

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu à un contremaître à l'emploi de
Groupe TNT inc. le 15 septembre 2015 sur le chantier de l'estacade du
pont Champlain**

Direction régionale de Montréal-1

VERSION DÉPERSONNALISÉE

Inspecteurs :

Julie Casaubon, ing.

Paul Dupont

Date du rapport : 10 août 2016

Rapport distribué à :

- Monsieur [**A**], [...], Les Ponts Jacques Cartier et Champlain inc.
 - Monsieur [**B**], [...], Groupe TNT inc.
 - Monsieur [**C**], Syndicat québécois de la construction
 - Monsieur [**D**], FTQ-Construction
 - Monsieur [**E**], CPQMC
 - Monsieur [**F**], CSN-Construction
 - Monsieur [**G**], CSD-Construction
 - Dr Richard Massé, directeur, Direction de la santé publique, Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal
 - Me Steeve Poisson, coroner
-

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>5</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	5
<u>4</u>	<u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u>	<u>7</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	7
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	9
4.2.1	MÉTHODE DE TRAVAIL	9
4.2.2	APPAREIL DE LEVAGE	10
4.2.3	PROTECTION CONTRE LES CHUTES	12
4.2.4	EXPERTISE	13
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	15
4.3.1	LE CONTREMAÎTRE FAIT UNE CHUTE LIBRE DANS L'EAU À LA SUITE D'UNE TENTATIVE DE DÉBLOCAGE D'UN DES QUATRE PALANS SOULEVANT LA PLATE-FORME SUR LAQUELLE IL SE TIENT.	15
4.3.2	LA GESTION DE LA SÉCURITÉ EN CE QUI A TRAIT À LA MÉTHODE UTILISÉE POUR DÉMOBILISER LA PLATE-FORME EST DÉFICIENTE.	16
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>17</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	17
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	17
5.3	RECOMMANDATIONS	18

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	19
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	20
ANNEXE C :	Plan de levage	21
ANNEXE D :	Manuel du fabricant	30
ANNEXE E :	Références bibliographiques	33
ANNEXE F :	Rapport d'expertise	34

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Lors de travaux de démobilité¹ d'une plate-forme de travail située sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, celle-ci se renverse suite au relâchement de la chaîne de levage d'un palan manuel. Le contremaître, présent sur la plate-forme, chute dans l'eau.

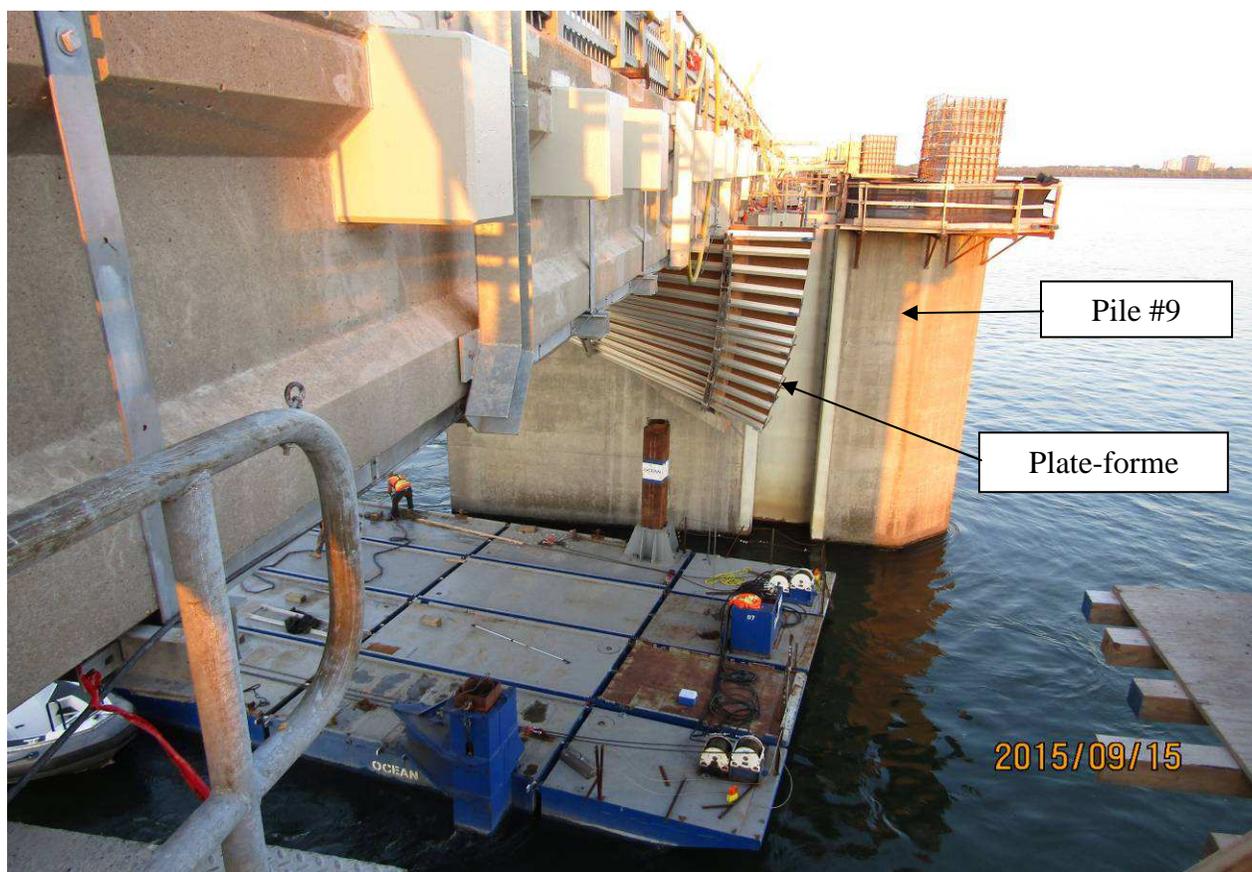


Photo 1 : Position de la plate-forme après l'accident (source : CNESST)

Conséquence

Le contremaître se noie.

¹ Démantèlement et retrait de la plate-forme

Abrégé des causes

L'enquête a permis de retenir les causes suivantes :

- Le contremaître fait une chute libre dans l'eau à la suite d'une tentative de déblocage d'un des quatre palans soulevant la plate-forme sur laquelle il se tient;
- La gestion de la sécurité en ce qui a trait à la méthode utilisée pour démobiliser la plate-forme est déficiente.

Mesures correctives

Le 15 septembre 2015, la CNESST ordonne la suspension des travaux de démontage de la plate-forme de travail suspendue sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre les piles 8 et 9. De plus, la CNESST ordonne la suspension des travaux de démontage et d'installation des plates-formes de travail sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre l'Île-des-Sœurs et la digue nord de la voie maritime du Saint-Laurent. Le rapport RAP0992949 est émis.

Le 19 octobre 2015, à la suite de la réception d'une méthode de travail sécuritaire, la CNESST autorise la reprise des travaux de démontage de la plate-forme de travail suspendue sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre les piles 8 et 9. Le rapport RAP0998134 est émis.

Le 6 novembre 2015, à la suite de la réception d'une méthode de travail sécuritaire, la CNESST autorise la reprise des travaux d'installation des plates-formes de travail sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre l'Île-des-Sœurs et la digue nord de la voie maritime du Saint-Laurent. Le rapport RAP1003016 est émis.

Le 18 novembre 2015, à la suite de la réception d'une méthode de travail sécuritaire, la CNESST autorise la reprise des travaux de démontage des plates-formes de travail sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre l'Île-des-Sœurs et la digue nord de la voie maritime du Saint-Laurent. Le rapport RAP1005753 est émis.

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

Les Ponts Jacques-Cartier et Champlain inc. (ci-après PJCCI), assure la gestion, l'entretien et la réfection des infrastructures du pont Champlain, dont il est le propriétaire. PJCCI est le maître d'œuvre du chantier de réfection majeure du pont Champlain (rapport RAP0973058 émis le 7 avril 2015), dont fait partie le chantier de l'estacade.

Groupe TNT inc. a obtenu un contrat de PJCCI pour effectuer les travaux de renforcement du tablier (voie routière) et l'aménagement d'une nouvelle piste cyclable sur l'estacade du pont Champlain (voir photo 2). Le projet est évalué à 25 millions de dollars.

Groupe TNT inc. est une entreprise œuvrant comme entrepreneur général principalement dans le secteur du génie civil.

Au moment de l'accident, il y a environ 300 travailleurs sur le chantier dont 129 œuvrent sur le chantier de l'estacade. Sur le chantier, Groupe TNT inc. est représenté par Monsieur [H], [...], et Monsieur [I], [...].



Photo 2: Estacade du pont Champlain (source: Transports Québec)

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Groupe TNT inc. embauche un agent de sécurité à temps plein, par le biais de l'entreprise IGF Vigilance, pour veiller exclusivement à la santé et la sécurité sur le chantier de l'estacade.

L'agent de sécurité fait un accueil des nouveaux travailleurs sur le chantier. Il leur présente le programme de prévention de Groupe TNT inc. et discute des dangers présents sur le chantier. Les travailleurs signent un document pour indiquer qu'ils ont suivi la session d'accueil. L'agent de sécurité organise également les réunions du comité de chantier qui se tiennent chaque mercredi en début de quart de travail. Des représentants des travailleurs et des employeurs sur le chantier sont présents à ces réunions.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Le maître d'œuvre ne dispose pas d'un programme de prévention spécifique au chantier.

Le maître d'œuvre requiert et approuve les méthodes et procédures de travail en lien avec le chantier, et ce par une clause contractuelle.

Groupe TNT inc. possède un programme de prévention spécifique au chantier qui comprend huit sections traitant des sujets suivants :

- Section 1 : La description du projet;
- Section 2 : Les exigences en matière de santé et de sécurité de l'entreprise et les diverses responsabilités des intervenants sur le chantier.
- Section 3 : Les mesures générales en santé et sécurité;
- Section 4 : Les matières dangereuses et SIMDUT;
- Section 5 : Les activités spécifiques au projet;
- Section 6 : Les procédures de travail particulières;
- Section 7 : Fiches signalétiques
- Section 8 : Vos notes.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le chantier de l'estacade du pont Champlain est situé entre l'Île-des-Sœurs et la digue nord de la voie maritime du Saint-Laurent. Il consiste à renforcer le tablier de l'infrastructure routière et à aménager une piste cyclable.

L'estacade du pont Champlain est une œuvre de génie civil faisant partie intégrante de l'aménagement des emprises pour le pont Champlain. L'estacade est constituée de 72 piles de béton et de deux culées reposant sur le roc (voir image 1).

L'estacade permet notamment aux entrepreneurs œuvrant pour le maître d'œuvre d'avoir un accès terrestre au pont Champlain pour l'exécution de travaux majeurs à partir de la digue de la voie maritime du Saint-Laurent (voir photo 2) et du quai de l'estacade.

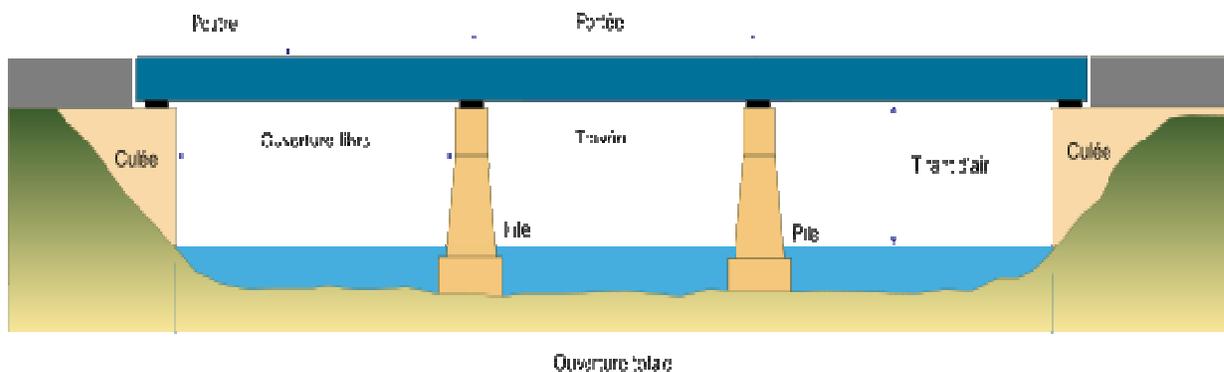


Image 1 : Schéma d'un pont (Source : Wikipedia)

3.2 Description du travail à effectuer

Le jour de l'accident, les travaux consistent à démobiliser les six plates-formes de travail suspendues sous le tablier de l'estacade pour la travée (voir image 1) comprise entre les piles 8 et 9 et les piles 9 et 10 (voir photo 3). Les plates-formes sont descendues une à une. Pour effectuer cette tâche, quatre palans à chaîne (ci-après appelés palans) sont positionnés aux quatre coins de la plate-forme (charge). Ils sont opérés par quatre travailleurs présents sur une barge positionnée sous la plate-forme (voir photo 4). Les travailleurs descendent la plate-forme jusqu'à la barge sous la coordination du contremaître présent sur le tablier de l'estacade.



Photo 3 : Plates-formes avant démobilisation (source : CNESST)

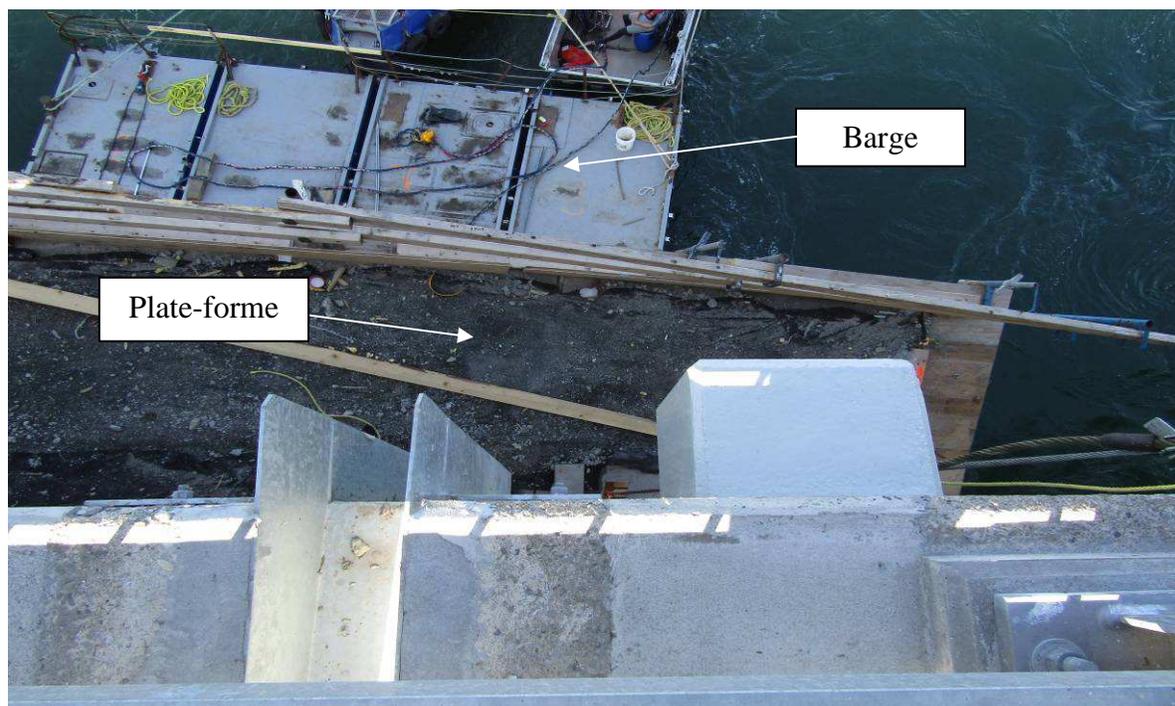


Photo 4 : Position de la barge (source : CNESST)

SECTION 4

4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 15 septembre 2015, vers 9h, le [...] de Groupe TNT inc. donne son autorisation à Monsieur [J], [...], pour mettre son équipe de cinq travailleurs en place afin de procéder à la démobilisation des six plates-formes situées dans les travées 8-9 et 9-10. En avant-midi, deux des trois plates-formes de la travée 8-9 sont descendues.

Au moment de l'accident, le contremaître et son équipe procèdent à la démobilisation de la dernière plate-forme de la travée 8-9, située près de la pile 9. Le contremaître et un travailleur montent sur la plate-forme et installent des palans aux quatre coins de celle-ci. Pour effectuer cette tâche, le contremaître et le travailleur portent un harnais de sécurité relié à un enrouleur-dérouleur ancré à l'un des points d'ancrage de la plate-forme, sous le tablier de l'estacade. Lorsque l'installation des palans est presque complétée, le travailleur détache son harnais de son enrouleur-dérouleur puis il quitte la plate-forme pour se rendre sur le tablier de l'estacade. Le contremaître termine l'installation du quatrième palan puis retire les enrouleurs-dérouleurs des points d'ancrage et quitte la plate-forme. Il dépose les enrouleurs-dérouleurs sur la pile 9 et retourne sur le tablier de l'estacade. Quatre autres travailleurs se tiennent sur la barge, sous la plate-forme, afin d'opérer les palans.

Vers midi, le contremaître ordonne la descente de la plate-forme et les quatre travailleurs amorcent la descente de la plate-forme, chacun opérant un palan. La chaîne d'entraînement d'un des quatre palans se bloque. La travailleur opérant ce dernier interpelle le contremaître qui se trouve sur le tablier de l'estacade et lui mentionne que son palan est coincé. Le contremaître demande au travailleur de tirer sur la chaîne, ce qu'il fait à plusieurs reprises. La chaîne d'entraînement demeure coincée.

Le contremaître retourne sur la plate-forme et effectue des manœuvres sur les chaînes du palan bloqué. La chaîne de levage du palan bloqué se déroule soudainement (voir photo 5) et la plate-forme se renverse.

Le contremaître chute dans l'eau.

Les signaux d'urgence « homme à la mer » sont déclenchés et la procédure de recherche et sauvetage est enclenchée.

Le contremaître est retrouvé plusieurs heures plus tard et son décès est constaté.

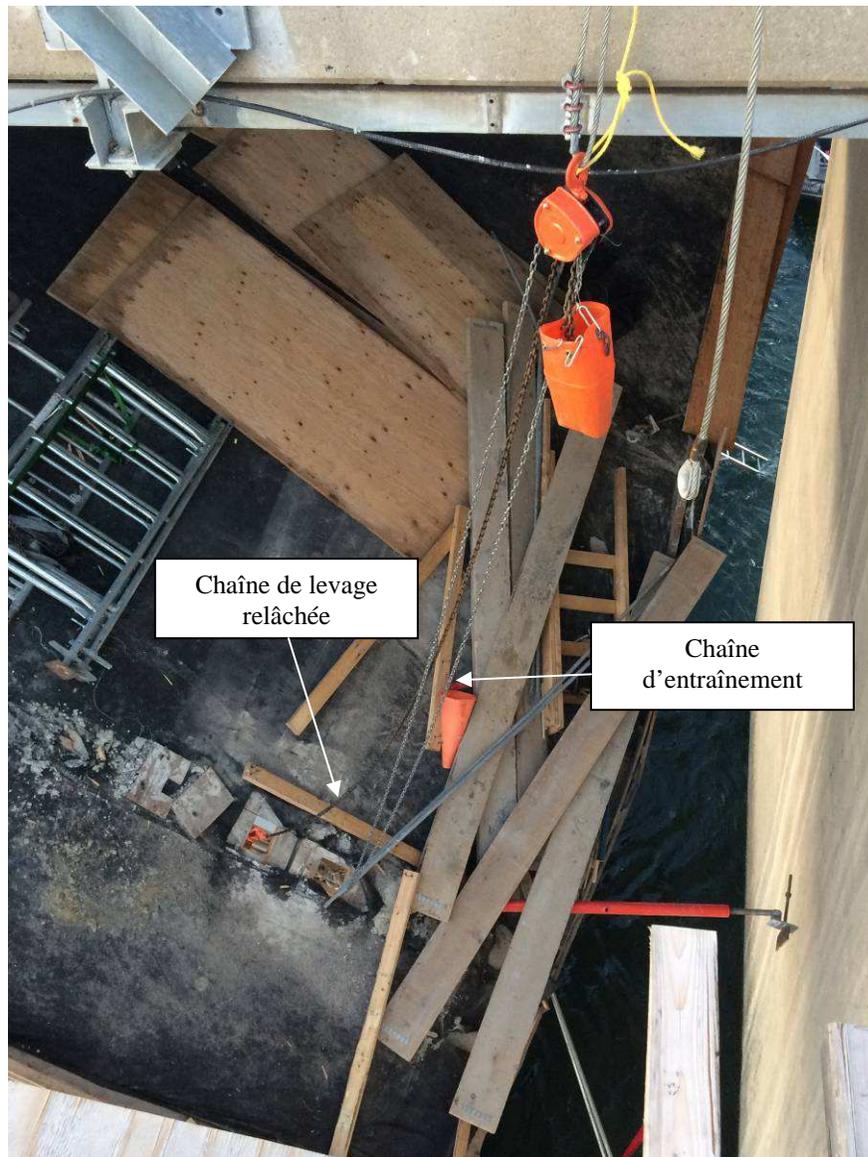


Photo 5 : Palan après l'accident (source : CNESST)

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Méthode de travail

Un plan de levage pour le soulèvement des plates-formes sous le tablier de l'estacade du pont Champlain (voir annexe C) a été élaboré en juillet 2015 par Sodevec inc. à la demande de Groupe TNT inc. Ce plan a été autorisé par le maître d'œuvre avant le début des travaux.

Ce plan indique, à la section 3, que la charge à soulever, incluant le personnel et les outils, est d'environ 1500 kg.

La section 4 de ce plan indique les accessoires et les appareils de levage à utiliser, soit quatre palans à chaîne manuels ou électriques d'une capacité d'une tonne (1000 kg).

À la section 5, la méthode de travail pour soulever la plate-forme est décrite en six points :

- a) *La plateforme est amenée sous l'estacade sur les deux barges prévues à cet effet.*
- b) *Préalablement, les palans sont installées sur les ancrages de l'estacade tel que montré au schéma No 1 et l'autre extrémité doit être installée aux ancrages de la plateforme tel que montré au schéma No 2.*
- c) *Les deux travailleurs présents sur la plateforme doivent s'attacher à un système antichute indépendant de la plateforme.*
- d) *La plateforme est soulevée lentement à l'aide des 4 palans où leur opérateur est en contact radio avec le signaleur. Lors du soulèvement, la plateforme doit rester en position horizontale.*
- e) *Une fois la hauteur désirée atteinte, installer les suspentes aux manilles sous le point d'ancrage relié à l'estacade.*
- f) *Relâcher lentement la plateforme sur les suspentes permanentes et démonter le gréage.*

Cette méthode de travail prévoit que des travailleurs soient soulevés sur la charge à l'aide des appareils de levage. Or, les conditions à respecter pour le levage de travailleurs à l'aide d'un appareil conçu exclusivement pour le levage de matériaux prévues à l'article 3.10.7 (2) du *Code de sécurité pour les travaux de construction* n'étaient pas toutes respectées.

Les travailleurs opérant les quatre palans sont localisés sur la barge, sous la charge ou à proximité. Le *Code de sécurité pour les travaux de construction* prévoit, à l'article 3.10.4 (4), « qu'aucune charge ne doit se trouver au-dessus de la tête des travailleurs et qu'aucun travailleur ne doit se tenir sous une charge. »

Le plan de levage ne précise pas où sont localisés les points d'ancrage à utiliser pour fixer la liaison antichute des travailleurs.

Le plan de levage ne comprend aucune information sur la méthode de travail à suivre pour démobiliser la plate-forme.

Le jour de l'accident, les travailleurs œuvrant à la démobilisation des plates-formes de travail n'ont reçu aucune formation quant aux méthodes de travail sécuritaires à suivre pour effectuer cette tâche.

4.2.2 Appareil de levage

Les appareils de levage utilisés lors de l'accident sont des palans à chaîne de marque VGD (Vanguard), modèle VCH-100, et leur charge maximale d'utilisation est d'une tonne (1000 kg). Le palan dont la chaîne de levage s'est relâchée porte le numéro de série 1213530.

Les palans doivent répondre à la norme *CSA B167-08, Ponts roulants : conception, inspection, mise à l'essai, entretien et utilisation sécuritaire*. À la section 5.4.1, cette norme indique que : « le propriétaire du matériel visé par cette norme doit s'assurer qu'un carnet de bord est tenu à jour dans lequel sont consignés les résultats des inspections, des entretiens, des réparations et des modifications. Le carnet de bord doit également faire état des inspections quotidiennes/avant le début du quart de travail effectuées par l'opérateur en ce qui a trait aux activités avant l'exploitation et à l'arrêt de l'appareil de levage ». L'employeur n'a pas tenu de carnet de bord pour les palans utilisés lors de l'accident. De plus, aucune directive n'a été donnée par l'employeur afin que des inspections quotidiennes soient réalisées sur ces appareils. La section 8.2 de la norme mentionne que « les opérateurs de tous les types de palans devraient être qualifiés. » De plus, l'article 51(9) de la *Loi sur la santé et la sécurité* indique que « l'employeur doit 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. » Aucune formation n'a été donnée par l'employeur aux travailleurs opérant les palans.

Le manuel d'utilisation fourni par le manufacturier (voir annexe D) mentionne les différentes règles de sécurité à suivre lors de l'utilisation de l'équipement. Entre autres, il y est indiqué de « ne jamais lever ou transporter les charges au-dessus ou près des personnes » et de « ne jamais utiliser le palan pour levage, support ou transport de personne ». Le *Code de sécurité pour les travaux de construction* prévoit, à l'article 3.10.1 (g), « que tout appareil utilisé sur un chantier de construction doit être utilisé conformément aux instructions du fabricant. »

De plus, le manufacturier indique, dans les instructions d'opération, d'arrêter les opérations et de procéder à l'inspection du palan si la chaîne d'entraînement se bloque.

Aucune directive n'a été donnée par l'employeur quant aux règles à suivre en cas de blocage d'un palan.

Le manuel *Gréage et levage : guide de sécurité* produit en 2006 par la CNESST mentionne que : « les palans à chaîne doivent être gréés de manière que les crochets supérieur et inférieur soient alignés selon un axe rectiligne. Ils sont conçus pour être utilisés uniquement à la verticale ou le plus près possible de la verticale » (voir image 2). Les observations faites sur les lieux de l'accident ont permis de constater que le palan impliqué dans l'accident se trouvait en position inclinée (voir photos 5 et 6). La photo 6 montre également qu'un panier à récupération de chaîne a été attaché avec de la broche sur le palan. Cette modification n'a pas été approuvée par le manufacturier ni attestée par un ingénieur. Le *Code de sécurité pour les travaux de construction* prévoit, à l'article 3.10.1 (h), « que tout appareil utilisé sur un chantier de construction ne peut pas être modifié sans une attestation signée et scellée d'un ingénieur à l'effet que cette modification offre une sécurité équivalente à celle de cet appareil à l'état neuf. »

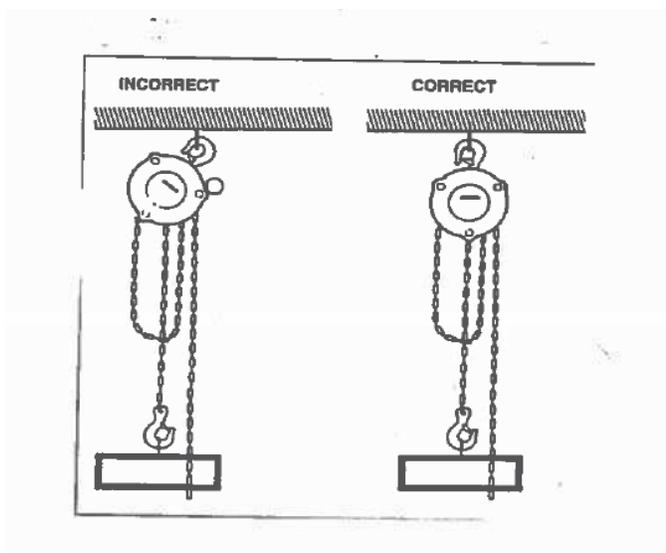


Image 2 : Gréage d'un palan à chaîne (source : *Gréage et levage : guide de sécurité*)

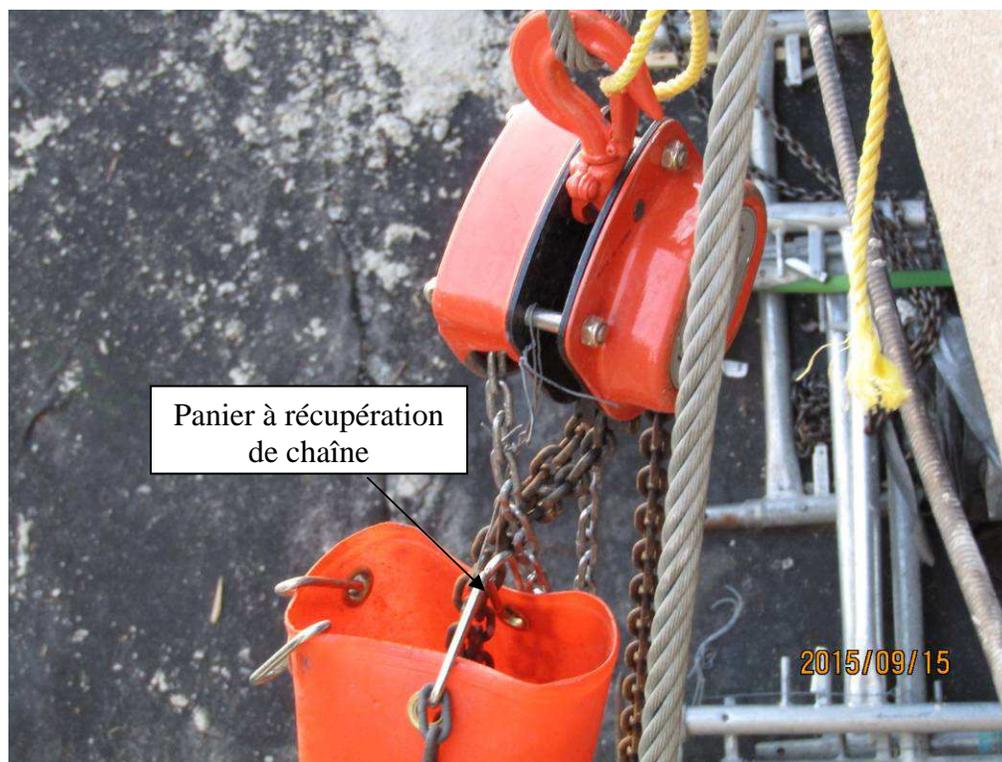


Photo 6 : Palan en position inclinée (source : CNESST)

4.2.3 Protection contre les chutes

Le *Code de sécurité pour les travaux de construction*, à l'article 2.9.1 (2)(a), prévoit que « tout travailleur doit être protégé contre les chutes s'il risque de tomber dans un liquide. »

Lors des travaux de démobilitation, des garde-corps sont présents sur deux des quatre côtés de la plate-forme (voir photo 7).

Sur le chantier, des harnais de sécurité, des liaisons antichute et des enrouleurs-dérouleurs sont disponibles pour les travailleurs. Selon les consignes verbales de l'employeur, les travailleurs doivent utiliser ces équipements en tout temps lorsqu'ils se trouvent sur la plate-forme lors des travaux de démobilitation.

Le programme de prévention de l'employeur mentionne que le harnais de sécurité doit être utilisé avec un enrouleur-dérouleur et que le point d'attache de ce dernier doit être ancré à un élément résistant à la rupture d'au moins 18 kN. Les points d'ancrage à utiliser lors des différentes étapes des travaux ne sont pas identifiés.

Au moment de l'accident, les enrouleurs-dérouleurs se trouvent sur la pile 9 (voir photo 7). Le contremaître porte un harnais de sécurité équipé d'une liaison antichute. Son harnais de sécurité n'est pas relié à un point d'ancrage ou un système d'ancrage.

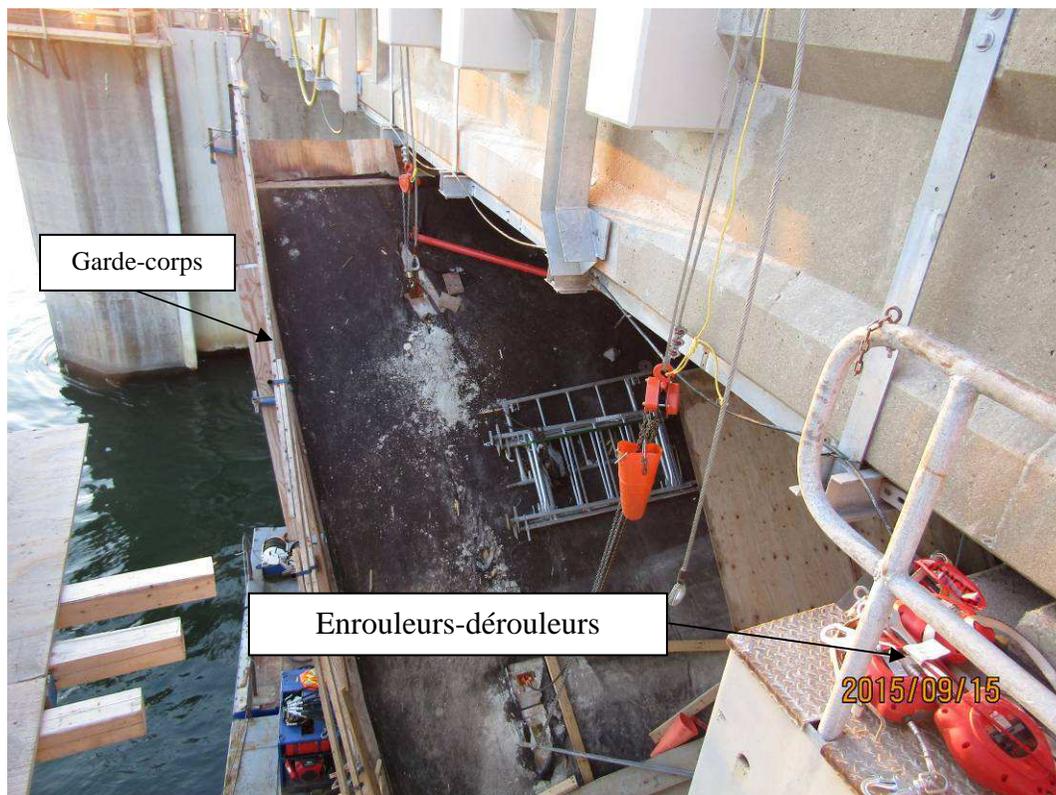


Photo 7 : Localisation des enrouleurs-dérouleurs au moment de l'accident (source : CNESST)

4.2.4 Expertise

Suite à l'accident, la CNESST a mandaté SGS Canada inc. afin de réaliser une expertise sur le palan impliqué dans l'accident (voir annexe F).

La conclusion de ce rapport indique que :

«...la séquence la plus probable du bris est la suivante :

- Blocage du palan lors de la manœuvre de descente de la plateforme de travail
- Manipulations du travailleur : le travailleur a monté sur la plateforme et tiré sur les chaînes, ce qui a entraîné le relâchement de la chaîne de levage
- Renversement de la plateforme suite au relâchement de la chaîne de levage
- Bris de la noix de levage et endommagement d'autres composantes mécaniques suite au renversement de la plateforme.

Les dommages présents sur les autres composantes mécaniques du palan, de même que le type de sollicitation et la nature du bris de la noix de levage, indiquent qu'ils ont le plus probablement été produits sous l'application d'une charge dans le palan alors que la chaîne de levage était bloquée.

Compte tenu des observations effectuées dans le cadre de cette investigation, il est fort probable que la présence d'un panier à chaîne attaché au palan avec de la broche métallique ait pu contribuer au blocage de la chaîne de levage.

Des non-conformités par rapport à la norme CSA B167-08 et par rapport aux bonnes pratiques ont été relevées au niveau de l'utilisation du palan. En effet, le palan a été utilisé pour le levage d'une personne (travailleur monté sur la plateforme) et des modifications ont été apportées au palan (panier de récupération de chaîne fixé avec une broche). Soulignons encore une fois l'importance du personnel formé et qualifié utilisant des procédures approuvées pour la manipulation des équipements de levage. »

De plus, à la page 51, le rapport indique que « ...le panier de récupération de chaîne compromettait la position verticale du palan. Les palans à chaîne doivent être grésés de manière à ce que les crochets supérieur et inférieur soient alignés selon un axe rectiligne. Ils sont conçus pour être utilisés le plus près possible de la verticale. »

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Le contremaître fait une chute libre dans l'eau à la suite d'une tentative de déblocage d'un des quatre palans soulevant la plate-forme sur laquelle il se tient.

Au moment de l'accident, le contremaître retourne sur la plate-forme pour tenter de débloquer l'un des quatre palans servant d'appareil de levage de ladite plate-forme alors que les manœuvres de descente sont amorcées.

Le contremaître effectue des manœuvres sur les chaînes du palan. Ces manipulations ont entraîné le relâchement de la chaîne de levage, puis le renversement de la plate-forme.

Au moment où la plate-forme se renverse, le contremaître porte un harnais de sécurité qui n'est pas relié à un point d'ancrage ou un système d'ancrage. Il chute hors de la plate-forme, d'un côté où il n'y a pas de garde-corps, tombe à l'eau et se noie.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La gestion de la sécurité en ce qui a trait à la méthode utilisée pour démobiliser la plate-forme est déficiente.

La *Loi sur la santé et la sécurité du travail*, à l'article 51 (5), prévoit que « l'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur et qu'il doit notamment utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur. »

Le programme de prévention de l'employeur ne fait pas mention des méthodes de travail à utiliser pour la démobilisation des plates-formes. La méthode utilisée lors de l'accident est basée sur le plan de levage, qui ne fait pas mention des étapes à suivre pour démobiliser une plate-forme et ne comprend pas de directive quant aux mesures à prendre lors du blocage d'un palan.

Le jour de l'accident, les palans ont été utilisés de manière à compromettre la sécurité des travailleurs. En effet, les règles d'utilisation prescrites par le manufacturier n'ont pas été suivies, les palans ayant été utilisés pour soulever le contremaître et un travailleur. De plus, la charge était soulevée au-dessus ou près des travailleurs opérant les palans. Par ailleurs, une modification non-approuvée par le manufacturier, soit l'ajout d'un panier de récupération de chaîne fixé avec une broche, a fort probablement contribué au blocage de la chaîne de levage du palan impliqué dans l'accident et a compromis l'utilisation verticale de ce palan. La norme CSA B167-08 exige la tenue d'un carnet de bord et la qualification des opérateurs de palans. L'employeur n'a pas tenu de carnet de bord pour les palans utilisés le jour de l'accident et aucune formation sur l'utilisation de ce type d'appareil de levage n'a été donnée aux travailleurs opérant les palans.

Le programme de prévention de l'employeur et son plan de levage ne traitent que de mesures générales de protection contre les chutes. Les points d'ancrage à utiliser par les travailleurs pour chacune des étapes des travaux de démobilisation d'une plate-forme n'ont pas été identifiés.

Le fait que l'employeur n'ait pas prévu de méthode spécifique pour la démobilisation d'une plate-forme et qu'il n'ait donné aucune formation sur les méthodes sécuritaires à suivre pour effectuer ces travaux, notamment concernant l'utilisation d'un appareil de levage et la protection contre les chutes, démontre que la gestion de la sécurité en ce qui a trait à la démobilisation de la plate-forme de travail est déficiente.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

L'enquête a permis de retenir les causes suivantes :

- Le contremaître fait une chute libre dans l'eau à la suite d'une tentative de déblocage d'un des quatre palans soulevant la plate-forme sur laquelle il se tient;
- La gestion de la sécurité en ce qui a trait à la méthode utilisée pour démobiliser la plate-forme est déficiente.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le 15 septembre 2015, la CNESST ordonne la suspension des travaux de démontage de la plate-forme de travail suspendue sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre les piles 8 et 9. De plus, la CNESST ordonne la suspension des travaux de démontage et d'installation des plates-formes de travail sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre l'Île-des-Sœurs et la digue nord de la voie maritime du Saint-Laurent. Le rapport RAP0992949 est émis.

Le 22 septembre 2015, la CNESST émet le rapport RAP0993287 suite à la réception d'une méthode de travail pour le démantèlement de la plate-forme suspendue entre les piles 8 et 9.

Le 6 octobre 2015, la CNESST émet le rapport RAP0995601 suite à la réception d'une version révisée de la méthode de travail pour le démantèlement de la plate-forme suspendue entre les piles 8 et 9.

Le 19 octobre 2015, à la suite de la réception d'une méthode de travail sécuritaire, la CNESST autorise la reprise des travaux de démontage de la plate-forme de travail suspendue sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre les piles 8 et 9. Le rapport RAP0998134 est émis.

Le 22 octobre 2015, la CNESST émet le rapport RAP0999674 suite à une décision de la Direction de la révision administrative rendue par la CNESST en date du 21 octobre 2015.

Le 26 octobre 2015, la CNESST émet le rapport RAP1000163 suite à la saisie d'éléments de preuve.

Le 6 novembre 2015, à la suite de la réception d'une méthode de travail sécuritaire, la CNESST autorise la reprise des travaux d'installation des plates-formes de travail sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre l'Île-des-Sœurs et la digue nord de la voie maritime du Saint-Laurent. Le rapport RAP1003016 est émis.

Le 18 novembre 2015, à la suite de la réception d'une méthode de travail sécuritaire, la CNESST autorise la reprise des travaux de démontage des plates-formes de travail sous le tablier de l'estacade du pont Champlain, entre l'Île-des-Sœurs et la digue nord de la voie maritime du Saint-Laurent. Le rapport RAP1005753 est émis.

5.3 Recommandations

Pour éviter qu'un tel accident ne se reproduise, la CNESST transmettra les résultats de son enquête à l'Association de la construction du Québec, l'Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec, l'Association québécoise des entrepreneurs en infrastructure, l'Association patronale des entreprises en construction du Québec, l'Association des entrepreneurs en construction du Québec ainsi que l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec.

ANNEXE A

Accidenté

ACCIDENTÉ

Nom, prénom : [J]

Sexe : Masculin

Âge : [...]

Fonction habituelle : Contremaître

Fonction lors de l'accident : Contremaître

Ancienneté chez l'employeur : [...]

Syndicat : [...]

ANNEXE B

Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

- Monsieur [**K**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**L**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**M**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**N**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**O**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**P**], [...], Transelec/Common inc.
- Monsieur [**Q**], [...], IGF-Vigilance pour Groupe TNT inc.
- Monsieur [**H**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**I**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**R**], [...], Groupe TNT inc.
- Monsieur [**S**], [...], Acier Vanguard ltée

ANNEXE C
Plan de levage

SODEVEC INC.

Ingénierie du soudage / Expertise appareils de levage

4410, Louis-E.-Meyer
Level (Québec) H7P 0E1
Téléphone: (514) 385-4416
Télécopieur: (450) 682-7323
Courriel: itng@sodevec.com**Groupe TNT**
Estacade Pont Champlain

Notre référence : 150717-PL01 R1

Plan de levage**1. Généralité**

Ce plan de levage fait l'objet du soulèvement d'une plateforme afin de la suspendre sous la structure de l'Estacade du Pont Champlain.

2. Liste des documents de référence

- Plateforme temporaire : dessin No SU-01 et SU-01A

3. Poids à soulever

Selon les informations transmises par Groupe TNT, la charge totale à soulever incluant le personnel avec outils est d'environ 3 300 lb maximum.

La charge maximale estimée sur chaque point d'ancrage est de 1 050 lb compte tenu du déplacement du travailleur et de l'effet dynamique lors du levage.

4. Accessoires de levage

- 4 points d'ancrage tels que montrés au détail B du dessin No SU-01
- 16 manilles boulonnées de 5/8" de diamètre et ayant une capacité de 3.5 tonnes
- 4 palans à chaînes manuel ou électrique et d'une capacité de 1 tonne.

Note : Les accessoires de levage tels que prévus à ce plan de levage offrent un facteur de sécurité minimal de 10:1.

SODEVEC INC.

Groupe TNT

Plan de levage

5. Méthode de travail

- a) La plateforme est amenée sous l'estacade sur les deux barges prévues à cet effet.
- b) Préalablement, les palans sont installées sur les ancrages de l'estacade tel que montré au schéma No 1 et l'autre extrémité doit être installée aux ancrages de la plateforme tel que montré au schéma No 2.
- c) Les deux travailleurs présents sur la plateforme doivent s'attacher à un système antichute indépendant de la plateforme.
- d) La plateforme est soulevée lentement à l'aide des 4 palans où leur opérateur est en contact radio avec le signaleur. Lors du soulèvement, la plateforme doit restée en position horizontale.
- e) Une fois la hauteur désirée atteinte, installer les suspentes aux manilles sous le point d'ancrage relié à l'estacade.
- f) Relâcher lentement la plateforme sur les suspentes permanentes et démonter le gréage.

6. Spécifications

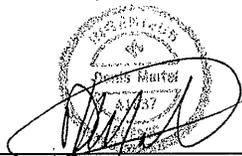
1. Ne pas procéder aux opérations si les vents sont supérieurs à 34 km/h et/ou si les conditions atmosphériques ne le permettent pas;
2. S'assurer de l'état des accessoires de levage, des équipements, du bon fonctionnement et de la capacité réelle d'utilisation;
3. S'assurer que les espaces sont libres et dégagés afin de n'avoir aucune interférence lors des opérations;
4. Les opérations doivent se dérouler sous la présence constante d'un signaleur qui devra posséder les qualifications nécessaires;
5. La communication entre le signaleur et les opérateurs de palan se fera par contact auditif (radio). Et le travailleur sur la plateforme doit être en communication directe avec le signaleur;
6. Lors de la levée de la plateforme, s'assurer que la charge ne viendra pas en interférence avec les palans;
7. Si nécessaire, utiliser des câbles de halage pour guider la plateforme;

SODEVEC INC.

Groupe TNT

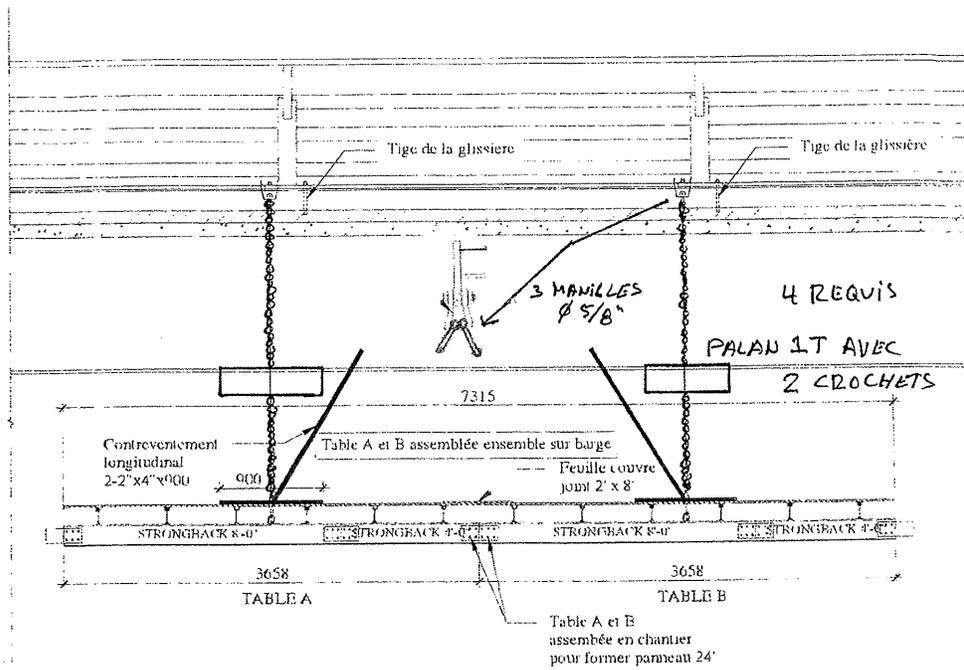
Plan de levage

8. Le personnel affecté aux opérations doit être informé du programme de levage;
9. Les opérations doivent respecter les prescriptions du *Code de sécurité pour les travaux de construction* ainsi que toute autre exigence en matière de sécurité en vigueur sur le site des travaux.
10. Tous les intervenants affectés aux opérations doivent avoir lu et compris le plan de levage et ils doivent être conscients de la tâche qu'ils ont à accomplir;
11. Toutes personnes non affectées aux opérations devront se tenir à un endroit éloigné des lieux des activités. Installer des cônes de signalisation ou toute autre méthode de signalisation afin de délimiter la zone de travail.
12. La signalisation doit respecter les exigences du Ministère du Transport du Québec ainsi que les prescriptions des autorités de l'estacade du Pont Champlain.



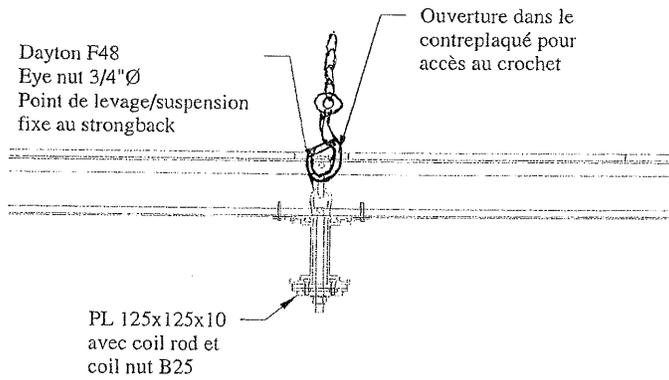
Denis Martel, ing., M.Sc.A.

émis le 20 juillet 2015
revise le 27 juillet 2015

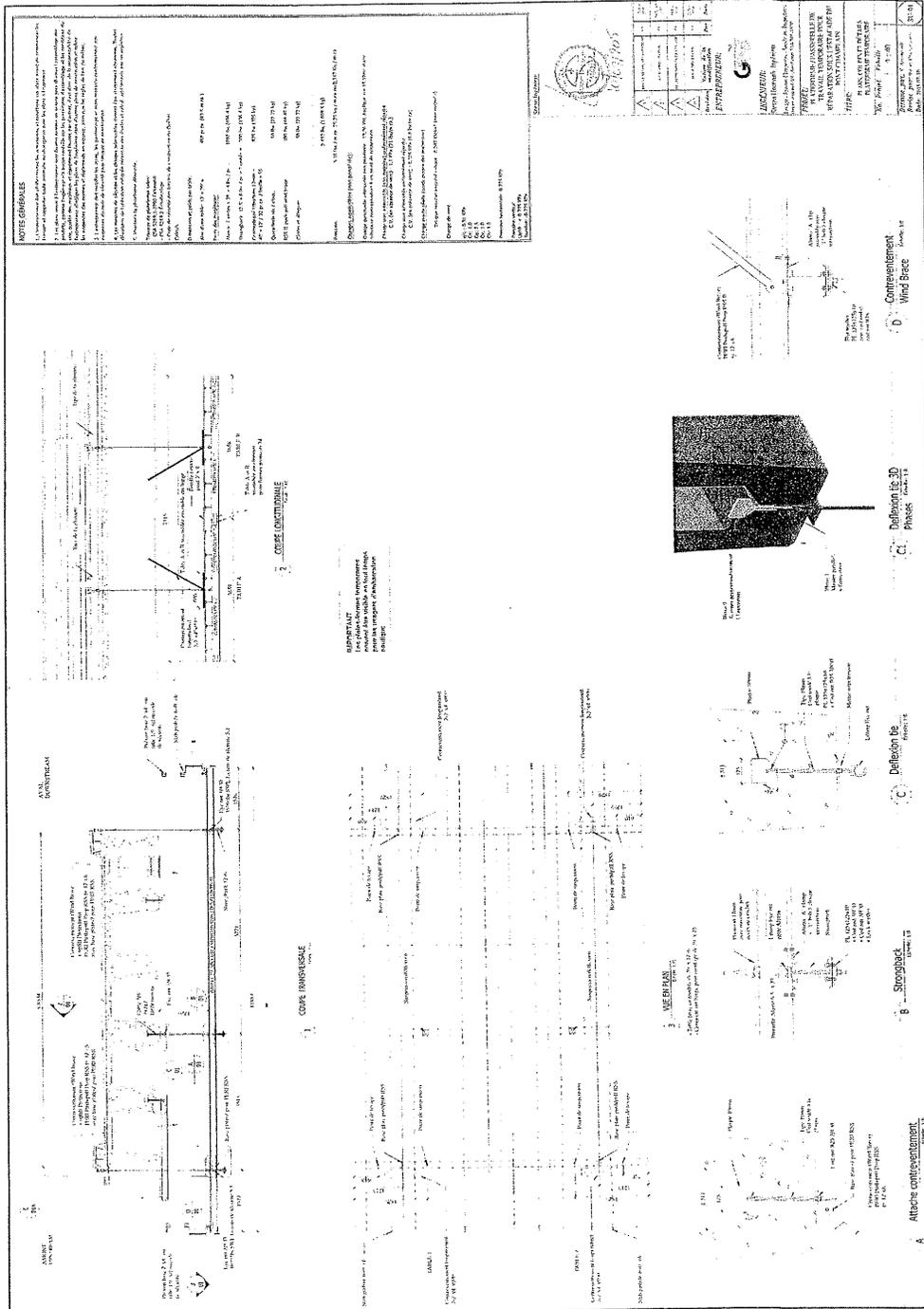


② COUPE LONGITUDINALE
Échelle: 1/40

SCHEMA N°1



SCHEMA N°2





Certification de levage d'essai pour palan manuel de chaîne



Nous certifions que le produit Vanguard suivant a été complètement inspecté et testé à 125% de sa charge maximale admissible de levage.

Description: Palan a chaine 1 tonne x 35 pieds

Numéro de série: 1213511

Code de produit: 3850 sur mesure

Feuille d'emballage: D69295-01

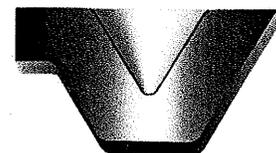
Date de l'inspection: Le 20 aout 2015

Inspecté par: Jonathan Wood

Acier Vanguard Ltée

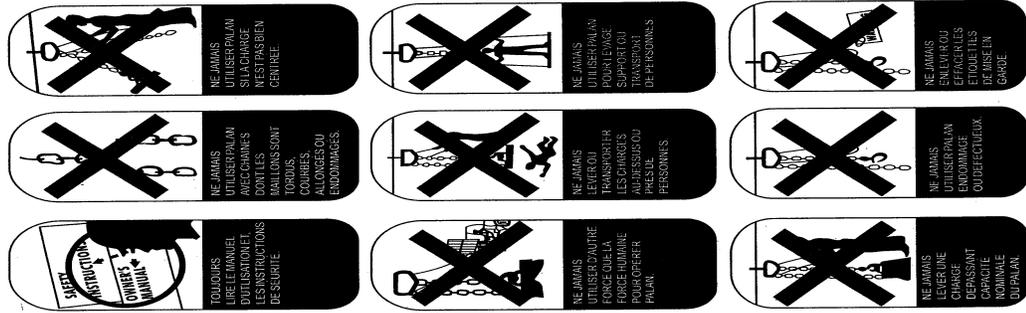
2205, de l'Aviation
Dorval, Quebec
H9P 2X6

tél. # (514) 685-1515
fax # (514) 685-1516

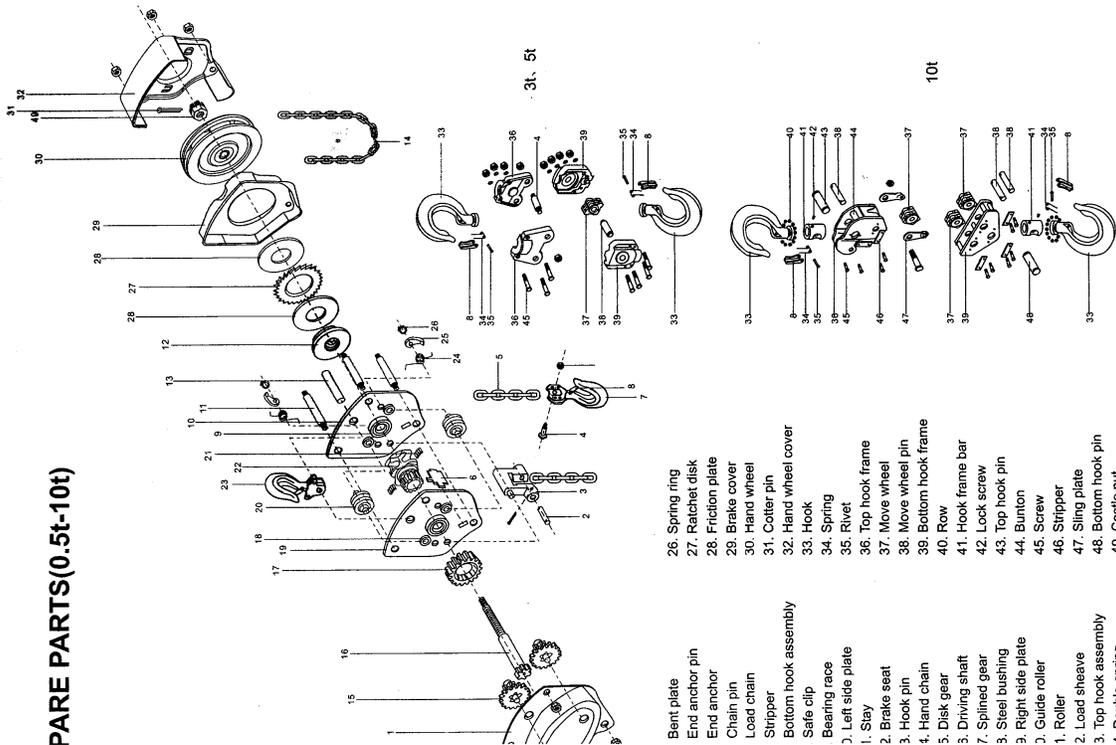
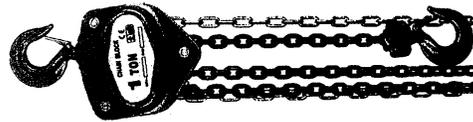


Quebec Ontario Manitoba Alberta British Columbia

ANNEXE D
Manuel du fabricant



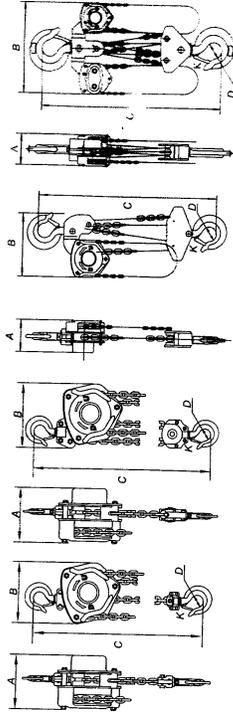
**CHAIN BLOCK
OPERATING INSTRUCTIONS**



PARE PARTS(0.5t-10t)

- 26. Spring ring
 - 27. Ratchet disk
 - 28. Friction plate
 - 29. Brake cover
 - 30. Hand wheel
 - 31. Cotter pin
 - 32. Hand wheel cover
 - 33. Hook
 - 34. Spring
 - 35. Rivet
 - 36. Top hook frame
 - 37. Move wheel
 - 38. Move wheel pin
 - 39. Bottom hook frame
 - 40. Row
 - 41. Hook frame bar
 - 42. Lock screw
 - 43. Top hook pin
 - 44. Bunton
 - 45. Screw
 - 46. Stripper
 - 47. Sling plate
 - 48. Bottom hook pin
 - 49. Castle nut
- Bent plate
 - End anchor pin
 - End anchor
 - Chain pin
 - Load chain
 - Stripper
 - Bottom hook assembly
 - Safe clip
 - Bearing race
 - Left side plate
 - Stay
 - Brake seat
 - Hook pin
 - Hand chain
 - Disk gear
 - Driving shaft
 - Splined gear
 - Steel bushing
 - Right side plate
 - Guide roller
 - Roller
 - Load sheave
 - Top hook assembly
 - Double-spring
 - Pawl

SPECIFICATIONS



0.5t, 1t, 1.5t, 2t, 3t, 4t, 5t, 6t, 7t, 8t, 10t, 15t, 20t, 30t, 40t, 50t, 60t, 70t, 80t, 100t, 150t, 200t, 300t, 400t, 500t, 600t, 700t, 800t, 1000t

Capacity	TON	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	15	20
Standard lift	FT	8.21	8.21	8.21	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Running test load	KN	7.5	15	22.5	30	45	75	150	300	414	414	414	414
Effort required to lift max. Load	N	231	309	320	360	340	414	414	414	414	414	414	414
No. of columns of load chain		1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	8
Load chain diameter	IN	0.24	0.24	0.32	0.32	0.32	0.32	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Dimensions (IN)	A	5.16	5.52	6.34	6.34	6.34	7.33	7.33	8.15	8.15	8.15	8.15	8.47
	B	5.00	6.22	6.85	7.37	7.84	7.84	9.96	9.96	15.67	15.67	15.67	25.59
	C	10.63	12.48	15.71	16.30	18.31	18.31	25.04	25.04	31.42	31.42	31.42	35.04
	D	1.38	1.40	1.78	1.68	1.97	1.97	2.52	2.52	3.35	3.35	3.35	4.33
	K	1.19	1.11	1.42	1.32	1.58	1.58	1.97	1.97	2.52	2.52	2.52	3.35
Net weight	LBS	22.05	26.46	41.89	44.10	59.53	100.31	100.31	182.98	182.98	182.98	425.49	425.49
Packing measurement	IN	8.7x5.9x7.7	9.1x7.1x7.7	11x7.1x7.7	11x8.3x9.5	12.6x8.3x10.2	15.8x8.3x12.2	18.7x16.2x13.3	22.7x19.2x22.2				
Extra weight per foot extra lift	LBS	1.15	1.15	1.55	1.55	2.49	3.76	3.76	6.52	6.52	6.52	13.03	13.03

OPERATION INSTRUCTIONS

- Before lifting inspect carefully the hooks, the load chain, the brake device and lubrication of the block. For safe operation you must keep six rules as following.
 - 1. Don't lift load exceeding the rated capacity of the chain block.
 - 2. Don't use the block chain as a sling.
 - 3. Don't use when the chain is kinking.
 - 4. To avoid accidents working or passing under a lifting load is strictly forbidden.
 - 5. In case of the hand chain fails to move. Don't use undue force. Stop operation and proceed inspection of the chain block.
 - 6. Only use to lift vertically, do not use to drag loads.

MAINTENANCE

- 1. After operation, clean the chain block from dirt and keep it in a dry place from rust and corrosion.
- 2. Clean the chain block annually by purging the parts in kerosene and apply grease to them. It is advisable that the cleaning work should be done by skilled hands.
- 3. "O" marks on the two disk gears should be aligned.
- 4. Stick the rollers of both left and right bearings to the inner race of the bearings on the chain sprocket shaft journal, and then put them into the outer race of the bearings on the side plates.
- 5. After cleaning and repair the chain block should be subjected to non-load and heavy load tests. If it works normally put it into operation.
- 6. For convenience of maintenance and dismantling. One of the links of the hand chain is open.

Lifting Load: Ensure area is clear of people and obstruction, and begin lifting by slowly pulling hand chain in "U" direction.

Lowering Load: Ensure area is clear of people and obstructions, and reverse lifting procedure. It may be necessary to apply extra initial effort to release friction between brake components.

ANNEXE E

Références bibliographiques

- ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. *Ponts roulants : conception, inspection, mise à l'essai, entretien et utilisation sécuritaire*, Mississauga, CSA, 2009, vii, 37 p. (CSA B167-08).
- COMMISSION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL, et autres. *Gréage et levage : guide de sécurité*, Québec, Publications du Québec, 2006, v, 174 p.
- QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction, chapitre S-2.1, r. 4, à jour au 1er avril 2016*, [En ligne], 2016. [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R4.htm] (Consulté le 2 mai 2016).
- QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, chapitre S-2.1, à jour au 1er avril 2016*, [En ligne], 2016. [http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_1/S2_1.html] (Consulté le 2 mai 2016).
- PONTS JACQUES CARTIER ET CHAMPLAIN INCORPORÉE. *Ponts Jacques Cartier + Champlain bridges Canada*, [En ligne], 2016. [<http://jacquescartierchamplain.ca/>] (Consulté le 2 mai 2016).
- WIKIPEDIA. [En ligne], 2016. [[https://fr.wikipedia.org/wiki/Cul%C3%A9_\(pont\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cul%C3%A9_(pont))] (Consulté le 24 mai 2016).

ANNEXE F
Rapport d'expertise

EXPERTISE SUR DES PALANS À CHAÎNE

À l'attention de : **Mme Ketty-Michèle Archer, ing.**

CSST

1199, rue De Bleury
Montréal (Québec)
H3B 3J1

N/Dossier: LAB-15308-01 révision 1 (2016-02-04)

V/Référence : --

Contrat N° : 679685

Date du rapport: 22 décembre 2015

Nombre de pages : 53 (incluant celle-ci)

Réalisé par :

Jacinthe Faucher, ing.,
Métallurgiste – Laboratoire & Ingénierie
Revu par :

Marina Banuta, ing., Ph.D.,
Directrice – Laboratoire & Ingénierie



NOTES:

1. Ce rapport ne doit pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite de SGS CANADA inc.
2. Les pièces seront retenues 3 mois après émission du rapport.
3. Les présents résultats ne se rapportent qu'aux échantillons soumis à l'essai.
4. Le présent rapport est émis par la Société conformément à ses Conditions Générales de Service accessibles sur <http://www.sgs.ca/fr-FR/Terms-and-Conditions.aspx>
SGS Canada Inc. Services Industriels 3420, boulevard Saint-Joseph Est Montréal(Québec) H1X 1W6 Tél.: (514) 255-1679 Téléc.: (514) 252-0071 www.sgs.ca

TABLE DES MATIÈRES

1.0	MANDAT	2
2.0	MISE EN SITUATION ET PRÉSENTATION DES SPÉCIMENS	3
3.0	INSPECTION VISUELLE	6
3.1	Palan #1	6
3.2	Palan #2	9
3.3	Palan #3	11
3.4	Palan #4	14
4.0	ESSAIS FONCTIONNELS	16
4.1	Palan #1	17
4.2	Palan #4	19
5.0	DÉMONTAGE	21
5.1	Palan #1	21
5.2	Palan #4	26
6.0	ANALYSE DE LA DÉFAILLANCE	27
6.1	Plan d'essais	28
6.2	Caractérisation du matériel	29
6.2.1	Analyses chimiques	29
6.2.2	Analyse de la microstructure.....	29
6.2.3	Mesures de dureté.....	33
6.3	Analyse du bris.....	33
6.3.1	Analyse visuelle	33
6.3.2	Analyse macrofractographique	40
6.3.3	Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)	43
6.3.4	Analyse par microscopie optique	45
7.0	DISCUSSION	48
8.0	CONCLUSION	51

Nos conclusions sont fondées sur l'examen indépendant et impartial de la preuve physique et des informations fournies, à compter de la date du présent rapport. Nous nous réservons le droit de réviser nos conclusions si des renseignements supplémentaires ou des preuves matérielles devenaient disponibles suite à la parution du présent rapport ou s'il était démontré que les informations sur lesquelles nous nous sommes appuyés à ce jour étaient inexactes.

1.0 MANDAT

La Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail (CSST) a mandaté SGS Canada Inc. afin de réaliser une expertise sur des palans à chaîne qui desservaient une plateforme de travail sous l'estacade du Pont-Champlain. Lors de la manœuvre de descente de la plateforme, l'un des palans à chaîne s'est bloqué, puis la chaîne s'est relâchée de façon inattendue, entraînant le renversement partiel de la plateforme et causant un accident de travail en septembre 2015. Afin de procéder à l'expertise, le groupe de 4 palans desservant la plateforme au moment de l'accident nous a été soumis. Les objectifs de cette étude seront donc (1) de vérifier l'intégrité des composantes mécaniques du palan à chaîne, (2) de vérifier si le palan a été fabriqué et utilisé selon les normes et les règles de l'art et, (3) de déterminer les éléments qui auraient pu provoquer le relâchement de la chaîne.

Le présent rapport comporte plusieurs sections. Dans un premier temps, une mise en situation, permettant de prendre connaissance des éléments de l'accident pertinents à la présente investigation, sera présentée. Des inspections visuelles et des essais fonctionnels seront ensuite réalisés sur les palans soumis afin d'évaluer leur condition générale actuelle (fonctionnalité, présence de traces d'usure anormale, de déformations plastiques, de fissurations ou de bris). Ces inspections ont également pour but de déterminer le nombre, l'emplacement et le type d'essais métallurgiques nécessaires à l'analyse de la défaillance.

L'analyse de la défaillance débutera par une caractérisation métallurgique des composantes ciblées afin de déterminer les propriétés chimiques, mécaniques et métallurgiques du matériel utilisé pour leur fabrication. Les résultats de ces analyses serviront également à vérifier si des anomalies métallurgiques étaient présentes et auraient pu contribuer à la défaillance. Par la suite, des analyses macroscopiques et microscopiques nous permettront de mettre en évidence le mode de rupture et le type de sollicitation. Finalement, une analyse globale des résultats obtenus sera effectuée afin de déterminer la cause la plus probable de la défaillance et les éléments qui auraient pu provoquer le relâchement de la chaîne.

2.0 MISE EN SITUATION ET PRÉSENTATION DES SPÉCIMENS

Selon les informations fournies par la CSST, lors de la manœuvre de descente de la plateforme de travail sous l'estacade du Pont-Champlain, l'un des palans à chaîne s'est bloqué. Un travailleur est alors monté sur la plateforme pour tenter de remédier à la situation. Le travailleur aurait manipulé le palan, mais aucun détail sur les gestes exacts posés par le travailleur à ce moment n'est disponible puisque celui-ci était seul sur la plateforme lors de l'accident. La suite connue des événements est que la chaîne s'est alors relâchée de façon inattendue, entraînant le renversement partiel de la plateforme. Des photos fournies par la CSST, illustrant le renversement partiel de la plateforme, sont présentées aux Photos 1 et 2.

Toujours selon les informations fournies par la CSST, la plateforme, pesant 3300 livres, était fixée sur des ancrages permanents pendant l'utilisation. Lorsque la plateforme devait être mobilisée et démobilisée, quatre palans manuels à chaîne, situés aux coins de la plateforme, étaient manipulés simultanément par quatre travailleurs.

Une vue générale des quatre palans soumis ainsi qu'un résumé de leur identification sont présentés au Tableau 1. Ainsi, tel qu'il est possible de le noter au Tableau 1, les palans ont été numérotés de 1 à 4 par la CSST; cette identification sera également conservée par SGS dans le présent rapport. Les quatre palans soumis sont des palans manuels à chaîne de marque VGD (Vanguard), modèle VCH-100, et leur charge maximale d'utilisation est d'une tonne (2204,62 livres). En principe, la capacité des palans était adéquate au levage de la plateforme. Le palan bloqué, présenté aux Photos 1 et 2, correspond au Palan #1 dans le Tableau 1.

À noter que la conception, l'inspection, la mise à l'essai, l'entretien et l'utilisation sécuritaire des palans devraient suivre les indications de la norme CSA B167-08 « Overhead travelling cranes – Desing, inspection, testing, maintenance, and safe operation ». Les inspections et les essais réalisés sur les palans dans le cadre de la présente investigation sont en accord avec cette norme.

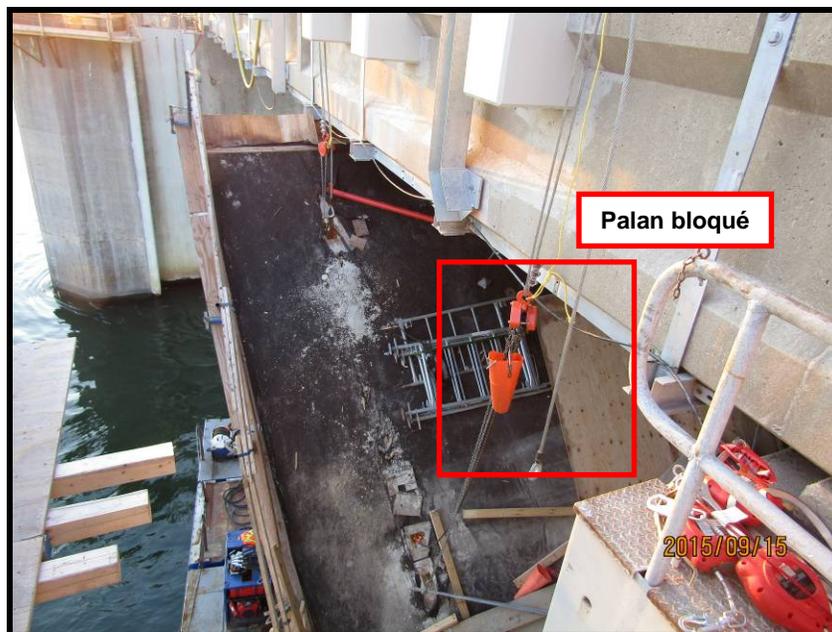


PHOTO 1

Vue générale de la plateforme partiellement renversée (photo fournie par la CSST).

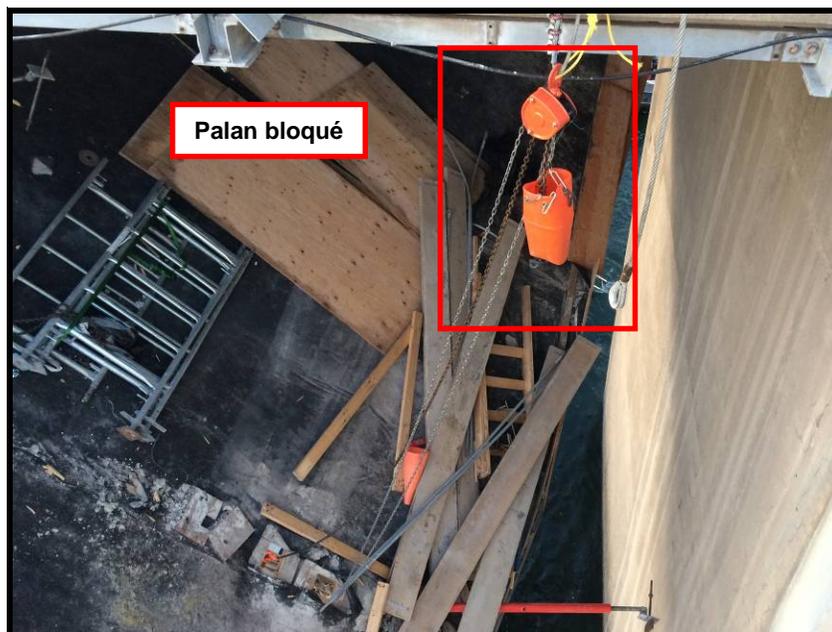


PHOTO 2

Vue rapprochée du palan bloqué (photo fournie par la CSST).

TABLEAU 1: Présentation générale des palans soumis

	<p>Identification CSST: Preuve #1</p> <p>Identification SGS: Palan #1</p> <p>Description: Palan à chaîne position #1 coté amont pile #9</p> <p>Marque/Modèle : VGD (Vanguard) / VCH-100</p> <p>Capacité : 1 tonne (2204,62 livres)</p> <p># de série: 1213530</p>
	<p>Identification CSST: Preuve #2</p> <p>Identification SGS: Palan #2</p> <p>Description: Palan à chaîne position #2 coté amont pile #8</p> <p>Marque/Modèle : VGD (Vanguard) / VCH-100</p> <p>Capacité : 1 tonne (2204,62 livres)</p> <p># de série: 1213521</p>
	<p>Identification CSST: Preuve #3</p> <p>Identification SGS: Palan #3</p> <p>Description: Palan à chaîne position #3 coté aval pile #9</p> <p>Marque/Modèle : VGD (Vanguard) / VCH-100</p> <p>Capacité : 1 tonne (2204,62 livres)</p> <p># de série: 1213514</p>
	<p>Identification CSST: Preuve #4</p> <p>Identification SGS: Palan #4</p> <p>Description: Palan à chaîne position #4 coté aval pile #8</p> <p>Marque/Modèle : VGD (Vanguard) / VCH-100</p> <p>Capacité : 1 tonne (2204,62 livres)</p> <p># de série: 1213511</p>

3.0 INSPECTION VISUELLE

Tel que déjà précisé, les quatre palans soumis sont des palans manuels à chaîne de marque VGD (Vanguard), modèle VCH-100, et leur charge maximale d'utilisation est d'une tonne (2204,62 livres). Une inspection visuelle a été effectuée sur chaque palan soumis afin de noter leurs caractéristiques générales et d'évaluer leur condition générale (présence de traces d'usure anormale, de déformations plastiques, de fissurations ou de bris). Aucune manipulation pouvant altérer la condition des palans, tels que soumis, n'a été effectuée à cette étape de l'investigation. L'inspection visuelle des palans a été effectuée par la représentante de SGS, Mme Jacinthe Faucher, ing., devant la représentante de la CSST, Mme Julie Casaubon, ing., en date du 2 décembre 2015. Les illustrations les plus représentatives de l'inspection visuelle effectuée sur chaque palan soumis, sont présentées à la suite de cette section.

3.1 Palan #1

Une vue générale du Palan #1 est présentée à la Photo 3. Tel qu'il est possible de le noter, un panier de récupération de chaîne est fixé à une tige du palan à l'aide d'une broche métallique (Photos 3 et 4). Les paniers de récupération de chaîne sont utilisés pour retenir l'excédent de chaîne de levage lorsque la longueur de chaîne utilisée sur le palan est considérable. Il est toutefois inhabituel d'utiliser un panier de récupération de chaîne sur un palan manuel à chaîne. De plus, le palan ne possédait pas de fixation visant à recevoir un panier de récupération de chaîne; d'où l'utilisation de broche métallique pour le fixer sur le palan dans le cas présent. À noter que selon la norme CSA B167-08, toutes réparations et/ou modifications des équipements de levage doivent être effectuées par du personnel formé et qualifié utilisant des procédures approuvées pour l'équipement devant être utilisé.

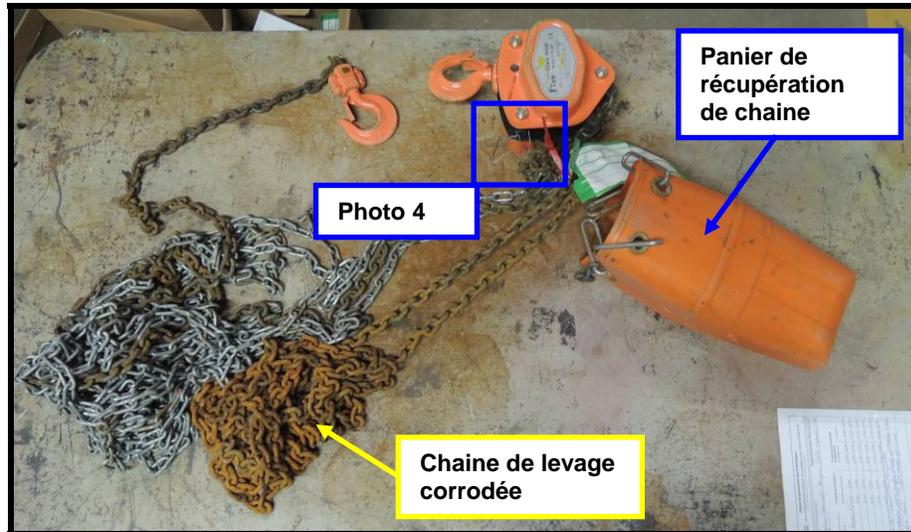


PHOTO 3
Vue générale du Palan #1.



PHOTO 4
Broche métallique fixant le panier de récupération de chaîne au Palan #1.

Des indications illustrant la direction de montée et de descente étaient visibles à l'endos du carter du Palan #1, ce qui constitue une bonne pratique (Photo 5). En ce qui concerne les chaînes du Palan #1, il a été noté qu'une partie de la chaîne de levage présente de la corrosion à la surface de ses maillons (Photos 3 et 6). Selon les informations fournies par la CSST, la chaîne de levage serait restée plusieurs jours dans le panier à chaîne suite à l'accident. Le panier à chaîne se serait rempli d'eau suite à l'exposition aux intempéries ce qui aurait entraîné la corrosion de la partie de la chaîne immergée.

La chaîne de levage des palans à chaîne doit être au minimum de grade 80 selon la norme ASTM-A391 « Standard Specification for Grade 80 Alloy Steel Chain ». Étant donné qu'aucune trace d'usure anormale, de déformation plastique, de fissuration ou de bris sur les composantes mécaniques du Palan #1 n'a été notée à cette étape de l'investigation, il n'a pas été jugé nécessaire d'effectuer la caractérisation complète de la chaîne.



PHOTO 5

Indications illustrant la direction de montée et de descente sur le Palan #1.

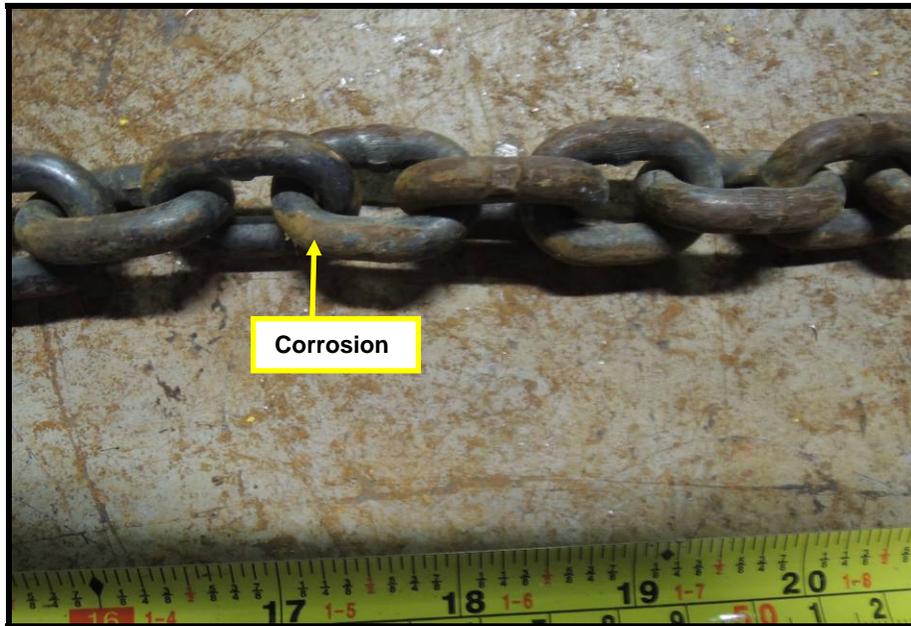


PHOTO 6

Vue rapprochée de la chaîne de levage sur le Palan #1.

3.2 Palan #2

Une vue générale du Palan #2 est présentée à la Photo 7. Aucun panier de récupération de chaîne n'était fixé au Palan #2 (Photo 7). Des indications illustrant la direction de montée et de descente étaient également visibles à l'endos du carter du Palan #2 (Photo 8). De façon générale, la chaîne de levage du Palan #2 présentait moins de corrosion que celle du Palan #1, le plus probablement dû à l'absence de panier de récupération de chaîne (Photo 9). Aucune trace d'usure anormale, de déformation plastique, de fissuration ou de bris sur la chaîne de levage ou autre composante mécanique du Palan #2 n'ont été notées à cette étape de l'investigation.

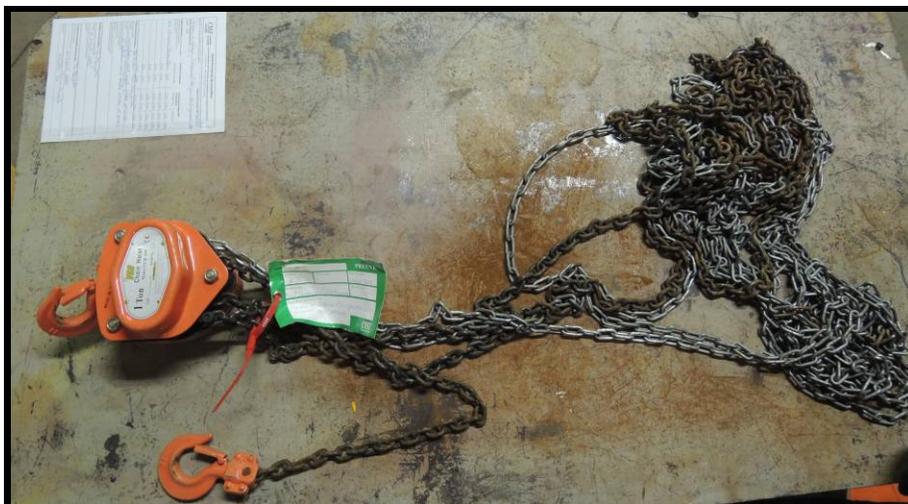


PHOTO 7
Vue générale du Palan #2.



PHOTO 8
Indications illustrant la direction de montée et de descente sur le Palan #2.



PHOTO 9

Vue rapprochée de la chaîne de levage sur le Palan #2.

3.3 Palan #3

Une vue générale du Palan #3 est présentée à la Photo 10. Encore une fois, un panier de récupération de chaîne est fixé à une tige du palan à l'aide d'une broche métallique (Photos 10 et 11). Des indications illustrant la direction de montée et de descente étaient également visibles à l'endos du carter du Palan #3 (Photo 12). La chaîne de levage du Palan #3 présentait autant de corrosion que celle du Palan #1, le plus probablement dû à la présence du panier de récupération de chaîne (Photo 13). Aucune trace d'usure anormale, de déformation plastique, de fissuration ou de bris sur la chaîne de levage ou autre composante mécanique du Palan #3, n'ont été notés à cette étape de l'investigation.

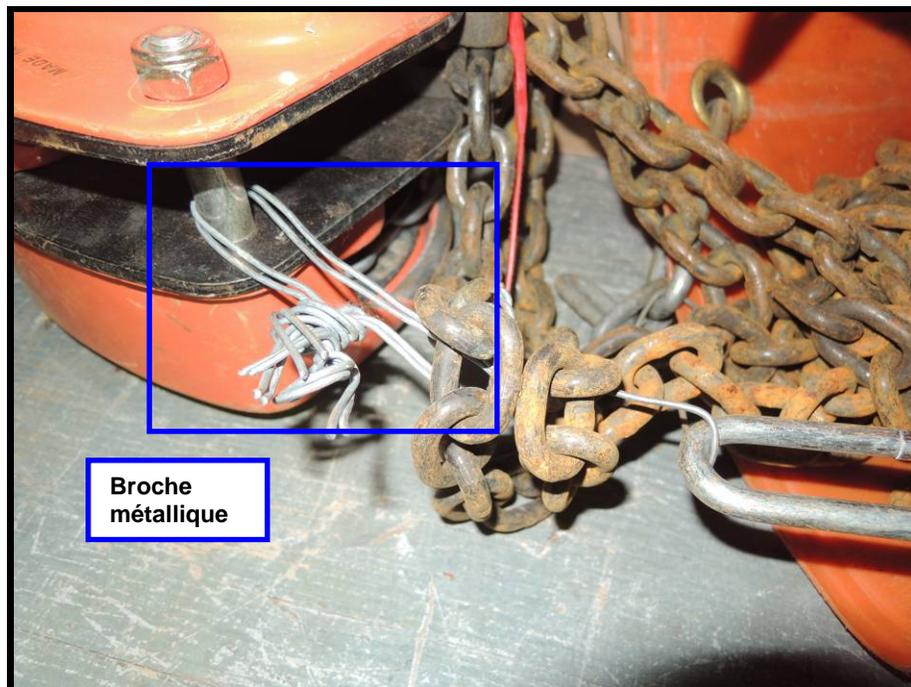
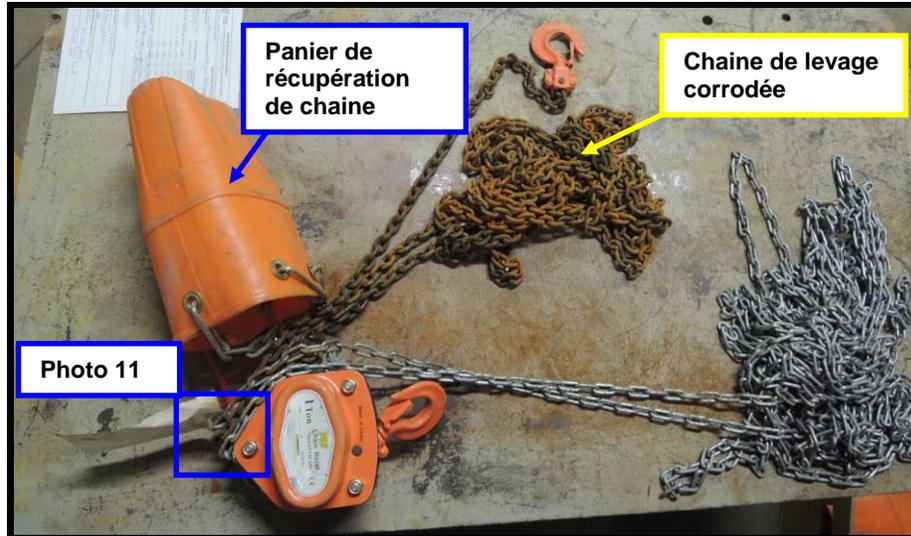




PHOTO 12

Indications illustrant la direction de montée et de descente sur le Palan #3.

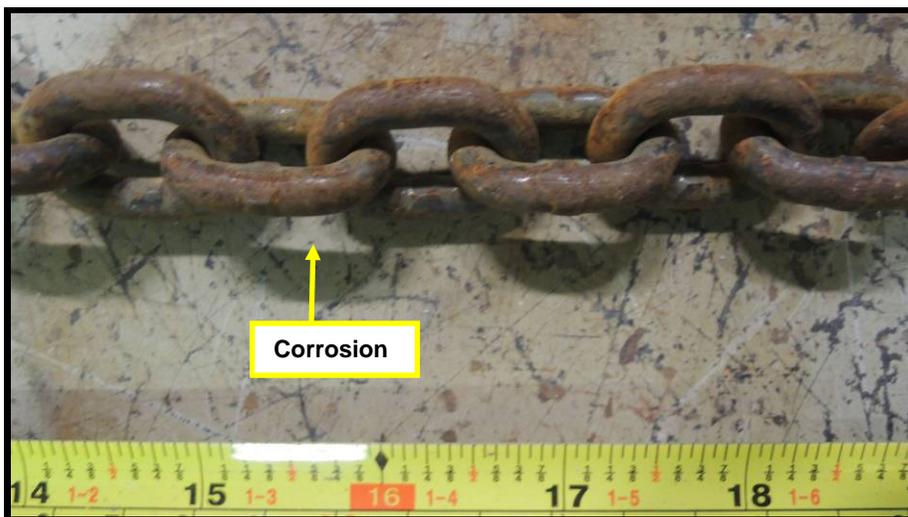


PHOTO 13

Vue rapprochée de la chaîne de levage sur le Palan #3.

3.4 Palan #4

Une vue générale du Palan #4 est présentée à la Photo 14. Encore une fois, un panier de récupération de chaîne est fixé à une tige du palan à l'aide d'une broche métallique (Photos 14 et 15). Des indications illustrant la direction de montée et de descente étaient également visibles à l'endos du carter du Palan #4 (Photo 16). La chaîne de levage du Palan #4 présentait autant de corrosion que celle du Palan #1, le plus probablement dû à la présence du panier de récupération de chaîne (Photo 17). Aucune trace d'usure anormale, de déformation plastique, de fissuration ou de bris sur la chaîne de levage ou autre composante mécanique du Palan #4, n'ont été notés à cette étape de l'investigation.

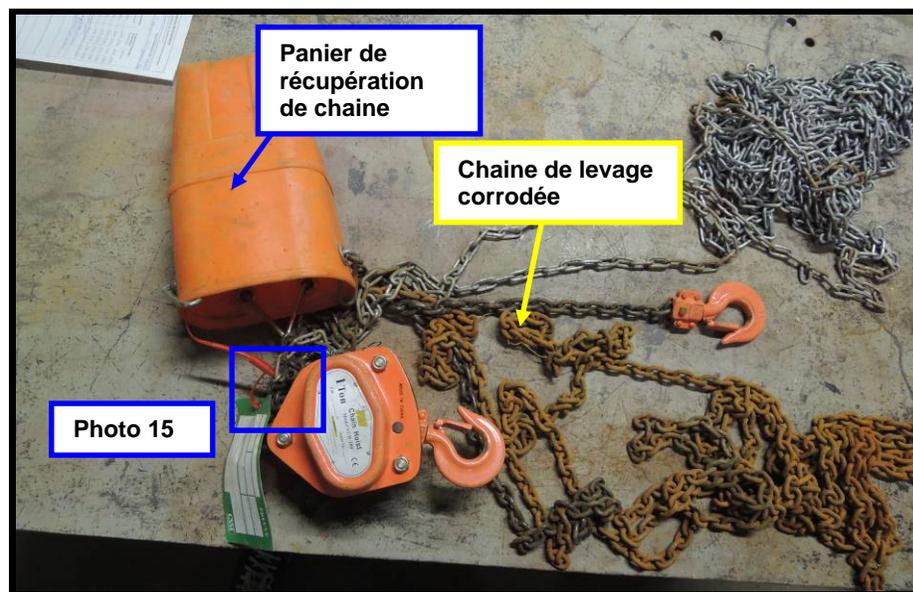


PHOTO 14
Vue générale du Palan #4.

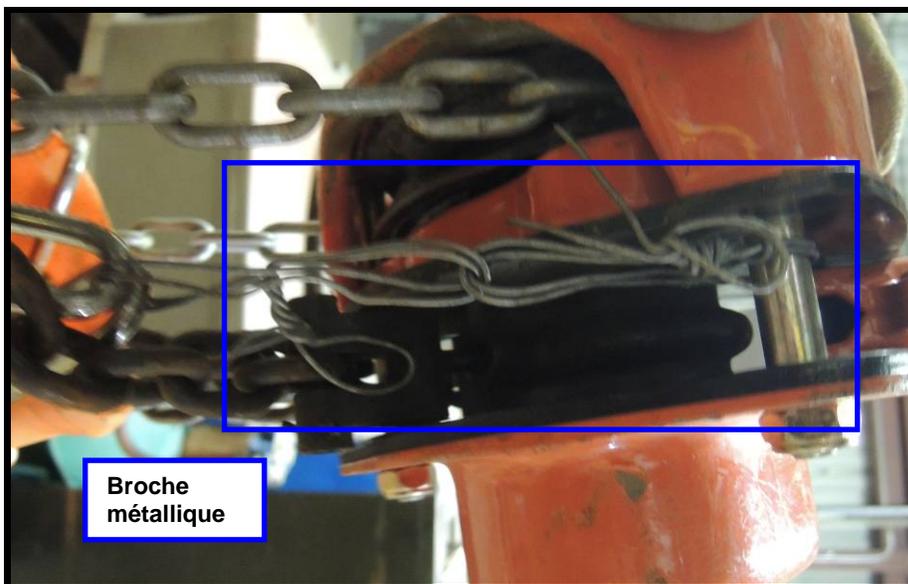


PHOTO 15

Broche métallique fixant le panier de récupération de chaîne au Palan #4.

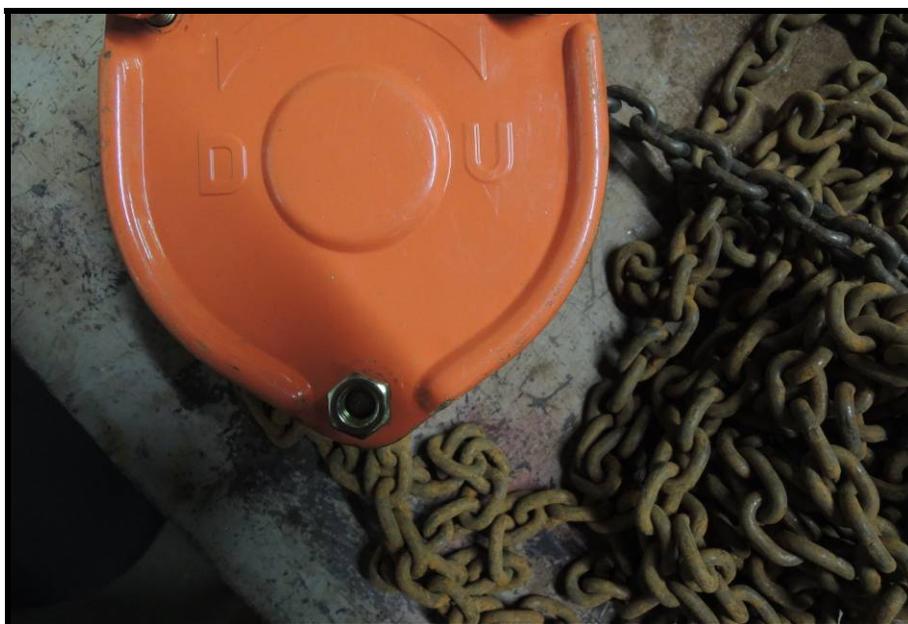


PHOTO 16

Indications illustrant la direction de montée et de descente sur le Palan #4.



PHOTO 17

Vue rapprochée de la chaîne de levage sur le Palan #4.

4.0 ESSAIS FONCTIONNELS

Des essais fonctionnels ont été effectués sur deux des quatre palans soumis afin d'évaluer leur fonctionnalité générale. Ainsi, le Palan #1, étant le palan bloqué de l'accident, et le Palan #4, étant un palan intact, ont été sélectionnés pour les essais fonctionnels.

Les essais fonctionnels des palans ont été effectués par M. Éric Lahaye, inspecteur spécialisé dans l'inspection d'équipements de levage chez SGS, devant la représentante de la CSST, Mme Julie Casaubon, ing., et la représentante de SGS, Mme Jacinthe Faucher, ing., en date du 7 décembre 2015. Les illustrations les plus représentatives de ces essais sont présentées à la suite de cette section.

4.1 Palan #1

Le palan #1 a été installé sur un banc d'essai tel que présenté à la Photo 18. Le montage consiste à fixer le palan sur une cellule de charge puis de le solliciter. Dans le cas présent, la capacité maximale d'utilisation de la cellule est de 10 000 livres. Avant toute sollicitation, la position générale du palan et de ses composantes a été observée. Le mouvement des chaînes de levage et d'entraînement a été ensuite évalué sans charge.

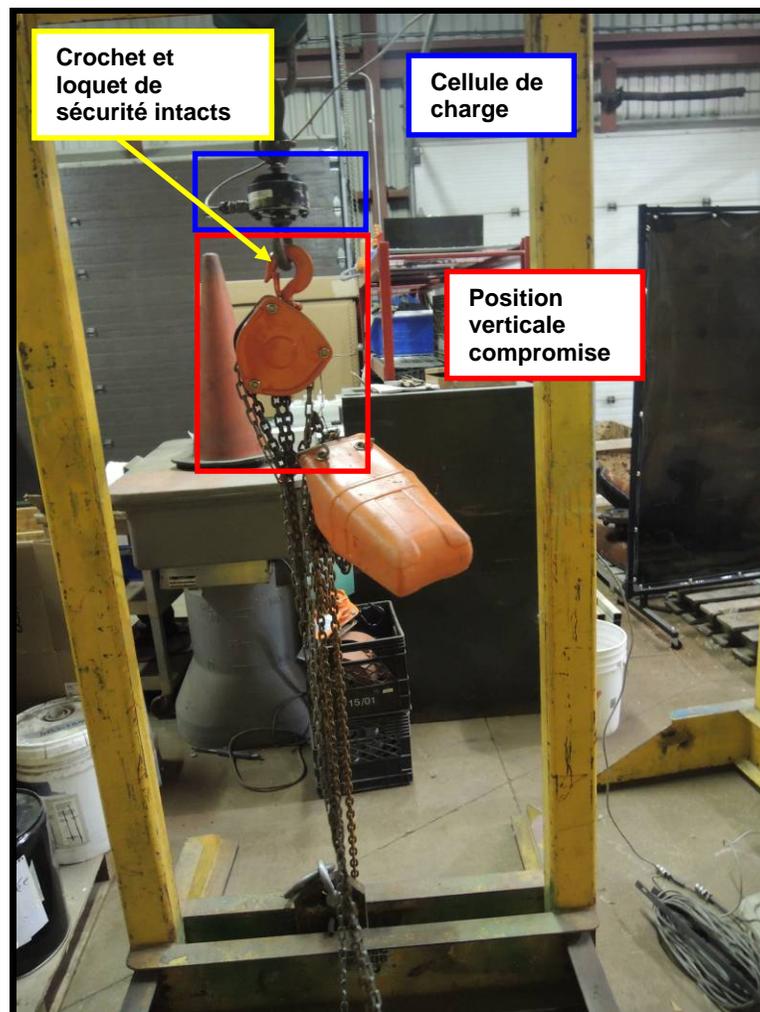


PHOTO 18

Palan #1 tel qu'installé sur le banc d'essai.

Dans un premier temps, il a été possible de noter que le palan avait tendance à adopter une mauvaise position lorsque que le panier de récupération de chaîne était chargé (Photo 18).

Les palans à chaîne doivent être grésés de manière à ce que les crochets supérieur et inférieur soient alignés selon un axe rectiligne (Figure 1). Ils sont conçus pour être utilisés le plus près possible de la verticale. Le panier à chaîne est donc susceptible de compromettre cette position lorsqu'il est chargé de chaîne.

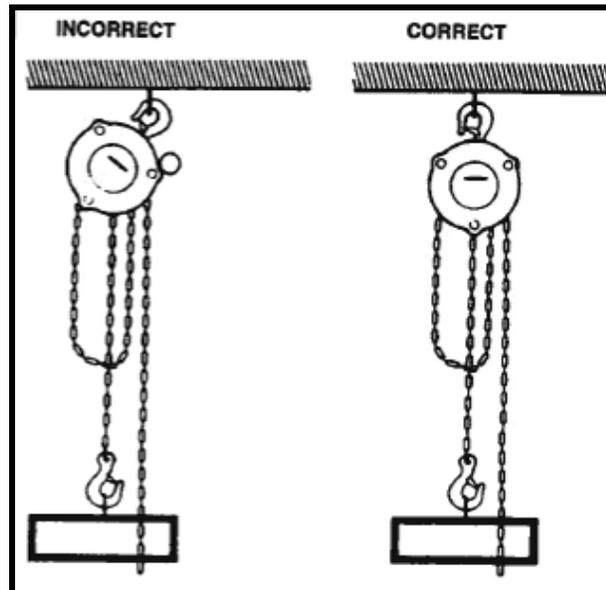


FIGURE 1

Schéma des positions correctes et incorrectes d'un palan à chaîne.

Notons également que le loquet de sécurité se refermait de façon adéquate et que le crochet ne présentait pas de déformation plastique (Photo 18). En effet, les palans à chaîne sont conçus de façon à ce que le crochet se déforme lorsque le palan est surchargé, ce qui entraîne l'ouverture du loquet de sécurité. Un autre signe indiquant qu'un palan a été surchargé est la déformation et/ou le bris des chaînes. Dans le cas présent, comme aucun de ces indices n'a été observé, il est possible de conclure que le Palan #1 n'a pas été surchargé.

Ensuite, les chaînes de levage et d'entraînement ont tenté d'être activées sans charge afin d'évaluer leur mouvement. Toutefois, le palan était bloqué et aucun mouvement des chaînes n'était possible. De façon générale, la méthode employée pour débloquer un palan manuel en chantier est de tirer vigoureusement sur les chaînes, ce qui peut entraîner le relâchement de la chaîne de levage. Cette méthode a été tentée sur le Palan #1, mais sans succès. Aucun

essai de charge n'a donc été réalisé sur le Palan #1. Le Palan #1 sera démonté à la section suivante afin de déterminer la cause du blocage.

4.2 Palan #4

Le palan #4 a été installé sur un banc d'essai tel que présenté à la Photo 19. Le montage consiste à fixer le palan sur une cellule de charge puis de le solliciter. Dans le cas présent, la capacité maximale d'utilisation de la cellule est de 10 000 livres. Avant toute sollicitation, la position générale du palan et de ses composantes a été observée. Le mouvement des chaînes de levage et d'entraînement a été ensuite évalué sans charge.

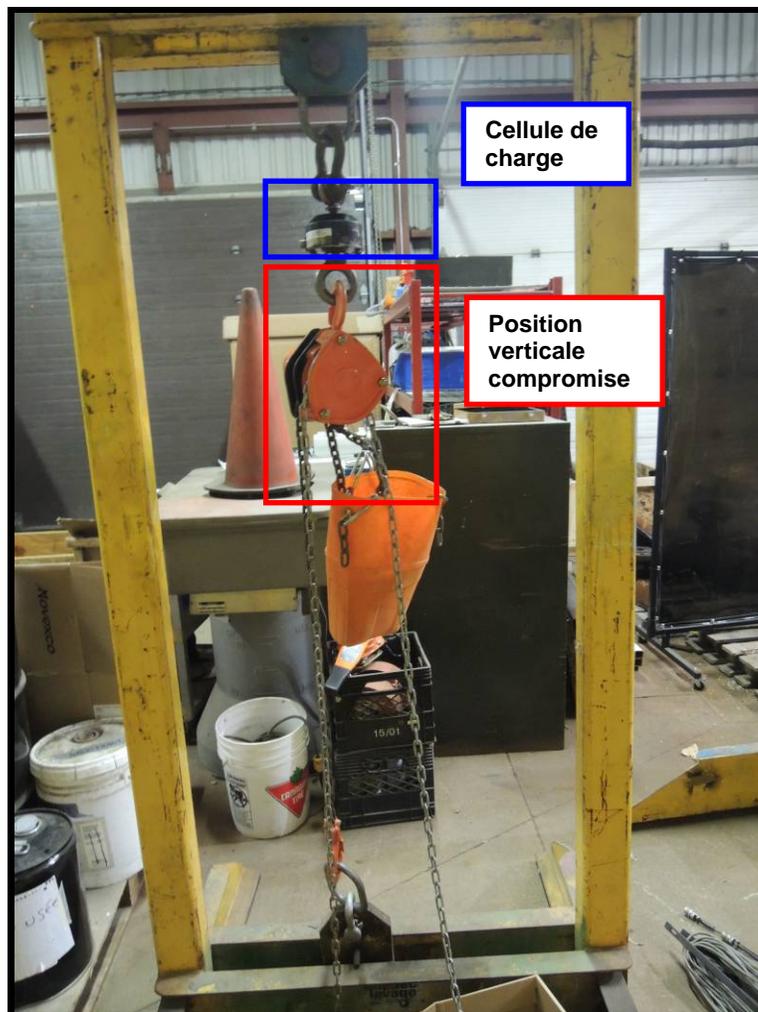


PHOTO 19

Palan #4 tel qu'installé sur le banc d'essai.

Encore une fois, il a été possible de noter que le palan avait tendance à adopter une mauvaise position lorsque que le panier de récupération de chaîne était chargé (Photo 19). En effet, la position verticale était compromise par le panier à chaîne lorsque ce dernier est chargé de chaîne (Photo 19). Notons également que le loquet de sécurité, le crochet et les chaînes du Palan #4 ne présentaient pas de déformation plastique (Photo 19). Ceci indique donc que le Palan #4 n'a pas été surchargé.

Ensuite, les chaînes de levage et d'entraînement ont été activées sans charge afin d'évaluer leur mouvement. Le palan était fonctionnel, mais le mouvement des chaînes était gêné par la présence du panier à chaîne et de la broche métallique, ce qui constitue un risque de blocage (Photo 20). En effet, lors de l'activation des chaînes, le panier à chaîne et la broche métallique risque de modifier le mouvement normal des chaînes ce qui peut entraver l'entrée et la sortie des chaînes dans le palan et causer un blocage.

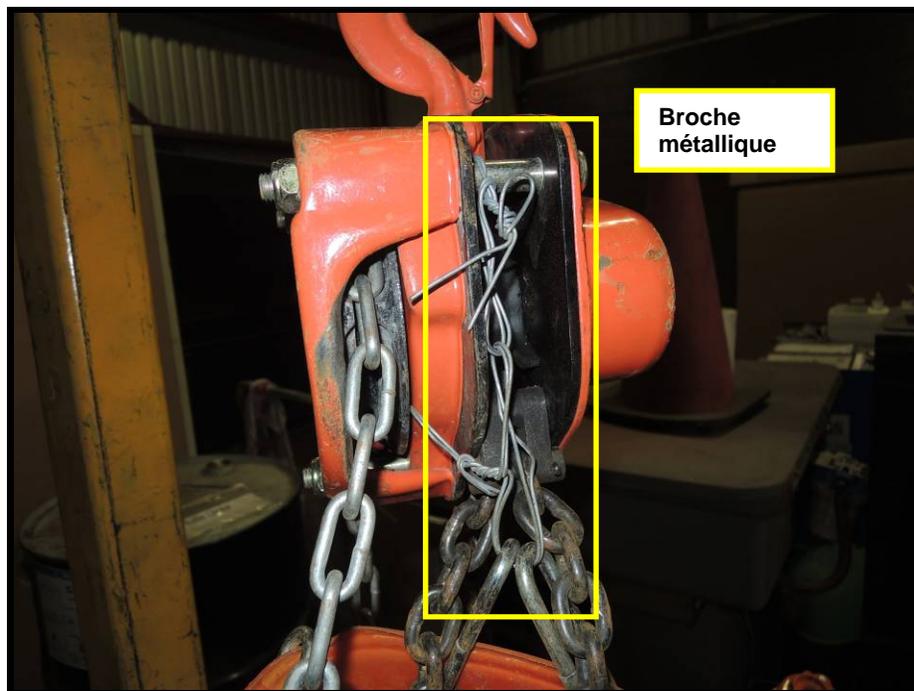


PHOTO 20

Broche métallique gênant le mouvement de la chaîne de levage sur le Palan #4.

Le Palan #4 a ensuite été testé à près de 100% de sa capacité, soit à environ 2000 livres (Photo 21). Aucun relâchement n'a été noté lors du maintien de la charge. Le Palan #4 sera démonté à la section suivante afin de comparer ses différentes composantes mécaniques à celles du Palan #1.



PHOTO 21

Aucun relâchement n'a été noté lors du maintien de la charge sur le Palan #4.

5.0 DÉMONTAGE

Le démontage a été effectué sur les deux palans utilisés précédemment pour les essais fonctionnels. Ainsi, le Palan #1, étant le palan bloqué de l'accident, et le Palan #4, étant un palan intact, ont été démontés.

Le démontage des palans a été effectuée par M. Éric Lahaye, inspecteur spécialisé dans l'inspection d'équipements de levage chez SGS, devant la représentante de la CSST, Mme Julie Casaubon, ing., et la représentante de SGS, Mme Jacinthe Faucher, ing., en date du 7 décembre 2015. Les illustrations les plus représentatives sont présentées à la suite de cette section.

5.1 Palan #1

Le Palan #1 a été démonté afin de déterminer la cause du blocage noté lors des essais fonctionnels. Tout d'abord, le carter du côté de la chaîne d'entraînement a été ouvert puis les composantes démontées (Photo 22). Une indentation et des traces d'usure, le plus probablement produites par la chaîne d'entraînement, étaient visibles sur le carter du palan,

du côté de la chaîne d'entraînement (Photo 23). Cette usure pourrait être due à une friction induite à cette surface suite à l'angle créé par le poids du panier à chaîne sur le palan.

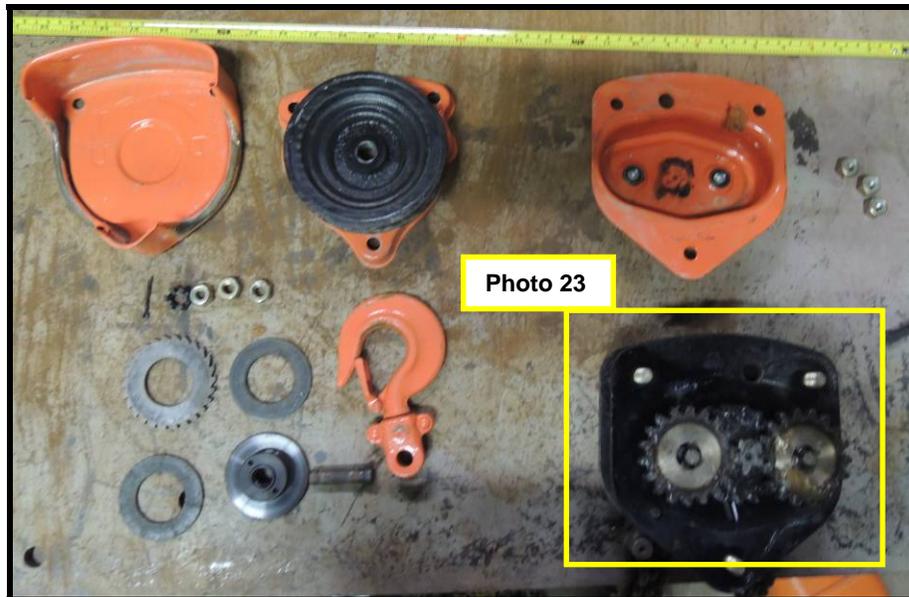


PHOTO 22

Démontage des composantes du côté de la chaîne d'entraînement du Palan #1.

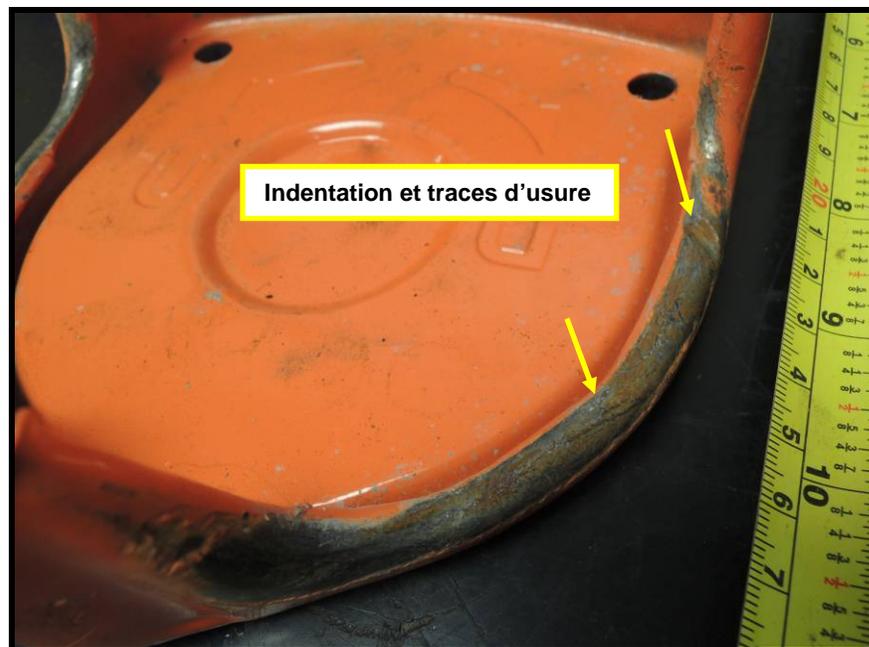
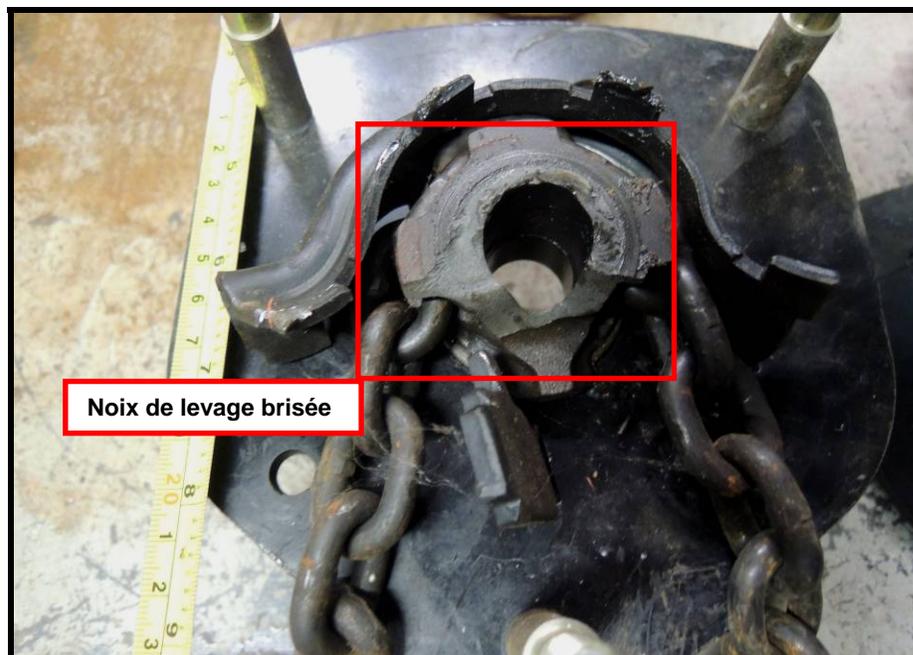


PHOTO 23

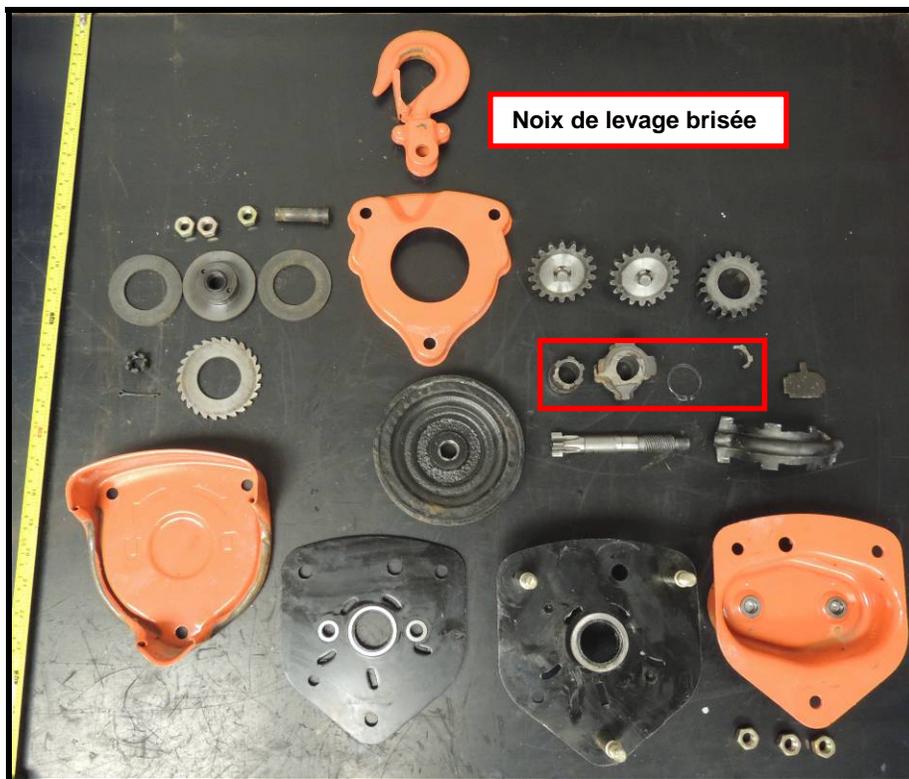
Indentation et traces d'usure sur le carter du côté de la chaîne d'entraînement du Palan #1.

Le carter du côté de la chaîne de levage a été ouvert (Photo 24). Il a alors été noté que la noix de levage était brisée (Photo 24). Le démontage complet du Palan #1 a ensuite été effectué (Photo 25). Le démontage du palan a permis de noter l'absence de rouleaux de guidages. Les rouleaux de guidage sont généralement situés de part et d'autre de la noix de levage et servent à guider le passage de la chaîne de levage dans le palan.

Les chaînes du palan ont été mesurées : la longueur de la chaîne d'entraînement était de 34 pieds et la longueur de la chaîne de levage était de 36 pieds. La partie de la chaîne de levage située à l'intérieur ou près du mécanisme du palan, était facilement distinguable du reste de la chaîne puisqu'elle ne présentait pas autant de corrosion que la partie ayant été exposée à l'environnement suite à l'accident (Photos 26 et 27). Ainsi, plusieurs maillons de la chaîne présentaient des indentations dans cette partie de la chaîne (Photos 26 et 27). Un seul maillon de la chaîne d'entraînement n'était pas soudé (Photo 28). Cette situation n'est toutefois pas inhabituelle car ce maillon sert généralement à gérer la longueur de la chaîne et créer une boucle sur la poulie d'entraînement. Une analyse complète de la défaillance du Palan #1 sera présentée à la section suivante.

**PHOTO 24**

Démontage des composants du côté de la chaîne de levage du Palan #1.



Noix de levage brisée

PHOTO 25
Démontage complet du Palan #1.



Indentation

PHOTO 26
Indentation dans un maillon de la chaîne de levage du Palan #1.



Indentations

PHOTO 27

Indentations dans un maillon de la chaîne de levage du Palan #1.



Maillon non soudé

PHOTO 28

Maillon non soudé sur la chaîne d'entraînement du Palan #1.

5.2 Palan #4

Le Palan #4 a été démonté à des fins de comparaison avec le Palan #1. Ainsi, l'ouverture du carter du côté de la chaîne de levage a montré que la noix de levage sur le Palan #4 semblait intacte (Photo 29). Le démontage complet du Palan #4 a alors été effectué (Photo 30). Les chaînes du palan ont été mesurées : la longueur de la chaîne d'entraînement était de 34 pieds et la longueur de la chaîne de levage était de 36 pieds. Aucun bris n'était visible à l'œil nu sur les composantes du Palan #4.

Une caractérisation métallurgique complète de la noix de levage du Palan #4 sera effectuée à la section suivante afin de comparer ses caractéristiques à la noix de levage brisée du Palan #1.

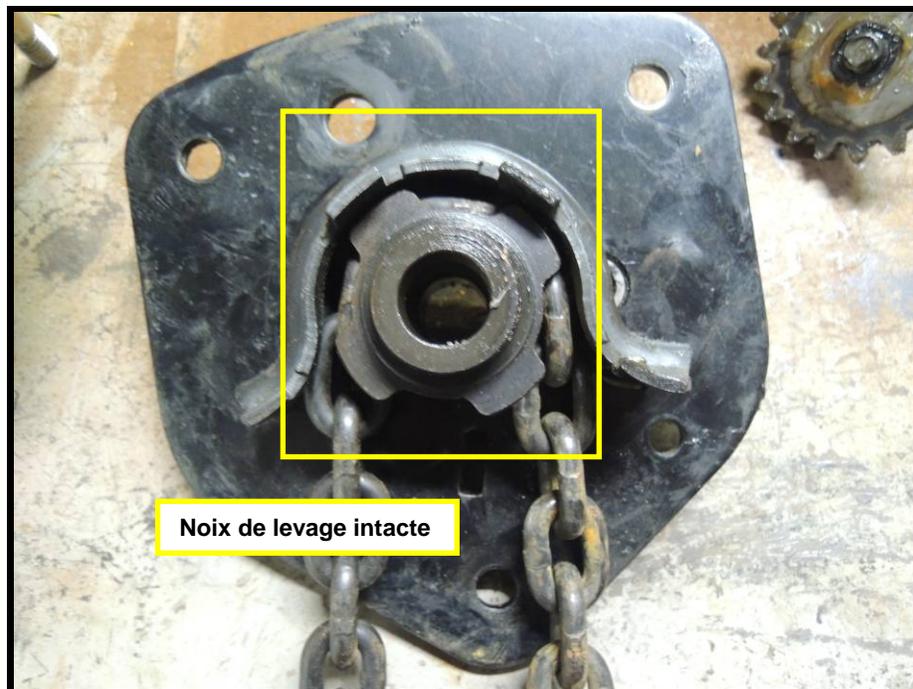


PHOTO 29

Démontage des composantes du côté de la chaîne de levage du Palan #4.

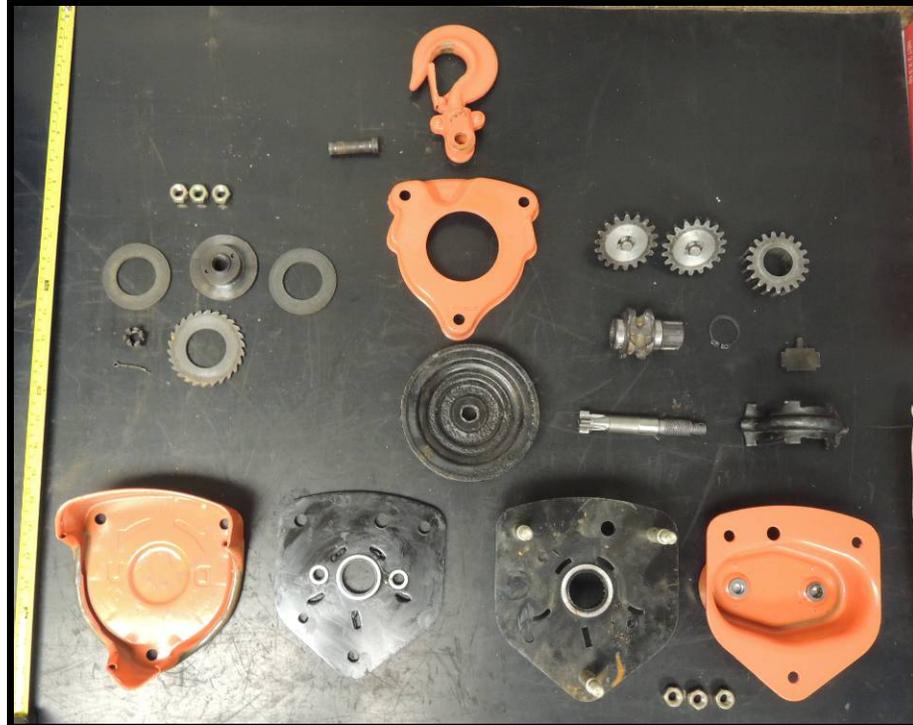


PHOTO 30
Démontage complet du Palan #4.

6.0 ANALYSE DE LA DÉFAILLANCE

À l'intérieur de cette section, une analyse de la défaillance sera effectuée afin de déterminer la cause la plus probable du bris subi par la noix de levage du Palan #1. Une caractérisation métallurgique du matériel des noix de levage des Palans #1 et #4, par l'intermédiaire d'analyses chimiques, mécaniques et microstructurales, sera d'abord présentée. Les résultats de ces analyses permettront d'établir la nature exacte du matériel utilisé pour la fabrication des noix de levage, mais également à vérifier si des anomalies métallurgiques étaient présentes et auraient pu contribuer à la défaillance.

Une inspection visuelle complète des pièces composant les Palans #1 et #4 sera effectuée, pour noter toutes évidences macroscopiques pouvant être associées à la défaillance. Par la suite, une analyse fractographique des faciès de rupture disponibles nous permettra de mettre en évidence le mode de rupture, son origine, le type de sollicitation et la cause la plus probable du bris de la noix de levage du Palan #1.

6.1 Plan d'essais

Une caractérisation du matériel composant les noix de levage des Palans #1 et #4 a été réalisée afin que leurs caractéristiques chimiques, mécaniques et métallurgiques soient établies. Par la suite, une analyse du bris fut réalisée directement sur les faciès de rupture disponibles. Un résumé des analyses et observations effectuées ainsi que l'emplacement des échantillons utilisés, est présenté au Tableau 2.

TABLEAU 2 : Sommaire des essais et analyses effectués

CARACTÉRISATION DU MATÉRIEL	<p>Analyse chimique ASTM E1019-11 <i>Standard Test Method for Determination of Carbon, Sulfur, Nitrogen and Oxygen in Steel, Iron, Nickel and Cobalt Alloys by Various Combustion and Fusion Techniques</i></p> <p>Analyse chimique par dissolution (wet chemistry) Échantillons utilisés: noix de levage des Palans #1 et #4</p>
	<p>Analyse de la microstructure ASTM E3-11 <i>Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens</i></p> <p>Échantillons utilisés: noix de levage des Palans #1 et #4</p>
	<p>Mesures de dureté ASTM E384-11 <i>Standard Test Methods for Knoop and Vickers Hardness of Materials</i></p> <p>Échantillons utilisés: noix de levage des Palans #1 et #4</p>
ANALYSE DU BRIS	<p>Analyse visuelle Échantillons utilisés: ensemble des composantes du Palan #1 et du Palan #4</p>
	<p>Analyse macrofractographique Échantillons utilisés: ensemble des composantes du Palan #1</p>
	<p>Analyse microfractographique (microscopie électronique à balayage) Échantillon utilisé: faciès de rupture du Palan #1</p>
	<p>Analyse par microscopie optique Échantillon utilisé: faciès de rupture du Palan #1</p>

6.2 Caractérisation du matériel

6.2.1 Analyses chimiques

Des analyses chimiques par dissolution et par combustion ont été réalisées sur des échantillons prélevés sur les noix de levage des Palans #1 et #4 afin de déterminer leur composition chimique. Les résultats obtenus sont présentés au Tableau 3 en parallèle avec la composition typique d'une fonte à graphite sphéroïdal (fonte GS). Les résultats indiquent que, malgré une teneur en carbone légèrement inférieure et une teneur en soufre supérieure à celle généralement attendue, le matériel des noix de levage correspond à une fonte de ce type.

En général, les fontes GS ont d'excellentes propriétés mécaniques, comparables à celles de l'acier (haute résistance, bonne ténacité, résistance à l'usure). Compte tenu de ces qualités, on utilise ce type de fonte pour la fabrication de carters de pompes, d'engrenages et de pièces de machines soumises à des chocs et à des contraintes alternées. L'utilisation d'une fonte GS est donc un choix viable pour la fabrication d'une noix de levage d'un palan.

TABLEAU 3 : Résultats de l'analyse chimique

ÉLÉMENTS	TENEUR MASSIQUE (%)		
	PALAN #1	PALAN #4	COMPOSITION CHIMIQUE TYPIQUE FONTE GS
Carbone (C)	3,42	3,35	3,60 – 3,80
Silicium (Si)	2,45	2,50	1,80 - 2,80
Manganèse (Mn)	0,25	0,21	0,15 – 1,00
Phosphore (P)	0,029	0,028	0,03 max
Soufre (S)	0,014	0,013	0,002 max
Magnésium	0,03	0,03	0,03 – 0,06

6.2.2 Analyse de la microstructure

Afin de déterminer l'état métallurgique du matériel composant les noix, une analyse de leurs microstructures a été réalisée à l'aide d'un microscope optique. Les échantillons métallographiques furent prélevés à un endroit similaire, dans une zone saine, loin de la surface de rupture, tel qu'illustré à la Photo 31. Après avoir été enrobés de bakélite, les

échantillons métallographiques ont été polis jusqu'à l'obtention d'un fini miroir et attaqués à l'aide du réactif Nital 2%. Ceci permet de révéler les détails de la microstructure.

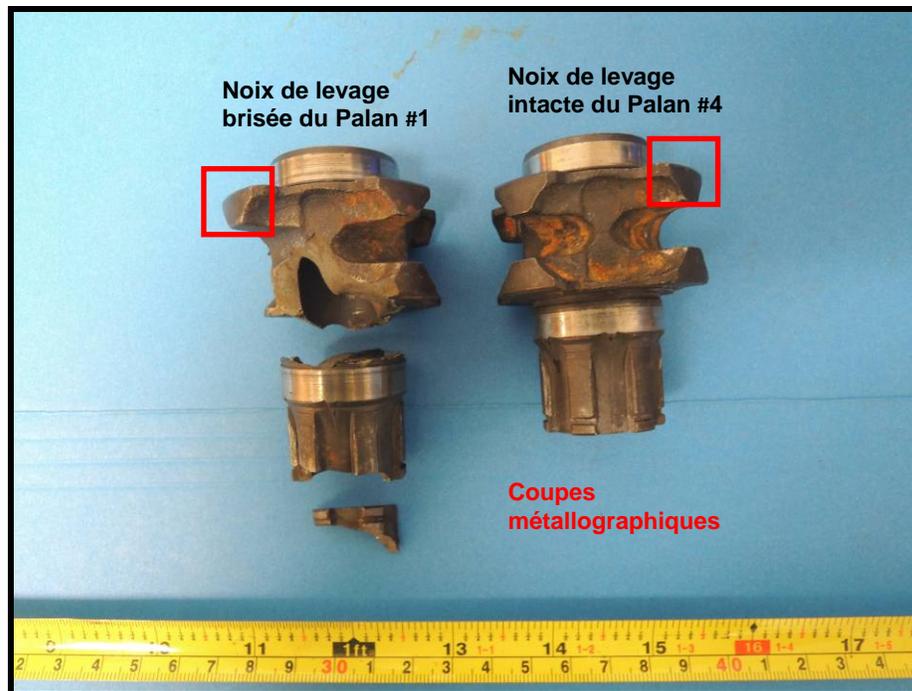


PHOTO 31

Emplacement des échantillons métallographiques sur les Palans #1 et #4 pour l'analyse de la microstructure.

L'examen microscopique nous a permis, dans un premier temps, d'établir que la microstructure des noix de levage est composée de nodules de graphite et de particules de cémentite dans une matrice martensitique (Photos 32 à 35). Le graphite est également présent sous forme de lamelles irrégulières, mais majoritairement sous forme de nodules (Photos 32 et 35). Cette microstructure est obtenue à l'aide de traitements thermiques (« austempering ») visant à améliorer les propriétés mécaniques des fontes GS.

La taille des nodules est variable, mais de façon générale la microstructure du Palan #1 est similaire à celle du Palan #4 (Photos 32 à 35). Aucune anomalie métallurgique au niveau du matériel, pouvant expliquer le bris de la noix de levage du Palan #1, ne fût détectée lors de l'analyse de la microstructure.

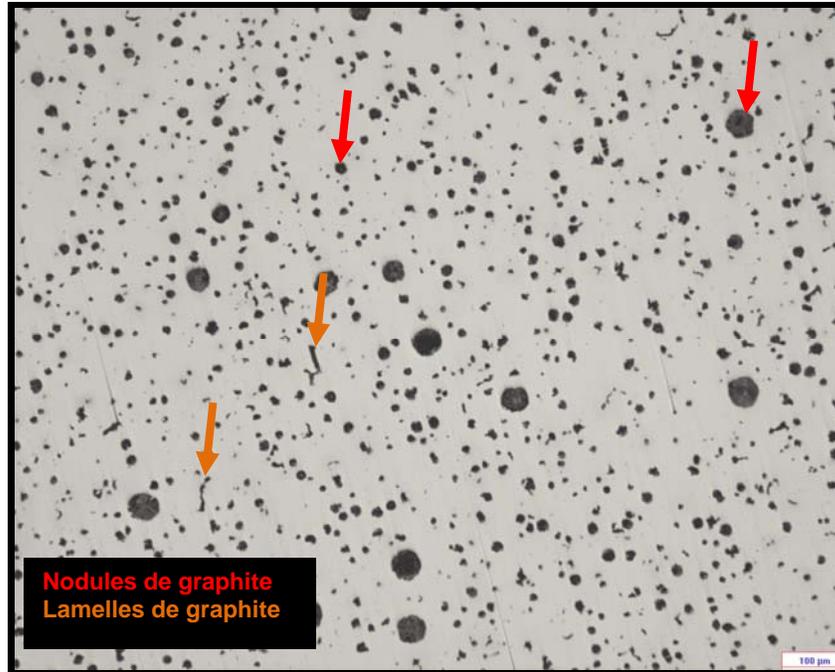


PHOTO 32

Microstructure générale de la noix de levage du Palan # 1 (100X, Tel que poli)

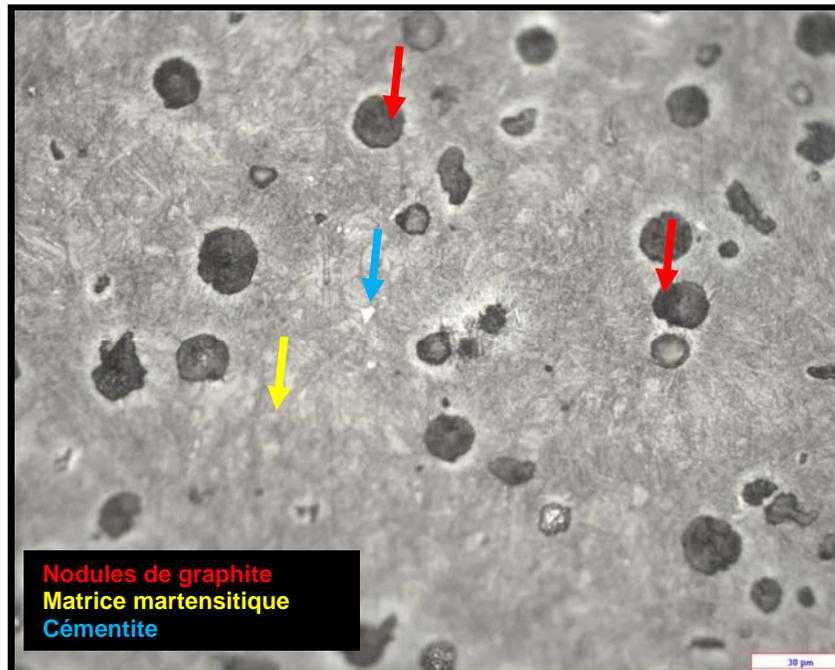


PHOTO 33

Microstructure générale de la noix de levage du Palan # 1 (500X, Nital 2%).

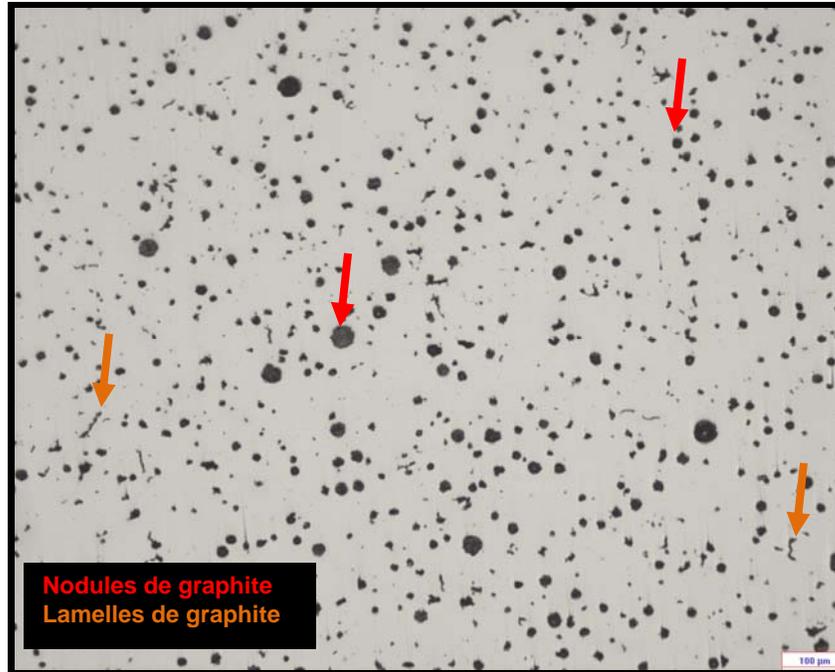


PHOTO 34

Microstructure générale de la noix de levage du Palan # 4 (100X, Tel que poli).

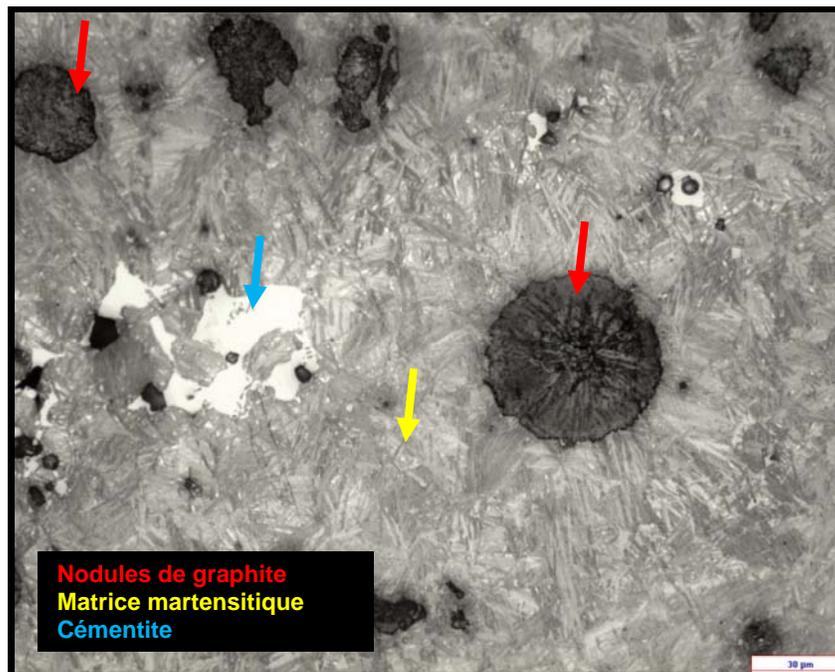


PHOTO 35

Microstructure générale de la noix de levage du Palan # 4 (500X, Nital 2%).

6.2.3 Mesures de dureté

Les mesures de dureté permettent, de façon générale, d'établir l'état métallurgique d'un matériau métallique. Dans le cas présent, des mesures de dureté ont été effectuées directement sur les échantillons métallographiques préparés précédemment, selon l'échelle Vickers (HV). Les mesures ont été réalisées dans la matrice martensitique du matériel. La moyenne de ces mesures est présentée au Tableau 4. Les valeurs obtenues sont typiques de celles généralement attendue dans le cas d'une matrice martensitique.

TABLEAU III : Résultats des mesures de dureté

IDENTIFICATION DE L'ÉCHANTILLON	DURETÉ VICKERS (HV)
PALAN #1	510, 756, 497, 735, 486 Moyenne: 597
PALAN #4	564, 541, 637, 621, 669 Moyenne: 606

En somme, la caractérisation du matériel nous a permis d'établir que le matériel composant les noix de levage correspond à une fonte GS dont les propriétés chimiques, mécaniques et métallurgiques sont en accord avec celles généralement associées à ce type de matériel. Aucune anomalie métallurgique au niveau du matériel, pouvant expliquer le bris de la noix de levage du Palan #1, ne fût détectée lors de ces analyses.

6.3 Analyse du bris

6.3.1 Analyse visuelle

Tout d'abord, un examen visuel de toutes les composantes du Palan #1 a été effectué. L'objectif de l'examen visuel était d'identifier des évidences macroscopiques pouvant être associées à la défaillance. Pour ce faire, les pièces ont été nettoyées à l'aide d'un savon doux pour éliminer la présence de graisse pouvant gêner l'examen visuel.

Ainsi, il a été noté que l'arbre d'entraînement présentait une fissure au niveau de sa partie cannelée (Photos 36 et 37). Les dents de l'engrenage de levage présentaient des indentations (Photos 36 et 38). Le guide de chaîne était déformé et des traces d'usure étaient visibles à sa surface interne (Photos 36 et 39). Le roulement sur la plaque d'assemblage était endommagé (Photos 36 et 40).

Rappelons également que des indentations étaient visibles sur la partie de la chaîne de levage située à l'intérieur ou près du mécanisme du palan, ce qui indique un coincement de la chaîne de levage (Photo 41). Il est raisonnable de croire que ces dommages et le bris de la noix de levage constituent une même séquence de bris et qu'ils aient été produits par la même contrainte puisque ces pièces font partie d'un même assemblage.

Tel qu'il a déjà été mentionné, une indentation et des traces d'usure, le plus probablement produites par la chaîne d'entraînement, étaient visibles sur le carter du palan du côté de la chaîne d'entraînement (Photos 36 et 42). La forme de l'indentation suggère qu'elle a été produite par un maillon de la chaîne d'entraînement (Photo 42). Le maillon aurait pu être coincé et/ou son passage aurait pu être forcé à cet endroit. De façon générale, les résultats de l'inspection visuelle ne portent pas à croire que la qualité des chaînes de levage et d'entraînement, ou des autres composantes mécaniques soit en cause dans la défaillance. Une caractérisation métallurgique complète de ces pièces n'est donc pas jugée nécessaire à l'investigation.

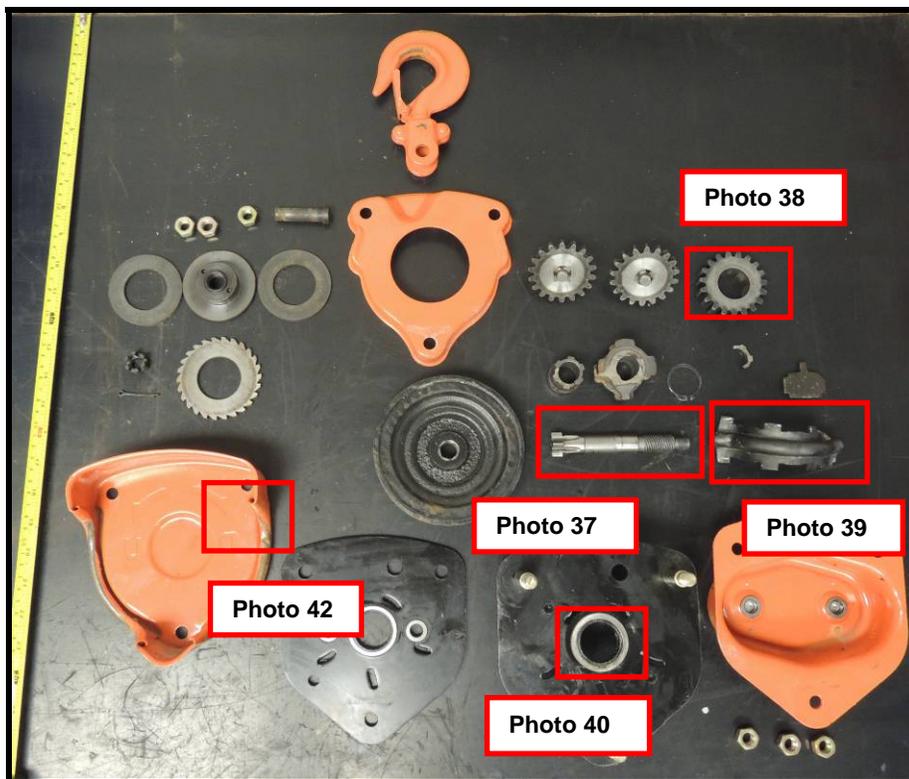


PHOTO 36

Vue générale des composantes du Palan #1.

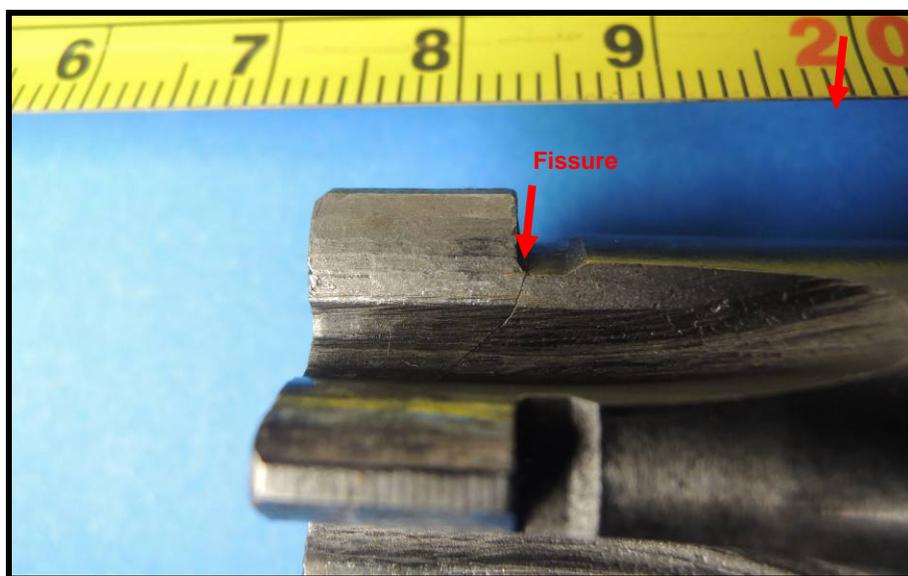


PHOTO 37

Fissure dans la partie cannelée de l'arbre d'entraînement du Palan #1.

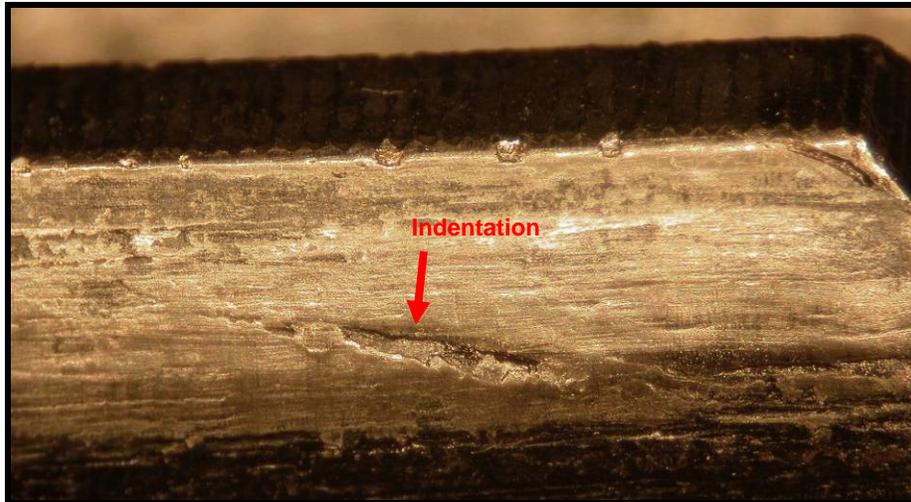


PHOTO 38

Indentation sur une dent de l'engrenage de levage du Palan #1 (10X).



PHOTO 39

Guide de la noix de levage du Palan #1 présentant une déformation et des traces d'usure.

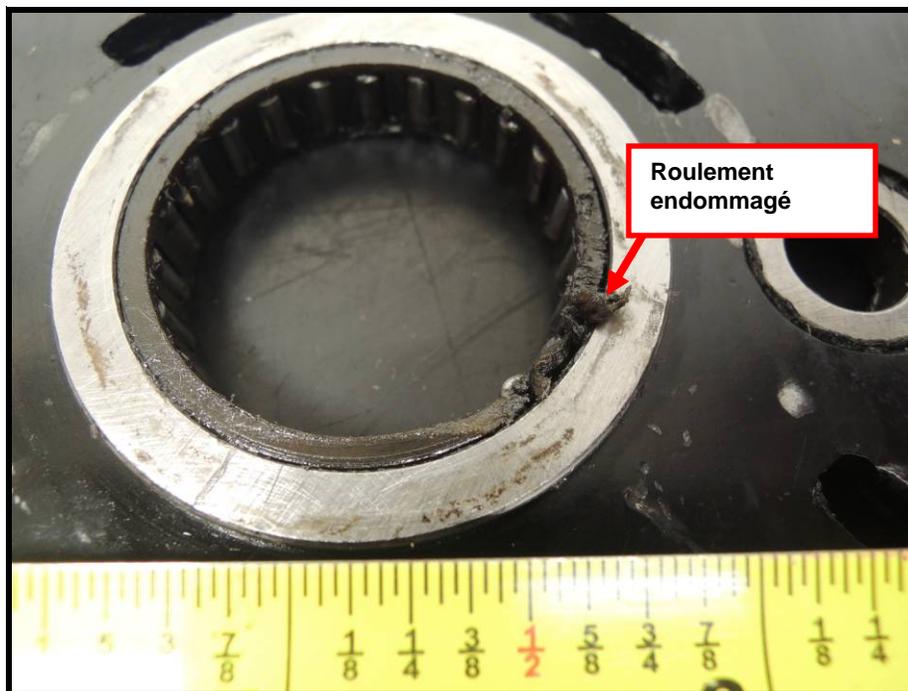


PHOTO 40
Roulement brisé sur le Palan #1.

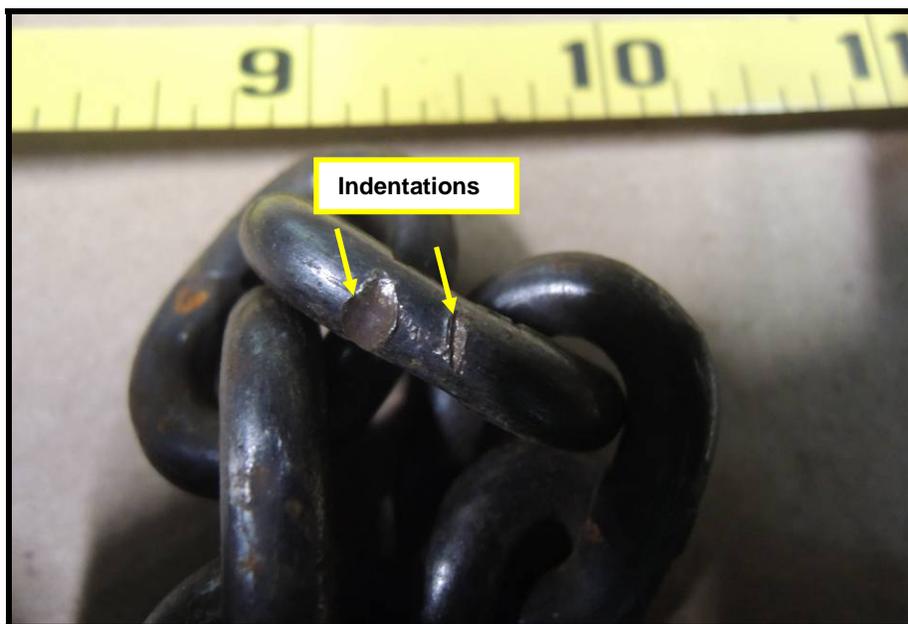


PHOTO 41
Indentations dans un maillon de la chaîne de levage du Palan #1.

**PHOTO 42**

Indentation et traces d'usure sur le carter du côté de la chaîne d'entraînement du Palan #1.

Une vue générale des noix de levage des Palans #1 et #4 est présentée à la Photo 43. Trois sections de la noix de levage du Palan #1 ont été récupérées, mais une partie est manquante (Photo 43). La partie manquante a le plus probablement été éjectée du carter lors du bris. Les parties disponibles de la noix de levage brisée ont arbitrairement été identifiées par SGS comme étant A, B et C (Photo 42).

La ligne de séparation du moule était visible sur les noix de levage des Palans #1 et #4 (Photos 44 et 45). La ligne de séparation du moule est une imperfection mineure de surface créée lors du procédé de fabrication de la pièce coulée et, plus particulièrement, lors de la coulée. Ce type de discontinuité de surface est fréquemment rencontré dans le cas des pièces coulées et affecte l'apparence de la pièce, mais, de façon générale, n'a pas d'influence considérable sur la vie en service. Aucune fissure ou autre défaut majeur n'a été observé sur la noix de levage du Palan #4.

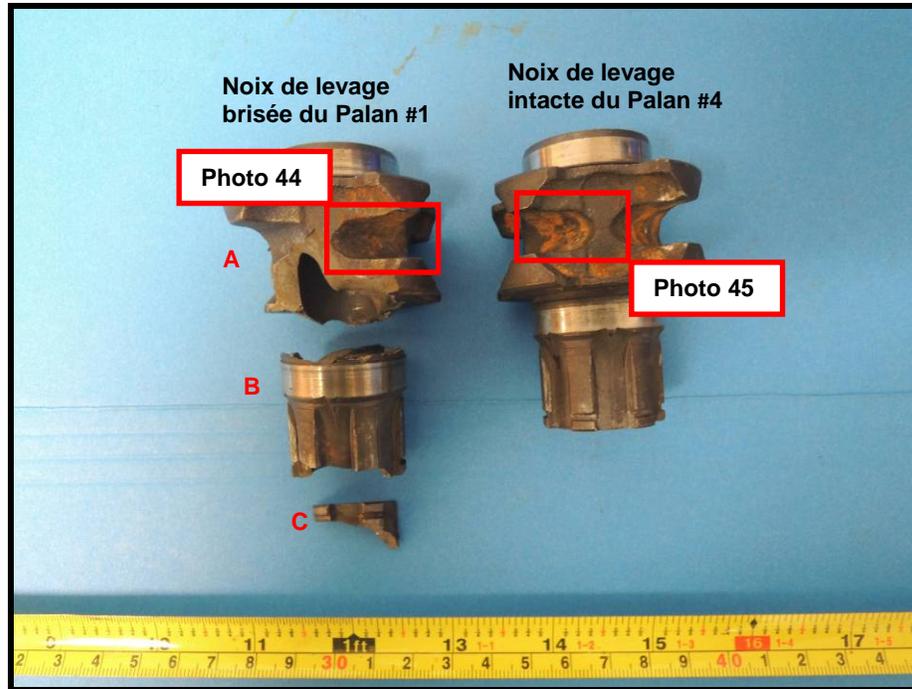


PHOTO 43

Vue générale des noix de levage des Palans #1 et #4.



PHOTO 44

Ligne de séparation du moule sur la noix de levage du Palan #1.



PHOTO 45

Ligne de séparation du moule sur la noix de levage du du Palan #4.

6.3.2 Analyse macrofractographique

Tel qu'il a été mentionné précédemment, une partie de la noix de levage brisée sur le Palan #1 est manquante. Toutefois, étant donné que les faciès de rupture complémentaires présentent généralement des indices fractographique similaires, l'analyse macrofractographique des faciès de rupture disponibles est suffisante pour identifier le mode de bris de la noix de levage .

Il est possible de noter l'absence de déformation plastique sur les faciès de rupture des parties A, B et C (Photos 46 à 48). Cette caractéristique indique généralement un mode de bris fragile. Les bris fragiles sont des bris soudains, typiquement associés à une surcharge appliquée sur la pièce.

Les «lignes de rivières» formant des «chevrons» indiquent que l'initiation de la fissure a eu lieu au niveau du changement de section entre la partie A et la partie B de la noix de levage du Palan #1 (Photo 46). En effet, la pointe des chevrons indique généralement l'origine du bris et la direction du front de propagation de la fissure.

Ensuite, la morphologie générale des marques de frottement sur le faciès de rupture de la partie B, qui tourbillonnent sur la circonférence, suggère que la torsion a été la contrainte impliquée dans la défaillance (Photo 47). Dans le cas d'un palan, la torsion est la contrainte principale agissant sur la noix de levage lorsque les chaînes d'entraînement et de levage sont activées.

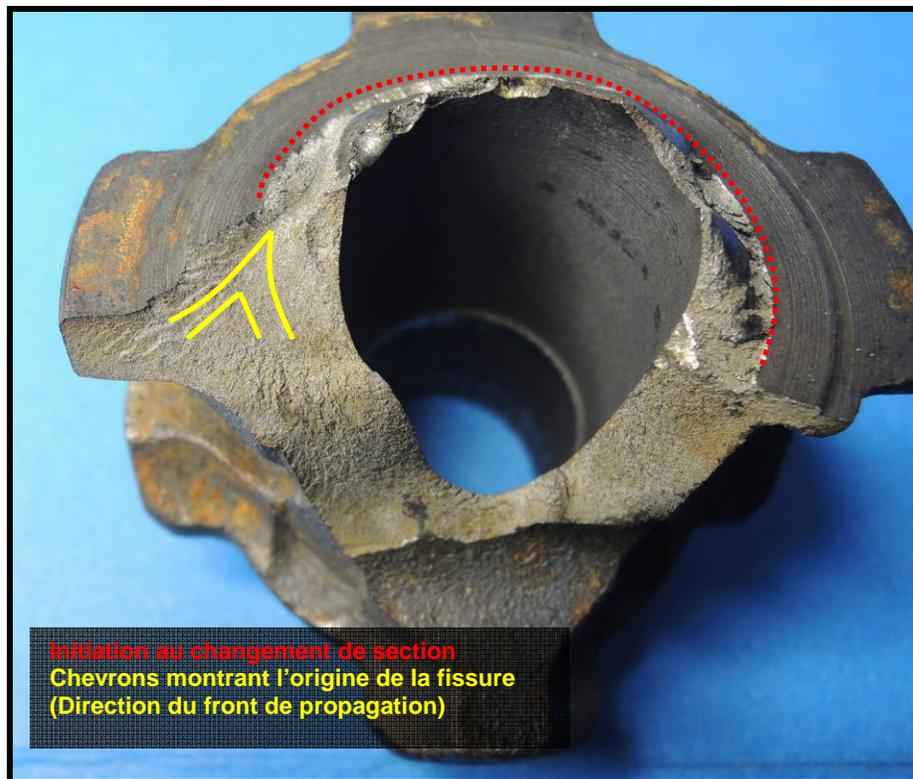


PHOTO 46

Vue générale du faciès de rupture de la partie A de la noix de levage du Palan #1.



a) Vue du dessous



b) Vue du dessus

PHOTO 47

Vue générale du faciès de rupture de la partie B de la noix de levage du Palan #1.



PHOTO 48

Vue générale du faciès de rupture de la partie C de la noix de levage du Palan #1.

6.3.3 Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

Afin de caractériser le mode de bris à l'échelle microscopique, une analyse par microscopie électronique à balayage a été effectuée sur les parties A, B et C de la noix de levage du Palan #1. Ainsi, l'observation microscopique des faciès de rupture a permis de confirmer la nature fragile du bris notée lors de l'analyse macroscopique. En effet, la morphologie des faciès de rupture présentait l'apparence typique d'une rupture fragile, contournant les nodules de graphite (Photos 49 à 51). Tel qu'il a déjà été mentionné, les bris fragiles sont des bris soudains, typiquement associés à une surcharge appliquée sur la pièce. Aucune évidence de propagation progressive en fatigue n'a été notée.

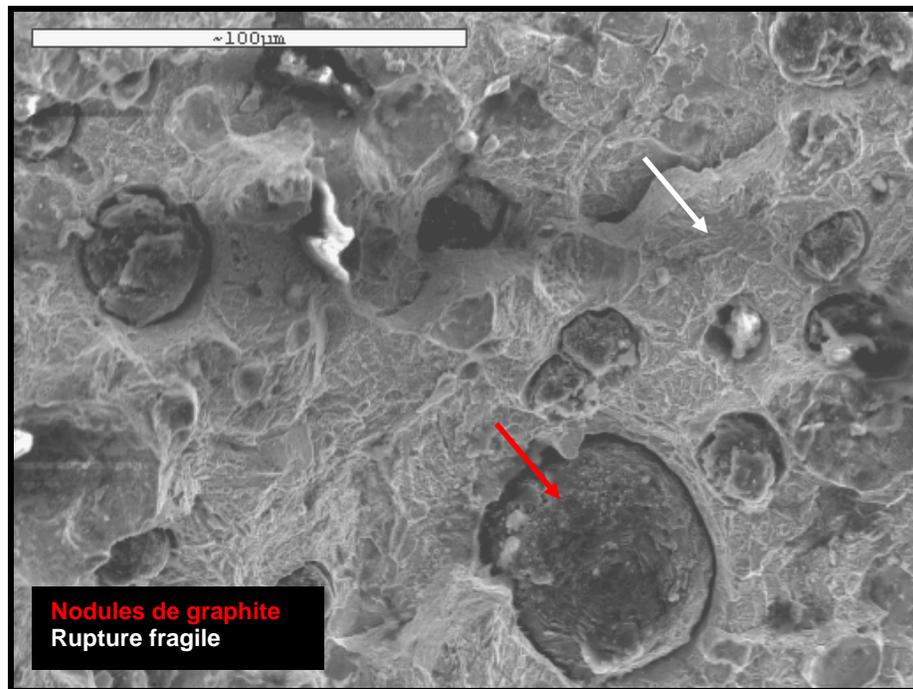


PHOTO 49

Vue générale au microscope électronique à balayage du faciès de rupture de la partie A de la noix de levage du Palan #1.

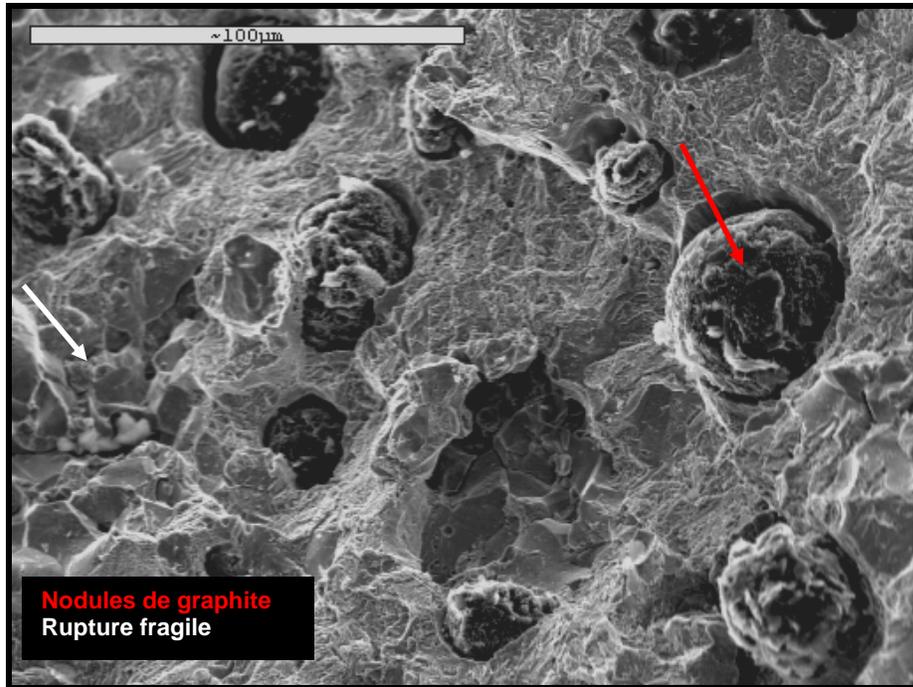


PHOTO 50

Vue générale au microscope électronique à balayage du faciès de rupture de la partie B de la noix de levage du Palan #1.

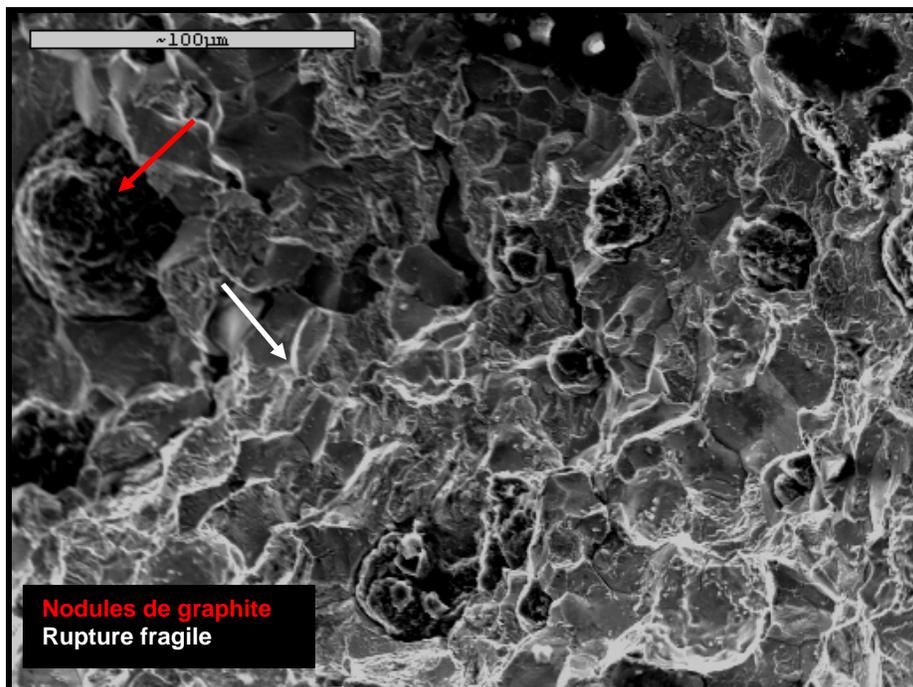


PHOTO 51

Vue générale au microscope électronique à balayage du faciès de rupture de la partie C de la noix de levage du Palan #1.

6.3.4 Analyse par microscopie optique

Dans le but de déterminer si des anomalies de nature métallurgique étaient présentes et auraient pu faciliter le bris de la noix de levage du Palan #1, une analyse microscopique a été réalisée près de la surface de rupture, dans une zone d'initiation de la partie A.

Pour ce faire, une coupe transversale a été effectuée au niveau du changement de section où a eu lieu l'initiation du bris de la partie A (Photo 52). Après avoir été enrobé de bakélite et poli jusqu'à l'obtention d'un fini miroir, l'échantillon ainsi obtenu a été attaqué à l'aide du réactif Nital 2% afin de révéler les détails de la microstructure (Photo 53).

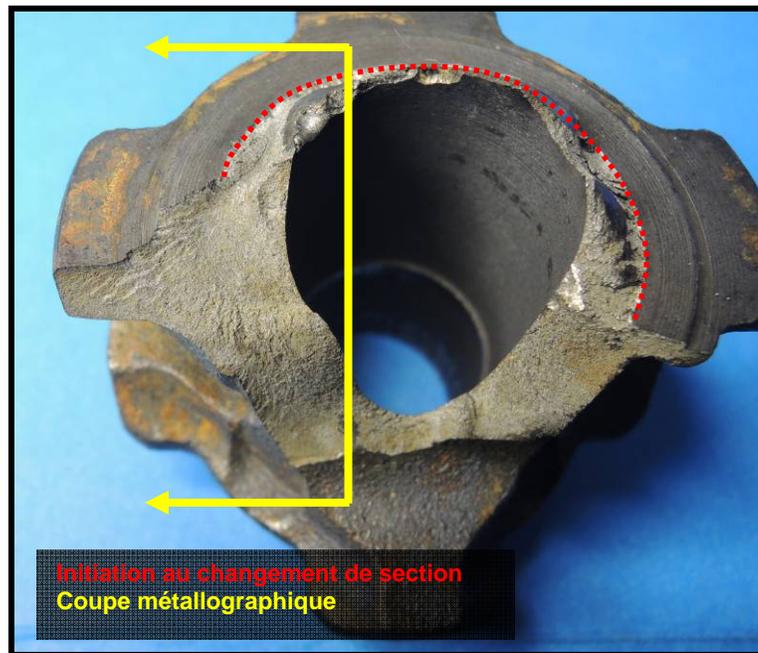


PHOTO 52

Emplacement de la coupe métallographique sur le faciès de rupture de la partie A de la noix de levage du Palan #1.

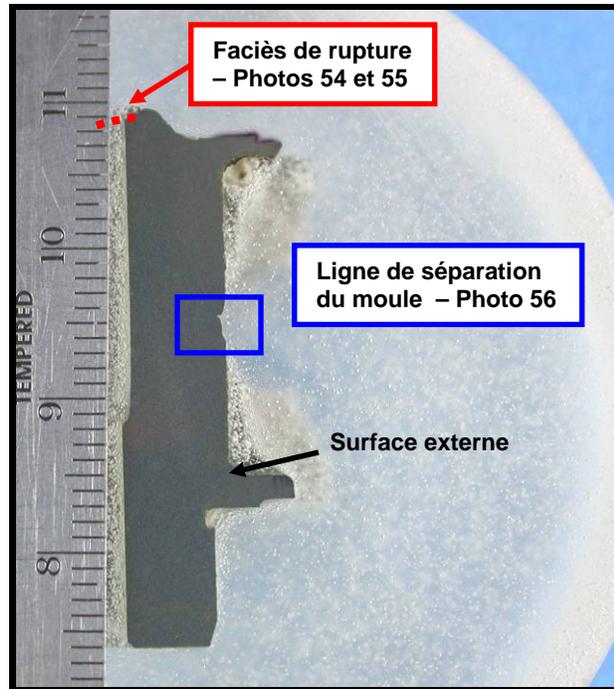


PHOTO 53

Coupe métallographique sur le faciès de rupture de la partie A de la noix de levage du Palan #1.

L'observation microscopique de la coupe métallographique, au site d'initiation, a permis de noter que la microstructure à cet endroit était comparable à celle observée dans une zone saine lors de sa caractérisation métallurgique (Photos 54 et 55). La ligne de séparation du moule était visible sur la coupe métallographique, mais aucune fissure ou autre anomalie métallurgique n'était présente dans cette zone (Photo 56). Aucune anomalie métallurgique ayant pu favoriser le bris de la noix de levage n'a été notée sur la coupe métallographique.

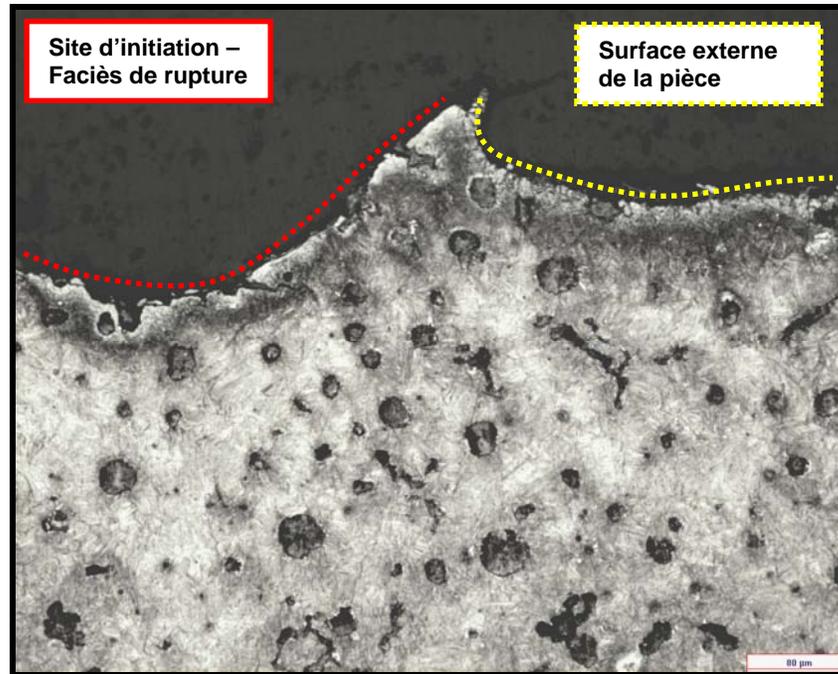


PHOTO 54

Vue générale du site d'initiation sur la coupe métallographique sur le faciès de rupture de la partie A de la noix de levage du Palan #1. (Nital 2%, 200X).

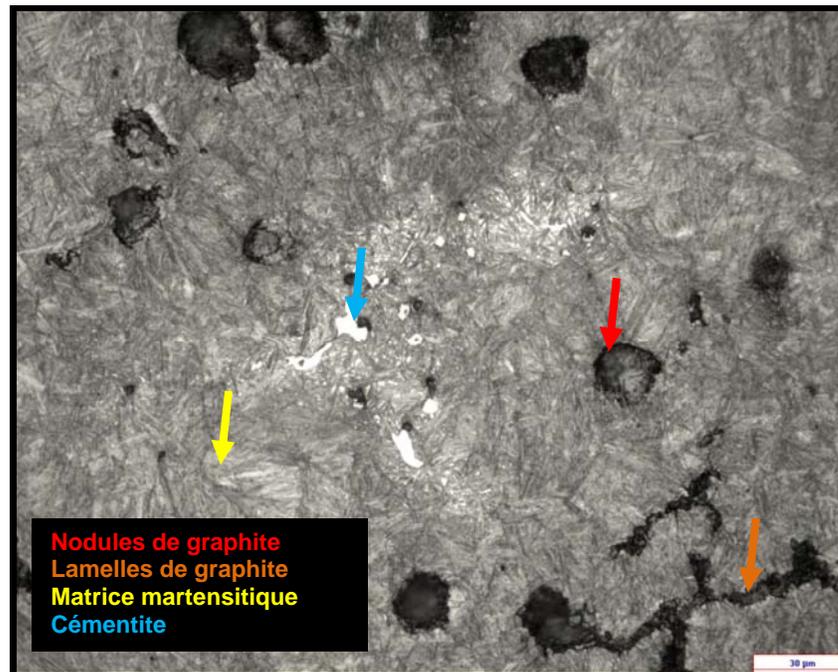


PHOTO 55

Microstructure générale de la noix de levage du Palan # 1 (500X, Nital 2%).

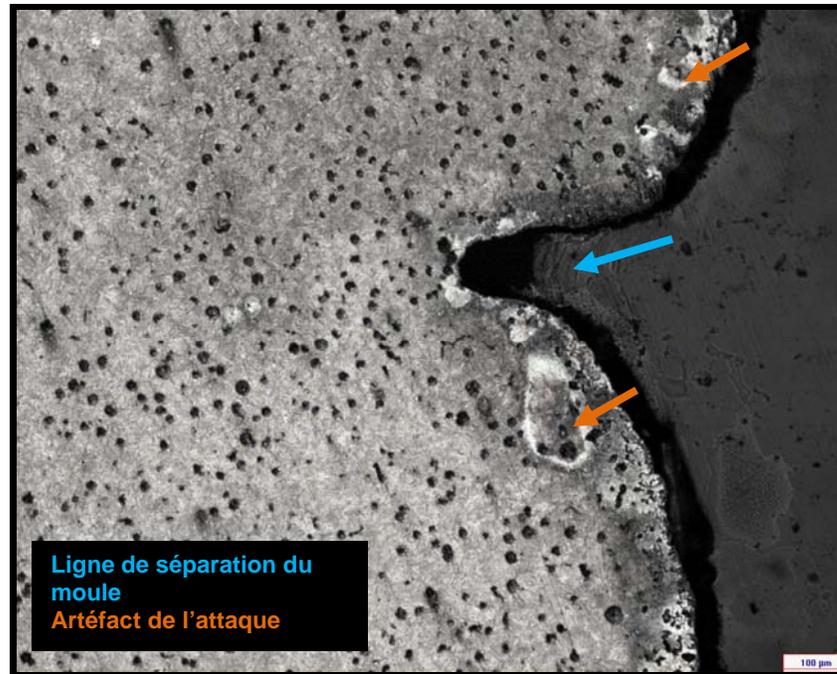


PHOTO 56

Ligne de séparation du moule sur la noix de levage du Palan # 1 (100X, Nital 2%).

7.0 DISCUSSION

La présente investigation s'est intéressée au relâchement de la chaîne d'un palan qui a entraîné le renversement partiel de la plateforme de travail sous l'estacade du Pont-Champlain. Les objectifs étaient (1) de vérifier l'intégrité des composantes mécaniques du palan à chaîne, (2) de vérifier si le palan a été fabriqué et utilisé selon les normes et les règles de l'art et, (3) de déterminer les éléments qui auraient pu provoquer le relâchement de la chaîne.

Intégrité des composantes mécaniques

Les essais fonctionnels ont permis de constater que le palan dont la chaîne s'est relâchée était bloqué et qu'aucun mouvement des chaînes n'était possible. Afin de déterminer la cause du blocage, le palan a donc été démonté. Le démontage du palan a permis de noter l'endommagement de plusieurs pièces (chaîne de levage, chaîne d'entraînement, arbre d'entraînement, engrenage de levage, guide de chaîne et carter) ainsi que le bris de la noix de levage. De façon générale, il est raisonnable de croire que ces dommages et le bris de la noix

de levage constituent une même séquence de bris et qu'ils aient été produits par la même contrainte puisque ces pièces font partie d'un même assemblage.

Une analyse de la défaillance de la noix de levage a donc été effectuée afin de déterminer la cause la plus probable de son bris. Les résultats obtenus lors de l'analyse ont permis de conclure que la défaillance de la noix de levage du palan est le résultat d'un bris fragile. Les bris fragiles sont des bris soudains, typiquement associés à une surcharge appliquée sur la pièce. La contrainte ayant engendré le bris fragile a été un effort de torsion ayant agi au niveau d'un changement de section de la noix de levage. Dans le cas d'un palan, la torsion est la contrainte principale agissant sur la noix de levage lorsque les chaînes d'entraînement et de levage sont activées.

Toutefois, étant donné que le loquet de sécurité, le crochet et les chaînes du palan ne présentaient pas de déformation, il est possible de conclure que le palan n'a pas été surchargé. La charge appliquée a donc dépassé les capacités du matériel de la noix de levage, sans surcharger le palan lui-même. Ceci indique donc qu'une charge a été appliquée dans le palan alors que la chaîne de levage était bloquée. Étant donné l'ampleur de la charge nécessaire pour causer les dommages observés sur les pièces du palan, il est peu probable que la charge ait été produite par le travailleur. Il est donc raisonnable de croire que la surcharge ait été produite par le renversement de la plateforme.

La caractérisation du matériel a permis d'établir que le matériel composant la pièce correspond à une fonte à graphite sphéroïdal (fonte GS). L'analyse des propriétés chimiques, mécaniques et microstructurales a montré que le matériel de la noix de levage présentait les propriétés attendues pour ce type de matériel. Ces propriétés ont d'ailleurs été comparées avec celles d'une pièce intacte sur un palan identique et aucune anomalie métallurgique ayant pu favoriser le bris de la pièce n'a été relevée.

En somme, l'ensemble des résultats obtenus a montré que le bris de la noix de levage du palan est de nature fragile. La contrainte ayant engendré le bris fragile a été un effort de torsion ayant agi au niveau d'un changement de section de la noix de levage. Les dommages présents sur les autres composantes mécaniques du palan de même que le type de sollicitation et la nature du bris de la noix de levage indiquent qu'ils ont le plus probablement

été produits sous l'application d'une charge dans le palan (renversement de la plateforme) alors que la chaîne de levage était bloquée.

Fabrication et utilisation

L'inspection visuelle et les essais fonctionnels réalisés sur les palans intacts, effectués selon la norme CSA B167-08, n'ont pas relevé d'indice indiquant une fabrication inadéquate du palan. Toutefois, le démontage du palan a permis de noter l'absence de rouleaux de guidages. Les rouleaux de guidage servent à guider le passage de la chaîne de levage dans le palan. L'absence de rouleaux de guidage constitue donc un risque additionnel de blocage, malgré la présence du guide de chaîne. À noter que des indications illustrant la direction de montée et de descente étaient visibles à l'endos du carter du palan, ce qui constitue une bonne pratique.

En ce qui concerne l'utilisation, des non-conformités par rapport à la norme CSA B167-08 et par rapport aux bonnes pratiques, ont été relevées. Dans un premier temps, les informations fournies par la CSST mentionnent qu'un travailleur est monté sur la plateforme suite au blocage du palan. Les palans manuels à chaîne ne sont pas des appareils de levage destinés au levage de personnes et ne devraient pas être utilisés à cet effet. Des plateformes élévatrices (nacelles) constituent des appareils de levage sécuritaires pour le levage de personnes.

Ensuite, il a été noté que des paniers de récupération de chaîne avaient été fixés sur les tiges des palans à l'aide de broches métalliques. Notons qu'il est inhabituel d'utiliser un panier de récupération de chaîne sur un palan manuel à chaîne. De plus, selon la norme CSA B167-08, toutes réparations et/ou modifications des équipements de levage doivent être effectuées par du personnel formé et qualifié, utilisant des procédures approuvées pour l'équipement devant être utilisé. Les essais fonctionnels ont également démontré que la présence de la broche métallique et du panier de récupération de chaîne gênait le mouvement des chaînes d'entraînement et de levage, ce qui constitue un risque de blocage. Les essais fonctionnels réalisés sur un palan intact ont aussi montré qu'aucun relâchement ne se produisait lors du maintien de la charge (100% de la capacité, soit environ 2000 livres), ce qui constitue un aspect positif en ce qui concerne le bon fonctionnement du palan.

Enfin, le panier de récupération de chaîne compromettrait la position verticale du palan. Les palans à chaîne doivent être grésés de manière à ce que les crochets supérieur et inférieur soient alignés selon un axe rectiligne. Ils sont conçus pour être utilisés le plus près possible de la verticale.

Relâchement de la chaîne

Compte tenu des résultats obtenus et des informations disponibles au moment de l'investigation, le relâchement de la chaîne a le plus probablement été entraîné par la manipulation du travailleur monté sur la plateforme pour débloquer le palan. En effet, il est de connaissance générale que la méthode employée sur chantier lors du blocage d'un palan est de tirer vigoureusement sur les chaînes du palan afin de produire un relâchement de la chaîne de levage. Il est donc raisonnable de croire que cette méthode a été utilisée par le travailleur pour débloquer le palan ce qui a créé un relâchement de la chaîne de levage, puis le renversement de la plateforme.

8.0 CONCLUSION

À la lumière des résultats obtenus et des informations mises à notre disposition par la CSST, il est de notre opinion que la séquence la plus probable du bris est la suivante:

- Blocage du palan lors de la manœuvre de descente de la plateforme de travail
- Manipulations du travailleur : le travailleur a monté sur la plateforme et a tiré sur les chaînes, ce qui a entraîné le relâchement de la chaîne de levage
- Renversement de la plateforme suite au relâchement de la chaîne de levage
- Bris de la noix de levage et endommagement d'autres composantes mécaniques suite au renversement de la plateforme.

Les dommages présents sur les autres composantes mécaniques du palan, de même que le type de sollicitation et la nature du bris de la noix de levage, indiquent qu'ils ont le plus probablement été produits sous l'application d'une charge dans le palan alors que la chaîne

de levage était bloquée. Compte tenu des observations effectuées dans le cadre de cette investigation, il est fort probablement que la présence d'un panier à chaîne attaché au palan avec de la broche métallique ait pu contribuer au blocage de la chaîne de levage.

Des non-conformités par rapport à la norme CSA B167-08 et par rapport aux bonnes pratiques ont été relevées au niveau de l'utilisation du palan. En effet, le palan a été utilisé pour le levage d'une personne (travailleur monté sur la plateforme) et des modifications ont été apportées au palan (panier de récupération de chaîne fixée avec une broche). Soulignons encore une fois l'importance du personnel formé et qualifié utilisant des procédures approuvées pour la manipulation des équipements de levage.