

# **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident ayant causé la mort d'un travailleur de  
Transport Germain Philie inc. dans la cour de  
l'entreprise Galvanisation Québec inc., située au  
225, rue Jérémie-Pacaud à Princeville, le 14 août 2020**

**Version dépersonnalisée**

**Service de la prévention-inspection Mauricie et Centre-du-Québec  
Direction de la prévention-inspection Capitale-Nationale et Centre-Nord**

**Inspecteurs :**

\_\_\_\_\_

**Mathieu Ruel**

\_\_\_\_\_

**Stéphanie Rosa**

**Date du rapport : 17 juin 2021**

**Rapport distribué à :**

- Monsieur A [REDACTED], Transport Germain Philie inc.
  - Monsieur B [REDACTED], Galvanisation Québec inc.
  - M<sup>e</sup> Pierre Bélisle, coroner
  - D<sup>re</sup> Marie-Josée Godi, directrice de la santé publique et de la responsabilité populationnelle, CIUSSS MCQ
-

**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1</b>	<b><u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u></b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u></b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>GALVANISATION QUÉBEC INC.</b>	<b>3</b>
2.1.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.1.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.1.2.1	Mécanismes de participation	3
2.1.2.2	Gestion de la santé et de la sécurité	3
<b>2.2</b>	<b>TRANSPORT GERMAIN PHILIE INC.</b>	<b>4</b>
2.2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	4
2.2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	4
2.2.2.1	Mécanismes de participation	4
2.2.2.2	Gestion de la santé et de la sécurité	4
<b>3</b>	<b><u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u></b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL</b>	<b>5</b>
<b>3.2</b>	<b>DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b><u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u></b>	<b>8</b>
<b>4.1</b>	<b>CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT</b>	<b>8</b>
<b>4.2</b>	<b>CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES</b>	<b>11</b>
4.2.1	INFORMATIONS SUR LES TRAVAILLEURS ET LEURS FORMATIONS	11
4.2.1.1	Le camionneur	11
4.2.1.2	Le cariste	12
4.2.2	INFORMATIONS SUR LE CHARIOT ÉLÉVATEUR	12
4.2.3	INFORMATIONS SUR LE CAMION SEMI-REMORQUE À PLATEAU	13
4.2.4	CARACTÉRISTIQUES DU TERRAIN DE CHARGEMENT	13
4.2.5	CARACTÉRISTIQUES DU MATÉRIEL À TRANSPORTER	14
4.2.6	POSITIONNEMENT DU CHARGEMENT SUR LE CAMION SEMI-REMORQUE À PLATEAU	15
4.2.7	INFORMATIONS RELATIVES À L'EXPERTISE ET AUX SIMULATIONS	19
4.2.8	LOI, RÉGLEMENTATION ET RÈGLES DE L'ART	22
4.2.8.1	Code canadien du travail	22
4.2.8.2	Loi sur la santé et la sécurité du travail	23
4.2.8.3	Code de la sécurité routière	23
4.2.8.4	Norme et règles de l'art	26
<b>4.3</b>	<b>ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES</b>	<b>27</b>
4.3.1	LE PYLÔNE SUPÉRIEUR EST POSITIONNÉ EN ÉQUILIBRE PRÉCAIRE SUR LE PLATEAU DE LA SEMI-REMORQUE PENDANT LES MANŒUVRES DE CHARGEMENT, FAVORISANT AINSI SA CHUTE.	27

4.3.2	LE CAMIONNEUR EST POSITIONNÉ DANS LA TRAJECTOIRE DE CHUTE DU PYLÔNE SUPÉRIEUR.	28
4.3.3	LA LEVÉE DU CHARGEMENT PAR LE CHARIOT ÉLEVATEUR PROVOQUE UN MOUVEMENT DE ROTATION DU PYLÔNE SUPÉRIEUR SUR LE CÔTÉ OPPOSÉ AU CHARIOT ÉLEVATEUR.	28
4.3.4	L'ORGANISATION DU TRAVAIL, LES MÉTHODES ET LES TECHNIQUES UTILISÉES POUR LE CHARGEMENT DES PYLÔNES SONT DÉFICIENTES.	29
<b>5</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>31</b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	31
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	31
5.3	SUIVI DE L'ENQUÊTE	31
<b>ANNEXES</b>		
ANNEXE A :	Accidenté	32
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	33
ANNEXE C :	Rapport d'expertise d'ingénierie mécanique	34
ANNEXE D :	Rapport d'arpentage	52
ANNEXE E :	Références bibliographiques	58

---

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

Le 14 août 2020, M. C [REDACTED] camionneur pour Transport Germain Philie inc., ainsi qu'un cariste de l'entreprise Galvanisation Québec inc. effectuent le chargement de quatre sections de pylônes tubulaires sur un camion semi-remorque à plateau dans la cour de Galvanisation Québec inc. À 10 h 10, lors des manœuvres de chargement, l'une des sections de pylônes chute du plateau de la semi-remorque et heurte le travailleur.

**Conséquence**

Le travailleur décède.



**Figure 1 : Lieu de l'accident à la suite de la sécurisation par les premiers répondants  
(Source : CNESST)**

**Abrégé des causes**

L'enquête a permis d'identifier les quatre causes suivantes pour expliquer cet accident :

- Le pylône supérieur est positionné en équilibre précaire sur le plateau de la semi-remorque pendant les manœuvres de chargement, favorisant ainsi sa chute.
- Le camionneur est positionné dans la trajectoire de chute du pylône supérieur.
- La levée du chargement par le chariot élévateur provoque un mouvement de rotation du pylône supérieur sur le côté opposé au chariot élévateur.
- L'organisation du travail, les méthodes et les techniques utilisées pour le chargement des pylônes sont déficientes.

**Mesures correctives**

Le 14 août 2020, jour de l'accident, la CNESST ordonne la suspension des travaux de chargement des sections médianes de pylônes tubulaires. Cette décision est consignée au rapport d'intervention RAP1315467.

Le 21 août 2020, une décision ordonne la suspension des travaux de manutention et de transport des pylônes tubulaires sur le site de Galvanisation Québec inc. Cette décision est consignée au rapport d'intervention RAP1316107.

Le 2 octobre 2020, la CNESST autorise la reprise des travaux de chargement, transport et manutention des pylônes tubulaires selon la méthode de travail sécuritaire présentée par Galvanisation Québec inc. Cette décision est inscrite au rapport RAP1321754.

*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.*

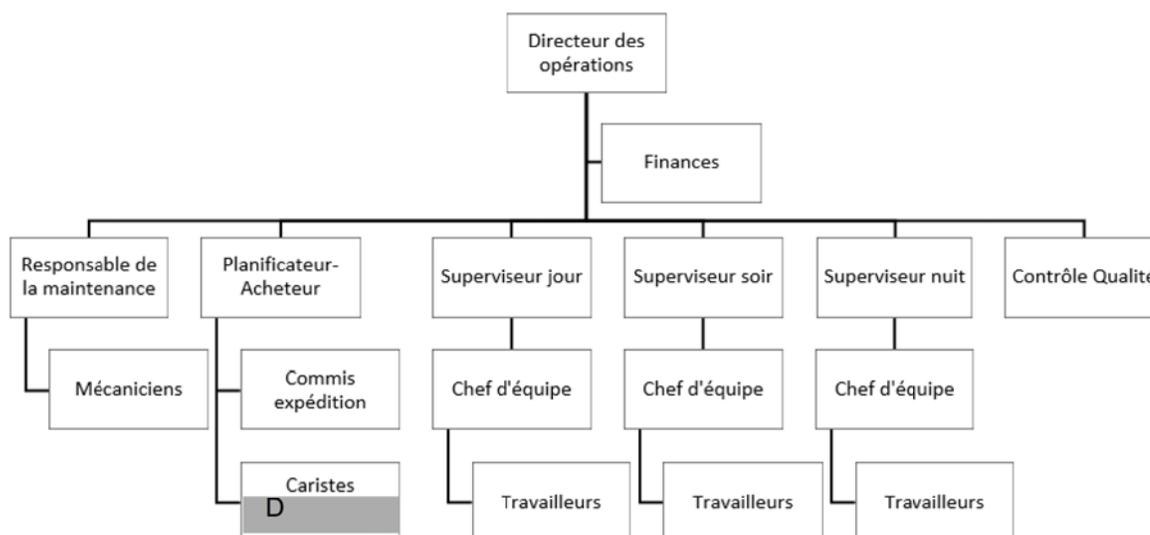
**SECTION 2**

**2 ORGANISATION DU TRAVAIL**

**2.1 Galvanisation Québec inc.**

**2.1.1 Structure générale de l'établissement**

Galvanisation Québec inc. est une entreprise spécialisée dans la galvanisation à chaud de pièces d'acier de toutes dimensions et est détenue à parts égales par Corbec inc. et Gestion Claude Beauvillier inc. L'établissement est situé au 225 rue Jérémie-Pacaud à Princeville. L'entreprise emploie environ 130 travailleurs non syndiqués. La gestion des opérations relève de 23 travailleurs en supervision soit des cadres, des superviseurs, des contremaîtres et des chefs d'équipe.



**Figure 2 : Organigramme de Galvanisation Québec inc.**  
(Source : CNESST inspirée de la documentation de Galvanisation Québec inc.)

**2.1.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail**

**2.1.2.1 Mécanismes de participation**

Un comité de santé et sécurité est en place et se rencontre habituellement tous les trois mois. Il n'y a pas de représentant à la prévention désigné à l'établissement. En cas de questionnements relatifs aux enjeux de sécurité, les travailleurs peuvent discuter avec le chef d'équipe ou le superviseur.

**2.1.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité**

Galvanisation Québec inc. fait partie du secteur d'activité économique « Fabrication de produits en métal ». Les établissements de ce secteur d'activité

ont l'obligation, en vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST), de mettre en application un programme de prévention.

Un programme de prévention, mis à jour en 2015, est disponible à l'établissement et est présenté aux nouveaux travailleurs lors du processus d'embauche. L'entreprise dispose d'un plan d'action annuel en santé et sécurité.

Les caristes de l'entreprise sont formés par l'employeur en partenariat avec l'Association sectorielle paritaire (ASP) MultiPrévention. Il n'y a pas de formation spécifique sur le chargement et le déchargement des camions semi-remorque à plateau, ni de procédure de travail pour ces opérations.

## **2.2 Transport Germain Philie inc.**

### **2.2.1 Structure générale de l'établissement**

Transport Germain Philie inc. est une entreprise [redacted] détenue par M. E [redacted] et ses [redacted], M. A [redacted] et M. F [redacted]. M. A [redacted] est le [redacted] de l'entreprise qui emploie 12 travailleurs non syndiqués.

L'entreprise se spécialise dans les activités de transport, sur courte et longue distance, de marchandises agricoles et de produits en tout genre. M. A [redacted] est le [redacted] des travailleurs de l'entreprise constituée de camionneurs et de mécaniciens.

L'employeur possède une flotte de divers véhicules de transport : une semi-remorque de type fourgon, 15 semi-remorques à plateau, 4 semi-remorques-citernes ainsi que 6 semi-remorques à benne basculante.

### **2.2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail**

#### **2.2.2.1 Mécanismes de participation**

La gestion de la santé et la sécurité se fait de façon informelle. Il n'y a pas de comité de santé et sécurité ni de représentant à la prévention. En cas de questionnements relatifs aux enjeux de sécurité, les travailleurs peuvent discuter avec le A [redacted] en personne ou communiquer avec lui par téléphone.

#### **2.2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité**

L'entreprise de transport routier fait partie du secteur d'activité économique « Transport et entreposage » et est soumise à la juridiction fédérale considérant notamment ses activités de transport interprovincial. Elle est réglementée par le Code canadien du travail et a un représentant en matière de santé et sécurité.

Les camionneurs de l'entreprise détiennent un permis de conduire de classe 1 délivré par la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) et ils effectuent quelques journées de compagnonnage en début d'emploi selon les besoins de chacun.

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

L'établissement de Galvanisation Québec inc. est situé sur la rue Jérémie-Pacaud à Princeville dans le quartier industriel (figure 3).



**Figure 3 : Entreprise Galvanisation Québec inc. (Source : CNESST)**

L'usine de 90 000 pieds carrés se trouve sur un terrain de 700 000 pieds carrés qui est en partie utilisé comme espace d'entreposage extérieur pour le matériel à galvaniser et celui qui est en attente d'expédition. La cour est donc accessible par la rue et divisée en plusieurs allées afin de permettre la circulation des véhicules lourds et des chariots élévateurs qui effectuent les tâches de chargement et de déchargement des pièces d'aciers sur les remorques.

Lors du déchargement d'une livraison, le cariste manutentionne les pièces d'acier à l'aide d'un chariot élévateur et les entrepose dans des casiers extérieurs numérotés (espaces numérotés et identifiés par des blocs de béton) afin de faciliter leur repérage pour le processus de galvanisation à venir. En conséquence, la superficie de ces zones d'entreposage est fréquemment modifiée en fonction des dimensions des pièces reçues.

Les pièces d'acier sont ensuite transportées à l'intérieur de l'établissement à l'aide d'un chariot élévateur afin de procéder aux différentes étapes du processus de galvanisation.

Le déplacement des pièces à l'intérieur de l'établissement se fait à l'aide de ponts roulants. Les pièces d'acier sont ainsi déplacées et trempées dans différents bassins afin d'être nettoyées et subissent, par la suite, le procédé de galvanisation à chaud.

Les pièces galvanisées sont finalement inspectées et transportées à nouveau avec un chariot élévateur vers la cour extérieure afin d'être déposées dans d'autres casiers dans l'attente de leur chargement et expédition (figure 4).



**Figure 4 : Cour de chargement et de déchargement de Galvanisation Québec inc.**  
(Source : Google Map, modifiée par la CNESST)

Le 14 août 2020, les opérations dans la cour se font dans des conditions estivales, sans précipitation. Selon MétéoMédia, la température ambiante est de 26,5 °C avec un vent de 30 km/h. Le terrain devant le casier n° 46, lieu de l'accident, est relativement plat et le sol est sec.

### 3.2 Description du travail à effectuer

Le vendredi 14 août 2020, jour de l'accident, le travail à effectuer devant le casier n° 46 consiste à faire le chargement de quatre sections médianes de pylônes tubulaires sur le plateau d'un camion semi-remorque à l'aide d'un chariot élévateur.

Les quatre sections de pylônes, fabriquées par l'entreprise Locweld Structures, ont subi une galvanisation à chaud chez Galvanisation Québec inc. et doivent être expédiées sur un chantier d'Hydro One à Nepean en Ontario.

Le matin de l'accident, le camionneur se présente avec un camion semi-remorque à plateau vide. Il doit charger quatre sections de pylônes et les expédier au chantier situé en Ontario. Considérant que les opérations se déroulent un vendredi, il est convenu que le camionneur doit charger les sections de pylônes et rapporter le véhicule ainsi que le chargement chez son employeur Transport Germain Philie inc. à Saint-Mathieu, en Montérégie. La livraison au chantier est prévue le lundi suivant.

À l'arrivée du camionneur chez Galvanisation Québec inc., G affecte un cariste pour le chargement des sections de pylônes.

Chacune des quatre sections médianes de pylônes à charger sur le plateau de la semi-remorque a une longueur de 16,76 m et pèse 3 628 kg.

Les différentes sections de pylônes galvanisées sont entreposées dans des casiers adjacents au casier n° 46, soit à proximité de l'endroit où le camionneur a stationné son camion pour le chargement.

Le cariste doit manutentionner les sections de pylônes à charger en respectant les exigences du camionneur. Ce dernier est responsable du positionnement et de l'arrimage de son chargement pour le transport routier, et ce, en fonction des règlements en vigueur.

Pour la suite du rapport et afin de simplifier la compréhension du lecteur, les sections médianes de pylônes tubulaires seront nommées simplement pylônes.

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

Le 14 août vers 6 h, le camionneur, M. **C**, quitte le terrain de son employeur dans la région de la Montérégie avec son camion semi-remorque à plateau vide. Il doit se rendre à Princeville pour y récupérer un chargement de quatre pylônes galvanisés.

Vers 8 h 30, il arrive à l'entreprise Galvanisation Québec inc. Le camionneur convient avec le **G** de sélectionner lui-même les pylônes qu'il vient récupérer pour la compagnie Locweld Structures puisqu'il connaît bien les spécificités des pièces à charger.

Une fois les quatre pylônes sélectionnés, il avise le **G** afin que ce dernier affecte un cariste au chargement.

Le camionneur dirige ensuite son camion semi-remorque à proximité des pylônes à charger.

*Une captation vidéo, à partir du système de sécurité de l'entreprise, permet de relever les informations qui suivent :*

À 9 h 03, le camionneur se stationne à proximité du casier n° 46. Des cales d'espacement en bois sont déjà en place sur le plateau de la semi-remorque. Le camionneur débarque de son camion et commence les préparatifs d'arrimage du chargement en procédant notamment au déroulage des sangles de retenue. Il retourne ensuite dans la cabine du camion attendre le cariste.

À 9 h 37, le cariste de Galvanisation Québec inc., M. **D**, vient à sa rencontre afin de commencer le chargement de la cargaison. Le camionneur indique au cariste les pylônes à charger et donne quelques indications quant au positionnement des pylônes sur le plateau.

À 9 h 38, le cariste commence la manutention des deux premiers pylônes à l'aide de son chariot élévateur. Pour ce faire, il abaisse les fourches au niveau du sol et procède au soulèvement des deux premiers pylônes (n° 1 et n° 2). Le chariot achemine alors les deux pylônes vers le camion en les maintenant côte à côte et en équilibre longitudinal sur ses fourches.

À 9 h 47, le cariste dépose simultanément les pylônes n° 1 et n° 2 sur le plateau de la semi-remorque. Durant cette manœuvre, le camionneur circule autour de la semi-remorque et communique par gestes avec le cariste pour lui indiquer le positionnement du premier niveau de pylônes. À l'aide des indications du camionneur, le cariste replace les pylônes à deux reprises.

Le camionneur juge que la disposition des pylônes est adéquate. Le cariste retire alors les fourches qui se trouvent encore sous le chargement. Les deux pylônes sont alors parallèles et en appui sur les cales d'espacement en bois qui sont déjà en place sur le plateau de la semi-remorque.

Le camionneur discute à nouveau avec le cariste afin de lui donner ses indications pour la suite du chargement. Ainsi, le cariste repart avec le chariot élévateur vers les casiers adjacents afin de préparer le transport des pylônes n° 3 et n° 4.

Pendant ces manœuvres de préparation par le cariste, le camionneur positionne des cales d'espacement en bois sur le dessus des pylônes n° 1 et n° 2 en vue de superposer le second niveau de pylônes. Il procède à cette opération dans un premier temps à partir du sol et par la suite en montant sur le chargement et en se déplaçant sur les pylônes déjà positionnés. Lorsque cette étape est complétée, il redescend au sol. Il passe alors six sangles de retenue par-dessus le premier niveau de pylônes, et ce, à partir du côté conducteur sans toutefois les arrimer du côté passager.

À 9 h 58, le cariste soulève les pylônes n° 3 et n° 4 et les transporte jusqu'au camion en étant guidé par le camionneur. Il lève ensuite les fourches du chariot élévateur, chargées des deux pylônes, et les positionne en sens opposés au-dessus du premier niveau (pylônes n° 1 et n° 2). Après avoir observé les points de contact entre les deux niveaux, le camionneur fait signe au cariste de soulever le chargement de nouveau, ce qu'effectue le cariste.

À 10 h 03, alors que la charge n'est plus en mouvement, le camionneur monte sur le plateau de la semi-remorque. Il positionne des morceaux de bois aux deux endroits où les pièces d'acier entrent en contact, soit entre une des faces des pylônes supérieurs (n° 3 et n° 4) et les arêtes des couronnes de raccordement des pylônes inférieures (n° 1 et n° 2) (figure 5). Les morceaux de bois sont positionnés parallèlement aux pylônes.



**Figure 5 : Morceaux de bois au point de contact  
entre les deux niveaux de pylônes à l'arrière du chargement (Source : CNESST)**

Le camionneur ajoute ensuite des cales d'espacement de bois supplémentaires et perpendiculaires aux pylônes afin d'effectuer un remplissage entre les deux niveaux de pylônes.

À 10 h 05, le positionnement des morceaux de bois est complété et le camionneur demande au cariste de déposer le second niveau de pylônes (n° 3 et n° 4) sur le niveau inférieur (n° 1 et n° 2), ce qu'il effectue.

En gardant les fourches de son chariot positionnées sous les pylônes du niveau supérieur, le cariste débarque de son chariot élévateur et rejoint le camionneur à l'arrière du chargement. Les deux travailleurs discutent ensemble du positionnement des pylônes sur le plateau de la semi-remorque.

Après la discussion, le cariste retourne à son chariot élévateur et le camionneur arrime une première sangle de retenue déjà passée entre le premier et le second niveau. Ainsi, les pylônes n° 1 et n° 2 sont arrimés au plateau de la remorque par une seule sangle à l'arrière du chargement. Par la suite, le cariste retire les fourches du chariot élévateur situées sous les pylônes du niveau supérieur.

À 10 h 09, le cariste déplace le chariot élévateur à l'avant du chargement du côté passager et positionne les fourches de son chariot sous l'extrémité des quatre pylônes. Il soulève légèrement l'avant du chargement, soit les quatre pylônes simultanément à l'aide du chariot élévateur. L'arrière du chargement est toujours en appui sur des morceaux de bois servant de cale d'espacement positionnés directement sur le plateau de la semi-remorque.

Le camionneur, qui se trouve alors du même côté que le chariot élévateur, contourne le chargement par l'arrière et se rend du côté conducteur avec un morceau de bois dans les mains.

Le camionneur tente de positionner le morceau de bois entre le plancher de la semi-remorque et une attache d'acier qui se trouve à l'avant, sous le pylône n° 1 (figure 6).

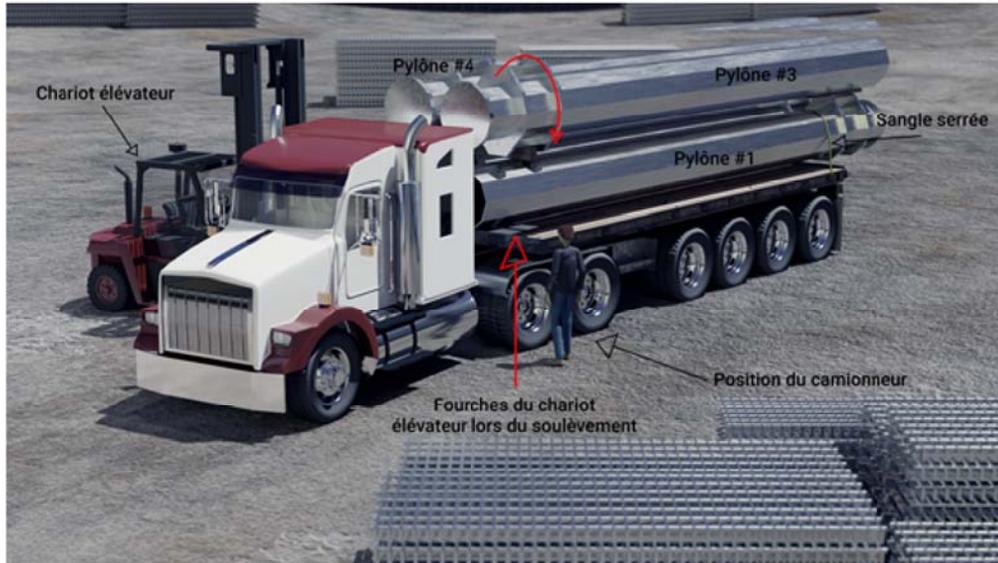


**Figure 6 : Morceau de bois entre le plateau de la semi-remorque et l'attache d'acier du pylône n° 1 (Source : CNESST)**

En voyant l'espace insuffisant entre le plancher et l'attache du pylône pour insérer le morceau de bois, le camionneur se déplace de quelques centimètres en direction de la cabine du camion de façon à voir le cariste dans l'espace entre la cabine et la semi-remorque. Il fait alors signe au cariste de lever le chargement et il se déplace à nouveau de quelques centimètres pour retourner à côté de la semi-remorque.

À 10 h 10, le chariot élévateur lève l'avant des quatre pylônes et le camionneur dépose le morceau de bois entre le plancher de la semi-remorque et l'attache d'acier. Au même moment, le pylône n° 3 chute du chargement et heurte le travailleur (figure 7).

Les premiers secours sont appelés et le décès du travailleur est constaté.



**Figure 7 : Reconstitution schématisée de l'accident (Source : CNESST)**

## 4.2 Constatations et informations recueillies

### 4.2.1 Informations sur les travailleurs et leurs formations

#### 4.2.1.1 Le camionneur

Le camionneur, M. C [REDACTED], a été embauché par Transport Germain Philie inc. e [REDACTED]

Le lundi 10 août 2020, il avait effectué un chargement identique, soit quatre sections médianes de pylônes tubulaires qu'il avait livrés au chantier de Hydro One en Ontario le jour suivant.

Lors de ses transports de marchandises, il utilise ses bons de livraison pour le suivi des tâches et il complète une feuille de temps détaillée afin de faire état de ses activités de transport.

#### 4.2.1.2 Le cariste

Le cariste, M. <sup>D</sup> [REDACTED], est à l'emploi de Galvanisation Québec inc. [REDACTED]

À la différence de son poste habituel, le cariste utilise un chariot élévateur plus robuste muni d'un dispositif de positionnement mécanisé des fourches. Ce dispositif permet d'ajuster l'écart entre les fourches à l'aide d'une commande située dans la cabine de conduite.

Le lundi précédent l'accident, c'est le même cariste qui avait procédé au chargement des quatre pylônes pour le camionneur.

#### 4.2.2 Informations sur le chariot élévateur

Le chariot élévateur impliqué dans l'accident est un chariot de marque Heli modèle CPCD100 muni de fourches d'une longueur de 2,44 m (figure 8).



**Figure 8 : Chariot élévateur Heli modèle CPCD100 (Source : CNESST)**

Sa capacité de charge maximale est de 10 000 kg lorsque la charge est centrée à 0,6 m du talon des fourches et de 6 850 kg lorsque la charge est centrée à 1,19 m.

Le chariot impliqué dans l'accident était loué par Galvanisation Québec inc. depuis le 6 juillet 2020, et avait deux heures d'utilisation au compteur au moment de la location. Lors de l'événement, l'utilisation du chariot élévateur était de 200 heures.

Au moment de soulever l'extrémité avant des quatre pylônes, on estime que la charge levée par les fourches, en tenant compte de l'appui sur la cale doublée à l'arrière, était de 5 030 kg. La charge était centrée à 1,46 m du talon des fourches.

En tenant compte des capacités du chariot élévateur et de la charge soulevée, il est démontré que la levée du chargement par les fourches du chariot élévateur respecte la capacité de l'équipement.

#### **4.2.3 Informations sur le camion semi-remorque à plateau**

Le véhicule lourd impliqué dans l'accident est un camion semi-remorque à plateau qui compte quatre essieux. Il a une capacité de chargement maximale de 57 500 kg incluant le poids du tracteur, de la semi-remorque et du chargement. En tenant compte du poids des véhicules, cela laisse une capacité de chargement de matériel d'environ 37 000 kg, ce qui est nettement supérieur au matériel à charger.

Le tracteur est de marque Kenworth modèle T880 année 2021 et sa dernière inspection mécanique est datée du 1<sup>er</sup> avril 2020.

La semi-remorque à plateau est de marque Reitnouer modèle Big Bubba année 2020 et avait fait l'objet d'une inspection mécanique par un mandataire de la SAAQ le 25 juin 2020.

Le tracteur et sa semi-remorque sont munis de suspensions pneumatiques. Au moment du chargement, la suspension était abaissée sur le tracteur, alors qu'elle ne l'était pas sur la semi-remorque.

La suspension pneumatique est formée de ballons gonflés dont la pression est contrôlée par une soupape pour régulariser la hauteur de la plateforme pendant le déplacement. Lorsque la remorque est à l'arrêt, une autre soupape permet de purger les ballons et d'abaisser la plateforme, procurant à celle-ci une plus grande stabilité.

Les règles de l'art prévoient l'abaissement des suspensions pneumatiques du tracteur ainsi que de la semi-remorque lors du chargement et du déchargement de matériaux lourds afin d'améliorer la stabilité du chargement.

La surface de chargement du plateau est de 2,43 m de largeur sur 14,63 m de longueur. En raison de leurs dimensions, les pylônes devaient être positionnés de façon à respecter le dépassement maximum autorisé de 1 m derrière le plateau de chargement et un dépassement avant qui ne doit pas nuire aux manœuvres du camion lors du transport. En étant précis sur le positionnement des pylônes sur le plateau, le camionneur peut effectuer ce transport sans la nécessité d'un permis spécial de circulation.

#### **4.2.4 Caractéristiques du terrain de chargement**

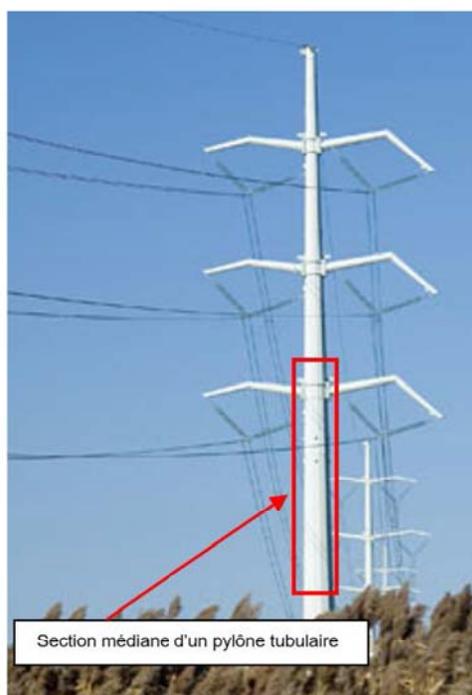
La cour d'entreposage, de chargement et de déchargement de Galvanisation Québec inc. est composée de gravier compacté.

Un relevé d'arpentage, effectué à la suite de l'accident, confirme que le sol et la semi-remorque sont relativement stables au lieu de stationnement devant le casier n° 46. Le jour de l'accident, les manœuvres s'effectuent en conditions estivales et le sol est sec.

Une pente, jugée très faible, est inclinée du côté opposé à l'accident. Ces indications confirment que le chargement a été réalisé sur un terrain plat et que le terrain n'a pas contribué à la chute du pylône.

#### 4.2.5 Caractéristiques du matériel à transporter

Transport Germain Philie inc. est un transporteur régulier pour Locweld Structures qui est une entreprise manufacturière d'éléments structuraux tels que les pylônes tubulaires (figure 9). Ce type de pylône est notamment dédié au transport d'énergie et se caractérise par un empattement moins volumineux qu'un pylône de treillis métallique.



**Figure 9 : Section médiane de pylône tubulaire**

(Source : <http://www.hydroquebec.com/comprendre/transport/types-pylones.html>, modifiée par la CNESST)

Lors du processus de fabrication et d'assemblage, trois sections de pylônes sont fabriquées. Les sections supérieures et médianes des pylônes sont acheminées chez Galvanisation Québec inc. afin de subir une galvanisation à chaud, un procédé qui les protège contre la corrosion.

Le jour de l'accident, le camionneur devait charger quatre sections médianes de pylônes tubulaires galvanisées pour Locweld Structures. Il devait ensuite les acheminer sur un chantier de construction à Nepean, en Ontario. L'information spécifique sur les pylônes à

recupérer n'étant pas présente sur le bon de transport mis à part la dimension et le poids, c'est le camionneur qui détermine les sections de pylône qu'il doit transporter dans la cour de Galvanisation Québec inc. et qui indique au cariste celles à charger sur la semi-remorque à plateau.

Une section médiane de pylône tubulaire a une longueur de 16,76 m. La feuille d'acier qui la compose est repliée de façon à former un tube de forme dodécagonale, dont chacune des 12 faces du tube a une largeur moyenne de 0,26 m.

L'une des extrémités de la section médiane a un diamètre de 0,97 m, alors que son autre extrémité a un diamètre de 0,67 m. La plus petite extrémité dispose d'une composante secondaire, soit une plaque de raccordement d'un diamètre de 0,82 m (figure 10).



**Figure 10 : Section médiane de pylône non galvanisée (Source : CNESST)**

Le poids de chacune des sections médianes de pylônes galvanisées est de 3 628 kg.

Lors de l'accident, le chargement se compose de quatre sections médianes ce qui représente une charge totale de 14 512 kg.

#### **4.2.6 Positionnement du chargement sur le camion semi-remorque à plateau**

Au moment d'effectuer le chargement, peu d'informations sont transmises au camionneur et au cariste responsables d'effectuer la tâche.

Le contrat entre l'expéditeur et le transporteur mentionne les éléments suivants :

- Type de transport : lot d'acier pour galvanisation
- Numéro du bon de commande de galvanisation
- Numéro du bon de commande de transport
- Description du produit : quatre sections médianes
- Poids du chargement
- Longueur des pièces à charger
- Précision de ne pas entreposer directement sur le sol, mais sur des blocs de bois

Les pylônes sont des éléments structuraux manufacturés. Leur conception, leur taille, leur forme et leur masse en font des pièces dont le chargement et l'arrimage sont complexes. Malgré cela, les travailleurs ne disposent d'aucune information quant au positionnement des pylônes sur le plateau et aux spécificités d'arrimage de la cargaison.

Le positionnement et l'orientation des pylônes selon leur forme géométrique, le choix des cales d'espacement et leurs dispositions sous et entre les pièces galvanisées reposent donc

sur l'expérience et les décisions du camionneur, qui est responsable de l'arrimage du chargement durant le transport.

Lors du chargement des pylônes, le camionneur travaille en équipe avec le cariste pour le guider dans la manutention et le positionnement des pylônes sur la semi-remorque. Il demeure à proximité du chariot élévateur et agit comme signaleur pour l'enlèvement des pièces sur la semi-remorque.

Pendant le chargement, le camionneur dispose les cales de bois en évaluant les besoins de surfaces d'appui et les endroits où les pièces d'acier peuvent entrer en contact.

Les cales d'espacement utilisées par le camionneur sont majoritairement des morceaux de bois franc de 76 mm sur 102 mm et d'une longueur de 2,44 m qui traversent le plateau de la semi-remorque. Pour créer une séparation entre les pièces d'acier pouvant entrer en contact, le camionneur utilise des rebuts de bois qu'il prend dans un empilement à proximité du lieu de chargement.

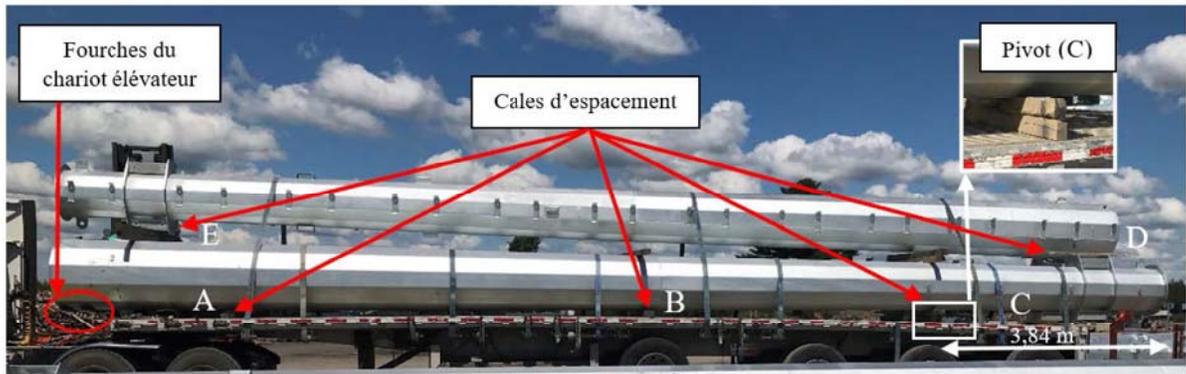
### **Description du positionnement des cales de bois**

#### Premier niveau

Tout d'abord, le premier niveau de pylônes (n° 1 et n° 2) est déposé sur les 3 cales d'espacement déjà en place sur le plateau de la semi-remorque. Pour les deux pylônes, les surfaces en contact sont identiques et se situent au niveau des cales d'espacement du plateau et de l'une des faces du pylône qui y est appuyée (figure 11 (A) (B) (C)).

La cale d'espacement à l'arrière du chargement (C) est formée de deux morceaux de bois franc empilés sur le sens de la hauteur. La plus petite face, de 76 mm, sert de surface d'appui sur le plateau de la semi-remorque. L'extrémité du pylône ayant la plus petite circonférence est déposée sur cette cale d'une hauteur de 210 mm située à l'arrière de la semi-remorque.

C'est cette même cale doublée (C) qui sert de pivot lors de la levée du chargement complet par le cariste pendant et peu de temps avant l'accident. Comme il y a soulèvement du chargement à l'avant par le chariot élévateur, un effet de balancier est produit sur cette cale pivot qui est positionnée à 3,84 m de l'extrémité arrière du chargement (fin du pylône). Dans cette position, les couronnes de raccordement des deux pylônes du premier niveau dépassent à l'arrière de la semi-remorque.



**Figure 11 : Positionnement des cales d'espacement sur le chargement (sangles supérieures de retenue absentes au moment de l'accident) (Source : CNESST)**

### Second niveau

Le deuxième niveau est en appui de la manière suivante sur le premier niveau.

À l'arrière :

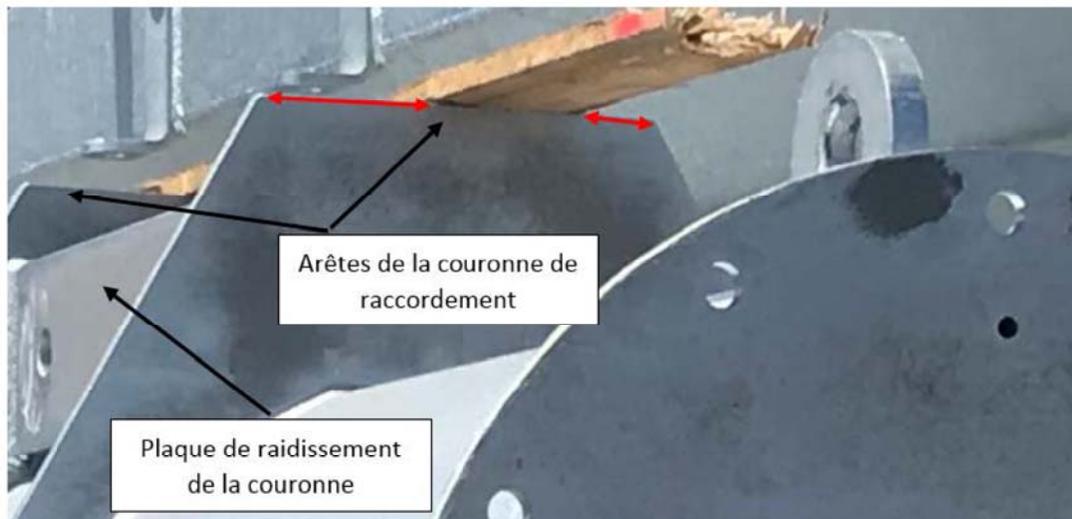
La face du dessous des pylônes supérieurs entre initialement en contact avec les arêtes des couronnes de raccordement des pylônes inférieurs (D). Des morceaux de rebuts de bois sont ajoutés afin que les deux pylônes ne soient pas en contact métal contre métal.

Pylône n° 4

- Deux morceaux de rebuts de bois séparent le pylône n° 4 du pylône n° 2 entre une face du pylône supérieur et les arêtes de la couronne du pylône inférieur.
- Les deux morceaux sont déposés parallèlement aux pylônes.

Pylône n° 3 (ayant chuté)

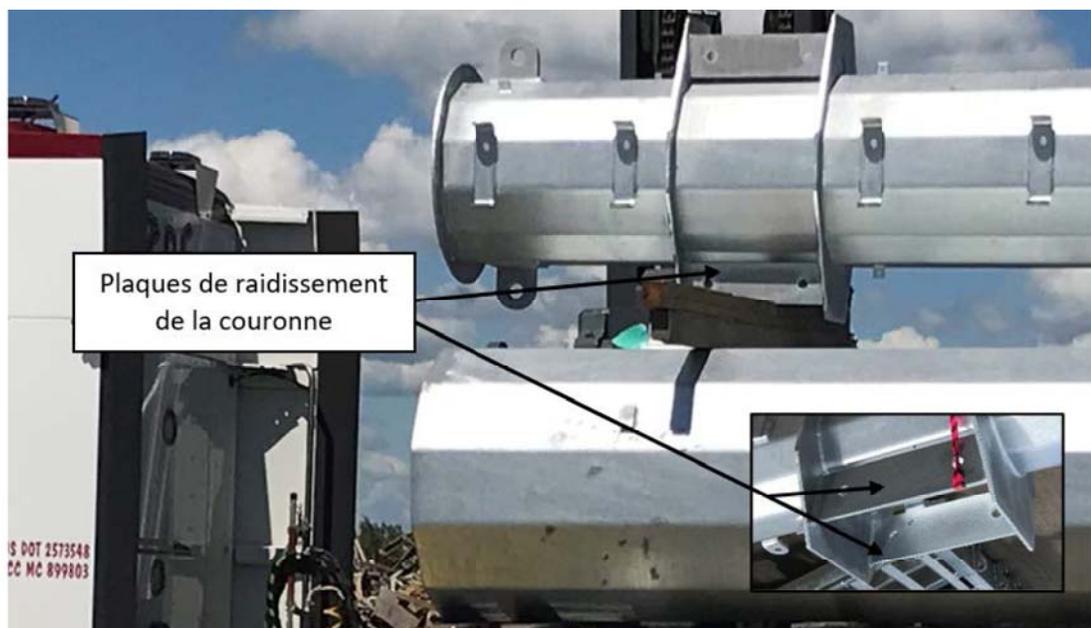
- Un morceau de rebut de bois d'une dimension de 120 mm de largeur sur 1,4 m de longueur et d'une épaisseur de 19 mm séparent les pylônes n° 1 et n° 3 (figure 11 (D)).
- Le morceau de bois est déposé parallèlement aux pylônes.
- La face du pylône supérieur d'une largeur de 260 mm repose sur le morceau de bois d'une largeur de 120 mm.
- Le morceau de bois est décentré par rapport aux arêtes de la couronne de raccordement du pylône n° 1 (figure 12).



**Figure 12 : Cale d'espace décentrée sur la couronne de raccordement sous la section de pylône n° 3 qui a chuté du chargement (Source : CNESST)**

À l'avant :

Les plaques de raidissement des couronnes du niveau supérieur reposent sur une cale d'espace de bois franc simple. Cette cale repose sur les faces des pylônes inférieurs, perpendiculairement à ceux-ci (figure 13).



**Figure 13 : Appui des pylônes à l'avant du chargement sur les plaques de raidissement (Source : CNESST)**

Au moment d'effectuer les dernières manœuvres par le cariste, les pylônes n° 1 et n° 2 sont arrimés par une seule sangle positionnée entre les deux niveaux à l'arrière du chargement.

Les pylônes n° 3 et n° 4, situés au niveau supérieur, demeurent ainsi libres de mouvement puisqu'il n'y a aucun dispositif de retenue en place.

La durée totale des opérations effectuées, de l'arrivée du cariste au moment de la chute du pylône, est de 33 minutes.

**4.2.7 Informations relatives à l'expertise et aux simulations**

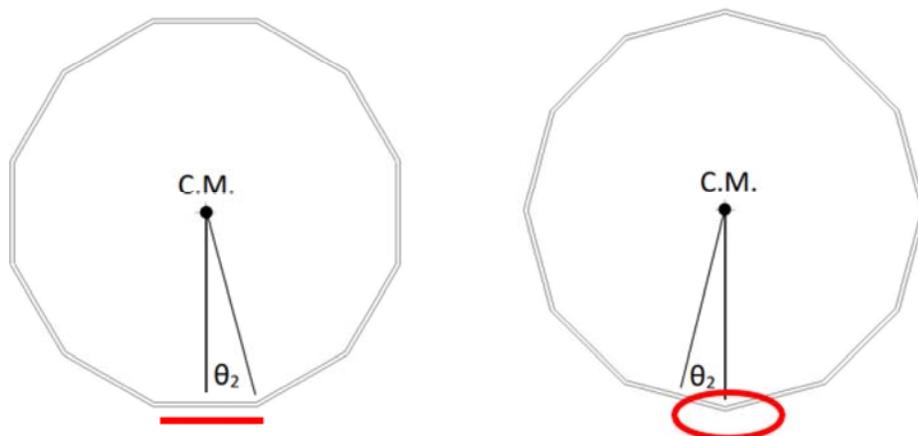
Une expertise d'ingénierie mécanique a été réalisée afin de comprendre les forces statiques et dynamiques requises pour amorcer le mouvement de rotation qui a provoqué la chute du pylône n° 3.

Évaluation de la force statique

Dans un premier temps, il a été analysé si le positionnement des pylônes sur le plateau de la semi-remorque incluant la disposition des cales d'espacement en bois peut, à lui seul, expliquer la chute du pylône. Afin de valider cette hypothèse, une évaluation de la force statique a été réalisée en tenant compte du positionnement de la cargaison et des appuis mis en place.

Pour comprendre les forces requises pour la mise en mouvement, il faut préciser que lorsque le pylône a chuté de la semi-remorque, ce fut dans un mouvement de pivotement, c'est-à-dire un roulement autour de son axe longitudinal.

Pour que le roulement se produise, le centre de masse du pylône doit passer par-dessus l'arête de sa surface d'appui (figure 14).



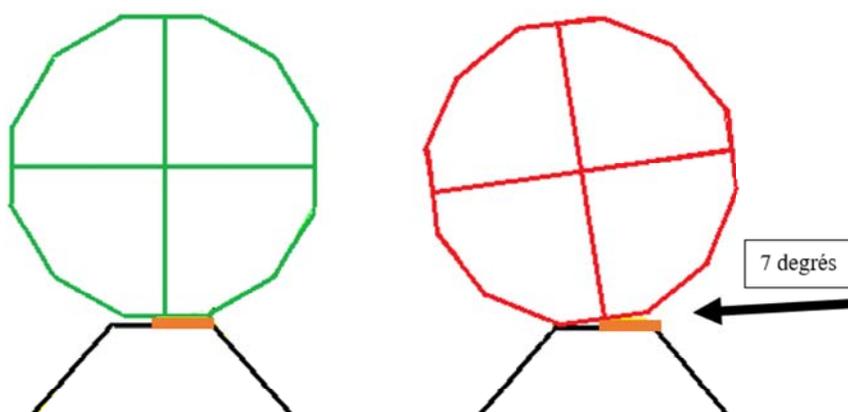
**Figure 14 : Centre de masse du pylône en stabilité versus en instabilité  
(Source : Expertise Jean Ruel, ing. Ph. D., modifiée par la CNESST)**

Afin de procéder à l'analyse de la stabilité statique du chargement, il a d'abord fallu étudier l'angle requis, en tenant compte de la composition géométrique du pylône, pour causer son renversement à partir du chargement.

L'expertise a permis de déterminer que pour causer le renversement du pylône sans autre source d'énergie, un angle de 18,7 degrés du pylône supérieur était requis pour que son centre de masse passe par-dessus l'arête de sa face d'appui et qu'il chute.

L'analyse du positionnement des cales d'espacement en bois utilisées par le camionneur a permis de démontrer qu'un angle pouvait effectivement être présent en raison de la surface d'appui entre les arêtes de la couronne de raccordement du pylône inférieur et la face d'appui du pylône n° 3. Le positionnement de la cale de bois en support était décentré par rapport aux arêtes de la couronne de raccordement (figure 12).

Le positionnement décentré de la cale de bois sous le pylône n° 3, en tenant compte que le chargement est libre de mouvement, pouvait d'emblée présenter un angle de 7 degrés puisque la surface d'appui fournie par le morceau de bois était moins large que la face du pylône (figure 15). Ainsi, le centre de masse du pylône n° 3 pouvait se rapprocher de la limite entre la stabilité et le renversement. Cependant, cet angle aurait été insuffisant pour causer la chute du pylône à lui seul puisqu'il est inférieur aux 18,7 degrés requis pour que le pylône pivote.



**Figure 15 : Représentation de l'angle de 7 degrés que peut avoir eu le pylône n° 3 en positionnement statique en fonction de l'appui décentré (Source : CNESST)**

La première partie de l'évaluation permet donc de conclure à la stabilité statique du chargement. Ainsi, une énergie externe, soit une force dynamique, a été nécessaire pour causer le renversement du pylône.

#### Évaluation de la force dynamique

Il a d'abord été déterminé par l'expertise qu'un apport d'énergie d'une valeur approximative de 1000 joules était requis pour permettre au centre de la masse de franchir la limite entre la stabilité et le renversement.

L'énergie transmise par le chariot élévateur à la cargaison a donc été analysée de façon à pouvoir expliquer les raisons de ce transfert de force entre le chariot et les pylônes en considérant l'arrimage précaire et le positionnement des cales d'espacement.

Au terme de l'expertise, il a été déterminé que la force dynamique induite au chargement provient d'une combinaison des sources d'énergie suivantes :

- La flexion progressive des fourches avec le poids de la charge (énergie gravitationnelle)
- La vitesse d'élévation des fourches (énergie cinétique)
- L'amorce du mouvement des fourches suivi de l'arrêt du mouvement après la levée a pu entraîner une oscillation (énergie élastique)

#### Flexion des fourches

L'analyse permet de déterminer qu'au moment de la levée des quatre pylônes à l'avant du chargement avec les fourches du chariot élévateur, la charge soulevée est de 5 030 kg à 1,46 m du talon des fourches.

Bien que le poids du chargement soulevé respecte la capacité maximale des fourches et du chariot, il demeure que les fourches subissent une légère flexion sous le poids de la charge. Cette flexion, pouvant atteindre 2,3 degrés, peut déplacer le centre de masse du pylône et ainsi contribuer à sa chute. Selon l'expertise, on peut estimer que cette force dynamique est de l'ordre de 50 joules.

#### L'oscillation des fourches

Au moment de l'actionnement de la levée du matériel, une énergie élastique est emmagasinée dans la déflexion des fourches soumises au poids du chargement. Ainsi, l'activation de la levée, suivi de l'arrêt du mouvement, libère cette énergie qui est transférée au chargement sous un mouvement d'oscillation, ce qui peut contribuer à déstabiliser le chargement. Après l'analyse réalisée, cette force dynamique est estimée à environ 1 600 joules.

#### L'élévation des fourches

Finalement, la vitesse d'élévation des fourches contribue également à transférer de l'énergie cinétique au chargement. Malgré l'absence de certaines données précises au moment de l'opération de levée précédant l'accident, comme la vitesse et l'accélération, l'analyse a permis de déterminer que cette force dynamique serait de l'ordre de 150 joules.

#### Autres analyses

Au cours de l'expertise, d'autres facteurs ont été évalués tels que la rigidité des pylônes ou encore la possibilité d'un glissement du pylône à partir du chargement. Cependant, il a été démontré que ces facteurs ne sont pas concluants dans l'explication de la cause du pivotement.

En résumé, au terme de l'expertise, il est déterminé que le positionnement de la cargaison, libre de mouvement, n'explique pas à lui seul le renversement du pylône n° 3.

La force dynamique induite par le chariot élévateur qui relève le chargement à la demande du camionneur a contribué à la chute du pylône.

Les différents types d'énergie analysés, soit l'énergie gravitationnelle, l'énergie élastique ainsi que l'énergie cinétique ont pu contribuer à différents niveaux à la chute du pylône n° 3.

#### **4.2.8 Loi, réglementation et règles de l'art**

En ce qui concerne les mesures de sécurité à prendre lors des opérations de chargement et déchargement du matériel, l'employeur a des obligations légales.

Dans le domaine du transport, la réglementation à respecter est divisée entre les responsabilités fédérales et provinciales. Le gouvernement fédéral est responsable des transports interprovinciaux alors que le gouvernement provincial est responsable des déplacements qui s'effectuent à l'intérieur de la province.

Pour les entreprises de juridiction fédérale telles que Transport Germain Philie inc., l'employeur doit se conformer aux obligations du Code canadien du travail (CCT).

Au Québec, c'est le Ministère des Transports qui administre la réglementation provinciale pour ce secteur d'activité. En ce qui concerne le transport de marchandises par camion semi-remorque ainsi que pour les normes d'arrimage, la législation québécoise repose notamment sur le Code de la sécurité routière. De plus, l'employeur a des obligations en vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST).

##### **4.2.8.1 Code canadien du travail**

L'employeur qui relève de la juridiction fédérale a l'obligation de se conformer au CCT en ce qui concerne la santé et la sécurité du travail.

L'article 124 du CCT stipule que *l'employeur veille à la protection de ses employés en matière de santé et de sécurité au travail.*

En ce qui concerne ses obligations spécifiques, l'article 125 (1) mentionne que *dans le cadre de l'obligation générale définie à l'article 124, l'employeur est tenu, en ce qui concerne tout lieu de travail placé sous son entière autorité ainsi que toute tâche accomplie par un employé dans un lieu de travail ne relevant pas de son autorité, dans la mesure où cette tâche, elle, en relève :*

(...)

*d) de mettre à la disposition des employés, de façon que ceux-ci puissent y avoir facilement accès sur support électronique et sur support papier :*

*(ii) l'énoncé de ses consignes générales en matière de santé et de sécurité au travail,*

(...)

*q) d'offrir à chaque employé, selon les modalités réglementaires, l'information, la formation, l'entraînement et la surveillance nécessaires pour assurer sa santé et sa sécurité;*

*(...)*

#### **4.2.8.2 Loi sur la santé et la sécurité du travail**

En ce qui concerne les opérations de chargement ou déchargement, les installations et la formation des travailleurs, un employeur qui relève de la juridiction provinciale, telle que Galvanisation Québec inc., a également des obligations en vertu de la LSST.

La LSST stipule à l'article 51 que *l'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur. Il doit notamment :*

*1° s'assurer que les établissements sur lesquels il a autorité sont équipés et aménagés de façon à assurer la protection du travailleur;*

*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 liés 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.*

#### **4.2.8.3 Code de la sécurité routière**

Le Code de la sécurité routière (chapitre C-24.2) établit les règles relatives à la sécurité routière, à l'immatriculation des véhicules routiers et aux permis dont l'administration relève de la Société de l'assurance automobile du Québec ainsi qu'au contrôle du transport routier des personnes et des marchandises.

L'article 621 du Code prévoit que le gouvernement peut, par règlement :

*23° établir des normes d'arrimage des charges et déterminer parmi les dispositions de ce règlement, celles dont la violation constitue une infraction et indiquer, pour chaque infraction, les montants minimum et maximum dont est passible le contrevenant (...),*

*25° établir les normes de sécurité auxquelles doit satisfaire un véhicule routier pour être autorisé à circuler;*

27° prendre les mesures requises pour contrôler les dimensions et la masse d'un véhicule routier ou d'un ensemble de véhicules routiers qui circule sur un chemin public, y compris son chargement;

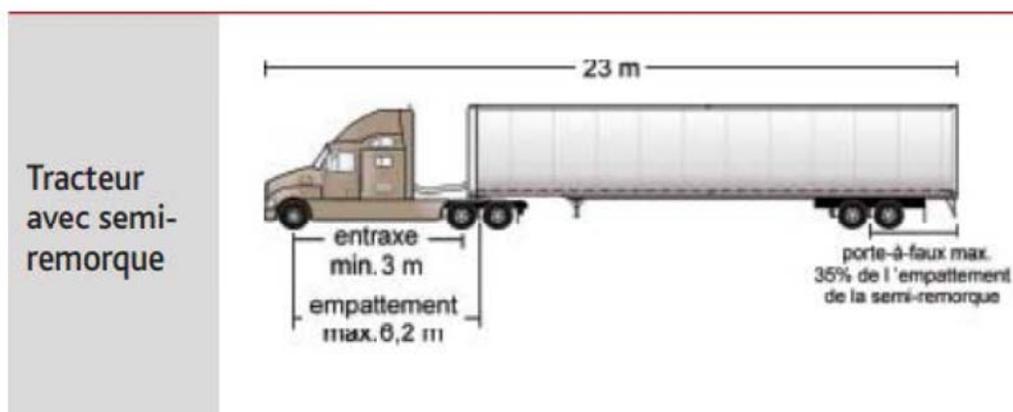
Du Code de la sécurité routière, découle 102 règlements dont :

- Le Règlement sur les normes de charges et de dimensions applicables aux véhicules routiers et aux ensembles de véhicules routiers C-24.2, r. 31
- Le Règlement sur les normes d'arrimage C-24.2, r. 30

**Le Règlement sur les normes de charges et de dimensions applicables aux véhicules routiers et aux ensembles de véhicules routiers C-24.2, r. 31**

Le Règlement sur les normes de charges et de dimensions assure la sécurité des usagers de la route et protège les infrastructures routières du Québec.

Ce règlement mentionne notamment les dimensions et charges maximales autorisées sur les routes du Québec.



**Figure 16 : Longueur autorisée pour un tracteur avec semi-remorque  
(Source : Guide des normes charges et dimensions des véhicules routiers du  
MTQ)**

Au Québec, un tracteur avec semi-remorque est autorisé à atteindre les dimensions suivantes :

- Longueur maximum : 23 m
- Largeur maximum : 2,6 m
- Hauteur maximum : 4,15 m

La charge maximum à ne pas dépasser est de 57 500 kg, ce qui inclut le poids du tracteur et de la semi-remorque.

Considérant le transport interprovincial que devait réaliser le camionneur, l'employeur doit également considérer la réglementation de la province où se fait

la livraison. En Ontario, le Code de la route autorise les mêmes charges et dimensions qu'au Québec.

### **Le Règlement sur les normes d'arrimage C-24.2, r. 30**

Le Règlement sur les normes d'arrimage intègre les dispositions de la Norme N° 10 du Code canadien de sécurité sur l'arrimage des cargaisons et vise à assurer le maintien de la cargaison à bord d'un véhicule de transport.

L'article 4 stipule :

*Toute cargaison, sauf celle de vrac, doit être arrimée conformément aux dispositions de l'article 9 de la Norme N° 10 du Code canadien de sécurité sur l'arrimage des cargaisons.*

*Les systèmes d'arrimage utilisés et leurs composants doivent être conformes aux dispositions des paragraphes (2) et (3) de l'article 4 et à celles des articles 6 et 15 à 18 de cette norme et leur résistance doit satisfaire aux normes minimales prescrites par les dispositions des articles 10 à 12, 14 et 21 de cette norme.*

*Les appareils d'arrimage doivent être utilisés conformément aux dispositions des articles 13, 19, 20 et 22 de cette norme.*

### **Norme N° 10 du Code canadien de sécurité sur l'arrimage des cargaisons**

L'article 9, sur les exigences générales, précise :

*Toute cargaison doit être fermement immobilisée ou arrimée afin de prévenir un déplacement, un glissement, un basculement en utilisant :*

- *Des structures de capacité adéquate*
- *Des dispositifs de blocage, des matériaux ou des sacs de fardage*
- *(...)*
- *Des appareils d'arrimages*
- *(...)*
- *Une combinaison de ces moyens*

L'article 16, sur le matériel utilisé pour l'arrimage des cargaisons, précise :

*Le matériel utilisé sur ou dans un véhicule comme fardage, cales, **berceaux**, dispositifs de blocage ou renforts doit avoir une résistance suffisante pour ne pas fendre ou s'écraser sous l'effet des contraintes exercées par la cargaison ou les appareils d'arrimage.*

L'article 18, sur l'immobilisation des **articles qui risquent de rouler**, précise :

*Dans le cas où une cargaison ou un article de cargaison risque de rouler pendant son transport, **des cales, des coins, des berceaux ou un autre dispositif***

*d'arrimage doivent être utilisés afin d'empêcher un tel mouvement de cette cargaison ou de cet article.*

L'article 22, sur le nombre d'appareils d'arrimage, précise :

(...)

*(4) Lorsqu'un véhicule transporte de la machinerie ou **des éléments structuraux manufacturés qui doivent être arrimés selon des méthodes spéciales** en raison de leur conception, de leur taille, de leur forme ou de leur masse, ces méthodes spéciales doivent :*

*a) permettre d'arrimer adéquatement tout article de cargaison; et*

*b) être appliquées correctement et en conformité avec les directives du fabricant*

#### **4.2.8.4 Norme et règles de l'art**

##### Norme en lien avec l'utilisation du chariot élévateur

Au regard de la conduite d'un chariot élévateur, la norme *CSA B335-15 Norme de sécurité pour les chariots élévateurs* précise :

##### **4.9.4 Piétons**

Les caristes doivent comprendre les limites des chariots et utiliser ces derniers de façon sécuritaire afin d'éviter de blesser le personnel. Ils doivent veiller à la sécurité des piétons en tout temps et ils :

- a) doivent toujours regarder dans le sens de la marche avant de mettre en marche le chariot ;
- b) ne doivent pas conduire un chariot jusqu'à une personne qui se tient devant un objet ;
- c) doivent s'assurer que personne ne se tient dans la zone balayée par la partie arrière du chariot avant d'amorcer un virage ;
- d) doivent être très prudents dans les allées transversales, aux entrées de portes et à d'autres emplacements où des piétons peuvent se trouver dans le chemin du chariot ;
- e) ne doivent laisser personne se placer ou passer sous la partie élevée d'un chariot vide ou chargé ;
- f) doivent s'assurer que les piétons et les autres personnes se tiennent à une distance sécuritaire des charges élevées ; et
- g) doivent s'assurer que les piétons et les autres personnes ne courent pas de danger parce qu'elles tentent de stabiliser une charge déséquilibrée.

##### Règles de l'art pour le chargement et déchargement des semi-remorques à plateau

Bien que plusieurs guides et documents de formation sont disponibles afin d'expliquer les méthodes et les techniques d'arrimage, peu de documentation traite des bonnes pratiques durant les opérations de chargement et déchargement de matériel avec des équipements de manutention.

Emploi et développement social Canada a émis une fiche qui résume les principaux risques et les mesures de prévention à prendre lors des activités de chargement et déchargement sur des remorques à plateau.

La publication mentionne notamment les risques suivants :

- *l'utilisation d'une méthode inconnue ou peu fiable ou inappropriée lors de l'arrimage des marchandises pendant le chargement;*
- *le fait de travailler ou de se tenir dans une zone où la marchandise pourrait basculer pendant le chargement;*
- *la participation à des opérations de chargement ou de déchargement que le chauffeur ne connaît pas bien;*
- *le manque d'attention lors du processus en raison de l'exécution d'autres tâches telles que la préparation de sangles ou de chaînes;*
- *n'avoir que peu de directives, voire aucune, de la part d'un superviseur, de même que l'absence de procédures à suivre.*

(...)

Les moyens de contrôle à mettre en place sont les suivants :

- *prendre conscience de tous les risques;*
- *utiliser l'ensemble de l'équipement de sécurité disponible sur les lieux, comme les cales, les coins, les berceaux, les entretoises, les sangles d'arrimage ou les accessoires de fardage;*
- *collaborer avec les autres personnes prenant part au processus;*
- *respecter les méthodes ou les procédures établies par l'employeur ainsi que par l'expéditeur ou le destinataire;*
- *demeurer à une distance sécuritaire du chargement, au cas où il bascule soudainement;*
- *veiller à la stabilité de la suspension pneumatique de la remorque lorsque des marchandises lourdes sont chargées ou déchargées;*

(...)

### 4.3 Énoncés et analyse des causes

#### 4.3.1 Le pylône supérieur est positionné en équilibre précaire sur le plateau de la semi-remorque pendant les manœuvres de chargement, favorisant ainsi sa chute.

La forme du pylône, un tube à douze côtés, favorise d'emblée un risque de roulement au moment du chargement. Le prémontage de la structure en usine implique l'ajout de composantes secondaires au pylône. Ces éléments, tels que l'attache d'acier et les couronnes de raccordement, complexifient le positionnement des pylônes sur le plateau de la semi-remorque.

Au moment du chargement, les opérations s'effectuent en deux temps. Les deux premiers pylônes sont d'abord chargés. Par la suite, deux autres pylônes sont déposés sur le dessus, en sens opposés.

En raison de l'absence d'un plan détaillé relativement au positionnement des pylônes, des dispositifs d'espacement et des dispositifs de blocage requis pour sécuriser les pièces, il

revient au camionneur de gérer le chargement au meilleur de ses connaissances. Cela implique qu'il détermine lui-même la position des morceaux de bois nécessaire pour réaliser l'arrimage avec les matériaux qu'il trouve sur les lieux. Cette étape s'effectue en même temps que le montage du chargement. Le camionneur doit s'assurer de respecter la réglementation, tout en évitant le bris des pièces galvanisées ou du véhicule de transport.

Ainsi, ce n'est qu'une fois le chargement terminé que le camionneur arrime les pylônes avant son départ sur la route. Cette séquence d'opération fait en sorte que la partie avant du premier niveau et la totalité du second niveau demeurent libres de mouvement durant la durée complète des opérations de chargement.

Considérant la forme des pylônes, les surfaces d'appui, l'absence de dispositifs de blocage spécifiques et d'arrimage, le pylône supérieur du côté opposé au chariot élévateur est positionné en équilibre précaire et demeure libre de mouvement, ce qui favorise sa chute.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.2 Le camionneur est positionné dans la trajectoire de chute du pylône supérieur.**

Au moment de l'accident, le camionneur effectue une étape de vérification autour du chargement et constate qu'une attache d'acier entre en contact avec une partie métallique du plateau de la semi-remorque. Afin d'éviter le contact entre les pièces métalliques, il demande au cariste de relever la charge et s'approche de celle-ci afin de positionner un morceau de bois sous l'attache d'acier pendant que la charge est soulevée.

La réalisation de ces ajustements nécessite toute l'attention du camionneur alors qu'il se trouve à proximité de la charge en équilibre précaire et à risque de basculer.

La Norme B335-15 *Norme de sécurité pour les chariots élévateurs* précise que le cariste doit s'assurer que le piéton se tient à une distance sécuritaire des charges élevées.

En raison de la participation simultanée des travailleurs pour réaliser les ajustements en vue de l'arrimage des pylônes, le camionneur se retrouve à plusieurs reprises dans la zone d'opération du chariot élévateur.

Alors que le chariot élévateur soulève l'avant des quatre pylônes, le camionneur se trouve à proximité du chargement afin d'espacer l'attache d'acier et le plateau de la semi-remorque à l'aide d'un morceau de bois. Par conséquent, le camionneur n'est pas à une distance sécuritaire lors de la levée de la charge et se retrouve dans la trajectoire de chute du pylône.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.3 La levée du chargement par le chariot élévateur provoque un mouvement de rotation du pylône supérieur sur le côté opposé au chariot élévateur.**

Lorsque le camionneur s'affaire à réaliser les étapes préparatoires à l'arrimage des pylônes, il demande au cariste de soulever l'avant de ceux-ci. Cette demande a pour objectif de

permettre le positionnement du morceau de bois sous l'attache d'acier du pylône n° 1 à l'avant du plateau de la semi-remorque.

L'expertise réalisée démontre que la manœuvre du cariste lors de cette levée produit une combinaison d'énergies dynamiques qui provoque la mise en mouvement du pylône n° 3 qui est positionné en équilibre précaire.

Ainsi, lors de la levée de la charge par les fourches du chariot, l'activation de la levée, sa vitesse, son accélération et le poids de la charge contribuent à transférer une énergie dynamique au chargement. Ce transfert d'énergie provoque le déplacement du centre de masse du pylône n° 3 et cause ainsi son renversement par pivotement et sa chute.

La mise en mouvement du pylône, sous forme de rotation vers le côté opposé au chariot élévateur, est ainsi attribuable à la levée du chargement par le chariot élévateur.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.4 L'organisation du travail, les méthodes et les techniques utilisées pour le chargement des pylônes sont déficientes.**

L'analyse de l'accident démontre des lacunes entourant l'organisation des opérations de chargement des quatre sections médianes de pylônes tubulaires sur le camion semi-remorque à plateau.

Les pylônes sont des éléments structuraux qui, par leur conception, leur taille, leur forme et leur masse, se doivent d'être arrimés avec des méthodes particulières. Aucune directive ou méthode de travail n'est disponible par le fabricant, le transporteur ou le  quant à ces méthodes particulières.

Les pylônes tubulaires demandent un positionnement spécifique, ne serait-ce que pour respecter la réglementation sur les charges et dimensions. Leur longueur est tout juste acceptable pour être transportés sans l'obtention d'un permis spécial de circulation selon la réglementation en vigueur. Qui plus est, leur forme dodécagonale présente un risque de roulement durant le transport.

Au regard des détails de l'accident, le camionneur est responsable du respect des différentes réglementations en lien avec les charges, les dimensions et l'arrimage dans les provinces où il circule. Toutefois, il ne dispose d'aucune information sur les étapes de chargement du matériel, de son positionnement sur le plateau de la semi-remorque ou encore sur l'équipement de sécurité requis tel que des berceaux ou des dispositifs de blocage spécifiques conformément à la *Norme N° 10 du Code canadien de sécurité sur l'arrimage des cargaisons*.

En fonction des équipements disponibles chez Galvanisation Québec inc., le chargement des pylônes est réalisé à l'aide d'un chariot élévateur. La méthode utilisée implique que les pylônes soient déplacés en duo, en équilibre longitudinal sur les fourches du chariot. Cette méthode entraîne notamment un déplacement en équilibre précaire.

Une méthode de travail élaborée à la suite de l'identification des risques aurait permis d'arrimer les pylônes sécuritairement en évitant qu'ils soient libres de mouvement pendant les opérations de chargement.

Qui plus est, il est dans les bonnes pratiques d'abaisser la suspension pneumatique du véhicule et de la semi-remorque afin d'améliorer la stabilité pendant les opérations de chargement et de déchargement du matériel.

L'organisation des opérations et l'usage de meilleures méthodes et techniques de travail auraient permis d'éviter un tel accident.

Cette cause est retenue.

## SECTION 5

### 5 CONCLUSION

#### 5.1 Causes de l'accident

- Le pylône supérieur est positionné en équilibre précaire sur le plateau de la semi-remorque pendant les manœuvres de chargement, favorisant ainsi sa chute.
- Le camionneur est positionné dans la trajectoire de chute du pylône supérieur.
- La levée du chargement par le chariot élévateur provoque un mouvement de rotation du pylône supérieur sur le côté opposé au chariot élévateur.
- L'organisation du travail, les méthodes et les techniques utilisées pour le chargement des pylônes sont déficientes.

#### 5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le 14 août 2020, jour de l'accident, la CNESST ordonne la suspension des travaux de chargement des sections médianes de pylônes tubulaires. Cette décision est consignée au rapport d'intervention RAP1315467.

Le 21 août 2020, une décision ordonne la suspension des travaux de manutention et de transport des pylônes tubulaires sur le site de Galvanisation Québec inc. Cette décision est consignée au rapport d'intervention RAP1316107.

Le 2 octobre 2020, la CNESST autorise la reprise des travaux de chargement, transport et manutention des pylônes tubulaires selon la méthode de travail sécuritaire présentée par Galvanisation Québec inc. Cette décision est inscrite au rapport RAP1321754.

#### 5.3 Suivi de l'enquête

Afin d'éviter qu'un tel accident se reproduise, la CNESST transmettra les conclusions de son enquête aux associations suivantes afin qu'elles en informent leurs membres :

- Le Conseil des structures, pylônes et antennes (CSPA)
- L'Association du camionnage du Québec (ACQ)
- L'Association des routiers professionnels du Québec (ARPO)
- Les Associations sectorielles paritaires
- L'ensemble des gestionnaires de mutuelles de prévention

De plus, dans le cadre de son partenariat avec la CNESST visant l'intégration de la santé et de la sécurité du travail 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 le programme d'étude Transport par camion.

D'autre part, un groupe de travail sera mis en place avec l'Association sectorielle paritaire Via Prévention SST en transport et entreposage afin d'améliorer les pratiques lors d'opérations de chargement et de déchargement sur les semi-remorques à plateau.

## ANNEXE A

### Accidenté

**Nom, prénom** : C [REDACTED]

**Sexe** : [REDACTED]

**Âge** : [REDACTED]

**Fonction habituelle** : [REDACTED]

**Fonction lors de l'accident** : Camionneur

**Expérience dans cette fonction** : [REDACTED]

**Ancienneté chez l'employeur** : [REDACTED]

**Syndicat** : [REDACTED]

**ANNEXE B**

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

**Témoïn :**

M. D [redacted], Galvanisation Québec inc.

**Autres personnes rencontrées :**

- M. B [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. H [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. I [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. J [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. K [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. L [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. M [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. N [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. O [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. P [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. Q [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. R [redacted], Galvanisation Québec inc.
- M. A [redacted], Transport Germain Philie inc.
- M. E [redacted], Transport Germain Philie inc.
- M. S [redacted], Transport Germain Philie inc.
- M. T [redacted], Corbec inc.
- M. U [redacted], Corbec inc.
- M. V [redacted], Corbec inc.
- M. W [redacted], Corbec inc.
- Me X [redacted] pour Langlois Avocats représentant l'employeur
- M. Y [redacted], Locweld Structures
- M. Z [redacted], Locweld Structures
- M. A1 [redacted], Locweld Structures
- M. Pierre Bouffard, capitaine aux incendies, Ville de Princeville
- M. Jean-Marc Carignan, enquêteur, Sûreté du Québec
- M. B1 [redacted], Heli Canada
- M. C1 [redacted], Formalourd
- M. Jean Ruel, ing. Ph.D. professeur titulaire, Université Laval
- M. D1 [redacted], MultiPrévention
- M. Jocelyn Allaire, arpenteur-géomètre, Arpentage Nord Sud

**Personnes contactées :**

- M. E1 [redacted]
- M. F1 [redacted], Locweld Structures

**ANNEXE C**

**Rapport d'expertise d'ingénierie mécanique**

Expertise sur l'analyse du mouvement de chute du pylône impliqué dans l'accident  
mortel survenu le 14 août 2020 à Princeville

réalisée pour la  
Direction régionale Mauricie Centre-du-Québec 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

28 novembre 2020

## Introduction

Ce rapport est la réalisation d'un mandat qui m'a été confié le 1<sup>er</sup> octobre 2020 par la Direction régionale Mauricie Centre-du-Québec de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST). Il concerne un accident au cours duquel un conducteur de camion a été heurté mortellement lors de la chute d'une section de pylône lors de son chargement.

Le mandat est exprimé dans le document intitulé « DEMANDE DE SOUMISSION - Expertise sur l'analyse du mouvement de chute du pylône impliqué dans l'accident mortel survenu le 14 août 2020 à Princeville » produit par la Direction régionale Mauricie Centre-du-Québec de la CNESST. D'autres documents, des photographies et des vidéos de l'accident m'ont également été fournis pour réaliser l'expertise.

Le mandat d'expertise comportait les trois éléments suivants :

- 1) Évaluation de l'angle que devait avoir la cale d'espacement, les deux blocs de bois 3x4 situés à l'avant entre les deux rangées, afin de provoquer la chute du pylône, et un avis sur la possibilité que la déflexion des fourches uniquement ait pu permettre d'atteindre cet angle;
- 2) Évaluation de l'impact du positionnement de la planche de bois de  $\frac{3}{4}$  de pouce d'épaisseur qui était située à l'arrière, entre la couronne et la section dodécagonale du pylône positionné sur le dessus de celle-ci;
- 3) Explication de pourquoi le second pylône, du côté du passager, n'a pas chuté.

Le présent rapport répond aux points énumérés ci-dessus.

## Analyse technique

### Situation étudiée

Les figures 1 et 2 illustrent la situation qui est étudiée dans ce document, ainsi que les forces en présence.

Sur la figure 1 sont identifiées les forces de soutien de l'ensemble de sections de pylônes qui étaient présentes sur la remorque au moment de l'accident. Ces sections de pylônes seront considérées et référées comme des poutres dans la présente analyse. Il y a 3 poutres sur la remorque sur la figure 1. L'analyse qui suivra sera faite au moment de l'accident, alors que la quatrième poutre qui tomba était présente et qu'il y avait 4 poutres sur la remorque.



Figure 1.

La force F1 est la force de support offerte à l'ensemble de 4 poutres par le chariot élévateur, tandis que la force F2 est la force de support à l'arrière, assurée par deux madriers de bois de 4X3 po. Au-dessus de la roue qui est identifiée par la lettre A sur la figure 1 se trouve un autre madrier 4X3. Lorsque le chariot souleva la partie avant en exerçant une force F1, la force de soutien offerte par le madrier au point A était faible ou nulle, puisque l'ensemble pivotait sur les deux madriers situés plus près de l'arrière, soutenu par une force F2.

En ce qui concerne la poutre qui tomba lors de l'accident, elle était soutenue par deux supports, aux endroits où sont identifiées les forces F3 et F4 sur la figure 2. La force F3 était assurée par un empilement de deux madriers 4X3 po. L'autre force, identifiée F4 sur la figure 2, était assurée par l'appui de l'une de 12 faces de la section dodécagonale sur une petite planche de 4.75X0.75 po déposée sur le dessus de la couronne de la poutre de la première rangée. On peut également observer sur la figure 2 la présence de deux autres madriers 4X3 po à l'endroit identifié par la lettre B, mais ceux-ci n'offraient pas de support à la poutre impliquée dans l'accident.



Figure 2.

Lors de l'accident, il y avait donc les surfaces de contact suivantes qui offraient un support à la poutre qui est tombée : le contact entre la partie inférieure des deux plaques de raidissement de la couronne la poutre à l'avant et les deux madriers de 4X3 po (F3), ainsi que le contact entre l'une des faces du profilé de forme dodécagonale et la planche de 4.75x0.75 po à l'arrière (F4). Cette dernière était disposée sur la couronne de la poutre de la rangée inférieure. Cependant, on peut observer sur la figure 3 la position décentrée de cette planche sur les plaques formant la couronne.



Figure 3.

Ainsi, la surface inférieure de la poutre supérieure, celle qui tomba, pouvait être appuyée suivant un certain angle. Considérant la hauteur de 0.75 po (19 mm) de la planche (hauteur identifiée par la lettre a sur la figure 3) et la longueur du segment identifié par la lettre b et mis en évidence par la ligne noire sur la figure 3, et dont la valeur est approximativement de 155 mm (référence [1], dessin de fabrication du pylône), cet angle d'appui possible est

$$\theta_{\text{appui}} = \arctan (a/b) = \arctan (19/155) = 7 \text{ degrés}$$

Il est donc possible que la poutre ait déjà présenté une inclinaison de 7 degrés autour de son axe longitudinal avant que ne débute la manœuvre de soulèvement qui entraîna sa chute. Il est possible également que la poutre n'ait pas été inclinée avant l'accident, mais que ce degré de liberté en rotation dû à la position décentrée de la planche de 4.75x0.75 po ait permis ou même favorisé le mouvement de rotation de la poutre lorsque celui-ci fut initié par une ou d'autres sources.

### Angle requis pour le renversement de la poutre par pivotement

La condition requise pour que le renversement de la poutre se produise par pivotement, c'est-à-dire par roulement autour de son axe longitudinal, est que le centre de masse doit passer par-dessus l'arrête délimitant la surface d'appui.

Pour illustrer la stabilité de l'appui horizontal situé à l'avant, sur les deux madriers de 4X3 po, une vue axiale de cette partie du pylône est représentée à la figure 4, où l'on peut observer la position du centre de masse. Sur la partie gauche de la figure 4, les parties inférieures des deux plaques de raidissement de la couronne du pylône sont bien alignées horizontalement pour reposer sur la surface horizontale offerte par les madriers de 4X3 po. Il s'agit de la position d'équilibre. À droite, la poutre a subi une rotation autour de l'arrête de la plaque de droite, et le centre de masse se trouve à la limite entre la stabilité et le renversement, directement au-dessus de l'arrête.

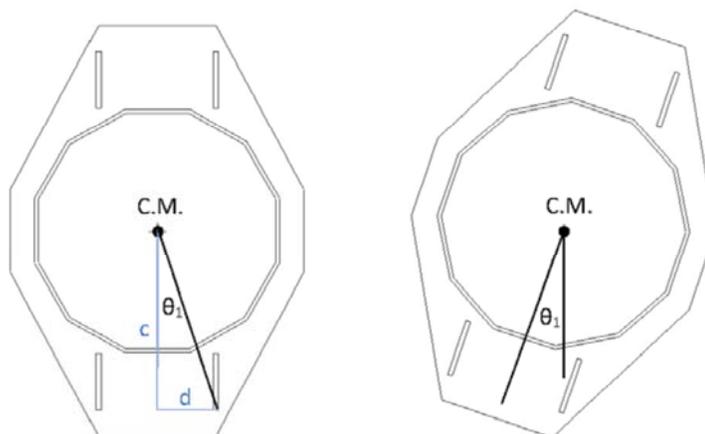


Figure 4. À gauche, appui stable sur les plaques de raidissement, et à droite, limite de stabilité en rotation.

Connaissant les longueurs des segments identifiés par les lettres c et d sur la figure 4 (référence [1]), l'angle  $\theta_1$  constituant une rotation amenant le centre de masse à la limite de la stabilité, est exprimé par la relation

$$\theta_1 = \arctan (d/c) = \arctan (162.7/479.5) = 18.7 \text{ degrés}$$

De façon similaire, la figure 5 illustre la stabilité lorsque l'appui horizontal se situe sous une face du pylône, comme c'était le cas de l'appui à l'arrière de la remorque. À gauche, le pylône repose bien à plat sur la face inférieure, tandis qu'à droite, il a subi une rotation autour de l'une de ses arrêtes, et le centre de masse se trouve à la limite entre la stabilité et le renversement, directement au-dessus de l'arrête.

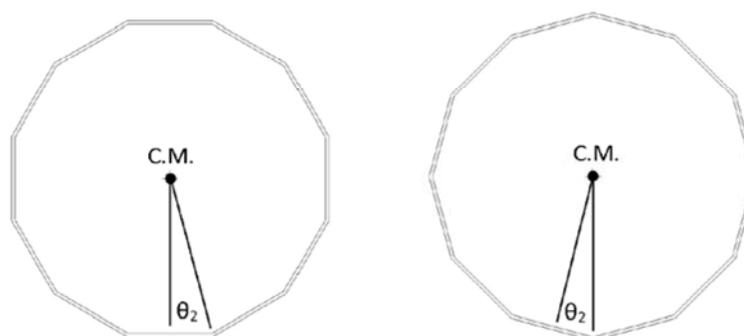


Figure 5. À gauche, appui stable sur la face inférieure, et à droite, limite de stabilité en rotation.

Chacune des 12 faces de la section dodécagonale occupe un secteur d'angle de 30 degrés. L'angle  $\theta_2$ , qui constitue une rotation amenant le centre de masse à la limite de la stabilité, est donc de 15 degrés.

#### Résumé concernant les angles de stabilité

Pour qu'elle ne pivote pas, l'angle de la poutre autour de son axe principal doit être inférieur à 18.7 degrés si elle est appuyée sur la partie inférieure des plaques de sa couronne, tel qu'illustré à la figure 4, et il doit être inférieur à 15 degrés pour qu'elle ne pivote pas si elle est appuyée sur l'un de ses 12 faces, tel qu'illustré à la figure 5.

Considérant la position décentrée de la petite planche servant de cale entre les deux poutres à l'arrière, il est possible que la poutre impliquée dans l'accident ait déjà présenté une rotation de 7 degrés avant la manœuvre de soulèvement qui entraîna sa chute.

Ce résumé des angles de stabilité considère que la poutre qui tomba était bien alignée sur la poutre du dessous, et que le pivotement s'est produit suivant un axe de rotation relativement parallèle à l'axe longitudinal de la poutre.

### Déflexion des fourches

La référence [2] mentionne qu'un total de 5030 kg était appuyé sur les deux fourches lors de l'accident. Sur chacune des deux fourches reposait donc une masse de 2515 kg. Toujours selon la référence [2], cette charge était divisée en deux surfaces d'appui, et les positions d'application du chargement étaient les suivantes :

- les fourches présentaient une longueur de 2438 mm (96 po);
- la moitié de la charge de 2515 kg (ceci étant la charge totale pour une fourche), donc  $2515/2 = 1257.5 \text{ kg} = 12\,336 \text{ N}$ , était appliquée sur une surface dont le centre était à 899 mm du talon de la fourche;
- l'autre moitié de la charge ( $1257.5 \text{ kg} = 12\,336 \text{ N}$  tel que mentionné ci-dessus) était appliquée sur une surface dont le centre était à 2028 mm du talon de la fourche.

Noter que la plaque signalétique du chariot élévateur (figure 6) mentionne une charge maximale permise de 15 101 lbs à 48 po du talon des fourches. Cette charge maximale permise de 6864 kg<sup>1</sup>.



Figure 6. Plaque signalétique du chariot élévateur.

<sup>1</sup> La charge soulevée lors de l'accident était répartie en deux points, alors que la charge nominale de la plaque signalétique est donnée en un seul point. Cependant, il a été vérifié que l'effet de ces deux situations de chargement était cohérent en ce qui concerne le moment de force total au talon de la fourche.

## Déflexion des fourches sous le chargement fourni par la référence [2]

La déformée d'une poutre soumise à un chargement est exprimé par la relation<sup>2</sup>

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

où  $v$  est la déflexion le long de l'axe  $x$ , ce dernier correspondant à la distance à partir de l'encastrement le long de l'envergure de la poutre. Dans le cas étudié ici, il s'agit de la distance à partir du talon de la fourche.

$M$  est le moment de flexion dans la poutre à la position  $x$ ,  $E$  est le module d'élasticité du matériau (pour l'acier  $E = 200$  GPa) et  $I$  est l'inertie de section de la poutre.

Le moment dans la poutre est une fonction de  $x$ ,  $M = M(x)$ , et dans le cas qui nous intéresse ici, l'épaisseur de la fourche varie selon l'axe  $x$ , de sorte que l'inertie  $I$  est une fonction de  $x$  également,  $I = I(x)$ .

Pour obtenir la déformée de la poutre en fonction de la position sur l'axe  $x$ , il faut donc intégrer deux fois l'équation suivante selon  $x$  :

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI(x)} = \frac{1}{E} f(x)$$

Cette équation a été intégrée numériquement.

La première intégration nous donne la dérivée de  $v(x)$ , c'est-à-dire la pente  $\frac{dv}{dx}$  (l'angle de la fourche) pour chaque position  $x$ , tandis que la deuxième intégration nous donne la déflexion, ce qui permet de calculer et d'illustrer la déformée.

La figure 7 présente le diagramme du moment dans une fourche, c'est-à-dire la fonction  $M(x)$ . La figure 8 présente l'angle en degrés (calculé à partir de  $\frac{dv}{dx}$ ) obtenu après la première intégration numérique de la fonction, tandis que la figure 9 présente la déflexion  $v(x)$  obtenue après la deuxième intégration, et dont l'allure est celle de la déformée de la poutre. Sur la figure 9, la position des forces a été indiquée pour référence visuelle.

---

<sup>2</sup> Référence [2], page 611.

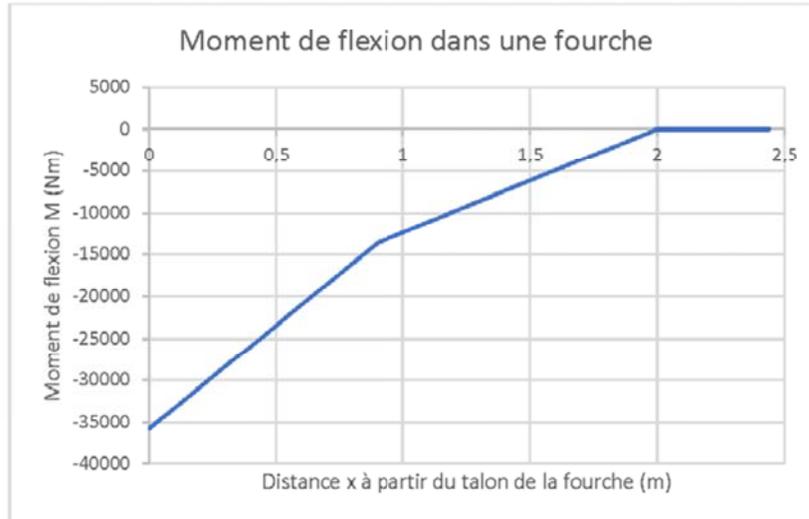


Figure 7. Moment de flexion dans une fourche.

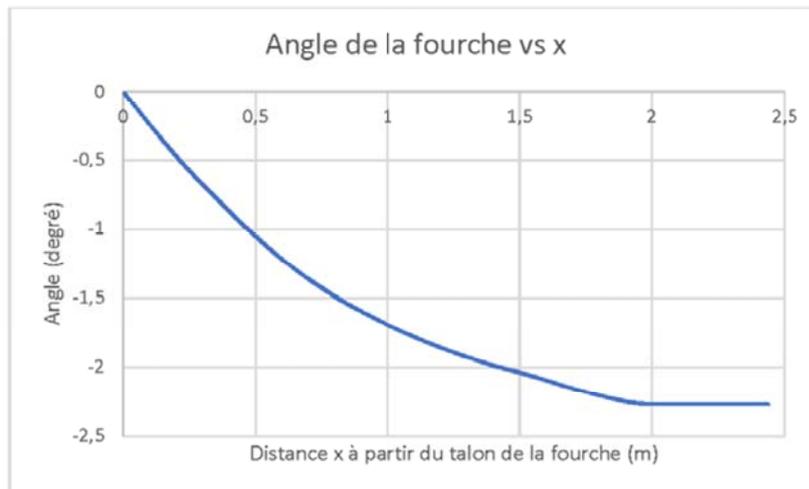


Figure 8. Angle de la fourche.

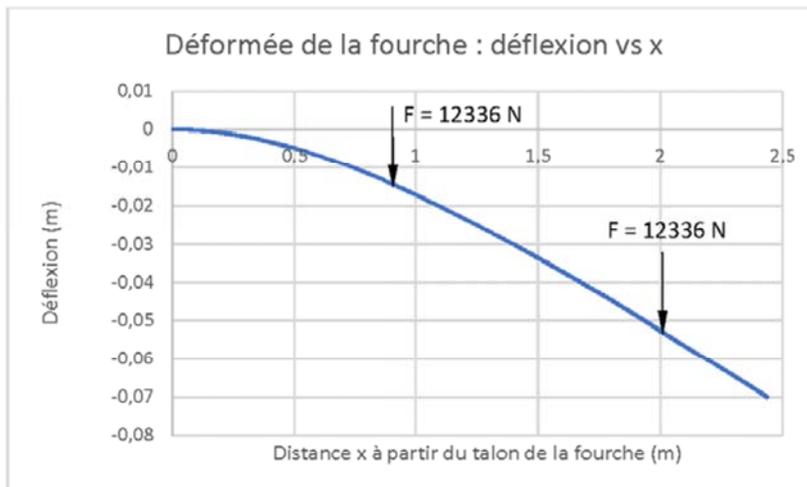


Figure 9. Déformée de la fourche.

### Vérification de la possibilité de glissement

Une possibilité autre que l'amorce du mouvement par basculement est qu'il y ait eu glissement du pylône sur les madriers de bois avant le basculement.

Afin qu'un objet glisse le long d'un plan incliné, il faut que la composante de son poids dans la direction du glissement soit plus grande que la friction entre l'objet et le plan :

$$mg \sin \theta \geq \mu mg \cos \theta$$

- où
- $\theta$  = angle entre le plan de glissement et l'horizontale
  - $m$  = masse de l'objet
  - $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
  - $\mu$  = coefficient de frottement statique entre l'objet et la surface

$$\mu = \tan \theta$$

Selon différentes références, dont la référence [4], le coefficient de friction de l'acier sur le bois varie de 0.2 à 0.65.

Ceci correspond à une pente pouvant aller de 11.3 à 33 degrés.

Pour qu'il y ait eu amorce du mouvement par glissement, il eut fallu que l'angle de la surface sur laquelle reposait la poutre d'acier galvanisé ait été supérieur à 11.3 degrés.

### Rigidité longitudinale des sections de pylônes

Afin d'avoir une idée du comportement des sections de pylônes dans la direction longitudinale, un calcul de déflexion longitudinale a été réalisé. Le but de cette évaluation était d'obtenir une indication de la rigidité générale des poutres et de l'ensemble sur toute la longueur de la remorque, et de comprendre si une éventuelle flexion avait pu contribuer significativement au mouvement de rotation qui semble avoir été prédominant dans la chute d'une section.

Afin d'obtenir cet estimé, certaines simplifications ont été apportées:

- bien que la section transverse de la poutre soit dodécagonale, elle a été considérée comme circulaire, de même épaisseur que celle des plaques utilisées, c'est-à-dire 9.5 mm;
- bien que le diamètre de la poutre varie d'une extrémité à l'autre (ainsi que le poids par unité de longueur), le diamètre a été considéré constant sur toute la longueur et égal à celui à mi-distance pour calculer l'inertie de section de la poutre, et le poids par unité de longueur également, pour un poids total équivalent à celui de la poutre.

La figure 10 montre la déformée d'une section de pylône selon des supports similaires à ceux de la figure 1.

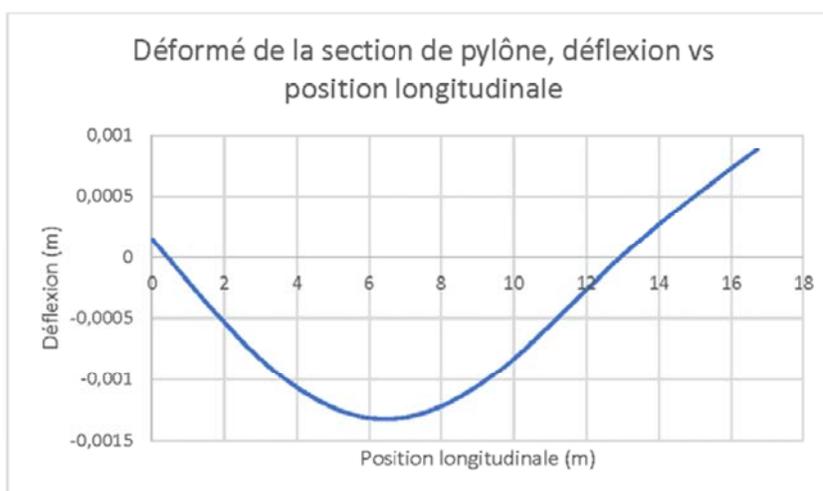


Figure 10. Déformée longitudinale d'une section de pylône sous son propre poids.

La déformée nous indique que la poutre est extrêmement rigide et que son poids ne produit qu'une très faible déflexion (de l'ordre du millimètre), ce qui n'est pas surprenant car ces structures sont conçues pour résister à des chargements aérodynamiques importants lorsque soumises à de grands vents.

On peut d'ailleurs observer sur les vidéos de l'accident que les sections de pylônes sont très rigides. Elles sont soulevées en leur centre par le chariot élévateur et défléchissent de façon imperceptible sur les images. Le mouvement que l'on peut observer sur les images est plutôt un

tangage dû aux mouvements du chariot sur le sol et à la prise peu rigide sur les fourches du chariot élévateur.

Autres aspects considérés dans l'étude des causes possibles de la chute de la section de pylône

Ce qui a été présenté jusqu'à maintenant dans ce rapport est appuyé sur les relevés dimensionnels du chargement effectués après l'accident, ainsi que sur l'hypothèse que la poutre qui tomba était bien alignée sur la poutre du dessous, et que le pivotement s'est produit suivant un axe de rotation parallèle à l'axe longitudinal de la poutre.

Cependant, l'étude des angles de stabilité indique qu'une rotation longitudinale induite uniquement par un déséquilibre statique est peu probable.

D'autres effets ont donc été considérés afin de mieux comprendre les causes possibles du mouvement. Pour ce faire, les éléments suivants ont été étudiés :

- les aspects dynamiques du renversement ont été évalués quantitativement;
- des essais expérimentaux à échelle réduite ont été réalisés avec une poutre d'aluminium allongée et des cales d'aluminium reproduisant le soutien des fourches à l'avant et de la planche de 4.75x0.75 po à l'arrière;
- une étude de sensibilité quant à l'effet d'un éventuel décentrage de la poutre qui chuta par rapport à la poutre du dessous a été réalisée. Cette étude fut réalisée expérimentalement avec la poutre à échelle réduite, ainsi que par analyse géométrique, par calcul;
- la vidéo du renversement a été observée attentivement.

Les effets dynamiques ont probablement contribué à l'initiation du mouvement, ainsi qu'à fournir une partie de l'énergie nécessaire au mouvement. Les effets dynamiques considérés sont :

- la flexion progressive des fourches, qui a pu fournir à la poutre une certaine quantité de mouvement angulaire autour de son axe longitudinal;
- une certaine énergie élastique, qui a pu être emmagasinée dans la déflexion des fourches lors du mouvement initial de levée, pour ensuite être restituée à la poutre sous forme d'une oscillation, qui a pu être faible mais déstabilisante;
- une partie de l'énergie cinétique due à la vitesse d'élévation, qui a pu être restituée à la poutre lors de la décélération.

Nous ne disposons pas de données concernant la dynamique du mouvement d'élévation par le chariot, c'est-à-dire le temps d'accélération et de décélération, la vitesse de montée et les accélérations. Des intervalles de temps plausibles ont été posés afin d'évaluer quantitativement, sur une base comparative, ce qu'ont pu être les contributions en énergie des différents mouvements énoncés ci-dessus. À titre d'exemple, l'énergie de rotation fournie par la flexion progressive des fourches dans le temps a pu être de l'ordre de 50 Joules, l'énergie élastique emmagasinée dans la déflexion des fourches lors du mouvement initial de levée a pu être de l'ordre de 1600 Joules, tandis que l'énergie cinétique due à la vitesse d'élévation a pu être de l'ordre de 150 Joules. Si l'on compare ces valeurs à l'énergie requise pour un renversement suivant un axe de rotation longitudinal parallèle à l'axe de la poutre (le mouvement illustré aux figures 4 et 5), celle-ci est de l'ordre de 1000 Joules. On constate donc que les énergies contenues

dans les différents aspects du mouvement sont d'une intensité suffisante pour avoir pu contribuer au mouvement.

Les essais expérimentaux réalisés à échelle réduite avec un profilé allongé d'aluminium ont par ailleurs permis d'observer différents aspects du mouvement de renversement. En premier lieu, la cale représentant la planche de 4.75x0.75 po à l'arrière fut juxtaposée au plan central de la poutre, pour représenter une excentricité similaire à celle observable sur la figure 3, ainsi que pour représenter l'alignement présumé de la poutre du dessus sur celle du dessous. Cet arrangement présentait une certaine stabilité, et un angle d'inclinaison de l'ordre de 10 à 15 degrés était nécessaire sur la cale représentant les fourches pour provoquer le renversement. L'axe de rotation du renversement n'était pas parfaitement aligné avec celui de la poutre, mais l'angle entre ces deux axes était plutôt faible. Par la suite, la cale représentant la planche à l'arrière fut déplacée de façon à en augmenter l'excentricité par rapport au plan de symétrie de la poutre, afin d'étudier la sensibilité du phénomène de renversement à cette excentricité additionnelle. Il s'est avéré que de faibles excentricités ajoutées avaient un effet significatif sur l'angle des fourches requis pour provoquer le renversement.

Une étude par calcul des aspects géométriques du renversement a ensuite été menée pour comprendre ce phénomène.

Les figures 11 et 12 illustrent de façon schématique les principaux éléments discutés ci-dessus. Noter qu'il s'agit de représentations vues du dessus de la poutre sur la remorque

Voici ce qui est illustré:

- l'axe de renversement est une ligne reliant 1) à l'avant, le point de support le plus éloigné du plan central longitudinal de la poutre et 2) à l'arrière, l'arrête longitudinale de la planche de 4.75x0.75 po situé du côté du renversement. L'axe de renversement est représenté par la ligne bleue sur les figures 11 et 12;
- le centre de masse de la poutre est situé à une certaine distance vers l'arrière par rapport à la mi-longueur de la poutre (plan médian), à cause de l'élargissement linéaire de sa section vers l'arrière;
- le fait d'augmenter l'excentricité de la cale représentant la planche à l'arrière rapproche la ligne de stabilité du centre de masse, de sorte que l'angle des fourches requis pour provoquer le renversement devient de plus en plus faible. Ceci est illustré par les figures 11 et 12, et sur la figure 12, le cercle rouge attire l'attention sur la proximité du centre de masse et de la ligne de renversement.

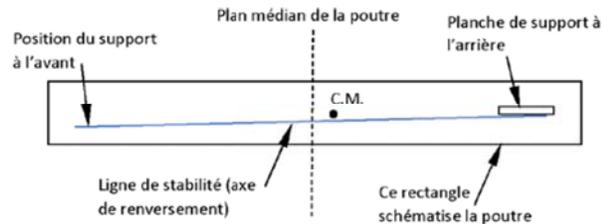


Figure 11. Vue de dessus : illustration avec planche de support à l'arrière juxtaposée au centre de la poutre.

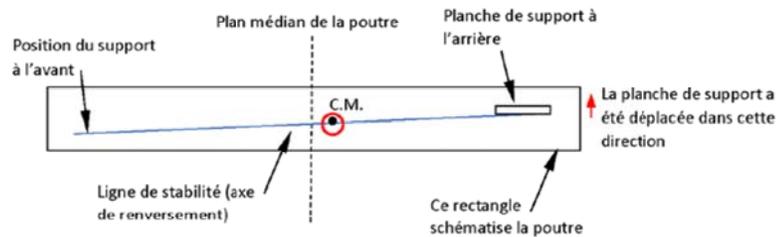


Figure 12. Vue de dessus : illustration avec planche de support à l'arrière excentrée. La ligne de stabilité se rapproche du centre de masse.

En résumé, ces aspects complémentaires considérés dans l'étude des causes possibles de la chute de la section de pylône indiquent que :

- si au moment de l'accident l'axe de la poutre était décentré par rapport à celui de la poutre inférieure, ceci a eu comme effet de rapprocher la ligne de stabilité du centre de masse, réduisant ainsi l'angle requis des fourches pour provoquer le renversement;
- il semble également plausible qu'une partie de l'énergie associée à la dynamique du levage ait pu contribuer au renversement.

Réponse aux points constituant le mandat de cette expertise

- 1) Évaluation de l'angle que devait avoir la cale d'espacement, les deux blocs de bois 3x4 situés à l'avant entre les deux rangées, afin de provoquer la chute du pylône, et un avis sur la possibilité que la déflexion des fourches uniquement ait pu permettre d'atteindre cet angle.

Considérant uniquement les données dimensionnelles formellement disponibles, la poutre qui a chuté pouvait déjà présenter au moment de l'accident un angle de rotation de l'ordre de 7 degrés (effet de la planche de 0.75 x 4.75 po décentrée). Considérant que l'angle de stabilité sur

l'appui avant est de 18.7 degrés (figure 4), un angle de 11.7 degrés ( $18.7 - 7$ ) des cales aurait été nécessaire pour provoquer le renversement statique de la section de pylône suivant un axe longitudinal.

La déflexion des fourches à elle seule n'a pu produire cet angle, comme l'indique la déformée des fourches présentée à la figure 9 et les valeurs d'angles correspondants présentés à la figure 8, qui atteignent une valeur maximale de -2.3 degrés.

Il est possible également que la poutre n'ait pas été inclinée avant l'accident, mais que ce degré de liberté en rotation dû à la position décentrée de la planche de 4.75x0.75 po ait permis ou même favorisé le mouvement de rotation de la poutre lorsque celui-ci fut initié par une ou d'autres sources.

Dans cette éventualité, une certaine quantité d'énergie a pu être transmise par la dynamique du mouvement et alimenter la rotation. Également, un éventuel décentrage de la poutre qui chuta par rapport à celle du dessous, ayant pour effet de rapprocher l'axe de rotation du centre de masse, a pu contribuer à réduire significativement l'angle requis des fourches pour provoquer le renversement.

- 2) Évaluation de l'impact du positionnement de la planche de bois de  $\frac{3}{4}$  de pouce d'épaisseur qui était située à l'arrière, entre la couronne et la section dodécagonale du pylône positionné sur le dessus de celle-ci.

Tel que mentionné, la planche de 0.75 x 4.75 po et sa position décentrée a pu contribuer à donner un angle initial à la poutre, faisant en sorte que l'angle additionnel requis pour produire le basculement était moindre. La contribution de cette planche à l'angle total a pu être de 7 degrés.

Par contre, un éventuel décentrage de la poutre qui chuta par rapport à celle du dessous a pu amplifier le rôle de cette planche dans le renversement.

- 3) Explication de pourquoi le second pylône, du côté du passager, n'a pas chuté.

Le second pylône, du côté du passager, était avantagé parce qu'il ne présentait pas d'angle initial, qu'il possédait un meilleur appui à l'arrière, et aussi parce qu'étant situé plus près du talon des fourches, la contribution de la déflexion de celles-ci à l'angle total était moindre.

## Conclusion

Les éléments techniques abordés dans cette analyse ont permis d'étudier la stabilité statique de l'ensemble de quatre poutres en regard des données disponibles.

Les sources de rotation de la poutre qui a chuté étaient une possibilité de rotation, initiale ou subséquente à l'amorce du mouvement, due au support de la partie arrière de la poutre, ainsi que la déflexion des fourches du chariot élévateur sous l'effet de la charge soulevée.

Au terme de cette étude, il apparaît que ces sources de rotation, telles que mesurées et calculées, ne sont pas suffisantes pour provoquer l'instabilité statique de la poutre.

Il a fallu, pour que la chute se produise, que d'autres sources d'instabilité soient présentes.

La source la plus plausible est un éventuel décentrage de la poutre qui a chuté par rapport à celle du dessous sur laquelle elle reposait.

D'autres sources d'inclinaison demeurent possibles, comme l'inclinaison du mat du chariot élévateur ou de la suspension de la remorque.

Un rapport d'arpentage (référence [6]) a établi que l'inclinaison du terrain n'était pas en cause comme source d'inclinaison.

Par ailleurs, un apport d'énergie dû à la dynamique du système a aussi pu contribuer à alimenter la rotation de la poutre.



Jean Ruel, ing., Ph.D., le 28 novembre 2020  
No. OIQ : 106 900

## Références

- [1] Dessin technique du pylône, 3853-003S\_R04\_Shop Weld middle.PDF.
- [2] Document *Informations techniques (demande d'expertise).docx* fourni par la CNESST pour réaliser l'expertise.
- [3] *Mechanics of Materials, Seventh Edition*. R.C. Hibbeler, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2008.
- [4] *Machinery's Handbook, 26e edition*. Industrial Press, New York, 2000.
- [5] *Shigley's Mechanical Engineering Design, Eleventh Edition*. R.G. Budynas and J.K. Nisbett, McGraw-Hill, 2020.
- [6] Rapport d'arpentage de Monsieur Jocelyn Allaire, arpenteur géomètre, 4 novembre 2020, numéro 2247 des minutes de l'arpenteur.

**ANNEXE D**

**Rapport d'arpentage**

**CANADA  
PROVINCE DE QUÉBEC  
CIRCONSCRIPTION FONCIÈRE D'ARTHABASKA**

### **RAPPORT D'ARPEMENTAGE**

Je, soussigné, **JOCELYN ALLAIRE**, arpenteur-géomètre, affirme être autorisé à pratiquer l'arpentage dans la Province de Québec et ayant ma place d'affaires au 285 boul. Bois-Francis Sud, à Victoriaville.

1.- **Mandat**

À la demande de **Madame Stéphanie Rosa, inspectrice de la CNESST**, je me suis rendu sur les lieux de l'accident au 225 Jérémie-Pacaud, à Princeville afin de mesurer le niveau d'une remorque ainsi que celui du sol autour de la remorque. Le but du travail était de valider s'il y avait une pente dans la remorque.

2.- **Levé des lieux**

Le 21 août 2020, je me suis rendu sur les lieux de l'accident afin de faire le mesurage nécessaire. Je remarque que le tracteur qui était attaché à la remorque avait été déplacé ce qui peut possiblement avoir changé le niveau de la remorque. On me dit sur place que le positionnement de la remorque est le même que lors de l'accident, par contre une partie du chargement a été enlevé.

Avec l'aide de mon technicien, Yan Dusseault, j'ai fait le mesurage de deux façons. J'ai fait un levé à l'aide d'une station totale robotisée Trimble de type S7 afin d'obtenir l'élévation au sol, l'élévation de la remorque ainsi que la position de ladite remorque et des points pris au sol. Pour plus de précision sur le niveau de la remorque, j'ai pris

les mêmes points de la remorque à l'aide d'un instrument « niveau » de marque leica.

J'ai mis en plan la position des points mesurés de la remorque ainsi que ceux pris au niveau du sol et j'ai fait des tableaux récapitulatifs. Le plan est joint au présent rapport.

3.- **Constatation**

Suite au levé terrain, j'ai traité et analysé les données recueillies, lesquelles apparaissent dans le tableau ci-dessous :

Position par rapport à la remorque (voir plan)	Élévation de la remorque (mètre)	Élévation du sol (mètre)	Distance entre le sol et la remorque (mètre)
1	130,68	129,25	1,43
2	130,66	129,20	1,46
3	130,73	129,23	1,50
4	130,76	129,31	1,45
5	130,72	129,31	1,41
6	130,61	129,36	1,25
7	130,60	129,32	1,28
8	130,73	129,33	1,40
9	130,76	129,28	1,48
10	130,74	129,26	1,48

**Niveau du sol**

L'élévation du sol me semble sensiblement au niveau de gauche à droite de la remorque, mais il semble avoir une faible pente vers l'avant. J'ai aussi mesuré le niveau du sol vis-à-vis les roues et les élévations du sol vis-à-vis les roues de chaque côté de la remorque sont sensiblement au même niveau. Lors de la visite terrain, j'ai remarqué une flaqué d'eau montrant que le niveau du sol est légèrement plus bas. La position de cette flaqué située du côté opposé à l'accident ainsi que les élévations du sol mesurées apparaissent sur le plan ci-joint

Niveau de la remorque

Comme la remorque est arquée, il est impossible de comparer la pente de la remorque par rapport à celle du terrain. Cependant, la pente de la remorque dans le sens de la longueur est faible. Pour ce qui est des élévations dans le sens de la largeur, la remorque semble être sensiblement de niveau. La plus grande différence est de deux centièmes dans la partie avant, mais celle-ci penche dans le sens contraire de l'accident. Les élévations de la remorque apparaissent dans le tableau ci-dessus.

3.- Conclusion

Suite au mesurage terrain et à l'analyse des données, je constate que la pente au sol et celle de la remorque sont très faibles. De plus, aux endroits où les pentes sont les plus fortes, celles-ci s'inclinent du côté opposé à l'accident. Le résultat des pentes et différences d'élévation calculées d'un côté à l'autre de la remorque apparaît dans le tableau ci-dessous.

Position par rapport à la remorque (voir plan)	Sur remorque		Au sol		Sens de la pente par rapport à l'accident
	Différence d'élévation (mètre)	Pente	Différence d'élévation (mètre)	Pente	
Entre 2 et 1	-0,02	-0,8%	-0,05	-2,0%	Pente vers le côté opposé à l'accident
Entre 3 et 10	-0,01	-0,5%	-0,03	-1,3%	Pente vers le côté opposé à l'accident
Entre 4 et 9	0,01	0,2%	0,03	1,4%	Pente vers l'accident
Entre 5 et 8	-0,01	-0,2%	-0,01	-0,6%	Pente vers le côté opposé à l'accident
Entre 6 et 7	0,01	0,3%	0,04	1,6%	Pente vers l'accident
Entre 1 et 7	0,08	0,5%	-0,07		
Entre 2 et 6	0,05	0,3%	-0,16		

Préparé à Victoriaville, ce **quatrième** jour du mois de **novembre deux mille vingt** sous le numéro **2247** de mes minutes.

*Signé numériquement*

**JOCELYN ALLAIRE  
ARPENTEUR-GÉOMÈTRE**

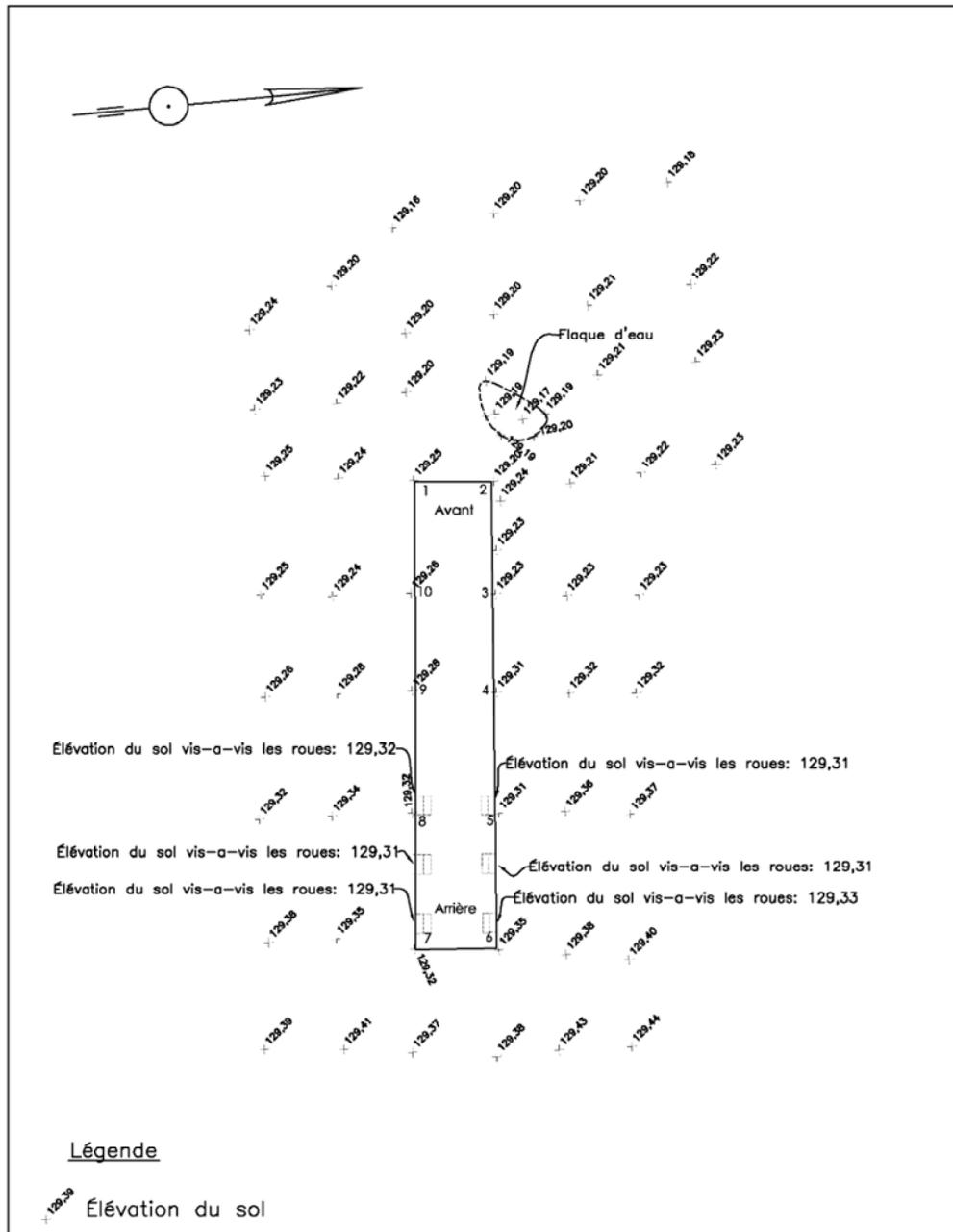
**VRAIE COPIE DE L'ORIGINAL**

**ÉMISE LE: .....**

**.....  
ARPENTEUR-GÉOMÈTRE**

Minute - **2247**

Dossier – **13 281**



**PLAN DE LOCALISATION**

Circonscription foncière: Arthabaska  
Municipalité: Ville de Princeville  
Client(s): Stéphanie Rosa, CNESST

N.B.: Les mesures sont en mètres.



Victoriaville, 819 758-3774  
Asbestos, 819 879-7115  
Plessisville, 819 621-0404

Victoriaville, 4 novembre 2020

*Signé numériquement*

JOCELYN ALLAIRE  
ARPENTEUR-GÉOMÈTRE

Levé effectué le  
21 août 2020

VRAIE COPIE DE L'ORIGINAL  
ÉMISE LE .....  
PAR:.....  
arpenteur-géomètre

Échelle: 1:150

Dossier: 13 281

Minute: 2247

**ANNEXE E****Références bibliographiques**

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Norme de sécurité pour les chariots élévateurs*, 3<sup>e</sup> édition, Toronto, CSA, 2015, 84 p. (CSA B335-15).

BOLDUC, Guillaume. *Identification des principes de chargement de membres d'acier structural en vue de leur transport routier, Mémoire présenté à l'École des Technologies Supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en génie de la production automatisée M. Sc. A.*, Montréal, ETS, 2015, 159 p. [[https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1436/1/BOLDUC\\_Guillaume.pdf](https://espace.etsmtl.ca/id/eprint/1436/1/BOLDUC_Guillaume.pdf)].

CANADA. *Code canadien du travail, LRC, chapitre L-2, à jour au 20 avril 2021*, [En ligne]. [<https://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/L-2/page-24.html#h-332860>] (Consulté le 12 mai 2021).

CANADA. EMPLOI ET DÉVELOPPEMENT SOCIAL. *Chargement et déchargement de camions à plateau sur le lieu d'expédition et de livraison*, [En ligne], 2019. [<https://www.canada.ca/fr/emploi-developpement-social/services/sante-securite/prevention/camions-plateau.html>] (Consulté le 12 mai 2021).

CONSEIL CANADIEN DES ADMINISTRATEURS EN TRANSPORT MOTORISÉ. *Code canadien de sécurité pour les transporteurs routiers. Norme 10, arrimage des cargaisons*, Ottawa, CCATM, 2013, 48 p. (CCS : 10-2013). [[https://ccmta.ca/web/default/files/PDF/NSC-French/Norme\\_10\\_2013.pdf](https://ccmta.ca/web/default/files/PDF/NSC-French/Norme_10_2013.pdf)].

MÉTÉOMÉDIA. *Météomédia, météo actuelle*, [En ligne], 2020. [<https://www.meteomedia.com/ca>] (Consulté le 14 août 2020).

QUÉBEC. *Code de la sécurité routière, RLRQ, chapitre C-24.2, à jour au 10 décembre 2020*, [En ligne], 2020. [<http://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/C-24.2>] (Consulté le 12 mai 2021).

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 10 décembre 2020*, [En ligne], 2020. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/s-2.1>] (Consulté le 12 mai 2021).

QUÉBEC. *Règlement sur les normes d'arrimage, RLRQ, chapitre C-24.2, r. 30, à jour au 10 décembre 2020*, [En ligne], 2020. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/C-24.2,%20r.%2030/>] (Consulté le 12 mai 2021).

QUÉBEC. *Règlement sur les normes de charges et de dimensions applicables aux véhicules routiers et aux ensembles de véhicules routiers, RLRQ, chapitre C-24.2, r. 31, à jour au 10 décembre 2020*, [En ligne], 2020. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/c-24.2,%20r.%2031>] (Consulté le 12 mai 2021).

QUÉBEC. MINISTÈRE DES TRANSPORTS. *Guide des normes de charges et dimensions des véhicules routiers*, Québec, MTQ, 2013, 34 p. [<https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/ent-camionnage/charges-dimensions/Documents/Guide-normes-charges-dimensions.pdf>].

QUÉBEC. MINISTÈRE DES TRANSPORTS. *Guide du Règlement sur le permis spécial de circulation*, Québec, MTQ, 1993, 92 p.

QUÉBEC. MINISTÈRE DES TRANSPORTS. *Guide sur les normes d'arrimage des cargaisons*, Québec, MTQ, 2020, 65 p. [[https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/ent-camionnage/Documents/Guide\\_normes\\_arrimage.pdf](https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/ent-camionnage/Documents/Guide_normes_arrimage.pdf)].

QUÉBEC. MINISTÈRE DES TRANSPORTS, DE LA MOBILITÉ DURABLE ET DE L'ÉLECTRIFICATION DES TRANSPORTS. *Guide sur la Loi concernant les propriétaires, les exploitants et les conducteurs de véhicules lourds et ses règlements*, Québec, MTMEQ, 2017, 27 p. [<https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/ent-camionnage/loi-vehicules-lourds/Documents/Guide-PECVL.pdf>].