

**Accident ayant causé la mort d'un travailleur de l'entreprise
Soudure René Thibault inc., survenu le 3 février 2022 au
[REDACTED], arrondissement Outremont, à Montréal.**

Service de la prévention-inspection de Montréal – Construction

Version dépersonnalisée

**Inspecteur : _____
Simon Guay**

**Inspectrice : _____
Cynthia St-Louis**

Date du rapport : 9 mai 2023

Rapport distribué à :

- Monsieur Frédéric Lebel, président, Soudure René Thibault inc.
- Monsieur A [REDACTED], Syndicat québécois de la construction (SQC)
- Monsieur B [REDACTED], FTQ-Construction
- Monsieur C [REDACTED], Conseil provincial du Québec des métiers de la construction – International (CPQMCI)
- Monsieur D [REDACTED], CSN-Construction
- Monsieur E [REDACTED], CSD Construction
- Me Amélie Lavigne, coroner
- Docteure Mylène Drouin, directrice de la santé publique, Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux (CIUSSS) du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal

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	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	9
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>10</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	10
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	14
4.2.1	DESCRIPTION DES ÉQUIPEMENTS ET DU MATÉRIEL UTILISÉS	14
4.2.2	INFORMATIONS RECUEILLIES	15
4.2.3	FORMATION REÇUE PAR LES TRAVAILLEURS	16
4.2.4	OBSERVATIONS SUR LA STRUCTURE DE L'ESCALIER	16
4.2.5	OBSERVATIONS SUR LE BÂTIMENT EXISTANT	18
4.2.6	RÉSULTAT D'EXPERTISE	18
4.2.7	RÉGLEMENTATION	20
4.2.8	NORME	21
4.2.9	OUVRAGE DE RÉFÉRENCE	21
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	22
4.3.1	LE TRAVAILLEUR EST HEURTÉ LORS DU BASCULEMENT DE L'ESCALIER, ALORS QU'IL SE TROUVE SOUS CETTE CHARGE.	22
4.3.2	L'EMPLOYEUR NE S'ASSURE PAS QUE LES TRAVAUX DE RETRAIT DE L'ESCALIER MÉTALLIQUE SOIENT EFFECTUÉS DE MANIÈRE SÉCURITAIRE.	24
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>26</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	26
5.2	SUIVI DE L'ENQUÊTE	26

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	27
ANNEXE B :	Liste des personnes interrogées	28
ANNEXE C :	Rapport d'expertise	29
ANNEXE D :	Références bibliographiques	30

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

Le 3 février 2022, M. F [REDACTED] (ci-après nommé le travailleur accidenté), travailleur de l'entreprise Soudure René Thibault inc., doit effectuer des travaux afin de retirer un escalier métallique composé de six marches et d'un palier, installé à l'arrière d'un bâtiment résidentiel situé au [REDACTED], arrondissement Outremont à Montréal. Pour procéder au soulèvement de l'escalier, une grue à flèche articulée est utilisée. Vers 9 h 17, alors que le travailleur accidenté se trouve sous le palier de l'escalier, celui-ci bascule et le heurte au cou et à la tête.

Conséquence

Le travailleur décède en raison de ses blessures.



Figure 1 – *Lieu de l'accident*
Source : CNESST

Abrégé des causes

L'enquête a permis d'identifier les causes suivantes :

- Le travailleur est heurté lors du basculement de l'escalier, alors qu'il se trouve sous cette charge.
- L'employeur ne s'assure pas que les travaux de retrait de l'escalier métallique sont effectués de manière sécuritaire.

Mesures correctives

La CNESST n'exige aucune mesure corrective immédiate sur le chantier puisque les travaux de retrait de l'escalier sont terminés.

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

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale du chantier

Sur le chantier de construction situé au [REDACTÉ], arrondissement Outremont à Montréal, les propriétaires du bâtiment sont les maîtres d'œuvre (voir rapport RAP1410366). Ceux-ci ont notamment donné un contrat à l'entreprise Construction N. Deslauriers inc. pour l'exécution de divers travaux, incluant la construction d'un agrandissement à l'arrière du bâtiment. Cette dernière a octroyé un contrat à l'entreprise Soudure René Thibault inc. pour l'exécution des travaux d'installation d'un escalier métallique pour desservir cet agrandissement.

L'entreprise Soudure René Thibault inc. est située au 2125, rue Théodore à Montréal. Cette entreprise est spécialisée en soudure, fabrication et installation de produits de métaux ouvrés et de structures d'acier. Le 3 février 2022, trois travailleurs sont présents sur le chantier. G [REDACTÉ] n'est pas présent.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

À la suite de leur embauche chez Soudure René Thibault inc., les nouveaux travailleurs participent à une séance d'accueil lors de laquelle sont traitées des informations générales sur la sécurité au travail.

Au début de la journée de travail, une rencontre est parfois tenue entre G [REDACTÉ] et les travailleurs afin de leur transmettre des informations plus précises sur la nature du travail à exécuter ainsi que certaines règles de sécurité.

L'entreprise ne possède aucun autre mécanisme de participation des travailleurs.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

L'entreprise Soudure René Thibault inc. détient un programme de prévention qui a été mis à jour en 2012. Il n'est pas spécifique au chantier où est survenu l'accident de travail.

Le programme de prévention identifie le « responsable du chantier » comme étant le responsable de l'ensemble de son application. Différentes activités à risque sont identifiées dans le programme de prévention. Pour chacune de ces activités, les risques associés sont identifiés, de même que les mesures de prévention, les moyens de contrôle et les personnes responsables. Les risques identifiés sont des risques généraux aux chantiers de construction.

L'activité consistant en l'installation et au retrait d'un escalier métallique n'est pas identifiée.

L'activité à risque « Utilisation d'un véhicule pour le levage de matériaux ou de travailleurs » est identifiée. La mesure de prévention suivante y est indiquée: «Aucune charge ne doit se trouver

au-dessus de la tête des travailleurs et aucun travailleur ne doit se tenir sous une charge ou sous une partie d'un appareil de levage qui pourrait s'abattre sur lui ». Les moyens de contrôles identifiés sont, notamment, la formation et l'information des travailleurs sur les mesures de prévention à respecter ainsi que la vérification du respect des consignes de prévention. Il est prévu que ces mesures soient appliquées avant le début du chantier et quotidiennement par la suite. La responsabilité de l'application de ces mesures revient au responsable du chantier.



SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le chantier de construction consiste en divers travaux effectués sur un bâtiment unifamilial de type jumelé, situé au [redacted], arrondissement Outremont à Montréal (figure 2). Les travaux au chantier incluent, notamment, la rénovation de la cuisine ainsi que la construction d'un agrandissement, à l'arrière du bâtiment.

Au sud-est, le bâtiment est séparé du bâtiment voisin par une entrée asphaltée. Le 3 février 2022, le sol est recouvert de neige.



Fig. 2-Plan des lieux

Source : Google map, modifiée par la CNESST

L'agrandissement comprend une porte-patio qui sert d'accès à la cour arrière. Un escalier métallique (figure 3), installé au mois d'octobre 2021 par l'entreprise Soudure René Thibault inc., dessert cet accès.

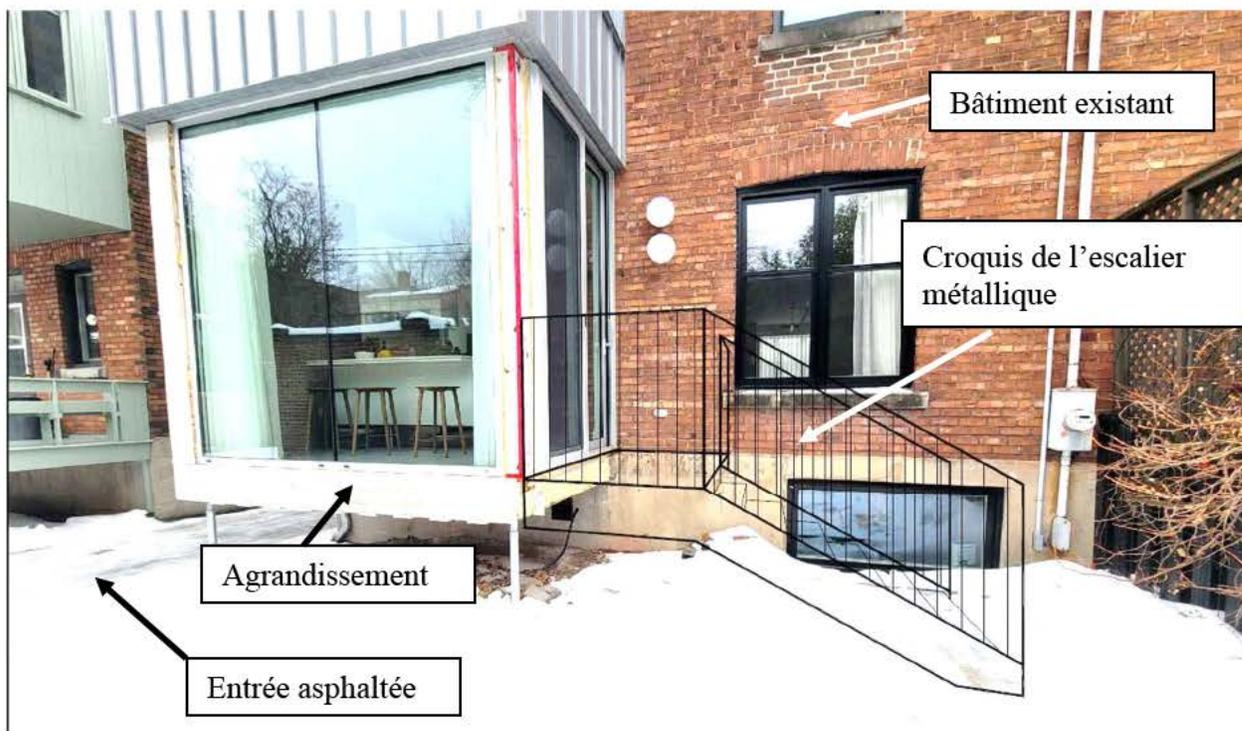


Fig. 3- Arrière du bâtiment et croquis de l'escalier
Source : CNESST

L'escalier métallique comprend six marches et un palier. La hauteur libre sous le palier est d'environ 84 cm. La structure du palier (figure 4) est constituée de différentes composantes soudées, dont des poutres en C (*channel*). Le dessus du palier est recouvert de platelage métallique, fixé à la structure avec des vis autoperçantes. Des balustrades fixées à la structure métallique sont présentes sur les côtés de l'escalier.

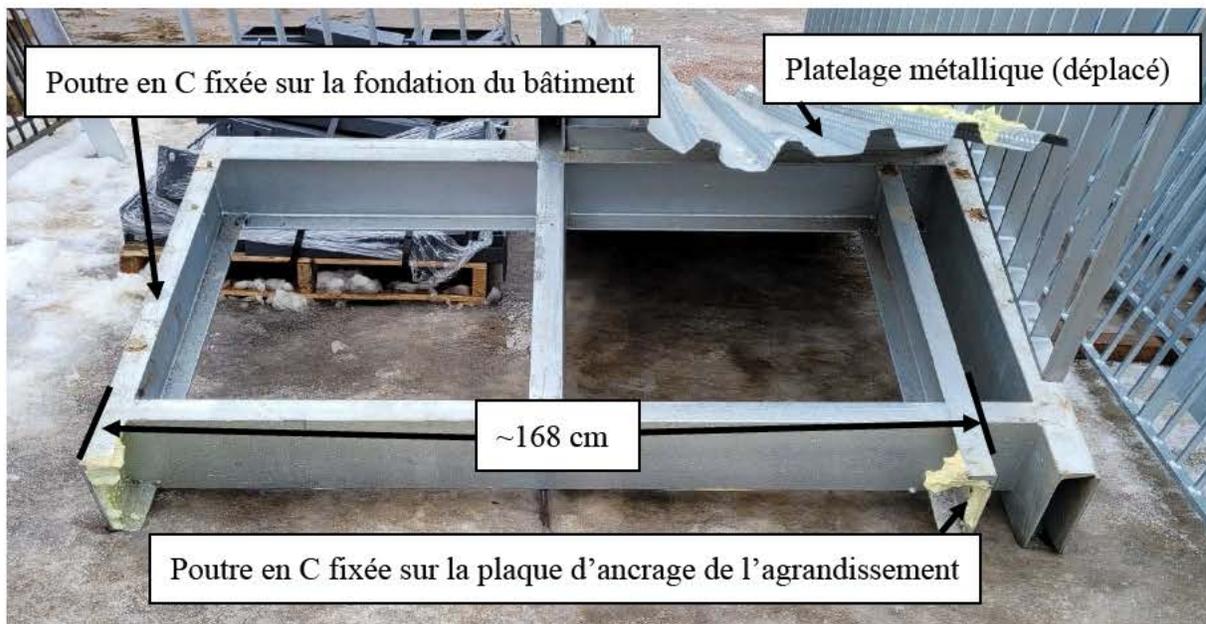


Fig. 4-Structure du palier
Source: CNESST

La structure du palier de l'escalier est fixée à la fondation du bâtiment existant ainsi qu'à l'agrandissement (figure 5). Deux boulons structuraux servent à fixer la structure de l'escalier à une plaque d'ancrage de l'agrandissement. Cette plaque d'ancrage est positionnée du côté externe de l'âme de la poutre en C.

La structure de l'escalier est également fixée au bâtiment existant au moyen de deux ancrages mécaniques filetés, insérés dans sa fondation. Les tiges filetées passent dans les trous de l'âme de la poutre en C. L'âme de cette poutre en C a une épaisseur d'environ 6 mm.

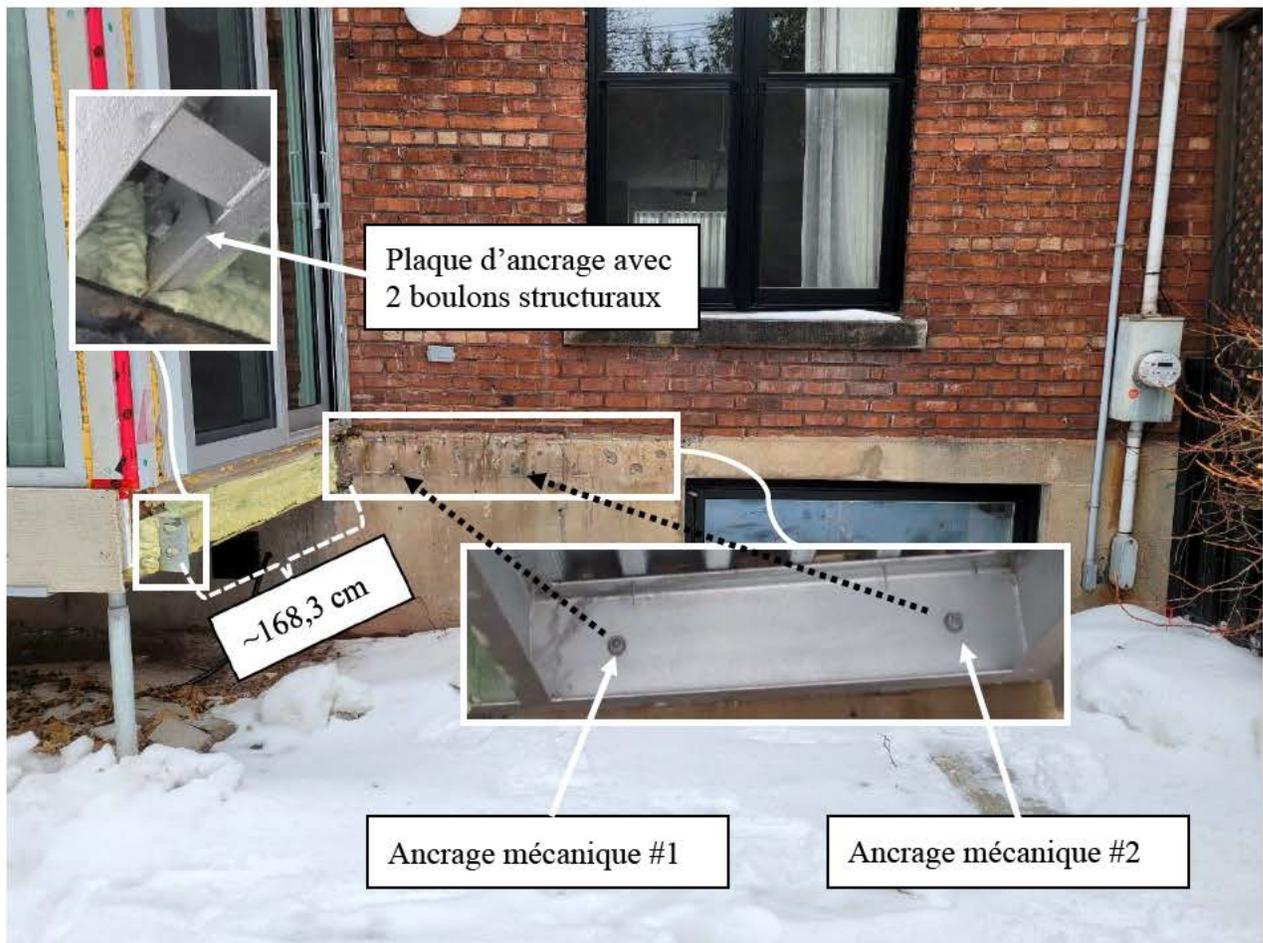


Fig. 5-Emplacement des ancrages de l'escalier
Source : CNESST et Soudure René Thibault inc., modifiée par CNESST

La largeur entre les deux poutres en C formant la structure du palier de l'escalier est d'environ 168 cm (figure 4). La largeur entre la plaque d'ancrage de l'agrandissement et la fondation du bâtiment existant est d'environ 168,3 cm (figure 5).

Une cale est présente entre la structure de l'escalier et la fondation du bâtiment existant (figure 6), à proximité de l'ancrage mécanique #2. Il y a ainsi un espace entre la fondation et le côté extérieur de l'âme de la poutre en C de la structure de l'escalier.

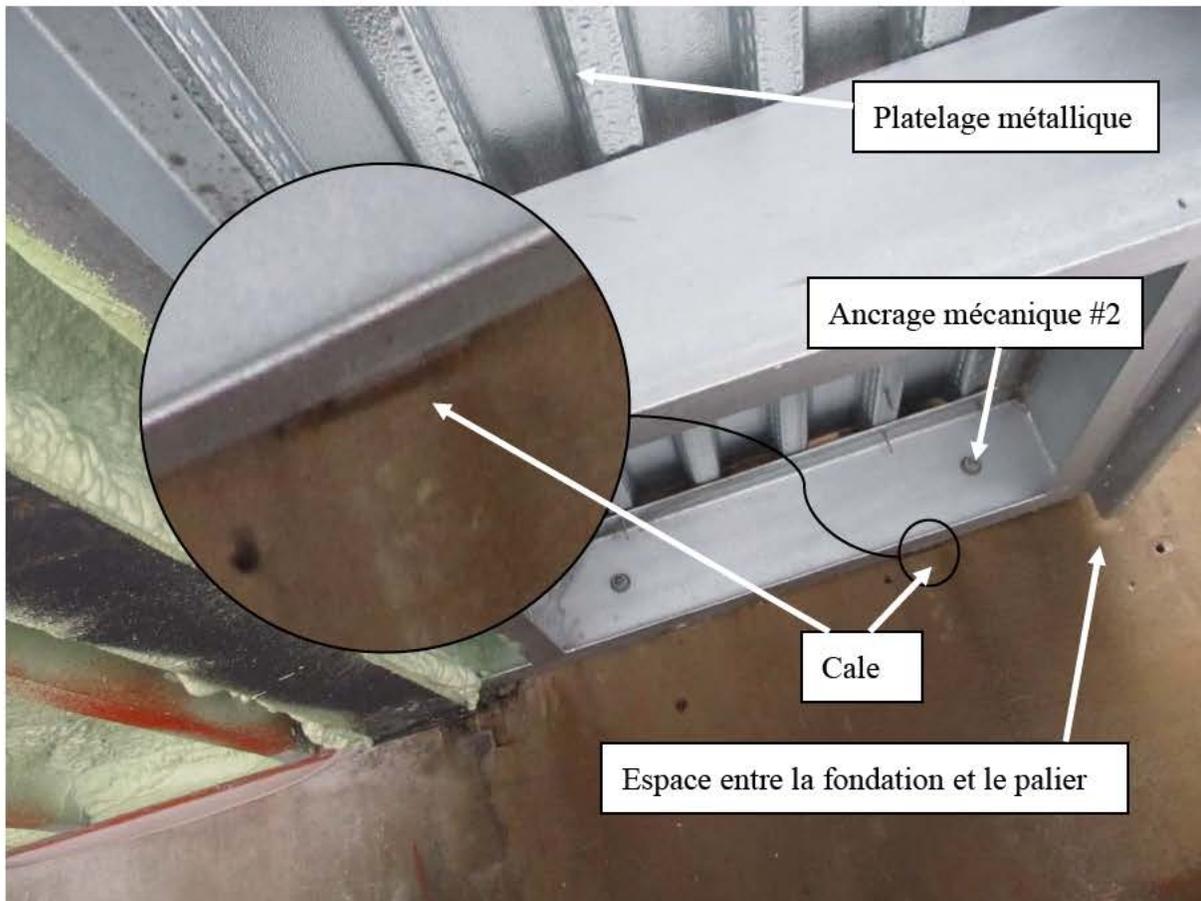


Fig. 6-Dessous du palier de l'escalier à la suite de l'installation initiale
Source : Soudure René Thibault inc., modifiée par CNESST

3.2 Description du travail à effectuer

Le 3 février 2022, les travaux consistent à enlever l'escalier métallique installé pour desservir l'accès à l'agrandissement. Pour ce faire, il est prévu d'utiliser une grue à flèche articulée qui est positionnée dans l'entrée asphaltée séparant le bâtiment situé au [REDACTÉ] du bâtiment voisin. L'escalier est relié au crochet de la grue au moyen d'élingues, afin de le supporter pendant l'exécution des travaux nécessaires pour le libérer des ancrages qui relient sa structure à la fondation du bâtiment existant et à l'agrandissement. L'escalier sera ensuite soulevé par la grue afin d'être transporté hors du chantier.

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

En octobre 2021, l'escalier métallique est installé sur le chantier par des travailleurs de l'entreprise Soudure René Thibault inc. Une non-conformité est observée sur l'escalier par H [REDACTED] de Construction N. Deslauriers inc., au mois de décembre 2021. Les correctifs à apporter ne peuvent se faire à pied d'œuvre; l'escalier doit être enlevé et remplacé. H [REDACTED] de Construction N. Deslauriers inc. convient avec l'entreprise Soudure René Thibault inc. qu'elle dispose de l'hiver pour remplacer l'escalier, sans date fixe.

Le 3 février 2022, M. G [REDACTED] (ci-après nommé [REDACTED] de Soudure René Thibault inc.) communique avec M. H [REDACTED] pour l'informer que le retrait de l'escalier sera effectué en matinée.

Le travailleur accidenté se présente sur le chantier avec M. I [REDACTED] (ci-après nommé collègue de travail) dans une grue à flèche articulée. Les travailleurs ne parviennent pas à positionner la grue au bout de l'entrée asphaltée, puisque les miroirs latéraux de la grue ne se replient pas.

M. J [REDACTED] (ci-après nommé opérateur de la grue) se présente au chantier avec une seconde grue à flèche articulée et la positionne au bout de l'entrée asphaltée. Il déploie les stabilisateurs et télescope la flèche au-dessus de l'agrandissement. Le crochet de la grue est ensuite descendu au-dessus de l'escalier métallique.

Le travailleur accidenté et son collègue de travail installent deux élingues d'une longueur de 4,9 m sur l'escalier (figure 7). Elles sont installées en panier afin de relier l'escalier au crochet de la grue. L'une des élingues est installée sous la 3^e marche de l'escalier et l'autre, sous la 6^e marche. Les élingues passent entre les barreaux des balustrades et chacune de leurs extrémités est accrochée au crochet de la grue.

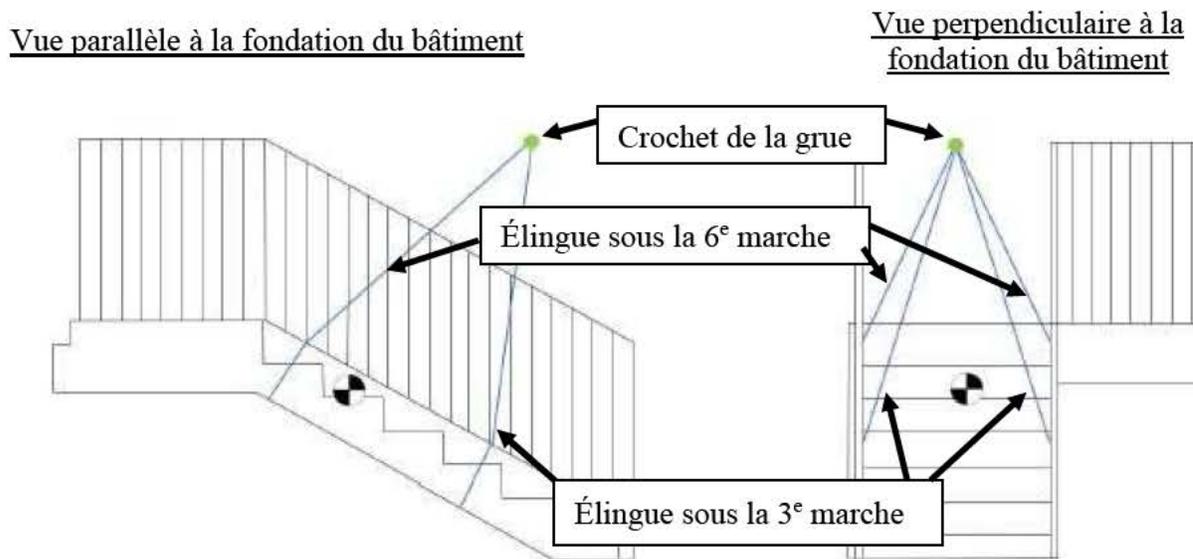


Fig. 7 - Positionnement des élingues en panier sur l'escalier¹
Source : M. Jean Ruel, ing, modifiée par CNESST

L'opérateur de la grue, alors situé aux commandes de la grue, met en tension les élingues pour supporter l'escalier.

Le collègue de travail va sous l'escalier et dévisse dans un premier temps l'écrou de l'ancrage mécanique #2 (figure 8). La rondelle est ensuite enlevée. Il fait de même pour l'ancrage mécanique #1.

Puisque les ancrages mécaniques ne peuvent être retirés de la fondation en béton, le collègue de travail coupe ensuite les tiges filetées des ancrages avec une meuleuse portable, en les laissant dépasser sous le palier de l'escalier. Les tiges d'ancrage demeurent ainsi dans la fondation et passent perpendiculairement dans l'âme de cette poutre en C.

¹ Le symbole  représente le positionnement du centre de gravité.

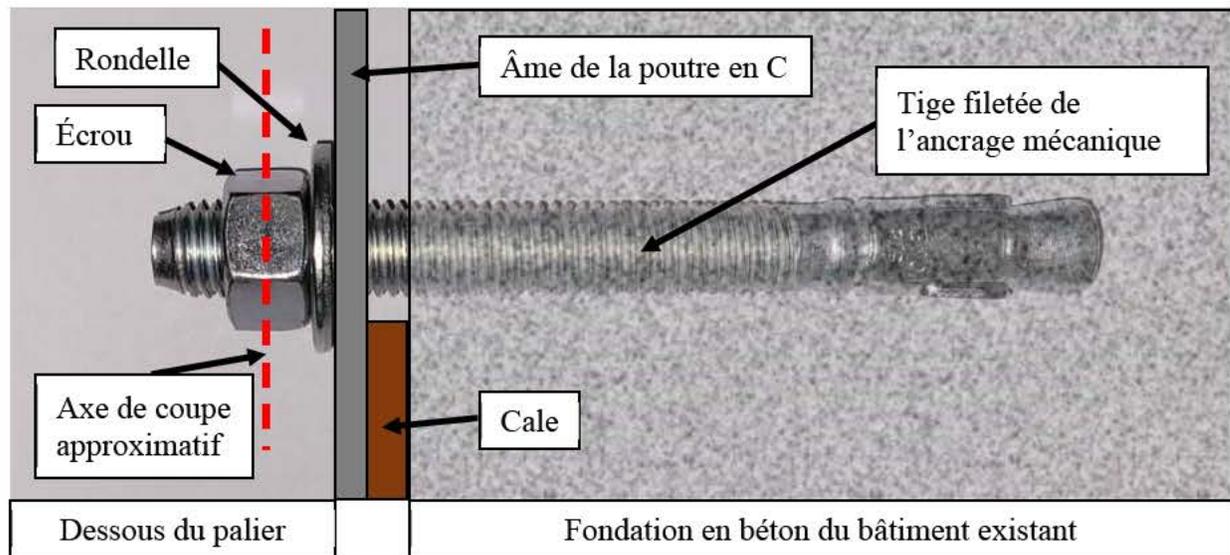


Fig. 8-Vue en coupe (approximative) de l'ancrage mécanique #2
Source : CNESST

Ce même travailleur défait ensuite les deux boulons structuraux de la plaque d'ancrage de l'agrandissement. Les écrous, rondelles et vis sont ainsi enlevés.

Les travailleurs essaient de tirer sur l'escalier, afin que les tiges filetées des ancrages mécaniques ne passent plus dans l'âme de la poutre en C. L'escalier ne bouge pas.

Ils utilisent ensuite une pelle pour retirer la neige se trouvant au pied de l'escalier, ainsi qu'une barre métallique pour décoincer l'escalier de la neige et de la glace. Le bas de l'escalier se soulève de quelques centimètres.

À ce moment, la cale n'est plus présente entre la structure de l'escalier et la fondation du bâtiment existant, la structure de l'escalier bouge et se rapproche de la fondation.

Le travailleur accidenté va sous l'escalier et coupe une deuxième fois les deux tiges filetées des ancrages de la fondation avec une meuleuse portative.

La tige filetée de l'ancrage #1 est coupée à ras la fondation (figure 9). La tige filetée de l'ancrage #2 dépasse de la fondation d'environ 7 mm à la suite de cette seconde coupe.

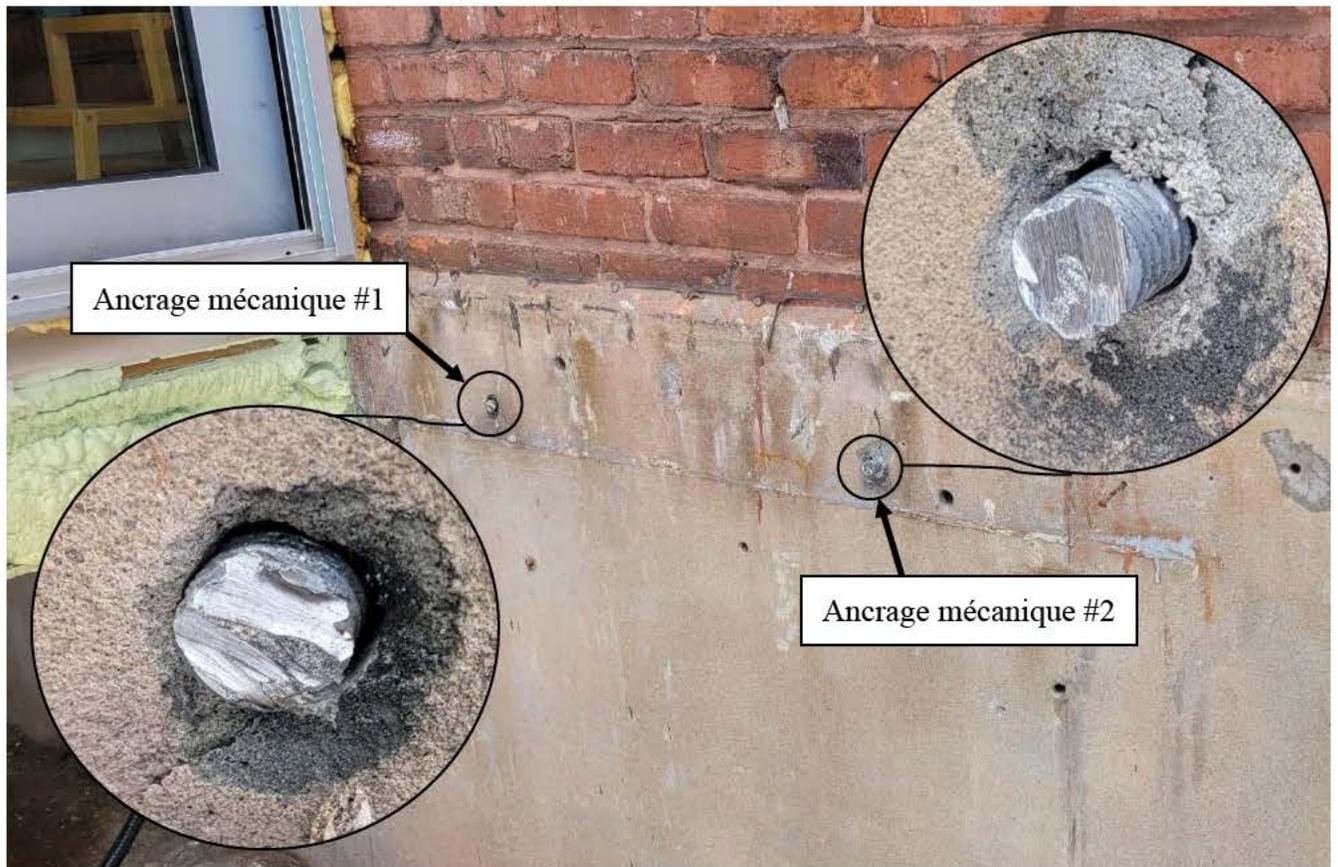


Fig.9-État des ancrages mécaniques de la fondation à la suite à la 2^e coupe
Source : CNESST

Alors que le travailleur accidenté se trouve sous le palier de l'escalier, il utilise un pied de biche pour séparer le platelage métallique (*steel deck*) du dessus du palier. Son collègue de travail tient le coin du palier, près de l'agrandissement. Le platelage métallique est séparé de la structure de l'escalier à plusieurs endroits. Les vis auto-perçantes demeurent fixées à la structure de l'escalier.

C'est au cours de cette opération que l'escalier bascule et heurte le travailleur accidenté au niveau du cou et de la tête. L'opérateur de la grue soulève l'escalier et le dépose à proximité (figure 10).

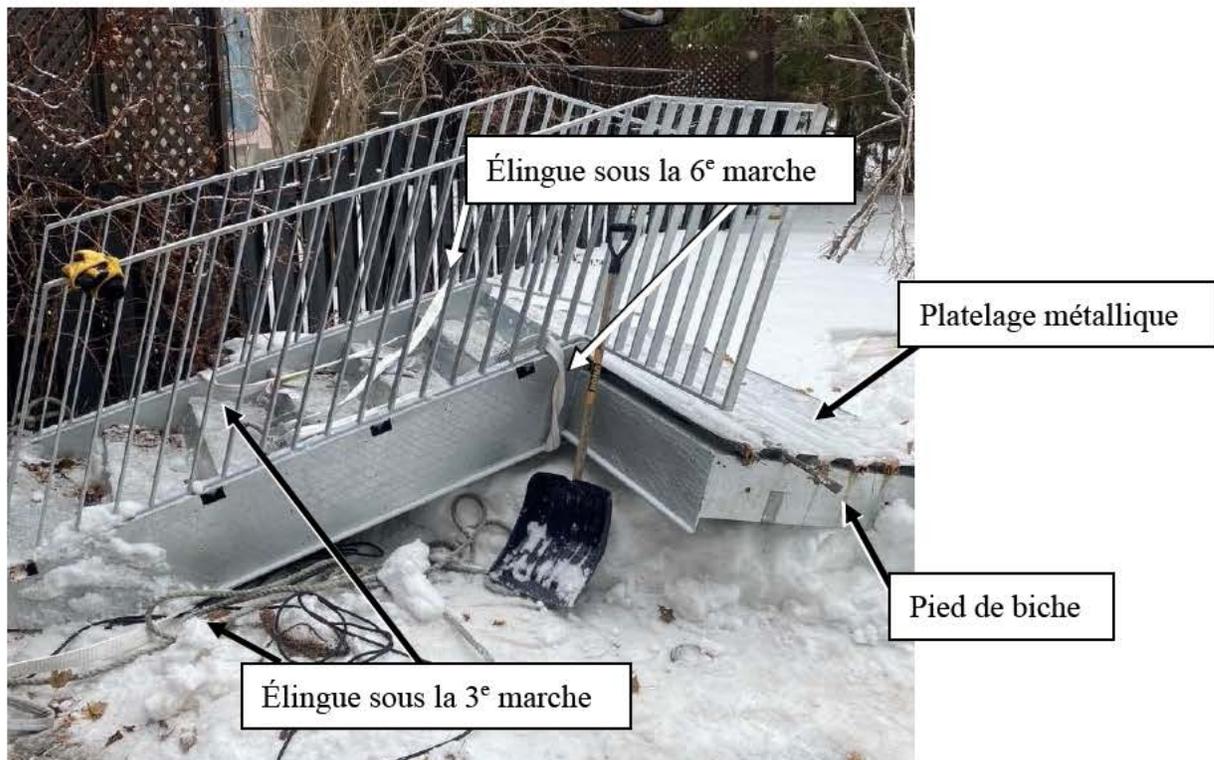


Fig. 10- Escalier à la suite de l'accident
Source : Soudure René Thibault inc., modifiée par CNESST

Le travailleur est transporté à l'hôpital et y décède des suites de ses blessures.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Description des équipements et du matériel utilisés

- Grue à flèche articulée de marque HIAB, modèle 166 E-5 CLX;
- Deux élingues synthétiques d'une longueur de 4,9 m (16 pi);
- L'escalier métallique est de conception spécifique pour ce chantier. Il a été conçu et assemblé par Soudure René Thibault inc. L'escalier est recouvert d'un placage galvanisé. Un platelage métallique couvre le dessus du palier. L'escalier a un poids approximatif de 1400 livres;
- Deux ancrages mécaniques à tiges filetées d'un diamètre de 15,9 mm (5/8 po), installées dans la fondation du bâtiment existant. Ce type d'ancrage ne peut être enlevé une fois installé dans la fondation du bâtiment;
- Une plaque d'ancrage fixée à l'agrandissement sert à la relier à l'escalier au moyen de deux boulons structuraux;
- Un pied de biche, une meuleuse portative, une barre métallique et une pelle.

4.2.2 Informations recueillies

Opérateur de la grue

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- Il a suivi la formation sur l'utilisation de la grue à flèche articulée présentée à la section 4.2.3 du présent rapport. Cette formation ne porte pas sur l'élingage des charges;
- Il était aux commandes de la grue lorsque l'accident est arrivé;
- Il connaît approximativement le poids de l'escalier et n'a aucune information sur le positionnement du centre de gravité;
- Il n'a pas installé les élingues, ni vérifié leur installation.

Collègue de travail

- [REDACTED]
- Il a suivi une formation sur l'utilisation de la grue à flèche articulée et a opéré différents équipements similaires;
- Il installe fréquemment des escaliers. Le retrait d'un escalier que l'entreprise a préalablement installé est peu fréquent, alors que le retrait des escaliers existants est plus fréquent;
- Il n'a pas participé à l'installation initiale de l'escalier. Une autre équipe de travail de Soudure René Thibault inc. a effectué ces travaux;
- Il connaît approximativement le poids de l'escalier et n'a aucune information sur le positionnement du centre de gravité;
- Il a installé les élingues sur l'escalier, en panier sous la 3^e et la 6^e marche.

Travailleur accidenté

- Il est [REDACTED] pour Soudure René Thibault inc. depuis environ [REDACTED] ans;
- Il a suivi la formation sur l'utilisation de la grue à flèche articulée présentée à la section 4.2.3 du présent rapport;
- Il a installé les élingues sur l'escalier avec son collègue de travail.

G

- Lors des travaux pour retirer l'escalier, il n'est pas présent sur le chantier. Il s'y présente après avoir été informé de l'accident;
- Il ne fournit pas de consigne spécifique pour effectuer les travaux de retrait de l'escalier.

4.2.3 Formation reçue par les travailleurs

La formation « Opération sécuritaire de camion flèche-grue » a été dispensée par la firme Formation CC. Cette formation prévoit une formation théorique approximative de 4 heures, suivie d'une évaluation pratique d'une durée d'environ 30 minutes par participant.

La formation théorique comprend notamment une partie sur la manutention de la charge et sur le centre de gravité.

La portion pratique prévoit notamment le levage de charge et la vérification des élingues.

4.2.4 Observations sur la structure de l'escalier

- La cale, installée entre la fondation et le côté extérieur de l'âme de la poutre en C du palier de l'escalier, a laissé une trace sur cette dernière (figure 11).



Fig. 11 Section de la structure du palier (poutre en C) appuyée sur la fondation
Source et modifiée : CNESST

- Des traits de coupes sont présents du côté intérieur de l'âme de la poutre en C qui s'appuie sur la fondation, autour des deux trous des ancrages mécaniques.
- Les traits de coupe autour du trou de l'ancrage mécanique #1 (figure 12) réduisent l'épaisseur de l'âme de la poutre en C, alors que ce n'est pas le cas autour de l'ancrage mécanique #2 (figure 13).



Fig. 12 - Trou de l'ancrage #1 et traits de coupe, vue intérieure de la poutre en C
Source : CNESST



Fig. 13 - Trou de l'ancrage #2 et trait de coupe, vue intérieure de la poutre en C
Source : CNESST

4.2.5 Observations sur le bâtiment existant

- Près de l'ancrage mécanique #2, la cale a laissé une trace d'oxydation sur la fondation (figure 14).

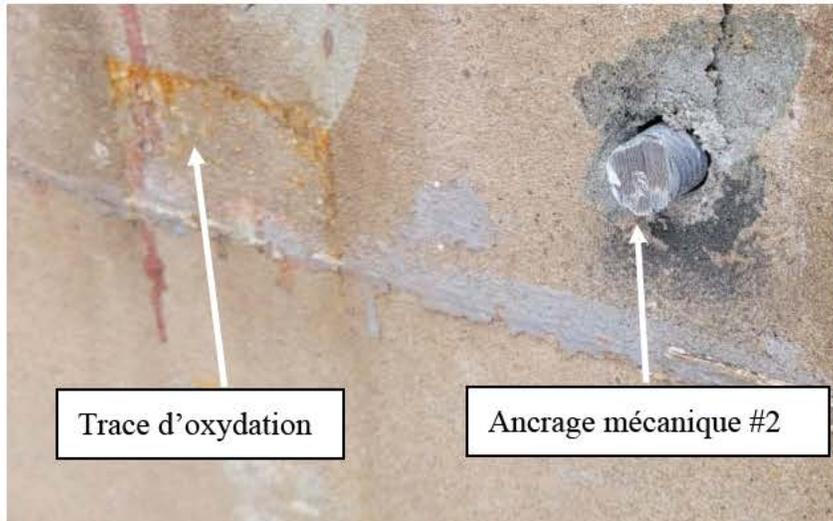


Fig. 14 - Oxydation sur la fondation du bâtiment existant
Source : CNESST

4.2.6 Résultat d'expertise

À la demande de la CNESST, une expertise a été réalisée afin de confirmer le poids de l'escalier et de valider le positionnement et le mouvement possible de l'escalier lors de son relâchement, en fonction de la méthode d'élingage utilisée.

Le rapport d'expertise se trouve à l'annexe C. Il contient l'information suivante relativement au poids de l'escalier :

- *La masse calculée de l'ensemble escalier-palier est 1375 lbs (625 kg). Une majoration de 2 à 4% pour tenir compte de la galvanisation porterait la masse totale à 1400-1430 lbs.*

En lien avec la figure 15 ci-dessous, il y est précisé que :

- *En situation de levage complet, c'est-à-dire lorsque l'ensemble n'est plus en contact avec le sol ni aucun autre appui, et qu'il est soulevé par les élingues et le crochet, l'ensemble escalier-palier et les élingues se comportent comme un corps rigide supporté en un point par le crochet. Les forces en présence sur ce corps sont la gravité, dirigée vers le bas et dont la résultante agit au centre de gravité de l'ensemble, ainsi que la force verticale de soutien par le crochet, dirigée vers le haut. Dans cette situation de levage complet, la position d'équilibre statique de cet ensemble est telle que le centre de gravité se retrouve situé directement sous le point de support par le crochet, c'est-à-dire que ces deux forces égales et opposées (gravité et force dans le crochet) sont colinéaires.*

- *Le centre de gravité [...] à l'équilibre en situation de levage complet sera donc situé directement sous le point D. Sur la vue de face [...], ceci implique une rotation significative dans le sens anti-horaire, d'un angle égal à l'angle entre les droites B et C, soit 36.4 degrés.*

Vue de face

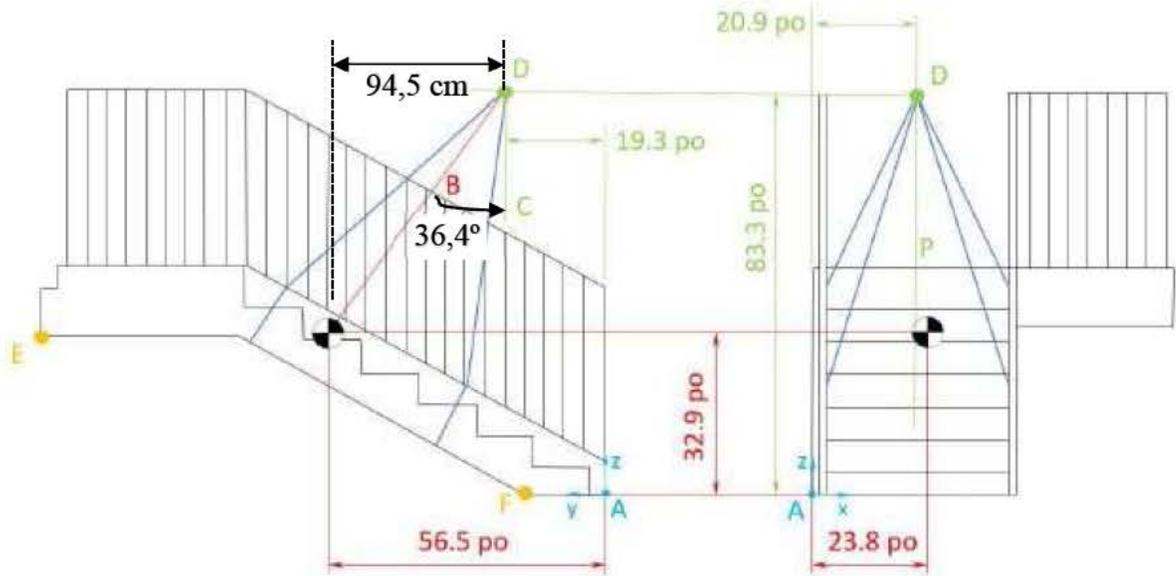


Fig. 15-Positionnement des élingues et du centre de gravité
Source : Rapport d'expertise de M. Jean Ruel, ing., modifiée par CNESST

En lien avec la figure 16, il y est indiqué que la position d'équilibre en situation de levage complet est illustrée : [...] Dans cette position, les surfaces horizontales du palier se retrouvent à un angle de 36.4 degrés sous l'horizontale, et le point E situé à l'extrémité du palier se retrouve à une hauteur positionnée à environ à 31 pouces sous la hauteur du point F.

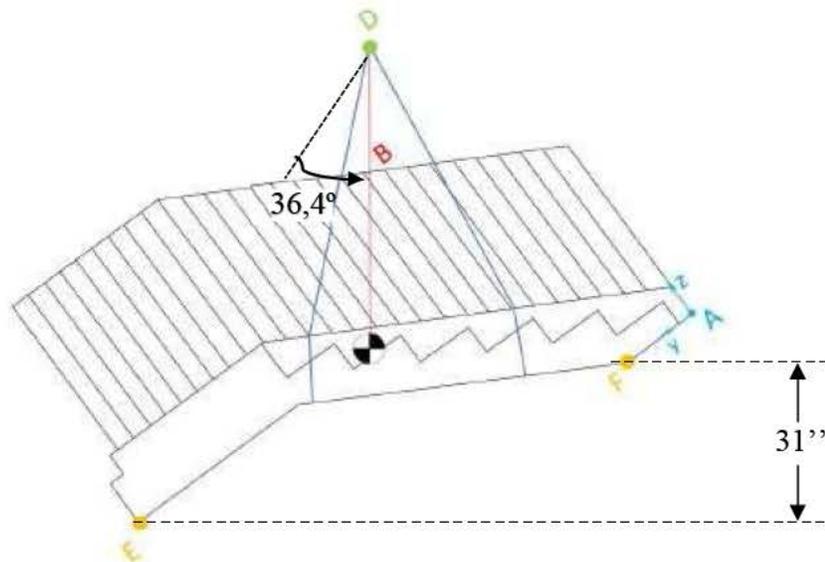


Fig. 16 - Position d'équilibre calculé lors d'un levage complet
Source : Rapport d'expertise de M. Jean Ruel, ing., modifiée par CNESST

En conclusion : [...] l'étude de la position du centre de gravité et de l'équilibre statique des forces avec la méthode d'élingage utilisée indique que sans la présence d'ancrages, l'ensemble était dans une position instable causant son pivotement autour d'un point situé à l'emplacement du crochet et le basculement du palier vers le sol.

4.2.7 Réglementation

Le *Code de sécurité pour les travaux de construction (S-2.1, r. 4)* (CSTC) prévoit notamment les exigences suivantes :

Article 3.10.4(4).

Toute manœuvre doit être exécutée de façon qu'aucun travailleur ne soit exposé à un danger. Aucune charge ne doit se trouver au-dessus de la tête des travailleurs et aucun travailleur ne doit se tenir sous une charge ou sous une partie d'un appareil de levage qui pourrait s'abattre sur lui.

La *Loi sur la santé et la sécurité du travail (S-2.1)* (LSST) prévoit notamment les exigences suivantes :

Article 51

L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique ou psychique du travailleur. Il doit notamment :

[...]

3° s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur;

[...]

5° utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;

[...]

9° informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié;

[...]

4.2.8 Norme

La norme **Code de sécurité sur les grues à flèche articulée – CSA Z150.3-17** prévoit différentes exigences quant aux travaux de levage, notamment :

Article 6.3.3.3.2 e) - Opérations générales de levage

L'opérateur doit s'assurer :

[...]

e) que personne n'est dans le rayon de rotation de la charge ou d'une partie quelconque de la grue à moins d'y avoir été autorisé par la personne chargée des travaux dans cette zone. Et personne, autant que possible, ne doit être autorisé à se placer sous une charge. L'opérateur devrait éviter de faire passer une charge au-dessus de la tête de quelqu'un. Personne ne devrait être autorisé à rester ou à passer sous une charge suspendue.

Article 6.3.3.3.3 d) - Opérations de levage avec un treuil et un câble de levage

On doit s'assurer de ce qui suit :

[...]

d) le câble de levage doit être amené au-dessus du centre de gravité de la charge afin d'éviter que celle-ci se balance et que la flèche soit chargée latéralement.

[...]

4.2.9 Ouvrage de référence

Le manuel *Gréage et levage : Guide de sécurité* fournit différentes informations sur le centre de gravité, notamment quant aux objets de forme irrégulière :

Le centre de gravité d'un objet symétrique et de composition uniforme se confond avec son centre géométrique. Dans le cas des objets de forme irrégulière

toutefois, le centre de gravité peut être plus difficilement localisable. Le gréeur devra souvent l'évaluer selon son bon jugement, amarrer la charge en conséquence, demander un essai de levage et, après avoir observé la charge suspendue, déterminer le centre de gravité plus précisément et ajuster le crochet, la charge et les élingues afin d'équilibrer et de stabiliser la charge le mieux possible. [...]

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Le travailleur est heurté lors du basculement de l'escalier, alors qu'il se trouve sous cette charge.

Le 3 février 2022, trois travailleurs de l'entreprise Soudure René Thibault inc. se présentent au chantier pour effectuer le retrait d'un escalier métallique. L'escalier, ayant un poids d'environ 1400 livres, requiert l'utilisation d'une grue à flèche articulée pour effectuer les travaux.

Une fois la grue en place, le travailleur accidenté et son collègue de travail installent en panier les deux élingues de 4,9 m, l'une sous la 3^e marche et l'autre, sous la 6^e marche de l'escalier, entre les barreaux des balustrades. Les quatre extrémités des élingues sont reliées au crochet de la grue.

À ce moment, l'escalier est toujours fixé au bâtiment existant par deux ancrages mécaniques installés dans la fondation. Ce type d'ancrage, ne pouvant pas être enlevé, doit être coupé. L'escalier est également fixé à la plaque d'ancrage de l'agrandissement par deux boulons structuraux. Ces boulons doivent être dévissés pour être enlevés. Pour procéder au retrait de l'escalier, les travailleurs doivent le désolidariser de ces ancrages et boulons.

L'opérateur de la grue relève son crochet et met en tension les élingues afin de supporter l'escalier.

Compte tenu de la position et de la configuration des élingues, leur mise sous tension fait en sorte que le crochet de la grue n'est pas positionné au-dessus du centre de gravité de l'escalier. Le centre de gravité de l'escalier se trouve au-dessus de la 5^e marche, alors que le crochet se trouve au-dessus de la 2^e marche. Sur le plan horizontal parallèle à la fondation, le crochet est ainsi à une distance d'environ 94,5 cm du centre de gravité (figure 15).

Alors que les élingues sont en tension par le crochet de la grue, le collègue de travail va sous le palier de l'escalier et enlève les écrous et les rondelles des deux ancrages de la fondation. Au moment où l'escalier commence à être désolidarisé de ses ancrages, il fait partie de la charge soulevée par la grue. Le collègue de travail coupe ensuite les tiges filetées de ces deux ancrages depuis le dessous du palier de l'escalier en utilisant une meuleuse portative. Il laisse les tiges filetées dépasser afin qu'elles supportent l'escalier. Le collègue de travail défait ensuite les deux boulons structuraux de la plaque d'ancrage de l'agrandissement.

Les travailleurs essaient de tirer l'escalier pour le dégager des tiges d'ancrages de la fondation. L'escalier ne bouge pas, notamment parce que la plaque d'ancrage de l'agrandissement empêche un mouvement horizontal de la structure, en direction perpendiculaire à la fondation du bâtiment existant. En effet, la largeur entre la plaque d'ancrage de l'agrandissement et la fondation étant d'environ 168,3 cm et la largeur de la structure de l'escalier étant d'environ 168 cm, il y a un écart d'environ 3 mm, empêchant un mouvement de l'escalier dans cet axe. Les deux tiges

filetées des ancrages qui passent dans les trous de la structure de l'escalier empêchent également un mouvement vertical et horizontal de l'escalier dans l'axe parallèle à la fondation.

Les travailleurs utilisent une pelle pour enlever la neige au pied de l'escalier et une barre métallique sous la première marche pour le décoincer de la neige et de la glace. Le bas de l'escalier se soulève de quelques centimètres. La cale n'étant plus présente entre la structure de l'escalier et la fondation du bâtiment existant, ceci permet à la structure de l'escalier de pivoter légèrement de sorte qu'elle se rapproche de la fondation du bâtiment existant.

Le travailleur accidenté va sous l'escalier et coupe une deuxième fois les deux tiges filetées des ancrages de la fondation avec une meuleuse portable.

La tige filetée de l'ancrage mécanique #1 est coupée à ras la fondation en meulant à la fois une partie du contour du trou de l'âme de la poutre en C de la structure métallique. Cette tige filetée ne supporte ainsi plus l'escalier et n'en restreint plus le mouvement.

La tige filetée de l'ancrage #2 est coupée de sorte qu'elle dépasse la fondation d'environ 7 mm. Elle passe ainsi dans le trou de la poutre en C de la structure, qui a une épaisseur d'environ 6 mm. La tige filetée restreint toujours le mouvement de l'escalier dans l'axe parallèle à la fondation.

Le travailleur accidenté utilise un pied de biche pour séparer le platelage métallique. Il désolidarise le platelage métallique de la structure de l'escalier. Ces travaux engendrent des secousses à l'escalier ce qui le fait pivoter à nouveau, dégageant ainsi la poutre en C de la tige filetée de l'ancrage #2. L'escalier se trouve alors libre d'appui et est entièrement soulevé par la grue.

Le crochet de la grue étant déporté sur le plan horizontal, parallèlement à la fondation du bâtiment, d'environ 94,5 cm vers la droite, par rapport au centre de gravité de l'escalier, la charge cherche à retrouver sa position d'équilibre. Le centre de gravité de l'escalier tend à se retrouver directement sous le crochet de la grue. Il en résulte un basculement de l'escalier en sens antihoraire d'environ 36,4 degrés. Le travailleur accroupi sous le palier, initialement situé à une hauteur d'environ 84 cm (32.9 pouces), se fait ainsi heurter à la tête et au cou par l'escalier lors de son basculement.

Cette cause est retenue.

4.3.2 L'employeur ne s'assure pas que les travaux de retrait de l'escalier métallique soient effectués de manière sécuritaire.

Le programme de prévention n'identifie pas l'activité d'installation et de retrait d'un escalier métallique, bien qu'il s'agisse d'activités fréquemment exécutées par l'entreprise.

Cependant, l'activité à risque « Utilisation d'un véhicule pour le levage de matériaux ou de travailleurs » est identifiée dans le programme de prévention. La mesure de prévention identifiée est la même que celle prévue à l'article 3.10.4(4) du CSTC, soit que « toute manœuvre doit être exécutée de façon qu'aucun travailleur ne soit exposé à un danger. Aucune charge ne doit se trouver au-dessus de la tête des travailleurs et aucun travailleur ne doit se tenir sous une charge ou sous une partie d'un appareil de levage qui pourrait s'abattre sur lui ».

On y prévoit la formation et l'information des travailleurs et la vérification du respect des consignes.

Les trois travailleurs présents ont reçu la formation donnée par la firme Formation CC. Le volet théorique traite notamment de la manutention de la charge et du centre de gravité. Son volet pratique inclut le levage de charge et la vérification des élingues.

Or, lorsque les travailleurs se présentent au chantier pour procéder au retrait de l'escalier, ils n'ont reçu aucune consigne spécifique pour exécuter les travaux. Il n'y a aucune méthode de travail d'établie. Il n'y a aucun responsable de chantier présent sur les lieux pour s'assurer que les travaux soient effectués de manière sécuritaire. L'on se fie sur l'expérience des travailleurs.

Compte tenu que les ancrages mécaniques dans la fondation ne peuvent être retirés une fois installés, l'escalier ne peut pas être enlevé en inversant les étapes réalisées lors de l'installation. L'escalier est ainsi coincé entre la plaque d'ancrage de l'agrandissement et la fondation du bâtiment. Les travailleurs doivent improviser afin d'enlever l'escalier.

Les travailleurs connaissent approximativement le poids de l'escalier, mais n'ont aucune information quant au positionnement du centre de gravité de l'escalier. Il ne figure pas sur les plans de montage.

Comme le levage de l'escalier se fait graduellement alors qu'il est désolidarisé de ses ancrages, l'évaluation du centre de gravité et le positionnement des élingues ne peut se faire en effectuant des levages d'essai.

Également, aucune information n'est fournie aux travailleurs quant à la manière avec laquelle l'escalier doit être élingué.

En l'absence de ces informations, les élingues sont installées sous la 3^e marche et la 6^e marche de l'escalier. Le crochet de la grue se trouve ainsi déporté sur le plan horizontal d'environ 94,5 cm vers la droite par rapport au centre de gravité de l'escalier lorsque les élingues sont mises sous tension.

À cet effet, l'article 6.3.3.3 d) de la norme *Code de sécurité sur les grues à flèche articulée – CSA Z150.3-17* prévoit que « le câble de levage doit être amené au-dessus du centre de gravité de la charge afin d'éviter que celle-ci se balance et que la flèche soit chargée latéralement. [...] ».

Il s'avère que le travailleur accidenté est sous le palier de l'escalier lorsque celui-ci est libéré de l'ensemble des ancrages. Le crochet n'étant pas situé au-dessus du centre de gravité de l'escalier, la situation prévue à l'article 6.3.3.3.3 d) se matérialise et l'escalier bascule.

L'ensemble des travaux sous le palier sont ainsi des travaux effectués sous une charge soulevée par la grue. Contrairement à ce que prévoient le programme de prévention et l'article 3.10.4(4) du CSTC, aucune mesure n'est prévue ni appliquée pour empêcher que la charge ne puisse s'abattre sur les travailleurs qui œuvrent en dessous de celle-ci.

En n'identifiant pas adéquatement les risques liés au retrait de l'escalier métallique, en ne fournissant aucune consigne spécifique et aucune méthode de travail à appliquer pour exécuter ces travaux et en n'assurant pas la supervision de ceux-ci, l'employeur ne s'assure pas que les travaux de retrait de l'escalier métallique soient effectués de manière sécuritaire, contrairement à ce qui est prévu aux articles 51al.1(3), 51al.1(5) et 51al.1(9) de la Loi sur la santé et la sécurité du travail.

Cette cause est retenue.

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

- Le travailleur est heurté lors du basculement de l'escalier, alors qu'il se trouve sous cette charge.
- L'employeur ne s'assure pas que les travaux de retrait de l'escalier métallique soient effectués de manière sécuritaire.

5.2 Suivi de l'enquête

La CNESST transmettra les conclusions de son enquête aux associations suivantes afin qu'elles informent leurs membres des conclusions de l'enquête.

- L'association de la construction du Québec
- L'association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec
- L'association patronale des entreprises en construction du Québec
- L'association des entrepreneurs en construction du Québec

Le rapport sera également transmis aux associations sectorielles paritaires ainsi qu'aux gestionnaires de mutuelles de prévention.

La CNESST transmettra son rapport au ministère de l'Éducation afin que celui-ci le diffuse dans les centres de formation offrant les programmes des métiers de la construction ainsi que les programmes, de soudage-coupage, de soudage assemblage et de montage structural et architectural.

ANNEXE A**Accidenté**

Nom, prénom : F [REDACTED]

Sexe : [REDACTED]

Âge : [REDACTED]

Fonction habituelle : [REDACTED]

Fonction lors de l'accident : Monteur-assembleur

Expérience dans cette fonction : [REDACTED]

Ancienneté chez l'employeur : [REDACTED]

Syndicat : [REDACTED]

ANNEXE B**Liste des personnes interrogées**

- Mme Danielle Barabé, directrice générale, Soudure René Thibault inc.
- M. G [REDACTED], Soudure René Thibault inc.
- M. I [REDACTED], Soudure René Thibault inc.
- M. J [REDACTED], Soudure René Thibault inc.
- M. Nicholas Deslauriers, président, Construction N. Deslauriers inc.
- M. Georges Benjamin, ambulancier
- M. Maxime Maurice, ambulancier
- Mme K [REDACTED]
- M. L [REDACTED]

ANNEXE C

Rapport d'expertise

Expertise sur le levage d'un escalier métallique

réalisée pour la
Direction de la prévention-inspection Montréal - Construction de la
Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST)

par

Jean Ruel, ing., Ph.D.
Professeur titulaire
Département de génie mécanique de l'Université Laval

19 octobre 2022

Introduction

Ce rapport est la réalisation d'un mandat qui m'a été confié le 6 mai 2022 par la Direction de la prévention-inspection Montréal - Construction de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST).

Le mandat est exprimé dans le document intitulé « DEMANDE DE SOUMISSION - Expertise sur le levage d'un escalier métallique » produit par la Direction de la prévention-inspection Montréal - Construction de la CNESST. D'autres informations, ainsi que des documents techniques et visuels, m'ont été fournis pour réaliser l'expertise.

Le mandat d'expertise comportait les trois éléments suivants :

- 1) Confirmer le poids de l'escalier.
- 2) Faire une simulation de levage de l'escalier et valider son positionnement selon la méthode d'élingage utilisée.
- 3) Évaluer le mouvement possible de l'escalier lors de son relâchement en fonction de la méthode d'élingage utilisée.

La méthodologie que j'ai proposée dans mon offre de services pour répondre aux points ci-dessus était une étude analytique des éléments mécaniques impliqués dans le déroulement de l'accident. Entre autres, le travail comprenait une étude de la géométrie, le calcul analytique de la masse de l'ensemble escalier-palier et de la position de son centre de gravité, l'évaluation des forces statiques en présence, l'évaluation des interactions entre les différents éléments et l'évaluation du mouvement résultant du levage selon la configuration rapportée dans les différents documents.

En particulier, ma proposition pour répondre au point 2) du mandat était une description textuelle, appuyée par l'étude de l'équilibre des forces, du mouvement possible de l'escalier lors du levage. Le point 3) du mandat découlait directement de l'étude analytique et de la description textuelle de l'équilibre de l'ensemble au début du levage.

De plus, des essais expérimentaux de levage de l'ensemble escalier-palier ont été réalisés le 9 juin 2022 par Madame Cynthia St-Louis, inspectrice à la CNESST, et Monsieur Simon Guay, inspecteur à la CNESST, et les résultats de ces essais expérimentaux seront mis en relation avec l'étude analytique présentée dans ce rapport.

Le présent rapport répond aux points énumérés ci-dessus.

Analyse technique

L'analyse technique s'est appuyée sur des données dimensionnelles et des informations techniques qui m'ont été fournies par la CNESST, dont notamment des informations concernant la géométrie via les plans de fabrication de l'escalier et du palier, ainsi que les dimensions et la position des élingues fixées à l'escalier pour supporter l'ensemble.

La figure 1 présente une photographie de l'escalier et du palier, constitués d'acier et présentant un fini de surface galvanisé pour les protéger contre la corrosion. La figure 2 présente des vues schématiques en élévation, c'est-à-dire une vue de face (vue présentée à gauche) ainsi qu'une vue de droite (vue présentée à droite). L'escalier et le palier constituent un ensemble solidaire rigide. Dans ce qui suit, les termes « ensemble » et « ensemble escalier-palier » sont utilisés pour référer à cet ensemble solidaire rigide.



Figure 1 : photographie de l'escalier et du palier.

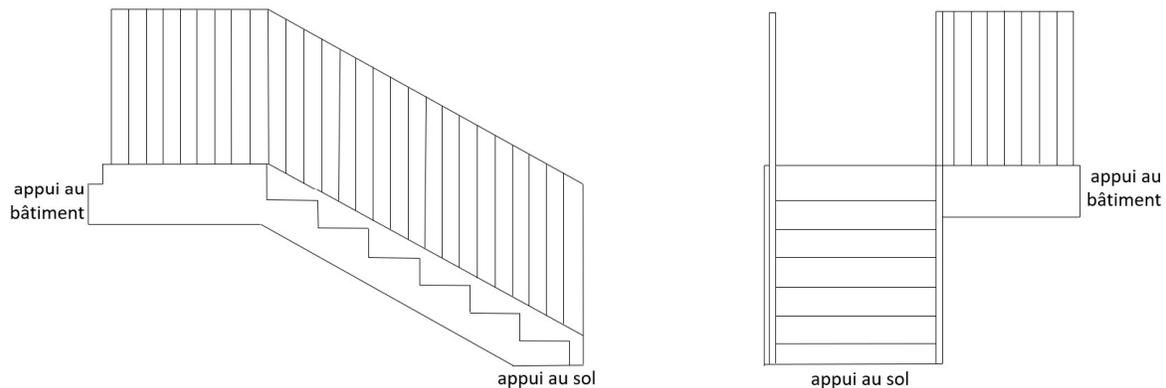


Figure 2 : vue de face et vue de droite de l'escalier et du palier.

Calcul de la position du centre de gravité

L'étude de l'équilibre de l'ensemble escalier-palier requiert la connaissance de la position du centre de gravité. Des plans détaillés de toutes les pièces et de l'assemblage soudé m'ont été fournis. Ceux-ci étaient réalisés en système impérial d'unités, c'est-à-dire que les dimensions étaient indiquées en pouces, et plusieurs masses étaient indiquées en lbs. Ce système d'unités est donc celui qui a été utilisé pour les calculs et la présentation des résultats. Ces informations m'ont permis de calculer, par la sommation pondérée de la position du centre de gravité de chacune des pièces constituant l'ensemble, la position du centre de gravité de l'escalier et du palier. La sommation des masses calculées pour chaque pièce m'a permis de calculer la masse totale de l'ensemble. La figure 3 présente la position du centre de gravité par rapport au système de coordonnées utilisé pour les calculs, ce dernier étant situé au bas de l'escalier, à droite, sur la face située la plus à l'avant. Le système de coordonnées est tracé en bleu sur la figure. Le plan x-y est situé au niveau du sol, sous la surface la plus basse de l'escalier, tandis que le plan y-z est situé sur la face avant de l'escalier, c'est-à-dire la face la plus éloignée du bâtiment principal. L'axe z est la hauteur verticale à partir du sol.

Un chiffrier a été constitué afin de calculer la position du centre de gravité de chacune des pièces individuelles assemblées pour constituer l'escalier et le palier. La plupart des dimensions ont été tirées ou calculées à partir des plans fournis. Certaines composantes étaient identifiées à partir de leur désignation générique commerciale, et les données de dimensions et de masse ont été tirées de la référence [1].

À partir des volumes calculés de chacune des pièces individuelles, la masse de chaque pièce a été calculée en utilisant une masse volumique standard pour l'acier, soit 0.283 lbs/pouce³. La masse et l'épaisseur du placage galvanisé n'ont pas été considérés dans les

calculs. À ce sujet, le site web de l’American Galvanizers Association (AGA, référence [3]) indique que le procédé de galvanisation peut ajouter jusqu’à 15% à la masse d’une pièce ou d’une structure. Les cas où la masse ajoutée est la plus importante sont ceux où les pièces d’origine sont minces, que les surfaces traitées sont importantes, comme par exemple dans le cas d’ailettes de refroidissement. On peut aussi constater sur le site de l’AGA que pour des structures d’acier, la masse ajoutée dépend grandement de l’épaisseur de la protection, en plus de dépendre du type de structure, mais que cette masse ajoutée se situe entre 2 et 6%. Pour une épaisseur modérée et une structure légère, la masse ajoutée est de l’ordre de 2%. Dans la présente analyse, puisque tout l’ensemble escalier-palier était galvanisé, la répartition de cette masse ajoutée relativement faible se retrouvait uniformément répartie dans l’espace sur l’ensemble de la structure. Ces différentes considérations m’amènent à conclure que l’effet de la galvanisation sur la position du centre de gravité est faible et du même ordre que les autres incertitudes, notamment celle relatives à l’obtention de certaines dimensions à partir des plans.

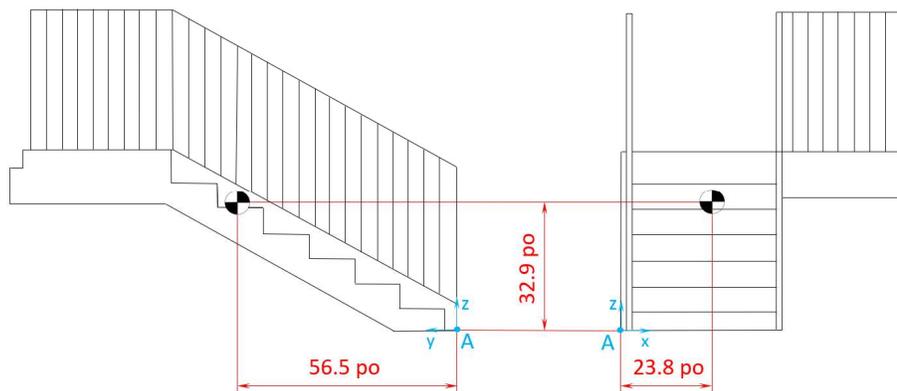


Figure 3 : position du centre de gravité.

Les dimensions indiquées sur la figure définissent la position du centre de gravité par rapport au système de coordonnées positionné au point A et tracé en bleu sur la figure 3.

La masse totale calculée pour l’ensemble est de 1375 lbs (625 kg). Une majoration de cette masse de 2 à 4% pour tenir compte de la galvanisation porterait la masse totale à 1400-1430 lbs.

Analyse de l'équilibre des forces

Dans la situation à l'étude, l'ensemble escalier-palier était préalablement fixé au bâtiment. Des élingues avaient été disposées afin de soutenir l'ensemble, pour qu'il puisse ensuite être libéré de ses fixations au bâtiment, puis soulevé et retiré de son emplacement à l'aide d'une grue. Deux élingues de 16 pieds ont été utilisées. La figure 4 montre la position dans laquelle avaient été placées les élingues pour soutenir l'ensemble. Les élingues sont illustrées par les lignes bleues sur la figure 4, et la position du passage des élingues entre les barreaux des gardes de l'escalier est telle que rapportée lors de l'événement. Les extrémités des élingues se rejoignent au point D, qui est l'endroit où les 4 extrémités étaient fixées au crochet de la grue. J'ai supposé que le crochet de la grue avait été positionné dans un plan vertical situé à mi-chemin entre les deux gardes de l'escalier. Ce plan correspond à la ligne verte identifiée par la lettre P sur la vue de droite de la figure 4.

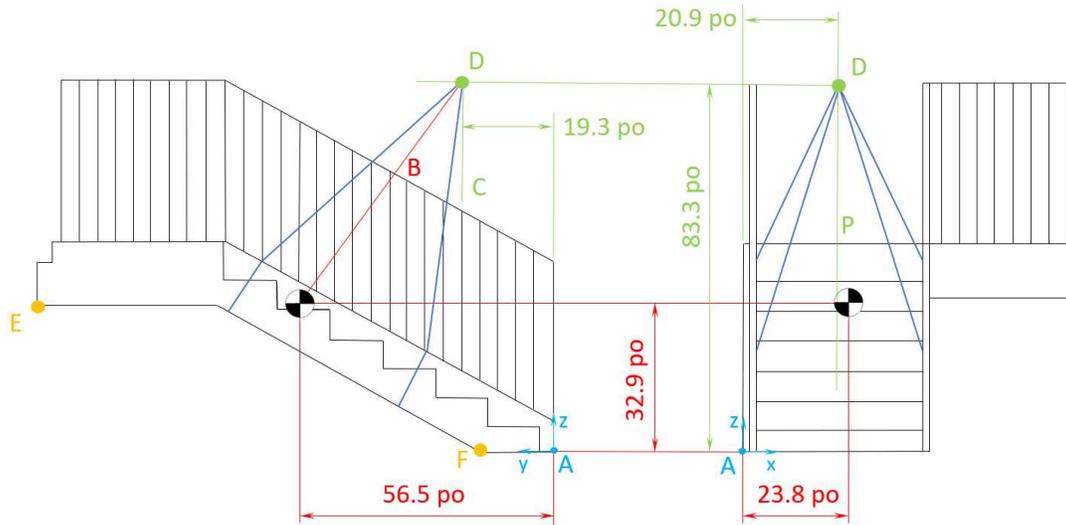


Figure 4 : position des élingues.

Les points 2) et 3) du mandat d'expertise sont liés et requièrent une analyse des forces en présence et de l'équilibre statique de l'ensemble. Le point 2) concerne une évaluation de la situation de levage, et le point 3) concerne l'évaluation du mouvement possible de l'escalier lors de son relâchement (libération des ancrages au bâtiment) en fonction de la méthode d'élingage utilisée, ce relâchement constituant l'étape préalable nécessaire au levage et au retrait de l'escalier. Si l'on considère l'instant où tous les ancrages de l'escalier et du palier sur le bâtiment furent libérés, l'ensemble escalier-palier était alors soutenu par les 4 élingues, en plus d'un appui au sol sous la base de la première marche de l'escalier, c'est-à-dire le plan x-y de la figure 4, et possiblement un appui horizontal au mur situé à gauche du palier, c'est-à-dire le mur de l'agrandissement, au bas de la porte

(point E sur la figure 4). Il m'a été rapporté que la base de l'escalier au sol sous la première marche avait été libérée de la glace. Il est donc probable que cet appui au sol offrait uniquement un support vertical et peu de retenue horizontale au sol.

En situation de levage complet, c'est-à-dire lorsque l'ensemble n'est plus en contact avec le sol ni aucun autre appui, et qu'il est soulevé par les élingues et le crochet, l'ensemble escalier-palier et les élingues se comportent comme un corps rigide supporté en un point par le crochet. Les forces en présence sur ce corps sont la gravité, dirigée vers le bas et dont la résultante agit au centre de gravité de l'ensemble, ainsi que la force verticale de soutien par le crochet, dirigée vers le haut. Dans cette situation de levage complet, la position d'équilibre statique de cet ensemble est telle que le centre de gravité se retrouve situé directement sous le point de support par le crochet, c'est-à-dire que ces deux forces égales et opposées (gravité et force dans le crochet) sont colinéaires.

Le centre de gravité (points rouges sur la figure 4) à l'équilibre en situation de levage complet sera donc situé directement sous le point D. Sur la vue de face (à gauche sur la figure 4), ceci implique une rotation significative dans le sens anti-horaire, d'un angle égal à l'angle entre les droites B et C, soit 36.4 degrés. La position d'équilibre en situation de levage complet est illustrée à la figure 5. Dans cette position, les surfaces horizontales du palier se retrouvent à un angle de 36.4 degrés sous l'horizontale, et le point E situé à l'extrémité du palier se retrouve à une hauteur positionnée à environ à 31 pouces sous la hauteur du point F.

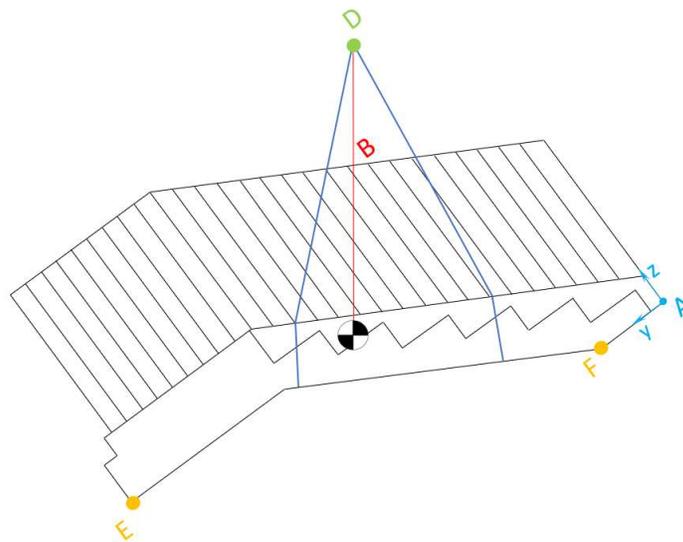


Figure 5 : position d'équilibre calculée lors d'un levage complet.

Si l'on considère maintenant la vue de droite de la figure 4, on peut constater dans cette direction que le centre de gravité est assez près du plan vertical où se trouve le crochet

(point D). En situation de levage, le centre de gravité (point rouge) à l'équilibre sera situé directement sous le point D, ce qui implique, dans l'orientation de cette vue, une faible rotation dans le sens horaire.

Le mouvement prédominant en situation de levage complet est la rotation de 36.4 degrés illustrée à la figure 5.

Le point 3) de l'expertise concerne l'évaluation du mouvement possible de l'escalier lors de son relâchement en fonction de la méthode d'élingage utilisée. Revenant à la figure 4 qui présente l'escalier et le palier dans leur position initiale fixe, juste avant la libération des ancrages au bâtiment, il a été exposé dans ce qui précède que le centre de gravité était situé à gauche du point de levage (crochet) sur la vue de face (la vue de face est celle située à gauche sur la figure 4), et que cette configuration n'était pas à l'équilibre en l'absence d'autres forces pour retenir l'ensemble. L'ensemble escalier-palier aura tendance à pivoter dans le sens anti-horaire en l'absence d'autres points de soutien que les forces exercées par les élingues.

Lors de la libération des ancrages au bâtiment, le mur situé à gauche du palier sur la vue de face de la figure 4 (vue située à gauche) pouvait offrir un appui horizontal (dans la direction -y du système de coordonnées de la figure 4) du palier au point E. Cet appui offert par le mur de l'extension du bâtiment pouvait restreindre horizontalement (seulement vers la gauche, c'est-à-dire vers l'extension du bâtiment) le mouvement de l'ensemble escalier-palier. Par contre, pour que cet appui (une possible force dans la direction -y seulement) empêche la rotation et la chute de l'ensemble, une seconde force est nécessaire. Dans la situation à l'étude, une telle force aurait pu être une force de retenue horizontale suffisante (frottement ou autre) au point F (sous la première marche) pour ne pas que le pivotement se produise. Or, il a été rapporté que la base de l'escalier avait effectivement été libérée de la glace, ce qui réduit la probabilité que cette surface ait offert une réaction horizontale dans la direction +y pour contraindre l'ensemble et empêcher le mouvement. Dans la configuration à l'étude, le relâchement des appuis et ancrages a entraîné un mouvement vers le bas du palier par pivotement de l'ensemble.

Essais expérimentaux de levage

Dans ce qui précède, l'analyse a utilisé le résultat calculé de la position du centre de gravité pour réaliser une étude de l'équilibre statique des forces en présence et identifier les mouvements possibles.

Tel que mentionné en introduction de ce rapport, des essais expérimentaux de levage de l'ensemble escalier-palier ont été réalisés le 9 juin 2022 par Madame Cynthia St-Louis, inspectrice à la CNESST, et Monsieur Simon Guay, inspecteur à la CNESST, et les résultats de ces essais constituent un complément expérimental à l'étude analytique. Des photographies et vidéos documentent ces essais de levage.

Tout d'abord, si l'on observe les résultats du levage complet de l'ensemble, on peut observer sur la figure 6 la position d'équilibre résultant de la suspension par des élingues similaires et disposées telles que celles présentes lors de l'accident.

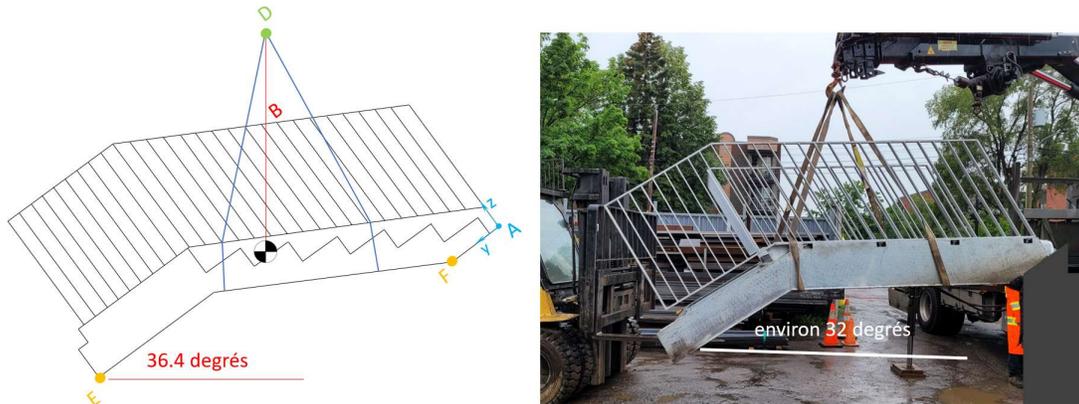


Figure 6 : essai de levage, suspension complète de l'ensemble.

La photographie présentée à la figure 6 a été choisie parmi plusieurs photographies prises lors de l'essai de levage. La profondeur de l'image apporte une certaine déformation des objets, mais dans le plan qui nous intéresse, c'est-à-dire le plan de la face avant du garde de l'escalier situé le plus près de la caméra, les lignes droites sont très droites, et les lignes que l'on sait parallèles sur l'ensemble escalier-palier sont parallèles également sur l'image, ce qui suggère que le plan de prise de l'image était assez parallèle au plan du garde de l'escalier. En l'absence d'une ligne d'horizon, il est difficile d'évaluer précisément la direction horizontale sur une photo, mais on peut présumer que la personne qui prend la photo a instinctivement tendance à positionner son appareil à l'horizontale à partir de sa perception hors champ de la scène prise en photo. Également, je me suis servi comme référence horizontale des barres d'acier qui sont empilées et positionnées derrière le chariot élévateur, ainsi que de l'arête horizontale du conteneur/bâtiment gris pâle qui se trouve derrière. En utilisant ces références, la mesure de l'angle du palier par rapport à l'horizontale sur l'image est d'environ 32 degrés, ce qui est assez près de la valeur de 36.4 calculée à partir des caractéristiques de toutes les pièces constituant l'ensemble escalier-palier. Ceci constitue une confirmation de la position calculée du centre de gravité de l'ensemble, ainsi que l'angle d'équilibre de l'ensemble lorsqu'il est complètement soulevé avec des élingues disposées similairement à la situation à l'étude.

Outre les différentes incertitudes pouvant affecter le calcul analytique de la position du centre de gravité, l'analyse théorique a été fait en supposant une géométrie d'installation

des élingues parfaitement symétrique, ce qui ne peut être le cas dans la réalité. Certaines observations sur les photographies des essais de levage permettent d'identifier certaines asymétries dans la géométrie et le positionnement des élingues. Sur la figure 6, il peut être observé que l'élingue de droite (identifiée par la lettre B) semble plus longue que celle de gauche (identifiée par la lettre A). En mesurant les longueurs, on observe une différence de 5-6% entre les longueurs des élingues. Si l'élingue B située à droite sur l'image de la figure 6 est plus longue, ceci diminue l'angle de rotation de l'ensemble.



Figure 6 : différence de longueur des élingues.

Sur la figure 7, il peut être observé que le crochet, c'est-à-dire le point où se rejoignent les 4 brins des élingues, est décentré vers la droite par rapport au plan central entre les deux gardes de l'escalier (le plan qui avait été identifié par la lettre P sur la figure 4 qui présentait la géométrie symétrique du modèle idéalisé). En fait, le crochet est situé à une distance suffisante à droite du plan central pour se retrouver à droite du centre de gravité plutôt qu'à sa gauche, ce qui a pour effet que la faible rotation observable sur la figure 7 est dans le sens anti-horaire, alors que la position calculée du centre de gravité indiquait analytiquement que l'ensemble devrait plutôt tourner légèrement dans le sens horaire.



Figure 7 : position décentrée (vers la droite) du crochet par rapport au plan de symétrie entre les gardes de l'escalier.

Autre différence notable entre les essais de levage et le modèle analytique, le revêtement sur le dessus du palier n'était pas présent lors de l'essai, et l'absence de cette gravité contribue aussi à réduire l'angle de rotation de l'ensemble.

L'idée principale à retenir du complément qu'offre cet essai de levage est qu'il conduit à la même conclusion générale quant à la position d'équilibre de l'ensemble lors d'un levage complet, c'est-à-dire une rotation substantielle (plus de 30 degrés) de l'ensemble dans le sens anti-horaire. Dans la configuration qui prévalait au moment de l'accident, une telle rotation est suffisante pour que le palier touche le sol.

Tout comme dans la description analytique présentée plus tôt dans ce rapport en ce qui concerne le mouvement possible de l'ensemble escalier-palier lorsqu'il fut libre de tout ancrage au moment de l'accident, l'un des essais de levage réalisés le 9 juin 2022 permet des observations complémentaires. Il s'agit d'un essai au cours duquel un support du palier était assuré par les fourches d'un chariot élévateur. Les fourches supportaient verticalement le dessous du palier, mais offraient très peu de restriction (par friction) dans la direction horizontale. Au début de cet essai, le support assuré par les fourches était à une hauteur telle que le palier reposait en position normale horizontale. De plus, le crochet était positionné de façon à ce que les 4 brins des élingues soient en extension complète. Par la suite, les fourches du chariot élévateur furent descendues progressivement et le mouvement résultant de l'ensemble escalier-palier fut observé et filmé, référence [2]. La figure 8 présente une séquence d'images tirées de ce film.



Figure 8 : images extraites de la séquence filmée de descente du support du palier.

On peut d'abord observer sur l'image 1 de la séquence que le palier repose bien à l'horizontale sur les fourches du chariot, et que le crochet est positionné de façon à ce que les élingues soient toutes en extension, prêtes à offrir un éventuel support à l'ensemble escalier-palier. La séquence des images 1 à 4 de la figure 8 montre le mouvement de l'ensemble lorsqu'est progressivement abaissé le support sous le palier : il y a glissement au sol de la partie inférieure de l'escalier à droite, sous la première marche. Ceci conduit à une rotation de l'ensemble autour du pivot que constitue le crochet. Le centre de gravité de l'ensemble étant situé à gauche du crochet, il cherche à progresser vers sa position d'équilibre située directement sous le crochet (tel qu'illustré sur les figures 5 et 6), et ce mouvement de rotation se produit jusqu'à ce que le palier touche le sol à son extrémité gauche. Cet essai illustre bien qu'en l'absence d'une force de retenue suffisante sous la première marche de l'escalier à droite, le mouvement de

descente du palier s'accompagne d'une rotation de l'ensemble et de son déplacement vers la droite.

Réponse synthèse aux 3 points constituant le mandat

- 1) Confirmer le poids de l'escalier.

La masse calculée de l'ensemble escalier-palier est 1375 lbs (625 kg). Une majoration de 2 à 4% pour tenir compte de la galvanisation porterait la masse totale à 1400-1430 lbs.

- 2) Faire une simulation de levage de l'escalier et valider son positionnement selon la méthode d'élingage utilisée.

La position d'équilibre d'un levage complet a été évaluée analytiquement et consiste principalement en une rotation de 36.4 degrés autour d'un axe horizontal normal à la vue de face de la figure 3. L'analyse des images et vidéos produites lors d'un essai de levage complet réalisé le 9 juin 2022 par Madame Cynthia St-Louis et Monsieur Simon Guay confirme l'ordre de grandeur de cet angle évalué pour une géométrie idéalisée.

- 3) Évaluer le mouvement possible de l'escalier lors de son relâchement en fonction de la méthode d'élingage utilisée.

La position du centre de gravité et l'étude de l'équilibre statique des forces a permis de décrire le mouvement de l'ensemble escalier-palier lorsque ses ancrages au bâtiment furent libérés. Les essais de levage réalisés le 9 juin 2022 par Madame St-Louis et Monsieur Guay confirment également ce mouvement (figure 8).

Conclusion

Les éléments techniques abordés dans cette analyse ont permis d'étudier la stabilité statique de l'ensemble rigide constitué de l'escalier et du palier.

L'étude de la position du centre de gravité et de l'équilibre statique des forces avec la méthode d'élingage utilisée indique que sans la présence d'ancrages, l'ensemble était dans une position instable causant son pivotement autour d'un point situé à l'emplacement du crochet et le basculement du palier vers le sol.



Jean Ruel, ing., Ph.D., le 19 octobre 2022

No. OIQ : 106 900

Références

[1] Oberg, Jones, Horton & Ryffel : Machinery's Handbook 31st Edition, Industrial Press, 2020.

[2] Film IMG_2792.MOV réalisé le 9 juin 2022 par la CNESST.

[3] <https://galvanizeit.org/design-and-fabrication/design-considerations/weight-increase>

ANNEXE D

Références bibliographiques

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, chapitre S-2.1, à jour au 1er novembre 2021*, [En ligne], Québec, Éditeur officiel du Québec, 2021, 75 p. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cs/S-2.1.pdf>] (Consulté le 23 février 2022).

QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction, chapitre S-2.1, r.4, à jour au 15 septembre 2021*, [En ligne], Québec, Éditeur officiel du Québec, 2021. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cr/S-2.1,%20R.%204.pdf>] (Consulté le 22 février 2022)

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION: *Code de sécurité sur les grues mobiles*, Mississauga, ON, 2020, 131 p. (CAN/CSA Z150-20)

COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL. *Gréage et levage : Guide de sécurité*, Québec, Les publications du Québec, 2006, 174 p