

**EN003945**

## **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident survenu à deux travailleurs  
de l'entreprise Revêtements de la Capitale inc.  
le 30 mars 2012, sur un chantier sis au 215, boulevard Louis XIV à  
Québec**

**Direction régionale de la Capitale-Nationale**

**Inspecteurs :**

\_\_\_\_\_  
**Serge Gagnon ing.,  
inspecteur**

\_\_\_\_\_  
**Brigitte Turbide,  
inspectrice**

**Date du rapport :19 novembre 2012**



**RAPPORT  
D'ENQUÊTE**

Dossier d'intervention

DPI4164780

Numéro du rapport

RAP0823108

**Rapport distribué à :**

## TABLE DES MATIÈRES

<b><u>1</u></b>	<b><u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>3</u></b>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DU CHANTIER	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	3
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	3
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	3
<b><u>3</u></b>	<b><u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>4</u></b>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	4
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	4
<b><u>4</u></b>	<b><u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u></b>	<b><u>5</u></b>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	5
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	5
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	8
4.3.1	LE PHÉNOMÈNE DE GRIPPAGE DES PIVOTS SUR LE MANCHON INTÉRIEUR DES MANCHONS ENGENDRE DES CONTRAINTES AUX SOUDURES	8
4.3.2	LA PRESSION HYDRAULIQUE DU CYLINDRE DE LEVAGE DÉPASSE LES SPÉCIFICATIONS DU MANUFACTURIER	8
4.3.3	LA SOUDURE DU MANCHON DU PIVOT CENTRAL AU TUBE DU CISEAU NO 3 EST DE MAUVAISE QUALITÉ	8
<b><u>5</u></b>	<b><u>CONCLUSION</u></b>	<b><u>11</u></b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	11
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	11
 <b><u>ANNEXES</u></b>		
ANNEXE A :	Liste des accidentés	11
ANNEXE B :	Croquis	12
ANNEXE C :	Photos	14
ANNEXE D :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	18
ANNEXE E :	Rapport d'expertise externe	19
ANNEXE F :	Références bibliographiques	38

**SECTION 1****1 RÉSUMÉ DU RAPPORT**

Des travaux de pose de revêtement de mur extérieur sont en cours sur un chantier de construction. Deux travailleurs prennent place sur une plate-forme de travail élévatrice automotrice pour effectuer leurs tâches. Subitement, suite à un bris structural du système élévateur à ciseaux, les travailleurs sont catapultés et chutent au sol.

**Conséquences**

Le jour de l'accident, le 30 mars 2012, deux travailleurs sont blessés. L'un d'eux décède le 5 avril 2012.



Vue de la plate-forme de travail élévatrice automotrice  
Source : CSST

**Abrégé des causes**

- Le phénomène de grippage des pivots sur le manchon intérieur des ciseaux engendre des contraintes aux soudures (causes retenues);
- La pression hydraulique du cylindre de levage est supérieure à la spécification du manufacturier (causes retenues);
- La soudure du manchon du pivot central au tube du ciseau no 3 est de mauvaise qualité (cause probable).

**Mesures correctives**

Le jour de l'accident, un scellé est émis sur la plate-forme de travail élévatrice automotrice. Un rapport est émis (RAP0706217) et confirme l'apposition du scellé. Une expertise effectuée sur l'équipement détermine la cause du bris structural. Le rapport RAP0789889, transmis à Revêtements de la Capitale, le 28 mai 2012, dicte les correctifs qui doivent être mis en place sur la plate-forme pour la levée du scellé. Aucun correctif n'a été effectué, la plate-forme ayant été mise au rancart.

Le 4 mai 2012, le fabricant, Plafolift inc., effectue un rappel des plates-formes de marque Titan. Le rapport RAP0788379 est transmis au fabricant demandant notamment un protocole d'inspection des soudures, signé et scellé par un ingénieur. Ce protocole d'inspection a été élaboré.

*Le présent résumé n'a pas comme tel 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 ne remplace aucunement les diverses sections du rapport d'enquête qui devrait être lu en entier. 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

L'entreprise Revêtements de la Capitale inc. se spécialise dans la pose de revêtement de mur dans les secteurs commerciaux, industriels, institutionnels et résidentiels. Cette entreprise se voit confier par le propriétaire du bâtiment en construction, Construction C.R.D. inc., qui agit également à titre de maître d'œuvre sur le chantier, le contrat de pose et de fourniture du revêtement de tôle intérieur et extérieur ainsi que l'isolation des murs.

#### 2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

##### 2.2.1 Mécanismes de participation

Un programme de prévention cadre est élaboré par le maître d'œuvre du chantier, Construction C.R.D. inc. Ce dernier n'a pas l'obligation légale de mettre en place un comité de chantier. Chaque sous-traitant au chantier est tenu de signer le formulaire d'engagement à respecter et à appliquer le programme de prévention du maître d'œuvre.

Revêtements de la Capitale inc. a également un programme de prévention propre aux activités de l'entreprise. Le programme de prévention contient la politique de l'entreprise en gestion de la santé et de la sécurité. Les responsabilités des intervenants au chantier y sont décrites.

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

Le surintendant du chantier et représentant du maître d'œuvre voit à l'application du programme de prévention. Il est responsable de surveiller le déroulement des travaux pour s'assurer que les mesures de sécurité du programme de prévention sont appliquées tout au long des travaux.

Revêtements de la Capitale inc. compte deux travailleurs au chantier. Ceux-ci ont suivi le cours *Santé et sécurité générale sur les chantiers de construction* ainsi qu'une formation particulière sur la sécurité des équipements notamment sur l'utilisation de plates-formes élévatrices.

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

Les travaux en cours visent la construction d'un bâtiment à structure d'acier qui abritera les bureaux et l'usine destinés à Construction C.R.D. inc. et Construction du Sous-Bois inc. L'érection de la structure d'acier est complétée. La pose de l'isolant et du revêtement métallique sur le mur extérieur du côté nord du bâtiment est débutée. Ce travail est effectué à l'aide d'une plate-forme de travail élévatrice automotrice. Le terrain sur le périmètre extérieur du bâtiment est nivelé et de niveau (Annexe C, photo 1).

**3.2 Description du travail à effectuer**

Les travaux de pose de l'isolant et du revêtement métallique sur le mur extérieur du côté nord du bâtiment ont débuté le jeudi 29 mars 2012. Le vendredi 30 mars 2012, les deux travailleurs de Revêtements de la Capitale inc. se présentent au chantier pour poursuivre leurs travaux, soit la pose de moulures métalliques sur lesquelles sera fixé l'isolant rigide et les panneaux de revêtement métallique. Une plate-forme de travail élévatrice automotrice de marque Plafolift, modèle Titan 48, est utilisée pour accéder au niveau de travail requis lors des travaux de pose du revêtement de mur.

## SECTION 4

### 4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

#### 4.1 Chronologie de l'accident

À 7 h, le 30 mars 2012, l'équipe de deux travailleurs de Revêtements de la Capitale inc. poursuit ses travaux de pose du revêtement de mur extérieur débutés la journée précédente. Ainsi, les travailleurs A et B posent des panneaux isolants rigides sur le côté nord-est du mur extérieur à partir de la plate-forme de travail élévatrice jusqu'à la pause du matin, soit 9 h 30. Après la pause, ils retournent à leur poste de travail et poursuivent leurs travaux.

Vers 10 h 30, le travailleur A, qui est aux commandes de la plate-forme entend un bruit alors que celle-ci est en mouvement vertical. Subitement les deux travailleurs sont éjectés de la plate-forme alors que le plancher de travail se retrouve en position quasi-verticale. Le travailleur A est catapulté au sol à quatre mètres de la plate-forme subissant une fracture au bassin. Le travailleur B chute également au sol près de la plate-forme, défonçant au passage le garde-corps. Celui-ci décèdera, suite à ses blessures, jeudi le 5 avril 2012.

Immédiatement avant l'accident, un travailleur présent sur le chantier attendait que la plate-forme descende afin de pénétrer à l'intérieur du bâtiment puisque celle-ci était stabilisée près de l'ouverture y donnant accès. De plus, deux travailleurs venus au chantier pour entretenir un équipement de levage prenaient place dans leur camion au moment de l'accident. Témoin de l'accident, l'un d'eux contacte immédiatement, à 10 h 38, le «911». Ces trois travailleurs portent assistance aux victimes inconscientes au sol jusqu'à l'arrivée des policiers et ambulanciers.

#### 4.2 Constatations et informations recueillies

##### 1) Plate-forme de travail élévatrice automotrice

- (a) Marque: Plafolift;
- (b) Modèle: Titan 48;
- (c) Série: 17821;
- (d) Année de fabrication: 2010;
- (e) Achetée par Revêtements de la Capitale inc, le 26 mars 2010;
- (f) Vendeur: Équipement LAV;
- (g) Nombre d'heures à l'horomètre le jour de l'accident : 951,4;
- (h) Charge nominale de travail: 680 kg (1500 livres);
- (i) Pression d'opération du cylindre de levage indiquée au manuel de l'opérateur: 1 800 psi;
- (j) Valve de pression : Sauer Danfoss, PVG32;
- (k) Valve de levage : #157B6633.

##### 2) Position de la plate-forme automotrice et utilisation avant l'accident

- (a) La plate-forme est utilisée du côté nord-est du bâtiment;

- (b) La plate-forme a été utilisée pour atteindre le sommet de la structure du bâtiment d'une hauteur de 8 mètres (26 pieds);
- (c) Immédiatement avant l'accident les témoins précisent que la plate-forme était à une hauteur de 4,9 mètres (16 pieds) soit à 60 cm (2 pieds) au dessus de l'ouverture de la porte qui a une hauteur de 4,27 m (14 pieds);
- (d) Outre la présence des deux travailleurs, il y avait sur la plate-forme des moulures, une boîte d'ancrages, une feuille d'isolant et une perceuse. Selon le témoignage du travailleur présent sur la plate-forme, le poids de ces matériaux était au plus de 90 kg (200 livres);
- (e) La plate-forme est de niveau, stabilisée au sol sur ses stabilisateurs.

### **3) Description du système de levage et emplacement du bris (Annexes B et C)**

- (a) La plate-forme est conçue pour une hauteur de levage atteignant 16,63 m (48 pieds);
- (b) Le système de levage est composé de quatre paires de ciseaux (Annexe B, croquis);
- (c) Les tubes de ciseaux ont une longueur de 397,5 cm (156 1/2 pouces);
- (d) Le bris s'est produit à la hauteur du troisième niveau des ciseaux, précisément là où le pivot central relie les deux ciseaux extérieurs au cadre à ciseaux intérieur sur lequel est soudé l'attache supérieure du cylindre de levage;
- (e) Les tubes des ciseaux du troisième niveau sont renforcés sur deux des surfaces par une plaque soudée d'une longueur de 304,8 cm (120 pouces);
- (f) Un manchon est soudé au centre de chaque ciseau; selon les détails de soudure du manufacturier, un cordon de soudure d'angle de 6,35 mm (1/4 de pouce) lie le manchon à la paroi métallique du tube du ciseau;
- (g) Un pivot de 25 cm (9 13/16 pouces) relie les tubes entre eux, formant le ciseau;
- (h) Deux coussinets sont insérés dans la bague des ciseaux intérieurs pour faciliter la rotation;
- (i) Le pivot est retenu au tube du ciseau extérieur par un boulon de telle sorte qu'il est fixe dans le tube. Le bris d'un tel boulon est indicatif d'un problème à la rotation.

### **4) Entretien de la plate-forme élévatrice automotrice**

- (a) Une entreprise, Mécanique Serge Bibeau inc., effectue, à la demande du client, l'entretien de base de la plate-forme tel que changement d'huile, filtre, batterie;
- (b) Les réparations, mises à niveau, et entretiens sous garantie sont effectués par Plafolift inc.;
- (c) Le 25 février 2011, un trouble sur le levage de la plate-forme est signalé;
- (d) La plate-forme a été récupérée par le fabricant Plafolift, le 2 mars 2011, sur un chantier de la région de Montréal pour investigation; selon des informations obtenues du président de Revêtements de la Capitale inc., la plate-forme a été transportée à l'usine de Plafolift à Warwick pour une durée de trois mois;
- (e) Suite à la remise en opération de la plate-forme sur les chantiers de Revêtements de la Capitale, des problèmes de montée ou de descente ont été signalés. Ainsi, selon le registre d'intervention de Plafolift sur la plate-forme, des interventions mécaniques ont eu lieu les 3 juin 2011, 12 juillet 2011, 26 août 2011 et 7 septembre 2011;

- (f) Une inspection visuelle quotidienne de la plate-forme est faite par les travailleurs de Revêtements de la Capitale avant son usage. Cette inspection couvre les points identifiés à l'article 5.3.1 de la norme nationale du Canada, *B354.2-01, Plates-formes de travail élévatoires automotrices*. Un formulaire listant les éléments de l'équipement à vérifier est complété en guise de registre d'inspection.

## 5) Expertise sur les ciseaux de la plate-forme élévatrice automotrice

Le rapport d'expertise présenté en Annexe E, a permis de relever les éléments suivants :

- (a) «La cause du renversement longitudinale (sic) de la plate-forme de travail est la fracture de la soudure entre les bagues centrales et les parois latérales de trois des quatre tubes du ciseau # 3 suivi du déchirement des parois latérales des tubes du ciseau #3, ce qui a permis aux deux gougeons (sic) centraux du ciseau # 3 de sortir des bagues et d'ainsi provoquer l'accident»;
- (b) «L'examen des pièces après l'accident a permis de constater que les fractures de la soudure entre les bagues centrales et trois parois latérales des tubes étaient préalables à l'accident de quelques semaines ou plus (présence de rouille) et que ces fractures préalables couvraient environ la moitié du périmètre des bagues centrales. La première raison du début de ces fractures préalables à l'accident est la mauvaise qualité des soudures. Le cordon de soudure ainsi que la pénétration de celle-ci ne rencontrent pas les normes habituelles»;
- (c) «Étant donné que ces manquements sont tous sur le ciseau # 3 qui est le plus sollicité puisque le cylindre de levage y est attaché, la mauvaise qualité des soudures a permis à celles-ci de se fracturer progressivement, jusqu'à ce que la soudure restante soit trop faible et que les parois latérales se déchirent en effet domino lors de l'arrachement des bagues centrales des soudures restantes, provoquant l'accident»;
- (d) «La rupture au niveau des pivots s'est produite à la soudure des bagues permettant leur rotation dans la membrure rectangulaire des ciseaux et ont débutés (sic) aux faces intérieures des membrures qui, même en mouvement, sont peu espacées l'une de l'autre et laisse (sic) peu de visibilité»;
- (e) «...les jonctions soudées des bagues aux membrures avaient un faciès corrodé (ou rouillé) alors que d'autres faciès de rupture étaient d'évidence récentes du matin de l'accident. Les surfaces sur l'extérieur des membrures avaient un aspect brillant, fraîchement formées. Cet état de fait indique que ces ruptures avaient débutés (sic) avant même l'accident et elles se sont tout simplement poursuivies avec l'accident. Il faut donc conclure que la soudure des bagues des pivots centraux était déjà endommagée avant même son utilisation le matin de l'accident»;
- (f) «...les gougeons (sic) (centraux ou d'extrémités) qui relient les tubes intérieurs et extérieurs étaient pour la plupart saisis à l'intérieur des bagues...»;
- (g) «Le saisissement a pour effet lors de l'élévation de la plate-forme de travail d'augmenter la force nécessaire et conséquemment les efforts dans les pièces, particulièrement au niveau des gougeons (sic), des bagues et des soudures reliant celles-ci aux parois latérales des tubes. Une mauvaise soudure sera alors portée à fracturer prématurément. Le saisissement des gougeons (sic) à l'intérieur des bagues introduit aussi une contrainte importante supplémentaire en cisaillement à l'intérieur des soudures entre les bagues et le tube du ciseau.»;

- (h) «Un boulon de sécurité indiquant qu'un gougeon (sic) est saisi dans la bague du tube intérieur dans lequel il devrait tourner était cassé, indiquant un problème majeur à l'extrémité de ce ciseau.»;
- (i) «Toutefois, on peut anticiper que les soudures des bagues des pivots centraux vont être soumis (sic) à des efforts relativement élevés. Les bagues de rotation et leur soudure devront conséquemment répondre à des critères plus sévères...la soudure qui a lâché ne pénètre pas l'épaisseur de la tôle. Il y a donc là un problème de pénétration évidente et qui se répète à bon nombre de soudures inspectées.»;
- (j) «La plate-forme élévatrice est équipée d'un système hydraulique fonctionnant à 3000 psi. Cette pression est utilisée pour la traction et la direction. Cependant, la pression dans le système de levée doit être limitée à 1 800 psi selon le manuel de l'opérateur pour limiter les efforts dans la structure»;
- (k) «L'expertise a démontré que les deux valves étaient inopérantes et que la pression au cylindre de levage était de 3 000 psi. Les efforts dans le système pouvaient donc dans certains cas être 50 % plus élevés que les efforts prévus à la conception, ce qui augmente aussi le stress sur les soudures défectueuses.»;
- (l) «Il faut aussi préciser que la valve au niveau du bloc-valve avait été changée depuis la fabrication originale. La partie de limitation de pression est pré-réglée et ne peut pas être modifiée. Il ne s'agissait donc pas de la bonne pièce. La valve sur le cylindre peut être réglée mais cela prend quelqu'un connaissant bien le système pour modifier le réglage d'usine».

### 4.3 Énoncés et analyse des causes

#### 4.3.1 Le phénomène de grippage des pivots sur le manchon intérieur des ciseaux engendre des contraintes aux soudures

Les pivots reliant les tubes formant le ciseau sont insérés dans un manchon. Le tube intérieur est muni d'un coussinet pour faciliter la rotation. Lors du démontage de la plate-forme, des marques sur la plupart des pivots indiquaient que ceux-ci étaient soumis au phénomène de grippage. Les dommages créés sur les surfaces glissant l'une sur l'autre altèrent l'état de surface des matériaux. Des stries étaient visibles sur les pivots. D'ailleurs un boulon de sécurité indiquant qu'un pivot est saisi dans le manchon du tube inférieur était manquant sur un des ciseaux de la plate-forme.

Le grippage des pivots sur le manchon intérieur des ciseaux engendre des contraintes accrues aux soudures lors de l'élévation et de la descente de la plate-forme. La résistance à la libre rotation du pivot dans le manchon engendre des efforts qui sont transmis à la soudure reliant ce manchon au tube du ciseau. Ainsi une soudure, notamment celle présentant un défaut, sera alors portée à se fracturer prématurément.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.2 La pression hydraulique du cylindre de levage dépasse les spécifications du fabricant**

La plate-forme élévatrice est équipée d'un système hydraulique fonctionnant à 3 000 psi. Cette pression est utilisée pour la traction et la direction. Selon les spécifications du fabricant du système hydraulique, la pression d'opération du système de levage doit être limitée à 1 800 psi. Cette pression est fixée à la conception afin de limiter les efforts dans la structure. Le rapport d'expertise indique que la pression d'opération du cylindre de levage de la plate-forme est de 3 000 psi. La force du cylindre de levage de la plate-forme est contrôlée par deux valves limitatrices de pression hydraulique. La première est dans le bloc valves, avec les commandes manuelles, et la seconde est située à la base du cylindre, intégrée dans le bloc boulonné directement au cylindre. L'expertise démontre que ces deux valves étaient inopérantes d'où une pression de service pouvant atteindre 3 000 psi. Une telle pression engendre des contraintes accrues sur les soudures.

L'analyse des registres d'entretien de Revêtements de la Capitale indique que des anomalies sur le système de levage ont été signalées. Plafolift en a été informé, et des interventions mécaniques ont eu lieu. Selon le registre d'intervention de Plafolift sur la plate-forme, les 3 juin 2011, 12 juillet 2011, 26 août 2011 et 7 septembre 2011, des problèmes de montée ou de descente ont nécessité une intervention mécanique.

La valve limitatrice de pression au niveau du bloc valve avait été changée depuis sa fabrication.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.3 La soudure du manchon du pivot central au tube du ciseau no 3 est de mauvaise qualité**

Les tubes métalliques composant les ciseaux sont reliés les uns aux autres par un pivot inséré dans un manchon soudé. Selon les détails de soudure du fabricant, un cordon de soudure d'angle de 6,35 mm (0,25 pouce) lie le manchon à la section métallique du tube du ciseau tout autour.

Le bris structural s'est produit au niveau du pivot central de la troisième paire de ciseaux, soit là où la tête du cylindre de levage y est attachée. Les sollicitations à ce niveau, sont, par conséquent, plus grandes.

Le rapport d'expertise indique que cette soudure est de mauvaise qualité, notamment par sa faible pénétration. La soudure qui a cédé ne pénètre pas l'épaisseur de la paroi du tube. Il y a donc là un problème évident de pénétration et qui se répète à bon nombre de soudures inspectées.

Compte tenu des sollicitations accrues sur ces manchons, de la faible pénétration du cordon de soudure, de la mauvaise qualité de la soudure, des fractures sont apparues. Progressivement, la soudure restante est devenue faible. Il y a alors eu rupture et

déchirement de l'acier des parois latérales des tubes des ciseaux. Ces fractures de la soudure étaient préalables à l'accident et couvraient environ la moitié du périmètre des manchons centraux. Ainsi, les manchons se sont détachés des tubes du troisième ciseau provoquant le basculement de la quatrième paire de ciseaux et conséquemment le plancher de travail.

Le phénomène de grippage et la pression de 3 000 psi appliquée au cylindre de levage de la plate-forme ont contribué au bris de la soudure.

Indubitablement nous ne sommes pas en mesure de déterminer si la soudure à elle seule aurait cédé en l'absence du grippage des pivots et de la pression de 3000 psi appliquée au cylindre.

Cette cause est retenue comme probable.

## SECTION 5

### 5 CONCLUSION

#### 5.1 Causes de l'accident

- Le phénomène de grippage des pivots sur le manchon intérieur des ciseaux engendre des contraintes aux soudures (causes retenues);
- La pression hydraulique du cylindre de levage est supérieure à la spécification du manufacturier (causes retenues);
- La soudure du manchon du pivot central au tube du ciseau no 3 est de mauvaise qualité (cause probable).

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

Le jour de l'accident, un scellé est émis sur la plate-forme de travail élévatrice automotrice. Un rapport est émis (RAP0706217) et confirme l'apposition du scellé. Une expertise effectuée sur l'équipement détermine la cause du bris structural. Le rapport RAP0789889, transmis à Revêtements de la Capitale, le 28 mai 2012, dicte les correctifs qui doivent être mis en place sur la plate-forme pour la levée du scellé. Aucun correctif n'a été effectué, la plate-forme ayant été mise au rancart.

Le 4 mai 2012, le fabricant, Plafolift inc., effectue un rappel des plates-formes de marque Titan. Le rapport RAP0788379 est transmis au fabricant demandant notamment un protocole d'inspection des soudures, signé et scellé par un ingénieur. Ce protocole d'inspection a été élaboré.

**ANNEXE A**

## Liste des accidentés

**Travailleur décédé****Nom, prénom** : **Travailleur B**

Sexe :

Âge :

Fonction habituelle :

Fonction lors de l'accident :

Ancienneté chez l'employeur :

Syndicat :

**Travailleur accidenté****Nom, prénom** : **Travailleur A**

Sexe :

Âge :

Fonction habituelle :

Fonction lors de l'accident :

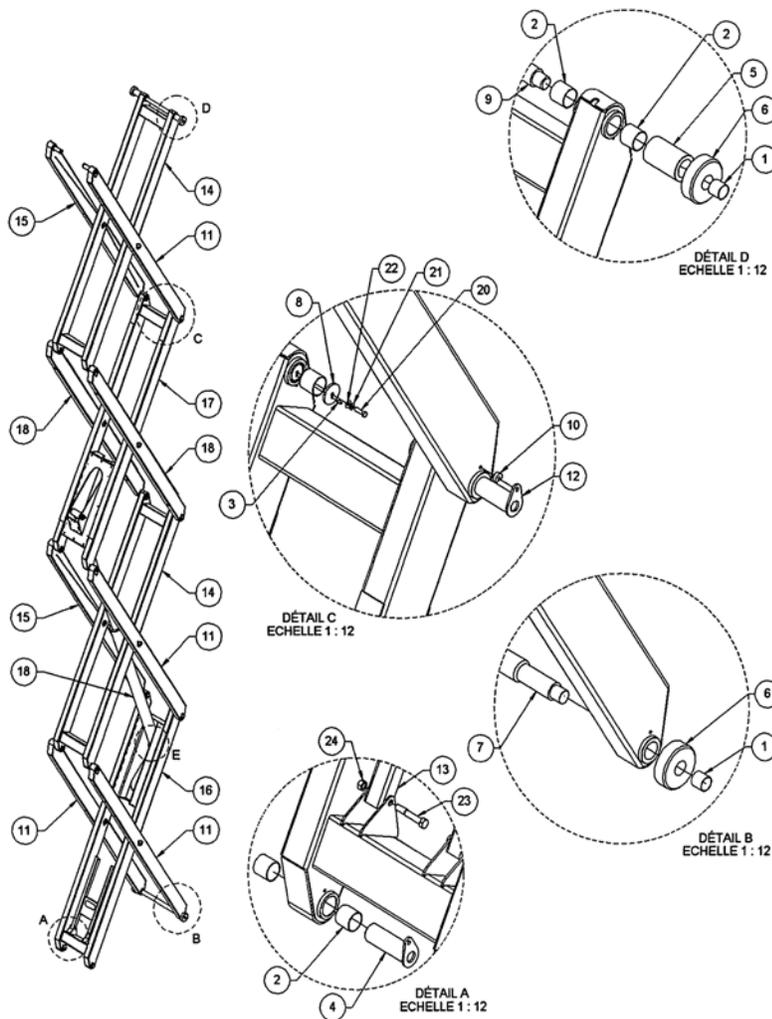
Ancienneté chez l'employeur :

Syndicat :

## ANNEXE B

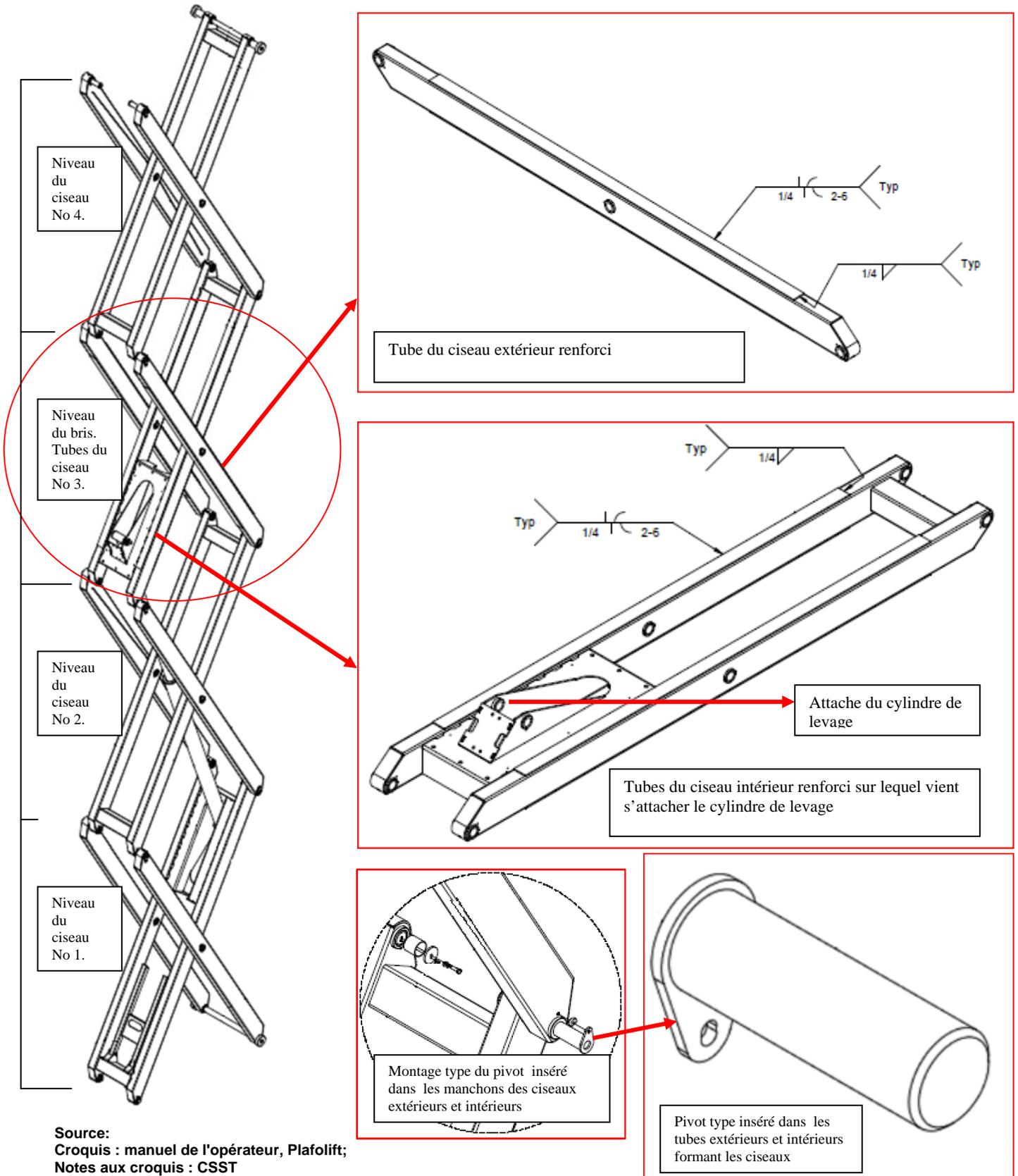
### Croquis

#### PIÈCES DE RECHANGE



#### 8.2.2 Ciseaux Option 48

Item #	Description	Code	Qtée
1	Coussinet Sec 1-1/4"	MZ2601	4
2	Coussinet Sec 2"	MZ2602	48
3	Goupille $\phi 1/4"$ x $5/8"$	MZ3023	24
4	Pivot Oreille Base	PHD_M_1932	2
5	Bague Pour Shaft $\phi 2"$	PHD_M_2006	2
6	Roue	PHD_M_2008	4
7	Shaft Roue Bas	PHD_M_2009	1
8	Rondelle Pivot Ciseaux	PHD_M_2019	24
9	Shaft Roue Haut	PHD_M_2033	1
10	Espaceur	PHD_M_2036	24
11	Ciseau Ext Soudé	PHD_M_2917	4
12	Pivot Ciseaux	PHD_M_2921	24
13	Étai	PHD_M_2926	1
14	Ciseaux Int	PHD_M_2931	2
15	Ciseau Ext - Attache Fil	PHD_M_2932	2
16	Ciseaux Oreille d'Étai	PHD_M_2933	1
17	Ciseaux Att Cyl Renforcé	PHD_M_2935	1
18	Ciseau Ext Renforcé	PHD_M_2936	2
19	Cylindre de levage	PHD_M_301	1
20	Boulon $\phi 3/8"$ x $1-1/4"$	VA1097	24
21	Lock Washer $\phi 3/8"$	VC1002-P	24
22	Flat Washer $\phi 3/8"$	ZZ1002	24
23	Boulon $\phi 5/8"$ x $4"$	VA1186-P	2



Source:  
Croquis : manuel de l'opérateur, Plafolift;  
Notes aux croquis : CSST

**ANNEXE C**

Photos

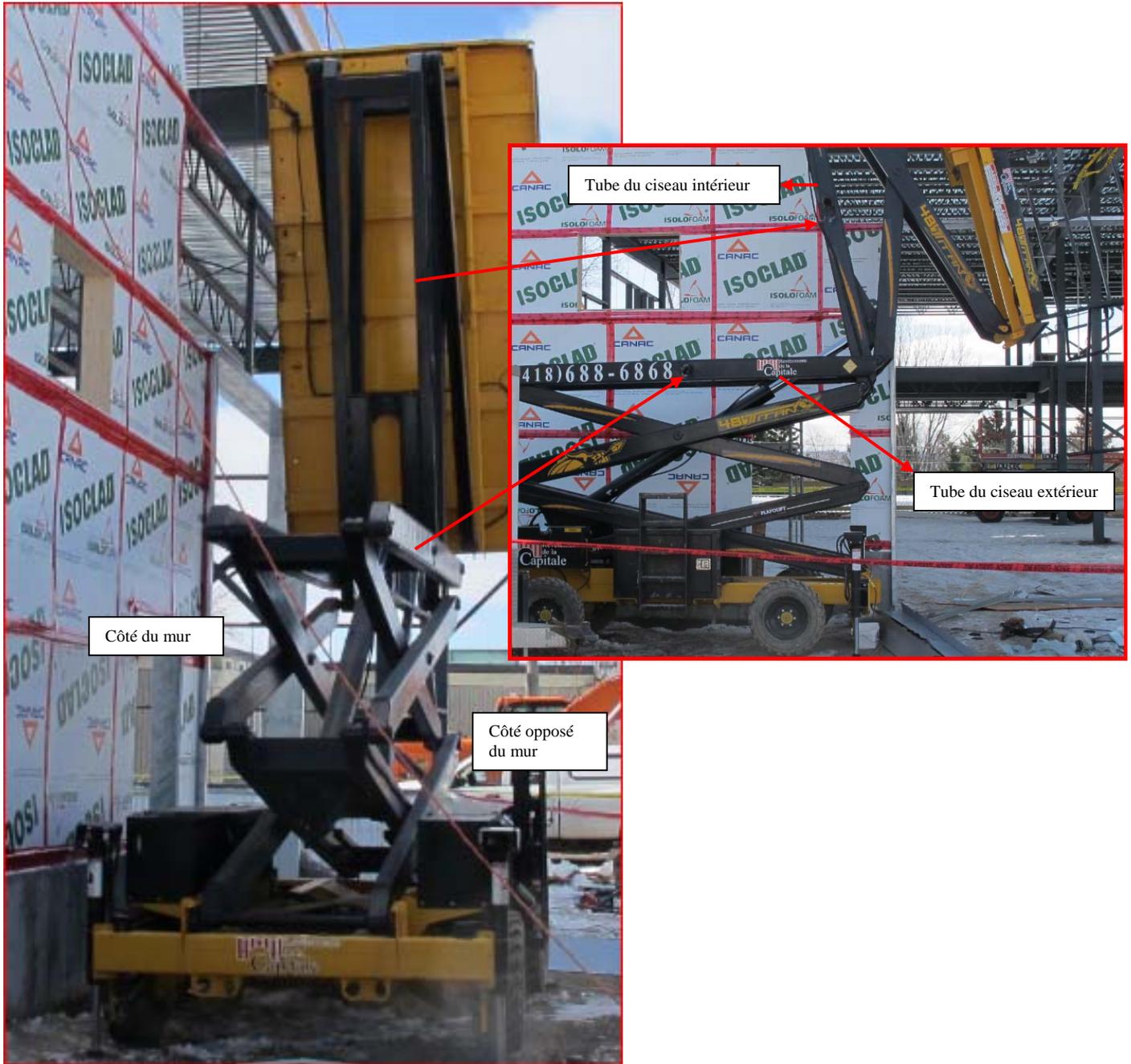


Photo 1 : Vue latérale de la plate-forme élévatrice automotrice Plafolift Titan 48 (Source: CSST)

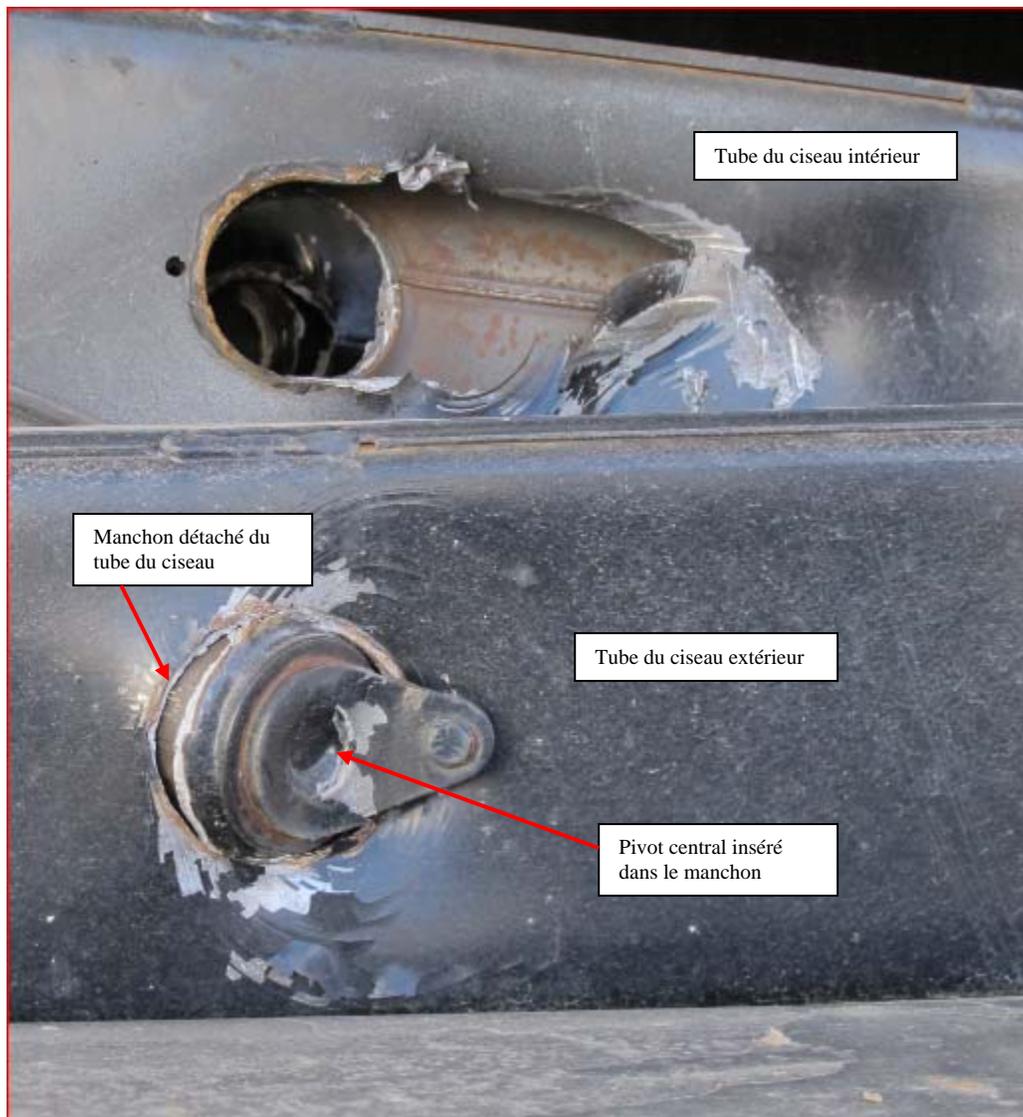


Photo 2 : Vue du pivot central, côté opposé au mur (Source: CSST)

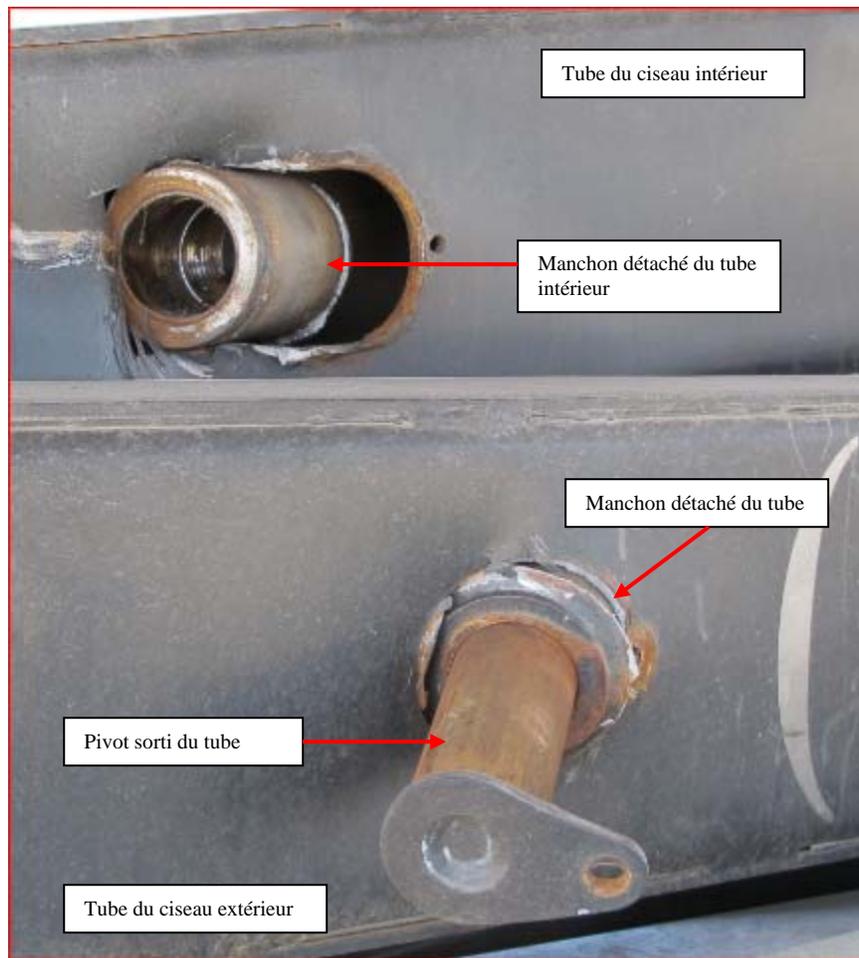


Photo 3 : Vue du pivot central, côté du mur  
(Source: CSST)

**ANNEXE D**

Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

## ANNEXE E

### Rapport d'expertise externe

**CAMTECH**  
**Consultants inc.**

---

Expertise

**CSST**

Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec

# dossier : DPI4164780

**Expertise sur une plate-forme élévatrice automotrice  
de marque Plafolift modèle Titan 48'**

**Accident survenu à Québec, 30 mars 2012**

Jean Grandbois, ing.

**Juillet 2012**

---

Québec (siège social)  
1350, Saint-Laurent, St-Nicolas (Québec) G7A 4K3 Canada  
☎ (418) 836-0315 • 📠 (418) 836-5379  
[www.camtechconsultants.ca](http://www.camtechconsultants.ca)

Boucard: 1145, 87<sup>e</sup> Rue, St-Georges (Québec) G5Y 7C8  
☎ (418) 221-1248 • 📠 (418) 222-0005

Montréal: 330, du Languedoc, Boucherville (Québec) J4B 8B0  
☎ (450) 908-3157 • 📠 (450) 908-3257

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Plafonds Titan

## TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION .....	1
2. DÉFINITIONS .....	2
3. DESCRIPTION DE L'APPAREIL DE LEVAGE .....	2
4. DÉROULEMENT DE L'EXPERTISE ET CONSTATATIONS .....	3
4.1 Méthodologie et déroulement.....	3
4.2 Expertise sur les ciseaux .....	6
4.2.1 Cause directe de l'accident .....	6
4.2.2 Description de l'état des soudures ayant cédées.....	7
4.2.3 Démontage des gougeons.....	8
4.2.4 Autres points .....	9
4.3 Expertise sur le système hydraulique.....	10
5. NORME ACNOR B354.2 .....	10
5.1 Facteurs de sécurité à la conception de la norme.....	10
5.2 Facteurs de sécurité du fabricant.....	12
6. NOTES DE CALCULS À LA CONCEPTION FOURNIES PAR LE FABRICANT .....	12
6.1 Documents reçus .....	12
6.2 Calculs de l'appui des pivots centraux des ciseaux .....	12
7. DISCUSSION .....	13
7.1 Soudures.....	13
7.2 Ciseau.....	14
7.3 Système hydraulique de levage.....	14
7.4 Démontage des plates-formes élévatrices .....	15
7.5 Commentaires sur les facteurs de sécurité .....	15
7.6 Commentaires plus généraux sur les plates-formes Titan.....	15
8. CONCLUSION.....	15

### Liste des figures

Figure 1 : Norme ACNOR 354.2 section 4.5 Coefficient de sécurité structurale .....	11
--	----

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Piafoitt Titan

Liste des photographies

Photographie 1 : Plate-forme élévatrice automotrice accidentée .....	1
Photographie 2 : Plaque signalétique de la plate-forme élévatrice .....	3
Photographie 3 : Pivot central du ciseau # 3 côté commande .....	4
Photographie 4 : Gougeon du ciseau #3 côté commande bloquant les poutres .....	4
Photographie 5 : Pivot central du ciseau #3 côté moteur .....	5
Photographie 6 : Découpe de certaines plaques autour des pivots centraux .....	5
Photographie 7 : Soudure tube-bague, paroi extérieure, tube intérieur, côté commande .....	6
Photographie 8 : Soudure tube-bague, paroi extérieure, tube intérieur, côté moteur .....	7
Photographie 9 : Méthode nécessaire pour retirer plusieurs gougeons complètement grippés .....	8
Photographie 10 : Gougeon rouillé et marqué retiré .....	9
Photographie 11 : Boulon de sécurité coupé à un pivot de bout de ciseau .....	9
Photographie 12 : Bloc-valves pour les commandes hydrauliques .....	10
Photographie 13 : Soudure sans pénétration .....	13

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Plafolift Titan

## 1. Introduction

Ce rapport concerne l'aspect mécanique d'un accident impliquant une plate-forme de travail élévatrice automotrice de marque Plafolift modèle Titan. L'accident est survenu à Québec (Charlesbourg), le 30 mars 2012. Le numéro de dossier de la CSST est le DPI4164780. Deux ouvriers étaient sur la plate-forme élévatrice en train de monter lorsqu'ils ont entendu un bruit inhabituel. L'opérateur a alors inversé le mouvement pour redescendre la plate-forme mais celle-ci a cédé au niveau du pivot central du 3<sup>e</sup> ciseau, entraînant le renversement longitudinal de la plate-forme et la chute des ouvriers. L'expertise a été effectuée en plusieurs parties, du 30 mars au 4 juin 2012, à Québec et St-Nicolas par M. Jean Grandbois, ing., de Camtech Consultants inc., secondé de M. Christian Moreau, technicien de SRCM, sous-contractant, ainsi que par M. André Van Neste, Ph.D., physicien-métallurgiste, sous-contractant et Denis Boulanger, technicien de Camtech Consultants. M. Yvon Morissette, ing., de Camtech Consultants, a aussi participé à l'analyse des données du fabricant de la plate-forme.

Les points suivants sont traités dans le rapport: définition et précision de certains termes, description de l'équipement, le déroulement de l'expertise concernant le système de levage de la plate-forme au niveau des ciseaux puis du système hydraulique, les points reliés à l'accident de la norme ACNOR concernant ce type de plate-forme, nos commentaires concernant la documentation technique fournie par le fabricant à la CSST lors de l'expertise, une discussion sur les résultats de l'expertise et finalement la conclusion sur les causes mécaniques de l'accident.



Photographie 1 : Plate-forme élévatrice automotrice accidentée

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Plafolift Titan

## 2. Définitions

Afin de simplifier la compréhension de ce rapport, voici quelques précisions sur les mots utilisés.

Une plate-forme de travail élévatrice automotrice, ou encore plate-forme élévatrice ou plate-forme de travail élévatrice, décrit l'appareil de levage dans son ensemble. Cet appareil est constitué principalement des trois parties suivantes.

La plate-forme est la section du haut conçue pour recevoir le personnel, l'outillage et le matériel nécessaire.

Le châssis est la composante inférieure assurant la mobilité de l'appareil et le support des autres composantes. Les stabilisateurs (voir définition ci bas) sont inclus dans cette composante.

Le système élévateur est le mécanisme utilisé pour mettre la plate-forme en position de travail. C'est la partie entre la plate-forme et le châssis. Il est composé des ciseaux, des rouleaux et du cylindre de levage. L'étage de ciseaux du bas a le numéro 1.

Bien que la norme ACNOR B354.2 donne le nom de supports en saillie pour le mécanisme permettant de soulever la plate-forme élévatrice et de la mettre à niveau, l'usage commun et ce rapport nommeront ce dispositif les stabilisateurs.

Les ciseaux sont les bras reliés au centre de chaque poutre qui permettent d'élever la plate-forme. Les ciseaux extérieurs sont ceux situés de chaque côté dans le sens longitudinal et visibles directement en tout temps. Les ciseaux intérieurs sont reliés entre eux pour former un cadre et ils sont cachés par les ciseaux extérieurs lorsque la plate-forme est descendue.

Puisque la plate-forme-élévatrice est à 4 roues directrices et motrices, nous décrivons le sens par les côtés commande ou moteur, en référence au montage de la plate-forme élévatrice. L'avant selon le manuel du fabricant correspond à avoir le côté commande à gauche et le côté moteur à droite. La rallonge de la plate-forme ainsi que les deux réservoirs (diesel et hydraulique) sont vers l'avant de la plate-forme élévatrice. L'échelle de l'unité accidentée était du côté moteur ou droit.

## 3. Description de l'appareil de levage

Les caractéristiques de base de l'appareil impliqué dans l'accident sont les suivantes:

Type:	plate-forme élévatrice automotrice verticale de type ciseau avec stabilisateurs
Configuration:	2 essieux moteurs et directeurs
Marque:	Plafolift
Modèle:	Titan
# série:	17821
Année de fabrication:	mars 2010
Freinage:	service hydraulique sur les 4 roues + stationnement mécanique sur 2 roues
Charge nominale de travail:	1500 lb

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Plafolift Titan

Méthode de travail: sur roues ou stabilisateurs  
 Hauteur maximale de travail: 48 pieds  
 Poids total de la machine: 12990 lb ou 5893 kg  
 Système hydraulique : 3000 psi  
 Cylindre de levée: 1 cylindre double action  
 Pression du circuit de levée: 1800 psi

La plate-forme élévatrice est composée de trois parties principales. Le châssis est la partie du bas qui inclut en gros le cadre principal sur lequel tout est attaché ou appuyé, les moteurs (diesel et hydraulique), les commandes, les stabilisateurs, les réservoirs, les essieux et les roues. Les ciseaux sont au nombre de quatre étages (le # 1 étant le plus bas dans ce rapport) qui sont identiques sauf pour le # 3 auquel est attaché la tête du cylindre de levage et pour lequel les tubes du ciseaux sont renforcés par une plaque sur le dessus et le dessous. La plate-forme de travail est au-dessus des ciseaux.



Photographie 2 : Plaque signalétique de la plate-forme élévatrice

## 4. Déroulement de l'expertise et constatations

### 4.1 Méthodologie et déroulement

L'expertise s'est déroulée en plusieurs parties. Camtech Consultants a été contacté la journée de l'accident mais plusieurs heures après celui-ci. À notre arrivée sur les lieux de l'accident, la plate-forme avait été replacée au-dessus du système élévateur, avec le ciseau # 4 et la plate-forme en appui sur la bague et le pivot arrachés du ciseau # 3 du côté commande. Étant donné

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Palfinger Titan

l'heure avancée, nous avons donc décidé de reporter le transport de l'équipement au lendemain pour pouvoir protéger les pièces lors du transport.



**Photographie 3 : Fivet central du ciseau # 3 côté commande**



**Photographie 4 : Gougeon du ciseau #3 côté commande bloquant les poutres**

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Piafolift Titan



*Photographie 5 : Pivot central du ciseau #3 côté moteur*

Le 31 mars au matin, la plate-forme a été soulevée à l'aide d'une grue et les ciseaux ont été bloqués avec du bois en plus afin de pouvoir travailler sur l'équipement. Des constatations supplémentaires et plus précises ont pu être effectuées. Puis des rectangles ont été découpés dans les parois verticales des tubes dans lesquels les pivots centraux étaient bloqués et empêchaient les ciseaux de se fermer complètement. Toutes les pièces risquant de se faire endommager ont été retiré à ce moment, avant le transport sur une plate-forme vers l'atelier.



*Photographie 6 : Découpe de certaines plaques autour des pivots centraux*

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Palfinger Titan

La suite de l'expertise s'est déroulée les 17 et 18 avril 2012 à l'atelier. Les pièces ont été identifiées et un test sur l'hydraulique a été effectué. La principale occupation a été le démontage des ciseaux de la plate-forme élévatrice afin de pouvoir inspecter correctement les soudures des autres bagues de pivots centraux. Étant donné les problèmes rencontrés au démontage, cette opération seule a pris plus de une journée et demie.

D'autres tests hydrauliques ont été effectués le 9 mai pour vérifier une seconde valve à la base du cylindre de levée.

Les pièces ont aussi été montrées à des représentants de différents intervenants au dossier à différents moments.

## **4.2 Expertise sur les ciseaux**

### **4.2.1 Cause directe de l'accident**

La cause du renversement longitudinale de la plate-forme de travail est la fracture de la soudure entre les bagues centrales et les parois latérales de trois des quatre tubes du ciseau # 3 suivi du déchirement des parois latérales des tubes du ciseau # 3, ce qui a permis aux deux gougeons centraux du ciseau # 3 de sortir des bagues et d'ainsi provoquer l'accident.



**Photographie 7 : Fracture préalable à la soudure tube-bague, paroi extérieure, tube intérieur, côté commande**

L'examen des pièces après l'accident a permis de constater que les fractures de la soudure entre les bagues centrales et trois parois latérales des tubes étaient préalables à l'accident de quelques semaines ou plus (présence de rouille) et que ces fractures préalables couvraient

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Piafort Titan

environ la moitié du périmètre des bagues centrales. La première raison du début de ces fractures préalables à l'accident est la mauvaise qualité des soudures. Le cordon de soudure ainsi que la pénétration de celle-ci ne rencontrent pas les normes habituelles. Une coupe perpendiculaire au mur verticale a été effectuée pour vérifier la qualité des soudures sur une des jonctions bague-parois.

Étant donné que ces manquements sont tous sur le ciseau # 3 qui est le plus sollicité puisque le cylindre de levage y est attaché, la mauvaise qualité des soudures a permis à celles-ci de se fracturer progressivement, jusqu'à ce que la soudure restante soit trop faible et que les parois latérales se déchirent en effet domino lors de l'arrachement des bagues centrales des soudures restantes, provoquant l'accident.



Photographie 5 : Fracture préalable à la soudure tube-bague, paroi extérieure, tube intérieur, côté moteur

#### 4.2.2 Description de l'état des soudures ayant cédées

La rupture au niveau des pivots s'est produite à la soudure des bagues permettant leur rotation dans la membrure rectangulaire des ciseaux et ont débutés aux faces intérieures des membrures qui, même en mouvement, sont peu espacées l'une de l'autre et laisse peu de visibilité.

Après l'accident, ces jonctions devenaient visibles parce que arrachées. Il était remarquable qu'à première vue, les jonctions soudées des bagues aux membrures avaient un faciès corrodé (ou rouillé) alors que d'autres faciès de rupture étaient d'évidence récentes du matin de l'accident. Les surfaces sur l'extérieur des membrures avaient un aspect brillant, fraîchement formées. Cet état de fait indique que ces ruptures avaient débutés avant même l'accident et

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Plafonn Titan

elles se sont tout simplement poursuivies avec l'accident. Il faut donc conclure que la soudure des bagues des pivots centraux était déjà endommagée avant même son utilisation le matin de l'accident.

#### *4.2.3 Démontage des gougeons*

Un facteur aggravant a été trouvé lors de l'expertise. Lors du démontage des ciseaux de la plate-forme élévatrice, les gougeons (centraux ou d'extrémités) qui relient les tubes intérieurs et extérieurs étaient pour la plupart saisis à l'intérieur des bagues, aussi bien pour les tubes extérieurs sans rotation par rapport aux gougeons que pour les tubes intérieurs dont la bague est équipée d'un coussinet pour faciliter la rotation.

Le saisissement a pour effet lors de l'élévation de la plate-forme de travail d'augmenter la force nécessaire et conséquemment les efforts dans les pièces, particulièrement au niveau des gougeons, des bagues et des soudures reliant celles-ci aux parois latérales des tubes. Une mauvaise soudure sera alors portée à fracturer prématurément. Le saisissement des gougeons à l'intérieur des bagues introduit aussi une contrainte importante supplémentaire en cisaillement à l'intérieur des soudures entre les bagues et le tube du ciseau.



*Photographie 9 : Méthode nécessaire pour retirer plusieurs gougeons complètement grippés*

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Piafoift Titan



Photographie 10 : Gougeon rouillé et marqué retiré

#### 4.2.4 Autres points

Deux autres points doivent être mentionnés. Des coupes ont été exécutées de manière aléatoire sur trois autres bagues de tubes des ciseaux et aucune n'a montré les mêmes défauts que celles des tubes du ciseau # 3.

Un boulon de sécurité indiquant qu'un gougeon est saisi dans la bague du tube intérieur dans lequel il devrait tourner était cassé, indiquant un problème majeur à l'extrémité de ce ciseau.



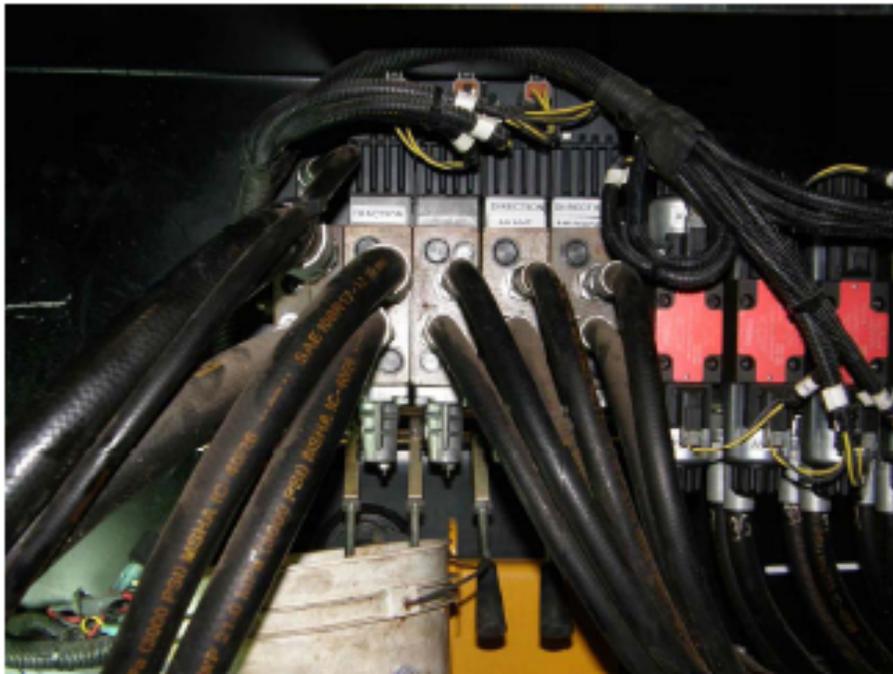
Photographie 11 : Boulon de sécurité coupé à un pivot de bout de ciseau

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Piafolift Titan

### 4.3 Expertise sur le système hydraulique

La plate-forme élévatrice est équipée d'un système hydraulique fonctionnant à 3000 psi. Cette pression est utilisée pour la traction et la direction. Cependant, la pression dans le système de levée doit être limitée à 1800 psi selon le manuel de l'opérateur pour limiter les efforts dans la structure. L'appareil est équipé de deux valves limitatrices de pression pour le cylindre. La première est dans le bloc valves, avec les commandes manuelles. La deuxième est à la base du cylindre, intégrée dans le bloc boulonné directement au cylindre. L'expertise a démontré que les deux valves étaient inopérantes et que la pression au cylindre de levage était de 3000 psi. Les efforts dans le système pouvaient donc dans certains cas être 50 % plus élevés que les efforts prévus à la conception, ce qui augmente aussi le stress sur les soudures défectueuses.

Il faut aussi préciser que la valve au niveau du bloc-valve avait été changée depuis la fabrication originale. La partie de limitation de pression est préréglée et ne peut pas être modifiée. Il ne s'agissait donc pas de la bonne pièce. La valve sur le cylindre peut être réglée mais cela prend quelqu'un connaissant bien le système pour modifier le réglage d'usine.



Photographie 12 : Bloc-valves pour les commandes hydrauliques

## 5. Norme ACNOR B354.2

### 5.1 Facteurs de sécurité à la conception de la norme

Les plates-formes de travail élévatoires automotrices sont soumises à la norme ACNOR 354.2-01 qui est une norme nationale au Canada. Cette norme donne les critères de conception et de

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Piafoilt Titan

fabrication, les critères d'inspection et d'entretien, les pratiques de conduite prudente et les critères de formation de l'opérateur.

CSST - 1400 Boulevard, Capitale-Québec inc., 4400 107<sup>e</sup> rue, 10<sup>e</sup> étage, distribution sans frais 1-877-977-2737. Toute reproduction ou utilisation non autorisée est formellement interdite.

© Association canadienne de normalisation

Plates-formes de travail élévatoires automatisées

## 4.5 Coefficients de sécurité structurale

### 4.5.1 Matériaux ductiles

Tous les éléments porteurs de la plate-forme élévatrice fabriqués de matériaux ductiles doivent avoir un coefficient de sécurité d'au moins 2, basé sur :

- a) la limite élastique minimale des matériaux utilisés ;
- b) la résistance en colonne de la structure.

### 4.5.2 Matériaux non ductiles

Tous les éléments porteurs de la plate-forme élévatrice fabriqués de matériaux non ductiles, y compris le plastique renforcé de fibre de verre, doivent avoir un coefficient de sécurité d'au moins 5, basé sur la contrainte de rupture minimale des matériaux utilisés.

### 4.5.3 Formules de calcul des coefficients de sécurité structurale

La contrainte de calcul utilisée pour déterminer le coefficient de sécurité structurale doit correspondre à la contrainte maximale sollicitant l'élément si l'appareil fonctionne à la capacité nominale et s'il est utilisé dans le genre de service pour lequel il a été conçu. La contrainte de calcul doit tenir compte des effets de concentration de contraintes et de la charge dynamique, tel que l'indique la formule suivante :

$$\text{Coefficient de sécurité structurale} = \frac{\sigma}{(\sigma_1 + \sigma_2) f_1 f_2}$$

où

$\sigma$  limite élastique des matériaux décrits dans l'article 4.5.1 ou contrainte de rupture des matériaux décrits dans l'article 4.5.2 ;

$\sigma_1$  contrainte due au poids de la structure ;

$\sigma_2$  contrainte maximale due à la charge nominale ;

$f_1$  coefficient de concentration des contraintes ;

$f_2$  coefficient de charge dynamique.

On peut déterminer les valeurs  $f_1$  et  $f_2$  par analyse expérimentale des contraintes sur un prototype.

**Note :** En général, les valeurs  $f_1$  et  $f_2$  ne doivent pas être inférieures à 1,10 et 1,25 respectivement.

La charge de colonne doit inclure les effets de la charge dynamique comme l'indique la formule suivante :

$$\text{Coefficient de sécurité structurale} = \frac{b}{(b_1 + b_2) f_2}$$

où

$b$  charge de flambage critique de la colonne ;

$b_1$  charge de colonne due au poids de la structure ;

$b_2$  charge de colonne due à la charge de travail nominale ;

$f_2$  coefficient de charge dynamique.

On peut déterminer les valeurs  $f_1$  et  $f_2$  par analyse expérimentale des contraintes sur un prototype.

Si non, les valeurs  $f_1$  et  $f_2$  ne doivent pas être inférieures à 1,10 et 1,25 respectivement.

juin 2002

7

Figure 1 : Norme ACNOR 354.2 section 4.5 Coefficient de sécurité structurale

Le chapitre 4 porte sur les critères de conception et de fabrication. La section 4.5 décrit spécifiquement les coefficients de sécurité structurale. Le coefficient de sécurité des éléments porteurs fabriqués de matériaux ductiles (par exemple l'acier) doit être d'au moins 2 par rapport à la limite élastique. Il est aussi indiqué que le coefficient de sécurité structural doit tenir compte des concentrations de contraintes et du facteur de charge dynamique. Il est écrit que ces deux facteurs peuvent être déterminés par analyse expérimentale sur un prototype et qu'elles ne doivent pas être inférieures à 1.1 et 1.25 respectivement. Le facteur de sécurité total est donc de 2.75 au minimum absolu à moins de pouvoir prouver qu'un des coefficients est trop élevé.

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Palfitt Titan

## **5.2 Facteurs de sécurité du fabricant**

Les notes de calculs fournies à la CSST commencent par une page d'explication sur les coefficients de sécurité utilisés lors de la conception de cet équipement. Pour les calculs faits à la main, les facteurs minimum de la norme ont été utilisés, sans aucune vérification expérimentale tel que suggéré dans la norme. Le coefficient visé était de 2.75.

Pour les calculs par éléments finis, le facteur de sécurité visé était de 2.5, car les concepteurs estimaient qu'ils n'avaient pas à tenir compte du coefficient de concentration de contraintes".

Enfin, dans certains cas, il est à noter que le facteur de sécurité visé était de 2 parce que les forces insérées dans l'étude étaient équivalente à 125 % de la force normale.

Nos commentaires sur l'utilisation de ces facteurs de sécurité se trouvent dans la discussion, à la section 7.5.

## **6. Notes de calculs à la conception fournies par le fabricant**

### **6.1 Documents reçus**

Les documents suivants ont été transmis par le fabricant à la CSST à notre demande. Il s'agit de l'ensemble des plans du système élévateurs (24 plans), d'un document des calculs sur les ciseaux (80 pages), du plan hydraulique du système, de 3 feuilles de procédure de soudage et de documents de certification du Bureau canadien de soudage.

Le document des calculs sur les ciseaux est composé de 80 pages non numérotées qui sont un assemblage de calculs de différentes provenances. Certaines pages sont datées avec quelques pages à la suite avec la même date, du 1<sup>er</sup> juin 2009 au 24 novembre 2009. Certaines pages proviennent de d'autres équipements tels un monte-charge. Certaines pages de calculs sont écrites à l'ordinateur, principalement les feuilles d'analyse par éléments finis. La majorité des feuilles ayant réellement des calculs est à la main, sans numérotation, avec des feuille de résultats de calcul sur Excel sans référence aux feuilles de calcul et ne permettant pas de connaître les hypothèses de départ de ces feuilles de calcul.

### **6.2 Calculs de l'appui des pivots centraux des ciseaux**

Les calculs concernant la zone des pivots centraux tiennent sur environ 8 pages. Il n'y a eu aucune analyse par éléments finis pour la section centrale des tubes, la jonction tube - bague ou pour les zone de pivots en général. Il n'y a aucune feuille de calcul pour les soudures.

Les calculs sont effectués avec comme hypothèse une symétrie parfaite des efforts et des charges entre les deux côtés des ciseaux et entre le ciseau intérieur et extérieur, ce qui est impossible. De plus, tous les calculs sont effectués sur le simple principe de  $F = \sigma A$ . Le calcul de l'aire inclut toujours l'ensemble des surfaces possibles comme si elles étaient appuyées une à côté de l'autre, et non pas espacées comme dans la réalité. Aucun écrasement ou flambage de paroi de tube n'est vérifié, parce qu'avec le manchon "la force transmise sera égale partout".

Il n'y a aucun calcul pour les efforts en cisaillement. L'effort de friction du gougeon à l'intérieur des bagues est complètement négligé, alors qu'il provoque une force en cisaillement directement dans les soudures entre les bagues et les tubes. Il faut rappeler que la résistance en cisaillement est la moitié de la résistance en traction.

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Palfinger Titan

Enfin, il n'y a aucune vérification par rapport à la fatigue pour s'assurer que les contraintes restent sous les 45 % de la limite élastique afin que la fatigue n'entre pas en jeu ou qu'elle soit prise en compte dans les calculs.

## 7. Discussion

### 7.1 Soudures

On peut admettre que les soudures dans l'ensemble ont un aspect extérieur acceptable et uniforme, si on considère qu'elles ne doivent qu'assurer une certaine rigidité à l'ensemble. Toutefois, on peut anticiper que les soudures des bagues des pivots centraux vont être soumises à des efforts relativement élevés. Les bagues de rotations et leur soudure devront conséquemment répondre à des critères plus sévères.

On peut déjà remarquer à la photographie ci-dessous que la soudure qui a lâché ne pénètre pas l'épaisseur de la tôle. Il y a donc là un problème de pénétration évidente et qui se répète à bon nombre de soudures inspectées.



Photographie 13 : Soudure sans pénétration

L'aspect des ruptures peut également poser des questions. On ne peut évidemment pas s'attendre à une élongation ductile notable dans le cas d'une rupture à une soudure. Par contre, on s'attendrait à ce que la rupture se produise dans la tôle adjacente, la soudure devant normalement être plus résistante. Il est difficile dans les cas présents de vouloir invoquer une rupture fragile car l'aspect du faciès de rupture correspond plus à une rupture par fatigue de

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Plafolift Titan

courte durée, fort probablement dû au niveau élevé de l'effort. Il ne faut pas oublier que la limite de fatigue des aciers se situe aux environs de la moitié de leur charge ultime (UTS) et que tout effort supérieur endommage dangereusement sa vie en fatigue. Bien plus, dans le cas présent, la soudure en est une que l'on qualifie de "fillet weld". Il y a donc un effet d'entaille important au niveau même de la soudure qui engendre une concentration d'efforts important. Les soudures en cet endroit devraient à tout le moins répondre à l'exigence de résistance maximale (Full strenght weld ).

Les calculs à ce niveau des efforts appliqués sur ces pivots centraux ainsi que sur les bagues des tubes lors du mouvement sollicité de cette plateforme sont déterminants pour spécifier plus exactement les critères nécessaires pour les spécifications des soudures.

Finalement, le dessin # PHD-M fourni par Plafolift donne un cordon de soudure de ¼ de pouce. Par contre, il n'y a aucun chanfrein de préparation à la soudure sur les plans. Cela montre un problème au niveau du soudage puisque la soudure ne pourra pas avoir sa pleine capacité dans ces conditions.

### **7.2 Ciseau**

Les calculs du pivot central des ciseaux avec la jonction bague-tube est plus qu'élémentaire dans les feuilles de calcul transmises. Les prémisses de base sont que les efforts se transmettent de manière parfaitement symétrique en tout temps entre tous les points de contact et que toutes les pièces et la soudure sont parfaites. Aucun calcul pour vérifier correctement la capacité d'une paroi, aucun calcul en cisaillement, calcul de soudure ou de fatigue n'est effectué. De plus, aucune vérification par élément fini n'a été effectuée pour cette section.

Un renfort sur les murs verticaux des poutres aurait permis d'avoir une sécurité supplémentaire dans le cas d'une défektivité de la soudure entre les bagues et les parois, d'autant plus que la soudure ne peut être exécutée qu'à l'extérieur du tube. Une paroi plus épaisse permettrait d'avoir une meilleure soudure et un mur suffisamment solide pour éviter que la bague et le pivot déchirent la paroi instantanément comme à travers du beurre en cas de problème.

### **7.3 Système hydraulique de levage**

Le système hydraulique du système de levage est conçu correctement et les sécurités habituelles sont supposées être présentes. La problématique vient plus de pièces mal identifiées qu'il est aisé de poser à la mauvaise place. Il n'y a pas d'indication à l'intérieur du boîtier de commande que les pressions d'opération des différentes valves ne sont pas les mêmes malgré que les valves semblent identiques. Il n'y a pas non plus d'indication sur les valves elles-mêmes.

Pour ce qui est de la valve limitatrice au bas du cylindre, son accès n'est pas facile et la vérification de sa pression de sortie encore moins. Nous ne savons pas pourquoi cette valve était désajustée.

Étant donné les possibilités d'erreur au niveau de la pression hydraulique, il serait possiblement préférable de prévoir dans les calculs de résistance qu'il y a des possibilités que la pression soit à 3000 psi. Il serait aussi possible d'avoir des mécanismes de sécurité pour la pression plus efficaces.

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Plafolift Titan

#### **7.4 Démontage des plates-formes élévatrices**

L'inspection complète des plates-formes élévatrice, qui demande le démontage des ciseaux afin de pouvoir examiner correctement (visuellement ou à l'aide d'essais non destructifs) les soudures entre les bagues et les parois latérales, devient quasiment impossible à exécuter puisque les tubes des ciseaux sont endommagés lors du démontage à cause des efforts nécessaires pour sortir les gougeons.

Ce problème amène des conséquences importantes au niveau de la sécurité et de la durabilité de ces équipements.

#### **7.5 Commentaires sur les facteurs de sécurité**

Les facteurs de sécurité utilisés par le fabricant sont minimalistes et ne tiennent pas compte de la réalité de fabrication constatée pas plus que de la réalité d'opération. De plus, il n'y a aucun coefficient ajouté au facteur de sécurité pour tenir compte de la fatigue des matériaux, qui est grandement accélérée si les contraintes se rapprochent de la limite élastique.

Ces facteurs combinés avec nos commentaires sur les calculs nous portent à penser que les facteurs de sécurité de ces plates-formes de travail élévatrices ne rencontrent probablement pas le minimum requis par la norme ACNOR et les règles de l'art. Les accidents survenus portent aussi à confirmer l'énoncé précédent.

#### **7.6 Commentaires plus généraux sur les plates-formes Titan**

Les résultats de l'expertise démontrent plusieurs problèmes avec la plate-forme élévatrice accidentée. Des défauts de fabrication très difficiles à détecter lors d'une inspection normale ont provoqué l'accident. Des défauts importants de conception ont été trouvés. Finalement, des erreurs de pièces ayant une incidence sur la sécurité ont aussi été détectées. Ces erreurs sont survenues lors de réparation ou du montage de la plate-forme élévatrice.

Ce modèle avait déjà fait l'objet d'un rappel pour une conception défectueuse du contrôle des bras stabilisateurs et selon les informations reçues de la CSST, au moins un autre accident du même type que celui-ci serait déjà survenu. Il nous apparaît donc important de mentionner que selon nous la sécurité des plates-formes élévatrices Titan de Plafolift semble compromise.

## **8. Conclusion**

L'expertise mécanique portait principalement sur la cause du renversement longitudinal de la plate-forme. La cause directe du renversement est le bris au niveau du ciseau # 3 de plusieurs soudures des quatre bagues des pivots centraux suivi du déchirement des parois verticales des tubes vis-à-vis le pivot central. Cela a permis aux pivots reliant les ciseaux intérieur et extérieur de se déplacer, amenant ainsi le ciseau intérieur à se désolidariser du ciseau extérieur. Ceci a conséquemment permis le renversement de la plate-forme et du ciseau # 4.

Plusieurs soudures avaient commencé à céder depuis un certain temps mais leur position entre les deux poutres rendait leur détection très difficile sans démontage des ciseaux. La longueur de fracture des soudures augmentait avec l'utilisation de la plate-forme et à un certain moment la longueur restante des soudures n'avait plus la capacité nécessaire. La soudure restante a cédé d'un coup. Les parois latérales des tubes n'ayant aucun renfort près du pivot central, les parois ont cédé elles-aussi.

CSST : Accident à Québec, expertise sur une plate-forme élévatrice Palfitt Titan

L'expertise sur le système hydraulique a démontré que le système de levée était alimenté à une pression de 3000 psi, contrairement aux spécifications du fabricant qui indique 1800 psi. Les deux valves limitatrices de pression étaient à 3000 psi pour des raisons à enquêter (erreur de pièce au montage ou à l'entretien pour un cas, mauvais ajustement ou autres pour l'autre). Cela augmentait possiblement les efforts sur les ciseaux, dépendant des charges à lever.

Bien que la condition de faiblesse des soudures du pivot central se soit développée progressivement, l'accident a été causé par un bris soudain quasiment imprévisible pour les opérateurs ou le propriétaire de l'équipement étant donné que l'appareil était très récent. L'inspection nécessaire pour découvrir les fractures aux soudures demande le démontage des ciseaux et cela n'est jamais effectué sur un équipement de 2 ans à moins d'une raison précise connue. Il est particulièrement difficile de voir une fracture dans la soudure de la bague centrale entre les deux poutres sans démontage.

Finalement, la conception de l'ensemble du pivot central, formé de gougeons, bagues et tubes de ciseaux amène plusieurs interrogations sur la sécurité de ces plates-formes. Les calculs et les hypothèses de base pour ceux-ci fournis par le fabricant à ce sujet sont incomplets et discutables sur plusieurs points. Le facteur de sécurité minimum exigé par la norme ACNOR B354.2 n'est possiblement pas respecté. Finalement, le démontage de la plate-forme accidentée a aussi montré d'autres problèmes pour l'entretien, les inspections futures et la durabilité de ces plates-formes.

RAPPORT COMPLÉTÉ A ST-NICOLAS,  
LE TRENTIÈME JOUR DE JUILLET DEUX MILLE DOUZE.



Jean Grandbois, ing.

## ANNEXE F

### Références bibliographiques

- Plafolift, Manuel de l'opérateur- Titan- mars 2010
- Norme nationale du Canada (approuvée en février 2003), *B354.2-01, Plates-formes de travail élévatrices automotrices.*