

# **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident ayant causé la mort d'un travailleur de l'entreprise  
Grues J.M. Francoeur inc. survenu au parc éolien de Lac-Alfred,  
le 10 juin 2020**

**Service de la prévention-inspection - Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine et  
Bas-Saint-Laurent  
Direction de la prévention-inspection Sud-Est**

## **VERSION DÉPERSONNALISÉE**

**Inspecteurs :**

\_\_\_\_\_  
**Michel Ross**

\_\_\_\_\_  
**Simon-Pierre D'Amours, ing.**

**Date du rapport : 31 mars 2021**

**Rapport distribué à :**

- M. [ A ], [ ... ], Grues J.M. Francoeur inc.
- M. [ B ], [ ... ], Union International des Opérateurs et Ingénieurs (Local 905)
- Me Jean-Pierre Chamberland, coroner
- Dr Sylvain Leduc, directeur de la santé publique du Bas-Saint-Laurent

## TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<b>RÉSUMÉ DU RAPPORT</b>	<b>1</b>
<u>2</u>	<b>ORGANISATION DU TRAVAIL</b>	<b>3</b>
	2.1 STRUCTURE GÉNÉRALE DU LIEU DE TRAVAIL	3
	2.2 ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DE L'ENTREPRISE GRUE J.M. FRANCOEUR INC.	3
<u>3</u>	<b>DESCRIPTION DU TRAVAIL</b>	<b>5</b>
	3.1 DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
	3.2 DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	8
<u>4</u>	<b>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</b>	<b>9</b>
	4.1 CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	9
	4.2 CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	10
	4.2.1 FORMATIONS	10
	4.2.2 ÉQUIPEMENTS	10
	4.2.3 MÉTHODE DE CHARGEMENT ET D'ARRIMAGE UTILISÉE	12
	4.2.4 TRIANGLE DE STABILITÉ	14
	4.2.5 RECONSTITUTION DE L'ACCIDENT	14
	4.2.6 EXPERTISE	15
	4.2.7 MÉTHODE DE TRAVAIL PRESCRITE PAR LE FABRICANT	15
	4.2.8 MÉTHODE DE CHARGEMENT ET D'ARRIMAGE DE L'EMPLOYEUR	16
	4.2.9 INSTRUCTIONS DE SÉCURITÉ GÉNÉRALE	17
	4.2.10 LOIS SUR LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	18
	4.3 ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	18
	4.3.1 L'ASSEMBLAGE DES SECTIONS 3 ET 4 DE LA FLÉCHETTE DE LA GRUE TEREX/DEMAG AC200 DÉPOSÉ SUR LA REMORQUE BASCULE ET CHUTE AU SOL, ÉCRASANT MORTELLEMENT LE TRAVAILLEUR.	18
	4.3.2 LA MÉTHODE DE TRAVAIL DE CHARGEMENT DE L'ASSEMBLAGE DES SECTIONS 3 ET 4 DE LA FLÉCHETTE DE LA GRUE TEREX/DEMAG AC200 EN VUE DE SON TRANSPORT EXPOSE LE TRAVAILLEUR À UN DANGER D'ÉCRASEMENT.	19
<u>5</u>	<b>CONCLUSION</b>	<b>21</b>
	5.1 CAUSES DE L'ACCIDENT	21
	5.2 AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	21
	5.3 SUIVI DE L'ENQUÊTE	22
	<b><u>ANNEXES</u></b>	
	ANNEXE A	23
	ANNEXE B	24
	ANNEXE C	25
	ANNEXE D	26
	ANNEXE E	68
	ANNEXE F	69

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

Le 10 juin 2020, au pied de l'éolienne 81 du parc éolien de Lac-Alfred, [ ... ] procèdent au chargement de composantes de la grue Terex/Demag AC200 sur une remorque en vue de son transport. M. [ C ], [ ... ], s'apprête à manipuler les sangles d'arrimage le long de la remorque quand l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue bascule et chute de la remorque.

**Conséquences**

Le travailleur est écrasé par l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette et décède de ses blessures.



Image 1 : Vue rapprochée de la scène d'accident (Source : CNESST)

**Abrégé des causes**

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

- L'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex/Demag AC200 déposé sur la remorque bascule et chute au sol, écrasant mortellement le travailleur;
- La méthode de travail de chargement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex/Demag AC200 en vue de son transport expose le travailleur à un danger d'écrasement.

**Mesures correctives**

Le 11 juin 2020, deux décisions sont émises à l'employeur (Grues J.M. Francoeur inc.) et sont consignées au rapport d'intervention RAP1307308. La première décision ordonne la suspension des travaux avec la fléchette portée sur la grue Terex/Demag AC200. Un scellé est apposé sur l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette. La seconde décision ordonne la suspension des travaux de chargement des équipements de grue.

Le 16 juin 2020, une décision est levée et consignée au rapport d'intervention RAP1307934. La décision autorise la reprise des travaux de chargement des équipements de grue puisque l'employeur s'est conformé aux conditions de reprise exigées. L'employeur présente une procédure de chargement sécuritaire formelle délivrée par un ingénieur et en informe les travailleurs.

Le 13 juillet 2020, une dérogation est émise à l'employeur et consignée au rapport d'intervention RAP1310351. La dérogation a pour objectif d'obtenir des informations dans le cadre de l'enquête.

Le 23 juillet 2020, la dérogation est effectuée et consignée au rapport d'intervention RAP1312671. L'employeur a transmis les informations exigées.

Le 31 août 2020, deux dérogations sont émises à l'employeur et sont consignées au rapport d'intervention RAP1316895. L'employeur doit réviser la procédure de chargement et de transport délivrée par un ingénieur afin de prendre en compte les prescriptions du fabricant de la grue Terex/Demag AC200. Il doit également former et informer ses travailleurs sur la procédure mise à jour.

Le 11 septembre 2020, une décision est levée et consignée au rapport d'intervention RAP1418303. La décision autorise l'utilisation de la fléchette portée sur la grue Terex/Demag AC200, puisque l'employeur s'est conformé aux conditions de reprises exigées en faisant la démonstration de la conformité de la fléchette à la norme CSA Z150-16, par le biais du rapport de conformité délivré par une ingénieure.

Le 13 novembre 2020, deux dérogations sont effectuées et consignées au rapport d'intervention RAP1326344. L'employeur a mis à jour la procédure de chargement et de transport afin de prendre en compte les prescriptions du fabricant de la grue Terex/Demag AC200. Il a également informé ses travailleurs sur la procédure mise à jour.

*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 lieu de travail

L'accident survient au pied de l'éolienne 81 du parc éolien de Lac-Alfred, situé au 283, chemin à Jos à Sainte-Irène, qui est sous la gestion de l'entreprise EDF Renewables.

Le travail réalisé consiste au remplacement des roulements des trois pales de l'éolienne 81. EDF Renewables mandate l'entreprise Services X Wind inc. pour effectuer les travaux. L'entreprise Services X Wind inc. sous-traite les travaux de levage à l'entreprise Grues J.M. Francoeur inc. Cette dernière déploie deux grues et deux équipes de grutiers ([ ... ] travailleurs). Les travailleurs attirés aux travaux sont : MM [ C ], [ D ], [ E ] et [ F ].

L'entreprise Grues J.M. Francoeur inc. située au 6010, rue Notre-Dame Est à Montréal, se spécialise dans les opérations de levage avec location de grues avec ou sans opérateur et l'assemblage de grues à tour. Elle offre aussi d'autres services connexes. L'entreprise emploie 100 travailleurs. Les grutiers sont des travailleurs syndiqués. L'entreprise offre ses services partout au Canada ainsi qu'à l'étranger. Sur le plan de l'organisation de l'entreprise, M. [ A ], [ ... ] et M. [ G ], [ ... ].

#### 2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail de l'entreprise Grue J.M. Francoeur inc.

##### 2.2.1 Mécanismes de participation

Il n'y a pas de mécanisme formel de participation des travailleurs à la gestion de la santé et de la sécurité du travail. L'employeur réalise une rencontre annuelle avec l'ensemble des travailleurs, des éléments d'information leur sont donnés, dont certains rappels touchant la santé et la sécurité du travail.

##### 2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

L'entreprise fait partie du secteur d'activité économique (001) - Bâtiments et travaux publics. Ce secteur est couvert par l'association sectorielle paritaire de la construction, soit l'ASP Construction.

Un programme de prévention est disponible. Celui-ci comprend notamment une fiche encadrant les risques reliés au transport routier.

[ ... ]

Les travailleurs ne font pas l'objet d'une supervision directe sur les lieux de travail. L'employeur déclare que les audits touchant des éléments de santé et de sécurité du travail sont réalisés par [ ... ].

Des séances de formation continue sont offertes aux travailleurs en cours d'emploi.

### **2.2.3 Accueil sur le site du Parc éolien du Lac Alfred**

Sur le site du parc éolien, l'entreprise EDF Renewables accueille chacun des travailleurs avant le début des travaux et donne une séance d'information, qui touche notamment la santé et la sécurité du travail et détaille le plan des mesures d'urgence (PMU).

## SECTION 3

### 3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

#### 3.1 Description du lieu de travail

L'accident survient au pied de l'éolienne 81 du parc éolien de Lac-Alfred qui est sous la gestion de l'entreprise EDF Renewables. Il s'agit d'un parc éolien de 150 éoliennes, d'une capacité de 300 mégawatts (MW). Le site comprend notamment un bâtiment d'opération et de maintenance qui est situé au 283, chemin à Jos à Sainte-Irène. Le parc éolien couvre les municipalités de :

- Saint-Cléophas;
- Sainte-Irène;
- Saint-Zénon-du-Lac-Humqui;
- Le territoire non organisé (TNO) de Lac-Alfred dans la MRC de La Matapédia,
- La Rédemption;
- Le territoire non organisé (TNO) de Lac-à-la-Croix dans la MRC de La Mitis.

Les coordonnées GPS du lieu de l'accident sont 48°24'53''N 67°46'5''O. À titre de référence, l'image 2 illustre la carte du parc éolien.

Le parc éolien est implanté en terrain montagneux. Le chemin d'accès à l'éolienne 81 est un chemin ouvert au public. Lors de l'érection de l'éolienne, le sol a été aménagé et nivelé en périphérie de l'éolienne. Après l'érection, seul un chemin d'accès à l'éolienne demeure en place et la majorité de la surface, précédemment nivelée lors de l'érection, est maintenant recouverte de terre végétale. Un fossé est aussi aménagé en bordure du chemin public et longe le chemin d'accès à l'éolienne. L'image 3 illustre le site de l'accident au pied de l'éolienne 81. Le plan de localisation complet de la scène d'accident est placé à l'annexe C.

Deux grues sont présentes au pied de l'éolienne 81. Les deux grues sont positionnées à une distance prédéterminée de l'éolienne, selon un plan de levage. La première est une grue de marque Liebherr, modèle LTM1500-8.1, d'une capacité de 650 tonnes. La seconde est une grue de marque Terex/Demag, modèle AC200-01, d'une capacité de 240 tonnes. Un train routier double est stationné en bordure du chemin, ouvert au public. L'image 4 illustre la position des grues et du train routier double par rapport à l'éolienne 81. Le plan de levage utilisé indique la distance, sous la forme de rayon, à laquelle chacune des grues doit être positionnée pour réaliser les travaux d'entretien de l'éolienne. Le plan de levage est placé à l'annexe E.

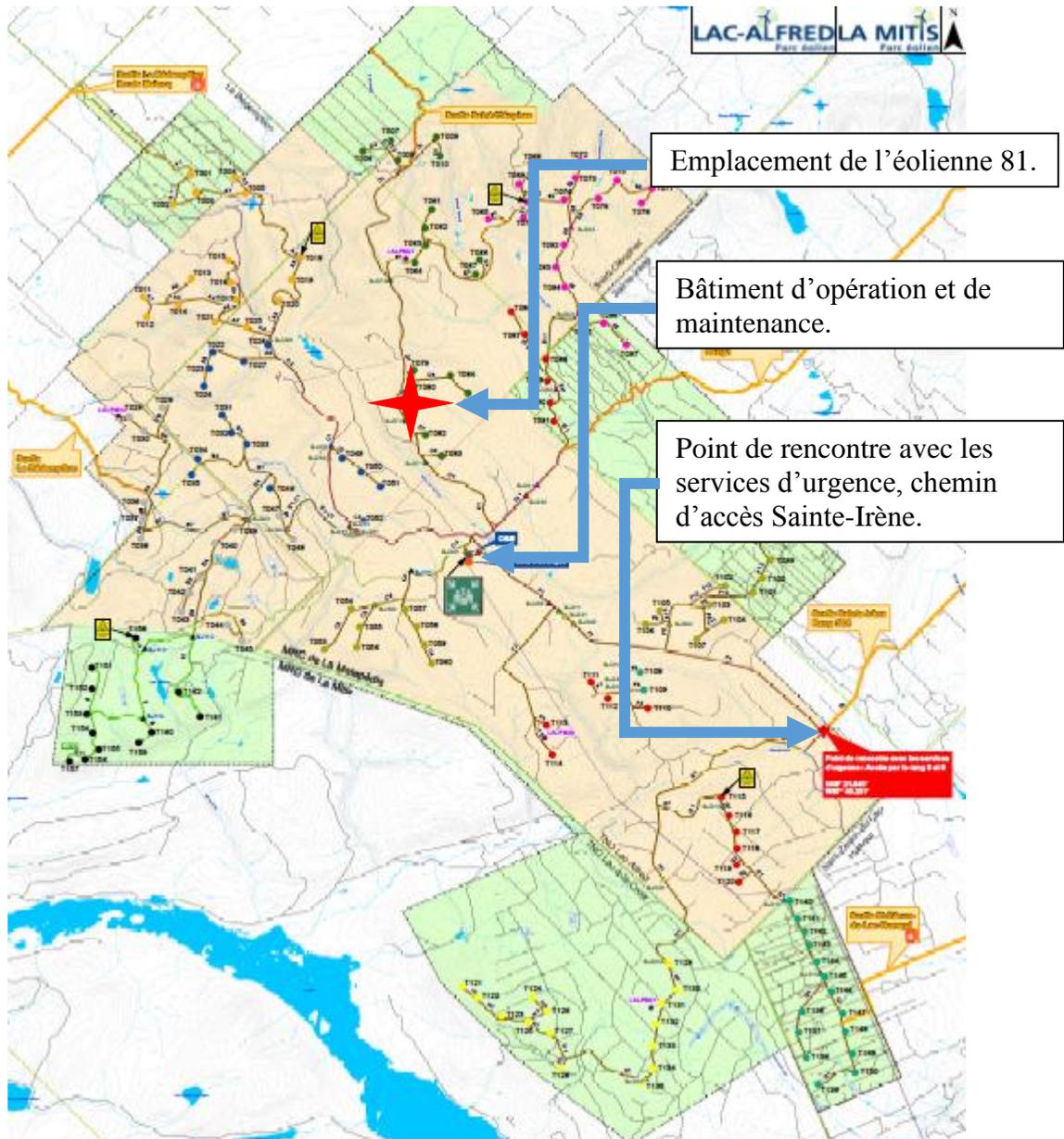


Image 2 : Extrait de la carte du parc éolien de Lac-Alfred (Source : EDF Renewables)



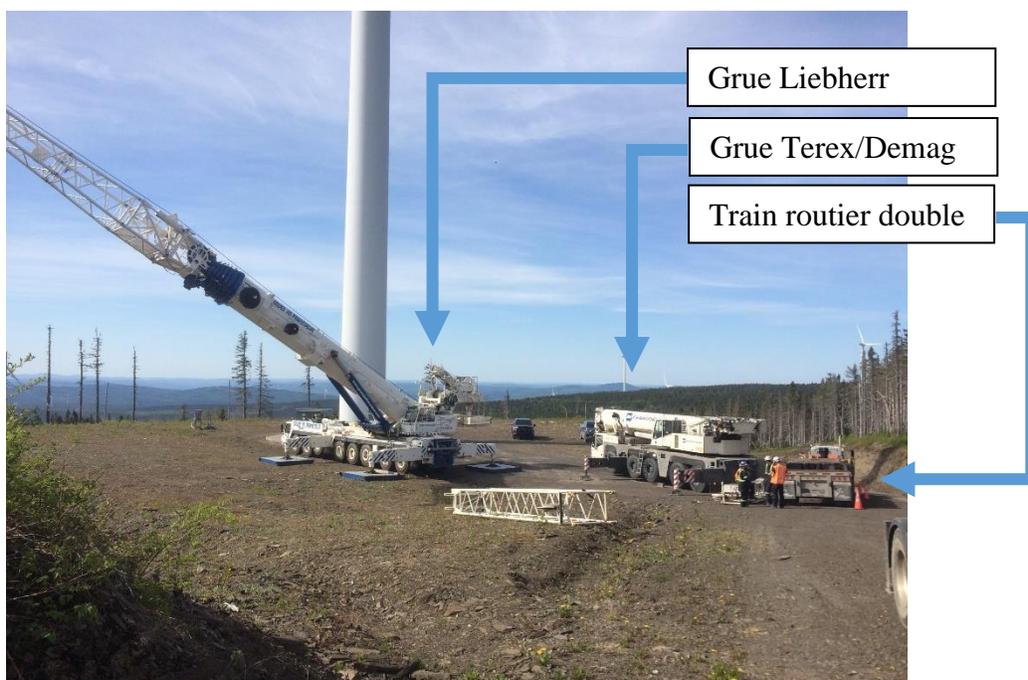


Image 4 : Vue élargie de la scène d'accident au pied de l'éolienne n° 81 (source : CNESST)

### 3.2 Description du travail à effectuer

MM [ C ], [ D ], [ E ] et [ F ] arrivent au parc éolien le 1<sup>er</sup> juin 2020 afin de remplacer les roulements (blade bearing) des trois pales de l'éolienne 81. En raison des épisodes de vents forts, supérieurs aux valeurs de vitesses maximales pour permettre les opérations de levage, les travaux se terminent uniquement le 9 juin 2020, où le dernier roulement est remplacé.

Les travaux nécessitant l'utilisation de la grue Terex/Demag AC200 sont alors terminés. Celle-ci doit être démontée avant son transport. Les contrepoids, les sections 2, 3 et 4 de la fléchette et les cales doivent être transportés par semi-remorques. La seconde grue, de marque Liebherr, est utilisée pour le démontage et le chargement des composantes de la grue Terex/Demag AC200.

Un tracteur routier, attelé à une remorque de type train routier double (B-train), de marque Alutrec, est utilisé pour le transport des pièces démontées de la grue.

## SECTION 4

### 4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

#### 4.1 Chronologie de l'accident

Le quart de travail du 9 juin 2020 se déroule en soirée, soit de 20 h à 0 h. Le remplacement du 3<sup>e</sup> et dernier roulement de l'éolienne 81 est effectué.

Le 10 juin 2020, le travail sur le site débute à 9 h. Les grutiers procèdent au démontage de la grue Terex/Demag AC200 et au chargement de ses composantes sur la remorque.

M. [ C ] positionne le train routier double en bordure du chemin public, tel qu'illustré à l'image 3. La grue Liebherr, opérée par M. [ F ], est utilisée pour manipuler les sections de fléchette de la grue Terex/Demag AC200.

Dans l'ordre, les travailleurs procèdent aux étapes suivantes :

- Les trois sections de la fléchette sont retirées et déposées au sol. Les sections 3 et 4 demeurent assemblées entre elles et repliées l'une sur l'autre;
- Les contrepoids sont retirés et placés directement sur les semi-remorques;
- Les cales d'appuis au sol (matelas) sont chargées sur les semi-remorques;
- L'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette est déposé sur la plateforme arrière des semi-remorques, du côté gauche (côté conducteur).

Positionnés sur les semi-remorques, MM [ D ] et [ E ] détachent ensuite les élingues de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette puis s'affairent à attacher à la verticale deux blocages de bois de 4 x 4, avec des bandes élastiques, à la structure en treillis tubulaire de la section 3 de la fléchette. Ces blocages en bois sont utilisés à titre de protection durant le transport pour éviter les contacts métal sur métal entre les sections de fléchette qui seront placées côte à côte durant le transport.

Il est prévu d'arrimer aux semi-remorques les sections de la fléchette, une fois qu'elles y seront toutes déposées.

De son côté, M. [ C ] effectue le gréage de la section 2 de la fléchette, puis se déplace le long des semi-remorques, du côté conducteur, notamment afin de dérouler les sangles d'arrimage.

À ce moment, vers 10 h 10, l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette, déposé sur les semi-remorques, bascule et chute au sol, du côté conducteur, écrasant M. [ C ].

Aussitôt, l'équipe [ ... ] utilise la grue Liebherr pour soulever l'assemblage des sections 3 et 4 afin de libérer M. [ C ]. Ils communiquent par téléphone avec les services d'urgence 911 et informent par radio EDF Renewables.

Le plan des mesures d'urgence est enclenché par EDF Renewables. Un appel MAYDAY est transmis à tous les travailleurs du parc éolien. Une équipe de secouristes possédant un défibrillateur et une planche dorsale est dépêchée sur les lieux, puis une première équipe d'ambulanciers intervient.

Le décès du travailleur est constaté sur place.

## **4.2 Constatations et informations recueillies**

### **4.2.1 Formations**

Les [ ... ] grutiers à l'œuvre possèdent leur carte de compétence délivrée par la Commission de la construction du Québec.

[ ... ]

[ ... ]

La formation spécifique à l'opération la grue Terex/Demag AC200 est offerte à l'interne par un travailleur d'expérience jumelé à un nouveau travailleur. Celle spécifique à l'opération la grue Liebherr est offerte notamment par un représentant du fabricant.

### **4.2.2 Équipements**

La grue démontée lors de l'événement est de marque Terex/Demag, modèle AC200-01, numéro [ ... ], d'une capacité de 240 tonnes. La grue est illustrée en configuration de transport à l'image 5. Celle-ci est utilisée lors des travaux sur l'éolienne avec une extension de la flèche principale, appelée fléchette. La fléchette utilisée comprend trois sections. Sur l'image 6, les sections de la fléchette sont identifiées par les chiffres 2, 3 et 4. La section 4 peut être repliée sur la section 3, ainsi les deux sections demeurent reliées et forment un assemblage (voir l'image 7). La section 4 étant plus courte que la section 3, la longueur de l'assemblage correspond à la longueur de cette dernière, soit de 9 351 mm.

La masse de l'assemblage des sections 3 et 4 est de 1 770 kg (3 895 lb).

Dans sa configuration de travail, les stabilisateurs de la grue sont installés sur des cales d'appuis. Des plaques d'acier sont utilisées à titre de cales. Ces cales sont communément appelées des « matelas ».



Image 5 : Grue Terex/Demag AC200 en configuration pour le transport  
(Source : manuel Terex/Demag AC200)

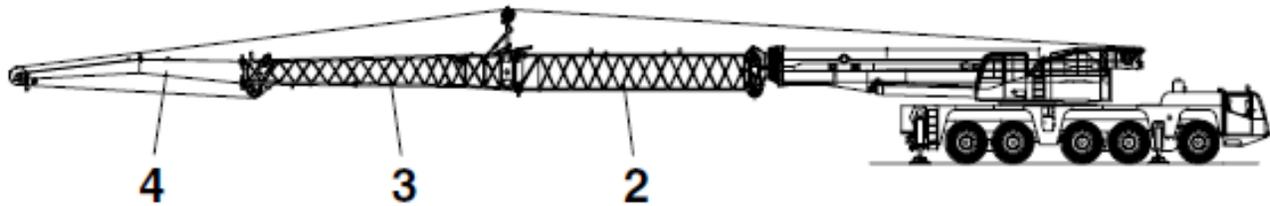


Image 6 : Grue Terex/Demag AC200 avec fléchette (Source : manuel Terex/Demag AC200)

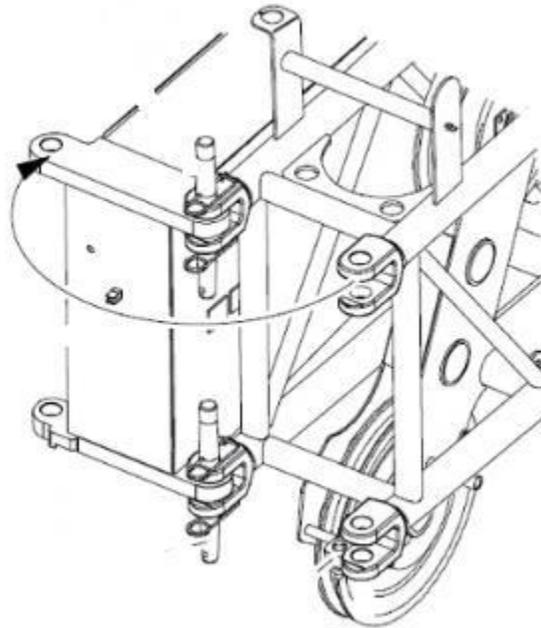


Image 7 : La section 4 repliée sur la section 3 (Source : manuel Terex/Demag AC200)

La grue utilisée pour la manipulation des sections de la fléchette est de marque Liebherr, modèle LTM1500, numéro [ ... ], d'une capacité de 650 tonnes.

Les semi-remorques utilisées pour le transport de composantes de la grue sont de marque Alutrec de type B-trains. Des supports individuels (*rack*) sont fixés en

permanence sur les plateformes pour faciliter l'arrimage des contrepoids de la grue. La hauteur des contrepoids chargés sur la remorque par rapport au sol est estimée à 1,68 m. Les sections de la fléchette sont par la suite déposées par-dessus ces contrepoids.

#### **4.2.3 Méthode de chargement et d'arrimage utilisée**

Les étapes suivantes décrivent la méthode de travail habituelle utilisée par les travailleurs pour le transport de la grue Terex/Demag AC200 :

1. Replier la section 4 de la fléchette sur la section 3;
2. Démonter l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette et le déposer au sol;
3. Démonter la section 2 de la fléchette et la déposer au sol;
4. Retirer un à un les contrepoids de la grue et les répartir sur les deux semi-remorques;
5. Retirer les cales une à une puis les déposer sur les semi-remorques;
6. Déposer les sections de la fléchette sur la semi-remorque arrière du train routier double à l'aide de la grue Liebherr. Les sections de la fléchette sont déposées au-dessus des contrepoids précédemment chargés. L'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette est positionné d'un côté de la remorque, de sorte à laisser un espace libre pour y déposer la section 2 de l'autre côté. Comme l'assemblage des sections 3 et 4 fait 9,351 m de long et que la plateforme de la semi-remorque arrière ne fait que 8,53 m, celui-ci est positionné à la limite à l'arrière et dépasse en porte-à-faux vers l'avant.  
L'assemblage des sections 3 et 4 repose à l'avant sur un blocage en bois. À l'autre extrémité, à l'arrière, la roue de téflon de la section 3 est déposée directement sur un contrepoids. Les images 8 et 9 illustrent l'assemblage des sections 3 et 4 déposé sur la semi-remorque;
7. Une fois que les sections 2, 3 et 4 de la fléchette sont déposées, les travailleurs les arriment à l'aide des sangles de la semi-remorque.

Le jour de l'accident, la méthode de chargement et d'arrimage de la fléchette utilisée par l'équipe des [ ... ] est la méthode habituelle précédemment décrite.



Image 8 : Emplacement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette déposé sur la remorque (Source : CNESST)



Image 9 : Emplacement des sections 3 et 4 sur la remorque (Source : CNESST)

#### 4.2.4 Triangle de stabilité

La présente sous-section décrit l'état de stabilité dans laquelle se trouve l'assemblage des sections 3 et 4 à la suite de son chargement sur la semi-remorque. Les trois appuis sont identifiés par les croix rouges et forment le triangle de stabilité, en jaune (voir l'image 10). Le centre de gravité est illustré par le disque rouge et blanc. Lorsque le centre de gravité se trouve à l'intérieur du triangle de stabilité, un effort doit être exercé sur l'assemblage pour provoquer son basculement.

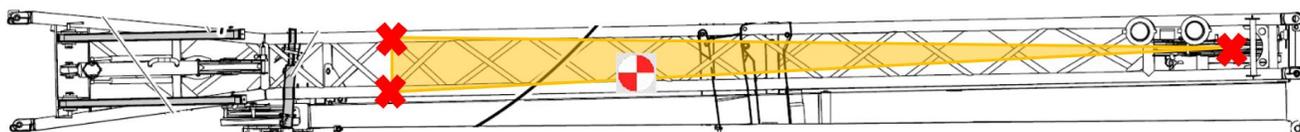


Image 10 : Vue en plan des sections 3 et 4 de la fléchette  
(Source : Terex/Demag, modifiée par CNESST)

Dans le cas présent, en raison des points d'appui utilisés, le centre de gravité de l'assemblage se retrouve près de la limite du triangle de stabilité. De plus, le fait que la semi-remorque soit stationnée dans une pente transversale d'environ 8 % a pour effet de repousser encore davantage le centre de gravité vers l'extérieur du triangle de stabilité. L'assemblage est donc en situation précaire, dans laquelle un faible effort peut provoquer son basculement.

À titre de référence, le plan de localisation du site de l'accident se trouve à l'annexe C. Celui-ci indique la pente et l'inclinaison de la semi-remorque.

#### 4.2.5 Reconstitution de l'accident

Lors de la reconstitution de l'accident, deux essais ont été réalisés directement sur les lieux de l'accident afin de reproduire précisément le déroulement de l'événement accidentel.

Pour ce faire, le train routier double et l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette sont repositionnés tel que cela avait été fait au moment de l'événement, selon les photos prises de la scène et avec l'aide des travailleurs et leur témoignage. L'assemblage des sections 3 et 4 est déposé sur la semi-remorque sur ses trois points d'appui et la tension est retirée dans les élingues de levage de manière à le rendre libre de déplacement.

Les deux essais menés montrent que le basculement de l'assemblage des sections 3 et 4 vers la gauche (côté conducteur) peut être provoqué par un faible effort. Par exemple, le simple déplacement d'une personne sur la semi-remorque, sans contact direct avec l'assemblage, provoque son basculement.

#### **4.2.6 Expertise**

Une expertise a été demandée pour déterminer l'inclinaison limite de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette et de définir la réaction aux appuis de ce même assemblage à la suite de son chargement sur la semi-remorque.

Les résultats de cette expertise montrent que l'inclinaison de la semi-remorque de 8,05 % est plus élevée que la valeur limite calculée de renversement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette, soit 6,5 %. Selon ces calculs, l'assemblage déposé sur la remorque ne peut demeurer en équilibre et bascule.

Au surplus, le rapport d'expertise illustre la réaction aux appuis de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette déposée sur la plateforme de la semi-remorque dans les instants précédant l'accident. Le résultat de l'ingénieur démontre une force négative à l'un des appuis, faisant ainsi la preuve de l'instabilité de l'assemblage et des raisons de son basculement.

L'intégralité de l'expertise est placée à l'annexe D.

#### **4.2.7 Méthode de travail prescrite par le fabricant**

Le manuel du fabricant dicte les consignes de sécurité quant aux différentes étapes à suivre pour démonter la fléchette. Certaines sont spécifiques à l'assemblage des sections 3 et 4. Des autocollants sont apposés sur les sections sous la forme d'avertissements pour informer les travailleurs. L'employeur possède le manuel en version anglaise seulement. Le manuel est disponible dans la grue. Les autocollants apposés sur la grue sont également uniquement en anglais.

De plus, le manuel donne deux prescriptions de sécurité supplémentaires à la méthode habituelle de chargement et de transport de l'assemblage des sections 3 et 4. Les travailleurs n'ont pas pris connaissance de ces prescriptions.

La première prescription exige la mise en place de béquilles (supports métalliques) aux quatre coins de l'assemblage. Les quatre points d'appui forment alors une surface rectangulaire, en périphérie de l'assemblage.

L'image 11 superpose le rectangle de stabilité (vert) généré par l'utilisation des points d'appui prescrits et le triangle de stabilité (jaune) résultant de la méthode de travail habituelle. L'utilisation des points d'appui prescrits a pour effet de centrer le centre de gravité à l'intérieur de la surface de stabilité qui est d'ailleurs agrandie. L'assemblage ainsi installé sur quatre points d'appui présente une plus grande stabilité diminuant le risque de renversement.

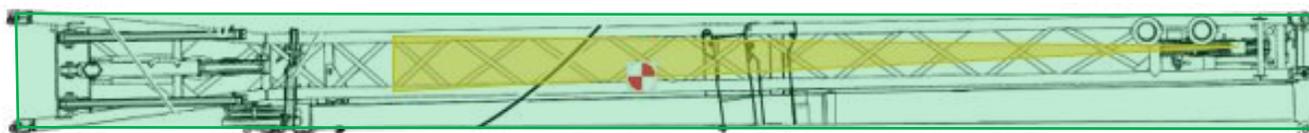


Image 11 : Vue en plan des sections 3 et 4 de la fléchette  
(Source : Terex/Demag, modifiée par CNESST)

Le manuel illustre l'ajout des béquilles (K et L) aux quatre coins de l'assemblage (voir l'image 12). Le manuel indique qu'il est possible d'utiliser des blocs de bois pour stabiliser l'assemblage. Il prévoit aussi l'utilisation de stabilisateurs (tiges métalliques) rétractables qui sont disponibles selon la configuration de la section 3. La section 3 de la présente fléchette est configurée pour offrir cette possibilité d'utiliser des stabilisateurs rétractables.

Cependant, ces stabilisateurs rétractables ou ces béquilles ne sont pas utilisés ni rendus disponibles sur les lieux de travail au moment de l'accident.

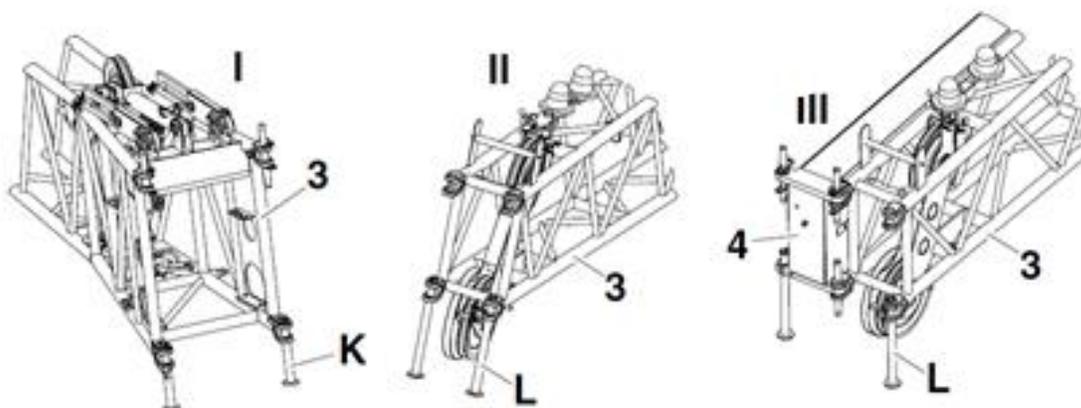


Image 12 : ajout des béquilles K et L (Source : Terex/Demag)

Le manuel du fabricant fait une mise en garde quant au risque d'écrasement en cas de basculement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette. La seconde prescription du fabricant demande de procéder à son arrimage avant de le détacher de ces élingues de levage. Voir l'extrait du manuel à l'annexe E.

#### 4.2.8 Méthode de chargement et d'arrimage de l'employeur

Selon les témoignages recueillis auprès des travailleurs et de l'employeur, les prescriptions du fabricant quant au chargement et au transport de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette ne sont pas appliquées, ni même connues.

L'employeur ne possède pas de procédure spécifique au chargement et au transport de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette.

L'employeur produit un plan de levage spécifique aux travaux de maintenance de l'éolienne et le transmet au donneur d'ouvrage avant le début des travaux. Ce plan ne

comporte pas d'information quant au chargement et au transport des composantes démontées des grues. Le plan de levage est signé et scellé par un ingénieur.

L'employeur possède un programme de prévention. Celui-ci identifie des risques lors de la phase de transport routier. L'image 13 illustre l'extrait du programme de prévention.

Image 13 : Extrait du programme de prévention (Source : Grues J.M. Francoeur inc.)

Selon le programme de prévention, afin de contrôler les risques lors de l'étape de l'arrimage et du désarrimage d'une remorque, les travailleurs ont pour tâche de s'assurer que le chargement est stable.

Les travailleurs interrogés nous apprennent qu'ils ont pour habitude d'évaluer la stabilité des charges déposées avant de les détacher. Dans le cas présent, les [ ... ] travailleurs présents sur la semi-remorque, qui ont détaché les élingues de levage de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette, ont évalué la charge comme étant stable. Leur évaluation n'a pas permis de faire ressortir l'état de stabilité précaire dans lequel la charge se trouvait. Cette évaluation de la stabilité de la charge s'est faite de manière subjective. Elle a été faite par l'observation des travailleurs présents sur la semi-remorque, sans procédure spécifique ni appareil de mesure.

#### **4.2.9 Instructions de sécurité générale**

La première section du manuel de la grue Terex/Demag AC200 porte spécifiquement sur les instructions de sécurité. La section 1.4.2 du manuel indique clairement que le grutier et le personnel travaillant à la maintenance, au montage et au démontage doivent être qualifiés et formés adéquatement. Ces travailleurs doivent avoir lu le manuel d'instruction avant de commencer l'opération, particulièrement la section « Consignes de sécurité ».

De plus, les travailleurs doivent faire l'objet de vérifications régulières afin de valider le respect des consignes contenues au manuel.

#### **4.2.10 Lois sur la santé et la sécurité du travail**

La *Loi sur la santé et la sécurité du travail* (LSST) stipule, aux articles suivants, que l'employeur doit :

- Article 51(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;
- Article 51(5)  
utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;
- Article 51(7)  
fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état;
- Article 51(9)  
informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié.

### **4.3 Énoncés et analyse des causes**

#### **4.3.1 L'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex/Demag AC200 déposé sur la remorque bascule et chute au sol, écrasant mortellement le travailleur.**

Lors du chargement des composantes de la grue Terex/Demag AC200, les sections 3 et 4 de la fléchette sont repliées l'une sur l'autre et demeurent assemblées entre elles. L'assemblage est déposé sur la semi-remorque arrière du train routier double au-dessus de deux contrepoids précédemment chargés et repose sur trois points d'appui. La position du centre de gravité se retrouve à la limite du triangle de stabilité formé par les trois points d'appui utilisés.

La pente du terrain sur laquelle est stationné le train routier double a une influence sur la stabilité des charges. Dans le cas présent, l'inclinaison transversale de la plateforme de la semi-remorque, d'environ 8 %, accentue l'instabilité de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette. Puisque les élingues de levage sont détachées alors que l'assemblage n'est toujours pas arrimé, les sections 3 et 4 de la fléchette sont laissées dans un état d'équilibre précaire, et libre de déplacement.

À la suite du chargement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette, [ ... ] travailleurs circulent autour de l'assemblage sur la semi-remorque et manipulent des objets (bandes élastiques, blocage en bois, etc.). Ces activités peuvent exercer une force directe ou indirecte sur l'assemblage (ex. : contact d'une sangle sur la fléchette, mouvement de la remorque, etc.).

Alors que M. [ C ] se trouve près de la remorque, du côté gauche (côté conducteur) pour préparer les sangles d'arrimage de la semi-remorque, l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette, d'une masse de 1 770 kg, bascule dans sa direction, et chute d'une hauteur estimée à 1,68 m jusqu'au sol, l'écrasant mortellement.

Les résultats des essais réalisés lors de la reconstitution de l'accident démontrent que le simple déplacement d'un travailleur marchant sur la semi-remorque est suffisant pour provoquer le basculement et la chute au sol de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette.

Les résultats de l'expertise abondent en ce sens et mettent en évidence la précarité de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette en raison des 3 appuis utilisés et de l'inclinaison de la semi-remorque. En effet, l'inclinaison limite théorique de l'assemblage est de 6,5 % alors que l'inclinaison de la semi-remorque au moment de l'événement est de 8,05 %.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.2 La méthode de travail de chargement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex/Demag AC200 en vue de son transport expose le travailleur à un danger d'écrasement.**

La méthode définie par le fabricant émet deux prescriptions qui n'ont pas été appliquées.

En premier lieu, le manuel du fabricant prescrit l'utilisation de béquilles, de stabilisateurs rétractables ou de blocages. Cette méthode permet d'obtenir une surface de stabilité rectangulaire beaucoup plus importante qui augmente la stabilité de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette. À l'opposé, la méthode appliquée utilise uniquement trois points d'appui formant une surface de stabilité triangulaire, plus petite. Ceci a pour effet de positionner le centre de gravité à la limite du triangle de stabilité.

En second lieu, le manuel du fabricant prescrit d'arrimer l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette pour éliminer tout déplacement imprévu de celui-ci, et ce, avant de détacher les élingues de levage. Or, la méthode de travail habituelle et appliquée lors de l'accident prévoit l'inverse, soit de détacher l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette, et d'arrimer celui-ci à la semi-remorque après le chargement de la section 2. L'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette demeure donc libre de déplacement durant les étapes subséquentes du chargement. Cette situation fait en sorte que

l'assemblage peut se déplacer librement sous l'effet d'une force externe et chuter de la semi-remorque.

Ces deux prescriptions du fabricant pour encadrer la méthode de travail ne sont pas connues de l'employeur ni des travailleurs interrogés.

L'employeur possède un programme de prévention qui demande de s'assurer de la stabilité des charges lors des tâches d'arrimage et désarrimage d'une remorque. Le programme de prévention ne précise pas comment cette évaluation doit être accomplie. Bien que le témoignage des travailleurs qui ont détaché les élingues nous apprend que la charge leur apparaissait stable, l'appréciation de la stabilité réelle de la charge demeure subjective et peut être faussée par certains facteurs, notamment le relief du terrain à l'endroit où est stationné le train routier double ainsi que les points d'appui utilisés.

La tâche d'arrimage nécessite la présence d'un travailleur le long de la semi-remorque, qui se tient debout, au sol, du côté gauche, pour préparer les sangles d'arrimage enroulées. Le travailleur se retrouve alors directement dans la zone d'écrasement formée par la chute de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette. La méthode prévoit aussi que l'arrimage n'est effectué qu'après que le chargement des trois sections soit complété. Le travailleur qui se tient debout, à gauche de la remorque, pour manipuler les sangles, se retrouve directement dans la zone de chute des sections de la fléchette.

La méthode de travail appliquée lors de l'événement correspond à la méthode habituelle utilisée par les travailleurs.

En l'absence d'une procédure définie par l'employeur, les travailleurs appliquent une méthode de travail qui leur apparaît sécuritaire. Dans les faits, suivant cette méthode, la stabilité de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette installée sur la semi-remorque est toujours précaire. Il a suffi que la pente du terrain soit suffisante pour permettre son renversement suivi de sa chute, et ce, en lui appliquant très peu d'effort.

Cette cause est retenue.

## SECTION 5

### 5 CONCLUSION

#### 5.1 Causes de l'accident

- L'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex/Demag AC200 déposé sur la remorque bascule et chute au sol, écrasant mortellement le travailleur.
- La méthode de travail de chargement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex/Demag AC200 en vue de son transport expose le travailleur à un danger d'écrasement.

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

Le 11 juin 2020, deux décisions sont émises à l'employeur (Grues J.M. Francoeur inc.) et sont consignées au rapport d'intervention RAP1307308. La première décision ordonne la suspension des travaux avec la fléchette portée sur la grue Terex/Demag AC200. Un scellé est apposé sur l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette. La seconde décision ordonne la suspension des travaux de chargement des équipements de grue.

Le 16 juin 2020, une décision est levée et consignée au rapport d'intervention RAP1307934. La décision autorise la reprise des travaux de chargement des équipements de grue puisque l'employeur s'est conformé aux conditions de reprise exigées. L'employeur présente une procédure de chargement sécuritaire formelle délivrée par un ingénieur et en informe les travailleurs.

Le 13 juillet 2020, une dérogation est émise à l'employeur et consignée au rapport d'intervention RAP1310351. La dérogation a pour objectif d'obtenir des informations dans le cadre de l'enquête.

Le 23 juillet 2020, la dérogation est effectuée et consignée au rapport d'intervention RAP1312671. L'employeur a transmis les informations exigées.

Le 31 août 2020, deux dérogations sont émises à l'employeur et sont consignées au rapport d'intervention RAP1316895. L'employeur doit réviser la procédure de chargement et de transport délivrée par un ingénieur afin de prendre en compte les prescriptions du fabricant de la grue Terex/Demag AC200. Il doit également former et informer ses travailleurs sur la procédure mise à jour.

Le 11 septembre 2020, une décision est levée et consignée au rapport d'intervention RAP1418303. La décision autorise l'utilisation de la fléchette portée sur la grue Terex/Demag AC200, puisque l'employeur s'est conformé aux conditions de reprises exigées en faisant la démonstration de la conformité de la fléchette à la norme CSA Z150-16, par le biais du rapport de conformité délivré par une ingénieure.

Le 13 novembre 2020, deux dérogations sont effectuées et consignées au rapport d'intervention RAP1326344. L'employeur a mis à jour la procédure de chargement et de transport afin de prendre en compte les prescriptions du fabricant de la grue Terex/Demag AC200. Il a également informé ses travailleurs sur la procédure mise à jour.

### **5.3 Suivi de l'enquête**

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

- Association des propriétaires de grues du Québec;
- Association de la construction du Québec;
- Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec;
- Association québécoise des entrepreneurs en infrastructure;
- Association patronale des entreprises en construction du Québec;
- Association des entrepreneurs en construction du Québec;
- Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec.

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 des fins informatives et pédagogiques le rapport d'enquête dans les établissements de formation où est offerte la formation de grutier.

**ANNEXE A****Accidenté**

**Nom, prénom** : [ C ]

Sexe : [ ... ]

Âge : [ ... ]

Fonction habituelle : [ ... ]

Fonction lors de l'accident : Grutier, attitré à la grue Terex/Demag AC200

Expérience dans cette fonction : [ ... ]

Ancienneté chez l'employeur : [ ... ]

Syndicat : [ ... ]

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

M. [ D ]	[ ... ]	Grues J.M. Francoeur inc.
M. [ E ]	[ ... ]	Grues J.M. Francoeur inc.
M. [ F ]	[ ... ]	Grues J.M. Francoeur inc.

**Autres personnes rencontrées :**

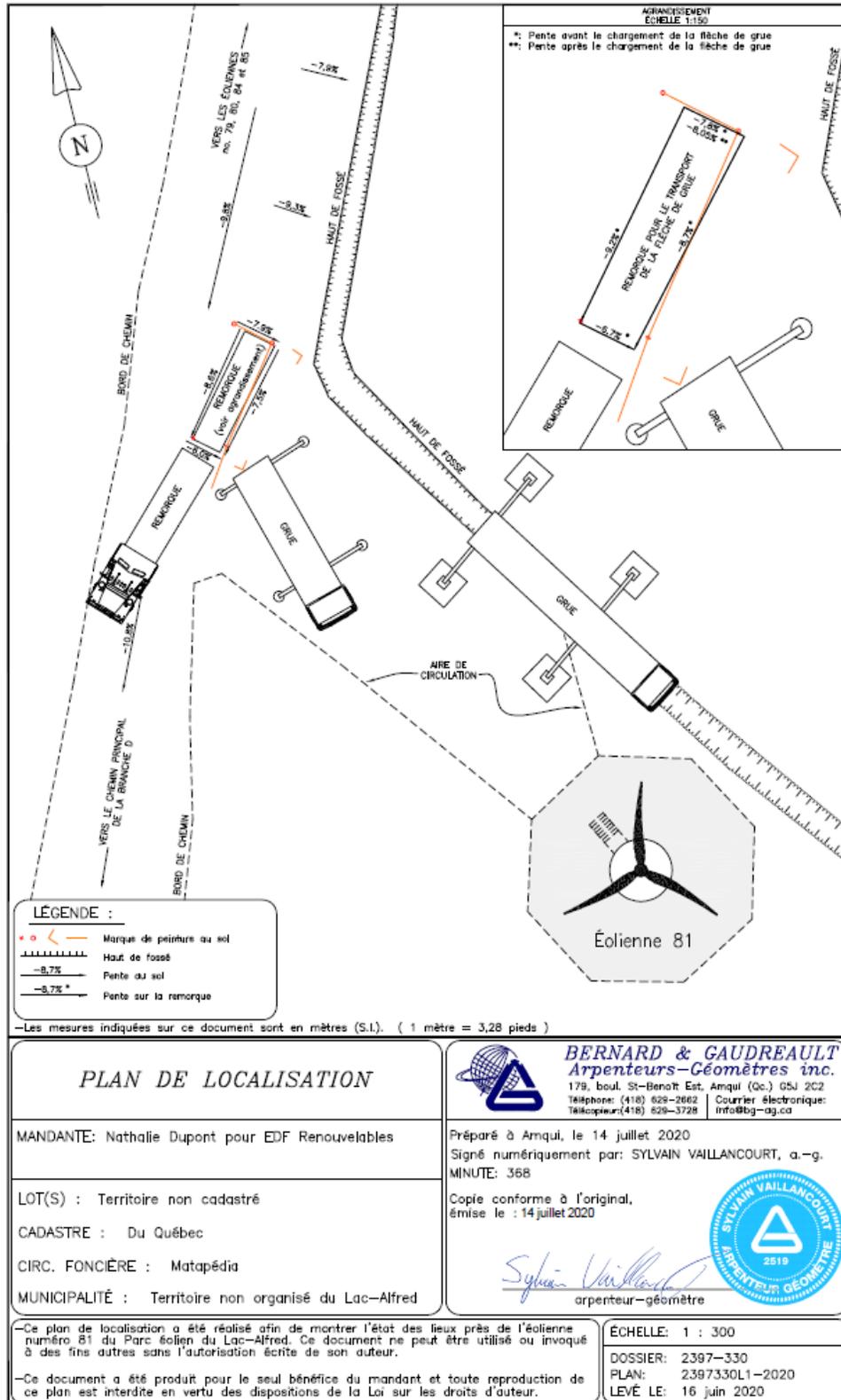
M. Philippe Audet	enquêteur	Sûreté du Québec
M. [ H ]	[ ... ]	Services X Wind inc.
M. [ I ]	[ ... ]	Services X Wind inc.
M. [ J ]	[ ... ]	Services X Wind inc.
M. [ K ]	[ ... ]	Services X Wind inc.
Mme [ L ]	[ ... ]	EDF Renewables
M. [ M ]	[ ... ]	EDF Renewables
M. [ G ]	[ ... ]	Grues J.M. Francoeur inc.
M. [ N ]	[ ... ]	Grues J.M. Francoeur inc.
M. [ A ]	[ ... ]	Grues J.M. Francoeur inc.
M. [ O ]	[ ... ]	Union internationale des opérateurs ingénieurs (Local 905)
M. [ P ]	[ ... ]	Bernard & Gaudreau
M. [ Q ]	[ ... ]	Arpenteurs-géomètres inc. Enbridge

**Autres personnes contactées :**

Me Jean Pierre Chamberland	coroner	
M. [ R ]	[ ... ]	Grues J.M. Francoeur inc.

## ANNEXE C

### Plan de localisation



## ANNEXE D

### Rapport de l'expertise

#### RAPPORT TECHNIQUE

SPÉCIALITÉS : STRUCTURE ET GÉNIE CIVIL

## EXPERTISE DE L'INFLUENCE DE L'INCLINAISON DE LA PLATEFORME SUR LE BASCULEMENT DE LA FLÉCHETTE DE GRUE

PRÉSENTÉ À :

**M. SIMON-PIERRE D'AMOURS**

CNESST  
524, rue Bourdages  
Québec, Qc G1M 1A1

ADRESSE DE LA  
STRUCTURE À L'ÉTUDE :

Parc éolien du Lac-Alfred

11 février 2021  
Référence EMS : U20-257

Date de l'accident : 10 juin 2020

Pièces jointes : Extraits  
Photographies  
Plans  
Notes de calculs

*Keven Roseberry*

**PAR : Keven Roseberry, ing.**

Numéro OIQ : 5074406  
RÉVISION : 0



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>MANDAT</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>CONTEXTE</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>DESCRIPTION DE LA SCÈNE</b>	<b>2</b>
<b>4.</b>	<b>GÉOMÉTRIE DE L'ASSEMBLAGE DES SECTIONS 3 ET 4 DE LA FLÉCHETTE</b>	<b>3</b>
<b>5.</b>	<b>ANALYSE ET DISCUSSION</b>	<b>3</b>
5.1	STABILITÉ DE L'ASSEMBLAGE DES SECTIONS 3 ET 4 DE LA FLÉCHETTE	3
5.2	RÉACTIONS AUX APPUIS	5
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>6</b>
<b>ANNEXES</b>		
A	Extrait 1 du manuel de la grue	i
B	Photos prises par la CNESST	x
C	Plan de localisation réalisé par l'arpenteur-géomètre	xii
D	Plan de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette du fabricant	xiv
E	Note de calculs	xvi
F	Extrait 2 du manuel de la grue	xxiii
G	Représentation des réactions aux appuis	xxviii



## 1. MANDAT

Vous avez mandaté *Investigation EMS* afin d'effectuer une expertise sur l'influence de l'inclinaison de la plateforme sur la matérialisation de l'accident mortel survenu le 10 juin 2020 au Parc éolien du Lac-Alfred. Plus précisément, notre mandat consistait à :

- Déterminer l'inclinaison limite de la stabilité de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette en fonction de son centre de gravité théorique, de ses appuis réels et en tenant compte de l'orientation la plus défavorable de la fléchette ;
- Déterminer la force de réaction de chacun des trois (3) points d'appui de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette selon l'inclinaison réelle de la plateforme et se prononcer sur la stabilité de la fléchette lorsqu'il est déposé sur la plate-forme ;
- Présenter les résultats à l'aide d'un support visuel.

Nous n'avons réalisé aucune visite sur les lieux dans le cadre du mandat. Pour réaliser notre expertise, nous avons consulté les documents suivants :

- Photographies prises par l'inspecteur Simon-Pierre D'Amours de la CNESST lors d'une reconstitution de la scène ;
- Plan de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette du fabricant ;
- Plan de localisation réalisé par l'arpenteur-géomètre S
- Plans pour la manutention de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette réalisés par Grues Francoeur ;
- Manuel de la grue Terex-Demag AC 200-1.

## 2. CONTEXTE

Le 10 juin 2020, au pied de l'éolienne 81 du Parc éolien du Lac-Alfred, l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex-Demag AC 200-1 est déposé, sur trois (3) points d'appui,



sur une remorque inclinée pour être transporté. Alors qu'un travailleur se trouve à proximité, l'assemblage bascule, chute de la remorque et frappe le travailleur.

### 3. DESCRIPTION DE LA SCÈNE

Les sections 3 et 4 de la fléchette de la grue Terex-Demag AC 200-1 servent d'extension au mat principal de la grue. Lorsqu'utilisées comme extension du mat principal, ces deux (2) sections sont assemblées bout à bout et la section 4 correspond à l'extrémité du mat (extrait 1 du manuel de la grue à l'annexe A). Lorsque démantelées du mat principal de la grue, ces deux (2) sections peuvent être repliées l'une sur l'autre, car une de leurs extrémités est munie de charnières. Cette configuration des sections 3 et 4 de la fléchette est utilisée pour le transport (voir la deuxième page des photos prises par la CNESST à l'annexe B).

Le 10 juin 2020, l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue, en position repliée pour le transport, est déposé sur une remorque pour être transporté. L'assemblage repose alors sur trois (3) points d'appui, soit un appui à l'arrière de la remorque au côté nord-est et deux (2) appuis près de l'avant de la remorque au côté sud-ouest (voir la deuxième page des photos prises par la CNESST à l'annexe B). Plus précisément, au nord-est, l'appui de l'assemblage est un élément circulaire se trouvant près de la jonction à charnières entre les sections 3 et 4 (voir la cinquième page des photos prises par la CNESST à l'annexe B). Au sud-ouest, l'assemblage repose sur deux (2) membrures longitudinales du treillis composant la section 3. L'assemblage est déposé sur la remorque parallèlement à sa longueur. La section 3 se trouve du côté nord-ouest et la section 4 du côté sud-est.

La remorque sur laquelle repose l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette est en pente. Dans son sens court, avant le chargement de la fléchette, la remorque penchait de 6,7 à 7,8% vers son côté sud-est. Suite au chargement de la fléchette sur la remorque, la pente de l'extrémité nord-est de la remorque passe de 7,8 à 8,05%. Dans son sens long, la remorque penchait de 8,7 à 9,2% vers son côté sud-ouest, c'est-à-dire vers l'avant de la remorque. Ces pentes ainsi que l'arrangement global sont présentés sur le plan de localisation réalisé par l'arpenteur-géomètre **S** présenté à l'annexe C.



#### 4. GÉOMÉTRIE DE L'ASSEMBLAGE DES SECTIONS 3 ET 4 DE LA FLÉCHETTE

Lorsqu'il était déposé sur la remorque, l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette était en position fermée, c'est-à-dire que les deux (2) sections étaient repliées l'une sur l'autre. Dans cette position, le centre de gravité dans le sens horizontal de l'assemblage se trouve à environ 122 mm en direction de la section 4 de l'axe central longitudinal de la section 3. En considérant l'installation démontrée au plan de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette du fabricant, le centre de gravité dans le sens vertical de l'assemblage se trouve environ 718 mm plus haut que l'extrémité de la section 3 qui n'est pas connectée à la section 4. Ces dimensions proviennent du plan de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette du fabricant présenté à l'annexe D.

#### 5. ANALYSE ET DISCUSSION

##### 5.1 STABILITÉ DE L'ASSEMBLAGE DES SECTIONS 3 ET 4 DE LA FLÉCHETTE

Afin de déterminer l'angle d'inclinaison de déversement de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette en position repliée, nous avons considéré les données suivantes :

- La section 4 de la fléchette se trouve du côté du déversement. Cette position est la même que celle sur les lieux. Elle est également la position dans laquelle l'angle de déversement est le plus petit puisque le centre de gravité de l'assemblage se situe du côté du déversement par rapport à l'axe central des appuis.
- L'assemblage repose sur la remorque sur trois (3) points d'appui. L'appui au nord-est est un élément circulaire, se situe à environ 416 mm de l'extrémité nord-est et est excentré d'environ 76 mm (3 po) en son centre par rapport au centre de la section 3. Les appuis au sud-ouest sont des points de contact entre un bloc de bois et une (1) membrure longitudinale du treillis de l'assemblage. Ces appuis se situent à environ 3175 mm de l'extrémité sud-ouest, sont espacés entre eux d'environ 406 mm (16 po) et sont équidistants du centre de la section 3. Les dimensions proviennent des photographies prises par l'inspecteur Simon-Pierre D'Amours de la CNESST (voir la septième et huitième pages des photos prises par la CNESST à l'annexe B) lors d'une reconstitution



de la scène ou ont été relevées à l'échelle sur le plan de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette du fabricant.

- Le centre de gravité dans le sens horizontal de l'assemblage se situe à l'endroit démontré sur le plan de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette du fabricant et décrit à la section 4. En considérant la configuration de l'assemblage démontrée aux photographies prises par l'inspecteur Simon-Pierre D'Amours de la CNESST lors d'une reconstitution de la scène, nous estimons le centre de gravité dans le sens vertical de l'assemblage à environ 894 mm au-dessus du point de contact des appuis. Cette dimension a été relevée à l'échelle sur le plan de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette du fabricant en considérant que les points de contact des appuis se situent tous à la même élévation et que cette dernière correspond au-dessous de la pièce circulaire servant d'appui.

Comme l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue repose sur trois (3) points d'appui, la stabilité est assurée tant que le centre de gravité de l'assemblage se situe à l'intérieur du triangle de stabilité formé par les appuis. Le triangle de stabilité est la projection horizontale formée en reliant les points d'appui par des droites. Si le centre de gravité se situe en dehors du triangle de stabilité, l'assemblage déverse. Une inclinaison de l'assise de l'assemblage, telle que l'inclinaison de la plateforme dans le cas à l'étude, pourrait déplacer le centre de gravité en dehors du triangle de stabilité formé par les appuis.

Avec les données énumérées ci-haut, dans la configuration énoncée précédemment et présentée au plan de localisation réalisé par l'arpenteur-géomètre Sylvain Vaillancourt, nos calculs démontrent que l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette déverse du côté sud-est lorsque la pente de la remorque sur laquelle l'assemblage est déposé dépasse une pente négative vers la direction sud-est d'environ 6,5%. Le détail des calculs est présenté à l'annexe E.

Les pentes négatives vers la direction sud-est de la remorque, relevées sur place par l'arpenteur-géomètre Sylvain Vaillancourt, sont de 6,7 à 7,8% avant le chargement de l'assemblage sur la remorque. Suite à ce dernier, la pente vers la direction sud-est de l'extrémité nord de la remorque atteint 8,05%. Toutes ces pentes dépassent la pente théorique à laquelle l'assemblage déverse.

Selon ce que nous avons pu constater de la documentation reçue, l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette n'était pas déposé sur la remorque conformément aux instructions du manuel



de la grue pour un transport séparé d'avec la grue, comme dans le cas à l'étude. Selon le même manuel, l'assemblage aurait dû être déposé sur des supports prévus à cet effet (extrait 2 du manuel de la grue à l'annexe F), ce qui n'a pas été fait sur place. Il ne nous est pas possible, avec les informations dont nous disposons, de savoir si l'assemblage des sections 3 et 4 aurait déversé s'il avait été déposé sur des supports conformément au manuel de la grue. Cependant, nous sommes d'avis que la pente minimale nécessaire au basculement de l'assemblage aurait été plus grande s'il avait été déposé sur des supports conformément au manuel.

## 5.2 RÉACTIONS AUX APPUIS

Afin d'évaluer les réactions aux trois appuis, nous avons considéré le poids des sections 3 et 4 de l'assemblage et la pente dans la direction sud-est de la remorque. Aux fins d'évaluation des réactions, nous avons négligé la pente de la remorque dans la direction sud-ouest puisque son influence est minime sur les réactions aux appuis. Les résultats de notre analyse sommaire des réactions aux appuis sont les suivants :

- Réactions à l'appui nord-est
  - Réaction verticale = 8,209 kN
  - Réaction parallèle à la surface de la remorque = 0,661 kN
  - Réaction perpendiculaire à la surface de la remorque = 8,183 kN
- Réactions aux appuis sud-ouest
  - Réaction verticale totale = 9,109 kN
  - Réaction parallèle totale à la surface de la remorque = 0,610 kN
  - Réaction parallèle sud-est à la surface de la remorque = 0,395 kN
  - Réaction parallèle nord-ouest à la surface de la remorque = 0,215 kN
  - Réaction perpendiculaire totale à la surface de la remorque = 9,089 kN
  - Réaction perpendiculaire sud-est à la surface de la remorque = 9,683 kN



- o Réaction perpendiculaire nord-ouest à la surface de la remorque = -0,594 kN

Le détail des calculs et des schémas démontrant les réactions sont présentés aux annexes E et G. La réaction négative obtenue à l'appui sud-ouest se trouvant du côté nord-ouest signifie qu'une force vers le bas est nécessaire afin d'empêcher le déversement de l'assemblage. Or, puisqu'aucun élément ne retenait cet appui en place, le soulèvement de cet appui, donc le déversement de l'assemblage, a été rendu possible. Il est à toutefois noter que les résultats obtenus proviennent d'une analyse sommaire et pourraient ne pas représenter les efforts réels. En ce sens, bien que l'analyse effectuée pour déterminer les réactions d'appui ait été suffisante pour déterminer s'il y avait un soulèvement à l'appui sud-ouest se trouvant du côté nord-ouest, nous sommes d'avis que l'analyse par la zone de stabilité de l'assemblage en fonction de ses appuis et de son centre de masse est plus précise pour déterminer la pente de déversement de l'assemblage. Une analyse plus poussée des réactions pourrait permettre d'arriver au même résultat que l'analyse par la zone de stabilité.

## 6. CONCLUSION

Avec les informations qui nous ont été transmises et en considérant les hypothèses énumérées dans les sections précédentes, l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette de la grue déverse lorsque la pente est négative vers la direction sud-est et dépasse environ 6,5%. Les pentes négatives vers la direction sud-est de la remorque, relevées sur place par l'arpenteur-géomètre **S** sont de 6,7 à 8,05%. Toutes ces pentes dépassent la pente théorique à laquelle l'assemblage déverse. En ce sens, en considérant les pentes réelles de la remorque, nous sommes d'avis que, de manière théorique, il était inévitable que l'assemblage déverse. Bien qu'il ne nous soit pas possible, avec les informations dont nous disposons, d'évaluer la pente maximale de stabilité de l'assemblage appuyé selon les instructions au manuel de la grue, nous croyons que cette pente est supérieure à celle de la configuration effectuée sur les lieux. Il est donc possible, selon nous, que le respect des instructions au manuel de la grue ait pu permettre d'éviter le déversement de l'assemblage.



ANNEXE A

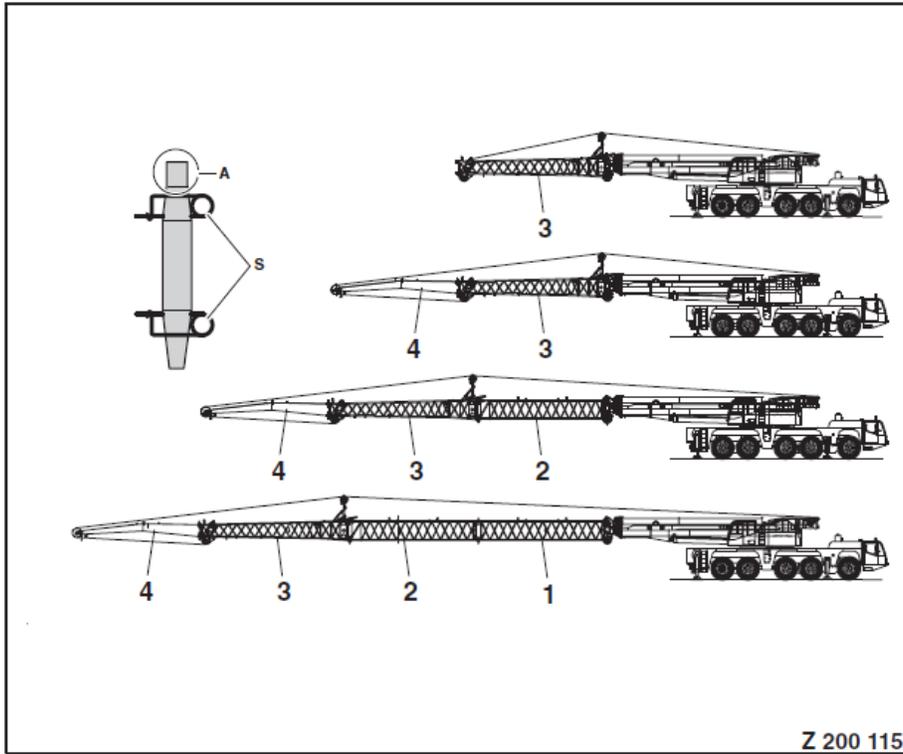
LE GÉNIE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION

**ANNEXE A**

**EXTRAIT 1 DU MANUEL DE LA GRUE**

CNESST  
Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le  
basculement de la flèche de grue

Page i sur xxxiii  
Février 2021





**ANNEXE B**

**PHOTOS PRISES PAR LA CNESST**

















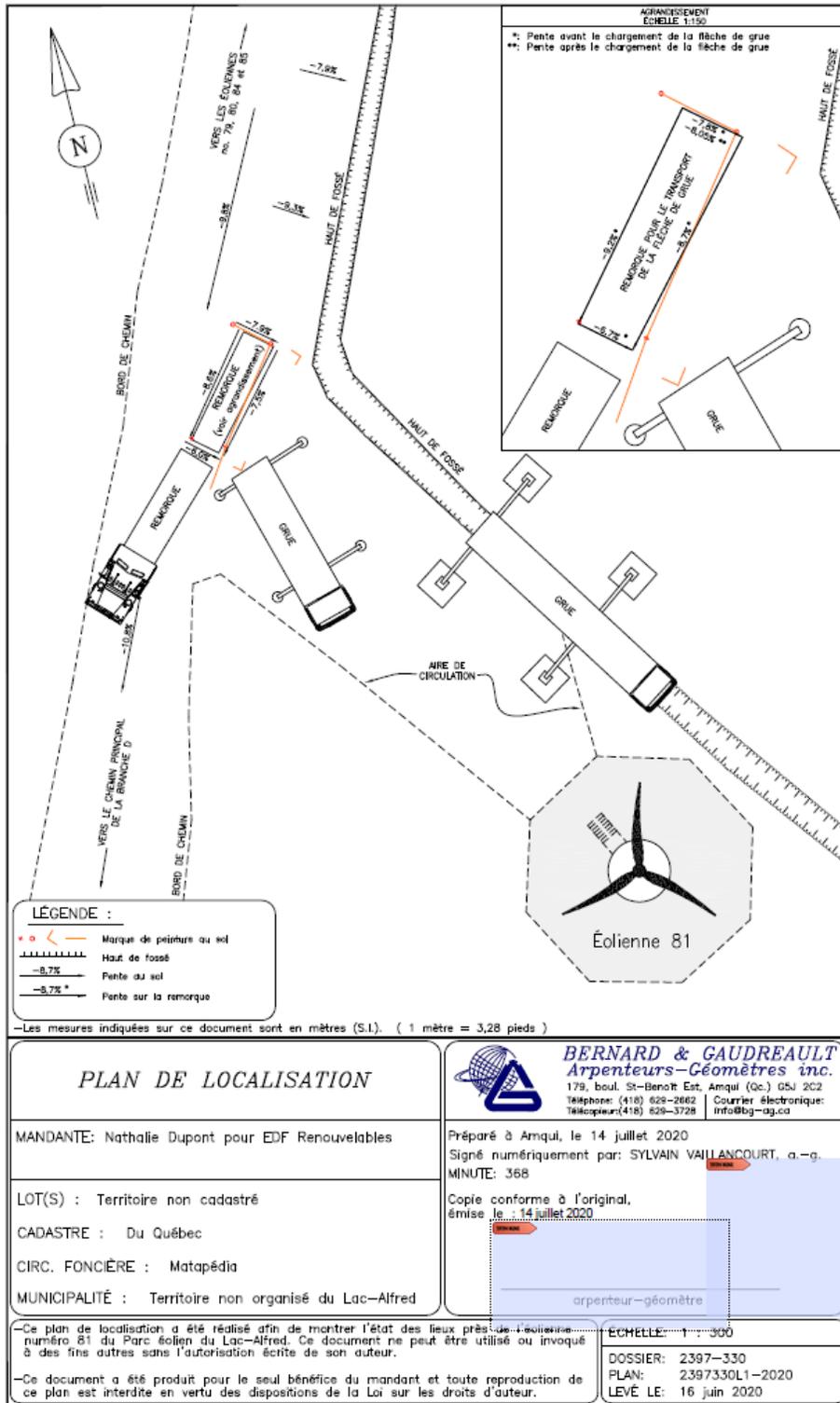


ANNEXE C

LE GÉNIE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION

**ANNEXE C**

**PLANS DE LOCALISATION RÉALISÉ PAR L'ARPENTEUR-  
GÉOMÈTRE**





ANNEXE D

LE GÉNIE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION

**ANNEXE D**

**PLAN DE L'ASSEMBLAGE DES SECTIONS 3 ET 4 FR LS  
FLÉCHETTE DU FABRICANT**





ANNEXE E

LE GÉNIE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION

**ANNEXE E**

**NOTES DE CALCULS**

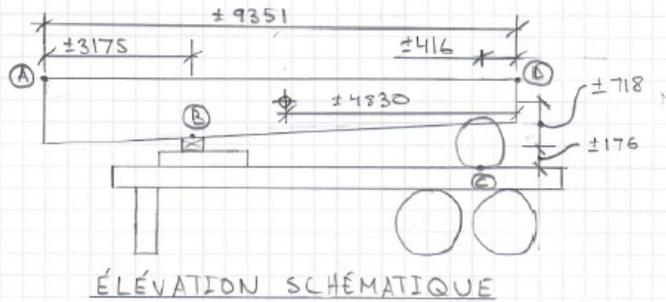


**Projet:** Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le basculement de la fléchette  
**No. projet:** U20-257  
**Sujet:** Note de calcul

**Par:** Keven Roseberry, ing.  
**No. OIQ:** 5074406  
 02/09/2021

**Stabilité de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette**

Géométrie



Extrémité sud-ouest = Point A  
 Appuis sud-ouest = Point B  
 Appui nord-est = Point C  
 Extrémité nord-est = Point D

Longueur total de l'assemblage:  $L_{tot} := 9351 \text{ mm}$   
 Distance horizontale B à C:  $L := L_{tot} - 3175 \text{ mm} - 416 \text{ mm} = 5760 \text{ mm}$   
 Distance centre de masse à C:  $d := 4830 \text{ mm} - 416 \text{ mm} = 4414 \text{ mm}$

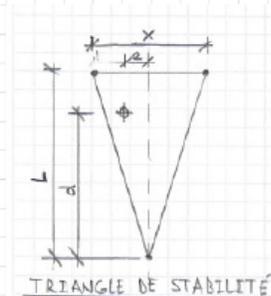
Distance entre les deux appuis sud-ouest:  $x := 16 \text{ in} = 406.4 \text{ mm}$

Excentricité appui C p/r centre appuis:  $e_C := \frac{x}{2} - 3.875 \text{ in} = 104.775 \text{ mm}$

Excentricité centre de masse p/r centre appuis:  $e := 122 \text{ mm}$

Hauteur centre de masse p/r appuis:  $h := 176 \text{ mm} + 718 \text{ mm} = 894 \text{ mm}$

Triangle de stabilité





**Projet:** Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le basculement de la fléchette  
**No. projet:** U20-257  
**Sujet:** Note de calcul

**Par:** Keven Roseberry, ing.  
**No. OIQ:** 5074406  
 02/09/2021

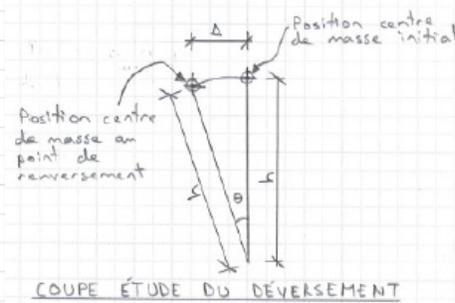
Vérification si centre de masse se trouve dans le triangle de stabilité lorsque l'assemblage repose sur une surface sans pente:

$$e_{max} := \left( \frac{x}{2} - e_C \right) \cdot d + e_C = 180.2 \text{ mm} > e = 122 \text{ mm}$$

Sur une surface sans pente, l'assemblage ne déverse pas.

Déplacement horizontal du centre de masse pour déversement:

$$\Delta := e_{max} - e = 58.2 \text{ mm}$$



$$\theta := \text{asin} \left( \frac{\Delta}{h} \right) = 3.733 \text{ deg}$$

Pente en %:  $\alpha := \tan(\theta) = 6.524\%$

La pente théorique de déversement est:  $\alpha = 6.524\%$



**Projet:** Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le basculement de la fléchette  
**No. projet:** U20-257  
**Sujet:** Note de calcul

**Par:** Keven Roseberry, ing.  
**No. OIQ:** 5074406  
 02/09/2021

## Réactions aux appuis de l'assemblage des sections 3 et 4 de la fléchette

### Poids des sections 3 et 4

- 1) Le poids total des sections 3 et 4 est connu
- 2) Le centre de masse des sections 3 et 4 est connu
- 3) Le centre de masse combiné des sections 3 et 4 est connu

Il est donc possible de déterminer le poids individuel des sections 3 et 4.

$$M_{tot} := M3 + M4$$

$$c := \frac{M3}{M3 + M4} \cdot c_3 + \frac{M4}{M3 + M4} \cdot c_4$$

$$M_{tot} := 1766 \text{ kg}$$

$$c_3 := -122 \text{ mm} \quad c_4 := 389 \text{ mm} - \text{abs}(c_3) = 267 \text{ mm} \quad c := 0 \text{ mm}$$

$$M3 := 1212.139 \text{ kg}$$

$$M4 := 553.861 \text{ kg}$$

$$P3 := M3 \cdot g = 11.887 \text{ kN}$$

$$P4 := M4 \cdot g = 5.432 \text{ kN}$$

### Réactions d'appui pour la section 4

La section 4 est en porte-à-faux et supportée à l'extrémité nord-est. La réaction d'appui se situe seulement à l'extrémité nord-est.

Réaction verticale:

$$R_{C\_section4} := P4 = 5.432 \text{ kN}$$

En considérant l'inclinaison de la remorque, à l'exception de l'inclinaison dans le sens de la longueur, les réactions sont les suivantes:

$$\phi := 8.05\% \quad (\text{pente après chargement})$$

Réaction parallèle à la remorque:

$$R_{C\_section4\_par} := R_{C\_section4} \cdot \phi = 0.437 \text{ kN}$$

Réaction perpendiculaire à la remorque:

$$R_{C\_section4\_per} := \sqrt{R_{C\_section4}^2 - R_{C\_section4\_par}^2} = 5.414 \text{ kN}$$

Moment en C:

$$\text{Bras de levier:} \quad e_{P4} := 389 \text{ mm} - e_C = 284.225 \text{ mm}$$



**Projet:** Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le basculement de la fléchette  
**No. projet:** U20-257  
**Sujet:** Note de calcul

**Par:** Keven Roseberry, ing.  
**No. OIQ:** 5074406  
 02/09/2021

$M := P4 \cdot e_{P4} = 1.544 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Réactions d'appui pour la section 3

La section 3 est appuyé à 2 endroits, soit en B et en C.

$a := d = 4414 \text{ mm}$   
 $b := L_{tot} - 3175 \text{ mm} - 4830 \text{ mm} = 1346 \text{ mm}$   
 $L = 5760 \text{ mm}$

Réactions en C:

Réaction verticale:

$R_{C\_section3} := \frac{P3 \cdot b}{L} = 2.778 \text{ kN}$

En considérant l'inclinaison de la remorque, à l'exception de l'inclinaison dans le sens de la longueur, les réactions sont les suivantes:

$\phi := 8.05\%$  (pente après chargement)

Réaction parallèle à la remorque:  
 $R_{C\_section3\_par} := R_{C\_section3} \cdot \phi = 0.224 \text{ kN}$

Réaction perpendiculaire à la remorque:  
 $R_{C\_section3\_per} := \sqrt{R_{C\_section3}^2 - R_{C\_section3\_par}^2} = 2.769 \text{ kN}$

Réactions en B:

En considérant l'inclinaison de la remorque, à l'exception de l'inclinaison dans le sens de la longueur, les réactions sont les suivantes:

$\phi := 6.7\%$

Décalage centre de masse de la section 3:  $exc := h \cdot \phi = 59.898 \text{ mm}$

Distance de part et d'autre du centre de masse décalé:  
 $A := \frac{x}{2} - exc = 143.302 \text{ mm}$        $B := \frac{x}{2} + exc = 263.098 \text{ mm}$



**Projet:** Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le basculement de la fléchette  
**No. projet:** U20-257  
**Sujet:** Note de calcul

**Par:** Keven Roseberry, ing.  
**No. OIQ:** 5074406  
 02/09/2021

Réaction verticale sans considérer le moment:

$$R_{B\_section3} := \frac{P3 \cdot a}{L} = 9.109 \text{ kN}$$

$$R_{B\_section3\_SE} := \frac{R_{B\_section3} \cdot B}{x} = 5.897 \text{ kN}$$

$$R_{B\_section3\_NO} := \frac{R_{B\_section3} \cdot A}{x} = 3.212 \text{ kN}$$

Réaction parallèle à la remorque sans considérer le moment:

$$R_{B\_section3\_par} := R_{B\_section3} \cdot \phi = 0.61 \text{ kN}$$

$$R_{B\_section3\_par\_SE} := \frac{R_{B\_section3\_par} \cdot B}{x} = 0.395 \text{ kN}$$

$$R_{B\_section3\_par\_NO} := \frac{R_{B\_section3\_par} \cdot A}{x} = 0.215 \text{ kN}$$

Réaction perpendiculaire à la remorque sans considérer le moment:

$$R_{B\_section3\_per} := \sqrt{R_{B\_section3}^2 - R_{B\_section3\_par}^2} = 9.089 \text{ kN}$$

En considérant le moment:

$$R_{B\_section3\_per\_SE} := \frac{R_{B\_section3\_per} \cdot B}{x} + \frac{M}{x} = 9.683 \text{ kN}$$

$$R_{B\_section3\_per\_NO} := \frac{R_{B\_section3\_per} \cdot A}{x} - \frac{M}{x} = -0.594 \text{ kN}$$



**Projet:** Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le basculement de la flèche  
**No. projet:** U20-257  
**Sujet:** Note de calcul

**Par:** Keven Roseberry, ing.  
**No. OIQ:** 5074406  
 02/09/2021

## Résumé réactions d'appui

### Réactions en C:

#### Réaction verticale:

$$R_C := R_C\_section4 + R_C\_section3 = 8.209 \text{ kN}$$

#### Réaction parallèle à la remorque:

$$R_C\_par := R_C\_section4\_par + R_C\_section3\_par = 0.661 \text{ kN}$$

#### Réaction perpendiculaire à la remorque:

$$R_C\_per := R_C\_section4\_per + R_C\_section3\_per = 8.183 \text{ kN}$$

### Réactions en B:

#### Réaction verticale totale:

$$R_B := R_B\_section3 = 9.109 \text{ kN}$$

#### Réaction parallèle à la remorque:

$$R_B\_par := R_B\_section3\_par = 0.61 \text{ kN}$$

$$R_B\_par\_SE := R_B\_section3\_par\_SE = 0.395 \text{ kN}$$

$$R_B\_par\_NO := R_B\_section3\_par\_NO = 0.215 \text{ kN}$$

#### Réaction perpendiculaire à la remorque:

$$R_B\_per := R_B\_section3\_per = 9.089 \text{ kN}$$

$$R_B\_per\_SE := R_B\_section3\_per\_SE = 9.683 \text{ kN}$$

$$R_B\_per\_NO := R_B\_section3\_per\_NO = -0.594 \text{ kN}$$



ANNEXE F

LE GÉNIE AU SERVICE DE LA CONSTRUCTION

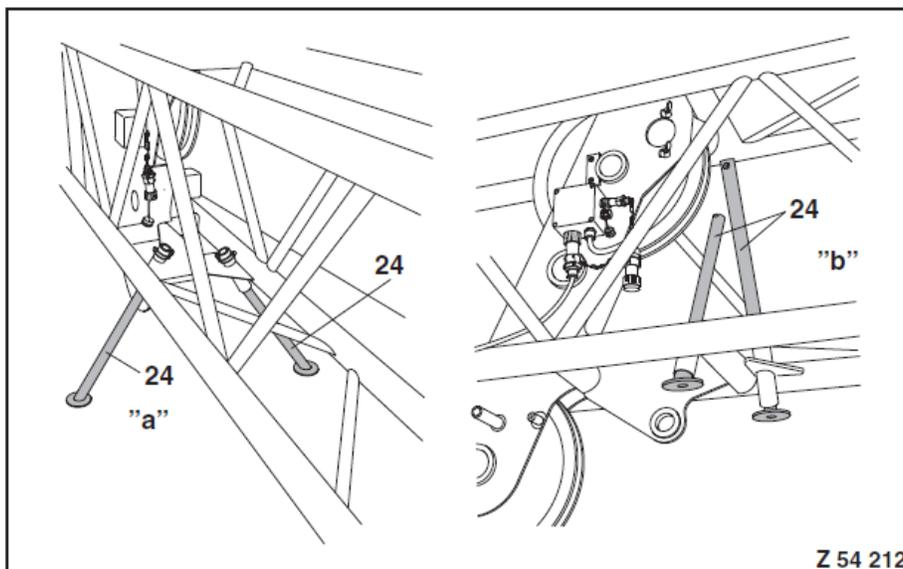
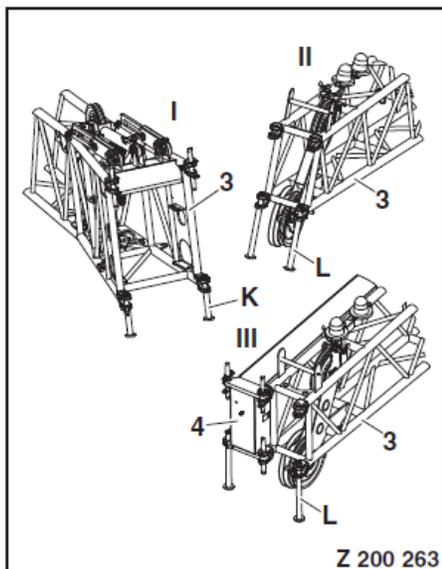
**ANNEXE F**

**EXTRAIT 2 DU MANUEL DE LA GRUE**

CNESST  
Expertise influence de l'inclinaison de la plateforme sur le  
basculement de la flèche de grue

Page xxiii sur xxxiii  
Février 2021

18



8/77

200-1-1180-025a\_en

## Main Boom Extension (MBE) (optional) 18

### 18.3.2 Transport instructions for separate transportation



Observe the attachment points for the individual parts as described in section 18.5 on page 47.



**Risk of crushing!**

If the parts of the 17 m (55.8 ft) MBE (part 3 and 4) are transported separately, folded together, there is a risk of tipping over!

The parts must be set down on the support feet supplied or on another suitable base (e.g. wooden blocks) so that these are resting secure on the ground.

To prevent the parts folding over, these must only be removed once they have been lashed.

Depending on the design of the crane, the support feet can be removed or pushed in:

**The removable support feet are available in 2 lengths:**

(Z 200 263, I)

The short support feet (K) are inserted through the lower rear fork ends of the basic boom (3) and locked in place.

(Z 200 263, II)

If only the basic boom (3) is transported separately, the long support feet (L) are inserted through the front fork ends and secured.

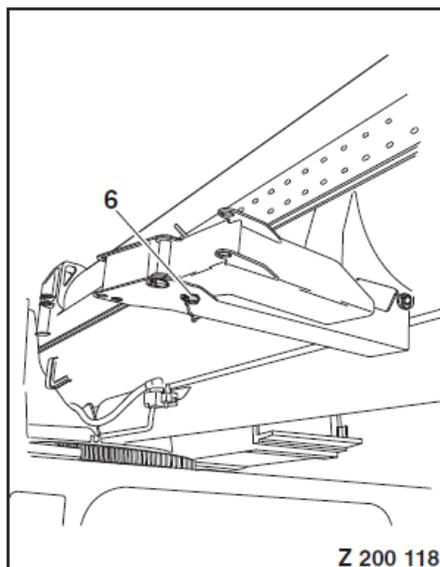
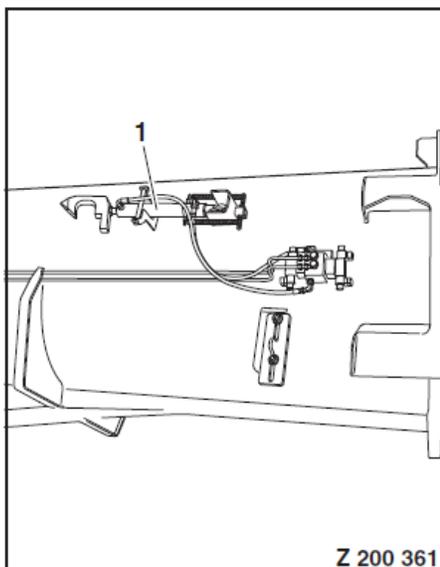
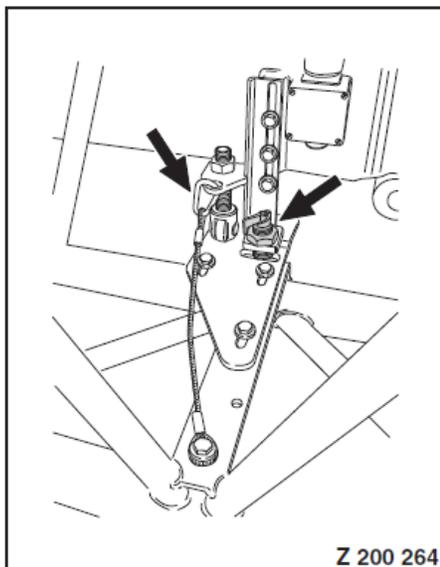
(Z 200 263, III)

When parts (3) and (4) are transported separately, folded together, a long support foot is fitted on the basic boom at the front and one on the box top piece.

**Design with push-in support feet:**

Unlock the support feet (24) and push down from the transport position 'b' into the operating position 'a'. Secure both support feet with fore locks.

18



10/77

200-1-1180-025a\_en

---

## Main Boom Extension (MBE) (optional) 18

---

(Z 200 264)



It must be ensured that the catch between the basic boom-MBE and box top piece locks in place and that the retaining rope is attached between the basic boom and box top piece.

(Z 200 361)

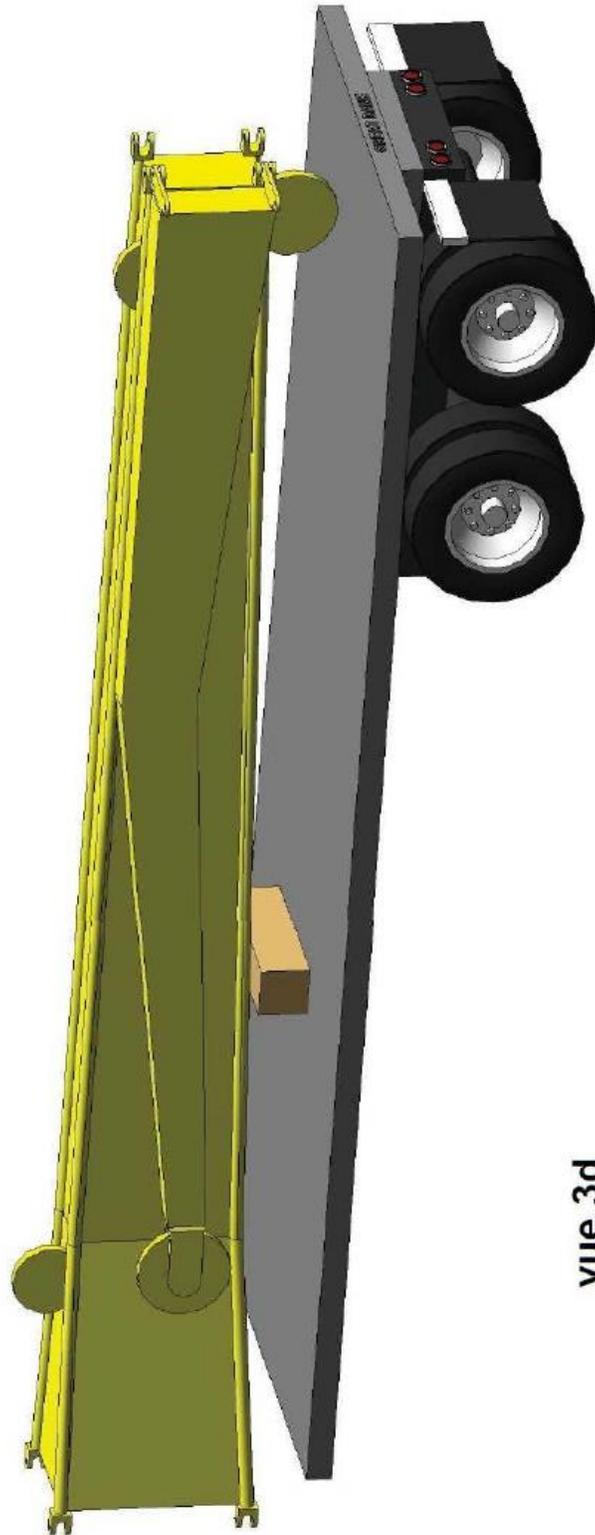
The folding cylinder (1) on the main boom and the rollway must be moved over and locked.

Depending on the design of the crane the rollway is locked by inserting pins (6, Z 200 118) (as shown) or by a catch pin locking in place.

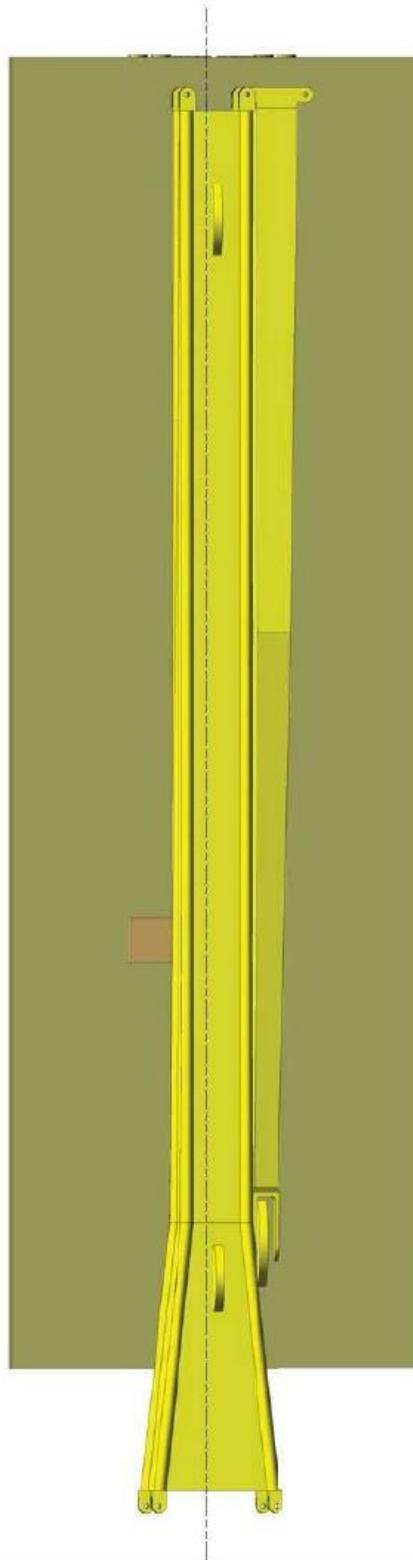


**ANNEXE G**

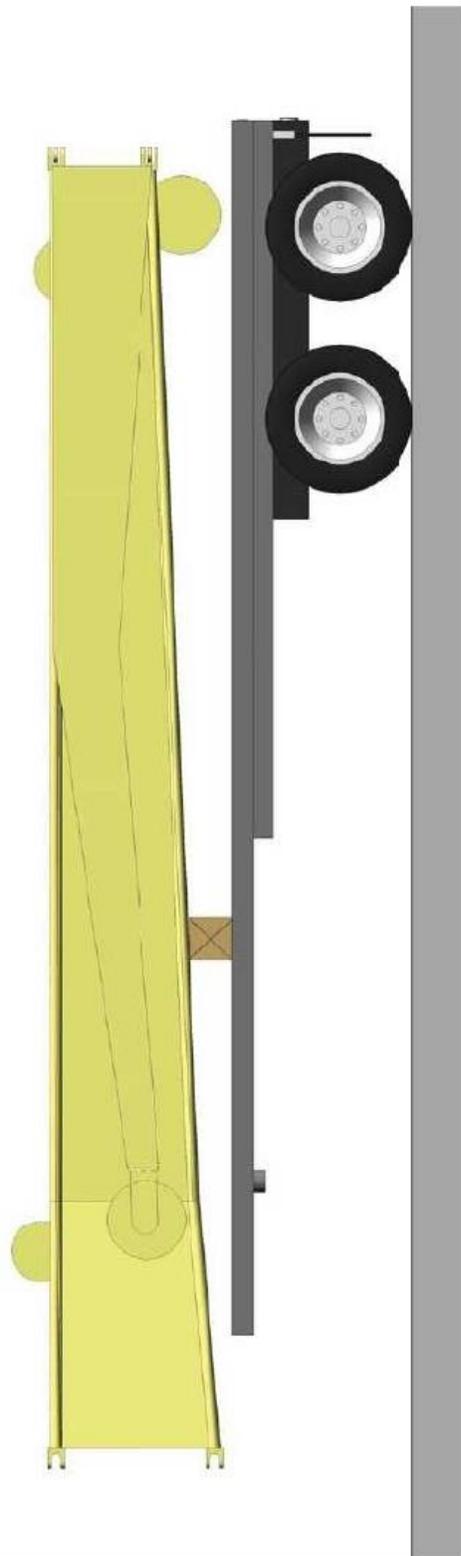
**REPRÉSENTATION DES RÉACTIONS AUX APPUIS**



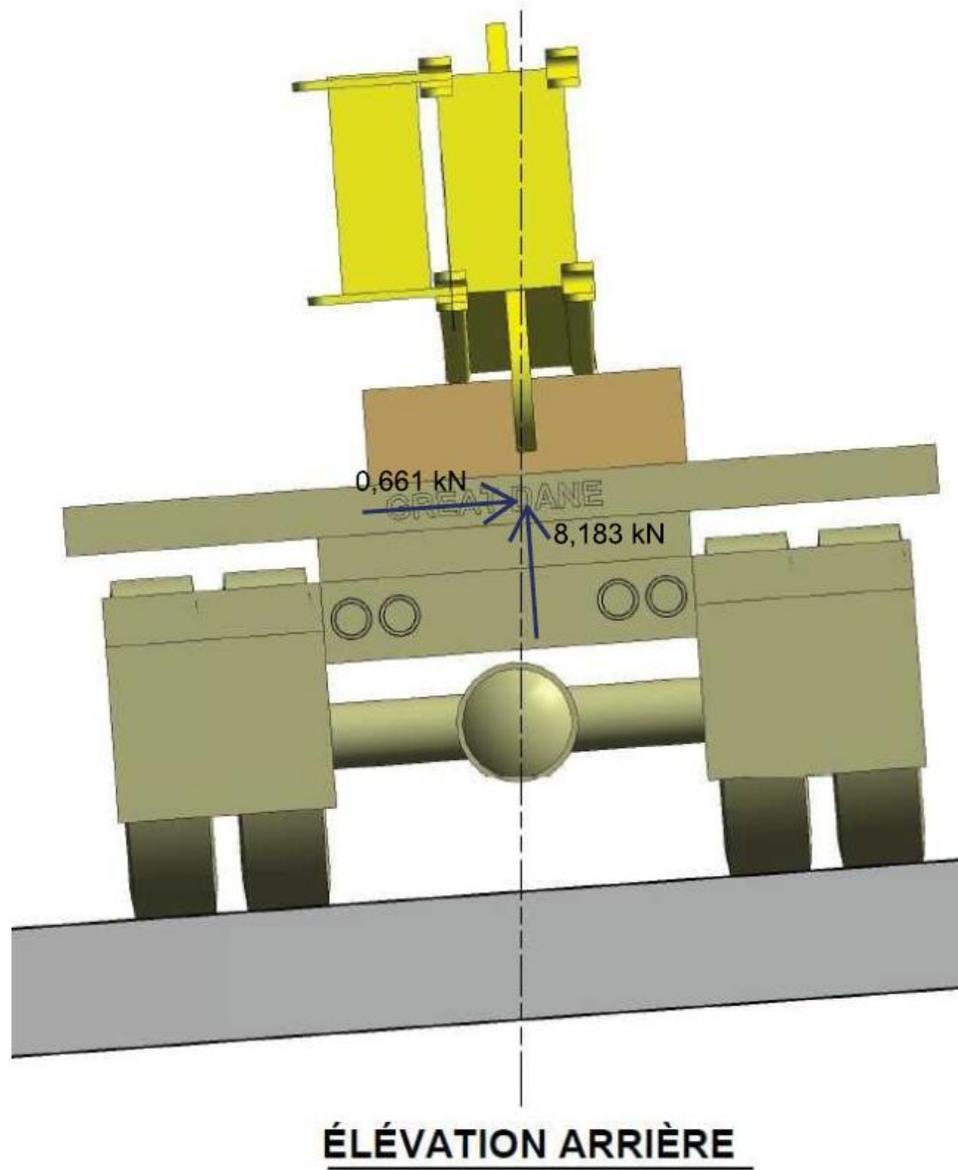
vue 3d

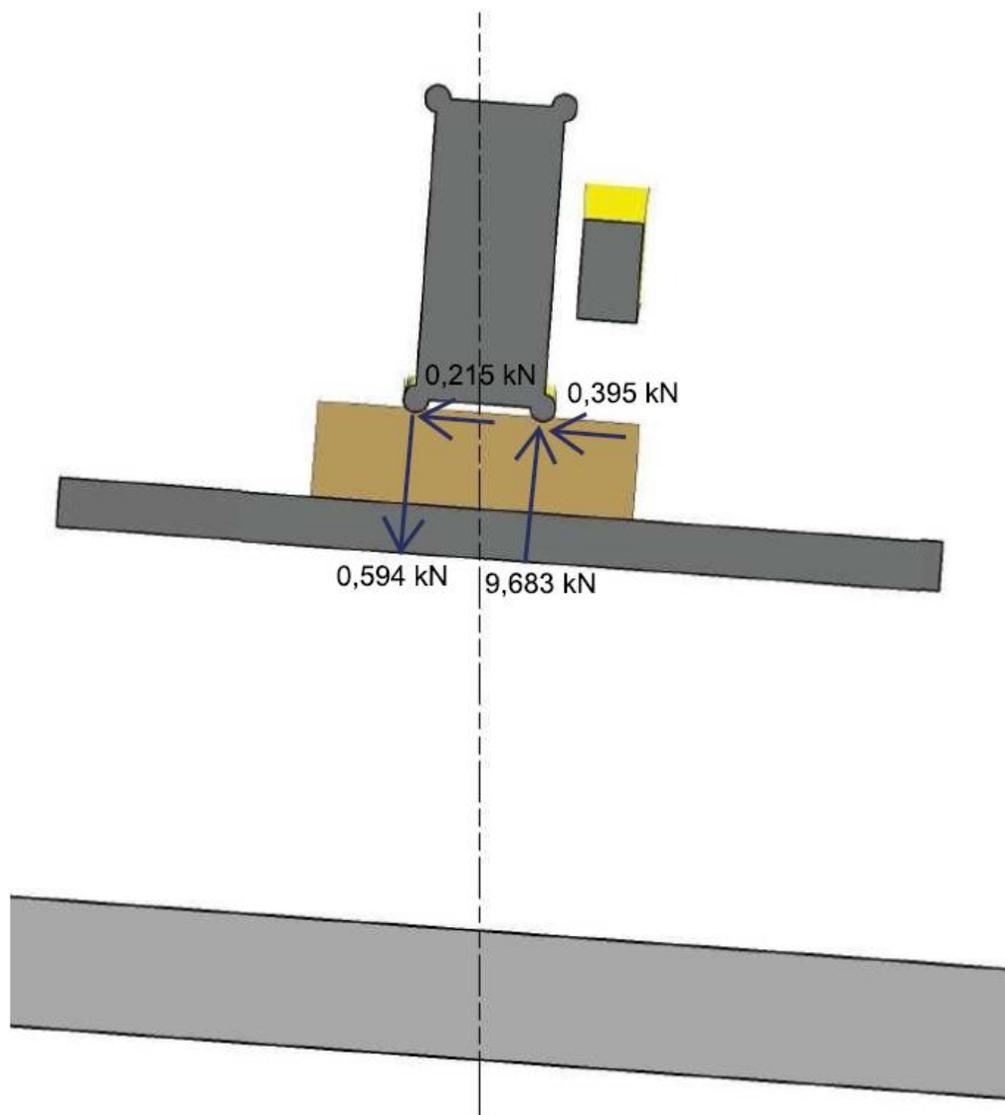


**VUE EN PLAN**



VUE EN ÉLEVATION





ÉLÉVATION AVANT



LE GÉNIE, LE SERVICE, DES SOLUTIONS

815, BOUL. LEBOURNEUF, BUREAU 406 QUÉBEC (QUÉBEC) G2J 0C1 CANADA | T: 418.871.8103 | F: 418.871.9891 | EMS@EMS-ING.COM | WWW.EMS-ING.COM



**ANNEXE E****Avertissement de sécurité du manuel  
Terex/Demag AC200****Risk of crushing!**

If the parts of the 17 m (55.8 ft) MBE (part 3 and 4) are transported separately, folded together, there is a risk of tipping over!

The parts must be set down on the support feet supplied or on another suitable base (e.g. wooden blocks) so that these are resting secure on the ground.

To prevent the parts folding over, these must only be removed once they have been lashed.

Traduction libre :

Risque d'écrasement!

Si les parties du MBE de 17 m (55,8 pieds) (sections 3 et 4) sont transportées séparément, pliées ensemble, il y a un risque de basculement!

Les pièces doivent être posées sur les pieds du support fourni ou sur une autre base appropriée (par exemple des blocs de bois) de manière que ceux-ci reposent en toute sécurité sur le sol. Pour éviter que les pièces ne se renversent, elles doivent être détachées uniquement après avoir été arrimées.

**ANNEXE F****Références bibliographiques**

- QUÉBEC, *Loi sur la santé et la sécurité, RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 20 octobre 2020*. Éditeur officiel du Québec.
- TEREX/DEMAG, *AC200-1*, 770 pages.
- ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Norme CAN/CSA Z150-16, Code de sécurité sur les grues mobiles*, 2017, 125 pages.