

EN004134**RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident mortel survenu à un contremaître
le 28 juin 2016 à l'entreprise Acier Sélect inc.
située au 675, rue Trotter à Saint-Jean-sur-Richelieu**

Direction régionale de Saint-Jean-sur-Richelieu

Inspecteurs :

Jasmin Rondeau

Marilyn Boulianne

Date du rapport : 8 mars 2017

Rapport distribué à :

- Monsieur [**A**], [...] d'Acier Sélect inc.
- Monsieur [**B**], [...] d'Acier Sélect inc.
- Monsieur André-H Dandavino, coroner
- Madame Julie Loslier, directrice de la santé publique, Montérégie

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>3</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	4
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	4
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>5</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	5
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>7</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	7
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	8
4.2.1	OBSERVATIONS	8
4.2.2	DESCRIPTION DU POSTE DE TRAVAIL 3A	9
4.2.3	PASSERELLE MÉTALLIQUE	9
4.2.4	TRÉTEAUX MÉTALLIQUES	11
4.2.5	MACHINE À SOUDER	11
4.2.6	POINTS DE SOUDURE	12
4.2.7	PONT ROULANT	12
4.2.8	EXPERTISE	13
4.2.9	RÉGLEMENTATION	15
4.3	ÉNONCÉ ET ANALYSE DE LA CAUSE	15
4.3.1	LA PASSERELLE MAINTENUE À LA VERTICALE BASCULE SUR LE CONTREMAÎTRE QUI SE TROUVE DANS LA TRAJECTOIRE DE CHUTE DE LA PASSERELLE.	15
4.3.2	LA MÉTHODE DE TRAVAIL QUI CONSISTE À UTILISER DES TRÉTEAUX MÉTALLIQUES RELIÉS À LA PASSERELLE PAR DES POINTS DE SOUDURE POUR SON MAINTIEN EN POSITION VERTICALE EXPOSE LE CONTREMAÎTRE À UN RENVERSEMENT DE LA PASSERELLE MÉTALLIQUE.	16
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>17</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	17
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	17

ANNEXES

ANNEXE A :	Accidenté	19
ANNEXE B :	Croquis	21
ANNEXE C :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	25
ANNEXE D :	Rapport d'expertise	27
ANNEXE E :	Références bibliographiques	51

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

Le 28 juin 2016, vers 13 h 50, une manœuvre de gréage est effectuée par un travailleur et un contremaître en vue de retourner une passerelle métallique. La passerelle bascule sur le contremaître qui opère le pont roulant. Le contremaître se retrouve alors coincé entre la passerelle et un tréteau métallique.

Conséquences

Le contremaître décède des suites de ses blessures.



Photo 1 : Scène de l'accident, à l'arrivée de la CNESST
Source : CNESST

Abrégé des causes

L'enquête a permis d'identifier les causes suivantes pour expliquer cet accident :

- La passerelle, maintenue à la verticale, bascule sur le contremaître qui se trouve dans la trajectoire de chute de la passerelle.
- La méthode de travail, qui consiste à utiliser des tréteaux métalliques reliés à la passerelle par des points de soudure pour son maintien en position verticale, expose le contremaître à un renversement de la passerelle métallique.

Mesures correctives

Le 28 juin 2016, le rapport d'intervention RAP1081721 fait état de la décision d'interdire tous les travaux nécessitant le levage ou la manipulation (repositionnement) d'une charge à l'aide d'un mécanisme de levage (pont roulant, potence, chariot élévateur, etc.) dans l'usine. Les mesures correctives exigées par la CNESST pour la reprise des travaux sont :

- L'employeur doit soumettre une méthode de travail sécuritaire pour le levage ou la manipulation (repositionnement) d'une charge à l'aide d'un mécanisme de levage.
- L'employeur doit s'assurer que les travailleurs sont formés et informés concernant cette nouvelle méthode de travail.

Le 29 juin 2016, l'employeur soumet deux procédures aux inspecteurs. Il a élaboré une procédure de levage et de manipulation générale des pièces métalliques ainsi qu'une procédure de levage et de manipulation spécifique d'une passerelle (pièce métallique hors norme).

En résumé, il est prévu dans ces procédures que tous les travaux de soudures sur les pièces et passerelles métalliques seront effectués alors que les pièces sont à plat, en position horizontale, stabilisées sur des tréteaux métalliques.

Le 30 juin 2016, les travailleurs ont été informés des nouvelles méthodes de travail (procédures), afin de s'assurer que les tâches de levage soient exécutées de façon sécuritaire. Cette même journée, lors de la visite des inspecteurs, la décision de reprise des travaux de levage et de manipulation d'une charge à l'aide d'un mécanisme de levage est rendue. Le rapport RAP0966684 du 12 juillet 2016 fait état de cette décision.

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

L'entreprise Acier Sélect inc., située au 675, rue Trotter à Saint-Jean-sur-Richelieu, se spécialise dans la conception, la fabrication ainsi que l'installation de charpentes d'acier commerciales, industrielles et institutionnelles.

Elle fait partie du secteur d'activité économique Bâtiments et travaux publics. Environ 30 travailleurs non syndiqués travaillent dans l'établissement au moment de l'accident. Selon la période de l'année, entre [...] travailleurs de la construction (syndiqués – local 711) sont affairés sur différents chantiers. Une équipe, composée d'environ [...] personnes, travaille au niveau administratif.

Dans l'établissement, il y a deux quarts de travail : de jour et de soir. L'horaire des travailleurs de l'usine est stable, alors que celui des travailleurs attirés aux chantiers peut varier selon les différents projets.

La victime de l'accident, monsieur [C], agit à titre de contremaître de production chez l'employeur. Il supervise l'ensemble des employés de la production, dont monsieur [D], soudeur en évaluation. Monsieur [C] est également responsable de la formation des nouveaux employés de la production.

Une partie de l'organigramme de l'entreprise est présentée ci-dessous :

[...]

Figure 1 : Organigramme Acier Sélect inc.
Source : Acier Sélect inc.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Les travailleurs soumettent verbalement les situations jugées dangereuses au contremaître ou au directeur d'usine, qui évaluent la nécessité d'intervenir et les actions à prendre.

L'employeur a accès aux ressources de plus d'une association sectorielle paritaire (Multiprvention et ASP construction). Celui-ci utilise leurs services pour la formation des travailleurs, entre autres pour la formation d'opérateur de pont roulant.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Selon le classement effectué à partir du type d'activité économique de l'établissement, celui-ci fait partie d'un groupe prioritaire, soit les bâtiments et travaux publics. Un établissement appartenant à un groupe prioritaire possède la responsabilité, en vertu du Règlement sur le programme de prévention, de faire en sorte qu'un programme de prévention propre à l'établissement soit mis en application.

L'employeur Acier Sélect inc. dispose d'un programme de prévention et voit à son application.

En ce qui concerne l'embauche, un nouveau travailleur qui postule comme soudeur devra tout d'abord passer une journée de travail avec monsieur [C]. Celui-ci évalue ses connaissances et ses compétences (évaluation d'embauche). À la fin de cette journée, monsieur [C] prend la décision de continuer ou non avec le travailleur qu'il a évalué.

Ensuite, une période d'essai s'amorce. La formation d'un nouveau travailleur s'effectue par compagnonnage. La durée de la période d'essai est variable en fonction du poste occupé et des compétences du travailleur. Monsieur [C] est responsable de mettre fin à la période d'essai et de procéder à l'embauche officielle.

Une fois le travailleur embauché, son contremaître lui alloue le temps nécessaire pour lire le programme de prévention et, avec monsieur [C], ils compléteront les documents suivants :

- Programme d'intégration d'un employé;
- Politique de cadencage;
- Lettre d'engagement du travailleur.

Depuis avril 2016, ce processus d'embauche, incluant la présentation des documents ainsi que la signature de ceux-ci par le travailleur, est complété.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

L'usine de production est constituée de différents départements, dont celui dédié à la soudure. Celui-ci contient six postes de soudure, dont le poste 3A où survient l'accident.

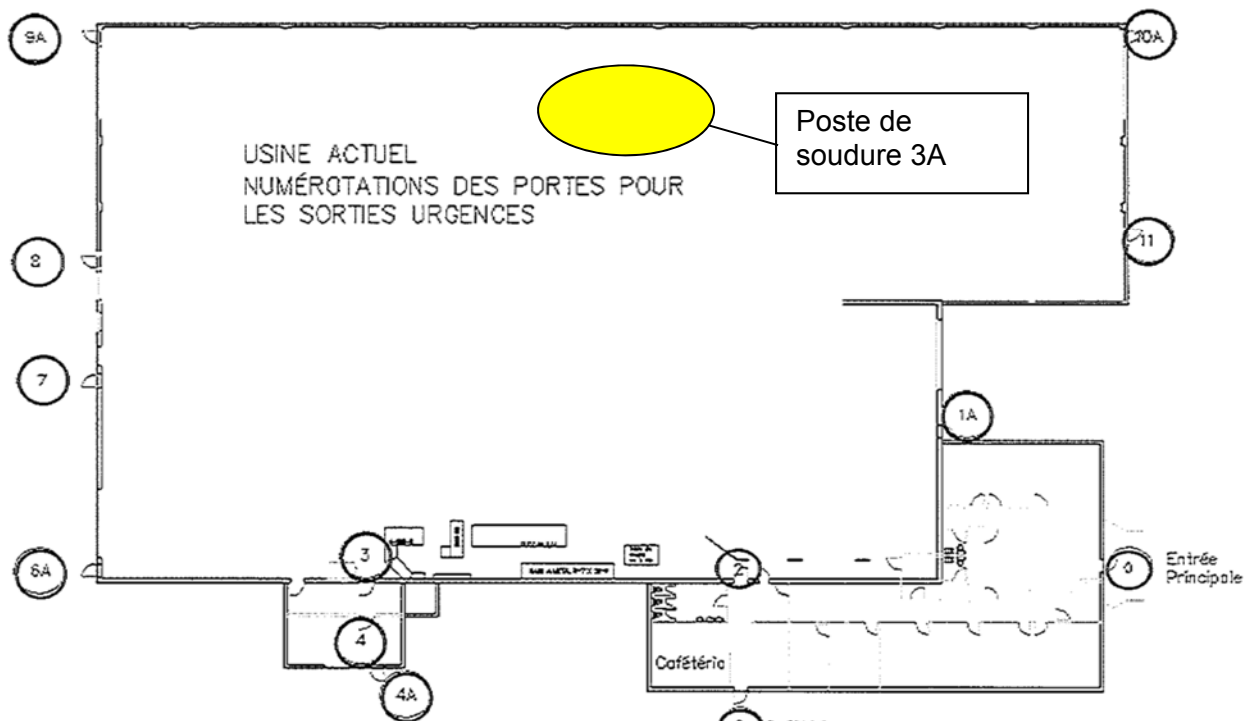


Figure 2 : Lieu de l'accident
Source : Acier Sélect inc.
Identification faite par la CNESST

3.2 Description du travail à effectuer

Le soudeur reçoit le plan de la structure à assembler. Celui-ci s'assure d'avoir les pièces requises et procède à leur assemblage. Lorsque cette tâche est accomplie, l'assemblage est transporté au poste suivant (peinture) à l'aide d'un pont roulant opéré par le contremaître de production.

Sur le type de passerelle impliquée dans l'accident, le travailleur doit souder des pièces métalliques à chaque extrémité des poutres en « H ». Pour ce faire, la passerelle est maintenue à la verticale à l'aide de points de soudure la reliant aux tréteaux métalliques. Cette méthode est élaborée par les soudeurs eux-mêmes et est appliquée depuis la reprise de la production de ce type de passerelle.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 28 juin 2016, à 6 h, la victime de l'accident, monsieur [C], amorce sa journée de travail. Il vaque à différentes occupations tout en supervisant les employés de production sur différents postes de travail tout au long de l'avant-midi.

Après le dîner, monsieur [D], soudeur en formation, s'affaire à terminer une série de soudures sur une passerelle alors qu'elle est à plat, supportée par des tréteaux métalliques.

À compter de 13 h 40 :

- Une manœuvre de levage de la passerelle de 90 degrés est faite à l'aide du pont roulant, afin de la placer verticalement le temps de souder 2 tréteaux qui la maintiendront dans cette position.
- Monsieur [D] et monsieur [C] positionnent un tréteau métallique de chaque côté de la passerelle.
- Monsieur [D] effectue les points de soudures entre les tréteaux et la passerelle.
- Monsieur [D] se positionne devant la passerelle, monte dans un escabeau et la libère des élingues du pont roulant.
- Monsieur [C] éloigne le palan du pont roulant de la passerelle pendant que monsieur [D] va chercher ses équipements de protection.
- Monsieur [D] s'affaire à compléter les soudures des plaques de métal des poutres en « H » se trouvant au sol.
- Monsieur [C] quitte momentanément le poste de soudure 3A.
- Une fois les soudures des plaques de métal terminées, monsieur [C] ramène le pont roulant vers la passerelle pour que monsieur [D] procède au gréage en vue de la retourner de 180 degrés. À ce moment, monsieur [D] se trouve dans l'escabeau à l'arrière de la passerelle.
- Monsieur [C] demande à monsieur [D] de repositionner les élingues. À ce moment, monsieur [C] se trouve du côté avant de la passerelle.

Vers 13 h 52 :

- Monsieur [D], lors de la manipulation des élingues, s'appuie sur le haut de la passerelle et cette dernière bascule en direction de monsieur [C].
- Monsieur [C] est coincé à la hauteur de la taille entre la passerelle et un tréteau métallique avant de se retrouver au sol.
- Alertés par le bruit lors de la chute, des collègues viennent porter assistance à monsieur [C].

Vers 13 h 55 :

- Un appel est logé aux services d'urgences. Le travailleur accidenté est transporté à l'Hôpital du Haut-Richelieu. Il décède des suites de ses blessures peu de temps après l'accident.

4.2 Constatations et informations recueillies



Photo 2 : Position de la passerelle après son basculement sur le travailleur
Source : CNESST

Une vidéo surveillance a capté les images de l'accident et il y a aussi eu des témoins visuels.

Afin de secourir le contremaître, la disposition des lieux a quelque peu été modifiée par les travailleurs venus porter assistance.

4.2.1 Observations

Lors de notre arrivée sur les lieux, les représentants du Service de police de la Ville de Saint-Jean-sur-Richelieu nous expliquent les circonstances de l'accident. Ils nous informent que la victime a été frappée par la passerelle lors de son renversement et qu'elle a été coincée entre cette même passerelle et un tréteau métallique à la hauteur du bassin avant se retrouver au sol. Le soudeur en formation, qui se trouvait avec la victime lors de l'accident, a lui aussi été conduit à l'Hôpital du Haut-Richelieu puisqu'il a subi un choc nerveux.

Nous constatons qu'une passerelle métallique se trouve en appui sur deux tréteaux et est reliée au pont roulant (voir photo 2). Les travailleurs sur place ont ajouté un tréteau et arrimé la passerelle au pont roulant à la suite de l'accident, dans le but de sécuriser la passerelle et de secourir le contremaître.

4.2.2 Description du poste de travail 3A

On retrouve, dans le périmètre du poste de travail 3A, les éléments suivants :

- une passerelle métallique;
- des tréteaux métalliques;
- une machine à souder;
- un escabeau;
- un pont roulant.

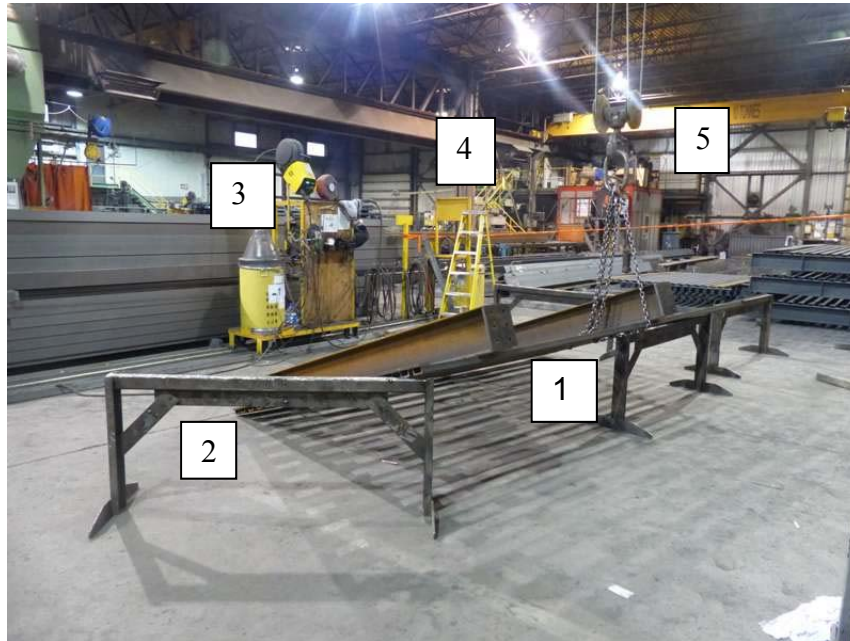


Photo 3 : Poste de travail 3A

Source : CNESST

1 : Passerelle 2 : Tréteau 3 : Soudeuse 4 : Escabeau 5 : Pont roulant

4.2.3 Passerelle métallique

La passerelle métallique, identifiée 33F128-E, impliquée dans l'accident est une composante d'une structure d'acier d'un bâtiment commercial. Cette passerelle est un assemblage de 2 poutres en H, de 17 poutres en C et de 4 plaques en acier. Elle a une longueur de 3,90 m et 2,75 m de largeur. Sa masse est de 851 kg (voir annexe B).

Pour accomplir toutes les tâches de soudage sur la passerelle, celle-ci sera positionnée de deux façons différentes soit, à plat sur quatre tréteaux (voir photo 4) et, ensuite, maintenue à la verticale à l'aide de deux tréteaux métalliques (voir figure 3).

Une fois les soudures des plaques métalliques aux extrémités « A » des poutres en « H » terminées, les travailleurs doivent retourner la passerelle de 180 degrés pour effectuer les soudures des plaques métalliques situées à l'extrémité « B » des poutres en « H ».



Photo 4 : Position de la passerelle à plat sur 4 tréteaux
Source : Acier Sélect inc., extrait de la vidéo surveillance

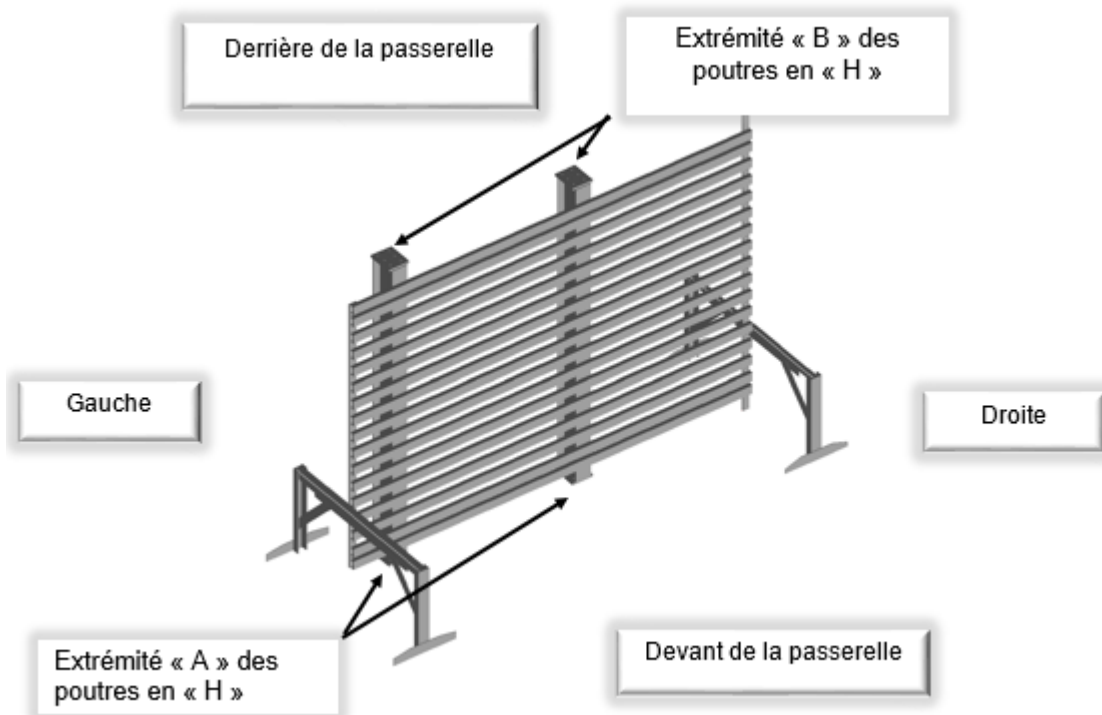


Figure 3 : Position de la passerelle avant le basculement
Source : CNESST

4.2.4 Tréteaux métalliques

Les tréteaux métalliques sont utilisés pour déposer et supporter différentes composantes d'acier afin de les souder. Le poids des tréteaux est évalué à 62,8 kg. Leurs dimensions sont de 76,2 cm de haut par 168 cm de large.



Photo 5 : Tréteau métallique
Source : CNESST

4.2.5 Machine à souder

La machine à souder est de marque ESAB, modèle Warrior 500i CC/CV. Le procédé de soudage utilisé pour fixer la pièce aux tréteaux est de type GMAW ou MIG. Il s'agit de soudage à l'arc électrique sous protection gazeuse du bain de fusion, avec du fil plein comme électrode et métal d'apport. Le procédé est utilisé en mode semi-automatique.



Photo 6 : Soudeuse
Source : CNESST

4.2.6 Points de soudure

Les points de soudure sur la passerelle sont de forme elliptique. Le point mesuré est de 14 mm de longueur par 6 mm d'épaisseur.



Photo 7 : Point de soudure sur la passerelle
Source : CNESST



Photo 8 : Point de soudure sur la passerelle
Source : CNESST

4.2.7 Pont roulant

Le pont roulant qui dessert le poste de soudure 3A est fabriqué par Levatech et a une capacité de 10 tonnes. L'employeur possède un programme d'entretien préventif sur les équipements de levage. La fréquence des entretiens est mensuelle pour les élingues, aux 3 mois pour les palans et annuellement pour les ponts roulants. Le dernier entretien préventif effectué sur le pont roulant a eu lieu le 22 avril 2016.

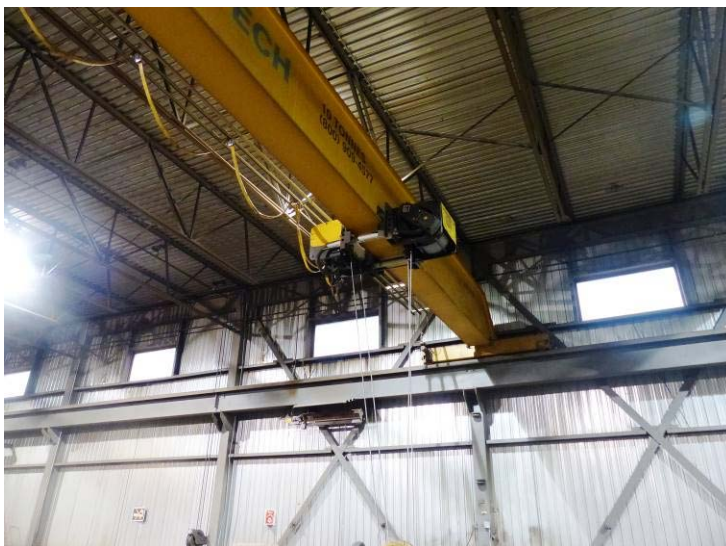


Photo 9 : Pont roulant
Source : CNESST

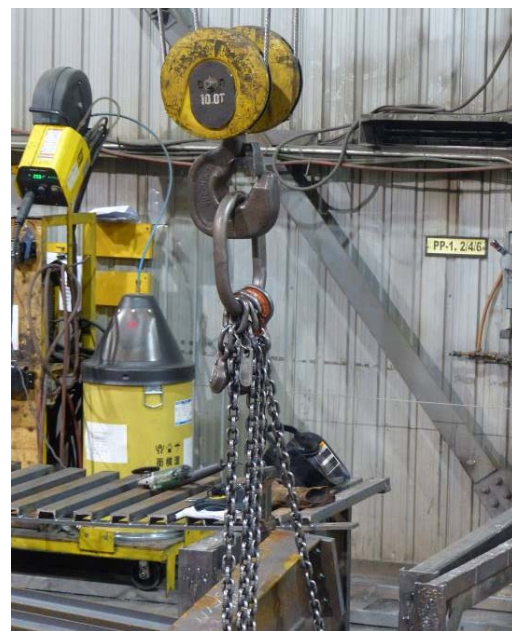


Photo 10 : Palan et élingues du pont roulant
Source : CNESST

4.2.8 Expertise

Une évaluation théorique a été réalisée par monsieur Denis Leblanc, ingénieur et conseiller expert à la CNESST. L'analyse effectuée par monsieur Leblanc consiste à confirmer, de façon théorique, les forces nécessaires au déplacement et au renversement de l'assemblage métallique (passerelle) ainsi que l'évaluation des contraintes induites aux points de soudure.

A) L'évaluation théorique de la force nécessaire pour amorcer le basculement de la passerelle métallique vers l'avant

L'évaluation théorique démontre que la force totale nécessaire au renversement de la passerelle est d'environ 36,15 N. Cette force totale tient compte de la masse de la passerelle, de la présence de tréteaux reliés à la passerelle par des points de soudure et de la friction des tréteaux au sol. Comme référence, la force nécessaire pour soulever une masse de 6 kg est d'environ 60 N.

En ne considérant seulement que la passerelle métallique, la force nécessaire appliquée au haut de celle-ci pour amorcer son renversement est de 11,94 N.

Les conditions d'évaluation théorique sont prises à partir de données optimales en comparaison avec les points de soudure reliant la passerelle et les tréteaux au moment de l'accident. Par exemple, les points de soudures sont remplacés par des tiges d'acier de forme circulaire et elliptique, avec des longueurs variant de 0,25 mm à 1 mm entre les tréteaux et la passerelle. Malgré les conditions optimales (tiges par rapport aux points de soudure), le basculement de la passerelle est inévitable.

B) L'évaluation théorique de la force générée par le travailleur dans l'escabeau

L'évaluation théorique démontre que le travailleur présent dans l'escabeau, sur le 4^e échelon, peut générer une poussée allant jusqu'à 152 N sans faire basculer l'escabeau.

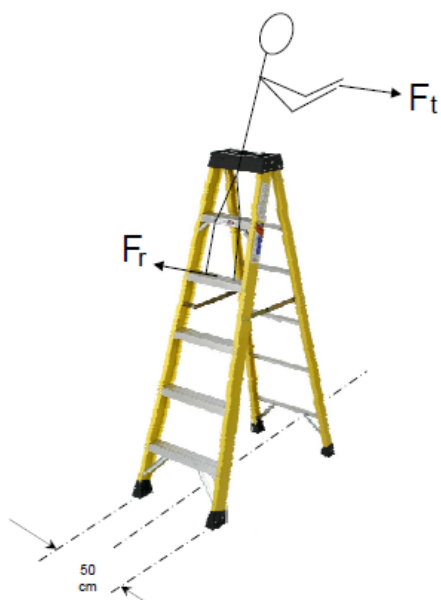


Figure 4 : Position du travailleur dans l'escabeau
Source : CNESST

Cette évaluation démontre qu'il est facile pour le travailleur dans l'escabeau de générer la force nécessaire (152 N par rapport à 36,15 N) pour amorcer le basculement de la passerelle métallique.

C) L'évaluation théorique des forces et des contraintes induites aux points de soudure

L'évaluation théorique démontre que la force minimale à appliquer pour briser les points de soudure est de 7,41 N et un déplacement de 6 mm du haut de la passerelle est suffisant pour briser les 2 points de soudure.

De plus, une fois que le centre de gravité de la passerelle métallique dépasse le point de rotation, la projection au sol du centre de gravité de la passerelle fait en sorte que la force à appliquer sur la passerelle n'est plus nécessaire au renversement. Au contraire, le poids de celle-ci l'attire vers le sol.

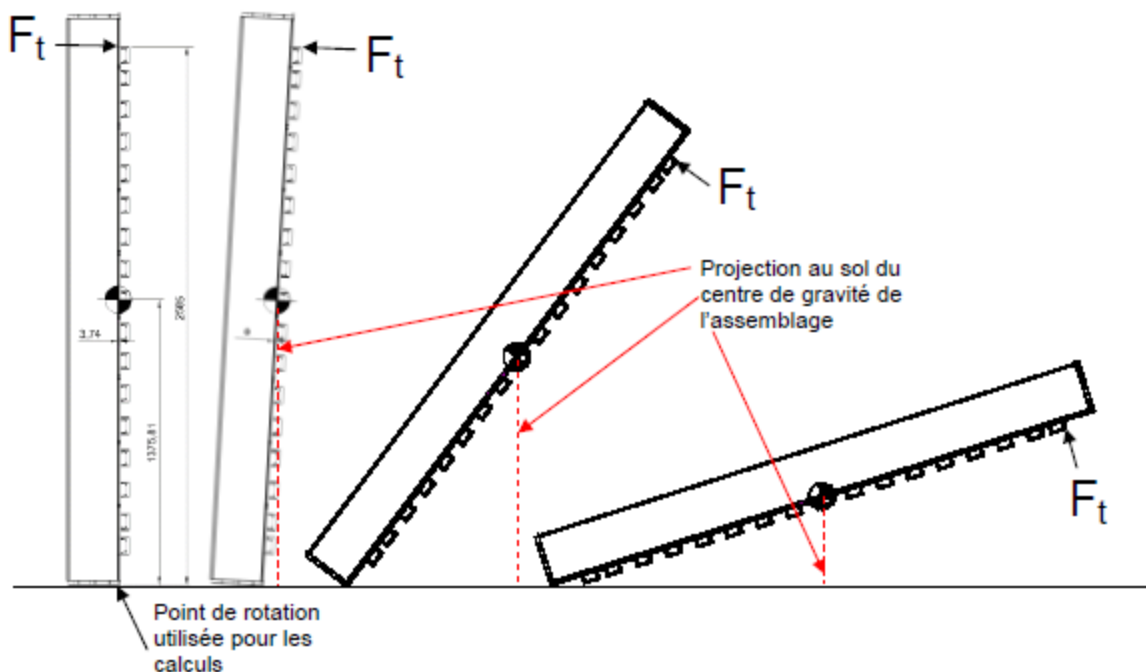


Figure 5 : Passerelle en chute libre
Source : CNESST

D) L'évaluation théorique de la force nécessaire au contremaître pour retenir la passerelle

L'évaluation théorique démontre que, dans l'angle où se trouvait la passerelle au moment d'entrer en contact avec les mains du contremaître à la hauteur estimée par l'expert, la force qu'il aurait dû déployer pour la retenir est environ 1 425 N.

Selon l'outil « Humanscale » cité dans le rapport de l'expert, un homme au-dessus de la moyenne peut déployer une force de 800 N.

4.2.9 Réglementation

La Loi sur la santé et la sécurité du travail (S-2.1) stipule, à l'article suivant :

Article 51 :

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

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

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

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

4.3 Énoncé et analyse de la cause

4.3.1 La passerelle maintenue à la verticale bascule sur le contremaître qui se trouve dans la trajectoire de chute de la passerelle.

Le travailleur, monsieur [D], procède au gréage de la pièce maintenue à la verticale alors qu'il se trouve dans un escabeau à l'arrière de la passerelle. Pour sa part, monsieur [C] se trouve devant la passerelle pour donner des directives au travailleur. La position de monsieur [C] est située dans la trajectoire de chute de la pièce, puisque la force est appliquée de l'arrière vers l'avant par le travailleur situé dans l'escabeau.

Les faits et les évaluations théoriques de l'expertise démontrent que la force nécessaire pour amorcer le basculement de la passerelle est minime (36,15 N). Le travailleur se trouvant dans l'escabeau peut facilement générer une force de 152 N sans renverser l'escabeau. De plus, lorsque le centre de gravité de la passerelle a dépassé le point de rotation de celle-ci, son seul poids la fait tomber. Il devient alors impossible pour un homme de retenir une telle charge.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La méthode de travail qui consiste à utiliser des tréteaux métalliques reliés à la passerelle par des points de soudure pour son maintien en position verticale expose le contremaître à un renversement de la passerelle métallique.

La méthode utilisée pour maintenir la passerelle métallique en position verticale consiste à la soulever à l'aide du pont roulant et à effectuer des points de soudure reliant les tréteaux métalliques à la passerelle. Une fois ceci complété, les élingues du pont roulant sont retirées. Ainsi, la passerelle demeure à la verticale en étant maintenue par les tréteaux.

L'évaluation théorique démontre que la combinaison de la force minimale à appliquer pour briser les points de soudure, qui est de 7,41 N, et un déplacement de 6 mm du haut de la passerelle, est suffisante pour briser les 2 points de soudure.

Donc, la force générée par le travailleur et appliquée au haut de la passerelle est suffisante pour briser les points de soudure et amorcer le basculement qui provoque la chute de la passerelle, selon l'expertise réalisée par monsieur Denis Leblanc, ingénieur.

En d'autres termes, la méthode de travail qui consiste à utiliser des tréteaux métalliques reliés à la passerelle par des points de soudure pour son maintien en position verticale expose le contremaître à un renversement de la passerelle métallique. En effet, une force minime appliquée au haut de la passerelle peut briser les points de soudure et provoquer la chute de la passerelle.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

L'enquête a permis d'identifier les causes suivantes pour expliquer cet accident :

- La passerelle maintenue à la verticale bascule sur le contremaître qui se trouve dans la trajectoire de chute de la passerelle.
- La méthode de travail qui consiste à utiliser des tréteaux métalliques reliés à la passerelle par des points de soudure pour son maintien en position verticale expose le contremaître à un renversement de la passerelle métallique.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

À la suite de l'accident, la CNESST a interdit le levage et la manipulation de charges à l'aide d'un mécanisme de levage (pont roulant, potence, chariot élévateur, etc.) chez l'employeur. Une décision a été rendue à ce sujet le 28 juin 2016. Cette décision est consignée au rapport d'intervention RAP1081721.

À la suite des visites de la CNESST, l'employeur a modifié sa méthode de travail. Une procédure de levage et de manipulation générale des pièces métalliques ainsi qu'une procédure de levage et de manipulation spécifique à la fabrication d'une pièce métallique hors norme (passerelle) ont été élaborées.

Tous les travaux de soudures sur les pièces métalliques sont maintenant effectués alors que les pièces sont à plat, en position horizontale, stabilisées sur des tréteaux métalliques. Pour la manipulation de ces pièces, une procédure de levage a également été élaborée autant pour des pièces générales que spécifiques ou hors-norme.

Les employés ont aussi été formés pour l'utilisation des nouvelles méthodes de travail, afin de s'assurer que le travail est exécuté de façon sécuritaire.

ANNEXE A

Accidenté

ACCIDENTÉ

Nom, prénom : [C]

Sexe : Masculin

Âge : [...]

Fonction habituelle : [...]

Fonction lors de l'accident : Contremaître de production

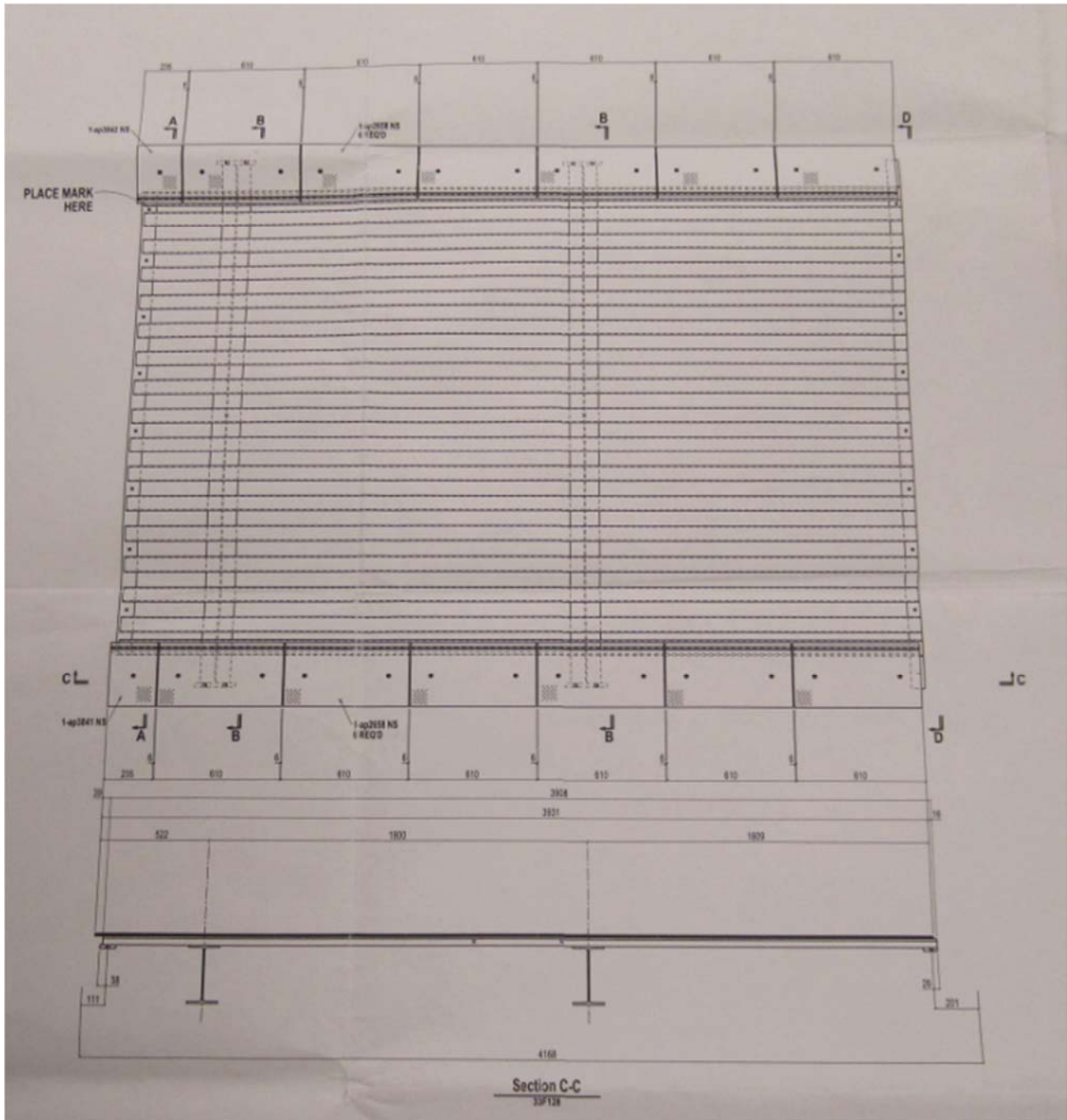
Expérience dans cette fonction : [...]

Ancienneté chez l'employeur : [...]

Syndicat : [...]

ANNEXE B

Dessins de la pièce en fonction du dessin technique (passerelle)
Source : Acier Sélect inc. et Pasquin St-Jean et associés



2 FRAMES 33F128

W 76x9
F 40x7
K 16x14

SHOP NOTE:
TOE DIRECTION FAR SIDE

QTE	MARQUE	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	POIDS	REMARQUES	QTE	MARQUE	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	POIDS	REMARQUES	QTE	MARQUE	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	POIDS	REMARQUES	
2	33F128	FRAME			1956																
2	33F128	C75d	300W		3908	70															
24	a	MCMaster-CARR HINGE	350W		610	27	#15665A581														
4	b	MCMaster-CARR HINGE	350W		235		#15665A581														
24	sp2658	CHKD6x200	350W		610	214															
8	sp3200	PL 18x200	350W		242	58															
2	sp3417	PL 16x64	350W		2748	44															
2	sp3774	PL 16x76	350W		2428	46															
2	sp3841	CHKD6x235	350W		280	7															
2	sp3842	CHKD6x235	350W		280	7															
4	sp4941	W250x33	350W		2704	357															
32	ca117	C75d	300W		3908	1125															
		FIELD BOLTS																			
48		3/4in Dia A325			70		+PHD WASH														
34		1/2in Dia A325			55		+PHD WASH														

ANNEXE C

Liste des personnes et témoins rencontrés

Monsieur [**A**], [...] d'Acier Sélect inc.

Monsieur [**B**], [...] d'Acier sélect inc.

Madame [**E**], [...] d'Acier Sélect inc.

Monsieur [**F**], [...] d'Acier Sélect inc.

Monsieur [**D**], [...] d'Acier sélect inc.

Monsieur [**G**], [...] d'Acier Sélect inc.

Monsieur François Essiembre, Agent de la paix du Service de police Ville de St-Jean sur Richelieu

Madame Julie Marcoux, Agent de la paix du Service de police Ville de St-Jean sur Richelieu

Monsieur [**H**], [...]

Monsieur [**I**], [...]

ANNEXE D

Rapport d'expertise interne



RAPPORT D'EXPERTISE

*Calcul de la résistance au renversement
d'un assemblage métallique*

Rapport présenté à

*Jasmin Rondeau, inspecteur
Marilyn Bouliane, inspectrice
Région : St-Jean-sur-le-Richelieu*

Préparé par

*Denis Leblanc ing.,
Chef d'équipe DGPI Montréal*

Le 20 octobre 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 28 juin 2016, un travailleur est écrasé mortellement lorsqu'un assemblage métallique de 851 kg se renverse et tombe dans sa direction. Le travailleur est premièrement écrasé entre l'assemblage métallique et un chevalet de soutien avant de poursuivre sa chute vers le sol.

2. Description du mandat

Le mandat consiste à confirmer de façon théorique les forces nécessaires au déplacement et au renversement de l'assemblage métallique qui sont impliquées dans l'accident ainsi que l'évaluation des contraintes induites aux points de soudure.

3. Méthodologie

- 1) Dessin de l'assemblage pour s'assurer de la géométrie en cause.
- 2) Évaluation théorique des forces impliquées pour que s'accomplisse le renversement de la structure incluant les contraintes induites aux points de soudure.
- 3) Évaluation des contraintes aux points de soudure par la méthode des éléments finis.
- 4) Vérification que les forces impliquées ont pu être générées par le seul travailleur dans l'escabeau.
- 5) Explication du mouvement d'avance du chevalet de droite.
- 6) Conclusion

4. Informations recueillies

- 1) Dessins techniques

Les dessins de l'assemblage et le degré d'avancement de la construction ont été fournis par l'entreprise.

- 2) Enregistrement vidéo

Une vidéo montrant l'ensemble de l'espace de l'usine concerné est aussi disponible. Cette séquence vidéo débute sur une période avant l'accident et montre des images jusqu'après l'accident.



Photo n° 1 : Extrait vidéo de la caméra de surveillance
Source : Acier Select

3) Photographies prises par les inspecteurs

Photo n° 2 : Assemblage métallique après la chute
Source : CNESST



Photo n° 3-4 : exemples de mesures de positionnement des points de soudure effectués sur place
Source : CNESST

Les inspecteurs au dossier ont aussi relevé plusieurs dimensions sur l'assemblage et les chevalets impliqués dans l'accident.



Photo n° 5



Photo n° 6



Photo n° 7



Photo n° 8

Photo n° 5-6-7-8 : Mesures effectuées sur place sur l'assemblage métallique et les chevalets
Source : CNESST



Photo n° 9



Photo n° 10

Photo n° 9-10 : Mesures effectuées sur place sur les points de soudure
Source : CNESST

Les inspecteurs ont repéré les positions et les dimensions des points de soudure sur la structure et sur les chevalets. Les photographies montrent que les chevalets ont plusieurs marques, aspérités et saillies.

4) Témoignage

Selon la vidéo, juste avant la chute, un travailleur était derrière l'assemblage, monté sur la quatrième marche d'un escabeau pour atteindre les élingues du pont roulant. Selon le témoignage du travailleur, il s'est légèrement appuyé sur le haut de l'assemblage et c'est à ce moment que le tout s'est mis à basculer.

5. Analyse

Observation des vidéos



Photo n° 3 : Extrait vidéo de l'assemblage métallique avec un ajout pour évaluer l'angle du déplacement
Source : CNESST

Lors de l'examen de la vidéo, cette dernière laisse voir que le chevalet le plus près de la caméra ne bouge pas (pas de mouvement perceptible) alors que le chevalet le plus éloigné avance lorsque l'assemblage se renverse. L'assemblage semble avoir basculé d'environ 7 degrés lorsque le chevalet le plus éloigné cesse d'avancer.

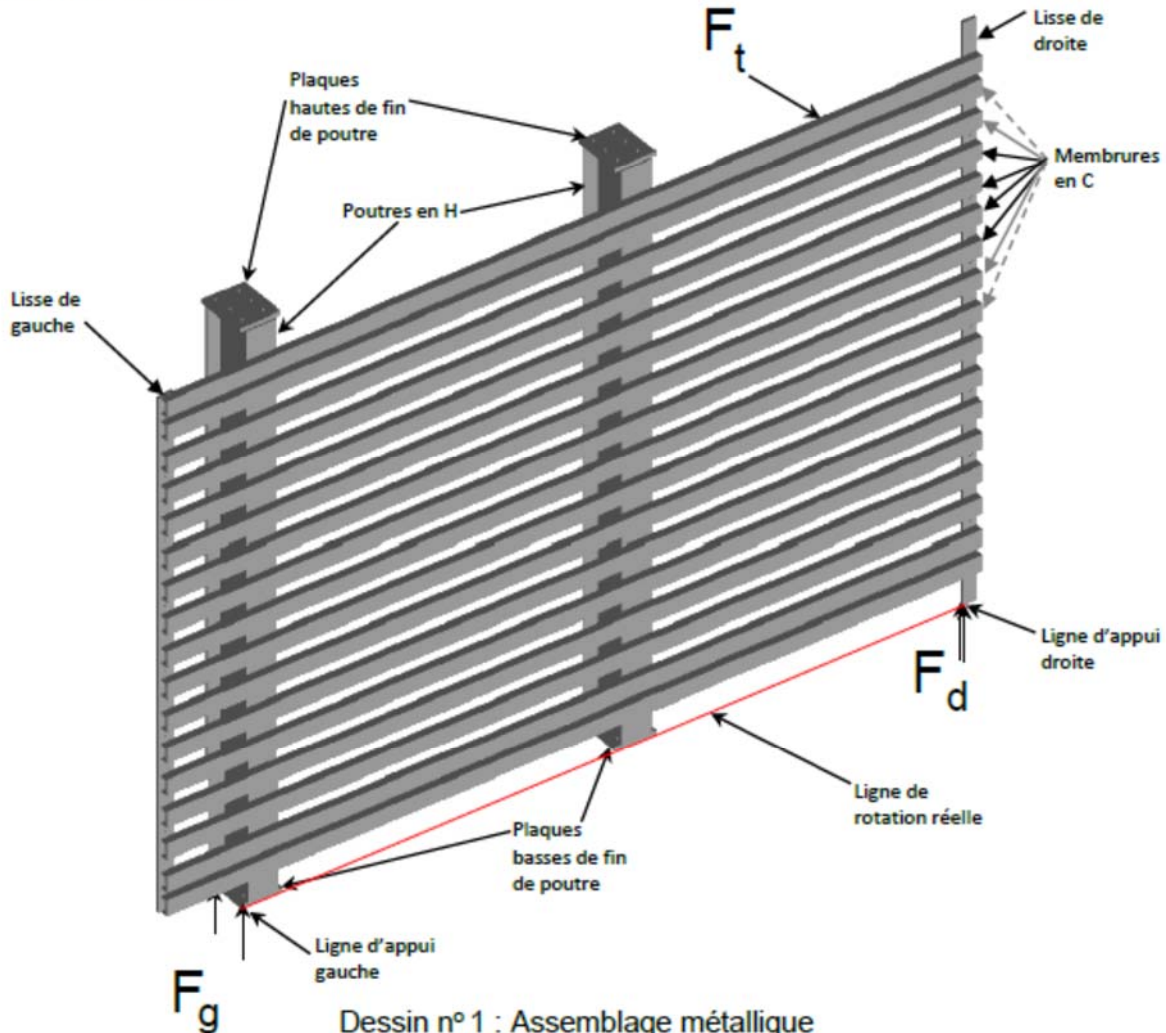
Pour la suite du rapport, le chevalet le plus près de la caméra sera nommé le chevalet de gauche et le chevalet le plus éloigné sera nommé le chevalet de droite.

La vidéo montre aussi que temps nécessaire pour effectuer chaque point de soudure entre l'assemblage et un chevalet est en deçà de deux secondes et que le point de soudure du chevalet de gauche a nécessité que le soudeur fasse contact à deux reprises.

Le temps passé à faire les soudures démontre que des points de soudure sont utilisés pour maintenir l'assemblage métallique à la verticale. Le temps est insuffisant pour construire un réel cordon de soudure.

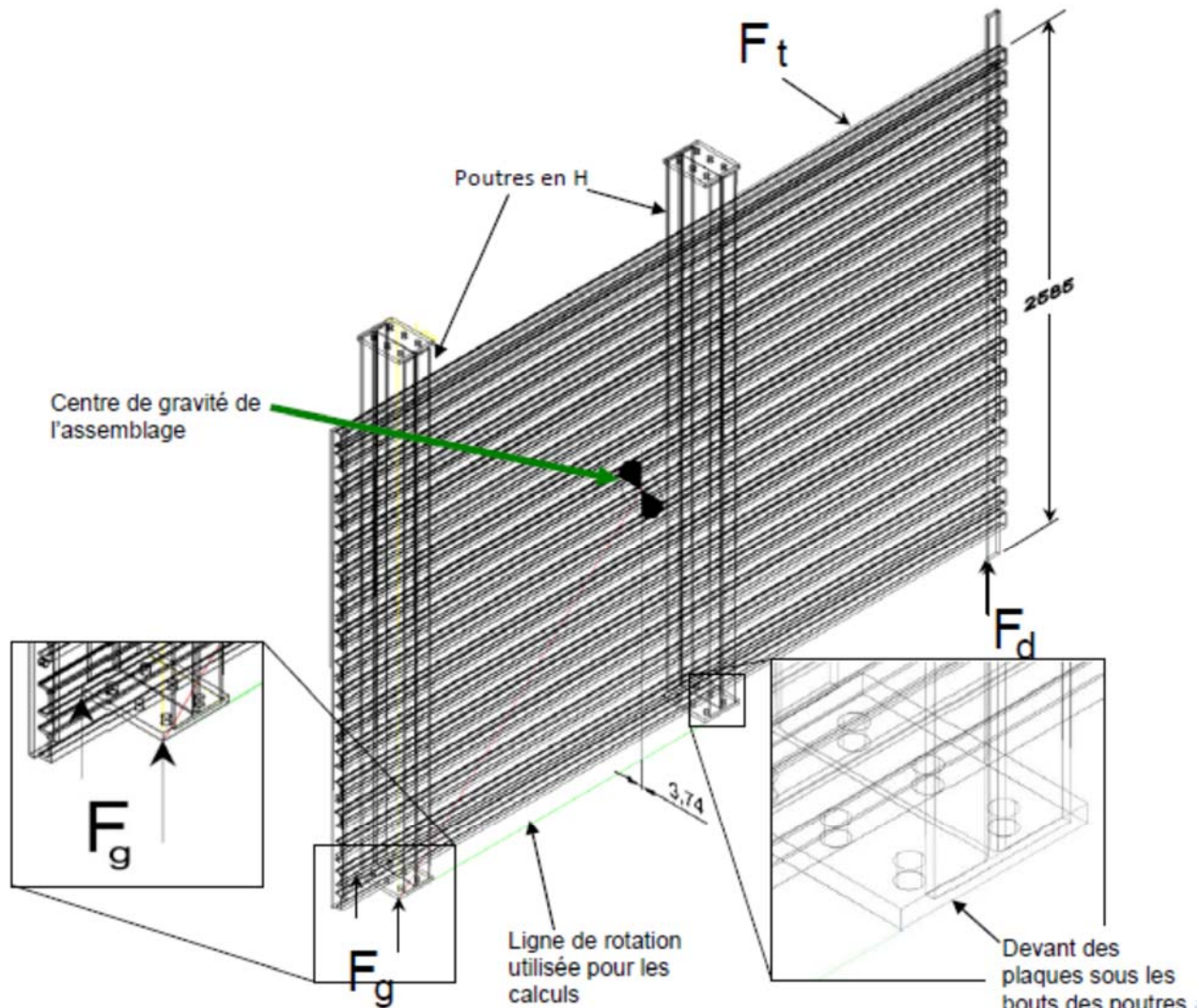
Les forces et les contraintes sur l'assemblage et les points de soudure

À l'aide des mesures effectuées par les inspecteurs et des informations précédentes, un dessin 3D est réalisé.



Selon les dimensions rapportées, le dessin 3D montre que la lisse de droite de l'assemblage n'est pas alignée avec les plaques basses de fin de poutre et qu'elle est plus longue de quelques millimètres (2,9 mm). L'assemblage va donc reposer sur deux lignes, soit une ligne qui joint le coin gauche arrière et le coin gauche avant de la plaque d'appui de gauche de l'assemblage (deux points F_g) et une ligne qui joint les deux coins gauches de la plaque de droite de l'assemblage (deux points F_d).

La première observation sera de trouver la force nécessaire au renversement sans les chevalets, en ne considérant que l'assemblage qui est appuyé au sol. Afin de simplifier la géométrie réelle, la ligne qui relie les devants des plaques basses de fin de poutre sera utilisée.

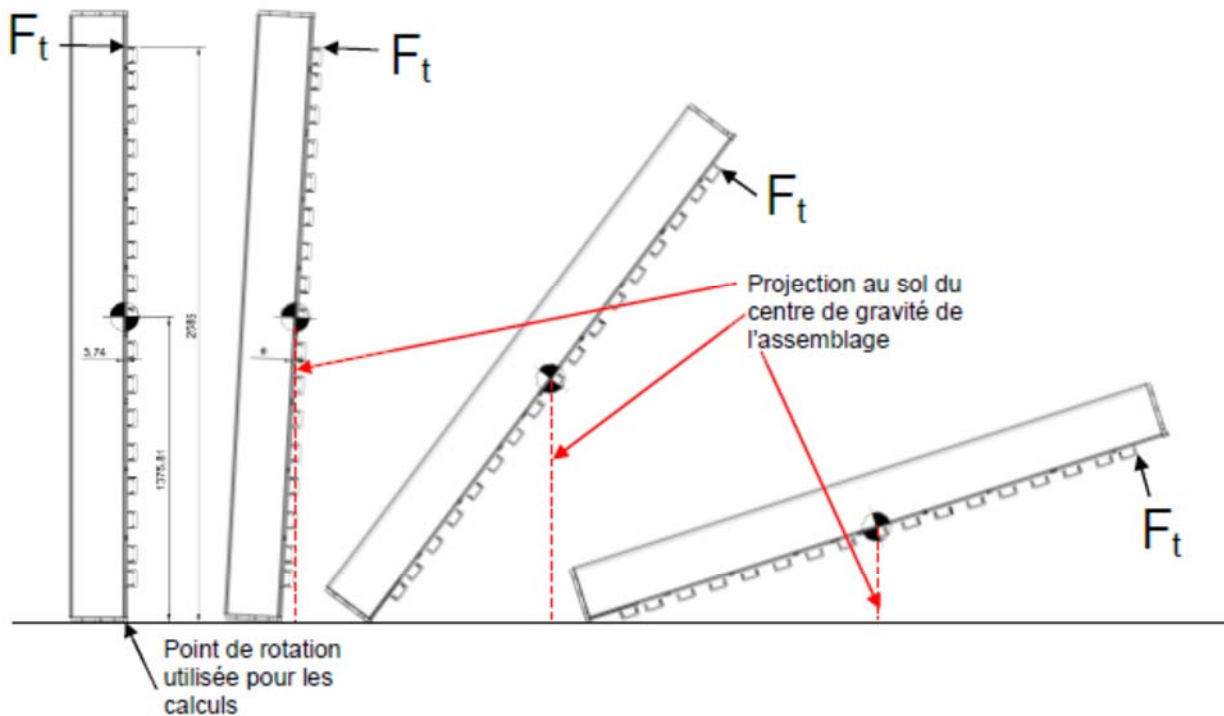


Dessin n° 2 : Assemblage métallique
Source : CNESST

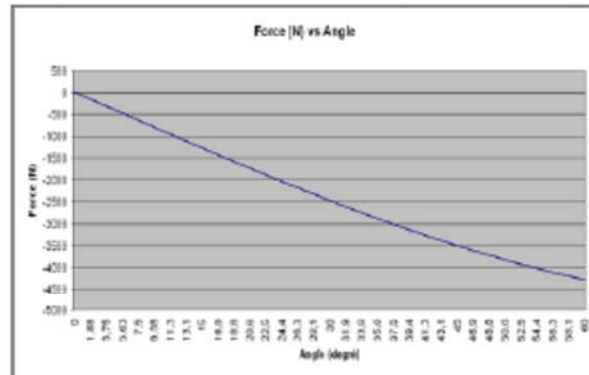
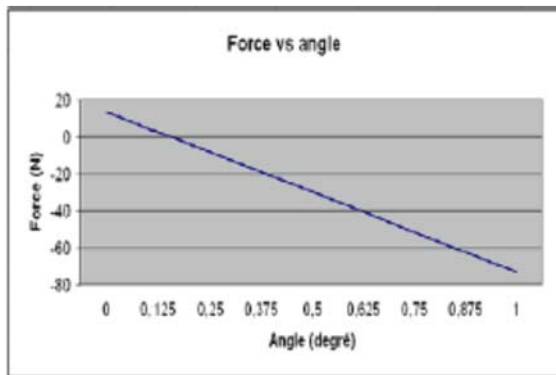
En ne considérant seulement que l'assemblage métallique, le centre de gravité est à environ 3,7 mm derrière le devant des plaques sous les bouts des poutres en H. La force nécessaire au renversement au haut de l'assemblage (F_t) serait d'environ $= 11,94 \text{ N}$, soit : $F_t = 851 \text{ kg} * 0,0037 \text{ m} * 9,81 \text{ m/s}^2 / 2,585 \text{ m}$.

Comme référence, la force nécessaire pour soulever une masse de 6 kg est d'environ 60 N.

Il faut constater que cette force de départ diminue jusqu'à zéro, pendant que la projection du centre de gravité se déplace pour se rendre au-dessus du point d'appui avant de l'assemblage. Après ce point, la force change de direction pour plutôt empêcher le renversement et elle devient négative sur le graphique.



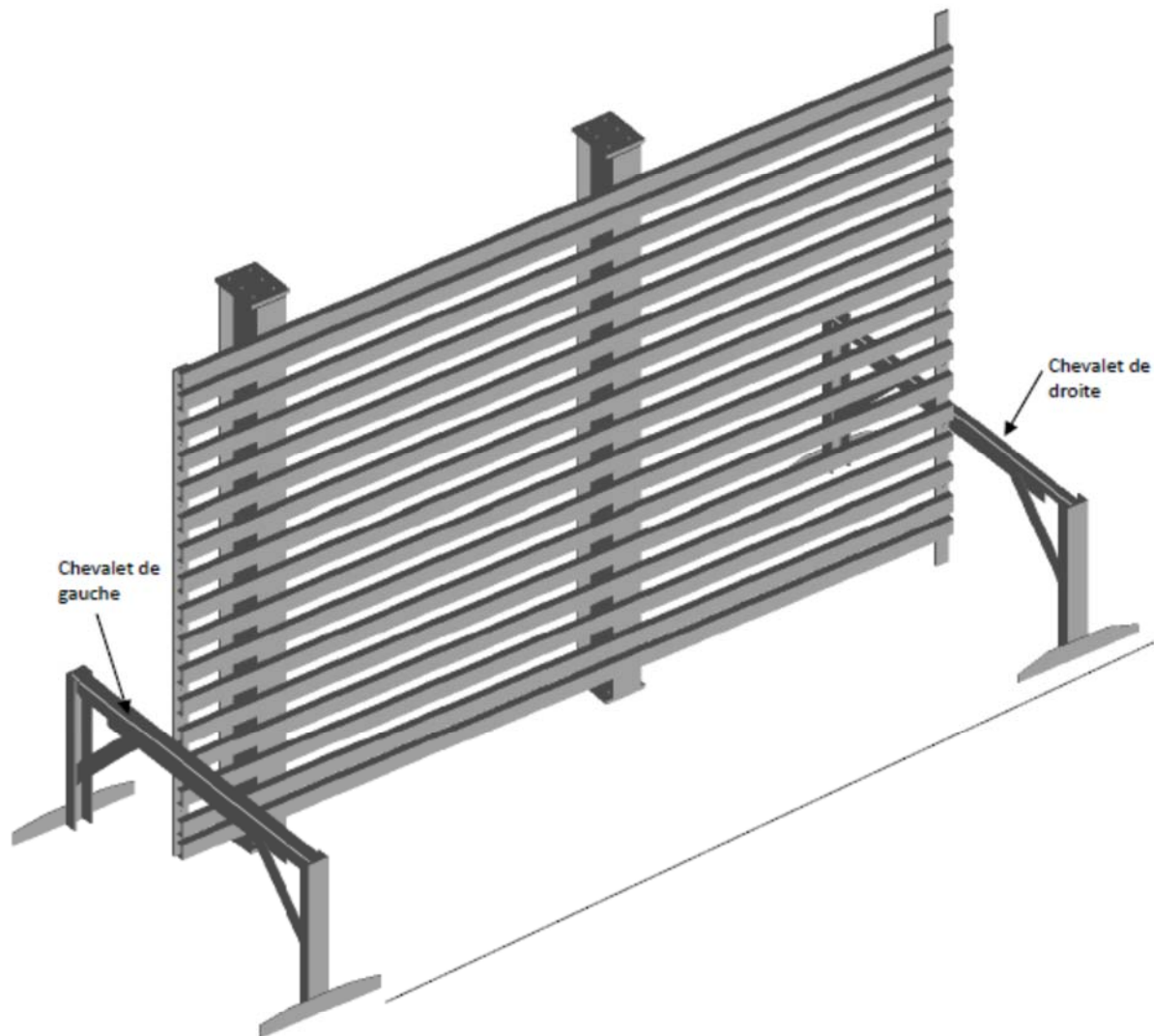
Dessin n° 3 : Assemblage métallique en chute libre
Source : CNESST



Graphique 1 : Force vs angle de 0 à 1 degré Graphique 2 : Force vs angle de 0 à 60 degrés
Source : CNESST

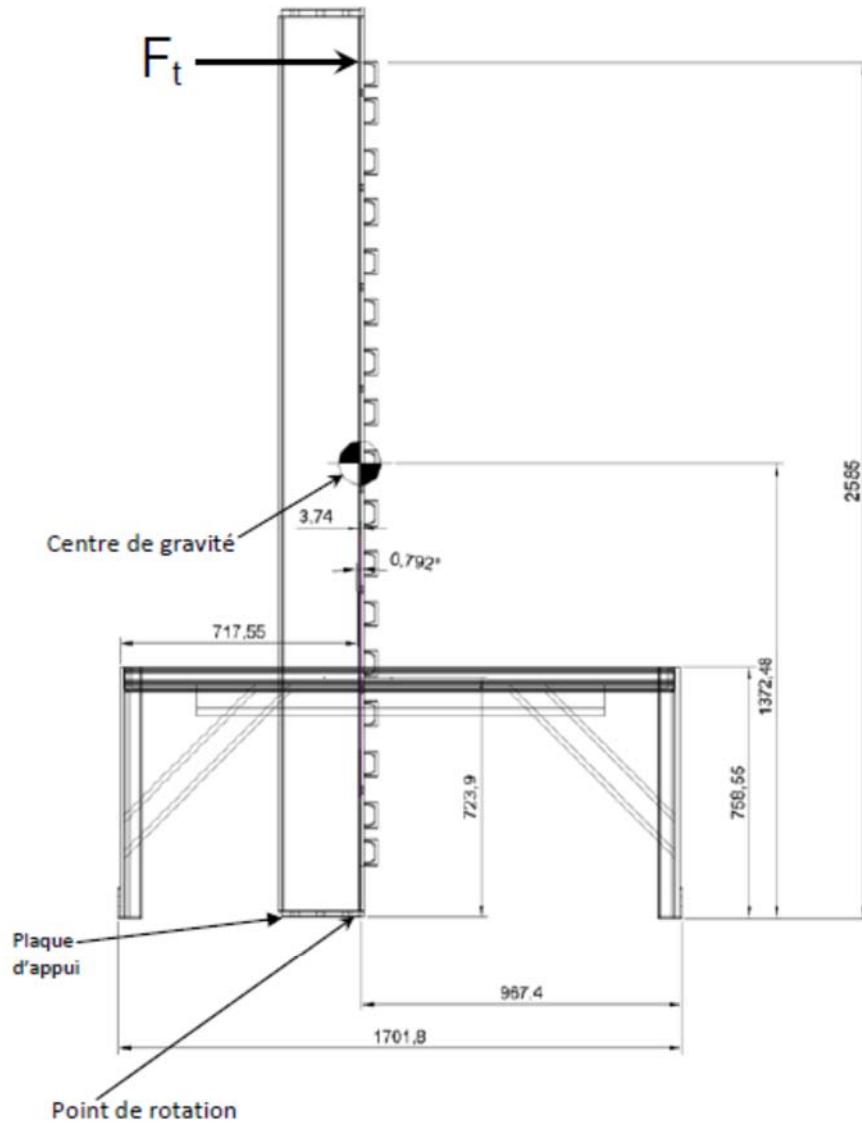
Après avoir passé le point de rotation, la projection au sol du centre de gravité fait en sorte que la force sur l'assemblage n'est plus nécessaire au renversement et au contraire, le poids de l'assemblage l'attire vers le sol. Passé le point de rotation, la force requise pour arrêter le mouvement augmente jusqu'à ce que l'assemblage soit au sol. Cette force est représentée par une force négative dans le deuxième graphique.

Considérant les mesures de positionnement des points de soudure sur les chevalets, il est à noter que les deux chevalets ne sont pas installés à la même profondeur dans l'assemblage.



Dessin n° 4 : Assemblage métallique avec chevalets
Source : CNESST

Afin de simplifier les estimations, le modèle suivant sera utilisé :



Dessin n° 5 : Assemblage métallique simplifié avec chevalets (vue de côté)

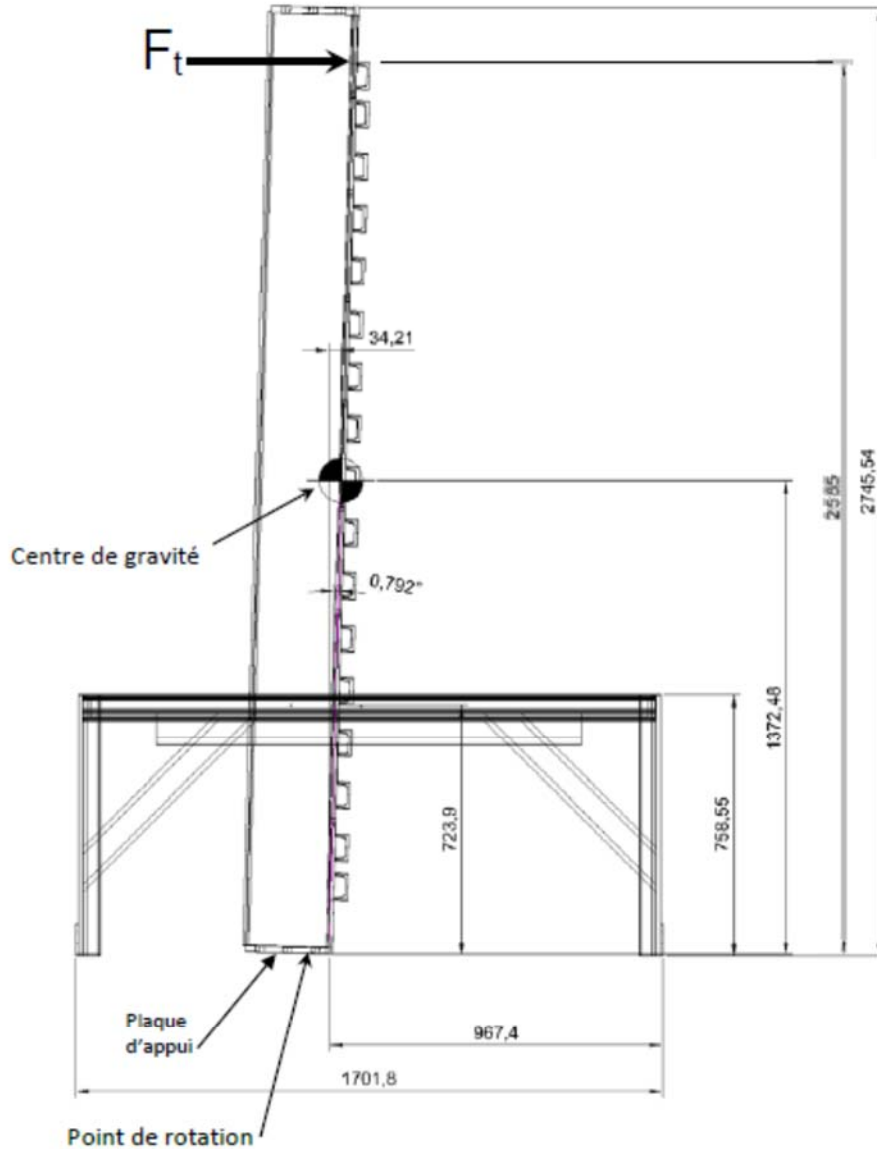
Source : CNESST

Les points de soudure qui retiennent l'assemblage aux chevalets sont superposés et forment un angle de 0,792 degré entre la verticale et le point de rotation.

Le centre de gravité de l'ensemble est à 3,74 mm à gauche du point de rotation.

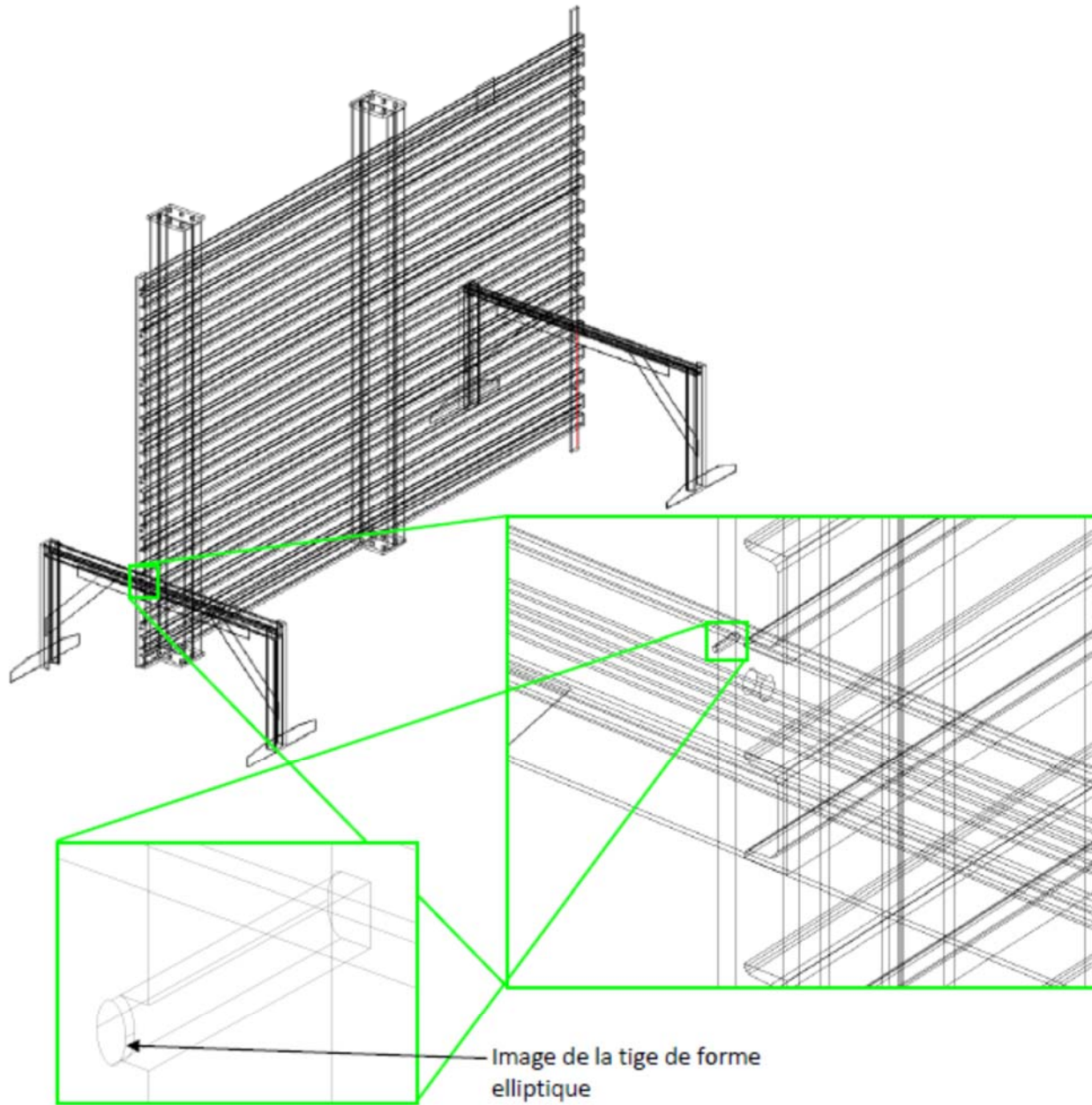
L'assemblage va maintenant tourner autour du point d'appui avant de la plaque sous la poutre en H (point de rotation). L'angle de rotation utilisé ici pour une première estimation des contraintes sera du double de l'angle entre les points de soudure et du devant des plaques

d'appuis ($2 \times 0,792$ degré) soit $1,584$ degrés. Dans cette position les points de soudure auront avancé d'environ 20 mm et les chevalets seront de retour à l'horizontale.



Dessin n° 6 : Assemblage métallique avec chevalets et premier déplacement
Source : CNESST

Comme approximation, en remplacement des points de soudure, des tiges d'acier de formes circulaires et elliptiques, avec des longueurs variant de $0,25$ à 1 mm entre les chevalets et l'assemblage seront utilisées. Les soudures autour des tiges sont parfaites et beaucoup plus résistantes qu'une tige.



Dessin n° 7 : Assemblage métallique montrant les soudures hypothétiques
Source : CNESST

Maintenant, il faut calculer le moment qui sera induit dans les points de soudure. L'estimation n'utilise qu'un seul côté à la fois.

Selon la littérature : $\theta = \frac{ML}{GI} \rightarrow \frac{GI\theta}{L} = M$

$$\theta = 1,584 \text{ degrés} * \pi / 180 = 0,02765 \text{ radian}$$

$$G \text{ acier} = 79 \times 10^9 \text{ Pa}$$

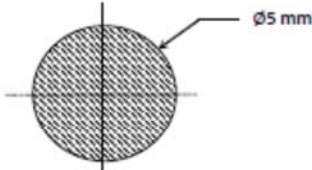
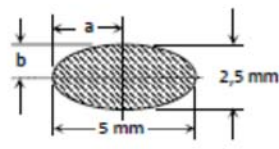
Forme		
Moment polaire	$I_{\text{Cercle}} = \frac{\pi r^4}{2} = 61,36 \times 10^{-12}$	$I_{\text{ellipse}} = \frac{\pi a^3 b^3}{(a^2 + b^2)} = 12,27 \times 10^{-12}$
Moment et contrainte aux points de soudure	$M = \frac{GI\theta}{L} = \frac{0,134}{L}$ $\tau = \frac{Mr}{I}$	$M = \frac{GI\theta}{L} = \frac{0,0268}{L}$ $\tau = \frac{2M}{\pi ab^2}$
L = 1,0 mm	$M = 134 Nm$ $\tau = \frac{Mr}{I} = 5,45 \text{ GPa}$	$M = 26,8 Nm$ $\tau = \frac{2M}{\pi ab^2} = 4,37 \text{ GPa}$
L = 0,5 mm	$M = 268 Nm$ $\tau = \frac{Mr}{I} = 10,91 \text{ GPa}$	$M = 53,6 Nm$ $\tau = \frac{2M}{\pi ab^2} = 8,73 \text{ GPa}$
L = 0,25 mm	$M = 536 Nm$ $\tau = \frac{Mr}{I} = 21,82 \text{ GPa}$	$M = 107,2 Nm$ $\tau = \frac{2M}{\pi ab^2} = 17,47 \text{ GPa}$

Tableau n° 1 : liste des résultats théoriques avec différentes formes et longueurs
Source : CNESST

Théoriquement, les formules utilisées devraient s'appliquer pour des pièces qui sont longues comparativement aux rayons des tubes. La simulation utilise ici des tiges ayant des rayons de 2,5 mm et une longueur de 1 à 0,25 mm. Les effets de bords ne peuvent plus être négligeables et une correction devrait être appliquée aux calculs.

La méthode par éléments finis va déterminer plus précisément l'état des contraintes dans le même matériel en tenant compte des effets de distribution des charges en 3 dimensions.

Considérant que les forces impliquées sont très petites pour la structure, plusieurs simplifications peuvent s'effectuer pour alléger le modèle mathématique qui ne sera pas affecté autour des soudures, soit les régions d'intérêt pour les calculs.

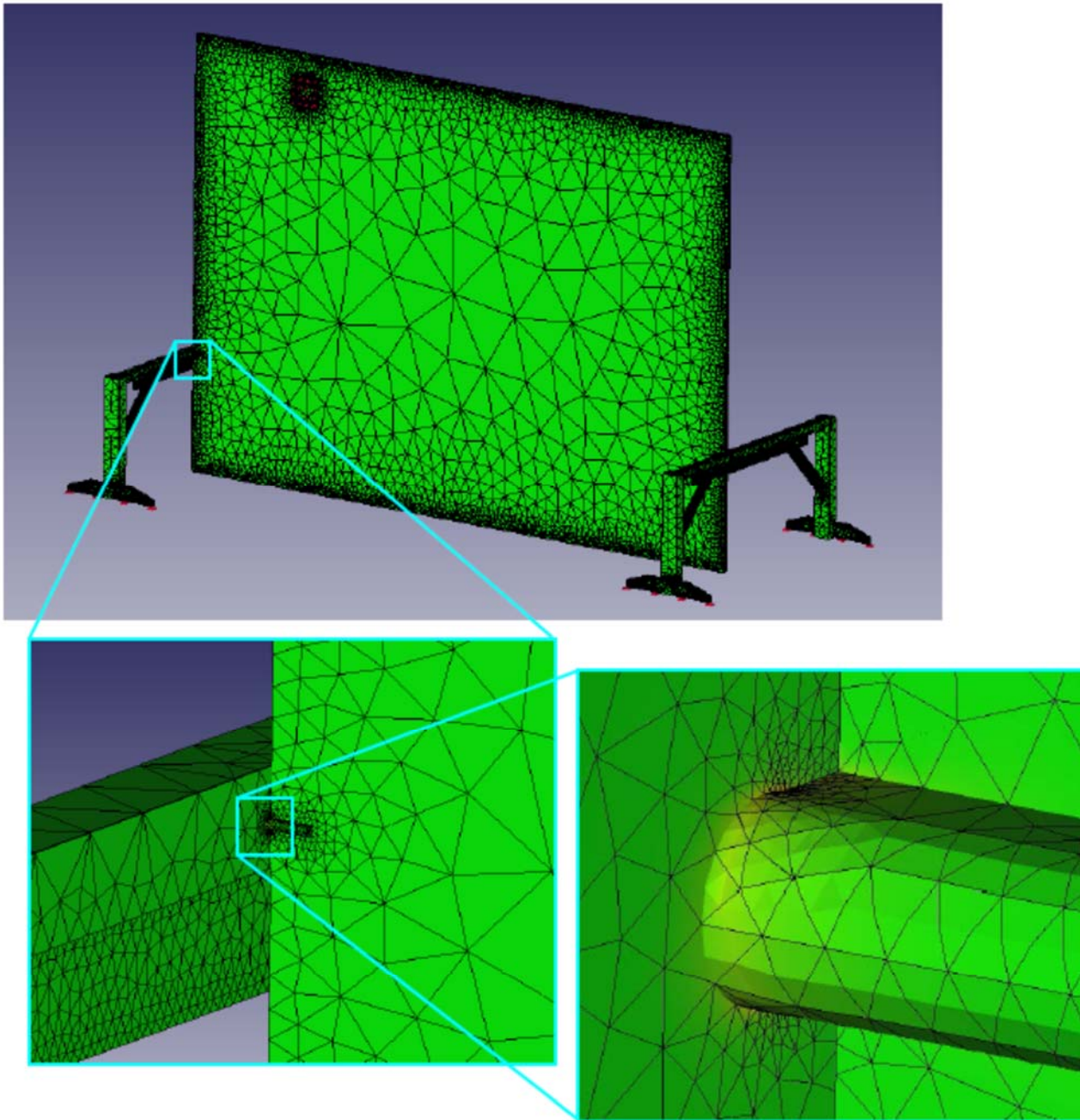


Image n° 1 : Assemblage métallique dans le logiciel d'éléments finis
Source : CNESST

Résultats avec le logiciel d'éléments finis :

	Cercles			Ellipses		
	Δ (mm)	F (N)	τ (MPa)	Δ (mm)	F (N)	τ (MPa)
L=1 mm	71,479	47,11	8 981,66	71,445	18,89	8 983,35
L=0,5 mm	71,474	53,00	9 373,79	71,462	24,95	12 034,2
L=0,25 mm	71,461	55,66	9 569,86	71,483	28,03	13 591,9

Tableau n°2 : liste des résultats obtenus avec le logiciel d'éléments finis
Source : CNESST

Le logiciel répartit les efforts autour du pivot et diminue le niveau de contrainte calculé précédemment. Cependant, les calculs précédents demeurent dans le même ordre de grandeur et la limite ultime du matériel est encore dépassée. Le premier déplacement devra être réduit pour demeurer sous la limite ultime de l'acier.

La limite ultime de l'acier peut être estimée à environ 450 MPa pour de l'acier de construction (ou jusqu'à 1 800 MPa pour de l'acier trempé). La littérature indique cependant qu'un point de soudure ne peut pas être qualifié. Les bouts des cordons de soudure sont même négligés dans les calculs, à cause des impuretés, de l'absence de chauffe continue, des contraintes induites par la trempe, des imperfections accumulées, etc.

Même en conservant la valeur de 450 MPa, l'angle maximal que l'assemblage pourrait supporter doit être trouvé. Selon la vidéo, le point de soudure de gauche a cédé le premier. En supposant qu'il avait une forme elliptique et une longueur efficace de 1 mm, l'angle maximum qu'il peut supporter est :

$$\tau = \frac{2M}{\pi ab^2} = 450 \text{ MPa} \rightarrow \frac{450 * 10^6 * \pi ab^2}{2} = M = 2,76 \text{ Nm}$$

$$M = \frac{GI\theta}{L} \rightarrow \theta = \frac{ML}{GI} = \frac{2,76 * 0,001}{79 * 10^9 * 12,27 * 10^{-12}} = 0,00284 \text{ rad}$$

$$0,00284 \text{ rad} = 0,00284 * 180 / 3,1416 = 0,16 \text{ degré.}$$

Au sommet de l'assemblage, une force d'environ 1,48 N est nécessaire pour produire cette rotation (2,76 Nm / 1,861 m = 1,48 N). Le déplacement de l'assemblage de 0,16 degrés va déplacer le haut de la structure d'environ 7,2 mm, et l'assemblage au haut du chevalet se sera déplacé d'environ 2,0 mm (peu apparent sur la vidéo).

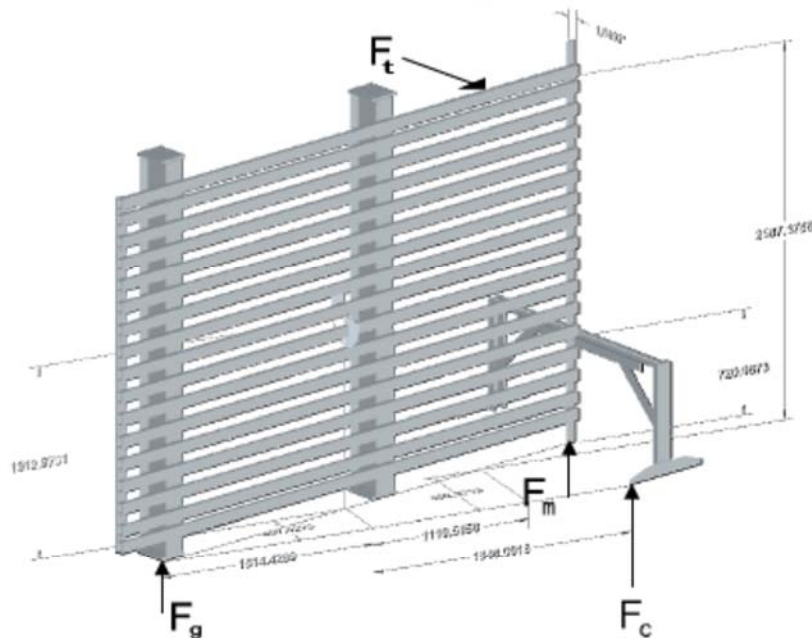
En examinant la photo 4 qui représente la trace de soudure laissée sur le chevalet de gauche :



La trace de soudure sur le chevalet ne laisse voir que très peu de pénétration et est encore plus petite qu'une ellipse de 2,5 X 5 mm.

Considérant les résultats obtenus et la documentation vidéo, à toute fin pratique, ce point de soudure n'offrait presque pas de résistance au renversement de la structure et avant 0,16 degré de rotation, le point de soudure était brisé.

Suite à la rupture du premier point de soudure, la configuration suivante sera utilisée :



Dessin n°8 : Assemblage métallique avec le chevalet de droite
Source : CNESST

Si l'assemblage était complètement rigide, la rotation de l'ensemble se ferait autour d'une ligne qui relie le point gauche en bas de la poutre de gauche et le point avant gauche du chevalet restant.

Dans ces conditions, une force de 1 389 N doit être appliquée pour soulever l'ensemble et l'assemblage va redistribuer les forces ainsi :

$F_g = 4\,851.48$ N sous la poutre gauche et $F_c = 3\,980.074$ N sous l'appui avant du chevalet.

Cependant, bien avant qu'il soit possible d'appliquer ces forces, le point de soudure restant ne résistera pas à la contrainte et il y aura brisure.

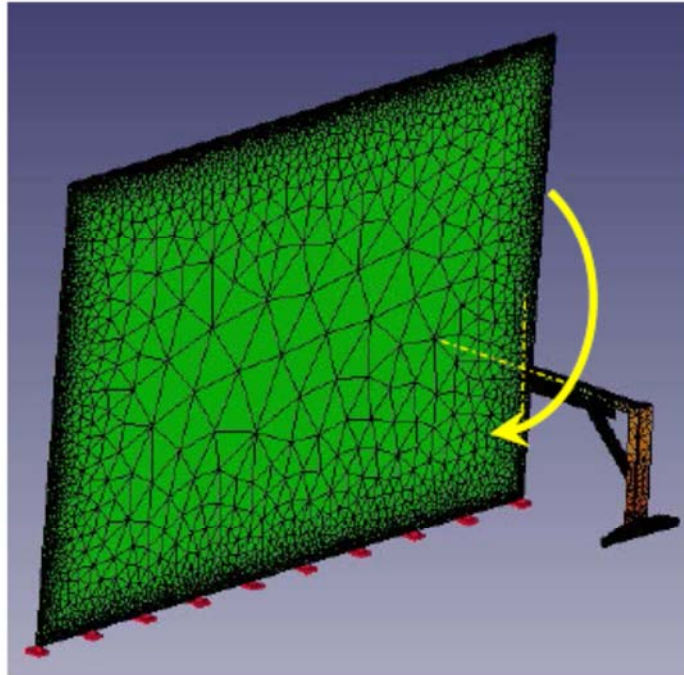


Image n° 2 : Assemblage métallique (éléments finis) sans le chevalet de gauche
Source : CNESST

La résistance du point de soudure restant n'est pas assez grande pour empêcher la rotation. En revanche, la rotation va faire en sorte que les contraintes dans la soudure seront assez grandes pour dépasser la limite ultime de l'acier. Dans ces conditions le point de soudure ne peut pas résister à une rotation de 1,6 degré, encore moins 7 degrés comme le suggère la vidéo.

Le tableau 1 montre que la soudure circulaire de 5 mm ne peut pas résister à un angle aussi petit que 1,5 degré. L'angle maximal serait de :

$$\tau = \frac{Mr}{I} \rightarrow M = \frac{\tau I}{r} = \frac{450 \cdot 10^6 \cdot 61,36 \cdot 10^{-12}}{0,0025} = 11,0448 \text{ Nm}$$

$$M = \frac{GI\theta}{L} \rightarrow \theta = \frac{ML}{GI} = \frac{11,0448 \cdot 0,001}{79 \cdot 10^9 \cdot 61,36 \cdot 10^{-12}} = 0,00228 \text{ rad}$$

$$0,00228 \text{ rad} = 0,00228 \cdot 180 / 3,1416 = 0,13 \text{ degré.}$$

Pour avoir un moment de 11,0488 Nm une force de seulement 5,93 N devra être appliquée. Le déplacement de l'assemblage de 0,13 degré va déplacer le haut de la structure d'environ 5,9 mm.

Le point de soudure de droite ne résistera pas non plus à la torsion induite et va céder sous un déplacement d'environ 6 mm du haut de l'assemblage.

Les forces nécessaires pour pousser le dessus de l'assemblage en faisant agir les soudures comme les seuls objets résistant à la rotation, débutent à zéro et augmentent proportionnellement avec l'angle de rotation.

Même en considérant que les deux soudures ont résisté jusqu'à 0,13 degrés, la force maximale nécessaire à briser les deux points de soudure n'ont pas excédé les 7,41 N.

Le déplacement du chevalet de droite

Selon les calculs effectués, aucun point de soudure ne peut résister à un déplacement excédant quelques millimètres du haut de la structure. Il faut donc que le chevalet de droite ait été poussé par la structure avec les aspérités et saillies du chevalet et de la forme de la structure.

Les chevalets ont une masse d'environ 62,8 kg. Selon la littérature, le coefficient de friction entre l'acier et le béton se situe aux environs de 0,45 pour des surfaces propres. Selon les photos prises, l'état du plancher laisse voir plusieurs poussières et résidus de soudure ce qui va réduire considérablement le coefficient de frottement. En utilisant 0,10 comme coefficient de frottement, la force appliquée au haut du chevalet (à environ 724 mm du sol) pour faire glisser un chevalet est d'environ 60 N. Au haut de la structure, une force à peu près constante d'environ 16,8 N ($60 * 0,724 / 2,585$) est nécessaire pour initier la rotation et la poursuivre durant les 7 premiers degrés. Par la suite le chevalet de droite ne bouge plus et la force d'entraînement n'est plus nécessaire.

Les forces maximales nécessaires au renversement

Finalement, la force totale maximale nécessaire au renversement serait l'addition de la force de 11,94 N pour agir contre la gravité et la masse de 851 kg, de 5,93 N pour la soudure de droite et de 1,48 N pour la soudure de gauche. À tout ceci il faut ajouter environ 16,8 N pour la force de friction des chevalets. La force totale maximale nécessaire au renversement est ainsi d'environ 36,15 N.

En tenant compte des déplacements, à l'angle zéro, la force pour vaincre la gravité est de 11,94 N et la force de friction est de 16,8 N pour un total de 28,64 N. À l'angle zéro les soudures n'offrent encore aucune résistance.

Lorsque l'assemblage est déplacé de 0,13 degrés, la soudure de droite est rendue à son maximum et vaut environ 5,93 N. Pour sa part, la soudure de gauche est à environ 1,2 N ($1,48 * 0,13 / 0,16$). La force de friction est toujours de 16,8 N mais la force pour vaincre la gravité est diminuée à 2,4 N. La force maximale avec un déplacement de 0,13 degré serait donc de 26,33 N.

Lorsque l'assemblage est déplacé de 0,16 degrés, la soudure de gauche oppose un 1,48 N mais la soudure de droite est brisée. La force de friction est toujours de 16,8 N mais la force

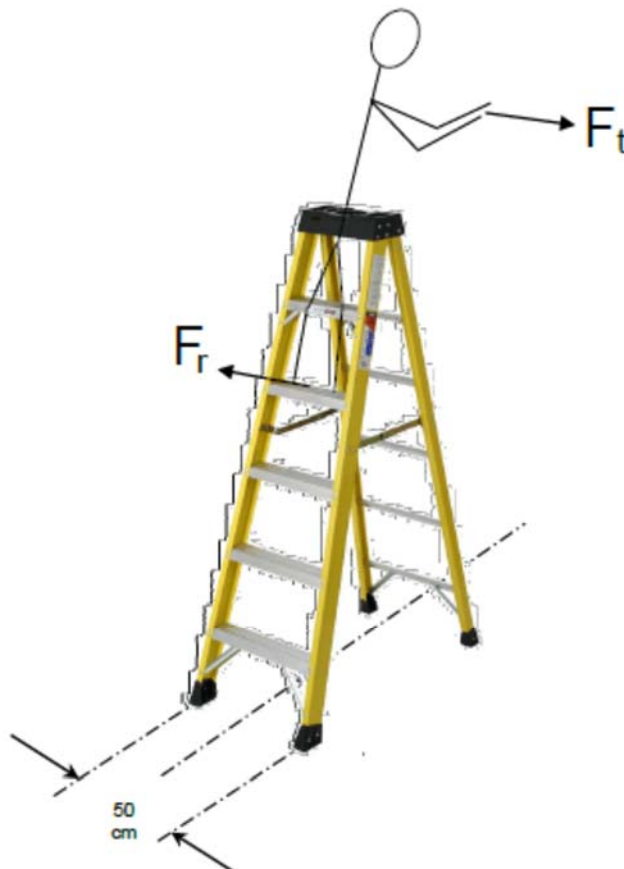
pour vaincre la gravité est inversée et est à -2 N. La force maximale avec un déplacement de 0,16 degré est de 16,28 N.

Lorsque l'assemblage continue de se déplacer d'un angle plus grand que 0,16 degrés, la force maximale nécessaire au renversement continue à diminuer. Lorsque l'angle de l'assemblage est rendu à environ 0,28 degrés, le poids de l'assemblage est suffisant pour entraîner l'assemblage et le chevalet de droite.

La force générée par le travailleur dans l'escabeau

Comme première constatation, la force nécessaire au renversement de l'assemblage par un travailleur qui la pousse par le haut est faible (environ 36,15 N).

Selon l'outil « Humanscale¹ », un travailleur poussant horizontalement avec les mains peut appliquer une force (sans efforts excessifs) d'environ 400 à 620 N. Cependant, le travailleur est monté dans un escabeau sur la quatrième marche.



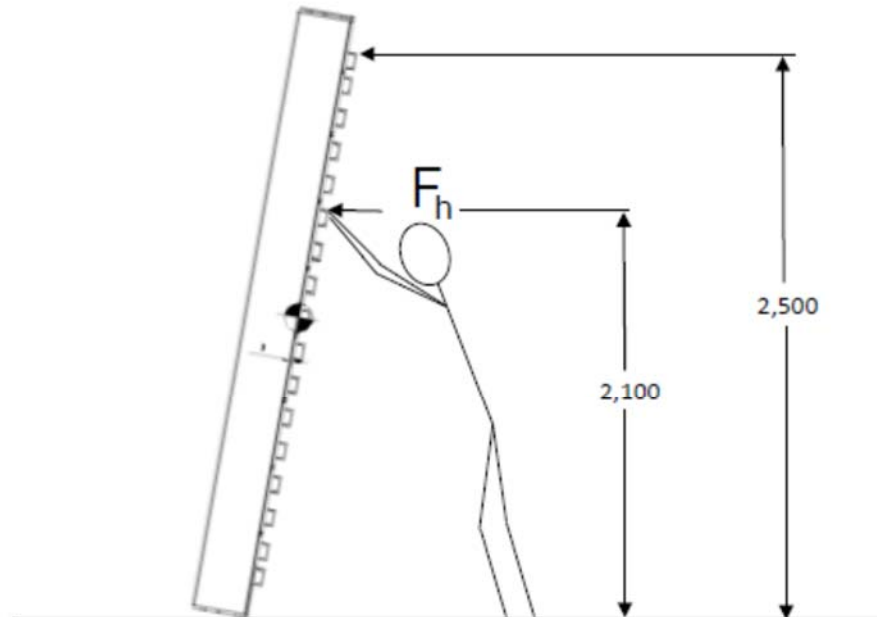
Dessin n°9 : Ensemble : travailleur et escabeau
Source : CNESST

Dans la position montrée, en supposant que l'ensemble travailleur-escabeau aie une masse combinée d'environ 80 kg, le travailleur peut exercer une force maximale sur l'assemblage d'environ 152 N, ($152 \text{ N} * 2,585 \text{ m} = 80 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,5 \text{ m}$) sinon l'escabeau va se renverser.

¹ Humanscale [™] : Body measurements, designed by Henry Dreyffuss Associates

La force nécessaire au contremaître pour retenir l'assemblage

La vidéo montre que lorsque le contremaître s'est aperçu de l'amorce de la chute de l'assemblage, qu'il a tenté de retenir ce dernier.



Dessin n° 10 : Assemblage métallique après l'amorce de la chute
Source : CNESST

Lorsqu'il applique une poussée, l'assemblage était déjà à un angle d'environ 15 degrés. La force nécessaire pour retenir le haut de l'assemblage dépasse les 1200 N. Ayant les bras vers le haut, en estimant que le contremaître peut atteindre environ 2,1 m, la force nécessaire serait d'environ 1425 N, ce qui dépasse la capacité moyenne selon la documentation précédente (human scale – 800 N pour un homme au dessus de la moyenne).

6. Conclusion

La force maximale que l'assemblage oppose au renversement est composée de 11,94 N pour agir contre la gravité et la masse de 851 kg, de 5,93 N pour la soudure de droite et de 1,48 N pour la soudure de gauche. La force nécessaire au soulèvement des chevalets a été négligée mais une force d'environ 16,8 N a été calculée pour tenir compte de la force de friction des chevalets sur le sol. Le tout donne un maximum d'environ 36,15 N.

La force totale maximale nécessaire au renversement est donc d'environ 36,15 N et le travailleur dans l'escabeau pourrait pousser jusqu'à 152 N sans faire basculer l'escabeau.

Le travailleur, seul dans l'escabeau a donc théoriquement pu faire basculer avec un effort léger (36,15 N (ou 3,68 kgf) vs les 400 à 620 N proposés par la référence précédente) sur l'assemblage métallique.

Même en considérant que les deux soudures ont résisté jusqu'à 0,13 degrés, la force maximale nécessaire à briser les deux points de soudure n'ont pas excédé les 7,41 N.

Pour sa part, le contremaître ne pouvait pas générer la force nécessaire pour retenir l'assemblage métallique aux alentours de 15 degrés de rotation (environ 1425 N).

ANNEXE E

Références bibliographiques

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail : RLRQ, à jour au 23 novembre 2016*, [En ligne], 2016.
[www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=2&file=/S_2_1/S2_1.html]