

EN004296

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident ayant causé la mort d'un travailleur œuvrant sur
un chantier de construction dans la municipalité
de Déléage, le 19 août 2020**

**Service de prévention-inspection – Outaouais
Direction de la prévention-inspection – Nord et Ouest**

Version dépersonnalisée

Inspecteurs :

Jean-Charles Marengère Geneviève Cadotte

Date du rapport : 12 février 2021

Rapport distribué à :

- M. [B] et Mme [C]
- M. [A]
- D^r Pierre Bourassa, coroner
- D^{re} Brigitte Pinard, directrice de la santé publique par intérim
- 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>4</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DU CHANTIER	4
2.1.1	MAÎTRISE D'ŒUVRE	4
2.1.2	EMPLOYEUR DE L'ACCIDENTÉ	4
2.1.3	SOUS-TRAITANTS	5
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	5
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	5
2.2.2	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>8</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	8
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	9
4.2.1	FORMATION ET EXPÉRIENCE	9
4.2.2	ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE	9
4.2.3	MÉTHODES DE TRAVAIL UTILISÉES	10
4.2.4	OBSERVATIONS SUR LA SCÈNE D'ACCIDENT	11
4.2.5	PLANS, CAPACITÉS ET CALCULS	15
4.2.6	LOIS, RÉGLEMENTATION ET RÈGLES DE L'ART	16
4.2.6.1	Association des déménageurs de bâtiments du Québec	16
4.2.6.2	Ordre des ingénieurs du Québec	16
4.2.6.3	Loi sur la santé et la sécurité du travail	17
4.2.6.4	Normes	17
4.2.7	EXPERTISE	19
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	20
4.3.1	AU MOMENT OÙ LE BOUTEUR TIRE LES POUTRES D'ACIER SUPPORTANT LA MAISON, SOUS L'EFFET D'UNE FORCE SUPÉRIEURE À LEUR CAPACITÉ, L'EXTRÉMITÉ D'UNE POUTRE CÈDE ET LIBÈRE LE CROCHET, ENTRAINANT LA PROJECTION DE L'ASSEMBLAGE CÂBLE-CHAÎNE-CROCHET EN DIRECTION DE LA TÊTE DU TRAVAILLEUR.	20
4.3.2	LA MÉTHODE DE TRAVAIL UTILISÉE POUR DÉPLACER LA MAISON EST IMPROVISÉE, NOTAMMENT EN CE SENS QUE LES CAPACITÉS AINSI QUE LA FORCE DE TRACTION DE L'ASSEMBLAGE CÂBLE-CHAÎNE-CROCHET SONT INCONNUES.	21

4.3.3	LA MÉTHODE DE SURVEILLANCE DU DÉPLACEMENT DE LA MAISON EST DANGEREUSE CAR LE TRAVAILLEUR SE TROUVE DANS LA ZONE DE PROJECTION DE L'ASSEMBLAGE CÂBLE-CHAÎNE-CROCHET.	22
-------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

5 CONCLUSION **23**

5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	23
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	23
5.3	SUIVI DE L'ENQUÊTE	24

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	25
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	26
ANNEXE C :	Rapport d'expertise	27
ANNEXE D :	Références bibliographiques	62

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 19 août 2020, des travailleurs sur un chantier de construction s'affairent au déplacement d'une maison afin de la positionner au-dessus de l'excavation qui accueillera les nouvelles fondations. Pour ce faire, la maison est installée sur une superposition de poutres de bois et d'acier. Une chaîne munie de crochets relie les deux poutres d'acier reposant directement sur le sol et servant au tractage de la maison. Un trou percé aux extrémités de chacune de ces deux poutres permet l'insertion des crochets. La chaîne est reliée en son centre au câble du treuil d'un bouteur (bulldozer). Lors de la procédure de traction de la maison, M. [D] est dans le coin nord-est de l'excavation. Il surveille le déplacement de la poutre d'acier positionnée au nord sur les supports de bois. Soudainement, l'extrémité de la poutre d'acier positionnée au sud cède. La chaîne et le crochet y étant insérés sont subitement projetés en direction de M. [D] (ci-après nommé « le travailleur accidenté »).

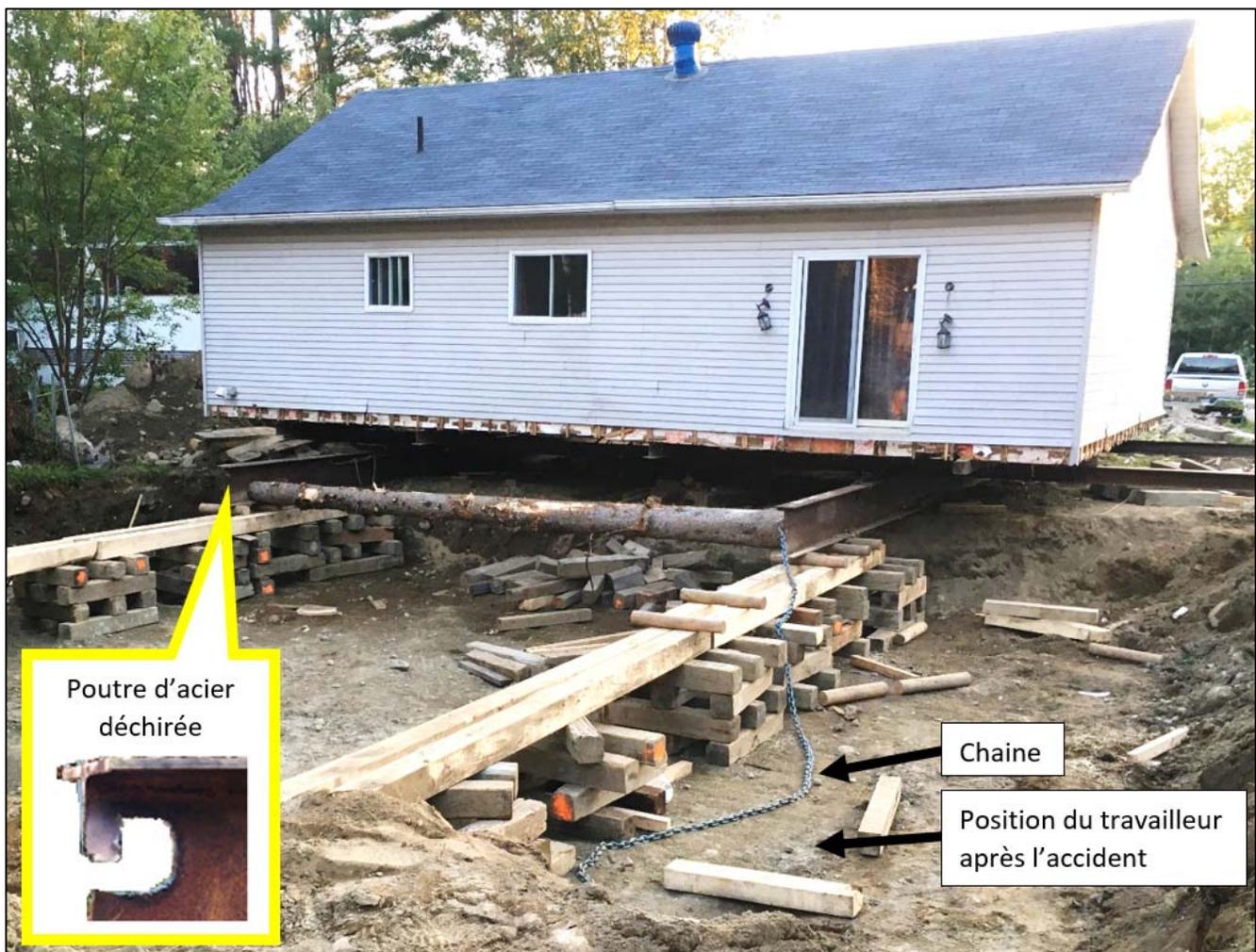


Photo 1 : Scène d'accident

(Source : CNESST)

Conséquences

Le travailleur est frappé à la tête par l'assemblage câble-chaîne-crochet et décède quelques jours plus tard des suites de ses blessures.

Abrégé des causes

1. Au moment où le buteur tire les poutres d'acier supportant la maison, sous l'effet d'une force supérieure à leur capacité, l'extrémité d'une poutre cède et libère le crochet, entraînant la projection de l'assemblage câble-chaîne-crochet en direction de la tête du travailleur.
2. La méthode de travail utilisée pour déplacer la maison est improvisée, notamment en ce sens que les capacités ainsi que la force de traction de l'assemblage câble-chaîne-crochet sont inconnues.
3. La méthode de surveillance du déplacement de la maison est dangereuse car le travailleur se trouve dans la zone de projection de l'assemblage câble-chaîne-crochet.

Mesures correctives

Le 19 août 2020, les inspecteurs de la CNESST se rendent au [...] à Déléage. Ils ordonnent l'arrêt de l'ensemble des travaux sur le chantier. L'utilisation et l'accès au boteur sont interdits.

Le maitre d'œuvre et l'employeur doivent élaborer une méthode de travail et de surveillance des travaux sécuritaire signée et scellée par un ingénieur et obtenir, avant le début des travaux, une attestation de conformité signée et scellée par l'ingénieur une fois les préparatifs complétés.

Le 20 août 2020, la chaine est saisie par les inspecteurs.

Aucune mesure corrective n'a été prise par [B et C] et par l'employeur.

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

2.1.1 Maîtrise d'œuvre

M. [B] et Mme [C] sont [...] situé au [...] à Déléage. Ils n'emploient aucun travailleur. La CNESST détermine que les deux individus représentent le maître d'œuvre du chantier car ils sont responsables de l'exécution de l'ensemble des travaux.

M. [B] se charge de la préparation de la maison avant le déménagement. Il démonte les galeries et retient les services d'un électricien pour effectuer le débranchement électrique de la maison. M. [B] a l'intention d'engager à nouveau un électricien ainsi qu'un plombier pour effectuer les branchements d'électricité et de plomberie une fois que les travaux de déplacement et de fondation de la maison seront complétés.

M. [B] et M. [A] concluent un contrat verbal selon lequel M. [A] a la responsabilité de la gestion du projet de déménagement de la maison. Selon ce contrat, M. [A] est responsable d'engager les sous-traitants.

M. [A] retient les services de l'entreprise Carrière Beauregard et fils inc. pour effectuer une portion des travaux de déplacement de la maison.

Le 19 août 2020, M. [A], Carrières Beauregard et fils inc. ainsi que le maître d'œuvre sont présents sur le chantier.

2.1.2 Employeur de l'accidenté

M. [A] est un individu et aucune entreprise ne lui est associée.

M. [A] connaît le travailleur accidenté depuis environ [...] ans. [...] et il participe à quelques projets de rénovation avec lui.

M. [A] demande au travailleur accidenté d'œuvrer sur le chantier situé au [...] à Déléage. Ce dernier travaille avec M. [A] depuis le début du déplacement de la maison, soit environ trois semaines avant l'accident du 19 août 2020.

En raison du lien de subordination du travailleur accidenté sur le chantier, la CNESST établit que M. [A] est son employeur en vertu de la *Loi sur la santé et la sécurité du travail*.

2.1.3 Sous-traitants

M. [A] retient les services de l'entreprise Carrière Beauregard et fils inc. en tant que sous-traitant sur le chantier.

L'entreprise œuvre dans le secteur d'activité économique *Transport et entreposage* et se spécialise dans l'exploitation d'une carrière-sablière, dans la vente d'agrégats et dans les travaux de pavage résidentiel.

L'entreprise est située au 137, route 105 à Messines et emploie [...] travailleurs selon les besoins de la compagnie.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

M. [B] et Mme [C] ignorent leur statut de maître d'œuvre. Ils ignorent aussi les obligations découlant de la *Loi sur la santé et sécurité du travail* et des règlements afférents.

Malgré le fait que M. [A] [...], il n'applique pas les obligations découlant de la *Loi sur la santé et la sécurité du travail*, notamment celles dictées par le *Code de sécurité pour les travaux de construction*.

2.2.1 Mécanismes de participation

Aucun mécanisme de participation des travailleurs n'est établi sur le chantier.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

La gestion de la santé et de la sécurité se résume aux conversations entre les personnes présentes sur le chantier.

SECTION 3**3 DESCRIPTION DU TRAVAIL****3.1 Description du lieu de travail**

Le chantier de construction se situe sur un terrain résidentiel au [...] à Déléage.

[...]

Carte 1 : Lieu de l'accident

(Source : Google Maps)

Le terrain est d'une superficie de 4 712,4 m² et présente deux excavations. L'excavation située à l'ouest du terrain à proximité de la route [...] contient les fondations existantes de la maison.

La maison unifamiliale d'un étage est orientée en longueur dans un axe nord-sud faisant face à l'ouest. Lors de l'accident, la maison se situe entre les deux excavations, en bordure de l'excavation se situant à l'est du terrain, soit l'emplacement destiné à la nouvelle fondation.

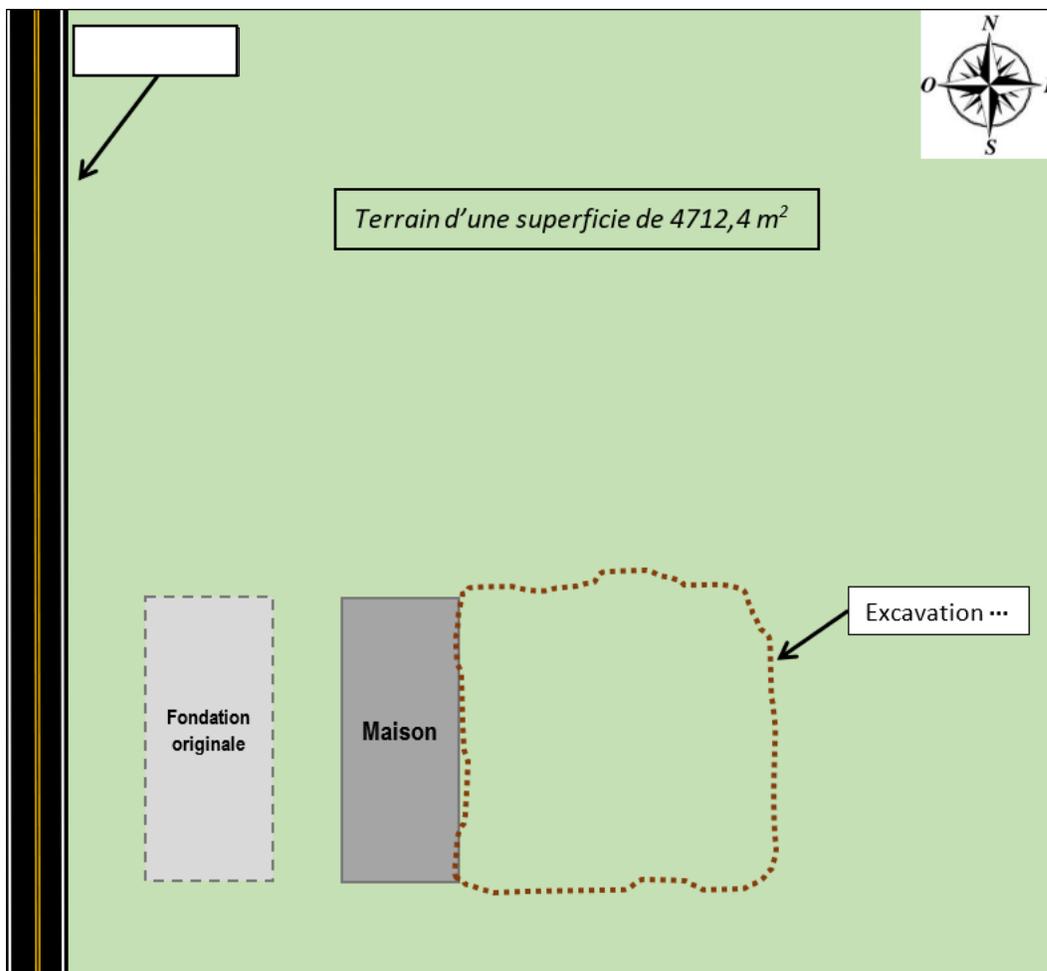


Schéma 1 : Vue aérienne du déplacement de la maison (Source : CNESST)

* Schéma approximatif

3.2 Description du travail à effectuer

Les travaux à effectuer sur le chantier situé au [...] à Délage consistent à déplacer la maison vers l'est afin de la positionner au-dessus de l'excavation où les nouvelles fondations de la maison seront érigées.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Dans les jours précédant l'accident, les préparatifs permettant le déplacement de la maison sont effectués. Ces étapes comprennent le lavage de la maison et l'installation de poutres de bois sous cette dernière. À la suite d'un premier essai de déplacement de la maison qui a échoué, M. [A] (ci-après nommé « l'employeur ») fait appel à Carrière Beauregard et fils pour l'assister. La veille de l'accident, M. [E] et [F] remplacent les poutres de bois sous la maison par des poutres d'acier. Ils livrent une pelle mécanique et un boteur sur le chantier.

Le jour de l'accident, l'employeur et le travailleur accidenté arrivent ensemble sur le chantier vers 08 h 00.

Au cours de l'avant-midi, les travailleurs finalisent les préparatifs nécessaires au déplacement de la maison. Le travailleur accidenté œuvre au soudage des poutres d'acier alors que d'autres travailleurs installent les cages de support en bois et les bandes de roulement.

Au début de l'après-midi, une tentative pour déplacer la maison est effectuée à l'aide du boteur et de la pelle mécanique. La maison n'avance pas en ligne droite, car le déplacement des deux machines n'est pas synchronisé. L'employeur propose alors d'utiliser seulement le boteur. Une chaîne est accrochée à l'extrémité de chacune des deux poutres d'acier qui reposent au sol. Cette chaîne est reliée au boteur à l'aide du câble du treuil. Un tronc d'arbre est ajouté entre les deux poutres afin qu'elles demeurent parallèles.

Avant de commencer à tirer la maison, l'employeur demande au travailleur accidenté de surveiller l'alignement de la poutre d'acier avec la bande de roulement. Pour ce faire, le travailleur accidenté descend au fond de l'excavation et se place à proximité de la bande de roulement. L'employeur se positionne au fond de l'excavation afin de surveiller l'alignement de l'autre bande de roulement. L'employeur et le travailleur accidenté indiquent à [E] qu'il peut commencer à tirer.

Vers 15 h 45, le boteur tire la maison, mais cette dernière ne se déplace pas. Une tension est présente dans le câble du boteur et dans la chaîne. Soudainement, l'une des poutres cède. L'assemblage câble-chaîne-crochet est projeté en direction du travailleur accidenté, le frappant à la tête.

L'appel au 911 est logé à 15 h 48. Les services d'urgences arrivent sur le chantier. Le travailleur accidenté est transporté au centre hospitalier.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Formation et expérience

[...]

Le travailleur accidenté possède plusieurs expériences de travail dont : opérateur de chariot élévateur, travaux de mécanique et de soudure, travail occasionnel sur les chantiers de construction et travaux sur des projets de construction et de coupe de bois de chauffage pour l'employeur en 2019-2020.

L'employeur a été journalier, ouvrier et contremaître pour une entreprise du secteur de la construction. Il a ensuite agi en tant qu'entrepreneur général pendant plus de 20 ans pour la construction de maisons. Aussi, il réalise entre 200 et 300 levages de maisons ainsi qu'une trentaine de déplacements de maisons. [...]. Depuis [...], il produit du bois de chauffage et entreprend quelques travaux de construction et de rénovation.

[...]. Il s'agit d'une carrière-sablière. Il œuvre dans le pavage de cours résidentielles et la vente d'agrégats. Bien que M. [E] ne travaille pas dans la construction, il a réalisé une vingtaine de déplacements de maisons et de garages au fil des années.

4.2.2 Équipements de protection individuelle

Le *Code de sécurité pour les travaux de construction* spécifie les exigences réglementaires en matière d'équipements de protection individuelle (ÉPI). Minimale, les ÉPI requis sur un chantier de construction sont les chaussures de sécurité et le casque de sécurité. D'autres ÉPI sont requis selon les risques présents.

Les personnes qui exécutent le travail sur le chantier portent des chaussures de sécurité. Aucun individu présent sur le chantier ne porte le casque de sécurité.

4.2.3 Méthodes de travail utilisées

Lors du premier essai de déplacement, l'employeur installe des poutres de bois pour supporter la maison. Ensuite, elle est soulevée et tirée avec une machine à l'extérieur des fondations originales, mais les poutres de bois se brisent.

À la suite de l'échec du premier essai, l'employeur a recours à M. [E] en tant que sous-traitant. Ce dernier remplace les poutres de bois par des poutres d'acier pour supporter la maison. Deux poutres d'acier reposent au sol, elles sont destinées à être tirées par un bouteur et une pelle mécanique. M. [E] a percé des trous dans les extrémités de ces deux poutres à l'aide d'une torche. Ce travail a été fait deux à trois semaines auparavant pour un déplacement de cabanon. Les crochets de chaînes sont insérés dans les trous des poutres d'acier. Les chaînes sont tirées par les machines. L'essai de traction de la maison avec cette méthode échoue car le déplacement des deux machines n'est pas synchronisé.

La méthode de travail est de nouveau modifiée afin d'effectuer le tractage uniquement à l'aide du bouteur. Une seule chaîne est accrochée aux trous des extrémités des deux poutres d'acier. Un tronc d'arbre est ajouté entre les deux poutres afin de les maintenir en parallèle. Dans le cadre de cette méthode, le travailleur accidenté surveille les rondins de bois et s'assure que la poutre d'acier située au nord reste dans son axe et s'aligne parfaitement avec la bande de roulement sur laquelle elle doit se déplacer. Le travailleur accidenté est positionné dans le coin nord-est de l'excavation, à proximité de la bande de roulement.

4.2.4 Observations sur la scène d'accident

La maison se trouve au bord de l'excavation destinée aux nouvelles fondations avec le matériel et les équipements utilisés pour son déplacement.

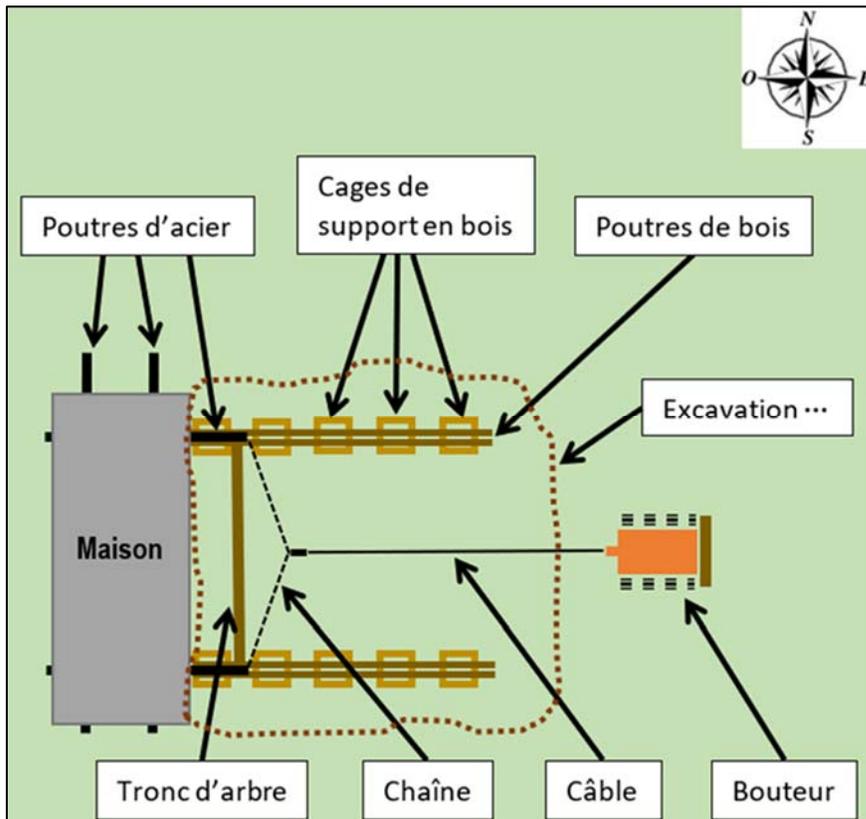


Schéma 2 : Matériel et équipements

(Source : CNESST)

La maison repose sur une superposition de trois étages de poutres. Les poutres des étages supérieurs et inférieurs sont orientées dans un axe est-ouest alors que les poutres de l'étage central sont dans un axe nord-sud. Une des poutres situées directement sous la maison est en bois alors que les autres sont en acier. Les poutres de l'étage du centre et de l'étage inférieur sont soudées entre elles à l'aide de tiges d'acier.



Photo 2 : Poutres superposées sous la maison (Source : CNESST)

Les deux tiers des deux poutres d'acier de l'étage inférieur reposent directement sur le sol. L'autre tiers repose sur des rondins de bois déposés sur deux ensembles de poutres de bois de 0,2 m par 0,2 m (8 pouces par 8 pouces) servant de bande de roulement pour le déplacement de la maison. Chaque bande de roulement est supportée par des cages en bois qui reposent au fond de l'excavation. Ces cages de support sont formées par l'empilement de quatre étages de pièces de bois de 0,2 m par 0,2 m.



Photo 3 : Poutres d'acier sous la maison, cages et poutres de bois pour le roulement

(Source : CNESST)

Un tronc d'arbre est installé entre les extrémités des deux poutres d'acier qui reposent au sol. Le tronc repose sur les semelles inférieures des poutres. Aux mêmes extrémités, il y a des trous dans l'âme de chacune des poutres.

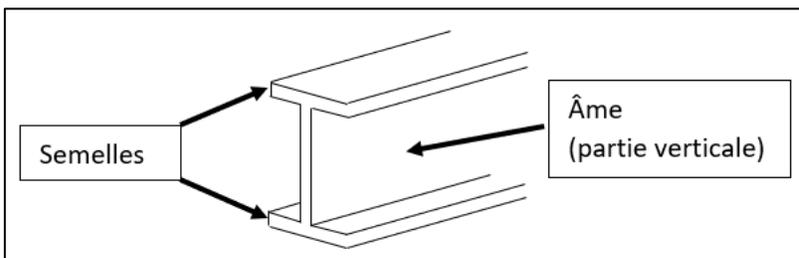
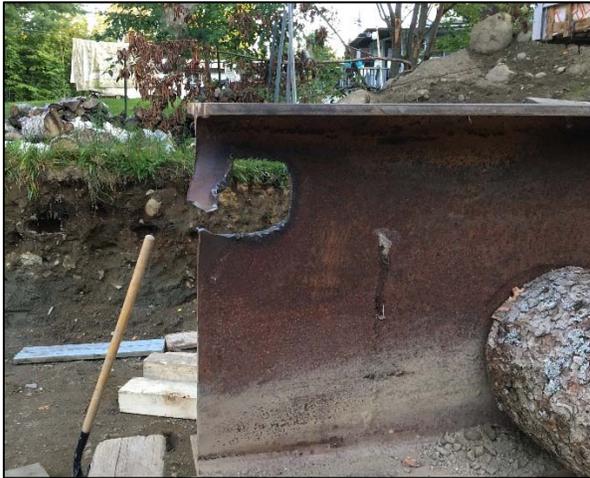


Schéma 2 : Âme et semelles d'une poutre d'acier

(Source : CNESST)

Une chaîne en métal peinte en bleu, munie de crochets à chacune de ses extrémités, est présente au fond de l'excavation. L'une des deux poutres de l'étage inférieur est tordue en son extrémité et a subi une rupture. La chaîne demeure accrochée au trou de l'autre poutre d'acier de l'étage inférieur. L'extrémité libre de la chaîne se situe au fond de l'excavation dans le coin nord-est. La chaîne passe dans une manille qui est fixée au câble d'acier du treuil du bouter.



Photos 4 et 5 : Poutre rupturée et poutre déformée avec chaîne et crochet (Source : CNESST)



Photo 6 : Manille au bout du câble d'acier (Source : CNESST)

Le bouteur est positionné du côté est, à l'extérieur de l'excavation. Il est centré par rapport à la maison.



Photo 7 : Bouteur, treuil et câble d'acier (Source : CNESST)

4.2.5 Plans, capacités et calculs

L'employeur est responsable du soulèvement et du déplacement de la maison. Il se fie à son expérience. Il affirme avoir calculé la pesanteur de la maison pour déterminer de quel type de poutre de bois il aurait besoin. Il ne fournit aucun détail du calcul. À la suite du bris des poutres de bois initialement utilisées pour déplacer la maison, il fait appel à M. [E] afin de les remplacer par des poutres d'acier. L'employeur juge que les trous aux extrémités des deux poutres d'acier sont « trop près du bord ». Il décide tout de même de procéder à la traction de la maison.

M. [E] estime que la maison « pèse entre 10 000 et 12 000 lb », ce qui correspond à une masse entre 4 500 kg et 5 500 kg. Il ne possède pas de formation ni de manuel de référence pour connaître la résistance du métal. Il se fie à son expérience, car « il fait ce genre de travaux depuis l'âge de [...] ans ». Il explique qu'il a effectué la traction d'autres maisons avec une ou deux machines. Un seul câble, une chaîne ou encore deux chaînes peuvent être utilisés. Les chaînes sont parfois droites, parfois « en X ».

Aucun calcul de capacité de charge n'est effectué et il n'y a aucun plan documenté pour le déplacement de la maison.

4.2.6 Lois, réglementation et règles de l'art

4.2.6.1 Association des déménageurs de bâtiments du Québec

L'Association des déménageurs de bâtiments du Québec (ADBQ) est une organisation à but non lucratif qui regroupe des entreprises actives dans le domaine du levage et du déménagement de bâtiments au Québec.

L'ABDQ élabore présentement le *Guide pratique de levage de bâtiments résidentiels* qui présentera plusieurs règles de l'art établies dans le domaine.

4.2.6.2 Ordre des ingénieurs du Québec

Dans le cadre de l'enquête, la CNESST contacte l'Ordre des ingénieurs du Québec (OIQ). Celui-ci confirme que les travaux de soulèvement et de déplacement de maisons doivent être réalisés suivant l'avis d'un ingénieur puisque cela fait partie de son champ de pratique. La méthode pour soulever ou déplacer une maison est un acte réservé à l'ingénieur. Selon l'OIQ, chaque cas de soulèvement ou déplacement est unique et nécessite qu'un ingénieur soit impliqué.

Voici les articles associés de la *Loi sur les ingénieurs* :

SECTION II

EXERCICE DE LA PROFESSION D'INGÉNIEUR

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

1. a) les chemins de fer, les voies publiques, les aéroports, les ponts, les viaducs, les tunnels et les installations reliés à un système de transport, dont le coût excède 3 000 \$;
- b) les barrages, les canaux, les havres, les phares et tous les travaux relatifs à l'amélioration, à l'aménagement ou à l'utilisation des eaux;
- c) les travaux électriques, mécaniques, hydrauliques, aéronautiques, électroniques, thermiques, nucléaires, métallurgiques, géologiques ou miniers ainsi que ceux destinés à l'utilisation des procédés de chimie ou de physique appliquée;
- d) les travaux d'aqueduc, d'égout, de filtration, d'épuration, de disposition de déchets ou autres travaux du domaine du génie municipal dont le coût excède 1 000 \$;
- e) les fondations, la charpente et les systèmes électriques ou mécaniques des édifices dont le coût excède 100 000 \$ et des édifices publics au sens de la Loi sur la sécurité dans les édifices publics (chapitre S-3);
- f) les constructions accessoires à des travaux de génie et dont la destination est de les abriter;

- g) les fausses charpentes et autres ouvrages temporaires utilisés durant la réalisation de travaux de génie civil;
- h) la mécanique des sols nécessaire à l'élaboration de travaux de génie;
- i) les ouvrages ou équipements industriels impliquant la sécurité du public ou des employés.

3. L'exercice de la profession d'ingénieur consiste à faire, pour le compte d'autrui, l'un ou l'autre des actes suivants, lorsque ceux-ci se rapportent aux travaux de l'article 2:

- a) donner des consultations et des avis;
- b) faire des mesurages, des tracés, préparer des rapports, calculs, études, dessins, plans, devis, cahiers des charges;
- c) inspecter ou surveiller les travaux.

4.2.6.3 Loi sur la santé et la sécurité du travail

La *Loi sur la santé et la sécurité du travail* (LSST) spécifie à l'article 51.3 qu'un employeur a l'obligation de 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. La même loi spécifie à l'article 51.5 qu'un employeur a l'obligation d'utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur.

4.2.6.4 Normes

Il n'y a pas de norme spécifique au sujet des déplacements de bâtiments. Cependant, les normes ASME B30.26-2015 et ASME B30.9-2018 qui s'appliquent au matériel de gréage présentent des mesures de sécurité à prendre en présence d'équipements sur lesquels une tension est appliquée :

Selon la norme ASME B30.26-2015, *Rigging Hardware : Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks and Slings*, portant sur les éléments de gréages pour la sécurité des câbles, des grues, des derrick, des palans, des vérins et des élingues :

- *l'article 26-1.9.2 stipule que le personnel devrait se tenir à l'écart des éléments de gréage sous tension.*

Selon la norme ASME B30.9-2018, *Slings : Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks and Slings*, portant sur les élingues pour la sécurité des câbles, des grues, des derricks, des palans, des vérins et des élingues :

- *l'article 9-1.10.2 stipule que le personnel ne devrait pas se tenir dans l'axe ou à proximité d'un ou des brins d'une élingue sous tension.*
- *l'article 9-1.10.4 stipule comme pratique de gréage que la torsion et les plis doivent être évités.*

4.2.7 Expertise

Dans le cadre de l'enquête, une expertise est commandée à la firme EMS afin de déterminer l'élément qui a frappé le travailleur, d'analyser les capacités du matériel utilisé pour tirer la maison et les forces appliquées lors de la traction (voir le rapport en annexe).

Les experts déclarent qu'il n'est pas possible de déterminer avec certitude l'élément ou les éléments ayant frappé le travailleur.

Un spécialiste en métallurgie a été interpellé afin d'analyser la capacité de la poutre. L'analyse révèle qu'en fonction de la configuration de la poutre d'acier et de l'orientation de la force de traction exercée, la capacité de la poutre d'acier où le crochet est inséré est de 12,6 kN (2 822 lb) à 18,2 kN (4 077 lb). Comme la chaîne relie les deux poutres, le spécialiste en métallurgie a statué que « L'angle de la charge réduit d'ailleurs significativement la résistance locale de la connexion. »

Les experts estiment la charge totale selon le poids minimal établi de la maison, soit 198,9 kN (44 605 lb) et le poids des poutres, soit 46,6 kN (2 159 lb). La charge totale représente donc une masse de 25 025 kg à déplacer sous l'effet de la gravité terrestre. La force de traction nécessaire, à l'extrémité de chacune des deux poutres, pour déplacer la maison est de 39,4 kN (8 836 lb). En considérant la friction au sol et les deux connexions des crochets de la chaîne aux poutres d'acier, ils concluent que « l'effort serait plus de deux (2) fois plus important que la résistance ».

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 **Au moment où le buteur tire les poutres d'acier supportant la maison, sous l'effet d'une force supérieure à leur capacité, l'extrémité d'une poutre cède et libère le crochet, entraînant la projection de l'assemblage câble-chaine-crochet en direction de la tête du travailleur.**

Un buteur est utilisé pour déplacer une maison afin de la positionner au-dessus de l'excavation qui accueillera les nouvelles fondations. Pour ce faire, la maison est installée sur une superposition de poutres de bois et de poutres d'acier. Une chaîne munie de crochets relie les deux poutres d'acier reposant directement sur le sol et servant au tractage de la maison. Un trou percé aux extrémités de chacune de ces deux poutres permet l'insertion des crochets. La chaîne est reliée en son centre au câble du treuil du buteur.

L'expertise de la firme EMS confirme au niveau du crochet que l'angle de la charge réduit significativement la résistance locale de la connexion à la poutre d'acier. Cette expertise a déterminé que la résistance de chacune des poutres d'acier reposant au sol est de 18,2 kN (4 077 lb), alors que la force de traction nécessaire, à l'extrémité de chacune des deux poutres, pour déplacer la maison est de 39,4 kN (8 836 lb), soit de plus de deux fois leur résistance.

Au moment de la traction de la maison, le buteur tire, mais la maison ne se déplace pas. Le câble du buteur et la chaîne reliée aux poutres sont tendus. La force exercée à l'extrémité de la poutre est supérieure à sa résistance, ce qui a pour effet de tordre puis de rompre l'extrémité de la poutre d'acier. La deuxième poutre est également déformée au point d'attache du crochet de la chaîne. La rupture de la poutre entraîne la libération du crochet, ce qui provoque la projection de l'assemblage câble-chaine-crochet en direction du travailleur accidenté, le frappant à la tête.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La méthode de travail utilisée pour déplacer la maison est improvisée, notamment en ce sens que les capacités ainsi que la force de traction de l'assemblage câble-chaîne-crochet sont inconnues.

Sur le chantier du Chantier situé au [...] à Délage, le 19 août 2020 à Délage, plusieurs essais employant diverses méthodes sont effectués afin de déplacer la maison. À la suite de l'échec du premier essai, les méthodes sont décidées de manière réactive au fur et à mesure que les problèmes de déplacement surviennent.

Aucun plan officiel n'est élaboré pour le déplacement de la maison. Aucun calcul n'est effectué. La capacité des poutres d'acier en lien avec la traction est inconnue. D'ailleurs, les trous où les crochets sont installés ont été faits de façon artisanale à l'aide d'une torche. Lors des travaux, l'estimation du poids de la maison est de 4 500 kg à 5 500 kg (10 000 à 12 000 lb), alors que le poids minimal établi dans le cadre de l'expertise de la firme EMS est de 198,9 kN (44 605 lb). Les poutres installées sous la maison font partie de la charge, cependant leur poids n'a pas été vérifié et pris en compte avant d'effectuer les travaux. L'ensemble de ces éléments confirme que la charge est inconnue et par le fait même, les forces présentes dans l'assemblage câble-chaîne-crochet sont inconnues.

Aucun ingénieur n'a été impliqué dans le déplacement de la maison. L'OIQ confirme que les travaux de soulèvement et de déplacement de maisons doivent être réalisés suivant l'avis d'un ingénieur puisque cela fait partie de son champ de pratique. La méthode pour soulever ou déplacer une maison est un acte réservé à l'ingénieur.

La méthode de déplacement de la maison improvisée conduit à l'accident.

Cette cause est retenue.

4.3.3 La méthode de surveillance du déplacement de la maison est dangereuse car le travailleur se trouve dans la zone de projection de l'assemblage câble-chaîne-crochet.

Avant de commencer à tirer la maison, l'employeur demande au travailleur accidenté de surveiller l'alignement de la poutre d'acier avec la bande de roulement. Pour ce faire, le travailleur accidenté descend au fond de l'excavation et se place à proximité de la bande de roulement. L'employeur se positionne au fond de l'excavation afin de surveiller l'alignement de la poutre avec l'autre bande de roulement. L'employeur et le travailleur accidenté indiquent à [...], M. [E], qu'il peut commencer à tirer la maison.

La LSST définit les obligations d'un employeur en matière d'identification des dangers et de contrôle des risques sur le lieu de travail. L'employeur doit notamment s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur.

Lors du déplacement de la maison, le câble d'acier, la manille, la chaîne, les crochets et les extrémités des poutres sont sous tension et constituent un danger en raison de la force appliquée par la traction du buteur. La zone autour de ces équipements, dans laquelle un travailleur peut se faire frapper par une pièce projetée, constitue une zone de danger. L'employeur doit donc privilégier que personne ne se trouve dans la zone, à défaut de quoi il doit contrôler les risques encourus.

Par ailleurs, les normes ASME B30.26-2015 et ASME B30.9-2018 indiquent de ne pas se tenir près des accessoires de gréage, des chaînes et des élingues sous tension.

Le travailleur accidenté qui se trouve près de la bande de roulement est exposé au risque de projection en cas de bris d'un élément utilisé pour tracter la maison, ce qui contrevient à la réglementation et aux règles de l'art. La force excessive présente à l'extrémité de la poutre entraîne son bris puis le crochet se libère et un élément de l'assemblage câble-chaîne-crochet frappe le travailleur à la tête. La méthode de surveillance du déplacement de la maison est dangereuse.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

1. Au moment où le boteur tire les poutres d'acier supportant la maison, sous l'effet d'une force supérieure à leur capacité, l'extrémité d'une poutre cède et libère le crochet, entraînant la projection de l'assemblage câble-chaîne-crochet en direction de la tête du travailleur.
2. La méthode de travail utilisée pour déplacer la maison est improvisée, notamment en ce sens que les capacités ainsi que la force de traction de l'assemblage câble-chaîne-crochet sont inconnues.
3. La méthode de surveillance du déplacement de la maison est dangereuse car le travailleur se trouve dans la zone de projection de l'assemblage câble-chaîne-crochet.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le rapport RAP1316607 émis le 27 août 2020 comporte une décision d'arrêt de l'ensemble des travaux sur le chantier. Le rapport comporte aussi une décision interdisant l'utilisation et l'accès au boteur.

Le rapport RAP1316909 émis le 31 août 2020 comporte une décision de saisie de la chaîne.

Le rapport RAP1318957 émis le 17 septembre 2020 comporte une décision d'autorisation pour l'utilisation et l'accès au boteur.

Le rapport RAP1326795 émis le 18 novembre 2020 comporte une autorisation des travaux de remblayage de l'excavation située du côté ouest du terrain en bordure de la route 107 correspondant à l'ancienne fondation de la maison.

5.3 Suivi de l'enquête

Afin qu'ils informent leurs membres des conclusions de cette enquête et de la nécessité de recourir aux services d'un ingénieur compétent en la matière lors du soulèvement ou du déplacement d'une maison, la CNESST transmettra le rapport d'enquête à l'Union des municipalités du Québec, à l'Association des déménageurs de bâtiments du Québec inc., à l'Association de la construction du Québec, à l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec, à l'Association patronale des entreprises en construction du Québec ainsi qu'à l'Association des entrepreneurs en construction du Québec.

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

Finalement, dans le cadre de son partenariat avec la CNESST visant l'intégration de la santé et de la sécurité dans la formation professionnelle et technique, le Ministère de l'Éducation 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'études de conduite d'engins de chantier.

ANNEXE A**Accidenté**

Nom, prénom : [D]

Sexe : [...]

Âge : [...]

Fonction habituelle : [...]

Fonction lors de l'accident : Journalier

Expérience dans cette fonction : [...]

Ancienneté chez l'employeur : [...]

Syndicat : [...]

ANNEXE B**Liste des témoins et des autres personnes rencontrées**

M. [B]
Mme [C]

M. [A]
M. [E]
M. [F]
M. [G]

M. [H]
Mme [I]
Mme [J]
Mme [K]

M. [L]

Sergent-détective François Harvey, Sûreté du Québec
Sergent Jean-Philippe Lapointe, Sûreté du Québec
Sergent Serge Dufaut, Sûreté du Québec
Agent Faucher, Sûreté du Québec

D^r Pierre Bourassa, coroner

M. Keven Roseberry, ingénieur, Investigation EMS

ANNEXE C

Rapport d'expertise

RAPPORT TECHNIQUE
SPÉCIALITÉS : STRUCTURE ET GÉNIE CIVIL

**EXPERTISE SUR LE DÉPLACEMENT D'UNE
MAISON AU À DÉLÉAGE**

PRÉSENTÉ À :

**MME ISABELLE ÉMOND
M. JEAN-CHARLES MARENGÈRE**

CNESST
1199, rue de Bleury
Montréal, Qc H3B 1J1

ADRESSE DE LA
STRUCTURE À L'ÉTUDE :

Déléage, Qc

23 novembre 2020
Référence EMS : U20-177

Date de la visite : 3 septembre 2020

Pièces jointes : Photographies
Représentations simplifiées de la scène
Extrait du Manuel canadien d'ingénierie des fondations
Lettre de l'ingénieur Marc Dallaire de Génie-Métal
Note de calculs

Keven Roseberry

PAR : Keven Roseberry, ing.

Numéro OIQ : 5074406
RÉVISION : 0



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



TABLE DES MATIÈRES

1.	MANDAT	1
2.	DESCRIPTION DE LA SCÈNE ET DE LA MÉTHODE DE TRAVAIL	1
3.	ANALYSE ET DISCUSSION	3
3.1	FORCE DE TRACTION DANS LA CHAÎNE ET DANS LE CÂBLE	3
3.1.1	Poids du bâtiment et de tous les éléments tractés	3
3.1.2	Coefficient de friction entre le sol et l'acier	4
3.1.3	Forces de traction	4
3.2	RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE	6
3.3	ÉLÉMENT AYANT FRAPPÉ LE TRAVAILLEUR	6
4.	CONCLUSION	7
 ANNEXES		
A	Photographies	i
B	Représentations simplifiées de la scène	viii
C	Extrait du Manuel canadien d'ingénierie des fondations	xi
D	Lettre de l'ingénieur Marc Dallaire de Génie-Métal	xiv
E	Note de calculs	xix



1. MANDAT

Vous avez mandaté *Investigation EMS* afin d'effectuer une expertise sur la méthode de travail utilisée lors des travaux servant à déplacer un bâtiment au [redacted] à Délage suite au décès d'un travailleur. Plus précisément, notre expertise visait à déterminer l'élément ayant frappé le travailleur. Pour ce faire, nous avons réalisé les étapes suivantes :

- Visiter les lieux le 3 septembre 2020 en compagnie des inspecteurs de la CNESST, Jean-Charles Marengère et Geneviève Cadotte, afin de constater la méthode de travail utilisée, de documenter la scène et de relever les éléments pertinents ayant servi à la méthode de travail ;
- Déterminer la force de traction dans la chaîne et dans le câble servant à déplacer le bâtiment ;
- Déterminer la résistance de l'assemblage de la poutre d'acier avec le crochet de la chaîne ; et
- Déterminer l'élément ayant frappé le travailleur.

2. DESCRIPTION DE LA SCÈNE ET DE LA MÉTHODE DE TRAVAIL

Sur place, nous avons pu observer que le bâtiment qui avait été déplacé est une maison unifamiliale d'un étage hors-sol en charpente de bois. Lors de notre visite, le bâtiment se situait à mi-chemin entre son emplacement d'origine, à l'avant du terrain, et son emplacement voulu, à l'arrière du terrain (photographie 1).

Afin d'être déplacé, le bâtiment avait été déposé sur un système composé de plusieurs poutres empilées disposées en trois (3) étages distincts (photographies 2 et 3). L'étage supérieur était composé de trois (3) poutres d'acier et une poutre de bois dans la direction avant-arrière directement sous le bâtiment. L'étage du milieu était composé de deux (2) poutres d'acier supportant les poutres de l'étage supérieur et orthogonales à ces dernières. L'étage inférieur était composé de deux (2) poutres d'acier dans la direction avant-arrière supportant les poutres de



l'étage du milieu et déposées à même le sol. Ces dernières agissaient comme patins afin de permettre le glissement de la maison sur le sol entre son emplacement d'origine et son emplacement voulu.

À l'arrière du terrain, à l'emplacement souhaité de la maison, le terrain avait été excavé. Des cages formées de pièces de bois de 8" x 8" étaient alignées en deux rangées vis-à-vis des poutres déposées à même le sol servant au déplacement de la maison. Sur chaque alignement de cages en bois se trouvait deux (2) pièces de bois de 8" x 8" agissant à titre de bande de roulement. Afin de permettre le déplacement de la maison sur cette construction, des rondins en bois assuraient le roulement des poutres d'acier sur les bandes de roulement (photographies 4 et 5).

Le déplacement de la maison a été réalisé à l'aide d'une chaîne attachée à l'extrémité des deux (2) poutres déposées au sol et au câble du treuil d'un boteur. Ce dernier était situé en dehors de l'excavation à un point plus haut (photographie 6). La chaîne était attachée à ses deux (2) extrémités aux poutres d'acier par des trous qui y avaient été pratiqués et près de son centre au câble du treuil du boteur. Un tronc d'arbre avait été installé entre les deux (2) poutres d'acier près de leur extrémité afin d'éviter le déplacement latéral de l'extrémité des poutres en direction de l'axe dans lequel se trouvait le câble du treuil du boteur lorsque le câble et la chaîne étaient tendus (photographie 4). Des représentations simplifiées de la scène sont présentées en annexe. Sur ces représentations, le tronc d'arbre n'est pas démontré.

Sur place, nous avons constaté que l'extrémité d'une des poutres d'acier sur laquelle était attachée la chaîne, soit la poutre située plus au sud ou à droite en regardant vers la façade avant du bâtiment, était déchirée et tordue (photographie 7). L'extrémité de l'autre poutre d'acier était tordue (photographie 8). Le déchirement de l'extrémité de la poutre d'acier située au sud serait la cause de la projection de la chaîne ou du câble qui aurait frappé le travailleur situé au nord-est de l'excavation.



3. ANALYSE ET DISCUSSION

Les résultats présentés à cette section sont démontrés dans la note de calculs jointe en annexe.

3.1 FORCE DE TRACTION DANS LA CHAÎNE ET DANS LE CÂBLE

3.1.1 Poids du bâtiment et de tous les éléments tractés

.1 Poids du bâtiment

Lors de notre visite, nous avons pu observer l'intérieur et l'entree du bâtiment. Sur la base de nos observations sur place et des compositions typiques de ce genre de bâtiment, nous avons pu estimer le poids du bâtiment. Les compositions suivantes ont été considérées pour établir le poids du bâtiment déplacé :

Composition	Détail de la composition		Poids total de la composition
Toiture	Bardeaux	0,150 kPa	0,665 kPa
	Contreplaqué 19 mm	0,095 kPa	
	Laine minérale 100 mm	0,020 kPa	
	Panneaux de gypse 12,7 mm	0,100 kPa	
	Éléments de structure	0,300 kPa	
Plancher du rez-de-chaussée	Couvre-plancher	0,070 kPa	0,765 kPa
	Contreplaqué 19 mm	0,095 kPa	
	Cloisons	0,300 kPa	
	Éléments de structure	0,300 kPa	
Mur extérieur	Revêtement de vinyle	0,070 kPa	0,307 kPa
	Panneaux de carton fibre	0,039 kPa	
	Colombages 38x140 mm à 400 mm c/c	0,070 kPa	
	Laine minérale 140 mm	0,028 kPa	
	Panneaux de gypse 12,7 mm	0,100 kPa	

Nous croyons qu'il est davantage probable que les compositions considérées mènent à une sous-estimation qu'à une surestimation du poids du bâtiment. Nous avons opté pour cette approche afin de diminuer l'incertitude des résultats, dans le cas où l'effort pour tracter le bâtiment serait plus grand que la résistance de la connexion.



LE GÉNIE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION

En considérant les compositions mentionnées ci-haut ainsi que les dimensions du bâtiment relevées sur place, c'est-à-dire 9 050mm de largeur par 12 840mm de longueur, nous estimons le poids du bâtiment à environ 198,9 kN.

.2 Poids du système de poutres servant au déplacement du bâtiment

En considérant les dimensions de la poutre de bois et des poutres d'acier relevées sur place, nous estimons le poids du système des poutres servant au déplacement du bâtiment à environ 46,6 kN.

.3 Poids total de tous les éléments tractés

Nous estimons le poids total de tous les éléments tractés, soit le bâtiment ainsi que le système de poutres servant au déplacement du bâtiment, à environ 245,5 kN.

3.1.2 Coefficient de friction entre le sol et l'acier

Dans le but de trouver des valeurs de coefficient de friction entre le sol et l'acier, nous avons consulté plusieurs recherches et références sur le sujet. Nous retenons comme référence le Manuel canadien d'ingénierie des fondations, dont l'extrait pertinent est présenté en annexe, puisque les coefficients de friction présentés sont conservateurs, donc pourraient davantage mener à une sous-estimation de la force requise pour déplacer le bâtiment qu'à une surestimation. Comme le sol sur le site s'apparente à un sable (photographies 9 et 10), nous sommes d'avis que le coefficient de friction théorique entre l'acier et le sol devrait se situer entre 0,2 et 0,25 en se basant sur les coefficients de friction entre le sol et des palplanches en acier. Pour nos calculs visant à déterminer la force de traction dans la chaîne et dans le câble, nous avons considéré un coefficient de friction sol-acier de 0,2 afin de mener davantage à une sous-estimation de la force qu'à une surestimation.

3.1.3 Forces de traction

.1 Force de traction dans la chaîne

En considérant un poids total des éléments tractés de 245,5 kN, un coefficient de friction entre le sol et l'acier de 0,2 et la direction de la chaîne déterminée selon la géométrie relevée sur place, nous estimons que l'effort de traction minimale dans la chaîne pour déplacer le



LE GÉNIE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION

bâtiment est d'environ 39,4 kN. En considérant une dimension de chaîne de ½ pouce, selon ce que nous avons relevé sur place, un grade 70, tel que le grade du crochet utilisé sur place, et en se référant aux capacités de chaînes du manufacturier *Vanguard Steel*, la résistance ultime minimale de la chaîne, c'est-à-dire sa résistance minimale à la rupture, est de 200,8 kN. Cette résistance est environ 5 fois supérieure à l'effort de traction minimale estimée pour déplacer le bâtiment. En considérant un crochet de même type que celui utilisé sur place, soit un crochet pour une dimension de chaîne de ½ pouce de grade 70 et en se référant aux capacités de crochet du manufacturier *Vanguard Steel*, la résistance ultime minimale du crochet est d'environ 161 kN, ce qui est environ 4 fois supérieur à l'effort de traction minimale estimée pour déplacer le bâtiment. Il est possible cependant que la chaîne et le crochet utilisés aient été fabriqués par un autre manufacturier et pourraient donc avoir une résistance ultime moindre, bien qu'il nous semble très peu probable que cette résistance soit inférieure à l'effort étant donné l'importante différence entre les résistances et l'effort.

2 Force de traction dans le câble du buteur

En considérant un poids total des éléments tractés de 245,5 kN, un coefficient de friction entre le sol et l'acier de 0,2 et la direction de la chaîne et du câble déterminée selon la géométrie relevée sur place, nous estimons que l'effort de traction minimale dans le câble pour déplacer le bâtiment est d'environ 49,4 kN. En considérant une manille de même type que celle utilisée sur place, soit une manille de 1-3/8 pouce de dimension et d'une capacité de charge de travail de 13 ½ tonnes métriques, et en se référant aux capacités de manille du manufacturier *Crosby*, la résistance ultime minimale de la manille est d'environ 795 kN, ce qui est environ 16 fois supérieur à l'effort de traction minimale estimé pour déplacer le bâtiment. Il est possible cependant que la manille utilisée ait été fabriquée par un autre manufacturier et pourrait donc avoir une résistance ultime moindre, bien qu'il nous semble très peu probable, voire improbable, que cette résistance soit inférieure à l'effort étant donné l'importante différence entre la résistance et l'effort. La capacité d'un câble dépend de plusieurs facteurs, dont son diamètre, le nombre de torons, le nombre de fils par toron, etc. En ce sens, il ne nous est pas possible de déterminer la capacité du câble d'acier du treuil du buteur avec l'information dont nous disposons.



3.2 RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

La résistance de l'assemblage a été déterminée par l'ingénieur Marc Dallaire de la firme Géni-Métal en fonction de l'information que nous lui avons transmise, dont le type de profilé d'acier utilisé, qui est soit un W530x82 ou un W530x92 selon les dimensions relevées. Pour ce faire, l'acier a été considéré comme étant de la nuance 350W puisqu'il s'agit de la nuance la plus commune, et ce, de loin, pour ce type de profilé. Puisque la norme CSA G40.21, qui régit les aciers de construction, mentionne une plage de valeur pour la limite ultime d'un acier de nuance 350W allant de 450 MPa à 650 MPa, la capacité sans aucune pondération de la connexion sous un effort de traction dans la direction de la chaîne est de 12,6 kN à 18,2 kN avec une marge d'erreur de $\pm 30\%$, ce qui est moins que 50 % de la force de traction nécessaire dans la chaîne pour le déplacement du bâtiment en excluant la marge d'erreur. Même en considérant la résistance la plus optimiste avec la marge d'erreur, la capacité de la connexion n'est pas suffisante pour résister à l'effort de traction. En ce sens et considérant que les différentes hypothèses retenues ont tendance à davantage sous-estimer la force de traction nécessaire pour déplacer le bâtiment qu'à la surestimer, nous croyons que la connexion de la poutre d'acier au crochet de la chaîne n'avait pas la capacité nécessaire pour résister à l'effort de traction nécessaire dans la chaîne pour déplacer le bâtiment. Puisque la chaîne n'était pas parallèle à l'axe des poutres agissant comme patins, l'effort de traction dans la chaîne est supérieur à l'effort de traction parallèle à ces poutres nécessaire pour déplacer le bâtiment. Également, l'angle de l'effort de traction sur la connexion de la poutre réduit significativement la résistance locale de la connexion. Pour l'analyse de la résistance de la connexion, il a été considéré que le crochet s'appuyait totalement sur la poutre suite à la plastification de l'acier. Le détail des hypothèses et des méthodes d'analyse pour déterminer la résistance de l'assemblage est décrit à la lettre de l'ingénieur Marc Dallaire de Géni-Métal présentée en annexe.

3.3 ÉLÉMENT AYANT FRAPPÉ LE TRAVAILLEUR

Avec les informations dont nous disposons, c'est-à-dire notre relevé géométrique et la position approximative du travailleur, il semble possible que le crochet de la chaîne, la manille du câble du boteur, la chaîne elle-même et/ou encore le câble lui-même aient pu frapper le travailleur, et ce, malgré que le boteur se serait éloigné du bâtiment d'environ 800 mm suite à la rupture de la connexion selon notre relevé géométrique de la scène. Il ne nous est donc pas possible de



déterminer avec certitude l'élément ou les éléments ayant frappé le travailleur avec les informations dont nous disposons.

4. CONCLUSION

Même en considérant des hypothèses tendant à sous-estimer l'effort de traction dans la chaîne nécessaire pour le déplacement du bâtiment, l'effort serait plus de deux (2) fois plus important que la résistance sans aucune pondération de la connexion du crochet de la chaîne à la poutre en acier en excluant la marge d'erreur de $\pm 30\%$. Même en considérant la résistance la plus optimiste avec la marge d'erreur, la capacité de la connexion n'est pas suffisante pour résister à l'effort de traction. En ce sens, nous sommes d'avis que la connexion n'avait pas la capacité nécessaire pour résister à l'effort nécessaire au déplacement du bâtiment. Avec les informations dont nous disposons, il semble possible que le travailleur ait pu être frappé par le crochet de la chaîne, la chaîne elle-même, la manille du câble et/ou le câble lui-même. Il ne nous est donc pas possible de déterminer avec certitude l'élément ou les éléments ayant frappé le travailleur avec les informations disponibles.



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS

ANNEXE A
PHOTOGRAPHIES



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



Photographie 1



Photographie 2



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



Photographie 3



Photographie 4



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



Photographie 5



Photographie 6



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



Photographie 7



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



Photographie 8



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



Photographie 9

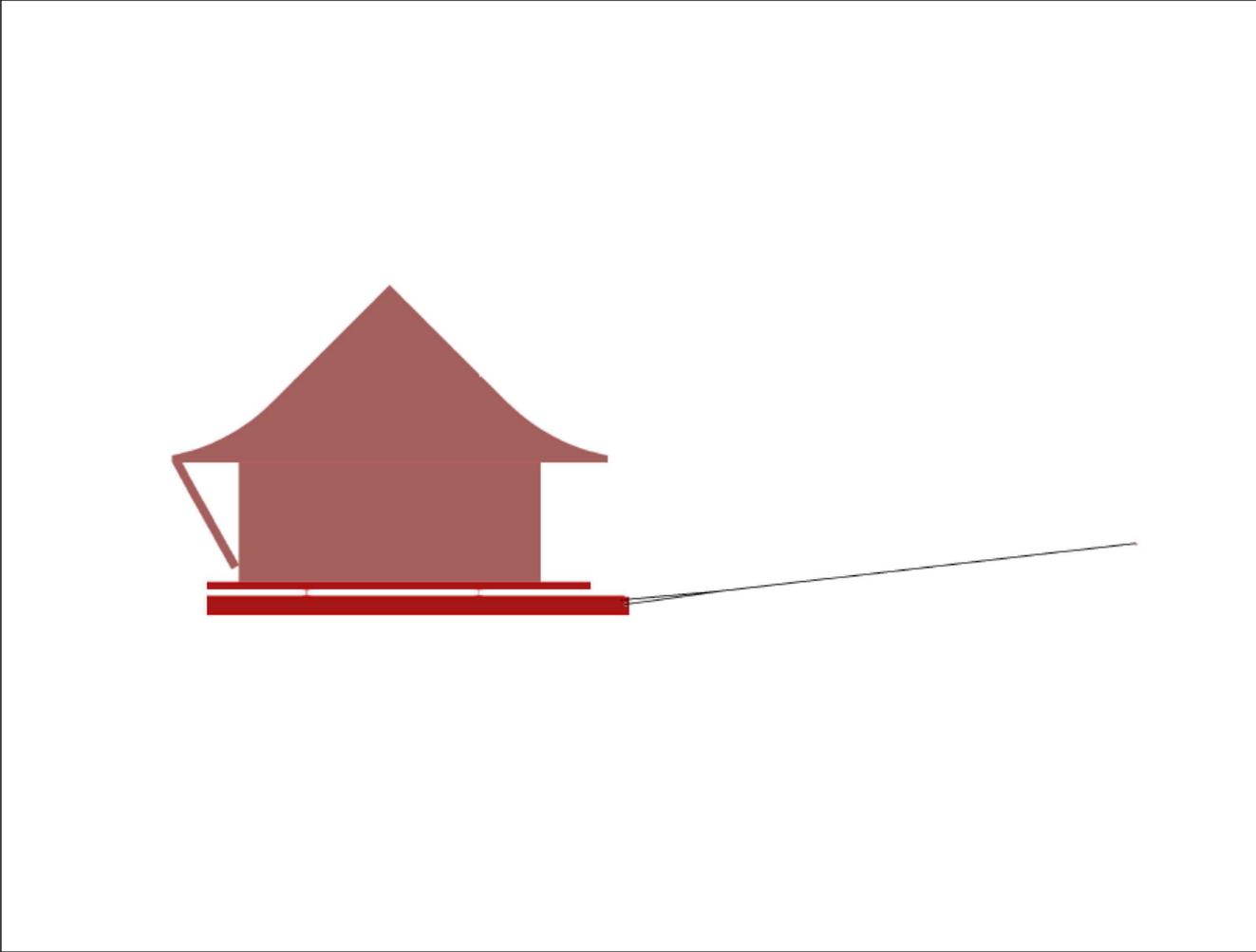


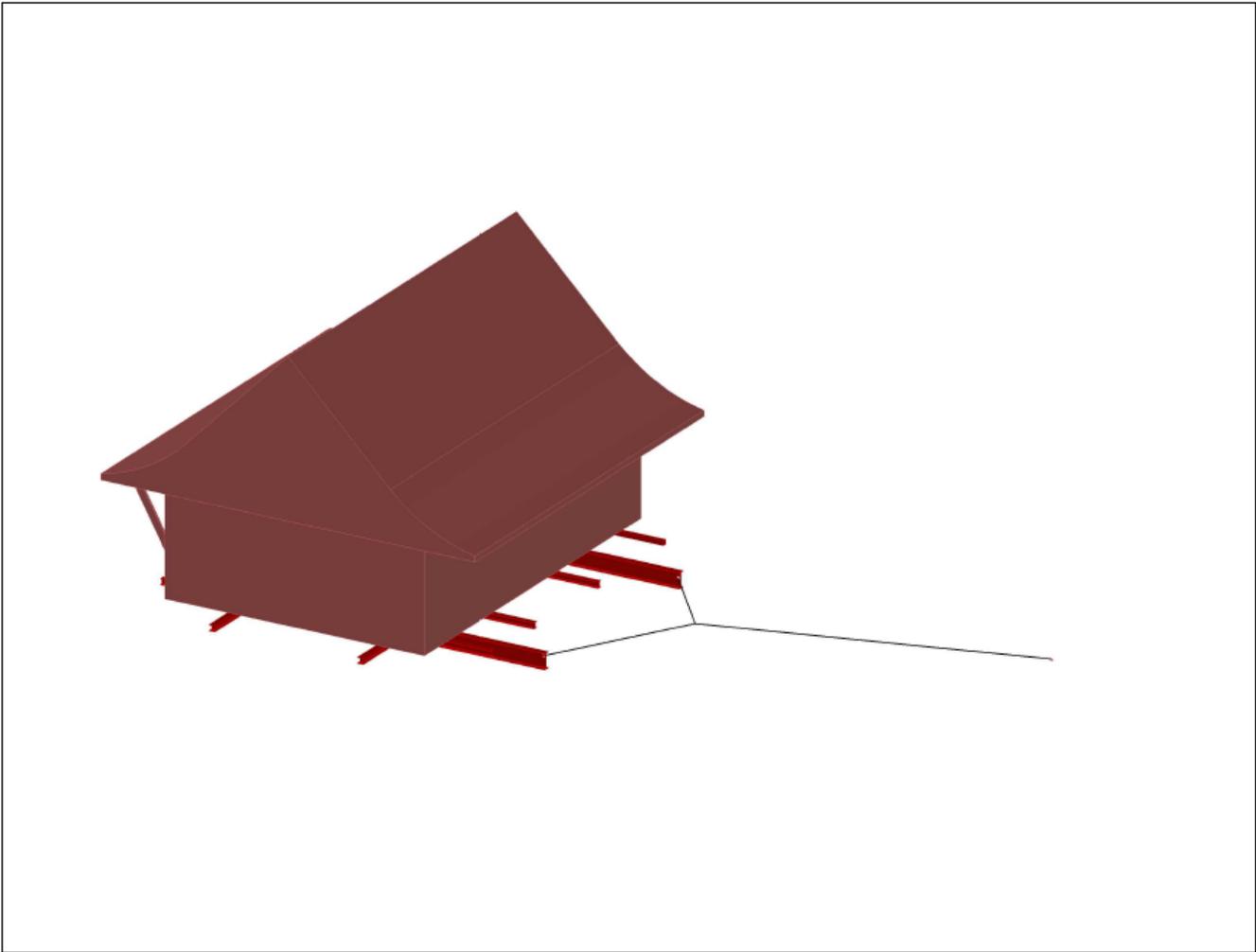
Photographie 10



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS

**ANNEXE B
REPRÉSENTATIONS SIMPLIFIÉES DE LA SCÈNE**







LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS

ANNEXE C

**EXTRAIT DU MANUEL CANADIEN D'INGÉNIERIE DES
FONDATIONS**

**CANADIAN
FOUNDATION
ENGINEERING
MANUAL
4th EDITION**

CANADIAN GEOTECHNICAL SOCIETY 2006



Soft cohesive materials will continue to creep at pressures close to active and passive earth pressures and with time the deformations will increase if the walls are sufficiently flexible to allow full development of active and passive earth pressures.

Table 24.3 and Figure 24.5 describe the effects of simple rotation or translation of a rigid wall. Other deformation patterns will induce different earth pressure magnitudes and distributions. Such deformation-dependent stress changes are most pronounced on flexible retaining structures and are discussed in more detail in Chapter 26.

24.5 Wall Friction

Unless a wall is settling, friction on its back acts upward on the active wedge, reducing active pressures. Wall friction acts downward against the passive wedge, resisting its upward movement and increasing passive pressures. In general, the effect of wall friction on active pressure is small and is often disregarded. The effect of wall friction on Coulomb's passive pressure is large, but definite movement is necessary for mobilization of wall friction. In the absence of specific test data, the angle of wall friction δ , where applicable, should be assumed to be in the range of one-half to two-thirds of ϕ' . Values of δ greater than $\frac{1}{2}$ of ϕ' should not be used in calculations of passive earth pressure using the Coulomb approach since unrealistically large estimates will result. Values for friction factors between dissimilar materials are provided in Table 24.4.

TABLE 24.4 *Angles and Coefficients of Friction and Adhesion between Dissimilar Materials*

Structure Materials	Ground or Backfill Materials ¹	Interface Friction Angle, δ	Friction Factor, $\tan\delta$
Frictional Materials			
Mass concrete or masonry	Clean sound rock	35	0.7
	GW, GP	29 to 31	0.55 to 0.60
	GM, GC, SW, SP	24 to 29	0.45 to 0.55
	SM, SC	19 to 24	0.35 to 0.45
	ML (non-plastic)	17 to 19	0.30 to 0.35
	CL (stiff to hard), residual soils	22 to 26	0.40 to 0.50
Steel sheet piles	Well-graded rock fill	22	0.40
	Uniform size rock fill	17	0.30
	GW, GP	22	0.40
	GM, GC, SW, SP	14	0.25
	SM, SC	14	0.25
	ML (non-plastic)	11	0.20
Formed or pre-cast concrete	Well-graded rock fill	22 to 26	0.40 to 0.50
	Uniform size rock fill	17 to 22	0.30 to 0.40
	GW, GP	22 to 26	0.40 to 0.50
	GM, GC, SW, SP	17	0.30
	SM, SC	14	0.25
	ML (non-plastic)	14	0.25
Adhesion in Cohesive Soils			
Consistency	Undrained Shear Strength, s_u , kPa		Adhesion (kPa)
Very Soft	0 to 12		0 to 12
Soft	12 to 25		12 to 25
Medium Stiff	25 to 50		25 to 38
Stiff	50 to 100		38 to 48
Very Stiff	100 to 200		48 to 65

¹ two-letter designations refer to USCS soil classifications (see Chapter 3).



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS

ANNEXE D

**LETTRE DE L'INGÉNIEUR MARC DALLAIRE DE
GÉNI-MÉTAL**



Saint-Augustin, le 23 octobre 2020

Monsieur Keven Roseberry

EMS

815, boul. Lebourgneuf, bureau 406

Québec, QC, G2J 0C1

Téléphone : (418) 871-8103, poste 2340

Cellulaire : (418) 571-3633

Télécopieur : (418) 871-9891

keven.roseberry@ems-ing.com



Objet : CNESST – Connexion cassée d'une poutre
Analyse de capacité – R01

N/Contrat # : 20-EMS-01

Monsieur,

Suite à votre demande, nous avons procédé aux calculs demandés. Il nous fait plaisir de vous faire part de nos constatations.

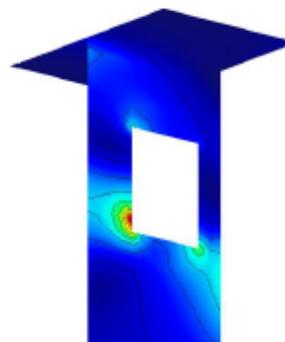
CONTEXTE ET MANDAT

La connexion d'une poutre a cédé lors d'une traction et causée mort d'homme. La CNESST mandate EMS de façon générale pour l'ingénierie et EMS mandate Génie-Métal Inc. pour le calcul local de la capacité théorique ultime de la connexion.



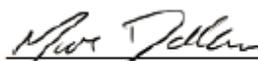
HYPOTHÈSES

- La poutre W530 est considérée être de nuance CSA G40.21 350W (soit une limite d'élasticité de 350 MPa), ceci étant le standard dans ce type de profilé. La contrainte limite de rupture d'une telle nuance est entre 450 MPa et 650 MPa et dépend de la coulée de l'acier (CSA G40.21). Dans cet esprit, deux résultats sont donc donnés, suivant la plage de valeurs possible de contrainte ultime.
- L'épaisseur des semelles (14.6 mm) et de l'âme (9.5 mm), ainsi que l'angle de la traction de la chaîne sont considérés être ceux donnés dans le document d'EMS. Voir Annexe 2.
- Les valeurs ultimes sont considérées être sans aucune pondération. Autant au niveau de la charge (vive, impact, etc.) qu'au niveau du matériau, soit la résistance ultime après plastification, sans même facteur de résistance ϕ .
- Dû à l'angle de la charge, les équations théoriques ne peuvent être utilisés. Une analyse par éléments finis a donc été utilisée. Il demeure une marge d'erreur aux résultats que nous estimons à $\pm 30\%$. L'image ci-contre représente une schématisation des efforts lors de la traction. Les couleurs chaudes représentent des contraintes plus élevées (maximum en rouge), alors que les couleurs froides représentent des zones moins sollicitées par cette traction. L'angle de la charge réduit d'ailleurs significativement la résistance locale de la connexion.



RÉSULTATS

La capacité de la connexion à la traction de la chaîne est de **12.6 kN** (2 822 lb) à **18.2 kN** (4 077 lb). En espérant le tout à votre entière satisfaction, veuillez agréer, Monsieur, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

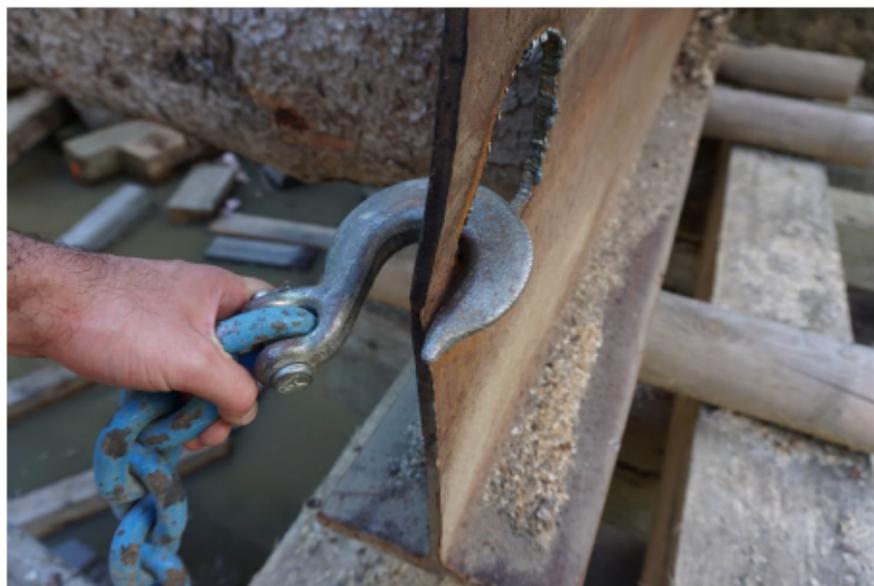


 Marc Dallaire, ing.



ANNEXE 1 – PHOTOS

20-EMS-01 CNESST – Connexion poutre

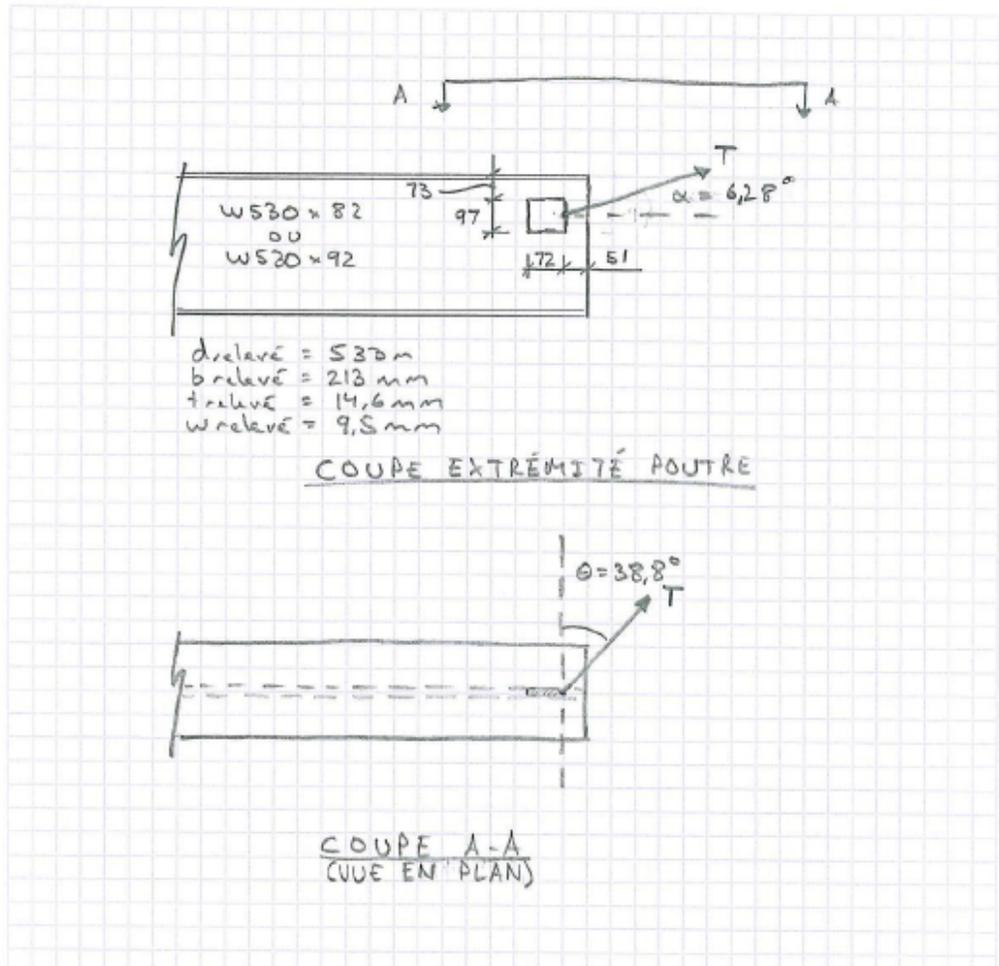




ANNEXE 2 – DOCUMENT EMS
20-EMS-01 CNESST – Connexion poutre

FEUILLE DE PROJET

N° projet : 020-177 Page : 1
 Nom du projet : CNESST Calculé par : K.R.
 à Délagé OIQ : 5574406 Date : 2020/10/15
 Sujet : Force sur poutre Vérifié par : _____
 OIQ : _____ Date : _____





LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS

ANNEXE E

NOTE DE CALCULS



Projet: Expertise déplacement maison au
à Délégé
No. projet: U20-177
Sujet: Note de calcul

Par: Keven Roseberry, ing.
No. OIQ: 5074406
11/18/2020

Évaluation du poids du bâtiment et de tous les éléments tractés

Poids du bâtiment

Toiture

Composition considérée:

Bardeaux:	$T01 := 0.150 \text{ kPa}$
Contreplaqué 19mm:	$T02 := 0.095 \text{ kPa}$
Laine minérale 100mm:	$T03 := 0.020 \text{ kPa}$
Panneaux de gypse 12.7mm:	$T04 := 0.100 \text{ kPa}$
Éléments de structure:	$T05 := 0.300 \text{ kPa}$

$$\textit{Toiture} := T01 + T02 + T03 + T04 + T05 = 0.665 \text{ kPa}$$

Rez-de-chaussée

Composition considérée:

Couvre-plancher:	$RDC01 := 0.070 \text{ kPa}$
Contreplaqué 19mm:	$RDC02 := 0.095 \text{ kPa}$
Cloisons:	$RDC03 := 0.300 \text{ kPa}$
Éléments de structure:	$RDC04 := 0.300 \text{ kPa}$

$$\textit{RDC} := RDC01 + RDC02 + RDC03 + RDC04 = 0.765 \text{ kPa}$$

Mur extérieur:

Composition considérée:

Revêtement de vinyle:	$M01 := 0.070 \text{ kPa}$
Panneaux de carton fibre:	$M02 := 0.039 \text{ kPa}$
Colombages 38x140mm@400mm c/c:	$M03 := 0.070 \text{ kPa}$
Laine minérale 140mm:	$M04 := 0.028 \text{ kPa}$
Panneaux de gypse 12.7mm:	$M05 := 0.100 \text{ kPa}$

$$\textit{Murs_ext} := M01 + M02 + M03 + M04 + M05 = 0.307 \text{ kPa}$$

Poids total du bâtiment:

$\textit{Largeur} := 9050 \text{ mm}$	(relevée sur place)
$\textit{Longueur} := 12840 \text{ mm}$	(relevée sur place)
$\textit{Hauteur} := 2438 \text{ mm}$	(estimée)

$$\textit{Poids_toiture} := (\textit{Largeur} \cdot \textit{Longueur}) \cdot \textit{Toiture} = 77.274 \text{ kN}$$

$$\textit{Poids_RDC} := (\textit{Largeur} \cdot \textit{Longueur}) \cdot \textit{RDC} = 88.895 \text{ kN}$$

$$\textit{Poids_murs} := ((2 \cdot \textit{Largeur} + 2 \cdot \textit{Longueur}) \cdot \textit{Hauteur}) \cdot \textit{Murs_ext} = 32.768 \text{ kN}$$



Projet: Expertise déplacement maison au
à Déléage
No. projet: U20-177
Sujet: Note de calcul

Par: Keven Roseberry, ing.
No. OIQ: 5074406
11/18/2020

$Poids_{bâtiment} := Poids_{toiture} + Poids_{RDC} + Poids_{murs} = 198.937 \text{ kN}$	
<u>Poids du système de poutres servant au déplacement du bâtiment</u>	
<u>P01 - Poutre de bois 150x150x9053mm</u>	
$Nb := 1$	$b := 150 \text{ mm}$
$d := 150 \text{ mm}$	$Lg_{poutre} := 9053 \text{ mm}$
$\gamma := 4100 \frac{N}{m^3}$	
$P01 := Nb \cdot (b \cdot d \cdot Lg_{poutre}) \cdot \gamma = 0.835 \text{ kN}$	
<u>P02 - Poutre d'acier W200x42</u>	
$Nb := 3$	$Lg_{poutre} := 9050 \text{ mm}$
$wd := 0.409 \frac{kN}{m}$	
$P02 := Nb \cdot Lg_{poutre} \cdot wd = 11.104 \text{ kN}$	
<u>P03 - Poutre d'acier W200x46</u>	
$Nb := 2$	$Lg_{poutre} := 15043 \text{ mm}$
$wd := 0.451 \frac{kN}{m}$	
$P03 := Nb \cdot Lg_{poutre} \cdot wd = 13.569 \text{ kN}$	
<u>P04 - Poutre d'acier W530x92</u>	
$Nb := 2$	$Lg_{poutre} := 11634 \text{ mm}$
$wd := 0.907 \frac{kN}{m}$	
$P04 := Nb \cdot Lg_{poutre} \cdot wd = 21.104 \text{ kN}$	
<u>Poids total poutres</u>	
$Poids_{poutres} := P01 + P02 + P03 + P04 = 46.612 \text{ kN}$	
<u>Poids total du bâtiment et de tous les éléments tractés</u>	
$Poids_{total} := Poids_{bâtiment} + Poids_{poutres} = 245.549 \text{ kN}$	



Projet: Expertise déplacement maison au
à Déléage
No. projet: U20-177
Sujet: Note de calcul

Par: Keven Roseberry, ing.
No. OIQ: 5074406
11/18/2020

Forces de traction

Force de traction dans la chaîne

Effort pour déplacer le bâtiment

Coefficient de friction: $\mu := 0.2$

Effort total: $F_{tot} := \mu \cdot Poids_{total} = 49.11 \text{ kN}$

Effort par poutre au sol: $F := \frac{F_{tot}}{2} = 24.555 \text{ kN}$

Effort dans la chaîne

Angle horizontal de la chaîne p/r à l'axe parallèle à la poutre: $\theta := 51.2 \text{ deg}$

Angle vertical de la chaîne p/r à l'axe parallèle à la poutre: $\alpha := 6.28 \text{ deg}$

Force à l'angle θ sur le plan horizontal:

$$T_h := \frac{F}{\cos(\theta)} = 39.187 \text{ kN}$$

Force à l'angle θ sur le plan horizontal et à l'angle α sur le plan vertical:

$$T_{vh} := \frac{T_h}{\cos(\alpha)} = 39.424 \text{ kN}$$

Traction dans la chaîne: $T_{chaîne} := T_{vh} = 39.424 \text{ kN}$

Effort dans le câble

Traction dans le câble: $T_{câble} := \frac{F_{tot}}{\cos(\alpha)} = 49.406 \text{ kN}$



Projet: Expertise déplacement maison au
à Déléage
No. projet: U20-177
Sujet: Note de calcul

Par: Keven Roseberry, ing.
No. OIQ: 5074406
 11/18/2020

Élément ayant frappé le travailleur

Longueur câble relevée: $Lg_câble_rel := 11760 \text{ mm}$

Longueur câble modèle: $Lg_câble_mod := 12569 \text{ mm}$
 (établi avec position du
bouteur et de la maison)

Différence longueur câble: $Diff_Lg := Lg_câble_mod - Lg_câble_rel = 809 \text{ mm}$

Cette longueur différentielle nous permet d'estimer le déplacement du bouteur suite au bris de la connexion.

Déplacement selon plan horizontal: $Deplacement := Diff_Lg \cdot \cos(\alpha) = 804.145 \text{ mm}$

En fonction de cette position d'origine et de notre relevé géométrique transposé dans un modèle 3d, le crochet, la chaîne, la manille et/ou le câble auraient pu frappé le travailleur.



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS

ANNEXE D**Références bibliographiques**

LOIS ET RÈGLEMENTS DU QUÉBEC, *Loi sur la santé et la sécurité du travail*, chapitre S-2.1

LOIS ET RÈGLEMENTS DU QUÉBEC, *Code de sécurité pour les travaux de construction*, chapitre S-2.1, r. 4

LOIS ET RÈGLEMENTS DU QUÉBEC, *Loi sur les ingénieurs*, chapitre I-9

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, *Rigging hardware : Safety Standard for cableways, cranes, derricks, hoists, hooks, jacks, and slings*, New York, ASME, 2015, 36 p. (ASME B30.26)

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, *Slings : Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks and Slings*, New York, ASME, 2018, 44 p. (ASME B30.9)