

EN004325

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu à un travailleur de l'entreprise
9090-5092 Québec inc. sur un chantier de construction
situé au 575, rue de l'Équinoxe à Brossard,
le 8 juillet 2021**

Service de prévention/inspection Rive-Sud

Version dépersonnalisée

Inspectrices :

Stéphanie Paquin

Hélène Fortin

Date du rapport : 26 janvier 2022

Rapport distribué à :

- M. **A**, Édific inc.
- Mme **B**, 9090-5092 Québec inc.
- Me Nathalie Lefebvre, coroner
- Dre Julie Loslier, directrice de la santé publique de la Montérégie
- M. **C**, Confédération des syndicats nationaux
(CSN – Construction)
- M. **D**, Conseil provincial des métiers de la construction
International (CPQMCI)
- M. **E**, Syndicat québécois de la construction
- M. **F**, Fédération des travailleurs du Québec
(FTQ – Construction)
- M. **G**, Centrale des syndicats démocratiques (CSD – Construction)

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>3</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DU CHANTIER	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	4
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	4
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>6</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	6
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	7
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>9</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	9
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	10
4.2.1	INFORMATIONS RECUEILLIES SUR LES LIEUX	10
4.2.2	INFORMATIONS SUR LES PANNEAUX DE COFFRAGE ET LA CHARGE	10
4.2.3	INFORMATIONS PROVENANT DE LA CAMÉRA DE SURVEILLANCE	11
4.2.4	INFORMATIONS SUR LES ÉLINGUES	13
4.2.5	INFORMATIONS SUR L'ORGANISATION DU TRAVAIL ET LA TÂCHE	13
4.2.6	PRESCRIPTIONS DU FABRICANT DE PANNEAUX DE COFFRAGE	16
4.2.7	INFORMATIONS SUR LE SIGNALEUR	18
4.2.8	RÉSULTATS D'EXPERTISE	18
4.2.9	DISPOSITIONS LÉGISLATIVES ET RÉGLEMENTAIRES	20
4.2.10	DISPOSITIONS NORMATIVES	21
4.2.11	GUIDES DES BONNES PRATIQUES	23
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	25
4.3.1	LA ROTATION DE LA CHARGE LORS DE SA CHUTE, COMBINÉE À L'IMPACT SUR LE CAMION SEMI-REMORQUE À PLATEAU, ENTRAÎNE LA PROJECTION DE DEUX PANNEAUX DE COFFRAGE EN DIRECTION DU TRAVAILLEUR	25
4.3.2	UNE MÉTHODE D'ÉLINGAGE INAPPROPRIÉE ET APPROXIMATIVE ENTRAÎNE LE GLISSEMENT D'UNE DES ÉLINGUES ET PROVOQUE LA CHUTE DE LA CHARGE	25
4.3.3	LA GESTION DE LA MANUTENTION DES PANNEAUX DE COFFRAGE EN PILE SUR LE CHANTIER EST DÉFICIENTE	26
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>28</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	28
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	28

5.3 SUIVI DE L'ENQUÊTE**28****ANNEXES**

ANNEXE A :	Accidenté	30
ANNEXE B :	Liste des personnes interrogées	31
ANNEXE C :	Rapport d'inspection des élingues	32
ANNEXE D :	Rapport d'expertise	34
ANNEXE E :	Calculs	50
ANNEXE F :	Références bibliographiques	61

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

Le 8 juillet 2021, un travailleur agit en tant que signaleur pour le **K**. Une de ses tâches est d'effectuer le chargement de panneaux de coffrage à partir de la zone d'empilage du chantier vers un camion semi-remorque à plateau. À cette fin, le travailleur attache la charge à l'aide de deux élingues synthétiques. La charge est ensuite soulevée et transportée à l'aide de la grue à tour jusqu'au point de dépôt, situé sur le camion semi-remorque à plateau. Au moment de descendre la charge, celle-ci chute des élingues sur lesquelles elle prend appui. Elle percute le plateau du camion semi-remorque, ce qui entraîne la projection de deux panneaux de coffrage qui happent le travailleur se trouvant alors à proximité. Celui-ci est propulsé dans les airs pour ensuite chuter au sol à l'arrière du camion semi-remorque à plateau.

Conséquences

Le travailleur décède.



Figure 1 : Image de la scène à la suite de l'accident (Source : CNESST)

Abrégé des causes

- La rotation de la charge lors de sa chute, combinée à l'impact sur le camion semi-remorque à plateau, entraîne la projection de deux panneaux de coffrage en direction du travailleur.
- Une méthode d'élingage inappropriée et approximative entraîne le glissement d'une des élingues et provoque la chute de la charge.
- La gestion de la manutention des panneaux de coffrage en pile sur le chantier est déficiente.

Mesures correctives

Le 8 juillet 2021, la CNESST interdit le levage des panneaux de coffrage élingués en panier et interdit l'utilisation de la grue à tour impliquée dans l'accident. Ces interdictions apparaissent au rapport RAP1354011. Une méthode de levage sécuritaire et attestée par une personne compétente ainsi qu'une inspection spéciale de la grue à tour selon les prescriptions de la norme CSA Z248 *Code sur les grues à tour* sont exigées pour permettre la levée des interdictions.

Le 12 juillet 2021, une attestation de conformité signée et scellée par un ingénieur est fournie à la CNESST pour la sécurité de la grue à tour. La CNESST lève la décision d'interdiction d'utilisation de la grue à tour. Cette levée apparaît au rapport RAP1354250.

L'interdiction concernant le levage des panneaux de coffrage élingués en panier est toujours en vigueur.

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

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale du chantier

Le projet Solar Uniquartier RL3 consiste en la construction d'un immeuble de 210 logements locatifs répartis sur 15 étages en plus de 7 espaces commerciaux situés au rez-de-chaussée. Le projet prévoit aussi 3 étages de stationnements souterrains. La structure de l'immeuble est en béton.

Les travaux de construction débutent en décembre 2019 et doivent durer 2 ans. Le coût des travaux est estimé à 55 millions de dollars.

Devimco immobilier inc. est le promoteur du projet et attribue à Édyfic inc. la gestion de la construction.

Édyfic inc. est responsable de l'exécution de l'ensemble des travaux de construction et de l'octroi des contrats de travail aux employeurs sous-traitants du chantier de construction. Il agit donc à titre de maître d'œuvre du projet, tel qu'établi dans le rapport RAP1333776 émis le 20 janvier 2021.

Édyfic inc. œuvre à titre d'entrepreneur général se spécialisant dans les travaux de construction de bâtiments résidentiels, locatifs, commerciaux de moyenne et de grande envergure dans la région du Grand Montréal. Il emploie 137 travailleurs.

Édyfic inc. octroie le contrat à l'entreprise 9090-5092 Québec inc., ci-après nommée Coffrages Synergy, pour la construction de la dalle structurale. Cette étape comprend les activités de coffrage, de décoffrage, de coulage de béton et de mise en place.

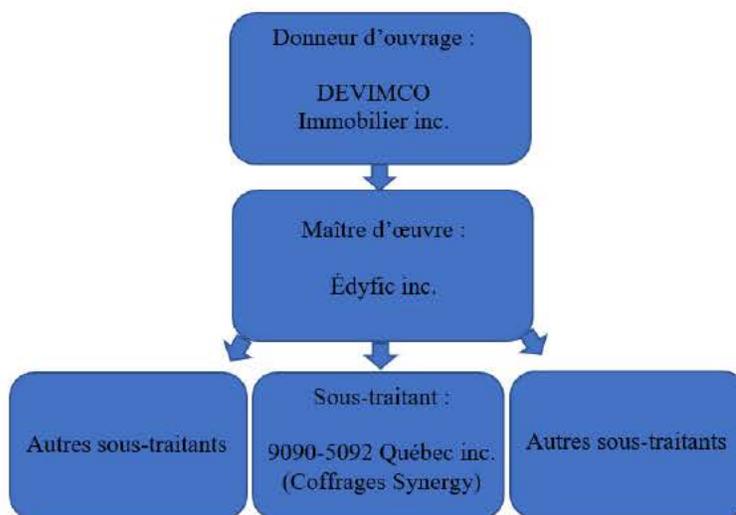


Figure 2 : Octroi des contrats pour le chantier RL3 (Source : CNESST)

L'entreprise Coffrages Synergy se spécialise dans la construction de dalles structurales pour bâtiments commerciaux, institutionnels et industriels ainsi que pour des ouvrages de génie civil.

L'entreprise emploie 1442 travailleurs, dont 983 en chantier. Environ 20 travailleurs sont attirés au chantier du projet Solar Uniquartier RL3.

Un ^H des et des sont assignés au chantier du projet Solar Uniquartier RL3. Des sont également disponibles au besoin.



Figure 3 : Organigramme du chantier du projet Solar Uniquartier RL3 (Source : Coffrages Synergy)

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Un comité de chantier est en place et se rencontre toutes les deux semaines.

Le comité de chantier est constitué du ^H de ^I, des , de , de de chacun des employeurs sous-traitants présents. Le comité de chantier est sous la responsabilité du maître d'œuvre et est animé par ^I.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Édyfic inc.

Un programme de prévention spécifique au projet Solar Uniquartier RL3 est produit par le maître d'œuvre. Il inclut notamment les informations générales du projet, les politiques de l'entreprise en santé et sécurité, les rôles et responsabilités des différents intervenants et les règles générales de sécurité sur le chantier.

Comme les coûts des travaux sont supérieurs à 8 millions de dollars, la présence d'un agent de sécurité à plein temps est requise. À cet effet, Édyfic inc. retient les services de la compagnie SST Consultants pour fournir un agent de sécurité en tout temps. Ce dernier est aussi responsable d'accueillir les nouveaux travailleurs qui arrivent sur le chantier et de leur présenter les règles de sécurité spécifiques.

Coffrages Synergy

La gestion de la santé et sécurité est assurée par le département santé, sécurité et environnement étant lui-même sous la responsabilité du département des ressources humaines. Des [REDACTED] se déplacent sur les chantiers pour y effectuer des audits de sécurité. Ces [REDACTED] agissent sous la responsabilité du [REDACTED].



Figure 4 : Organigramme santé, sécurité et environnement (Source : Coffrages Synergy)

L'employeur possède un programme de prévention propre aux activités sur les chantiers. Celui-ci liste les politiques et les règlements de l'entreprise, les mesures de sécurité générales et des mesures de sécurité spécifiques aux différentes tâches. Il aborde, de façon générale, les dangers particuliers reliés au poste de signaleur de grue et au levage de charge.

Un programme d'accueil des nouveaux travailleurs est en place. Celui-ci comprend une brochure santé et sécurité, un guide spécifique par métier, de la formation et une période de compagnonnage.

Un registre des formations des travailleurs est conservé par l'employeur.

Des pauses sécurité ont lieu sur les chantiers de façon hebdomadaire et des rencontres « toolbox » ont lieu quotidiennement. Un retour sur les accidents et les passés proches est effectué lors de ces rencontres. Les événements sont analysés et des mesures correctives sont mises en place.

Les travailleurs ont aussi la possibilité de visionner des capsules vidéo traitant de différents risques. Toutefois, ces visionnements sont volontaires et doivent être effectués en dehors des heures de travail.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le chantier de construction du projet Solar Uniquarter RL3 est situé au 575, rue de l'Équinoxe à Brossard.

Les travaux de chargement des équipements de coffrage s'effectuent à l'arrière du bâtiment en construction, près des rues de l'Escale et de l'Équateur. Une zone d'empilage des équipements de coffrage est délimitée près d'un conteneur à déchets.

Lors de l'accident, le camion semi-remorque à plateau est stationné près de cette zone, à environ 38 m de la tour de la grue. Il est stationné dans l'axe NO-SE, que nous désignerons nord-sud pour des fins de simplification.



Figure 5 : Lieu de l'accident (Source : Google map, modifiée par la CNESST)

Une caméra de surveillance est installée par le maître d'œuvre du projet. Elle pointe en direction de l'accident.

La météo pour la journée du 8 juillet 2021 est généralement nuageuse. Des précipitations de 0,5 mm de pluie sont enregistrées à 9 h à l'aéroport de St-Hubert. Les vents atteignent un maximum de 22 km/h à 10 h en provenance du nord-est. La température est de 18° C à 10 h et de 19,5° C à 11 h. La visibilité est de 16 km tout au long de la journée.

3.2 Description du travail à effectuer

Au moment de l'accident, l'équipe composée du **K** et du signaleur de la grue à tour effectue le chargement des panneaux de coffrage de marque Peri, modèle Maximo, sur un camion semi-remorque à plateau.

Cette tâche est effectuée à la fin des travaux alors que le coffrage est démonté et que les équipements doivent être acheminés à l'entrepôt.

Les panneaux du système de coffrage-cadre Maximo de Peri sont des éléments à usage multiple. Ils sont composés d'une structure d'acier et d'un panneau de bois.

Il n'y a pas de méthode de travail spécifique pour l'empilage et le chargement en pile des panneaux de coffrage sur le chantier. Diverses méthodes peuvent être utilisées en fonction du contexte. La hauteur de leur empilage peut varier en fonction de leur format.

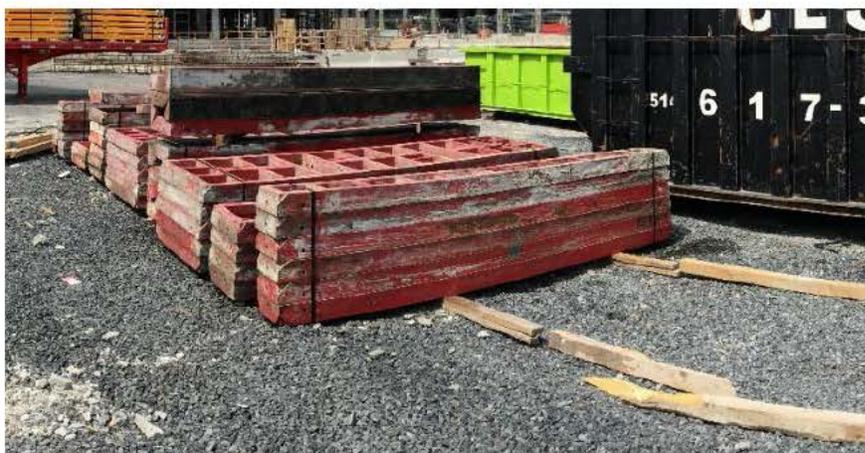


Figure 6 : Photo d'une partie de la zone d'empilage du chantier présentant des panneaux de coffrage de formats différents (Source : CNESST)

La charge soulevée au moment de l'accident est composée de 2 piles de panneaux de coffrage superposées l'une sur l'autre. Chaque pile contient 4 panneaux de coffrage de grandeur 330 cm par 240 cm. Les panneaux de coffrage de chaque pile sont retenus ensemble à l'aide de 2 courroies métalliques. Ces 2 piles sont séparées par 2 blocs de bois (4 x 4) et sont déposées sur 2 autres blocs de bois lorsqu'elles sont entreposées sur le chantier.

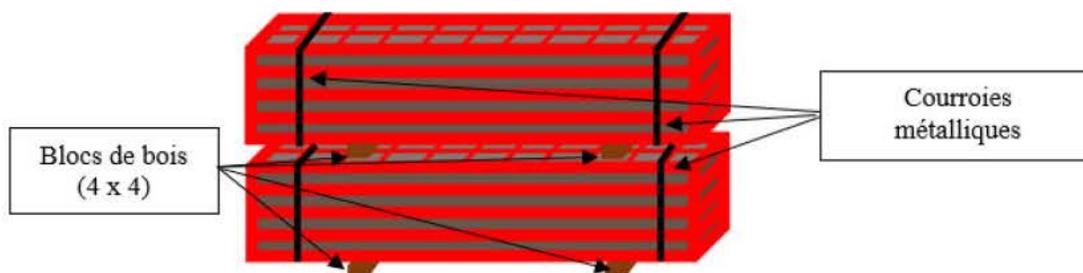


Figure 7 : Croquis de la charge impliquée dans l'accident alors qu'elle se trouve dans la zone d'empilage (Source : CNESST)

Au moment de charger les équipements sur le camion semi-remorque à plateau, le signaleur choisi les accessoires de levage à utiliser, élingue la charge en l'attachant au crochet de la grue à tour et commande au **K** de tendre les élingues sans soulever la charge afin de vérifier l'élingage.

Une fois l'élingage vérifié, le signaleur commande ensuite le levage de la charge.

Lors du soulèvement de la charge, le signaleur s'éloigne, mais suit la charge pour orienter le **K** au niveau du point de dépôt. Le signaleur se rapproche de la charge lorsque celle-ci est à proximité du point de dépôt afin d'en contrôler les mouvements.

Le chargement du camion semi-remorque à plateau implique que le signaleur monte sur le plateau afin de diriger la réception de la charge.

Une fois la charge déposée sur le camion semi-remorque à plateau, le signaleur retire les élingues.

Le jour de l'accident, des élingues de polyester sont utilisées pour le levage en pile de cette charge.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Durant les semaines précédant l'accident, M. L, est chargé de désassembler les coffrages. Il s'exécute en équipe avec le K et il signale l'empilage des panneaux et d'autres équipements dans la zone d'empilage du chantier située au nord de la grue à tour. Plusieurs piles de panneaux de diverses dimensions sont ainsi entreposées, dont une pile de 4 panneaux de coffrage Maximo 330 cm par 240 cm de Peri. Cette pile est déposée dans le sens de la longueur sur 2 blocs de bois disposées au sol. Les équipements sont ensuite attachés avec 2 courroies métalliques tendues.

Le 7 juillet 2021, M. L, en équipe avec le K poursuit l'empilage des équipements de coffrage désassemblés. Il ajoute 4 panneaux de coffrage Maximo 330 cm par 240 cm sur le dessus de la pile déjà formée en séparant préalablement les piles avec des blocs de bois. Comme la journée est avancée lorsqu'il termine cette pile, il quitte le chantier sans l'attacher avec les courroies métalliques.

Le 8 juillet 2021, M. M, signaleur, commence sa journée de travail comme à l'habitude vers 6 h 30. Il signale au K la montée de matériel au 15^e étage et s'occupe ensuite d'attacher les piles d'équipements de coffrage avec les courroies métalliques dans la zone d'empilage, et ce, afin de préparer leur chargement pour les acheminer à l'entrepôt.

À 9 h 30, les travailleurs prennent une pause. Le signaleur est ensuite assigné au chargement des équipements de coffrage sur le camion semi-remorque à plateau. Ce dernier arrive au chantier vers 9 h 45 et se stationne à proximité du conteneur à déchets et de la zone d'empilage.

À 10 h, l'équipe débute le chargement des étais de coffrage pendant que le N désattèle le tracteur et quitte le chantier.

À 10 h 21, le signaleur élingue les panneaux de coffrage pour procéder à leur chargement sur le camion semi-remorque à plateau. Il a préalablement attaché la deuxième pile de panneaux de coffrage avec des courroies métalliques. Il utilise deux élingues de polyester qu'il installe en panier et attache ces dernières aux quatre chaînes de la grue à tour. Une fois la charge élinguée, il commande une tension au K et vérifie les élingues. Il commande ensuite son levage et son transport. Le K s'exécute à basse vitesse vers le point de dépôt.

À 10 h 24, le signaleur monte sur le plateau du camion semi-remorque alors que le paquet est à environ 7,6 m (25 pi) au-dessus du point de dépôt. Il positionne les blocs de bois au niveau du point de dépôt et se déplace d'environ 3 m (10 pi) vers l'arrière sur le plateau du camion semi-remorque.

Au moment de commander la descente de la charge, l'élingue positionnée au nord glisse vers le centre de la charge. Cette dernière bascule hors des élingues et chute en effectuant une rotation de 180 degrés. La charge percute le plateau du camion semi-remorque alors qu'elle est à l'envers. Les courroies métalliques se brisent sous la force de l'impact. Les deux panneaux de coffrage alors situés sur le dessus de la charge sont éjectés vers l'arrière du camion semi-remorque et happent le

signaleur qui est propulsé dans les airs pour ensuite chuter au sol derrière le camion semi-remorque à plateau.

Les 6 autres panneaux rebondissent sur le camion semi-remorque et finissent leur course au sol sur le côté du camion semi-remorque à plateau.

Les secours sont immédiatement appelés. Le décès du travailleur est constaté sur les lieux.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Informations recueillies sur les lieux

À notre arrivée sur les lieux, nous constatons la présence de six panneaux de coffrage sur un côté du camion semi-remorque à plateau et deux panneaux de coffrage à l'arrière de celui-ci. Les panneaux de coffrage sont disposés selon le croquis suivant :

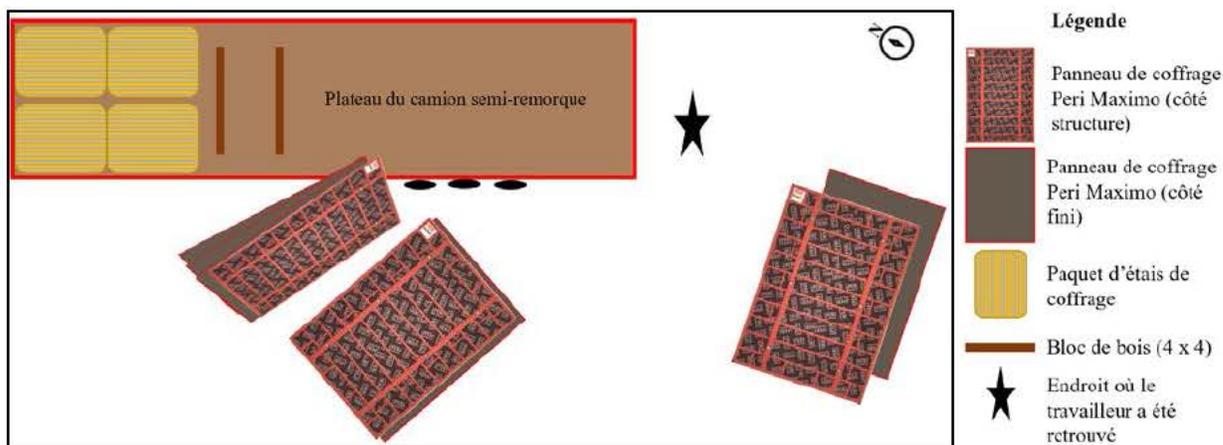


Figure 8 : Croquis représentant la position finale des panneaux de coffrage (non à l'échelle) (Source : CNESST)

La largeur du plateau du camion est d'environ 240 cm.

4.2.2 Informations sur les panneaux de coffrage et la charge

Les panneaux de coffrage manutentionnés sont de marque Peri, modèle Maximo. Leur dimension est de 330 cm par 240 cm. Chaque panneau a une masse uniforme de 408 kg (899,5 lb).

La charge manutentionnée au moment de l'accident est formée de 8 panneaux de coffrage attachés en 2 piles égales de 4 panneaux. Les 2 piles sont séparées par 2 blocs de bois. La masse totale de la charge est d'environ 3275 kg (7218 lb).

Un panneau de coffrage Peri Maximo est composé d'une structure d'acier peinte et d'un panneau de bois (côté fini). La structure d'acier est composée de montants et de traverses espacés.

Afin de préserver l'intégrité du panneau de bois (côté fini) lors de la manutention sur les fourches d'un chariot élévateur, l'empilage est effectué de sorte que le premier élément est placé du côté

de la structure d'acier dirigé vers le sol. Les autres panneaux sont ensuite empilés en sens inverse sur le précédent afin de préserver le panneau de bois (côté fini) des intempéries.



Figure 9 : Photo des 2 panneaux de coffrage éjectés lors de l'accident (Source : CNESST)

Lorsque les piles sont élinguées en panier, les élingues sont appuyées sur le cadrage en acier peint. La surface de contact est lisse et les élingues sont libres de glisser vu l'absence de système de retenue.

4.2.3 Informations provenant de la caméra de surveillance

Une caméra de surveillance ayant capté des images de l'accident nous permet, notamment, de constater la position de la charge et du travailleur avant l'accident. À ce moment, la charge est à environ 7,6 m (25 pi) au-dessus du point de dépôt et le travailleur est à environ 3 m (10 pi) en retrait sur le plateau du camion semi-remorque.

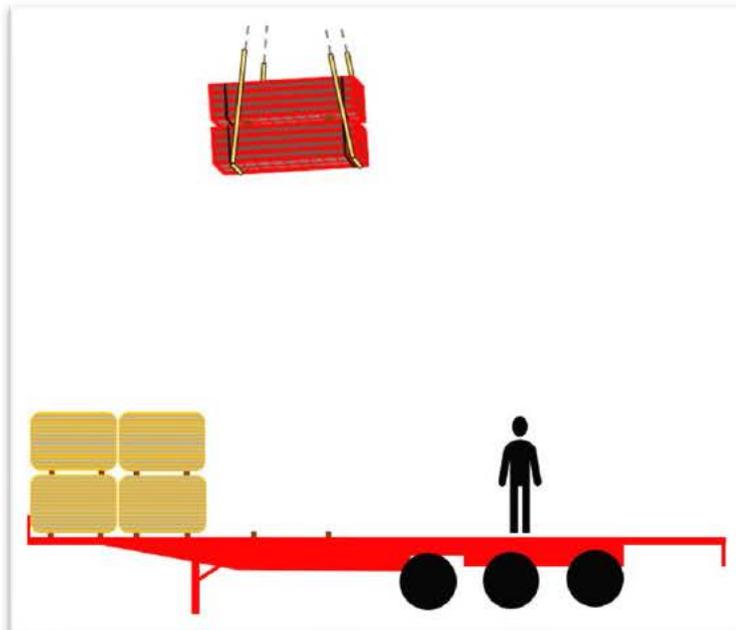


Figure 10 : Croquis de la position approximative de la charge et du travailleur avant l'accident (non à l'échelle) (Source : CNESST)

La charge est attachée en double panier. Le positionnement des élingues est asymétrique sur la charge. De plus, la charge est soulevée avec un angle vers la gauche (nord).

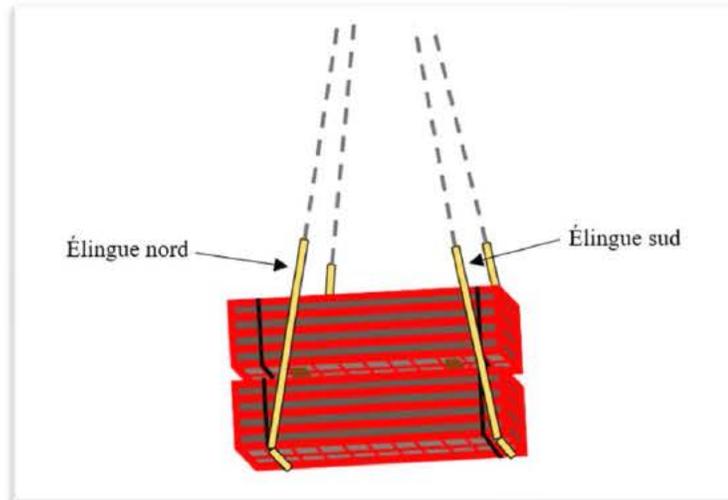


Figure 11 : Croquis représentant approximativement l'élingage de la charge avant l'accident (non à l'échelle)
(Source : CNESST)

Le **K** n'a pas amorcé la descente lorsque l'élingue nord glisse vers le centre de la charge. Le centre de gravité de la charge se retrouve au nord des élingues, provoquant son basculement hors des appuis des élingues.

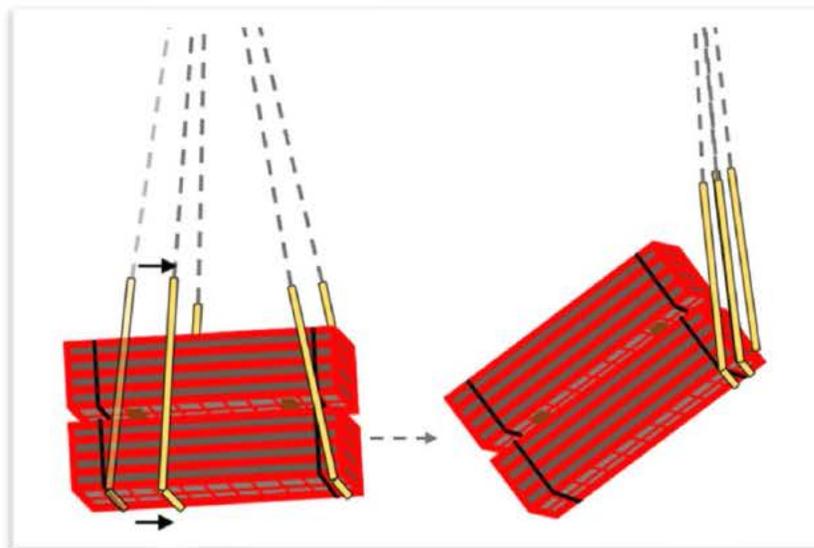


Figure 12 : Représentation du glissement de l'élingue nord vers le centre de la charge et du glissement de la charge hors des élingues (non à l'échelle) (Source : CNESST)

Dans sa chute, la charge effectue une rotation antihoraire de 180 degrés avant de percuter le plateau du camion semi-remorque à la renverse.

4.2.4 Informations sur les élingues

La charge est manutentionnée à l'aide de 2 élingues synthétiques attachées aux 4 chaînes de levage de la grue à tour. Ces chaînes sont d'une longueur de 6,7 m (22 pi).

L'élingue synthétique installée du côté nord de la charge est de marque Oceanside. Il s'agit d'une élingue de polyester, de type 4, d'une largeur de 2 pouces, à 2 plis et d'une longueur originale de 610 cm (20 pi). Sa mesure à la suite de l'accident et au repos est d'environ 594 cm (19.5 pi).

À la suite de cet événement, cette élingue présente des marques de brûlures rouges aux points de glissement de la charge. Les brûlures sont distancées de la largeur approximative des panneaux, en considérant une élongation lors de sa mise sous tension.

Nous constatons que les deux brûlures ne sont pas situées sur la même surface de l'élingue, ce qui nous indique que l'élingue a été installée avec une torsion.



Figure 13 : Photos de trois sections de l'élingue nord de marque Oceanside en simulant la torsion entre les marques de peinture
(Source : CNESST)

L'élingue synthétique installée du côté sud de la charge est identifiée par Coffrages Synergy et a été fournie par PALM. Il s'agit aussi d'une élingue de polyester. Elle est de type 3, d'une largeur de 2 pouces, à 2 plis et d'une longueur originale de 610 cm (20 pi). Sa mesure à la suite de l'accident et au repos est d'environ 584 cm (19.16 pi).

Ces élingues ont été inspectées à notre demande par [REDACTED] de la compagnie Hercules SLR. Une mise sous tension a été effectuée en fonction des données obtenues des images de la caméra de surveillance.

Cette mise sous tension permet de constater une longueur de 612 cm (20 pi) à 10.2 kN pour l'élingue sud. Pour l'élingue nord, cette mise sous tension permet de constater une longueur de 632.5 cm (20.7 pi) à 21 kN. Ces tensions ont été choisies pour permettre un étirement suffisant des élingues sur le banc d'essai.

Nous avons par la suite vérifié les marques de brûlures sur l'élingue nord et nous avons estimé la tension de l'élingue nord à 9.9 kN au moment de l'accident, ceci en comparant avec la fiche des propriétés de l'élingue fournie par le fabricant et la valeur estimée à l'Annexe E.

Une différence de longueur d'environ 15 à 20 cm (6 à 8 po) entre les 2 élingues sous tension est estimée selon l'asymétrie d'élingage exécuté au moment de l'accident.

4.2.5 Informations sur l'organisation du travail et la tâche

Il existe une procédure générale pour le levage de tout type de charge chez Coffrages Synergy (référence : procédure P2-11). On y indique les étapes à respecter avant et pendant le levage, lors du déplacement de la charge et de sa réception. Des principes généraux de sécurité y sont spécifiés

tels que l'inspection de l'appareil de levage et des accessoires, la délimitation d'un périmètre de sécurité et les conditions météorologiques. On y indique, notamment, ceci :

[REDACTED]

La procédure n'est pas spécifique à un type de levage en particulier et n'adresse pas le risque de glissement des élingues synthétiques dans le cas d'une attache en panier.

Le choix de l'équipement de levage est laissé au signaleur en fonction du contexte, de ses compétences et de son expérience. Le signaleur est responsable d'évaluer le poids des charges et de choisir l'équipement de levage approprié en fonction de leur disponibilité au chantier.

De façon générale, les panneaux de coffrage sont livrés sur le chantier empilés dans les angles de levage « stacking devices » fourni par le fabricant Peri.



Figure 14 : Exemple d'un transport de panneaux de coffrage en pile à l'aide des angles de levage à leur arrivée au chantier
(Source : Peri Group, Youtube : [TRAINING | PERI MAXIMO safely transport with stacking pallets \(EN\) - YouTube](#))

Le levage unitaire horizontal de chacun des panneaux de coffrage s'effectue ensuite à l'aide des élingues MX.



Figure 15 : Exemple d'un transport horizontal d'un panneau de coffrage à l'aide des élingues MX (Source : Peri Group, Youtube : [TRAINING | PERI MAXIMO safely transport with stacking pallets \(EN\) - YouTube](#))

L'utilisation recommandée par le fabricant de ces accessoires est détaillée à la section 4.2.6.

À la fin des activités au chantier, les angles de levage ne sont généralement pas utilisés pour entreposer les panneaux de coffrage dans la zone d'empilage du chantier. On effectue cet empilage au sol sur des blocs de bois.

L'utilisation d'élingues de polyester installées en panier fait partie des pratiques courantes lors du chargement des équipements de coffrage en pile à la fin des activités sur les chantiers, bien que les élingues MX puissent être utilisées pour ce type de manutention.

Le jour de l'accident, H [redacted] évalue le temps nécessaire au chargement des équipements de coffrage à environ 3 h. Toutefois, l'équipe responsable de cette tâche peut prendre la journée complète pour s'exécuter puisque le chargement sera transporté seulement le lendemain.

4.2.6 Prescriptions du fabricant de panneaux de coffrage

Le fournisseur Peri prévoit deux types d'accessoire pour le levage en pile des panneaux de coffrage; l'élingue MX et l'angle de levage communément appelé « stacking device ».

L'élingue MX comporte quatre chaînes avec goupilles. Celles-ci s'insèrent dans les orifices prévus à cet effet sur les panneaux de coffrage.

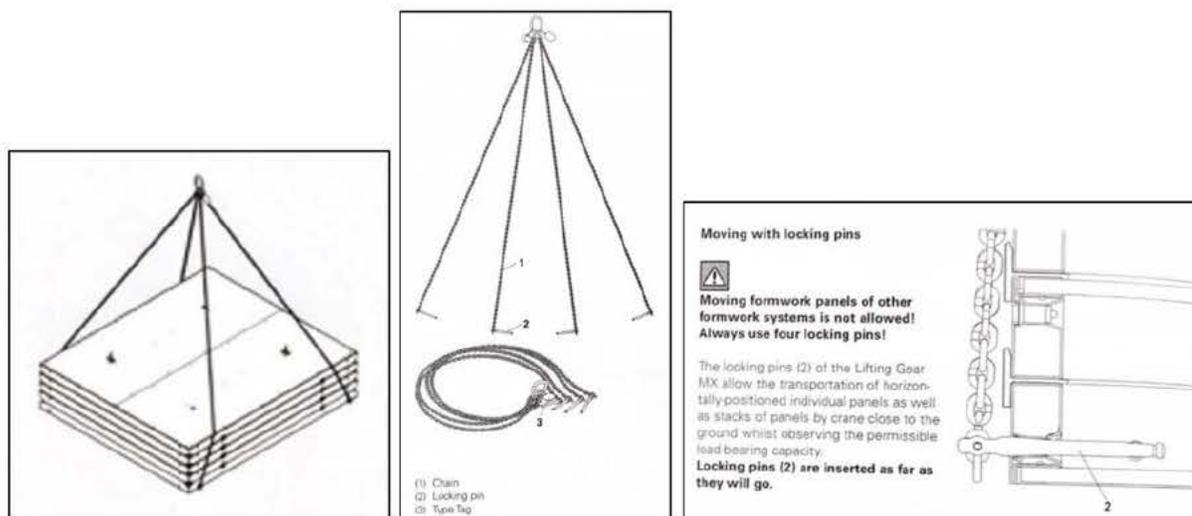


Figure 16 : Illustrations de l'élingue MX (Source : guide Peri Lifting Gear MX Item no. 117322, page couverture, p. 1 et p. 8)

Il est possible de lever horizontalement un panneau à la fois ou une pile d'un maximum de cinq panneaux à l'aide de cet accessoire.

L'angle de levage est, quant à lui, constitué de supports utilisés aux quatre coins des panneaux. Il s'agit d'un accessoire de levage et d'entreposage.

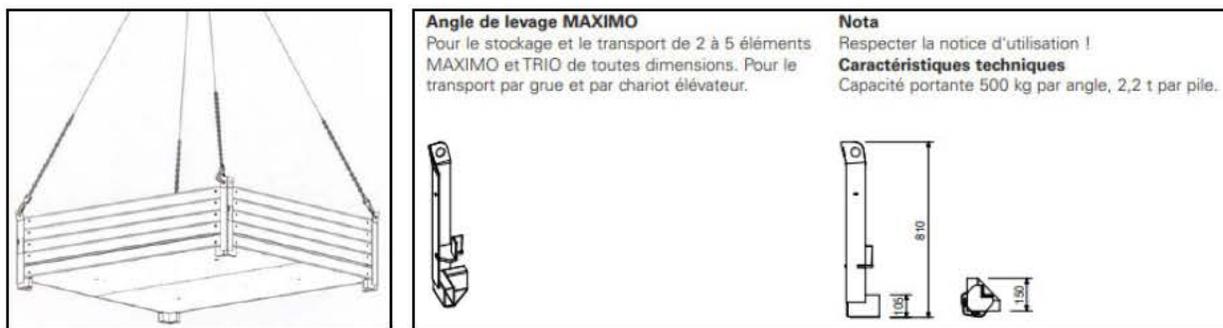


Figure 17 : Illustration d'un levage en pile avec les angles de levage MAXIMO (Source : guide Peri Pallets and Stacking devices, page couverture et guide Peri TRIO le coffrage-cadre éprouvé à pièce d'assemblage unique, p. 62)

Le fournisseur ne recommande aucune autre méthode pour le levage en pile.

D'ailleurs, le guide d'utilisation fourni avec les équipements de coffrage Peri prescrit uniquement l'utilisation des accessoires de levage prévus à cet effet.

Storage and transportation

When storing and transporting components ensure that no unintentional change in their position is possible. Detach lifting accessories and slings from the lowered components only if they are in a stable position and no unintentional change is possible.

Do not drop the components.

Use PERI lifting accessories and slings as well as only those load-bearing points provided on the component.

During the moving procedure

- ensure that components are picked up and set down so that unintentional falling over, falling apart, sliding, falling down or rolling is avoided.
- no persons are allowed to remain under the suspended load.

The access areas on the jobsite must be free of obstacles and tripping hazards as well as being slip-resistant.

For transportation, the surface used must have sufficient load-bearing capacity.

Use original PERI storage and transport systems, e.g. crate pallets, pallets or stacking devices.

Traduction libre

Utilisez uniquement les accessoires de levage et les élingues PERI de même que les points de fixation fournis sur l'élément.

Lors de la manutention :

- Assurez-vous que les éléments sont soulevés et abaissés de manière à éviter les chutes, les effondrements, les glissements et les roulements non intentionnels.
- Aucune personne ne peut se tenir sous une charge suspendue.

Utilisez les systèmes originaux d'entreposage de transport PERI, par exemple: des palettes-caisses, des palettes ou des dispositifs d'empilement.

Figure 18 : Extrait du manuel d'utilisation Peri (Source : Guide Peri, TRIO, Panel Framework, Instructions for Assembly and Use - Standard Configuration, Peri, p. 7)

A1 Storage and transportation PERI

Transport
PERI provides lifting accessories e.g. Lifting Gear Combi MX (11), for ensuring safe transportation.

Risk of slipping!
The panels should not be treated with concrete release agent immediately before transport.

→

- During moving operations, no persons are allowed to remain under the suspended load.
- Ensure transport units are correctly stacked and secured.
- Use PERI lifting accessories and slings.
- Use the designated load-bearing points on the components.
- Store, transport and move components ensuring that no unintentional change in their position is possible.
- Detach lifting accessories and slings from the lowered components only if they are in a stable position and no unintentional change is possible.

Unloading the stacking devices
Unload the stacks using the crane with the help of Lifting Gear Combi (11) or 4-sling lifting gear. (Fig. A1.03)

- Attach load hook (11a) to the load-bearing point (1a) of the stacking device - 4x. (Fig. A1.01 + A1.03)
- Lift the stack with the crane and place on the ground.

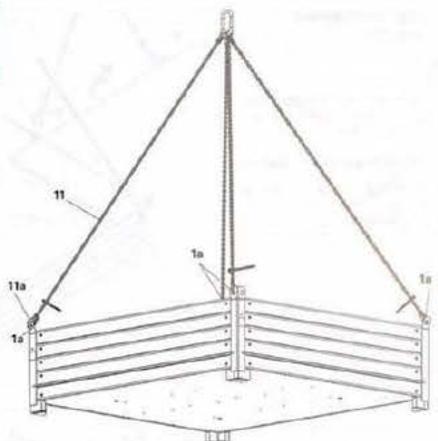


Fig. A1.03

Traduction libre

Manutention
PERI fournit des accessoires de levage, par exemple: l'élingue MX (11), pour assurer une manutention sécuritaire.

Utilisez les accessoires de levage et les élingues PERI.

Figure 19 : Extrait du manuel d'utilisation Peri (Source : Guide Peri, TRIO, Panel Framework, Instructions for Assembly and Use - Standard Configuration, Peri, p. 9 et traduction libre)

Selon les informations obtenues, l'ensemble des employés de Coffrages Synergy a reçu une formation par le fournisseur en 2014.

4.2.7 Informations sur le signaleur

M. ^M a été embauché le [REDACTED] comme [REDACTED]

Sa première présence en chantier et son intégration ont été effectuées le [REDACTED]

Le jour de l'accident, M. ^M [REDACTED] sous la surveillance du ^K [REDACTED] et du ^H [REDACTED]. Il est seul lors des étapes du chargement des équipements de coffrage sur le camion semi-remorque à plateau.

4.2.8 Résultats d'expertise

Une expertise a été réalisée à la demande de la CNESST afin d'établir les facteurs ayant pu contribuer au glissement de l'élingue, d'évaluer la stabilité de la charge en fonction du positionnement des élingues et d'expliquer les mouvements de la charge à la suite du glissement.

Les résultats complets de cette expertise sont disponibles à l'Annexe D.

Cette expertise établit, notamment, que :

- L'asymétrie du positionnement des élingues et la différence de longueur entre celles-ci contribuent de façon superposée à l'inclinaison de la charge par rapport à l'horizontale.
- Lorsque la charge se trouve sur un plan incliné, sa stabilité dépend du coefficient de friction entre les élingues et la surface de contact de la charge transportée.
- Le coefficient de friction statique entre le polyester et l'acier est de 0.2.
- L'angle limite de stabilité pour un coefficient de friction de 0.2 est de 11.3 degrés. Cet angle est calculé selon une droite verticale tracée perpendiculairement à l'arête du bas de la charge.

- L'angle de traction de l'élingue nord par rapport à une droite normale est de 14 degrés.

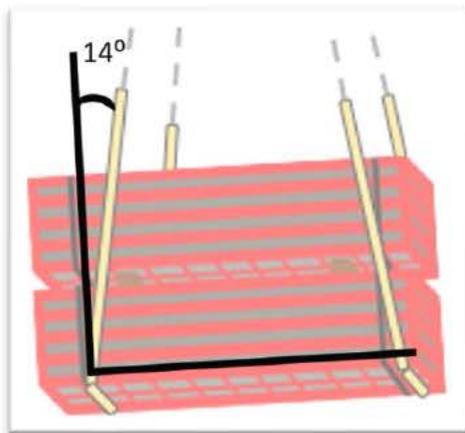


Figure 20 : Représentation de l'angle de traction de l'élingue nord par rapport à une droite normale
(Source : CNESST)

Selon cette expertise, la charge se trouve en situation de stabilité précaire lors de son levage et de son déplacement. On ajoute que :

[...] si une perturbation provoque un certain mouvement entre les surfaces en contact, il est probable que le contact passe alors en mode dynamique, et que la friction soit dynamique et définie par le coefficient de frottement dynamique. Celui-ci est généralement plus faible que le coefficient statique, et l'angle de stabilité s'en trouve réduit.¹

L'expertise conclut ceci :

Les éléments techniques abordés dans cette analyse ont permis d'étudier la stabilité statique d'une charge constituée de 8 panneaux de coffrages solidairement liés et soutenues [sic] par deux élingues dans une configuration dite « en panier ».

Lorsque les élingues sont disposées suivant des plans qui présentent un angle par rapport à la verticale, la stabilité dépend principalement du frottement entre les élingues et la surface de support sous la charge.

Il y a alors possibilité de glissement.

Dans la situation faisant l'objet de cet [sic] étude, l'angle des élingues était supérieur à l'angle de stabilité calculé avec le coefficient de friction.

[...]

¹ RUEL, Jean. *Expertise sur l'élingage de panneaux de coffrage soulevés par une grue à tour, accident survenu le 8 juillet 2021*, professeur titulaire au département de génie mécanique de l'Université Laval, 27 octobre 2021, p. 7

Finalement, des perturbations ont pu contribuer à déstabiliser l'équilibre précaire et initier le glissement de l'élingue, tels qu'un mouvement de la charge ou des forces aérodynamiques instationnaires dues au vent.²

4.2.9 Dispositions législatives et réglementaires

L'article 51 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (RLRQ, chapitre S-2.1) prescrit ce qui suit :

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

[...]

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

[...]

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

[...]

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

[...]

1979, c. 63, a. 51; 1992, c. 21, a. 303; 2001, c. 60, a. 167; 2005, c. 32, a. 308.

Le Code de sécurité pour les travaux de construction (RLRQ, chapitre S-2.1 r.4) précise ce qui suit à l'article 2.15.6 concernant spécifiquement la manutention des charges :

2.15.6. Manutention des charges:

1. Avant de commander le soulèvement d'une charge, le signaleur doit s'assurer que tous les câbles, chaînes, élingues ou autres amarres sont correctement fixés à la charge et que le soulèvement ne présente aucun danger.

[...]

R.R.Q., 1981, c. S-2.1, r. 6, a. 2.15.6; D. 53-90, a. 4; D. 329-94, a. 18; D. 35-2001, a. 8.

² RUEL, Jean. *Expertise sur l'élingage de panneaux de coffrage soulevés par une grue à tour, accident survenu le 8 juillet 2021*, professeur titulaire au département de génie mécanique de l'Université Laval, 27 octobre 2021, p. 15

4.2.10 Dispositions normatives

Le tableau suivant présente des articles de normes spécifiques à l'utilisation d'élingues synthétiques et à l'élingage en panier.

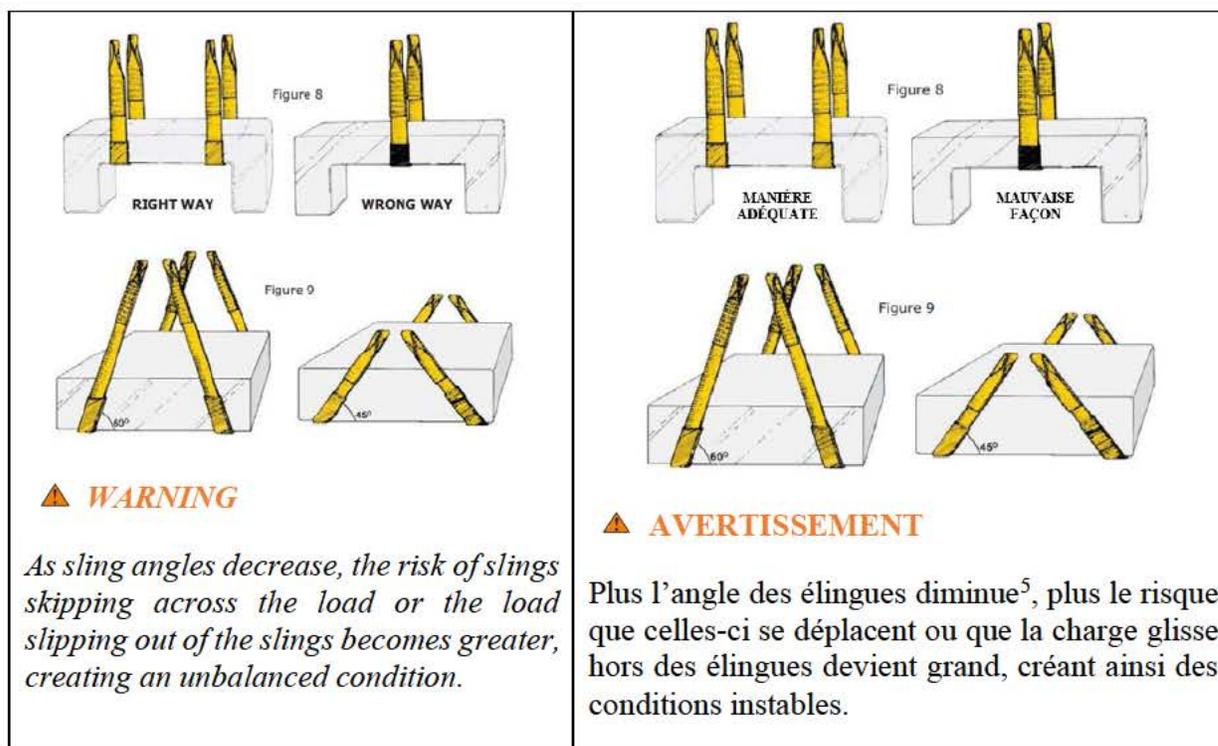
La version originale anglophone est présentée à gauche du tableau et une traduction libre en français est inscrite à droite.

<p><i>ANSI/ASME B30.9-2018: Slings</i></p> <p><i>Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings</i></p> <p><i>Section 9-0.4: Rigger responsibilities</i></p> <p><i>Riggers assigned to a load-handling activity shall, at a minimum, be responsible for</i></p> <p>(...)</p> <p><i>(f) rigging the load in a manner to ensure balance and stability during load-handling activity. (...)</i></p> <p><i>9-5.10.4 Rigging Practices</i></p> <p>(...)</p> <p><i>(j) When using multiple basket or choker hitches, the load should be rigged to prevent the sling from slipping or sliding along the load.</i></p> <p><i>(k) When lifting with a basket hitch, the legs of the sling should contain or support the load from the sides, above the center</i></p>	<p>ANSI/ASME B30.9-2018 : Norme de sécurité pour les systèmes de transport de charges supportés par câbles, les grues, les <i>derricks</i>³, les palans, les crochets, les vérins et les élingues</p> <p>Chapitre spécifique aux élingues</p> <p>Section 9-0.4 : Responsabilités de l'élingueur⁴</p> <p>Les élingueurs assignés à la manutention de charge doivent, au minimum, être responsables de</p> <p>(...)</p> <p>(f) attacher la charge de manière à en assurer l'équilibre et la stabilité durant les activités de manutention. (...)</p> <p>9-5.10.4 Pratiques d'élingage</p> <p>(...)</p> <p>(j) Lors de l'utilisation d'attaches multiples en panier ou en étranglement, la charge doit être élinguée afin de prévenir l'élingue de glisser le long de la charge.</p> <p>(k) Lors du soulèvement avec une attache en panier, les brins de l'élingue devraient contenir ou supporter la charge à partir de ses côtés, au-dessus</p>
--	--

³ La Banque de données terminologiques et linguistiques du gouvernement du Canada indique que : « *Le terme anglais «derrick» est un générique qui recouvre deux catégories d'appareils de levage, appelées respectivement en français «chèvres» et «derricks». (...) Il n'y a donc pas de terme français unique qui corresponde au terme anglais «derrick»* ».

⁴ Le terme *élingueur* englobe toute personne chargée de l'élingage d'une charge sans égard au secteur d'activité. Contrairement au terme *gréeur* qui, en français, désigne une personne du secteur naval uniquement.

<p><i>of gravity, so that the load remains under control.</i></p> <p>(...)</p>	<p>du centre de gravité, de sorte que la charge demeure sous contrôle.</p> <p>(...)</p>
<p><i>STDA-WS-1 (2015): Recommended Standard Specifications for Synthetic Web Slings</i></p> <p><i>4.6.6 Web slings used in a basket hitch shall have the load balanced to prevent slippage and maintain control of the load.</i></p> <p><i>4.6.9 Web slings shall not be twisted, shortened, lengthened, tied into knots or joined by knotting. (...)</i></p>	<p>WSTDA-WS-1 (2015) : Recommandations et spécifications pour les élingues sangles synthétiques</p> <p>4.6.6 Les élingues attachées en panier doivent soutenir une charge équilibrée afin de prévenir les glissements et maintenir un contrôle de la charge.</p> <p>4.6.9 Les élingues ne doivent pas être tordues, raccourcies, allongées, nouées ou jointes avec des nœuds. (...)</p>
<p><i>WSTDA-WS-2 (2018): Recommended operating, care and inspection manual for nylon & polyester synthetic web slings</i></p> <p><u>Sling Selection</u></p> <p><i>Select a sling having suitable characteristics for the type, size and weight of the load, the type of hitch and the environment. The sling must be securely attached to the load and rigged in a manner to provide for load control to prevent slipping, sliding and/or loss of the load. A trained, qualified and knowledgeable user must determine the most appropriate method of rigging to help ensure a safe lift and control of the load.</i></p> <p><i>HITCH: BASKET</i> – <i>Basket hitches, whether single or double, may be used successfully in a variety of applications. However, they have inherent limitations, which Figures 8 and 9 depict.</i></p>	<p>WSTDA-WS-2 (2018) : Recommandations pour la manipulation, manuel d'entretien et d'inspection des élingues sangles synthétiques de nylon & polyester</p> <p><u>Choix de l'élingue</u></p> <p>Le choix de l'élingue doit être effectué selon le type, la dimension et le poids de la charge, le type d'attache et l'environnement. L'élingue doit être attachée sécuritairement à la charge et de manière à en assurer son contrôle et prévenir les glissements et les chutes de charge. Une personne formée, qualifiée et compétente doit déterminer la manière la plus appropriée d'élinguer la charge pour en assurer la manutention sécuritaire et le contrôle.</p> <p>ATTACHE : PANIER – Les attaches en panier, qu'elles soient simples ou doubles, peuvent être efficacement utilisées dans divers contextes. Toutefois, elles présentent des limites intrinsèques représentées aux figures 8 et 9.</p>



4.2.11 Guides des bonnes pratiques

Le guide de sécurité *Gréage et levage*, traduction du guide *Hoisting and rigging : safety manual* de l'Ontario définit l'attache en panier comme suit :

L'attache à panier (fig.14) permet de lever une charge en accrochant l'une des extrémités de l'élingue à un crochet, en faisant passer celle-ci autour de la charge et en accrochant l'autre extrémité au crochet. On doit s'assurer que la charge ne tourne pas sur elle-même ni ne risque de glisser le long de l'élingue au cours du levage, afin de ne pas endommager la charge ou l'élingue.⁶

Concernant l'attache en double panier, on spécifie que :

Si la charge possède des surfaces lisses, les deux brins doivent être bloqués contre une aspérité de la charge afin qu'ils ne glissent pas lorsque la tension est exercée. Si cela est impossible, utiliser alors une attache à panier à enroulement.⁷

En France, l'*Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles* (INRS) a produit un *Mémento de l'élingueur* en août

⁵ Il est à noter que l'angle dont parle cette norme est celui représenté sur la figure 9 comme étant l'angle entre l'élingue et la charge. À ne pas confondre avec l'angle entre une droite normale et l'élingue dont fait référence l'expertise (section 4.2.7 du présent rapport).

⁶ Les publications du Québec. *Gréage et levage : Guide de sécurité*. Décembre 2006, Québec, Canada, p. 52

⁷ Les publications du Québec. *Gréage et levage : Guide de sécurité*. Décembre 2006, Québec, Canada, p. 53

2020. On y indique les bonnes pratiques d'élingage pour éviter les accidents. D'emblée, ce guide spécifie que :

La cause la plus fréquente d'accidents est un décrochage de la charge. Le décrochage provient le plus souvent d'un glissement d'une charge élinguée en panier ou du décrochage des élingues du crochet dont le linguet est défectueux ou absent.⁸

Pour les charges ne possédant pas de point d'accrochage et pour lesquelles on envisage la prise par le dessous, par exemple en panier, ce guide indique de se référer aux prescriptions du fabricant du matériel constituant la charge. On spécifie que le fabricant doit :

- soit fournir l'accessoire de lavage particulier ou l'équipement amovible de prise de charge qui permet la préhension de la charge en toute sécurité,
- soit fournir les instructions définissant l'élingage à utiliser qui détaillent la mise en œuvre.⁹

De son côté, *Les Canaliseurs*, organisation professionnelle membre de la Fédération nationale des travaux publics de France, a produit un guide de prévention spécifique à l'élingage en mars 2020.

Ce guide précise les conditions pour une levée de charge stable. Le placement des points d'accrochage du dispositif d'élingage avant la mise en tension doit respecter les critères suivants :

- 1) Au-dessus du Centre de Gravité (CG);
- 2) Le crochet la verticale du CG;
- 3) Sans risque de glissement.¹⁰

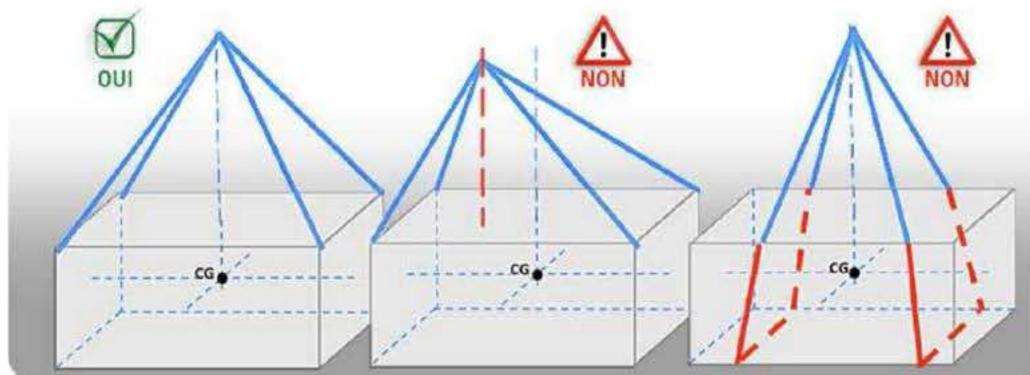


Figure 21 : Représentation d'un élingage adéquat et de deux élingages inadéquats
(Source : *Les Canaliseurs, L'Élingage*, p. 8)

⁸ INRS. *Accessoires de levage, Mémento de l'élingueur*. Août 2020, Paris, France, p. 6

⁹ INRS. *Accessoires de levage, Mémento de l'élingueur*. Août 2020, Paris, France, p. 46

¹⁰ Les Canaliseurs. *L'élingage, Livret prévention*. Mars 2020, Paris, France, p. 7

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 La rotation de la charge lors de sa chute, combinée à l'impact sur le camion semi-remorque à plateau, entraîne la projection de deux panneaux de coffrage en direction du travailleur

Le jour de l'accident, des panneaux de coffrage préalablement empilés doivent être chargés sur un camion semi-remorque à plateau. La charge est transportée à l'aide de deux élingues de polyester positionnées en double panier dans le sens de la longueur.

La largeur du plateau du camion semi-remorque et la largeur des panneaux de coffrage sont toutes deux de 240 cm. Les panneaux de coffrage doivent donc être chargés dans le sens de la largeur. Comme le camion semi-remorque à plateau est stationné dans l'axe nord-sud, la charge est positionnée dans ce même axe pour son chargement.

La charge est transportée au-dessus du point de dépôt et se trouve à une hauteur d'environ 7,6 m (25 pi) au-dessus de celui-ci. Afin d'être en mesure de signaler au **K** les manœuvres à venir, le travailleur monte sur le plateau du camion semi-remorque et se recule à environ 3 m (10 pi) du point de dépôt. À ce moment, il se situe au sud du point de dépôt de la charge.

Au même moment, l'élingue nord glisse vers le centre de la charge. La masse de la charge étant uniforme, son centre de gravité est décentré vers le nord par rapport à la zone d'appui des élingues. La charge bascule ainsi hors des élingues dans un mouvement de rotation vers le nord et percute le plateau du camion semi-remorque après avoir effectué une rotation de 180 degrés.

Les courroies métalliques cèdent sous la force de l'impact. L'énergie du choc est transférée aux deux panneaux situés sur le dessus de la charge. Cette énergie suit la rotation de la charge dans l'axe nord-sud et les panneaux sont projetés vers l'arrière du camion semi-remorque.

Même reculé par rapport au point de dépôt, le travailleur se trouve dans le périmètre de projection et est happé mortellement par les deux panneaux de coffrage ainsi éjectés. Le travailleur ne peut éviter les panneaux considérant la vitesse de projection.

Cette cause est retenue.

4.3.2 Une méthode d'élingage inappropriée et approximative entraîne le glissement d'une des élingues et provoque la chute de la charge

Le risque de glissement des élingues lors de la manutention d'une charge attachée en panier est documenté. Selon l'INRS, il s'agit d'ailleurs de l'une des causes les plus fréquentes d'accidents lors du décrochage d'une charge.

La norme ANSI/ASME B30.9-2018 spécifie les mesures à prendre pour contrôler ce risque. On y indique d'élinguer la charge afin de prévenir l'élingue de glisser le long de celle-ci.

De son côté, la norme WSTDA-WS-2 émet un avertissement concernant les limites intrinsèques des attaches de ce type. En effet, on identifie l'angle de traction des élingues comme étant un facteur de risque de déplacement sur la charge lorsque celles-ci sont disposées en panier. Notons

que les angles présentés à la figure 9 de cette norme sont établis en fonction d'une charge balancée (référence : WSTDA-WS-1).

Le jour de l'accident, la charge n'est pas balancée. En effet, elle est soulevée alors qu'elle présente un angle par rapport à l'horizontale et son centre de gravité est décentré par rapport au crochet de levage. Le poids soutenu par l'élingue nord est plus grand que le poids soutenu par l'élingue sud.

Lorsque la charge se trouve ainsi sur un plan incliné, sa stabilité dépend du coefficient de friction entre les élingues et la surface de contact de la charge transportée. Celui-ci est établi à 0.2 pour le contact entre le polyester et l'acier. L'angle limite (maximal) de stabilité pour un tel coefficient de friction est de 11.3 degrés.

Or, au moment de l'accident, l'angle de traction théorique de l'élingue nord par rapport à une droite normale est évalué à 14 degrés. La charge est donc manutentionnée alors qu'elle se trouve en situation de stabilité précaire.

Tel qu'indiqué dans le rapport d'expertise, l'ajout d'une perturbation telle que le vent, la pluie ou un mouvement de grue peut avoir fait en sorte que le frottement statique passe en mode dynamique avec un coefficient de friction réduit. L'élingue glisse inévitablement sur une surface lisse.

Au moment de l'accident, les élingues sont libres de glisser sur le cadrage d'acier peint des panneaux de coffrage. Aucune butée ni système de retenue ne permet d'empêcher ce glissement, ce qui est d'ailleurs contraire aux recommandations du guide de sécurité *Gréage et levage*.

Il apparaît donc que la manutention des panneaux de coffrage à l'aide d'une attache en double panier est une méthode inadéquate puisque la stabilité de la charge dépend de l'exécution de l'élingage qui le jour de l'accident est effectué avec une asymétrie suffisante pour provoquer une instabilité.

Cette cause est retenue.

4.3.3 La gestion de la manutention des panneaux de coffrage en pile sur le chantier est déficiente

En début de chantier, les panneaux de coffrage sont livrés dans les angles de levage « stacking devices » prévus à cet effet par le fabricant.

À la fin des travaux au chantier, l'empilage de ces panneaux et leur manutention ne sont pas effectués selon une procédure spécifique. Les équipements sont habituellement empilés sur des blocs de bois au sol plutôt que dans les angles de levage. Le choix de la méthode d'élingage est ensuite confié au signaleur qui s'exécute selon le contexte, ses connaissances et les règles générales de sécurité de l'employeur.

Le jour de l'accident, le travailleur affecté à la tâche de signaleur [REDACTÉ] et il est seul pour l'élingage des charges. Il effectue un élingage en double panier pour soulever simultanément deux piles de panneaux de coffrage. Cette méthode d'élingage est une pratique courante acceptée par l'employeur qui n'a pas identifié le risque de glissement des

élingues. Le travailleur s'exécute selon ses compétences et son expérience [REDACTED] Il installe les élingues de façon asymétrique et en torsion.

Cette méthode d'élingage ne fait pas partie des bonnes pratiques affichées dans les guides d'utilisation du fabricant des panneaux de coffrage. Celui-ci fournit des accessoires de levage permettant d'effectuer sécuritairement les manutentions en pile des panneaux de coffrage.

Au moment de l'accident, l'utilisation des élingues MX est possible en transportant une pile à la fois pour respecter la capacité de l'accessoire de levage. Des élingues MX sont d'ailleurs disponibles au chantier, mais leur utilisation n'est pas obligatoire pour le levage en pile.

Des lacunes quant à l'identification du risque de glissement, du contrôle de ce risque par des méthodes établies et éprouvées, de la formation sur les méthodes sécuritaires d'élingage et de la supervision ont contribué aux circonstances de l'accident.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

- La rotation de la charge lors de sa chute, combinée à l'impact sur le camion semi-remorque à plateau, entraîne la projection de deux panneaux de coffrage en direction du travailleur.
- Une méthode d'élingage inappropriée et approximative entraîne le glissement d'une des élingues et provoque la chute de la charge.
- La gestion de la manutention des panneaux de coffrage en pile sur le chantier est déficiente.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le 8 juillet 2021, la CNESST interdit le levage des panneaux de coffrage élingués en panier et interdit l'utilisation de la grue à tour impliquée dans l'accident. Ces interdictions apparaissent au rapport RAP1354011. Une méthode de levage sécuritaire et attestée par une personne compétente ainsi qu'une inspection spéciale de la grue à tour selon les prescriptions de la norme CSA Z248 *Code sur les grues à tour* sont exigées pour permettre la levée des interdictions.

Le 12 juillet 2021, une attestation de conformité signée et scellée par un ingénieur est fournie à la CNESST pour la sécurité de la grue à tour. La CNESST lève la décision d'interdiction d'utilisation de la grue à tour. Cette levée apparaît au rapport RAP1354250.

L'interdiction concernant le levage des panneaux de coffrage élingués en panier est toujours en vigueur.

5.3 Suivi de l'enquête

Afin d'éviter qu'un tel accident se reproduise, la CNESST fera suivre les conclusions de son enquête aux organismes suivants :

- Les Associations sectorielles paritaires (ASP) du Québec;
- Les gestionnaires des Mutuelles de prévention;
- L'Association de la Construction du Québec (ACQ);
- L'Association des entrepreneurs en coffrage structural du Québec (AECSQ);
- L'Association patronale des entreprises en construction du Québec (APECQ);
- L'Association des entrepreneurs en construction du Québec (AECQ);
- L'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ);
- L'Association des constructeurs de routes et de grands travaux du Québec (ACRGTO).

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, dans leurs programmes d'études, les activités de perfectionnements et les formations ayant comme sujet l'élingage et le levage de charges à l'aide de grues.

ANNEXE A**Accidenté**

Nom, prénom : M [REDACTED]
Sexe : [REDACTED]
Âge : [REDACTED]
Fonction habituelle : [REDACTED]
Fonction lors de l'accident : Signaleur de grue
Expérience dans cette fonction : [REDACTED]
Ancienneté chez l'employeur : [REDACTED]
Syndicat : [REDACTED]

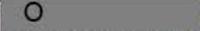
ANNEXE B**Liste des personnes interrogées**

- Monsieur **K** [redacted] – 9090-5092 Québec inc. (Coffrages Synergy)
- Monsieur **J** [redacted] – 9090-5092 Québec inc. (Coffrages Synergy)
- Madame **P** [redacted] – 9090-5092 Québec inc.
(Coffrages Synergy)
- Madame **Q** [redacted] – 9090-5092 Québec inc. (Coffrages Synergy)
- Madame **R** [redacted] – 9090-5092 Québec inc. (Coffrages Synergy)
- Monsieur **H** [redacted] – 9090-5092 Québec inc. (Coffrages Synergy)
- Monsieur **L** [redacted] – 9090-5092 Québec inc. (Coffrages Synergy)
- Monsieur **S** [redacted] – Édyfic inc.
- Madame **T** [redacted] – Édyfic inc.
- Madame **U** [redacted] – Édyfic inc.
- Monsieur **V** [redacted] – SST Consultant
- Madame **W** [redacted] – Location Jesna
- Monsieur **X** [redacted] – Peri
- Monsieur Jean Ruel, ing., Ph.D. professeur titulaire, département de génie mécanique de l'Université Laval
- Monsieur **O** [redacted] – Hercules SLR
- Monsieur **Y** [redacted] – Hercules SLR

ANNEXE C

Rapport d'inspection des élingues

 <b style="font-size: 24px;">HERCULES <small>SLR inc.</small> ARRIMAGE • LEVAGE • GRÉAGE		<b style="font-size: 18px;">RAPPORT D'EXAMEN 131 Rue Barr, Ville Saint Laurent, QC, Canada, H4T 1W6 (514) 735-7504 https://herculeslr.com/	
# Commande/# Travail:	1053400	Date d'examen:	12 octobre 2021
# Rapport:	REPORT-1430285095	Bon de Commande du client:	TBA
Nom et adresse du client		Lieu de l'examen	
CNESST 25 BOULEVARD LA FAYETTE LONGUEUIL, QC J4K 5B7		HERCULES SLR INC 131 RUE BARR SAINT-LAURENT, QC H4T 1W6	
Numéro de série (article):	H1053400-1	ID Équipement client:	09151
La description:	Elingue polyester type 4, 2 plis, largeur 2 pouce, longueur réelle 19 pied 6 pouce. Fabricant : OCEANSIDE EQUIPMENT LTD. Date de fabrication : octobre 2020 numéro de série: 09151 Capacité 6200 Lbs vertical.		
Was a test performed?	Yes	Test device used:	HORIZONTAL TEST BANCH
Proof load test applied:	4730 Pound	Test ratio:	76%
Holes, tears, cuts, or snags			
Commentaires :	PRESENCE DE MARQUES DE BRULURES ROUGES A DEUX ENDROITS.		
RÉSULTAT DE L'EXAMEN			FAIL
Commentaires:			
Cette élingue a été inspecté et testé par O et n'est pas conforme aux normes ASME B30.9. Voir les résultats de l'inspection ci- dessus.			
<p style="text-align: center;">L'article a été examiné de manière approfondie à la date de publication du rapport par une personne compétente. Selon les recommandations du fabricant, les réglementations provinciales et les normes de l'industrie applicables, cet article doit être examiné chaque année par une personne compétente. Il incombe à l'utilisateur final d'inspecter l'article avant chaque utilisation, de garantir une formation adéquate, de démontrer les pratiques sécuritaires et de conserver des archives accessibles tout au long de la vie de l'article.</p>			
Examen effectué par:		Date du prochain examen:	
Name: O	Signature: O		

 HERCULES SLR ARRIMAGE • LEVAGE • GRÉAGE		RAPPORT D'EXAMEN 131 Rue Barr, Ville Saint Laurent, QC, Canada, H4T 1W6 (514) 735-7504 https://herculeslr.com/	
# Commande/# Travail:	1053400	Date d'examen:	12 octobre 2021
# Rapport:	REPORT-53497238	Bon de Commande du client:	TBA
Nom et adresse du client		Lieu de l'examen	
CNESST 25 BOULEVARD LA FAYETTE LONGUEUIL, QC J4K 5B7		HERCULES SLR INC 131 RUE BARR SAINT-LAURENT, QC H4T 1W6	
Numéro de série (article):	H1053400-2	ID Équipement client:	1001152
La description:	Elingue polyester type 3, 2 plis, largeur 2 pouce, longueur 19 pied et 2 pouce Fabricant: PALM Date de fabrication: Octobre 2020 numéro de série: 1001152 Capacité: 6200 Lbs vertical.		
Was a test performed?	Yes	Test device used:	HORIZONTAL TEST BANCH
Proof load test applied:	2310 Pound	Test ratio:	37%
RÉSULTAT DE L'EXAMEN			PASS
Commentaires: Cette élingue a été inspecté par  et est conforme aux normes provinciales et à la norme ASME B30.9 (élingue). Au moment de l'inspection, elle a été jugée conforme à l'usage prévu.			
			
Examen effectué par:		Date du prochain examen:	
Name:	Signature:	12 octobre 2022	
			

ANNEXE D

Rapport d'expertise

Expertise sur l'élingage de panneaux de coffrage soulevés par une grue à tour,
accident survenu le 8 juillet 2021

réalisée pour la
Direction de la prévention-inspection Rive-Sud 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

27 octobre 2021

1

Introduction

Ce rapport est la réalisation d'un mandat qui m'a été confié le 2 août 2021 par la Direction de la prévention-inspection Rive-Sud 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 travailleur agissant comme signaleur a été heurté mortellement lors de la chute de panneaux de coffrage soulevés par une grue et soutenus par des élingues disposées selon une configuration dite « en panier ».

Le mandat est exprimé dans le document intitulé « DEMANDE DE SOUMISSION- Expertise sur l'élingage de panneaux de coffrage soulevés par une grue à tour » produit par la Direction de la prévention-inspection Rive-Sud de la CNESST. D'autres informations, ainsi que des documents techniques et visuels, m'ont également été fournis pour réaliser l'expertise.

Le mandat d'expertise comportait les trois éléments suivants :

- 1) Établissement des différents facteurs ayant pu contribuer au glissement de l'élingue;
- 2) Évaluation de la stabilité de la charge en fonction du positionnement des élingues (angle critique des élingues ayant mené à la perte de la charge);
- 3) Explication des mouvements de la charge à la suite du glissement de l'élingue.

Le présent rapport répond aux points énumérés ci-dessus.

Analyse technique

L'analyse technique s'est appuyée sur des données dimensionnelles et des informations techniques qui m'ont été fournies par la CNESST, dont notamment des informations concernant la charge, les équipements et les conditions environnementales qui prévalaient au moment de l'accident.

La charge soulevée lors de l'accident était constituée de deux ensembles de 4 panneaux de coffrage de 3.3 m X 2.4 m X 0.12 m empilés et liés par des courroies de métal. Ces deux ensembles étaient séparés par des poutres de bois de 4 po X 4 po (0.102 m X 0.102 m), et les deux ensembles étaient liés par des courroies de métal également. Tous ces éléments sont considérés comme étant solidairement liés et sont désignés dans ce document comme étant « la charge ». La charge présentait une hauteur totale de 8 panneaux * 0.12 m + 0.102 m = 1.062 m. La masse de la charge était $m = 8 \text{ panneaux} * 408 \text{ kg} = 3264 \text{ kg}$.

Analyse des angles à partir des informations fournies

Utilisant une représentation graphique réalisée à partir d'images disponibles (figure 1 ci-dessous), il a été possible d'étudier la géométrie, notamment les angles des différents éléments impliqués dans l'accident.

Sur cette figure, le point A constitue le point de levage où étaient attachées les deux élingues soutenant la charge. Les élingues sont représentées par les lignes tracées en vert et qui convergent au sommet vers le point A.

Une autre droite, identifiée par la lettre B, a été tracée en bleu sur l'arête du bas de la charge. Les informations fournies ont permis d'évaluer que cette droite B pouvait présenter au moment de l'accident une certaine inclinaison par rapport à l'horizontale, suivant angle dont la valeur probable était de l'ordre de 6 degrés sous l'horizontale. En fonction de cet angle, des droites ont été tracées en rouge sur la figure 1 pour indiquer la direction verticale.

L'observation de la figure 1 permet de constater que la position des élingues sur l'arête inférieure de la charge (droite B) n'est pas similaire du côté gauche et du côté droit. L'étude des informations disponibles a permis d'évaluer que l'élingue de gauche se situait à 0.713 m de l'extrémité gauche tandis que celle de droite se situait à 0.089 m.

Sur la figure 1, des droites perpendiculaires à l'arête inférieure de la charge ont été tracées, en bleu, à partir de la base de chaque élingue.

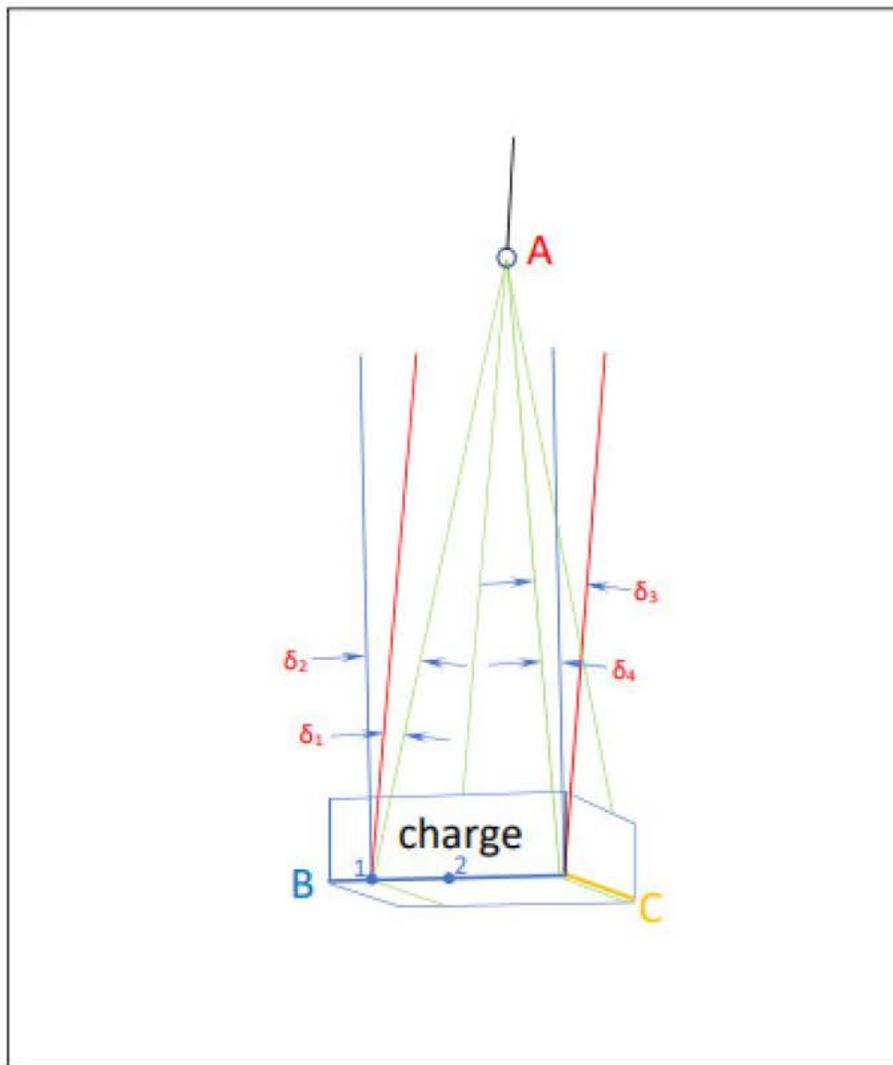


Figure 1. Schématisation de la charge et des élingues réalisées avec les informations disponibles.

Les angles suivants identifiés sur la figure 1 ont été mesurés :

- L'angle δ_1 est l'angle entre la direction verticale et l'élingue de gauche, dans l'orientation présentée sur la figure 1. Cet angle est $\delta_1 = 7$ degrés;
- L'angle δ_2 est l'angle entre une droite perpendiculaire à la surface du bas de la charge et l'élingue de gauche, dans l'orientation de la vue présentée sur la figure 1. Cet angle est $\delta_2 = 13$ degrés;
- L'angle δ_3 est l'angle entre la direction verticale et l'élingue de droite, dans l'orientation de la vue présentée sur la figure 1. Cet angle est $\delta_3 = 10$ degrés;
- L'angle δ_4 est l'angle entre une droite perpendiculaire à l'arête du bas de la charge et l'élingue de droite, dans l'orientation de la vue présentée sur la figure 1. Cet angle est $\delta_4 = 4$ degrés.

L'élingue de gauche est celle qui présente l'angle le plus prononcé par rapport à une droite normale à la surface inférieure de la charge ($\delta_2 = 13$ degrés), c'est donc celle qui risque de glisser en premier en ce qui concerne l'angle d'application de la force de soutien. Cet aspect sera analysé plus loin.

Effet de la rotation de la charge par rapport à un axe vertical sur la valeur des angles mesurés

Il est possible d'observer sur la schématisation de la figure 1 que la charge possède un certain angle de rotation par rapport à un axe vertical aligné avec le point de convergence des élingues, c'est-à-dire le point A. Cet angle a un effet sur la valeur des angles δ_1 , δ_2 , δ_3 et δ_4 tel qu'ils peuvent être mesurés sur la figure 1.

Afin de déterminer l'angle de rotation θ dans le sens horaire de la charge rapport à l'axe vertical, et sachant que les dimensions réelles de la longueur et de la profondeur de la charge sont 3.3 m et 2.4 m, la relation suivante lie les valeurs mesurées L_1 et L_2 des segments B et C de la figure 1 :

$$\frac{L_2}{L_1} \cong \frac{2.4 \text{ m} * \sin \theta}{3.3 \text{ m} * \cos \theta}$$

La solution de cette équation a pour résultat une rotation d'un angle de 22 degrés dans le sens horaire.

Ceci a comme effet que la longueur mesurée entre les points 1 et 2 ($L_{1,2}$) de la figure 1 est réduite d'un facteur équivalent au cosinus de 22 degrés, soit un facteur 0.9272 .

Considérant que la distance verticale entre le point 2 et le point A ($L_{2,A}$) demeure inchangée par cette rotation de 22 degrés, une estimation de l'angle réel δR_1 peut être obtenue par la relation suivante :

$$\delta R_1 = \arctan \frac{(L_{1-2})/\cos(22^\circ)}{L_{2-A}}$$

Ceci permet de calculer $\delta R_1 = 8$ degrés. Cet angle est l'angle probable entre l'élingue gauche et une droite verticale au moment de l'accident. Si l'on ajoute à cet angle la valeur de l'inclinaison de la charge par rapport à l'horizontale, on obtient une valeur de $8 + 6 = 14$ degrés pour l'angle entre l'élingue de gauche et une droite normale à la surface inférieure de la charge, que l'on peut nommer δR_2 .

Coefficient de friction et angle stabilité

Effet de l'angle sur la stabilité

La stabilité statique d'une pièce sur un plan incliné dépend du coefficient de friction statique μ_s entre les matériaux constituant la pièce et le plan incliné. Pour une inclinaison du plan d'un angle λ par rapport à l'horizontale, la relation entre le coefficient de friction statique μ_s et l'angle limite de stabilité λ_{limite} est [1] :

$$\mu_s = \tan \lambda_{limite}$$

Au-delà de cette valeur d'angle limite, il y aura glissement. La transposition de ce principe au cas des élingues disposées à un certain angle par rapport à la surface d'appui inférieure d'une charge est directe. Les angles δ_2 et δ_4 de la figure 1 sont mesurés par rapport à une droite normale à la surface inférieure de la charge. Pour un angle de 90 degrés entre l'élingue et la surface d'appui où elle exerce le support, c'est-à-dire $\delta = 0$, la stabilité est assurée puisque la friction n'intervient pas en théorie. Plus l'angle est prononcé entre l'élingue et la surface inférieure de la charge, plus le frottement intervient dans l'équilibre et il y a risque de glissement. Le côté gauche est celui qui présente l'angle le plus important, et cet angle a été évalué à $\delta R_2 = 14$ degrés.

Le coefficient de friction statique qui est théoriquement requis pour assurer le non-glissement pour un tel angle de 14 degrés est

$$\mu_s = \tan \lambda_{\text{limite}} = \tan 14^\circ = 0.25$$

Coefficient de friction des matériaux impliqués lors de l'accident

Le matériau constituant les élingues est le polyester (inscription sur les étiquettes des élingues), et le matériau constituant la surface d'appui du dessous de la charge est l'acier peint.

Le principal constituant du polyester est le polyéthylène, et le nom complet de la forme la plus courante du polyester est le polyéthylène terephthalate. L'abréviation courante est PET.

Plusieurs références rapportent des coefficients de friction entre le polyester ou le polyéthylène et l'acier.

La référence [2] rapporte un coefficient de friction statique de 0.2 entre le polyéthylène et l'acier.

La référence [3] rapporte des coefficients de friction dynamiques compris entre 0.06 et 0.08 entre le polyester et l'acier.

La référence [4] rapporte des coefficients de friction dynamiques compris entre 0.1 et 0.13 entre le polyester et l'acier.

Considérant les valeurs limites exprimées dans ces différentes références, soit un coefficient de friction allant de 0.06 à 0.2, on obtient une plage pour l'angle critique de stabilité variant de 3.4 à 11.3 degrés. Par contre, les valeurs inférieures de cette plage s'appliquent au cas d'un frottement dynamique.

L'angle $\delta R_2 = 14$ degrés évalué à partir des informations disponibles excède la plage théorique des angles de stabilité calculés à partir des valeurs indiquées dans les références citées pour le coefficient de friction entre le polyéthylène/polyester et l'acier.

Par ailleurs, il m'a été rapporté que les panneaux de coffrage pouvaient avoir été légèrement mouillés par de l'eau de pluie ainsi que par des résidus d'huile de coffrage. L'expérience a démontré que pour des contacts entre les métaux, particulièrement deux métaux de même nature, la lubrification a généralement pour effet de diminuer le coefficient de friction. Or, en observant certaines données fournies par la référence [2], on remarque que dans le cas du contact entre certains polymères (polyéthylène et polystyrène) et l'acier, la présence de lubrifiant et de

graisse n'a pas d'effet. Par contre, l'eau est un lubrifiant qui diminue drastiquement le coefficient de frottement de certaines surfaces qui à sec offrent une très bonne adhérence, par exemple une semelle de caoutchouc présentera des niveaux d'adhérence extrêmement différents sur une surface sèche ou mouillée.

La peinture sur l'acier a aussi un effet sur le coefficient de frottement et sur la différence entre une surface sèche et mouillée. Une surface peinte devient généralement plus glissante en présence d'eau ou d'un autre lubrifiant.

La présente analyse est faite en considérant un équilibre statique et un coefficient de friction statique. La valeur limite calculée $\mu_s = 0.25$ pour un angle de 14 degrés, ainsi que la valeur du coefficient statique rapporté par la référence [2] de $\mu_s = 0.2$ sont donc celles qu'il faut garder à l'esprit. Par contre, si une perturbation provoque un certain mouvement entre les surfaces en contact, il est probable que le contact passe alors en mode dynamique, et que la friction soit dynamique et définie par le coefficient de frottement dynamique. Celui-ci est généralement plus faible que le coefficient statique, et l'angle de stabilité s'en trouve réduit. Les références [1] et [2] rapportent des réductions du coefficient de friction pouvant atteindre jusqu'à 50% par rapport au coefficient de frottement statique. Les valeurs déjà citées des références [3] et [4] indiquent que les coefficients de friction dynamiques entre le polyester et l'acier sont réduits par rapport aux valeurs statiques, ce qui implique que les angles de stabilité en frottement dynamique sont petits si on les compare à ceux observés lors de l'accident.

Selon toutes ces considérations, les angles observés lors de l'accident sont du même ordre que les angles critiques de frottement entre les matériaux impliqués, et des facteurs complémentaires tels que la présence d'eau, de lubrifiant ou de perturbations ont pu contribuer à diminuer la stabilité.

Effet de la position de l'élingue de gauche et de la différence de longueur des élingues sur la stabilité de la charge

Tel que mentionné précédemment, les renseignements disponibles concernant l'accident indiquent que la position des élingues sur l'arête inférieure de la charge (droite B de la figure 1) n'est pas similaire du côté gauche et du côté droit. La mesure de ces positions relativement à la longueur de la charge a permis de constater que l'élingue de gauche se situait à 0.713 m de l'extrémité gauche tandis que celle de droite se situait à 0.089 m de l'extrémité droite. La longueur de la charge est de 3.3 m et sa demi-longueur est de 1.65 m. Cette asymétrie dans le positionnement a un effet sur l'angle de soutien de la charge par rapport à l'horizontale : le côté gauche s'en trouve légèrement plus bas. Également, il m'a été rapporté que les élingues de gauche et de droite présentaient une différence de longueur, celle de gauche étant la plus longue. Cette différence était mesurable, même sans aucun chargement. Des essais expérimentaux en charge ont été réalisés avec les deux élingues par une firme externe, à la demande et sous la supervision de la CNESST. Suite à ces essais, il m'a été rapporté que sous des conditions de chargement similaires à celles qui prévalaient lors de l'accident, une différence de longueur de 20 cm entre les deux élingues avait été mesurée, celle de droite étant la plus courte. Une telle asymétrie dans la longueur des élingues a aussi un effet sur l'angle de soutien de la charge : le côté gauche s'en trouve légèrement plus bas de ce fait également. Ces deux effets (position de soutien et différence de longueur des élingues) s'additionnent donc pour entraîner un abaissement du côté gauche de la charge par rapport à son côté droit.

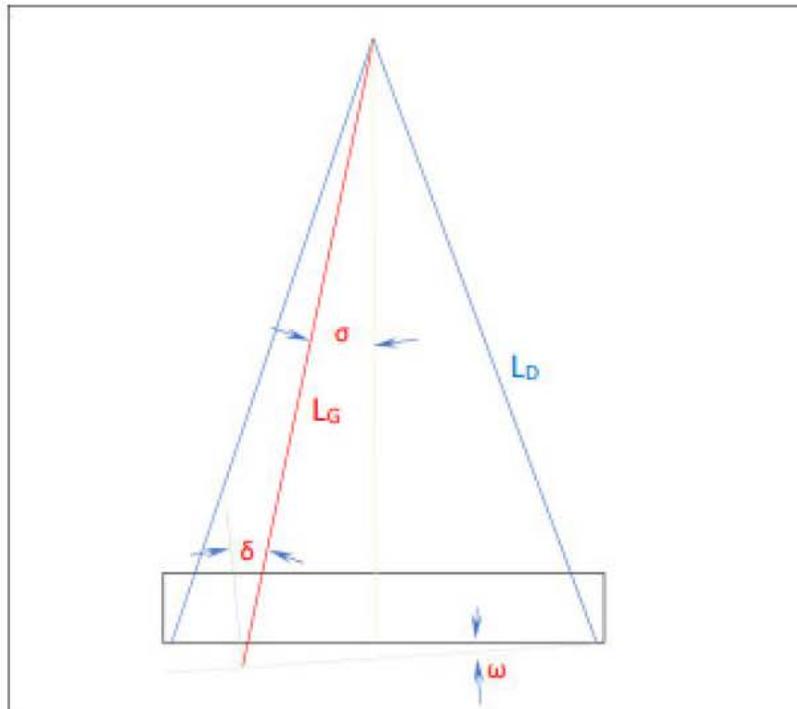


Figure 2

Si les deux élingues avaient été positionnées de façon symétrique, et qu'elles avaient présenté des longueurs identiques, la charge aurait été horizontale, tel que représenté sur la figure 2 par les deux droites en bleu soutenant une charge horizontale. L'élingue de droite était à une distance de 0.089 m de l'extrémité droite, donc à une distance de $1.65 - 0.089 = 1.561$ m du centre de la charge.

L'évaluation de la distance L_{2-A} de la figure 1, et l'application d'un facteur d'échelle approprié à partir d'une dimension connue (c'est-à-dire la longueur de la charge corrigée du facteur pour la rotation de 22 degrés), nous permet d'approximer la valeur réelle de la distance L_{2-A} , c'est-à-dire $L_{2-A} = 7.26$ m. Ceci correspond à la longueur de la ligne jaune sur la figure 2.

La longueur L_D de la chaîne et d'un brin de l'élingue de droite peut être calculée par l'équation :

$$(L_D)^2 = (7.26 \text{ m})^2 + (1.561 \text{ m})^2$$

C'est-à-dire que $L_D = 7.43$ m

Tel que mentionné précédemment, les longueurs des élingues impliquées dans l'accident ont été mesurées sous charges, et il a été constaté que l'élingue située à droite était plus courte que celle située à gauche, et ce d'une valeur de 20 cm.

La longueur de la chaîne et d'un brin de l'élingue de gauche au moment de l'accident L_G peut donc être considérée pour la présente analyse comme étant $7.43 \text{ m} + 0.10 \text{ m} = 7.53$ m.

Les étiquettes d'identification des élingues indiquent une longueur de 20 pieds, c'est-à-dire 6.1 m. De cette longueur, 2.4 m sont situés sous la charge, il reste donc 1.85 m de chaque côté. Les plaques d'identification des chaînes indiquent une longueur de 22 pieds, c'est-à-dire 6.7 m. En additionnant ces deux longueurs (1.85 m + 6.7 m), on obtient une longueur totale de 8.55 m. Cette longueur diffère significativement des valeurs calculées ci-dessus à partir des informations géométriques disponibles. Cette différence est principalement attribuable à l'incertitude des informations visuelles disponibles pour évaluer les angles des élingues par rapport à la charge. En complément, il est important de mentionner qu'il m'a été rapporté que les chaînes n'avaient pas été mesurées mais qu'elles étaient de longueurs identiques, une photo appuyant ce fait. Il est donc également possible que la longueur effective des chaînes ait été différente de celle indiquée sur la plaque signalétique (bien que ceci me semble peu probable), ou encore que cette longueur indiquée comprenait aussi d'autres éléments de fixation.

La droite tracée en rouge sur la figure 2 illustre une position de la chaîne et de l'élingue de gauche similaire à la situation lors de l'accident, avec une élingue de gauche légèrement plus longue que celle de droite et une position de soutien de la charge se trouvant plus près du centre de la charge.

Si l'on considère seulement l'effet de la position de l'élingue de gauche et que l'on exclue la différence de longueur des élingues, il est possible d'exprimer l'angle ω de la charge par rapport à une droite horizontale en fonction de l'angle σ entre le brin d'élingue et de chaîne de gauche et la verticale (les angles ω et σ sont identifiés sur la figure 2) :

$$\omega = \arctan (7.43 \text{ m} \times \cos \sigma - 7.26 \text{ m}) / (7.43 \text{ m} \times \sin \sigma + 1.561 \text{ m})$$

tandis que cette même équation devient la suivante si l'on tient compte de la différence de longueur entre les élingues :

$$\omega = \arctan (7.53 \text{ m} \times \cos \sigma - 7.26 \text{ m}) / (7.53 \text{ m} \times \sin \sigma + 1.561 \text{ m})$$

Le graphique de la figure 3 présente l'angle ω de la charge par rapport à l'horizontale en fonction de l'angle σ entre le brin d'élingue et de chaîne de gauche et la verticale, ce dernier étant une indication du rapprochement du point de support vers le centre de la charge. Une valeur de 0 degré de l'angle σ représente une situation où l'élingue de gauche serait positionnée verticalement, directement sous l'anneau de levage et au centre de la charge. La plus grande valeur possible pour l'angle σ est lorsque l'élingue est au bout de la charge, soit à 1.65 m du centre, et cet angle est de 12.8 degrés.

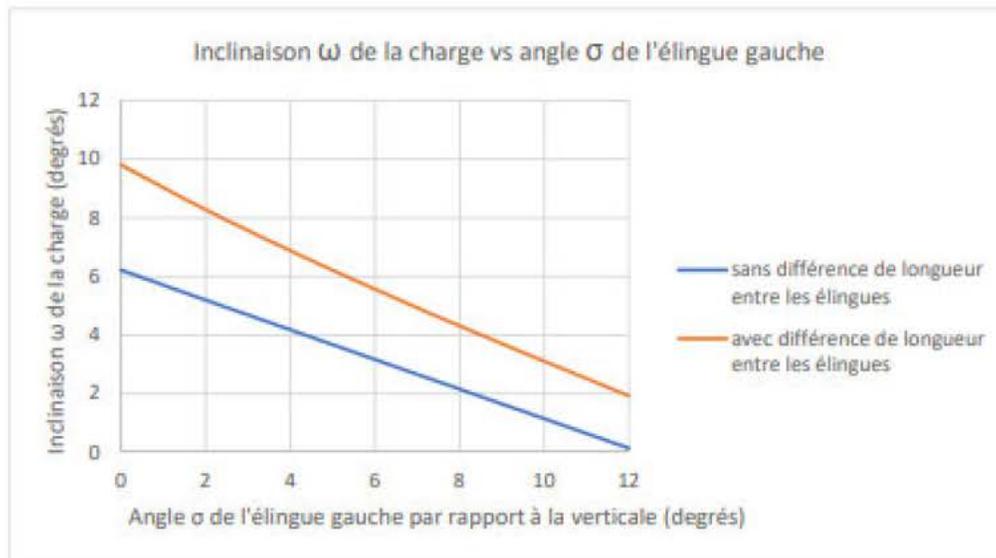


Figure 3

La position de l'élingue de droite (à 0.089 m de l'extrémité droite) correspond à un angle σ de 12.1 degrés tandis que la position de l'élingue de gauche (à 0.713 m de l'extrémité gauche) correspond à un angle σ de 7.4 degrés (cette valeur calculée est cohérente avec la valeur évaluée $\delta R_1 = 8$ degrés). La courbe bleue est calculée sans considérer la différence de longueur entre les deux élingues, tandis que la courbe orange inclut l'effet de la différence de longueur.

En observant la courbe bleue, on peut d'abord constater l'effet du positionnement asymétrique des deux élingues : si l'élingue de gauche était positionnée de la même manière que celle de droite (c'est-à-dire un angle avec la verticale de 12.1 degrés), l'inclinaison ω de la charge par rapport à l'horizontale serait nulle. Puisque lors de l'accident l'élingue de gauche était située à 0.713 m de l'extrémité gauche, son angle par rapport à la verticale était de $\sigma = 7.4$ degrés, et l'inclinaison ω calculée attribuable à cette erreur de positionnement est de 2.5 degrés.

Si l'on ajoute à cela l'inclinaison causée par la différence de longueur des élingues (courbe orange), l'inclinaison calculée par rapport à l'horizontale, avec l'élingue de gauche positionnée à 0.713 m de l'extrémité et la différence de longueur, est de $\omega = 4.7$ degrés.

On peut donc constater que le fait de positionner les élingues de façon asymétrique, ainsi que la différence de longueur entre les deux élingues, contribuent de façon superposée à l'inclinaison de la charge par rapport à l'horizontale. On peut constater également que la valeur calculée ($\omega = 4.7$ degrés) est inférieure à la valeur de 6 degrés évaluée avec les informations visuelles disponibles, mais elle est néanmoins du même ordre de grandeur.

Considérons maintenant l'angle entre la direction de traction de l'élingue gauche et une droite normale à la surface inférieure de la charge, puisqu'il s'agit du critère qui détermine la stabilité ou le glissement de l'élingue sur la surface. Cet angle est identifié par le symbole δ sur la figure 2. Rappelons ici qu'un angle de 0 degré représente une traction perpendiculaire à la surface, ce qui constitue la position la plus stable. Le graphique de la figure 4 présente cet angle δ , qui correspond à la somme des angles ω et σ (c'est-à-dire $\delta = \omega + \sigma$) en fonction de l'angle σ de l'élingue par

rapport à la verticale. Rappelons également que l'angle σ est une indication du rapprochement du point de support vers le point central de la charge ($\sigma = 0$ degré représente une situation où l'élingue de gauche serait positionnée verticalement et la plus grande valeur possible de l'angle σ est lorsque l'élingue est au bout de la charge).

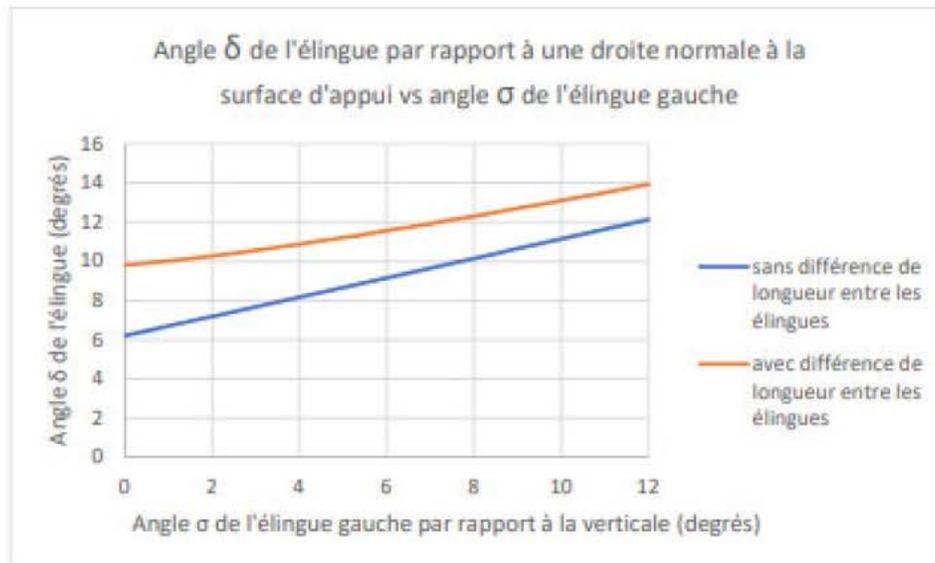


Figure 4

La courbe bleue exclut la différence de longueur des deux élingues, tandis que la courbe orange en tient compte.

On peut constater que plus l'élingue de gauche est dans une position éloignée du centre de la charge et rapprochée de son extrémité, plus l'angle δ augmente, ce qui est géométriquement attendu du fait de l'éloignement du point de soutien, et ceci malgré le fait que l'inclinaison de la charge se trouve diminuée par un point d'attache éloigné. Pour un point de soutien au centre de la charge, c'est-à-dire à $\sigma = 0$ degré, l'angle résiduel entre l'élingue et la surface est dû uniquement à l'inclinaison de la charge.

Ces deux effets sont opposés, mais la somme de ces deux effets a comme résultat que l'angle entre l'élingue de gauche et la normale à la surface de soutien sous la charge augmente avec l'éloignement du point de soutien. En ce qui concerne l'effet de la différence de longueur entre les élingues, il accentue l'inclinaison pour toutes les positions de soutien, ce qui augmente l'angle entre l'élingue de gauche et la normale à la surface de soutien sous la charge.

Puisque lors de l'accident l'élingue de gauche était située à 0.713 m de l'extrémité gauche, son angle par rapport à la verticale était de $\sigma = 7.4$ degrés, et si l'on ajoute à cet angle l'inclinaison $\omega = 4.7$ degrés sous l'horizontale, l'angle correspondant (incluant la différence de longueur des élingues) est de $\delta = 12.1$ degrés. Cette valeur calculée géométriquement est inférieure à la valeur mesurée à partir des informations visuelles disponibles, soit $\delta_{R_2} = 14$ degrés, mais elle est néanmoins du même ordre de grandeur.

Du côté droit, l'effet du positionnement asymétrique et de la différence de longueur entre les élingues est différent. Tout ce qui contribue à incliner la charge de droite à gauche a comme effet de réduire l'angle entre l'élingue de droite et la normale à la surface de soutien sous la charge, ce qui fait que le glissement est moins probable du côté droit. C'est pour cette raison que le mouvement s'est produit pour l'élingue située du côté gauche.

À droite, la position normale si les élingues avaient été de la même longueur et positionnées de façon symétrique, aurait été un angle σ de 12.1 degrés. Le positionnement et la différence de longueur de l'élingue gauche produisent une inclinaison de $\omega = 4.6$ degrés, ce qui a pour effet que l'angle δ à droite était de $12.1 - 4.6 = 7.5$ degrés. L'angle plus prononcé entre l'élingue et la normale à gauche explique pour quoi l'élingue de gauche est celle qui a subi un glissement.

Évaluation des forces dynamiques sur la charge

Une possibilité quant à la cause de l'amorce du mouvement de l'élingue de gauche par rapport à la charge est qu'il y a peut-être eu une ou des forces externes dynamiques causant une perturbation de l'équilibre.

Sur la vidéo de surveillance, on peut observer que dans les instants qui précèdent la chute de la charge, celle-ci se déplaçait vers la gauche, puis vers la droite, avec de légers mouvements. Ceci a pu causer des forces transitoires exerçant un certain effet sur le lien par friction qui existait entre les élingues et le dessous de la charge.

Par ailleurs, il est possible qu'il y ait eu des forces aérodynamiques produites par le vent. Celles-ci sont difficiles à évaluer, principalement à cause du fait que la vitesse et la direction du vent varient dans le temps et que ces variations, si elles étaient présentes, ne sont pas indiquées dans les données disponibles, qui comportent une seule série de données pour chaque heure de la journée.

Les données météorologiques le jour de l'accident indiquent à 10h une température de 12.2 degrés Celcius et un vent de 22 km/h orienté à 50 degrés par rapport au nord. À partir de ces données et des autres informations qui m'ont été fournies, il a été possible d'évaluer que la direction du vent était potentiellement à un angle de 28 degrés par rapport à la charge, c'est-à-dire aligné davantage dans une direction perpendiculaire au grand côté de la charge que vers son petit côté, la normale du petit côté étant dans la direction du mouvement des élingues par rapport à la charge, et de la charge par rapport aux élingues, lors de l'accident.

La viscosité cinématique de l'air à pression atmosphérique et à une température de 12 degrés Celcius est $\nu = 1.43 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et sa densité est de $\rho = 1.23 \text{ kg}/\text{m}^3$, référence [5].

La vitesse U était de $22 \text{ km}/\text{h} = 6.11 \text{ m}/\text{s}$.

Les dimensions de la charge étaient de $3.3 \times 2.4 \times 1.062 \text{ m}$.

Le calcul du nombre de Reynolds avec la dimension caractéristique minimale de la charge (1.062 m) nous permet de vérifier que l'écoulement est en régime turbulent :

$$Re = UD/\nu = (6.11 \text{ m}/\text{s}) \cdot (1.062 \text{ m}) / (1.43 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}) = 454\,000$$

L'équation suivante établit la relation entre le coefficient de traînée C_D et la traînée D d'un corps dans un écoulement turbulent présentant une vitesse U [5] :

$$C_D = \frac{D}{0.5 \rho U^2 S}$$

où ρ est la densité de l'air (1.23 kg/m^3) et S est la surface frontale dans la direction de l'écoulement ($2.4 \text{ m} \times 1.062 \text{ m} = 2.55 \text{ m}^2$).

Le coefficient de traînée d'un corps rectangulaire est de l'ordre de $C_D = 2$, référence [5], de sorte que la force de traînée à cette vitesse est de l'ordre de $D = 117 \text{ N}$ (environ 12 kg).

La masse des 8 panneaux constituant la charge est de 3264 kg.

Afin de comparer la force de traînée à la force de frottement des élingues, il sera considéré que la masse était répartie uniformément sur les deux élingues, soit $1632 \text{ kg} = 16\,000 \text{ N}$ par élingue.

Si l'on considère la valeur maximale de l'angle entre l'élingue de gauche et la surface inférieure de la charge calculée dans la présente analyse, soit 14 degrés, la force de friction nécessaire résultante est de

$$F_f = 16\,000 \text{ N} \cdot \sin(14 \text{ degrés}) = 3873 \text{ N}$$

Cette valeur suppose que la friction était suffisante pour maintenir le lien entre l'élingue et la charge. La force de perturbation aérodynamique calculée avec les données météorologiques disponibles représente donc $(117 \text{ N}) / (3873 \text{ N}) = 3\%$ de la force de frottement requise pour l'équilibre, une perturbation d'une intensité faible par rapport à la force de frottement, surtout considérant le fait que la direction de la vitesse du vent n'était pas alignée avec la direction du mouvement.

Par contre, tel que mentionné ci-dessus, une seule série de données était disponible pour chaque heure, ce qui n'exclut pas la possibilité d'un vent d'une plus grande intensité, ou de bourrasques variables de vent latéral ou même ascendant.

Une perturbation aérodynamique de l'équilibre de la charge est une possibilité.

Réponse aux points constituant le mandat de cette expertise

L'analyse qui a été présentée dans ce document permet de répondre aux points constituant le mandat :

- 1) Établissement des différents facteurs ayant pu contribuer au glissement de l'élingue;

Le principal facteur ayant pu contribuer au glissement de l'élingue est à mon avis l'angle de traction qui prévalait entre les élingues et la charge, et le fait que l'équilibre était assuré par le frottement entre les élingues et la surface inférieure de la charge. Les calculs théoriques avec les coefficients de friction rapportés dans la littérature entre le polyester et l'acier indiquent que les

angles de stabilité théoriques sont soit plus faibles ou du même ordre que ceux qui ont résulté de la méthode de support de la charge lors de l'accident.

La position asymétrique de l'élingue de gauche ainsi que la différence de longueur entre les deux élingues ont entraîné une inclinaison de la charge par rapport à l'horizontale, et cette inclinaison a eu pour effet d'augmenter l'angle entre la direction de traction de l'élingue de gauche et la normale à la surface de support. Ceci a pu contribuer à l'augmentation du risque de glissement.

La présence d'eau ou de lubrifiant sur les panneaux de coffrage a pu contribuer à la réduction du coefficient de frottement entre l'élingue et la charge.

L'ensemble a pu être soulevé et transporté sur une certaine distance, mais l'équilibre était précaire, à la limite entre la stabilité et l'instabilité.

Des perturbations de faible intensité, causées par le vent ou un mouvement de la charge, ont pu intervenir dans la déstabilisation de cet équilibre précaire.

- 2) Évaluation de la stabilité de la charge en fonction du positionnement des élingues (angle critique des élingues ayant mené à la perte de la charge);

Un montage en panier devrait généralement résulter en une traction s'effectuant dans un plan vertical pour chaque élingue, pour minimiser le risque de glissement de l'élingue sous la charge. Ce commentaire sur le risque de glissement s'applique lorsqu'il n'y a pas de méthode de fixation rigide entre l'élingue et la charge et que l'on compte sur le frottement entre l'élingue et la charge pour assurer la stabilité.

L'angle critique auquel risque de se produire le glissement si un montage à angle est effectué et qu'il n'y a pas fixation des élingues à la charge varie en fonction du coefficient de friction, mais il demeure faible. Pour un coefficient de friction statique $\mu_s = 0.2$, cet angle est 11.3 degrés.

- 3) Explication des mouvements de la charge à la suite du glissement de l'élingue.

L'élingue de gauche était celle dont l'angle était le plus prononcé, et c'est celle qui a subi un glissement. Une fois le mouvement amorcé, le frottement est passé en mode dynamique, avec une force de retenue plus faible le long de la surface inférieure de la charge, et l'élingue a glissé librement vers le centre de la charge. Lorsque l'élingue fut située sous le centre de masse, puis très légèrement à droite de celui-ci, la charge a basculé et chuté librement.

Conclusion

Les éléments techniques abordés dans cette analyse ont permis d'étudier la stabilité statique d'une charge constituée de 8 panneaux de coffrages solidairement liés et soutenues par deux élingues dans une configuration dite « en panier ».

Lorsque les élingues sont disposées suivant des plans qui présentent un angle par rapport à la verticale, la stabilité dépend principalement du frottement entre les élingues et la surface de support sous la charge.

Il y a alors possibilité de glissement.

Dans la situation faisant l'objet de cet étude, l'angle des élingues était supérieur à l'angle de stabilité calculé avec le coefficient de friction.

Cet angle est la cause probable du glissement qui a entraîné l'accident qui a fait l'objet de cette étude.

D'autres facteurs ont pu contribuer à réduire le coefficient de friction et favoriser le glissement de l'élingue et la chute de la charge, tels que la présence de peinture sur la surface d'acier et la présence d'eau ou de fluide de coffrage sur les surfaces.

Finalement, des perturbations ont pu contribuer à déstabiliser l'équilibre précaire et initier le glissement de l'élingue, tels qu'un mouvement de la charge ou des forces aérodynamiques instationnaires dues au vent.



Jean Ruel, ing., Ph.D., le 27 octobre 2021
No. OIQ : 106 900

Références

- [1] Engineering Mechanics, Volume 1: Statics. J. L. Meriam and L. G. Kraige. Wiley, 1980.
- [2] https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html
- [3] Quaglini, V., Dubini, P. 2011 Friction of Polymers Sliding on Smooth Surfaces. Advances in Tribology, Volume 2011, Article ID 178943, 8 pages, doi:10.1155/2011/178943.
- [4] Samyn, P., Van Paepegem, W., Leendertz, J.S. et al. 2006 Large-Scale Evaluation of Constrained Bearing Elements Made of Thermosetting Polyester Resin and Polyester Fabric Reinforcement. Journal of Tribology, October 2006, Vol. 128, Tribology Division of ASME.
- [5] Fundamentals of Fluid Mechanics. P. M. Gerhart and R. J. Gross. Addison-Wesley Publishing Company, 1985.

ANNEXE E

Calculs



RÉSEAU D'EXPERTISE
EN PRÉVENTION-INSPECTION

RAPPORT D'EXPERTISE

*Estimation de la tension des élingues
impliquées dans l'accident Solar*

Le 30 novembre 2021

Rapport présenté à

Jean-François Beaudry
Directeur du Service de la prévention-inspection Rive-Sud
Direction générale des opérations en prévention-inspection – Capitale-
nationale et Réseau régional

Stéphanie Paquin
Inspectrice

Préparé par

Henri Bernard ing.
Direction générale de la gouvernance et du conseil
stratégique en Prévention
CNESST

30 novembre 2021



Table des matières

SOMMAIRE

1. Mise en contexte \ Description du mandat
2. Méthodologie \ Informations recueillies
3. DCL et calcul de la tension
 - a. Calcul des angles des élingues théoriques
 - b. Calcul de la tension des élingues théoriques
 - c. Propriété de l'élingue selon les documents du fabricant
4. Conclusion
5. Annexe : Rapport de test d'étirement du fabricant
6. Lexique et glossaire

1. Mise en contexte \ description du mandat

Une enquête pour établir les causes de l'accident est entreprise par la CNESST, cet accident mortel survenu à la suite de la chute d'un paquet de panneaux de coffrage d'une hauteur d'environ 8 mètres. Le levage de cette charge était exécuté par une grue à tour au-dessus de la remorque sur laquelle un signaleur de chantier se tenait.

Une question exigeant une réponse rapide a été posée au réseau d'expertise de la CNESST dans le but de connaître la tension dans les deux élingues. Une réponse exacte et précise n'a pas été exigée, mais plutôt une bonne estimation basée sur les images provenant de la caméra de surveillance du chantier.

Le but étant de vérifier si les marques de brûlures de l'élingue nord sont bien les marques laissées lors du glissement de l'élingue nord lors de l'accident.

D'un autre côté une autre expertise plus poussée, en annexe D du rapport d'enquête, pour déterminer le coefficient de friction a été réalisée par une firme externe. Il serait très maladroit de comparer les deux expertises puisque ces expertises n'ont pas été réalisées dans le même objectif.

2. Méthodologie \ Informations recueillies

Pour répondre au questionnement des inspecteurs, le mandat consiste à faire une estimation de la tension des deux élingues qui soutenaient le paquet de panneaux de coffrage. Le but étant de savoir si la tension des élingues dépassait la CMU, la capacité maximale d'utilisation, et à quel niveau ces tensions se situaient par rapport à cette CMU. L'autre aspect à vérifier est l'allongement des élingues suite à leurs mises en tension pendant ce levage tel que mentionné précédemment.

Pour parvenir à estimer les forces agissant dans ces deux élingues, nous devons connaître les angles dans lesquels se trouvait la charge avant son basculement. Ce qui sera fait par simple géométrie avec les données physiques des élingues et du paquet de panneaux de coffrage.

De plus, des marques de brûlures nous indique de manière approximative un certain étirement des élingues, nous pourrons faire une vérification avec les valeurs de tensions estimées et l'étirement mesuré sur l'élingue nord.

La tension utilisée pour faire le test d'étirement au laboratoire sera d'une valeur supérieure à celle estimée pour des raisons pratiques. Nous pourrons déduire ensuite avec la fiche du fournisseur de l'élingue, la tension en fonction de l'étirement et comparer la distance entre les marques de brûlures des panneaux de coffrage une fois l'élingue étirée.

Les élingues

Les images de la caméra de surveillance montrent la position des deux élingues sur la charge, voici une représentation ;

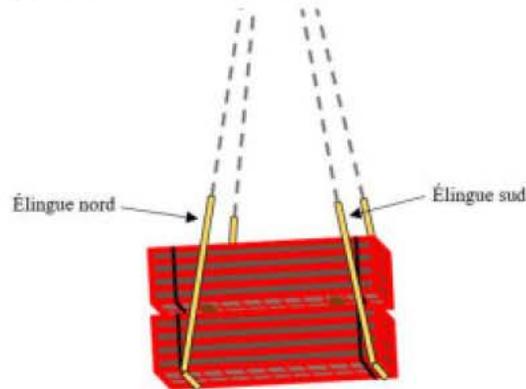


Figure 11 : Croquis représentant approximativement l'élingage de la charge avant l'accident (Source : CNESST)

Les élingues

L'élingue de gauche, appelé élingue nord, à sa base est situé approximativement à 75 cm (centre de l'élingue) par rapport au coin gauche, alors que l'élingue sud à sa base est située à 5 cm (centre de l'élingue) du coin droit. Ces mesures ont été estimées avec les images de la caméra.

La longueur nominale des élingues nord et sud est de 610 cm (20'), en faisant abstraction de l'étirement de celle-ci à la suite de la mise en tension. Celle-ci est en polyester, donc s'étire lorsqu'en tension.

Les lignes en pointillées représentent les élingues de chaîne (4) attachées aux élingues de polyester (2) et reliées à un anneau central. Ces élingues de chaîne ont toute la même longueur 671 cm (22'). C'est l'équivalent pour la longueur à avoir deux élingues de 1951 cm (64').

Ce type de levage de charge est commun et se nomme un levage en double panier, puisque les deux élingues sont placées en panier sous la charge. Même si ce type de levage est commun, son exécution peut être très dangereuse si la méthode de gréage est inappropriée et approximative. Le support de la charge est sous le centre de gravité et rien n'empêche les élingues de glisser.

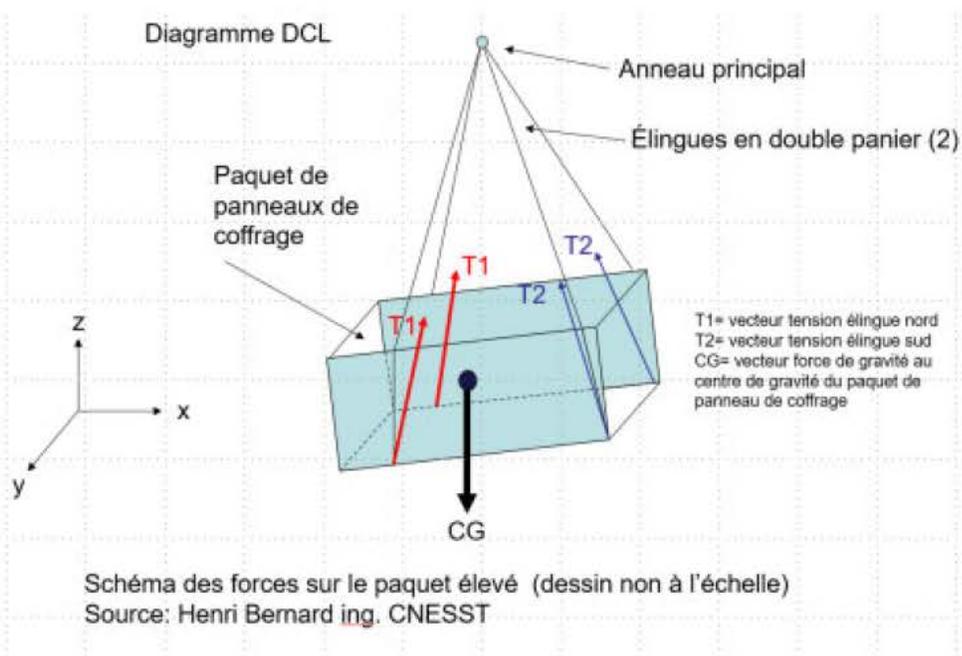
Le paquet de panneaux de coffrage

La charge est composée de 8 panneaux de coffrage, 2 piles de 4 panneaux séparées par deux blocs de bois 100 mm X 100 mm X 2.4m de long. Pour un poids total de 3275 kg (7218 lb).

Détail panneaux de coffrage
2.4m largeur X 3.3m longueur (nord-sud) X 0.12 m

3. DCL et calcul de la tension

Diagramme de corps libre à l'équilibre des forces que représentent notre charge et ses élingues



Nous considérons qu'il n'y a pas d'inclinaison dans le plan yz, (rotation est-ouest);

Les équations de départ sont les suivantes,

NB : Équations vectorielles

$$T1(x) + T2(x) = 0 \quad (1)$$

$$Mg = 2 T1(z) + 2 T2(z) \quad (2)$$

a. Calcul des angles des élingues théoriques,

Schéma des angles avec la charge suspendue

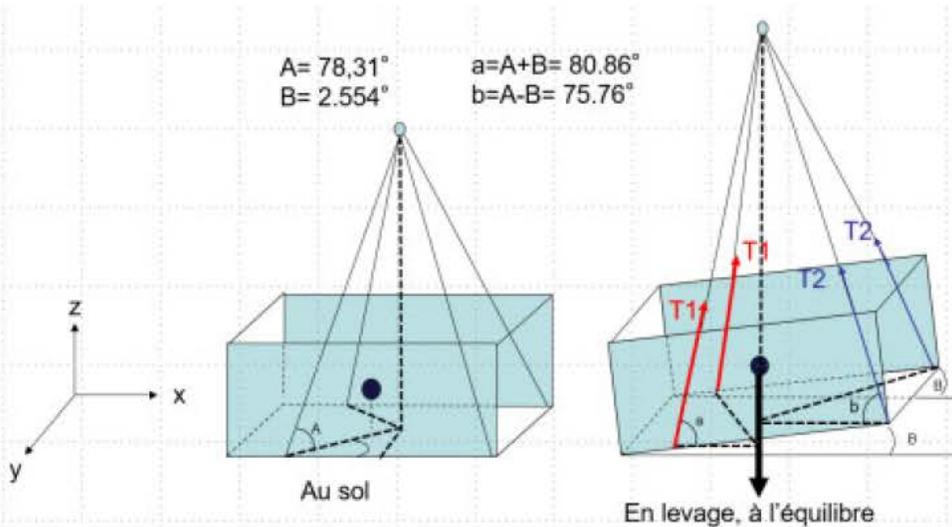


Schéma des angles sur les élingues en équilibre (dessin non à l'échelle)

Source: Henri Bernard ing. CNESST

Résultat, l'angle entre les élingues nord (T1) et l'horizontale est de $80,86^\circ$ et l'angle entre les élingues sud (T2) est de $75,76^\circ$.

b. Calcul de la tension des élingues théoriques

De (1) : $T1(x) + T2(x) = 0$

$T1 \cos (80,86^\circ) + T2 \cos (75,76^\circ) = 0$

$T2 = - T1(\cos (80,86^\circ) / \cos (75,76^\circ))$

$T2 = - 0,646 T1$ (3) les 2 forces résultantes sont égales et opposées en X

Dans l'axe z les deux tensions résultantes sont dans la même direction

De (2) et (3): $Mg = 2 T1(z) + 2 T2(z) = 2T1(z) + 2(0,646) T1(z)$

$Mg = 3,292 T1 \sin (80,86^\circ)$

$Mg = 3,25 T1$

$T1 = Mg/3,25 = (3275 \text{ kg } (9,8\text{m/s}^2))/3,25 = 9875 \text{ N ou } 2220 \text{ lbf}$

$T2 = (0,646) (9875\text{N}) = 6379 \text{ N ou } 1434 \text{ lbf}$

c. Propriété de l'élingue selon les essais du fabricant

Les informations fournies par le fabricant, pour un échantillon de la même provenance que celle de l'élingue nord, nous donne les indications suivantes;

Fabricant :

Une elongation de l'élingue de 13.2 % est mesurée avant rupture

À la rupture la tension mesurée est de 32806 lbf

La CMU est de 6200 lbf, facteur de sécurité de 5 :1

Précision de la machine de test de 0.5%

La CMU de l'élingue qui a glissée est de 6200 lbf, la tension de l'élingue nord a été estimée à 2220 lbf, donc de loin inférieure à la CMU (36% de la CMU).

Nous avons noté des marques de brûlures sur cette élingue pouvant nous permettre d'évaluer pratiquement la tension de l'élingue au moment du glissement des panneaux de coffrages. Ce qui pourrait aussi confirmer que ces marques de brûlure par friction ont bien été faites lors de l'accident.

Lors des essais avec un banc d'essai, ces marques sont positionnées à 97 pouces c-c avec une tension de 4740 lbf (21 kN) appliquée. Pour une longueur totale de l'élingue de 249 pouces. (3,75% elongation).

La largeur des panneaux est de 2.4m ou 94.4 pouces.

L'espacement (c-c) des marques de brûlures est plus grand de 2.6 pouces que la largeur du panneau. Donc pour une tension de 4740 lbf, 2.6 pouces sur 94.4 pouces nous indiquent elongation de 2.75%. Il ne faut pas oublier que ces marques ont été produites sous une tension de 2220 lbf (théorique). Donc l'elongation de 2.75% est supplémentaire ou à additionner à 2220 lbf.

La question demeure qu'elle est donc la tension mesurée d'une manière pratique pouvant étirer de 2.75% cette élingue de plus.

Après analyse d'un des tableaux du fabricant, voici les elongations que nous retrouvons sur la charte du fabricant;



L'échantillon du fabricant avec une élongation de 2.75%, correspond à une élongation de 85 mm, nous amène à une tension d'environ 2400 lbf à 2500 lbf.



En prenant ce résultat, nous obtenons une tension totale entre 4620 lbf et 4720 lbf. Qui est très proche de la tension de 4740 lbf utilisée durant les essais.

Lors des essais, bien avant l'estimation présentée ici, une tension évaluée à 4740 lbf a été utilisée sur le banc d'essai pour permettre la suite des analyses.

Une telle marge utilisée pour les essais, 4740 lbf vs 2220 lbf, s'explique en considérant les paramètres suivants;

- positionnement imprécis des élingues sur la charge en se basant sur les images des caméras (2%-3%),
- la rotation possible de la charge dans un axe est-ouest,
- le vent ou suite à des secousses ou mouvement brusques,
- la précision du mesurage lors des essais (0.5%)
- la précision lors des essais du fabricant (0.5%)
- la tension qu'exerce la charge sur les élingues lors de la levée peut varier selon le déplacement de son point d'équilibre.

De la même manière, pour l'élingue sud nous avons utilisé une tension de 2300 lbf ou 10.23 kN, alors que la tension théorique estimée lors de l'accident était d'environ 1434 lbf. Par contre il a été impossible d'aller plus loin dans

notre analyse, car l'élingue sud ne comportait pas de marques de brulures.
Donc aucune comparaison possible avec un tableau de test du fabricant.

4. Conclusion

En comparant les marques de brulures par friction sur l'élingue nord et l'estimation de la tension théorique (2220 lbf), on peut avancer que lors de l'évènement, la tension de l'élingue était très près de celle estimée (2220 lbf).

Effectivement les essais d'étirement sur le banc d'essai avec une tension de 4740 lbf, nous permettent de déduire la tension de l'élingue nord lors de l'accident, avec les données du rapport de test du fabricant.

Les essais sur le banc de test ont démontré que l'estimation de la tension de l'élingue nord à 2220 lbf est juste, et que les marques de brulures par friction sont bien celles produites par le glissement de la charge lors de l'accident.

Une marge d'erreur est à considérer en ce qui concerne la lecture même du rapport de test du fabricant, à cause de la faible plage de données à considérer se situant dans la première portion du tableau représentant seulement 5% de celui-ci.

Autre considération :

Une tension de 4740 lbf a été utilisée, par contre une tension moins élevée aurait pu avoir été sélectionnée pour les essais. Mais une tension trop peu élevée aurait été probablement invérifiable, car l'élingue nord, tout comme l'autre (sud), étaient légèrement plus courte qu'à l'origine, pour des tensions plus restreintes le comportement de l'élingue aurait été différent de celui de la courbe du fabricant durant les essais.

Ce raccourcissement des élingues se produit naturellement lorsque les élingues sont mouillées et séchées répétitivement au fil de leurs utilisations.



Henri Bernard ingénieur

CNESST, DGGCSP, Conseiller expert en appareil de levage

5. Annexe

Annexe : Tableau du fournisseur d'élingue OCEANSIDE



6 Lexique et glossaire

N= newton
WLL= working load limit
CMU= capacité maximale d'utilisation
lbf= livre-force

1kN= 224.81 lbf

ANNEXE F**Références bibliographiques****Loi et règlement**

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 1^{er} août 2021*, [En ligne], 2021. [[S-2.1 - Loi sur la santé et la sécurité du travail \(gouv.qc.ca\)](#)] (Dernière consultation le 2 novembre 2021).

QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC), RLRQ, chapitre S-2.1 r.4, à jour au 22 avril 2021*, [En ligne], 2021. [[S-2.1, r. 4 - Code de sécurité pour les travaux de construction \(gouv.qc.ca\)](#)] (Dernière consultation le 2 novembre 2021).

Normes

THE AMERICAN ASSOCIATION SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. *Slings : Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Jacks, and Slings*, New York, NY, ASME, 2018, 62 p. (ASME B30.9-2018).

WEB SLING & TIE DOWN ASSOCIATION INC.. *Recommended Standard Specification for Synthetic Web Slings*. 5^e édition, Forest Hill, MD, WSTDA, 2015, 39 p. (WSTDA-WS-1-2015).

WEB SLING & TIE DOWN ASSOCIATION INC.. *Recommended Operating, Care and Inspection Manual for Nylon & Polyester Synthetic Web Slings*. 7^e édition, Forest Hill, MD, WSTDA, 2018, 34 p. (WSTDA-WS-2-2018).

Expertise

RUEL, Jean. *Expertise sur l'élingage de panneaux de coffrage soulevés par une grue à tour, accident survenu le 8 juillet 2021*, professeur titulaire au département de génie mécanique de l'Université Laval, 27 octobre 2021, 16 p.

Autres documents de référence

PERI. *Maximo : Le coffrage-cadre à ancrage MX manipulable d'un seul côté*. Édition 10, 2014, Meaux, France, 65 p.

PERI. *Trio : Panel Formwork, Instructions for Assembly and Use – Standard Configuration*. 1^{re} édition, 2017, Weissenhorn, Allemagne, 121 p.

PERI. *Pallets and Stacking Devices, Original Instructions for Use*. 5^e édition, 2011, Weissenhorn, Allemagne, 35 p.

PERI. *Lifting Gear MX, Item no. 117322, Translation of the Original Instructions for Use*. 10^e édition, 2013, Weissenhorn, Allemagne, 14 p.

Banque de données terminologiques et linguistiques du gouvernement du Canada. [Termium Plus®](#) (dernière consultation le 5 novembre 2021)

Les publications du Québec. *Gréage et levage : Guide de sécurité*. Décembre 2006, Québec, Canada, 174 p.

INRS. *Accessoires de levage, Mémento de l'élingueur*. Août 2020, Paris, France, 70 p.

Les Canalisateurs. *L'élingage, Livret prévention*. Mars 2020, Paris, France, 20 p.