

## **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident grave survenu à un travailleur  
le 12 février 2016 à l'établissement T.M.S. Système inc.  
situé au 170, route du Président-Kennedy à Saint-Henri-de-Lévis**

**Direction régionale de la Chaudière-Appalaches**



**Inspecteurs :**

\_\_\_\_\_  
**Rock Bussière**

\_\_\_\_\_  
**Yannick Boutin**

**Date du rapport : 8 novembre 2016**

**Rapport distribué à :**

- Monsieur « A », « ..... », T.M.S. Système inc.
- Comité de santé et de sécurité
- Dr Philippe Lessard, directeur de la santé publique

**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 DE L'ÉTABLISSEMENT	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
4.2.1	LES CONVOYEURS	5
4.2.2	LA DIFFÉRENCE ENTRE LES PIGNONS	9
4.2.3	LA POUTRELLE	9
4.2.4	LE PALAN ÉLECTRIQUE	10
4.2.5	LA PROJECTION	11
4.2.6	L'APPROVISIONNEMENT EN PIÈCES DE RECHANGE	13
4.2.7	LA CAMÉRA DE SURVEILLANCE	13
4.2.8	LES NORMES EN VIGUEUR	14
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	15
4.3.1	LA CONCEPTION DU CONVOYEUR D'INSPECTION PRÉSENTE UNE IRRÉGULARITÉ DANS LES PAS ENTRE LES TASSEaux.	15
4.3.2	LE REMPLACEMENT DES PIÈCES LORS DES TRAVAUX D'ENTRETIEN EST FAIT DE FAÇON IMPROVISÉE.	16
<b><u>5</u></b>	<b><u>CONCLUSION</u></b>	<b><u>17</u></b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	17
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	17
<b><u>ANNEXES</u></b>		
ANNEXE A :	Accidenté	18
ANNEXE B :	Croquis	19
ANNEXE C :	Devis de T.M.S. Système inc.	20

<b>ANNEXE D :</b>	<b>Catalogue des pignons</b>	<b>23</b>
<b>ANNEXE E :</b>	<b>Liste des témoins et des autres personnes rencontrées</b>	<b>24</b>
<b>ANNEXE F :</b>	<b>Rapport d'expertise interne</b>	<b>25</b>
<b>ANNEXE G :</b>	<b>Références bibliographiques</b>	<b>37</b>

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

Le 12 février 2016, M. « B » est gravement blessé alors qu'il est frappé à la tête par une poutre. Celle-ci s'est coincée entre les tasseaux des deux convoyeurs pour être projetée sur une distance de plus de 12 mètres (m).

**Conséquences**

Le travailleur subit de multiples fractures à la tête.



Source CNESST

**Position de la poutre avant la projection**

**Abrégé des causes**

L'enquête a permis de déterminer deux causes :

- La conception du convoyeur d'inspection présente une irrégularité dans les pas entre les tasseaux.
- Le remplacement des pièces lors des travaux d'entretien est fait de façon improvisée.

**Mesures correctives**

À la suite de cet accident, les inspecteurs ont émis une décision interdisant l'utilisation des convoyeurs de la ligne Vescom et y ont apposé le scellé E38127. Cette décision est signifiée au rapport RAP9090122.

Les interventions réalisées les 15, 23 février et 23 mars, consignées aux rapports RAP0973866, RAP0975263 et RAP0978732 complètent ce dossier. Les inspecteurs ont exigé d'apporter des corrections sur ce convoyeur ainsi qu'une attestation d'un ingénieur pour certifier la sécurité. L'employeur doit corriger les dangers associés aux angles rentrants et aux zones de coincement ; corriger les pas entre les tasseaux des différents convoyeurs et harmoniser les vitesses respectives de chacun. Ils ont recueilli toutes les mesures nécessaires afin de comprendre les phénomènes mécaniques qui ont contribué à cet accident. Une expertise a été réalisée par les experts de la CNESST. (Annexe F)

*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 de l'établissement**

T.M.S. Système inc. ci-après nommé TMS Système, est un fabricant spécialisé dans la structure de bâtiments préfabriqués et particulièrement dans les éléments suivants : murs de bois et acier léger, fermes de toit en bois et acier léger, structures d'acier et béton ainsi que dans le domaine des métaux ouvrés.

Il opère deux usines situées à Saint-Henri-de-Lévis. L'établissement principal est sis au 126, rue Commerciale et l'usine B, lieu de l'accident, porte l'adresse 170, route du Président-Kennedy. On y dénombre plus de 100 travailleurs non syndiqués, dont environ 35 à l'usine B.

**2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail****2.2.1 Mécanismes de participation**

L'employeur fait partie du 2<sup>ième</sup> groupe prioritaire et œuvre dans le secteur d'activité économique de l'industrie du bois (sans scierie) [006]. Un comité de santé et sécurité du travail est présent.

**2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité**

L'employeur « ..... ». Il a élaboré et met en application un programme de prévention qui est mis à jour régulièrement. Par contre, il n'a pas élaboré de programme d'entretien préventif pour ses équipements.

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

L'accident du travail est survenu à l'usine B située au 170, de la route du Président-Kennedy à Saint-Henri-de-Lévis. L'ensemble des travaux qui y sont réalisés sont la fabrication de structures d'acier : poutrelles et unités de toiture ainsi que l'installation de l'isolant à l'intérieur de ces unités.

**3.2 Description du travail à effectuer**

Un travail de montage, de soudure et d'inspection doit être réalisé sur les poutrelles de toit. Un convoyeur est dédié à chacune des trois fonctions. Des travailleurs sont affectés au montage des composantes pour la fabrication de poutrelles sur le premier convoyeur. Les soudeurs complètent les travaux sur le second convoyeur. Un inspecteur exerce le contrôle de qualité sur le dernier convoyeur.

Le jour de l'accident, les soudeurs complètent le travail sur les poutrelles déposées sur le convoyeur de soudure. Ensuite, un des soudeurs actionne le bouton de commande des trois convoyeurs pour faire passer celles qui viennent d'être soudées vers le convoyeur d'inspection et simultanément faire avancer la poutrelle en attente du convoyeur de montage vers le convoyeur de soudure.



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

Le 12 février 2016, peu avant 6 h 50, M. « B », soudeur, arrive au travail. Il revêt ses équipements de protection individuelle (veste de soudeur, masque, gants) et s'installe à son poste de travail à proximité du convoyeur de soudure de la ligne Vescom : montage, soudure et inspection des poutrelles. Les pièces à souder sont sur le convoyeur.

Il termine le travail de soudure sur les trois poutrelles en attente. Son collègue, M. « C », actionne le bouton pour faire avancer les convoyeurs. Ce bouton commande les trois convoyeurs simultanément. Il surveille la poutrelle qui arrive du convoyeur de montage parce qu'il doit arrêter le centre de celle-ci, vis-à-vis le palan électrique à la mi-parcours du convoyeur de soudure. Il sera alors plus facile de manœuvrer cette poutrelle à l'aide du palan électrique.

Pendant le mouvement des convoyeurs M. « C » qui est le seul témoin oculaire, voit une des poutrelles qu'ils viennent de terminer être projetée vers eux à une hauteur de plus de 2,5 m au-dessus du convoyeur. Cette poutrelle touche le câble d'acier et la poutre de suspension servant à soutenir le palan électrique. La poutrelle redescend vers le sol et vient frapper M. « B » à la tête.

Le travailleur subit de multiples fractures.

**4.2 Constatations et informations recueillies****4.2.1 Les convoyeurs**

Il s'agit de trois convoyeurs à tasseaux qui peuvent être actionnés par un seul bouton de commande. Des boutons d'arrêt d'urgence sont installés aux extrémités du convoyeur de soudure. Les trois convoyeurs ont une longueur totale de 47,7 mètres (m). Ils ont tous la même hauteur : 110 millimètres (mm). Chaque convoyeur est distant de 30 centimètres (cm).

Le premier convoyeur est appelé convoyeur de montage. C'est à cet endroit que les travailleurs montent les poutrelles par l'assemblage des différentes composantes et des soudures par points (tack welding). Il mesure 15,7 m de long.

Le second convoyeur est appelé convoyeur de soudure. Six postes de soudure sont installés de part et autre. Des chevalets pneumatiques servent à élever la poutrelle à souder le temps que les soudeurs procèdent. Le pas entre les tasseaux est de 40 cm de centre en centre. Les tasseaux sont soudés sur les chaînes motrices à chaque extrémité. Ce convoyeur mesure 15,8 m de long par 865 mm de large.

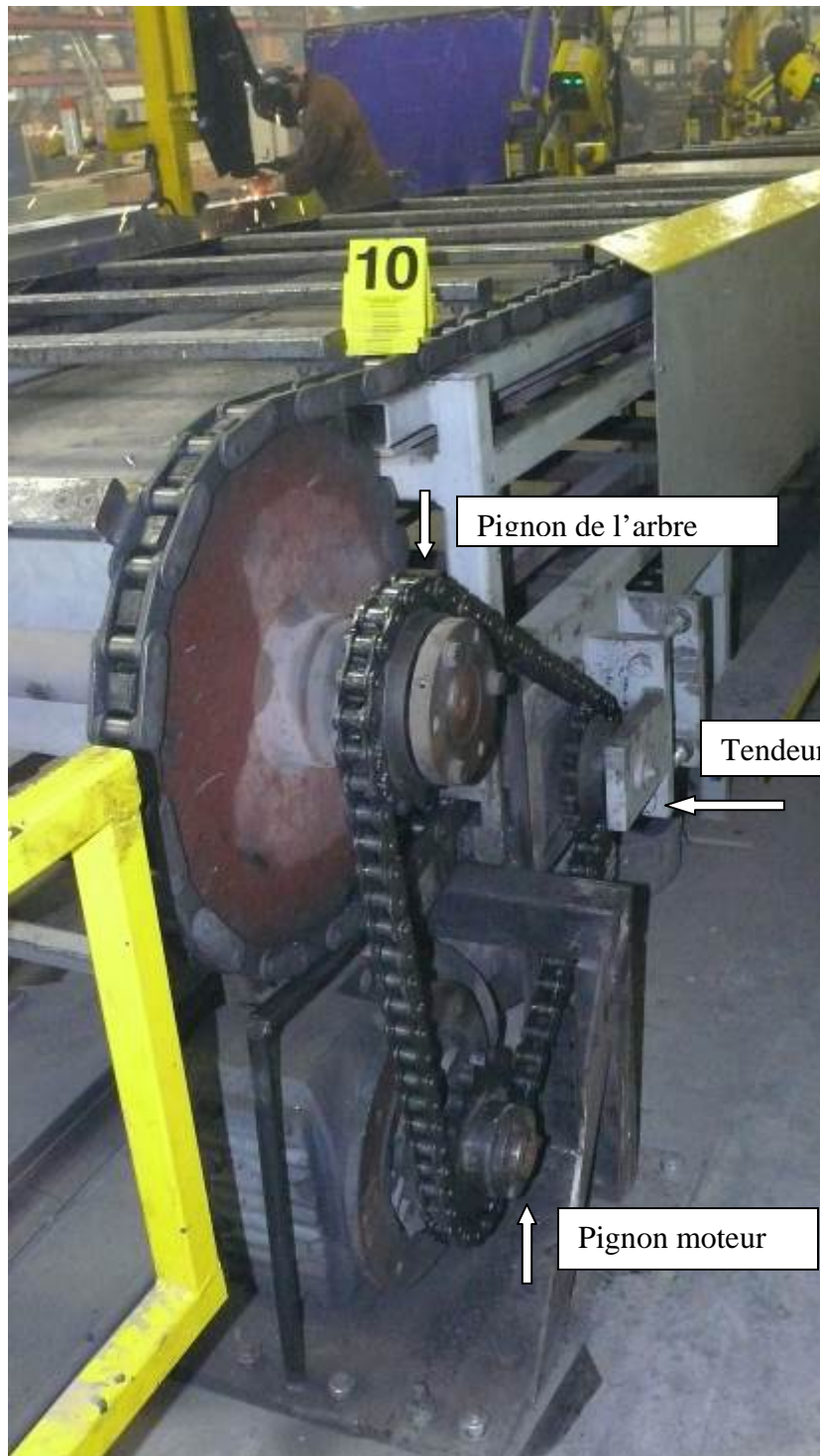


Source CNESST

### **Le convoyeur de soudure**

Le dernier convoyeur est réservé pour l'inspection. Il a la particularité de pouvoir être manœuvré indépendamment des deux autres. Les tasseaux sont espacés de 1,2 m sauf à un endroit où l'espacement entre les deux tasseaux est de 1,6 m de centre en centre.

Les trois convoyeurs fonctionnent habituellement à la même vitesse. Le remplacement récent d'un pignon moteur du convoyeur de soudure, au centre de la chaîne de montage, fait en sorte qu'il fonctionne plus vite que les deux autres. Les vitesses mesurées sont de 1,5 mètre par seconde (m/s) pour le convoyeur de soudure et de 1,2 m/s pour celui de l'inspection.



Source CNESST

**Ensemble des pignons du convoyeur de soudure**



Source CNESST

**Le pignon moteur**



#### 4.2.2 La différence entre les pignons

Le pignon original mesure 16,9 cm de diamètre extérieur et compte 15 dents. Il porte le numéro de catalogue 100Q15H. (Annexe D) Il a été remplacé par un pignon portant le numéro 100Q20H qui mesure 22 cm de diamètre et possède 20 dents. Le pas entre les dents des pignons, de centre en centre, est de 34,2 mm. L'alésage de l'arbre mesure 70 mm.



Source CNESST

**Le pignon 100Q20H compte 20 dents**

#### 4.2.3 La poutrelle

La poutrelle CJ-214 ci-après nommée la poutrelle, mesure 2,713 m de longueur par 400 mm de largeur. Son poids est de 34,47 kilogrammes (kg). Le centre de gravité est situé au centre de la poutrelle soit : 136,5 cm par 86 mm à partir du haut.

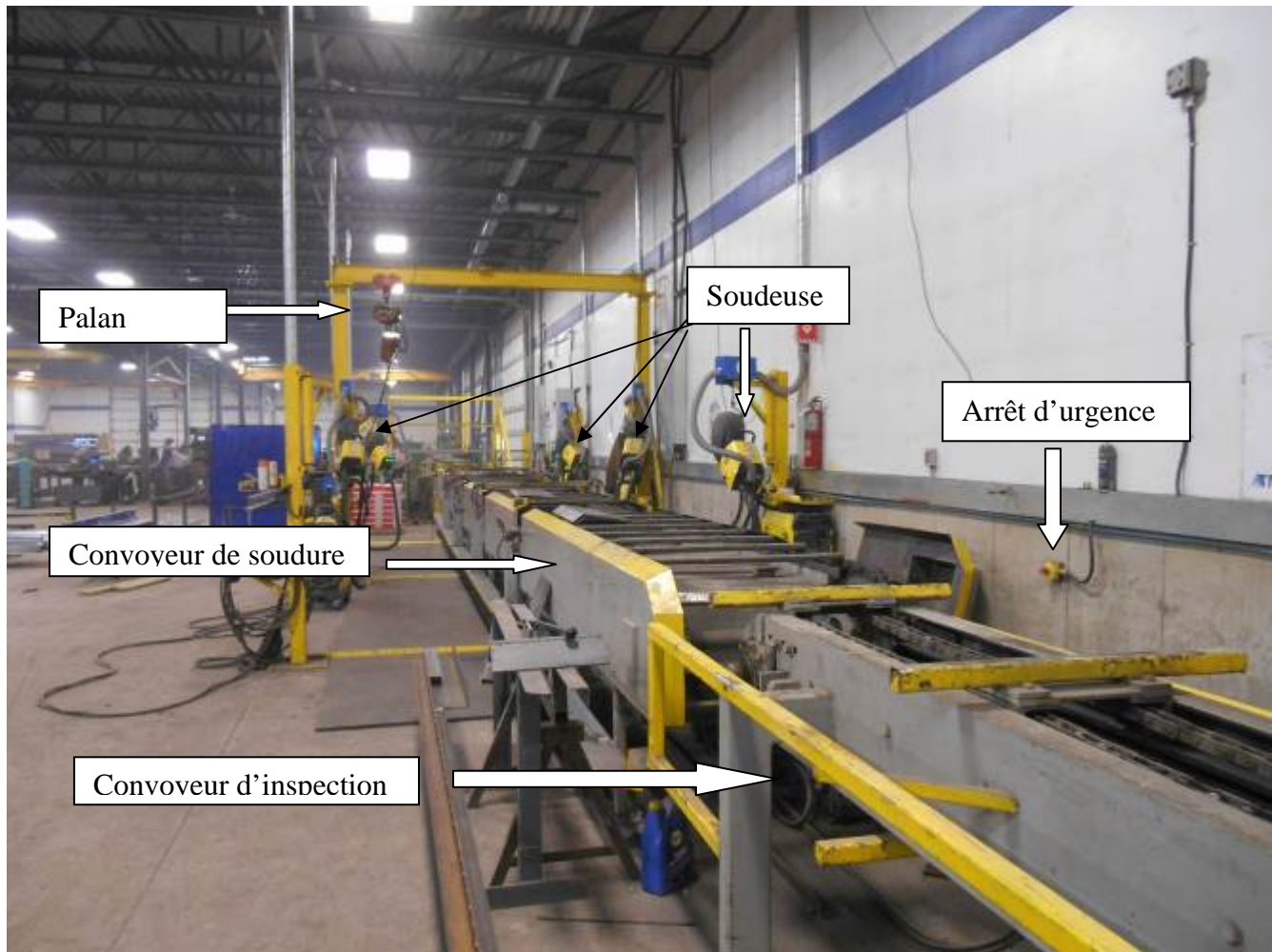


Source CNESST

**La poutelle CJ-214**

#### **4.2.4 Le palan électrique**

Il s'agit d'une structure métallique fixe d'une hauteur de 3,5 m par rapport au plancher. Le palan électrique de 1,5 tonne (t) est coulissant sur la poutre de suspension. Il est situé à la mi-parcours du convoyeur de soudure. Un câble d'acier longe la poutre de suspension et sert à soutenir le fil de l'alimentation électrique.



Source CNESST

**Les convoyeurs de soudure et d'inspection, les postes de soudeurs et le palan.**

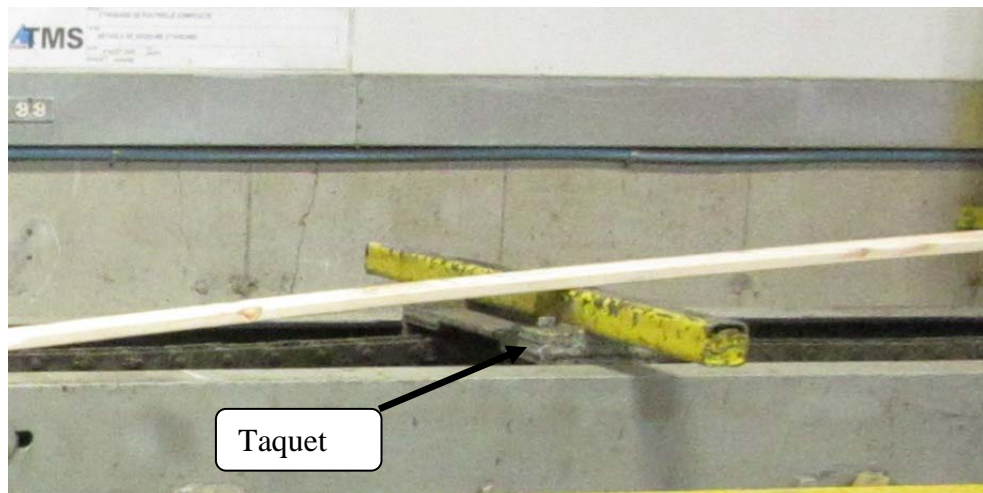
#### 4.2.5 La projection

La projection de la poutelle est le résultat d'un coincement entre deux sections de convoyeurs, soit le convoyeur de soudure (en amont) et le convoyeur d'inspection (en aval). Les convoyeurs sont munis de tasseaux qui ont contribué à la projection.

Les deux convoyeurs ne fonctionnent pas à la même vitesse depuis le remplacement du pignon moteur du convoyeur de soudure. La vitesse de ce dernier est maintenant supérieure à celle du convoyeur d'inspection de 0,3 m/s. À un endroit précis de ce dernier convoyeur, le pas entre les tasseaux est de 1,6 m alors qu'il est de 1,2 m partout ailleurs. C'est un problème pour le passage des petites poutelles parce qu'elles peuvent ne plus être soutenues par deux ou plusieurs tasseaux. D'ailleurs, les soudeurs nous ont informé qu'ils devaient souvent les soutenir allant même jusqu'à les transférer manuellement d'un convoyeur à l'autre.



Une poutrelle qui transfère du convoyeur de soudure à celui d'inspection doit être supportée par au moins deux tasseaux, de part et d'autre du centre de gravité pour rester en équilibre horizontal. Ce n'est pas toujours le cas pour les poutrelles de petite dimension particulièrement pour celles qui font moins de 3 m de longueur. Les tasseaux du convoyeur d'inspection sont surélevés par rapport à la chaîne motrice de la hauteur du taquet de 4 cm. On additionne l'épaisseur du tasseau lui-même, 5 cm, les poutrelles sont donc surélevées de 9 cm par rapport au protecteur de chaîne.



Source CNESST

### Tasseau du convoyeur d'inspection.

On remarque l'angle de la pièce alors qu'elle n'est soutenue que par un seul tasseau. La poutrelle CJ-214 a son centre de gravité situé à 1,365 m de son extrémité. Dès qu'elle ne touche plus aux tasseaux du convoyeur de soudure, elle est alors supportée que par un seul tasseau, elle tombe sur le protecteur de la chaîne motrice du convoyeur de l'inspection. L'angle donné permet à la gravité terrestre de l'entraîner alors vers l'arrière. Elle glisse alors vers l'arbre du convoyeur de soudure.

Les inspecteurs ont procédé à différents essais avec la poutrelle originale alors que les convoyeurs sont en arrêt et cadencés. Des essais ont aussi été effectués avec une barre de styromousse. Lors de la simulation du 23 février 2016, (Annexe F) il a été observé qu'une seule configuration pouvait permettre le coincement et la projection de la poutrelle, c'est-à-dire lorsque la distance entre les deux tasseaux du convoyeur d'inspection est de 1,6 m.

La descente du tasseau suivant sur le convoyeur de soudure simultanément à la remontée du tasseau du convoyeur d'inspection forme une zone de coincement. Le rapport d'expertise interne (Annexe F) indique que l'énergie transmise à la poutrelle pour un temps de contact de 0,15 seconde est de 2238 joules. Cette énergie est suffisante pour propulser la poutrelle à une vitesse de 10,8 m/s sur une distance de plus de 9,4 m avant de toucher le câble d'acier devant la poutre de suspension du palan électrique, à plus de 2,4 m du convoyeur. La poutrelle est ralentie par cet impact mais continue néanmoins son chemin pour frapper le travailleur à la tête.





Source CNESST

**La jonction des convoyeurs de soudure et d'inspection.****4.2.6 L'approvisionnement en pièces de rechange**

Le magasin de pièces et autres fournitures pour la production est situé à l'établissement principal du 126, rue Commerciale à Saint-Henri-de-Lévis. L'usine B, site de l'accident, n'a pas de magasin proprement dit. M. « D » a une réserve de pièces de rechange dans son bureau. Selon Mme « E », M. « D » n'est pas mécanicien et n'a aucune formation en ce sens. M. « D » nous dit avoir choisi une pièce qui « *fittait* » : même alésage et chemin de clef.

**4.2.7 La caméra de surveillance**

Une caméra de surveillance est installée au coin du mur à l'extrémité du convoyeur d'inspection. L'enregistrement nous permet de voir toutes les séquences de l'accident : la projection, l'impact sur le câble longeant la poutre de suspension ainsi que le travailleur frappé par la poutrelle.

#### 4.2.8 Les normes en vigueur

La norme ASME B20.1-2012 Safety Standard for Conveyors and Related Equipment indique à l'article 5.2 les consignes ci-après : (*traduction libre en italique*)

- (a) Maintenance and service shall be performed by qualified and trained personnel.  
*L'entretien et les réparations doivent être effectués par une personne qualifiée et bien entraînée ;*
- (b) Where lack of maintenance and service would cause a hazardous condition, the user shall establish a maintenance program to ensure that conveyor components are maintained in a condition that does not constitute a hazard to personnel.  
*Un programme d'entretien préventif doit être élaboré et mis en application pour prévenir les situations dangereuses.*

La norme *NF EN619+A1 Équipements et systèmes de manutention continue, Prescriptions de sécurité et de CEM pour les équipements de manutention mécanique des charges isolées* dicte à l'article 7.1.4, la notice d'instructions suivante :

- a) *les connaissances et les compétences techniques du personnel de maintenance, particulièrement pour les opérations spécifiques qui nécessitent des compétences particulières. Elle doit indiquer en outre que tous les réglages, mécaniques ou électriques doivent être effectués par les personnes autorisées, conformément à des procédures de travail en toute sécurité ;*
- b) *les conditions dans lesquelles les travaux de maintenance et de réparation des pannes des équipements ou installations de manutention continue peuvent être effectuées, en exigeant, par exemple, que les équipements soient consignés, protégés contre les démarrages intempestifs et que des mesures soient prises contre les mouvements intempestifs ;*
- c) *la liste des pièces soumises à l'usure, ainsi qu'une estimation approximative de la fréquence et des conditions de leur remplacement ;*
- d) *la liste des pièces à vérifier régulièrement ;*
- e) *les conditions d'examen et de mise au rebut des câbles métalliques et des chaînes ;*
- f) *que l'accès aux zones de maintenance et d'inspection ne doit pas être obstrué.*

### 4.3 Énoncés et analyse des causes

#### 4.3.1 La conception du convoyeur d'inspection présente une irrégularité dans les pas entre les tasseaux.

Le pas régulier entre les tasseaux de ce convoyeur d'inspection est de 1,2 m sauf à un endroit où il est de 1,6 m. L'employeur nous informe qu'il en a toujours été ainsi depuis son acquisition et son installation. Ce convoyeur est en fin de course de la ligne Vescom.

Si la plupart des poutrelles y passent sans encombre, il en va autrement pour les poutrelles de petites dimensions. Les travailleurs nous ont informés qu'ils devaient régulièrement les faire passer manuellement du convoyeur de soudure à celui d'inspection. Le problème vient du support : si le centre de gravité n'est plus supporté par au moins deux tasseaux, la poutrelle s'affaisse.

Depuis le changement du pignon moteur du convoyeur de soudure, la vitesse de celui-ci est augmentée à 1,5 m/s. Le convoyeur d'inspection fonctionne toujours à 1,2 m/s. Le ralentissement subi par la poutrelle, à l'endroit précis du convoyeur d'inspection, là où le pas est de 1.6 m fait en sorte que la poutrelle CJ-214 n'est soutenue qu'à une extrémité. Le centre de gravité de la poutrelle CJ-214, d'une longueur de 2,73 m et situé au milieu de celle-ci. Si le centre de gravité n'est pas soutenu, l'arrière de la poutrelle tombe sur la chaîne centrale du convoyeur d'inspection. Les tasseaux de ce convoyeur sont à 9 cm au-dessus de la chaîne. Elle glisse donc vers l'arrière en suivant l'angle de l'inclinaison, pénètre dans l'ouverture entre les tasseaux du convoyeur de soudure qui a un pas de 40 cm. Elle se coince entre le tasseau descendant du convoyeur de soudure et celle du convoyeur d'inspection qui remonte. La conséquence est une projection d'une énergie totale transmise de 2238 joules. Le coincement entre ces tasseaux a un effet de catapulte qui projette la poutrelle dans les airs. Elle exerce une rotation autour de son centre de gravité. Elle est projetée sur une distance de 9,3 m pour atteindre une hauteur de 3,5 m à partir du sol.

La projection de cette poutrelle est ralentie lorsqu'elle frappe le câble d'acier longeant la poutre de suspension du palan électrique. Le palan est situé en plein centre du convoyeur de soudure. La caméra de surveillance nous permet de voir que la poutrelle frappe le câble et termine sa course en frappant la tête du travailleur qui attend debout face à son poste de travail. Il est frappé derrière la tête.

Des essais sont réalisés par les inspecteurs alors que l'équipement est cadenassé. On effectue le convoyage manuellement de la poutrelle. On place la poutrelle dans une position anglée pour visualiser le coincement. Ensuite, à l'aide d'un matériau souple, une barre de styromousse (polystyrène), on répète l'événement en marche et en temps réel. La démonstration est concluante : nous avons constaté le ralentissement de la pièce lors du passage du convoyeur de soudure à celui d'inspection ; l'affaissement et le glissement vers l'arrière. La pièce de styromousse est coincée entre les tasseaux de chacun des convoyeurs. Elle décrit alors un arc provoqué par la montée du tasseau du convoyeur d'inspection et la descente d'un tasseau du convoyeur de soudure. Si cette pièce de

styromousse avait eu une masse plus importante et une rigidité suffisante, nul doute qu'elle aurait été projetée tout comme la poutrelle CJ-214.

La conception du convoyeur d'inspection présente une irrégularité dans les pas entre les tasseaux.

Cette cause est retenue.

#### **4.3.2 Le remplacement des pièces lors des travaux d'entretien est fait de façon improvisée.**

L'établissement n'a pas de programme d'entretien préventif. Le remplacement du pignon moteur du convoyeur de soudure a été fait sans une vérification ou une validation de la concordance avec le pignon d'origine. Le magasin de pièces n'est pas situé dans le même établissement que celui où s'est produit l'accident.

Le pignon moteur du convoyeur de soudure a été remplacé trois semaines avant l'événement. Ce pignon de remplacement a un diamètre plus important que l'original. Ceci a un impact sur la vitesse du convoyeur de soudure qui passe de 1,2 m/s à 1,5 m/s. Ce faisant, le convoyeur suivant, le convoyeur d'inspection, fonctionne toujours à 1,2 m/s parce que c'est la vitesse originale de tous les convoyeurs de la ligne Vescom. Les poutrelles qui sont à la jonction des convoyeurs de soudure et d'inspection sont donc ralenties de 0,3 m/s.

Le contremaître nous dit que le pignon vient de sa réserve de pièces dans son bureau. Le pignon original a 15 dents et mesure 17 cm de diamètre et celui de remplacement a 20 dents pour 22 cm de diamètre. Seuls l'alésage et le chemin de clef sont de la même dimension.

L'employeur n'a pas identifié le danger lié à la vitesse asynchrone des convoyeurs en série.

Le remplacement des pièces lors des travaux d'entretien est fait de façon improvisée.

Cette cause est retenue.

**SECTION 5****5 CONCLUSION****5.1 Causes de l'accident**

L'enquête a permis de déterminer deux causes :

- La conception du convoyeur d'inspection présente une irrégularité dans les pas entre les tasseaux.
- Le remplacement des pièces lors des travaux d'entretien est fait de façon improvisée.

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

À la suite de cet accident, les inspecteurs ont émis une décision interdisant l'utilisation des convoyeurs de la ligne Vescom et y ont apposé le scellé E38127. Cette décision est signifiée au rapport RAP9090122.

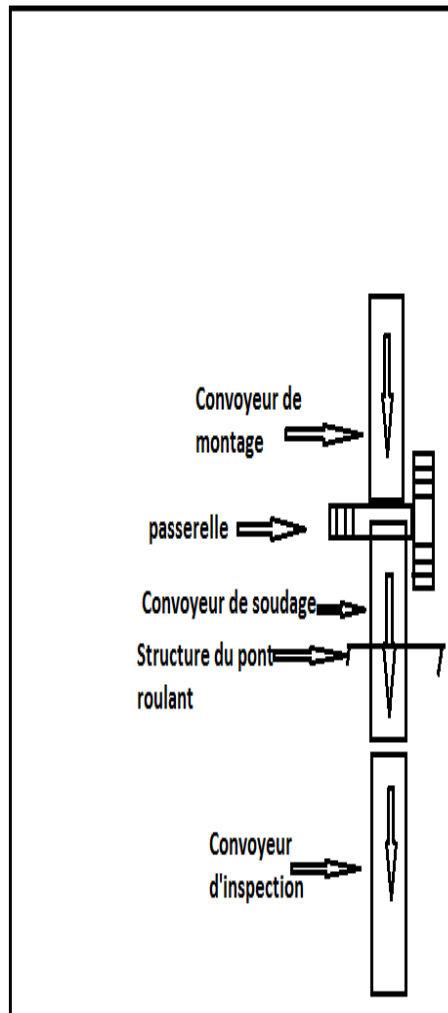
Les interventions réalisées les 15, 23 février et 23 mars, consignées aux rapports RAP0973866, RAP0975263 et RAP0978732 complètent ce dossier. Les inspecteurs ont exigé d'apporter des corrections sur ce convoyeur ainsi qu'une attestation d'un ingénieur pour certifier la sécurité. L'employeur doit corriger les dangers associés aux angles rentrants et aux zones de coincement ; corriger les pas entre les tasseaux des différents convoyeurs et harmoniser les vitesses respectives de chacun. Ils ont recueilli toutes les mesures nécessaires afin de comprendre les phénomènes mécaniques qui ont contribué à cet accident. Une expertise a été réalisée par les experts de la CNESST. (Annexe F)

**ANNEXE A****ACCIDENTÉ**

<b>Nom, prénom</b>	<b>: M. « B »</b>
Sexe	: masculin
Âge	: « ..... » ans
Fonction habituelle	: « ..... »
Fonction lors de l'accident	: soudeur
Expérience dans cette fonction	: « ..... » ans
Ancienneté chez l'employeur	: « ..... »

**ANNEXE B**

Croquis



Lieu de travail

**Source CNESST**

**ANNEXE C**

Devis



LISTE D'EXPÉDITION "POUTRELLES ACIER COMPOSITE"							
Technicien :			No Projet:		000518		
Nom du projet:							
Niveau:							
Phase:			Date:		2015/11/18		
Qté	Marque	Description	Longueur (mm)	Longueur (pi-po")	Hauteur (mm)	Poids / poutrelle	Poids total
<b>Poutrelles d'acier :</b>							
42	CJ-201		7139	23' 5 1/16"	400	229	9626
3	CJ-201A		7142	23' 5 3/16"	400	229	688
3	CJ-201B		7136	23' 4 15/16"	400	229	687
3	CJ-203		7734	25' 4 1/2"	400	278	835
19	CJ-204		2621	8' 7 3/16"	200	68	1289
3	CJ-204A		2624	8' 7 5/16"	200	68	204
5	CJ-204B		2618	8' 7 1/16"	200	68	339
<b>Total=78</b>						<b>Poids total poutrelles</b>	<b>13669 lbs</b>
<b>Autres :</b>							
20		Fermeur en L 1 1/2" x 1 1/2" pour pontage	3048	10'-0"			

Signature du chargement : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_





LISTE D'EXPÉDITION "POUTRELLES ACIER COMPOSITE"							
Technicien :				No Projet :	000341		
Niveau :	2						
Phase :				Date :	2016/02/03		
Qté	Marque	Description	Longueur (mm)	Longueur (pi'-po")	Hauteur (mm)	Poids / poutrelle	Poids total
<b>Poutrelles d'acier :</b>							
2	CJ-201		6229	20' 5 1/4"	400	199	398
1	CJ-202		6914	22' 8 1/4"	400	229	229
3	CJ-203		7360	24' 1 3/4"	400	251	752
32	CJ-204		8569	28' 1 3/8"	400	424	13568
5	CJ-205		5813	19' 0 7/8"	400	182	910
4	CJ-206		6062	19' 10 5/8"	400	197	788
1	CJ-207		7532	24' 8 9/16"	400	300	300
1	CJ-208		8569	28' 1 3/8"	400	419	419
4	CJ-209		5813	19' 0 7/8"	400	182	728
3	CJ-210		6405	21' 0 3/16"	400	209	628
2	CJ-211		5690	18' 7 5/8"	400	177	353
2	CJ-212		3844	12' 7 3/8"	400	107	213
1	CJ-213		3419	11' 2 5/8"	400	96	96
3	CJ-214		2713	8' 10 13/16"	400	76	228
2	CJ-215		8084	26' 6 1/4"	400	337	674
56	CJ-216		8084	26' 6 1/4"	400	352	19737
2	CJ-217		4393	14' 4 15/16"	400	123	246
3	CJ-218		3668	12' 0 7/16"	400	102	307
1	CJ-219		8569	28' 1 3/8"	400	312	312
1	CJ-220		8177	26' 9 15/16"	400	297	297
<b>Total=120</b>						<b>Poids total poutrelles</b>	<b>41182 lbs</b>
<b>Autres :</b>							
120		Femur en L 1 1/2" x 1 1/2" pour pontage	3048	10'-0"			

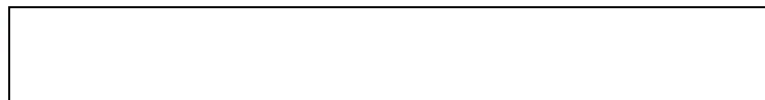
Signature du chargement : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_



## Dessins d'atelier Poutrelle composite

# Projet	Nom du projet	Niveau	Date	Longueur totale	Feuille		
000341		2	03-Feb-2016	6229	1		
Marque	Quantité	Profondeur	Panneaux	Special	Top Panels	c/c des noeuds	
201	2	400	600	N/A	N/A	5888	
Membresures							
Marque	Quantité	Cornière (impérial)	Longueur (mm)	Grade (mPa)	Special		
201TA	2	2 1/2 * 2 1/2 * 3/16	6229	350	Clinch		
201TB	2	2 * 2 * 1/8	6229	350			
201BA	2	1 1/2 * 1 1/2 * 3/8	5471	350			
201BB	2	1 1/2 * 1 1/2 * 3/8	5471	350			
Ames, raidisseurs et accessoires							
Type	Marque	Quantité	Panneaux	Barre	Longueur (mm)	Soudure	Grade (mPa)
W1	END-201	4	N/A	3/4	305	2x6-40	300
W2	EW-201	4	1	7/8		2x6-40	300
W3	IW-201	2	6	3/4		2x5-40	300
SRR-TE	ST-201TE	2	N/A	PL 2 * 1/4	700	Détail x	300
SRR-OE	ST-201OE	2	N/A	PL 2 * 1/4	700	Détail x	300

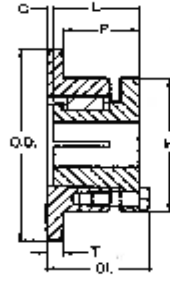


ANNEXE D

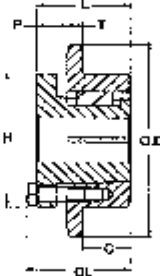
Catalogue des pignons

**No. 100**  
**1 1/4" Pitch**

**MST®**  
**Sprockets**

TYPE 4



TYPE 5

Single - MST® Sprockets

No. Teeth	Catalogue Number	Back-Ing	Number		Type	Max. Size	Dimensions					Weight Lbs. (Kg.)		
			Outside Dia.	Pitch Dia.			O.I.	L	C	H	P	Thickness	Min. Req.	Max. Qty.
11	100P14H	DI	5.110	4.407	4	1-3/4	2-9/16	1-15/16	-	3	1-1/4	0.882	4.1	2.6
12	100P16H	DI	5.474	4.803	4	2-1/16	2-27/32	2-1/2	1/16	4-1/8	1-7/8	0.882	7.0	3.6
13	100P18H	DI	5.838	5.228	4	2-1/16	2-27/32	2-1/2	1/16	4-1/8	1-7/8	0.882	7.8	4.5
14	100P14H	DI	6.230	5.517	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	5.4	5.6
15	100P16H	DI	6.630	5.919	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	10.1	8.5
16	100P18H	DI	7.030	6.267	4	2-1/16	2-23/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	10.8	7.4
17	100P17H	DI	7.430	6.808	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	11.7	8.7
18	100P18H	DI	7.830	7.189	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	12.5	8.9
19	100P18H	DI	8.240	7.586	4	2-1/16	2-23/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	13.8	9.6
20	100P20H	DI	8.640	7.984	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	14.4	10.9
21	100P21H	DI	9.050	8.387	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	15.3	11.8
22	100P22H	DI	9.440	8.783	4	2-1/16	2-23/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	16.8	12.6
23	100P22H	DI	9.840	9.189	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	17.3	13.8
24	100P24H	DI	10.250	9.577	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	18.9	15.4
24	100P24H	RI	10.250	9.577	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	23.1	15.6
25	100P25H	DI	10.650	9.973	4	2-1/16	2-23/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	18.8	18.0
26	100P25H	RI	10.650	9.973	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	24.5	17.0
28	100P28H	DI	11.050	10.370	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	20.6	17.3
28	100P28H	RI	11.050	10.370	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	25.4	17.9
27	100P27H	DI	11.440	10.767	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	21.7	18.2
27	100P27H	RI	11.440	10.767	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	27.1	19.6
28	100P28H	DI	11.840	11.164	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	23.1	18.6
28	100P28H	RI	11.840	11.164	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	28.8	21.0
30	100P30H	DI	12.240	11.568	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	23.9	22.1
30	100P30H	RI	12.240	11.568	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	30.0	24.2
32	100P32	DI	12.640	11.973	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	24.8	25.3
32	100P32	RI	12.640	11.973	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	34.0	28.6
38	100P38	DI	13.440	12.753	4	2-1/16	2-25/32	2-1/2	-	4-1/8	1-13/16	0.882	33.7	29.2
38	100P38	RI	13.440	12.753	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	37.2	29.8
38	100P38	RI	13.840	13.152	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	40.5	30.0
40	100P40	RI	14.240	13.552	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	46.4	40.8
42	100P42	RI	14.630	13.977	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	51.8	44.3
45	100P45	RI	15.030	14.393	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	58.0	50.3
48	100P48	RI	15.420	14.812	4	3-3/4	3-5/8	2-7/8	-	5-3/8	2-3/16	0.882	65.0	57.5
54	100P54	RI	22.210	21.488	5	3-3/4	3-5/8	2-7/8	1-5/16	6-3/8	7/8	0.882	76.5	68.0
63	100P60	RI	24.530	23.394	5	3-3/4	3-5/8	2-7/8	1-5/16	6-3/8	7/8	0.882	81.5	84.0
70	100P70	RI	27.180	27.402	5	3-3/4	3-5/8	2-7/8	1-5/16	6-3/8	7/8	0.882	111.5	104.0
72	100P72	RI	27.580	28.857	5	3-3/4	3-5/8	2-7/8	1-5/16	6-3/8	7/8	0.882	118.6	106.0
80	100P80	RI	32.570	31.388	5	3-3/4	3-5/8	2-7/8	1-5/16	6-3/8	7/8	0.882	142.5	136.0
84	100P84	RI	34.160	33.490	5	3-3/4	3-5/8	2-7/8	1-5/16	6-3/8	7/8	0.882	145.5	139.0

*an casine*

Sprockets with 1/4" pitch have hardened teeth.

**ANNEXE E**

Liste des personnes et témoins rencontrés

**ANNEXE F**

Rapport d'expertise interne



**RÉSEAU D'EXPERTISE**  
EN PRÉVENTION-INSPECTION

**RAPPORT D'EXPERTISE**

*Calcul de l'énergie totale et de la vitesse  
d'une poutrelle d'acier projetée par des  
tasseaux à l'intersection de deux  
convoyeurs*

**Rapport présenté à**

***Rock Bussière, inspecteur Chaudière-Appalaches  
Yannick Boutin, inspecteur Chaudière-Appalaches***

**Préparé par**

***Sophie-Emmanuelle Robert ing.,  
Conseillère experte, DGPI***

***Le 22 juin 2016***

## Table des matières

---

### SOMMAIRE

1. **Mise en contexte**
2. **Description du mandat**
3. **Méthodologie**
4. **Informations recueillies**
5. **Analyse**
6. **Conclusion**
7. **Références**

## 1. Mise en contexte

Le 12 février 2016, un travailleur est gravement blessé alors qu'il est frappé à la tête par une poutrelle en acier. Celle-ci s'est coincée entre les tasseaux de deux convoyeurs pour être projetée sur une distance de plus de 12 mètres.

## 2. Description du mandat

Le mandat consiste à déterminer l'énergie totale transmise à la poutrelle par les convoyeurs ainsi que la vitesse de projection de cette dernière.

## 3. Méthodologie

Une simulation du coincement de la poutrelle à l'intersection des deux convoyeurs a été effectuée le 23 février 2016. À des fins de sécurité, une poutrelle en styromousse a été utilisée pour la simulation. Plusieurs essais, à partir de différentes positions, ont été effectués.

## 4. Informations recueillies

L'accident est survenu sur une ligne de montage de poutrelles de toit. La projection de la poutrelle a été provoquée par un coincement dans la zone de transfert entre deux convoyeurs, soit le convoyeur de soudure, en amont, et le convoyeur d'inspection, en aval (voir photo n° 1).

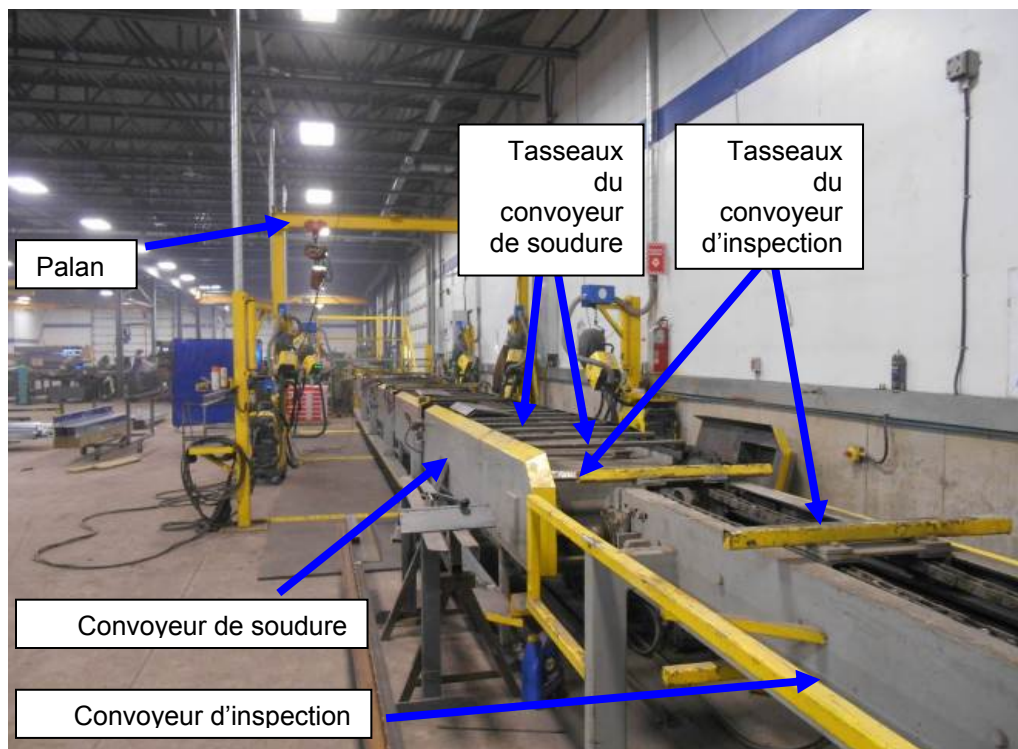


Photo n° 1 : Convoyeurs et tasseaux  
Source : CNESST



## Les convoyeurs :

Les convoyeurs sont munis de tasseaux qui ont contribué à projeter la poutrelle sur un palan situé en amont de la ligne de montage (voir photo n° 1). Les tasseaux du convoyeur d'inspection sont également espacés de 1,2 mètre sauf pour deux tasseaux qui sont espacés de 1,6 mètre l'un de l'autre. Les tasseaux du convoyeur de soudure sont tous espacés de 40 cm.

Les caractéristiques des convoyeurs sont les suivantes :

Tableau 1 : Caractéristiques des convoyeurs :

Caractéristiques	Convoyeur de soudure	Convoyeur d'inspection
Longueur	15,7 m	15,8 m
Vitesse	1,5 m/s	1,2 m/s
Puissance nominale du moteur	10 hp	10 hp

La scène de l'accident est visible sur la vidéo d'une caméra de surveillance de l'établissement (voir photo n° 2).

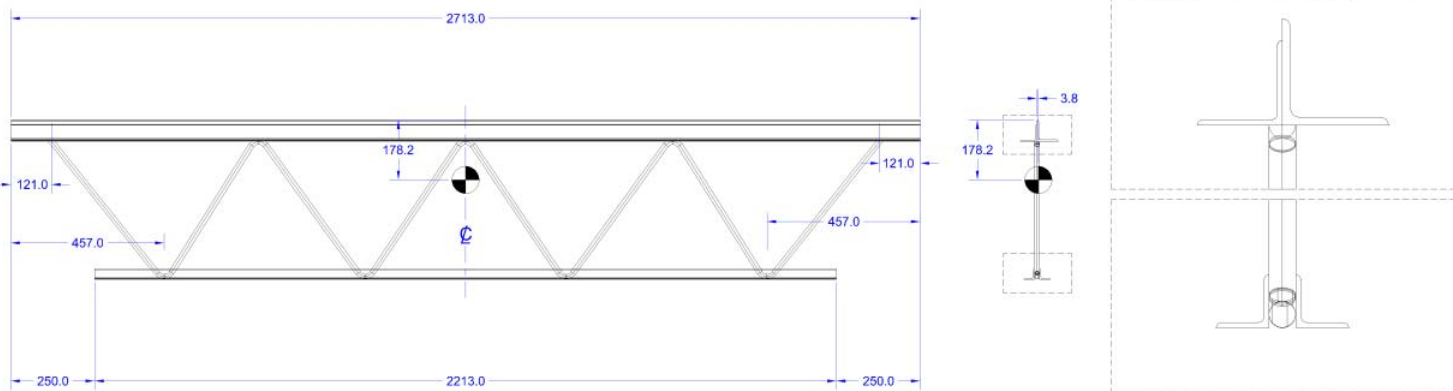


Poutrelle  
projetée à la  
verticale

Photo n° 2 : Extrait vidéo de la caméra de surveillance  
Source : CNESST

**La poutrelle :**

Il s'agit d'une poutrelle en acier dont la masse est de 35 kg.



Dessin n° 1 : Poutrelle (mesures en mm)

Source : CNESST

**Simulation du 23 février 2016 :**

Pendant la simulation, il a été possible de constater qu'une seule configuration permettait le coincement et la projection de la poutrelle (voir photos n° 3 et 4).

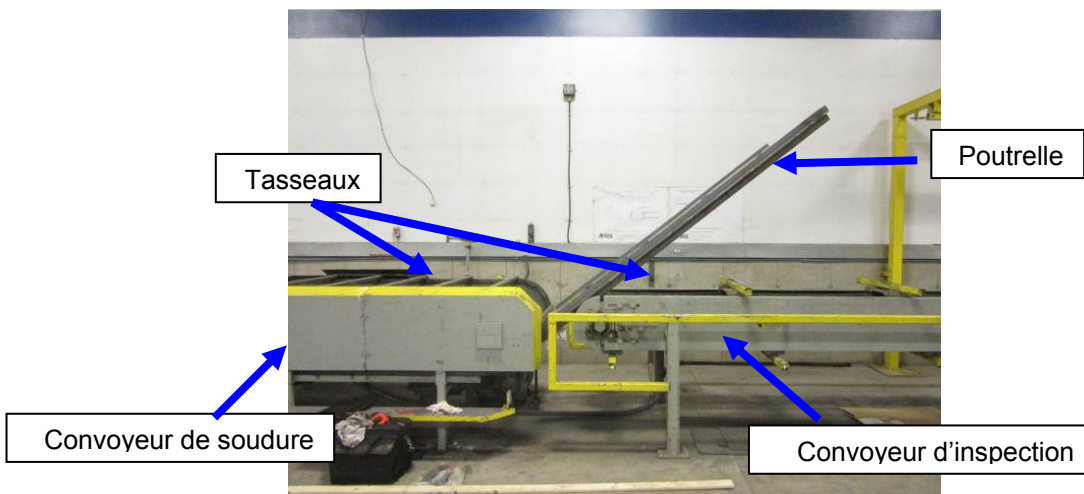


Photo n° 3 : Poutrelle en appui sur les tasseaux du convoyeur de soudure et du convoyeur d'inspection

Source : CNESST



Photo n° 4 : Zone de transfert entre le convoyeur de soudure et le convoyeur d'inspection

Source : CNESST

Il a été observé que la poutrelle était entraînée dans la zone de transfert lorsqu'elle était appuyée sur un des deux tasseaux du convoyeur d'inspection qui sont séparés par d'une distance de 1,6 mètre. Ceci, en raison de la position intrinsèque du centre de gravité de la poutrelle. Lorsque cette dernière était positionnée selon les autres configurations, c'est-à-dire appuyée sur les tasseaux séparés de 1,2 mètre, elle n'était pas entraînée dans la zone de transfert, mais plutôt remontée à l'horizontale par le tasseau suivant.

La distance de 1,6 mètre entre les tasseaux est trop grande pour supporter la poutrelle en entier. Dans cette position, seul le devant de la poutrelle est supporté par un tasseau, l'arrière n'étant pas supporté, il retombe dans l'espace entre les deux convoyeurs (voir photos n° 5, 6 et dessin n° 2).

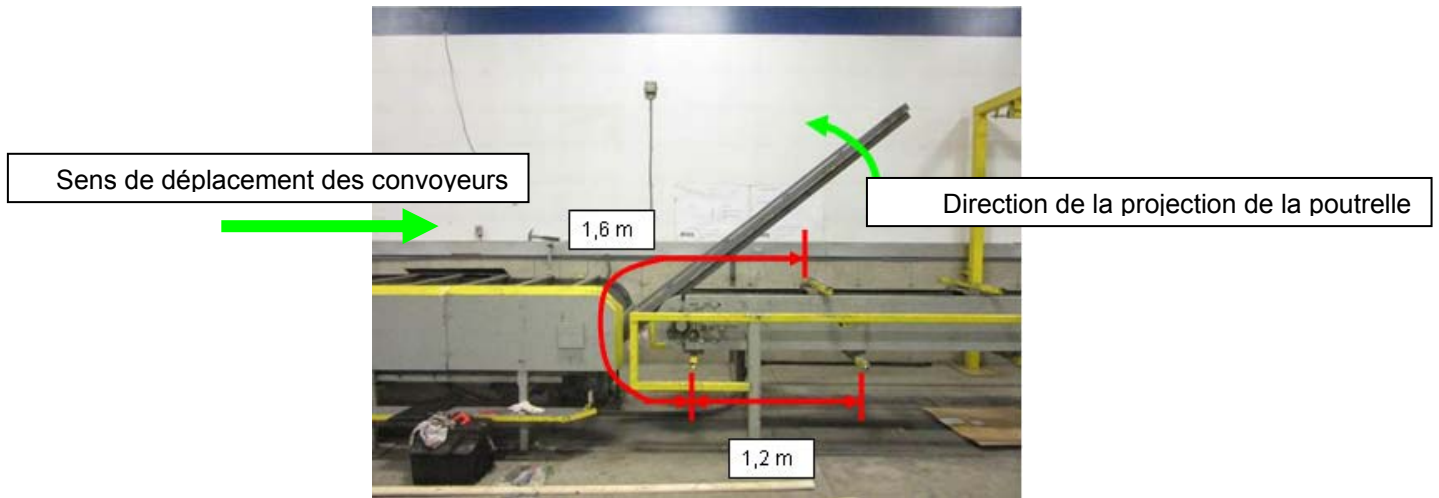


Photo n° 5 : Coincement de la poutelle  
Source : CNESST

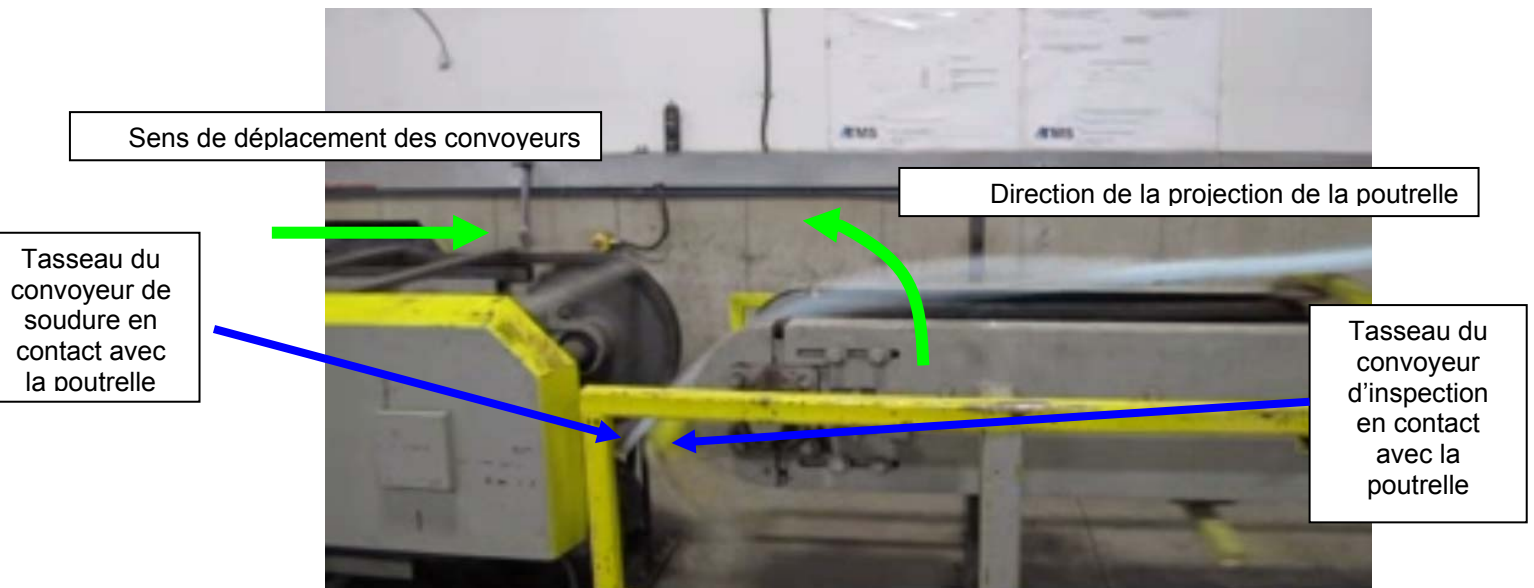
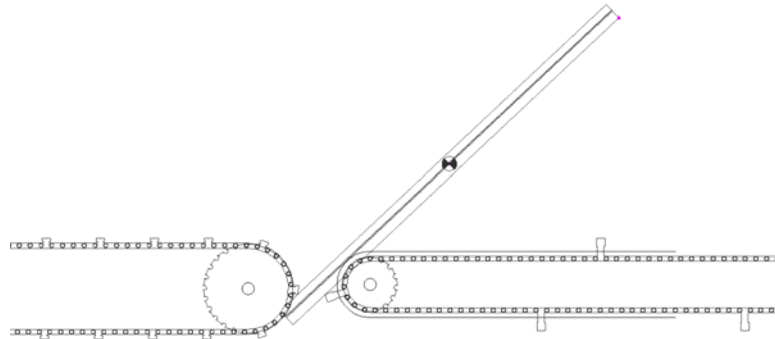


Photo n° 6 : Extrait de la vidéo de simulation de la projection à l'aide d'une poutelle en styromousse  
Source : CNESST



Dessin n° 2 : Poutrelle entraînée par les deux tasseaux

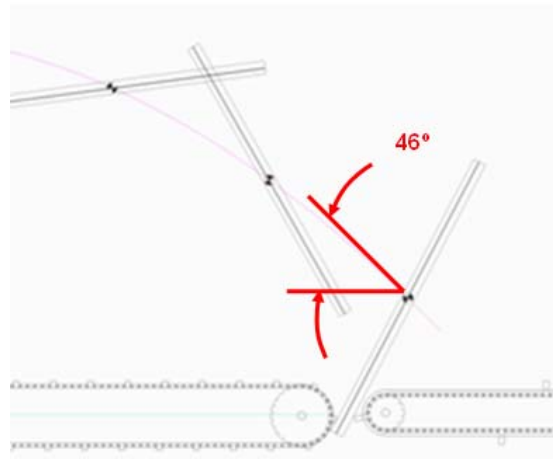
Source : CNESST

## 5. Analyse

Afin de simplifier les calculs, les trois hypothèses suivantes sont émises :

1. L'énergie est transférée également à la poutrelle par les deux convoyeurs en mouvement, simultanément;
2. Il n'y a pas de perte d'énergie par dégagement de chaleur, frottement, glissement ou déformation entre les différents organes de transmission de puissance à partir du moteur jusqu'aux tasseaux des convoyeurs en contact avec la poutrelle;
3. La poutrelle est représentée comme une tige pleine dont le centre de gravité est situé au milieu de la tige.

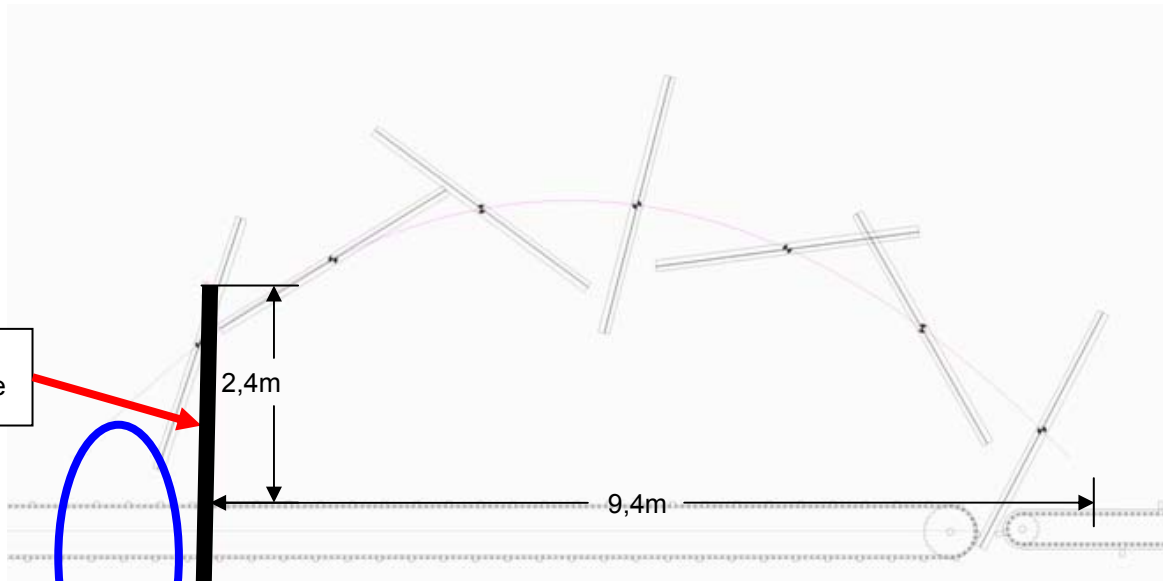
L'angle de départ de la projection est d'environ 46° (voir dessin n° 3). Cet angle a été déterminé par une simulation à l'aide du logiciel Autocad. Un angle plus élevé empêche la poutrelle d'atteindre le palan (situé à une distance de 9,4 mètres en x) et un angle plus faible ne permet pas à la poutrelle de frapper la poutre de suspension du palan (situé à une hauteur de 2,4 mètres en y).



Dessin n° 3 : Angle de départ de la projection

Source : CNESST

Si on considère le déplacement de la poutrelle comme étant celui d'un projectile, la trajectoire empruntée par le centre de gravité de cette dernière a la forme d'une parabole telle qu'illustrée sur le dessin n° 4. La séquence vidéo montre que la poutrelle a d'abord été projetée par les convoyeurs, puis a frappé la poutre de suspension d'un palan, qui l'a déviée de sa trajectoire, pour terminer sa course en direction du travailleur situé au poste de soudage.



Dessin n° 4 : Trajectoire probable de la poutrelle

Source : CNESST

**Calcul de la puissance totale transmise à la poutrelle :**

$P_t$  = Puissance totale transmise à la poutrelle

$P_{cs}$  = Puissance transmise par le moteur du convoyeur de soudure = 10hp

$P_{ci}$  = Puissance transmise par le moteur du convoyeur d'inspection = 10hp

$$P_t = P_{cs} + P_{ci} = 20hp = 14914J / s$$

En supposant un système sans perte d'énergie, les deux convoyeurs pourraient fournir jusqu'à 14914 Joules en une seconde.

Après avoir effectué une simulation à l'aide du logiciel Autocad, on obtient les approximations suivantes :

- La vitesse de départ du centre de gravité de la poutrelle est de l'ordre de 10,8m/s;
- la poutrelle effectue une rotation complète autour de son centre de gravité avant de heurter la poutre de suspension du palan (tel qu'illustré sur le dessin n° 4 );
- le temps écoulé entre le départ et la collision avec le palan est d'environ 1,5 s;
- le moment d'inertie de la poutrelle est d'environ 22 kg/m<sup>2</sup>.

**Calcul de l'énergie totale transmise par les convoyeurs :**

Au point de départ de la trajectoire, on considère l'énergie potentielle du projectile comme étant zéro, ainsi l'énergie totale transmise à la poutrelle au départ de la projection s'exprime ainsi :

$$E_t = E_{tr} + E_r$$

$$E_t = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Iw^2$$

Où :

$E_t$  = Énergie totale transmise à la poutrelle

$E_{tr}$  = Énergie de translation

$E_r$  = Énergie de rotation

m = masse de la poutrelle = 35 kg

v = vitesse du centre de gravité de la poutrelle = 10,8 m/s

I = 22 kg/m<sup>2</sup>

w = vitesse angulaire de la poutrelle en rad/s



Tel que mentionné ci-dessus, on considère que la poutrelle effectue une rotation complète, avant de heurter le palan, en 1,5 seconde. La vitesse angulaire peut être déterminée ainsi :

$$w = 2\pi \text{ rad} / 1,5 \text{ s} = 4,2 \text{ rad/s}$$

Ainsi, l'énergie totale:

$$E_t = 2235 \text{ J}$$

### Calcul du temps de contact $\Delta t$ de la poutrelle avec les tasseaux des convoyeurs :

$$E_t = P_t \times \Delta t = 2235 \text{ J}$$

$$\Delta t = \frac{E_t}{P_t} = 0,15 \text{ s}$$

### Confirmation de la trajectoire probable empruntée par la poutrelle :

Afin de valider la précision des résultats obtenus, plusieurs itérations de calculs ont été réalisées. Or, lorsque l'on diminue ou augmente légèrement le temps de contact de la poutrelle avec les tasseaux des convoyeurs (soit de l'ordre de  $\pm 0,01$  seconde), l'angle de départ ainsi que la trajectoire empruntée par la poutrelle s'avèrent différents. Avec une valeur supérieure de temps de contact, la poutrelle passe par-dessus le palan. Et, avec une valeur inférieure de temps de contact, la poutrelle n'atteint pas le palan.

## 6. Conclusion

Il a été démontré que l'énergie totale transmise à la poutrelle par les convoyeurs était de l'ordre 2238J. Cette énergie était suffisante pour projeter la poutrelle à une vitesse de translation de 10,8 m/s et lui fournir une vitesse angulaire de 4,2 rad/s.

Les paramètres calculés de cette trajectoire sont ceux qui se rapprochent le plus de la trajectoire réelle suivie lors de l'accident. En effet, une variation de l'ordre de  $\pm 0,01$  seconde du temps de contact de la poutrelle avec les tasseaux aurait généré une trajectoire différente de celle survenue lors de l'accident.

## 7. Références

MERIAM, J.L., et L.G. KRAIGE. *Engineering mechanics. Volume 2, dynamics*, 3rd edition, New York, John Wiley & Sons, 1992, xviii, 419 p.



**ANNEXE G**

## Références bibliographiques

Norme NF EN 619+A1 Décembre 2010, Équipements et systèmes de manutention continue, prescriptions de sécurité et de CEM pour les équipements de manutention mécanique des charges isolées.

Norme ASME B20.1-2012 Safety Standard for Conveyors and Related Equipment.

Loi sur la santé et la sécurité du travail L.R.Q. Chapitre S-2.1 : Dernière modification : 3 juin 2015, Québec, Éditeur officiel, 2015.

Règlement sur la santé et la sécurité du travail, S-2.1., r.19.01 : dernière modification : 14 janvier 2016, Québec, Éditeur officiel, 2016.