EN004255

RAPPORT D'ENQUÊTE

Accident ayant causé la mort d'un travailleur de l'entreprise Bétons préfabriqués du Lac inc. située au 865, boulevard Maurice-Paradis à Alma le 6 septembre 2019.

Service de la prévention-inspection Saguenay-Lac-St-Jean
Direction de la prévention-inspection Capitale-Nationale et Centre-Nord

Version dépersonnalisée

Inspecteurs : **Stéphane Simard** **François Duchesne, ing. jr**

Date du rapport : 18 mars 2020

Rapport distribué à :

- Monsieur [A], […], BPDL inc.
- Monsieur [B], […], BPDL inc.
- Docteur Dominique Emond, coroner
- Docteur Donald Aubin, directeur de la santé publique

TABLE DES MATIÈRES

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT 1

2 ORGANISATION DU TRAVAIL 3

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 5

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL 7

3.1 DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL 7
3.2 DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER 8
3.2.1 ÉQUIPEMENT ET MATÉRIEL 9

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE 13

4.1 CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT 13
4.2 CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES 14
4.2.1 DESCRIPTION DU PANNEAU S31A 14
4.2.2 TÂCHE À ACCOMPLIR ET DIFFICULTÉS RENCONTRÉES 15
4.2.3 PROBLÈME CONCERNANT LES TIGES DE RETENUE 18
4.2.4 HORAIRE DE TRAVAIL 18
4.2.5 MÉTHODES DE TRAVAIL 18
4.2.6 FORMATION 19
4.2.7 EXPERTISE SUR LE BASCULEMENT DU PANNEAU S31A 19
4.2.8 STABILITÉ DES PANNEAUX 21
4.2.9 DÉCLARATION DES TÉMOINS 21
4.2.10 LÉGISLATION APPLICABLE 22
4.3 ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES 22
4.3.1 UN PANNEAU DE BÉTON DE 3 368 KG ÉCRASE LE TRAVAILLEUR APRÈS QU'UNE TIGE DE RETENUE EST ENLEVÉE POUR L'APPLICATION DE LA MEMBRANE 22
4.3.2 LA GESTION DES TÂCHES RELIÉES À LA FINITION DES PANNEAUX EST DÉFICIENTE CAR UNE MÉTHODE DE TRAVAIL DANGEREUSE EST UTILISÉE CAUSANT L'ÉCRASEMENT DU TRAVAILLEUR. 23

5 CONCLUSION 25

5.1 CAUSES DE L'ACCIDENT 25
5.2 AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE 25
5.3 SUIVI DE L'ENQUÊTE 25

ANNEXES 27

ANNEXE A ACCIDENTÉS 28
ANNEXE B LISTE DES TÉMOINS ET DES AUTRES PERSONNES RENCONTRÉES 29
ANNEXE C RAPPORT D'EXPERTISE 30
ANNEXE D LISTE DES FIGURES 31
ANNEXE E RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE 42

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 6 septembre 2019, le travailleur est affecté à l'application d'une membrane liquide sur un panneau de béton dans le secteur de la réparation-finition de l'usine. Le panneau repose debout, sur le sens de sa longueur et il est maintenu à l'aide de tiges en acier placées de chaque côté. Le travailleur se tient derrière le panneau pour appliquer la membrane à l'aide d'un rouleau. À un moment des travaux, le travailleur s'aperçoit que la tige arrière l'empêche d'appliquer la membrane. Le travailleur conclut qu'il faut enlever la tige. Après que la tige est retirée, le panneau de 3 368 kg bascule subitement et écrase le travailleur.

Conséquence

Le travailleur décède.

Figure 1 - Scène de l'accident

Abrégé des causes

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

- Un panneau de béton de 3 368 kg écrase le travailleur après qu'une tige de retenue est enlevée pour finaliser l'application de la membrane.
- La gestion des tâches reliées à la finition des panneaux est déficiente, car une méthode de travail dangereuse est utilisée causant l'écrasement du travailleur.

Mesures correctives

Le 6 septembre 2019, la CNESST ordonne la fermeture du secteur de la réparation-finition de l'usine (RAP9142260). Pour autoriser l'accès à cette partie de l'usine, la CNESST exige que l'employeur démontre que les panneaux sont maintenus en place de manière à éviter leur basculement.

Le 10 septembre 2019, la CNESST autorise la réouverture du secteur de la réparation-finition, car l'employeur a élaboré une méthode temporaire pour sécuriser ce secteur (RAP1278096). Toutefois, la CNESST maintient l'interdiction de déplacer les panneaux dans le secteur visé ainsi que l'interdiction d'effectuer des travaux de réparation et de finition dans l'ensemble de l'usine.

Le 8 octobre 2019, la CNESST autorise la reprise des travaux de réparation et de finition et le déplacement des panneaux. En effet, l'employeur a soumis des méthodes de travail sécuritaires et a formé les travailleurs (RAP1281088).

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

BPDL inc. est une entreprise spécialisée dans la production de pièces de béton préfabriquées. Les activités de l'entreprise sont intégrées, de la transformation des matières premières pour la production de panneaux jusqu'à la livraison et l'installation de ceux-ci sur les chantiers. L'entreprise compte de nombreuses filiales au Québec et à l'extérieur du pays (voir figure 2). L'entreprise Bétons préfabriqués du Lac inc., basée à Alma, est l'une d'elles.

Figure 2 - BPDL inc. et ses filiales

Source : BPDL (modifiée CNESST)

Bétons préfabriqués du Lac inc. comprend deux (2) établissements à Alma et un à Chicoutimi. L'accident est survenu à l'usine située au 865, boulevard Maurice-Paradis à Alma, connue sous le nom d'« usine de la Papeterie ». Des panneaux de béton architecturaux et structuraux sont fabriqués dans l'établissement depuis 1997.

L'établissement compte 28 travailleurs syndiqués et trois (3) cadres. Un contremaître supervise l'ensemble de l'usine. Les activités sont réparties en trois (3) principaux secteurs, soit la fabrication, la réparation-finition ainsi que l'expédition. Sept (7) journaliers et un contrôleur de la qualité sont affectés au secteur de la réparation-finition (voir figure 3).

[…]

Figure 3 - Organigramme de l'usine

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

L'établissement œuvre dans le secteur économique 10 – *Fabrication de produits minéraux non métalliques*, lequel fait partie du groupe prioritaire II. L'inclusion dans ce groupe oblige les entreprises à mettre en application un programme de prévention et, sur demande, un comité de santé et de sécurité (CSS), comme prévu aux articles 58 et 69 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., chapitre S-2.1).

L'entreprise possède un CSS actif composé de [E] ([…]), du […] et de trois (3) travailleurs. Les membres se réunissent tous les deux (2) mois et un compte-rendu est rédigé après chaque rencontre. Une inspection du milieu de travail a lieu avant la tenue d'un CSS. Les sujets traités par le comité sont les problématiques identifiées lors de l'inspection et les accidents survenus depuis la dernière rencontre. Un plan d'action comprenant un échéancier est suivi lors des rencontres. La dernière rencontre du CSS a eu lieu en août 2019.

Les travailleurs sont également invités à participer à des pauses sécurité. Ces pauses ont lieu au besoin, généralement une fois par mois. Ces rencontres ont pour but d'aborder certaines problématiques récurrentes en santé et sécurité du travail. De plus, un retour est fait aux travailleurs sur les accidents survenus depuis la dernière pause. Ces pauses sécurité sont documentées et un registre de présences est tenu.

[…]. Au cours des trois (3) dernières années, […] s'est rendue à l'usine annuellement. Un rapport comprenant des recommandations est produit après chaque visite.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

La gestion de la santé et de la sécurité relève de la compagnie mère, soit BPDL inc. Les personnes ressources en SST sont partagées entre les différentes filiales. [E] est affectée à la coordination des activités dans sept (7) établissements relevant de la maison-mère. Elle participe aux rencontres du CSS, assure l'accueil des nouveaux travailleurs, fait de l'observation de tâches et encadre les projets en santé et sécurité. À l'usine de la Papeterie, [C] a pour rôle d'encadrer les travailleurs et de leur assurer un milieu de travail sain.

2.2.2.1 Programme de prévention

L'employeur a produit un programme de prévention spécifique à l'établissement. Il a été mis à jour pour la dernière fois en novembre 2018. Le programme se présente sous forme d'un assemblage de divers documents. On y retrouve notamment les éléments suivants :

- Politiques en santé et sécurité du travail
- Rôles et responsabilités
- Mesures disciplinaires
- Procédures de travail
- Règles de sécurité
- Analyse de risques
- Mesures d'urgence
- Processus d'enquête et d'analyse d'accidents

Malgré cette structure, la plupart des tâches effectuées dans le milieu de travail ne sont que partiellement couvertes par ces éléments. De surcroît, certaines tâches ne sont pas du tout abordées.

Le programme de prévention n'est pas couramment utilisé pour gérer la santé et la sécurité dans le milieu de travail. Son emplacement et son contenu sont d'ailleurs inconnus du contremaître responsable de l'usine. Par ailleurs, la moitié des travailleurs interrogés ne connaissent pas l'existence du programme de prévention.

2.2.2.2 Supervision et inspection des lieux

La supervision est assurée par [C]. Celui-ci vérifie que les règles de sécurité qu'il connait sont respectées lorsqu'il est dans l'usine et émet des avis disciplinaires au besoin. Les travailleurs se réfèrent à [C] ou aux travailleurs plus expérimentés lorsqu'ils ont besoin d'information ou de support quand ils rencontrent un problème.

Une inspection des lieux documentée est effectuée aux deux (2) mois par un travailleur membre du CSS. Les observations sont présentées au comité qui prévoit les correctifs à apporter. Un audit a été réalisé par [E] et [N] pour la première fois en août 2019. Cet audit traite de la tenue des lieux, des produits dangereux, des machines et des équipements de levage.

2.2.2.3 Formation et information

Un programme d'accueil des nouveaux travailleurs est en place depuis le début de 2019. L'accueil consiste à présenter un document d'information et à faire visiter l'usine lors de l'embauche. Le document présente certaines consignes de sécurité, les rôles et responsabilités, les politiques en santé et sécurité du travail ainsi que les risques présents dans certains secteurs.

Par la suite, les nouveaux travailleurs apprennent leurs tâches par compagnonnage. Les travailleurs expérimentés partagent ainsi leur savoir-faire avec les nouveaux. Il s'agit du principal mode de transmission des connaissances dans l'organisation.

L'employeur dispense également des formations prévues par règlement, telles que le secourisme en milieu de travail, l'utilisation d'un chariot élévateur, l'utilisation d'un pont roulant et le SIMDUT[1].

[1] Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

L'usine de la Papeterie fabrique des panneaux de béton destinés à la construction de bâtiments.

Figure 4 - Vue aérienne du site de l'usine

Source : Bing.com (modifiée CNESST)

L'usine, d'une superficie de 2 300 m^2, est séparée en deux (2) secteurs distincts : le secteur de la production et le secteur de la réparation-finition (voir figure 5).

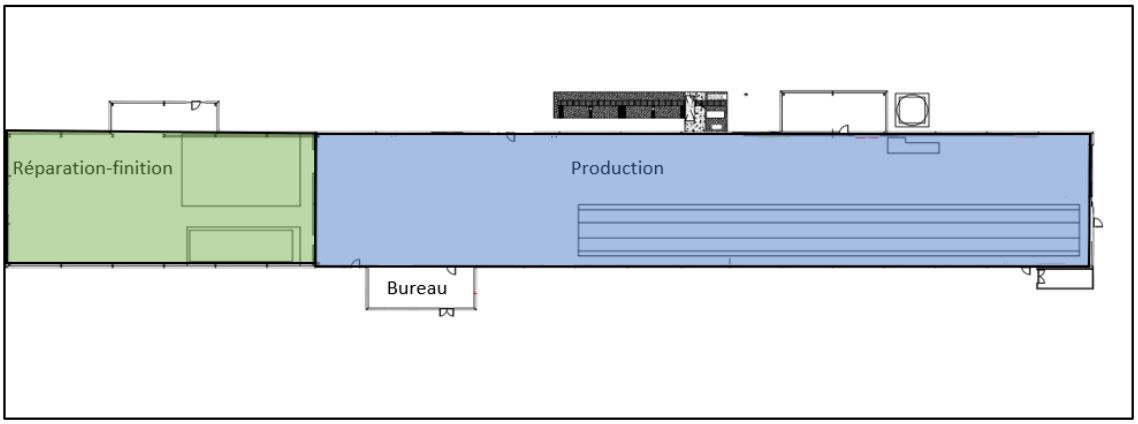

Figure 5 - Plan de l'usine

Source : BPDL (modifiée CNESST)

La fabrication des panneaux comporte différentes étapes. Du côté de la production, le béton est coulé dans des moules de formes et de dimensions variées. Une fois le béton durci, les panneaux sont démoulés et entreposés dans des supports. Des ponts roulants sont utilisés pour déplacer les panneaux. Ils doivent reposer 48 heures avant de subir les traitements de réparation et de finition.

Les panneaux sont transportés dans la cabine à jet de sable où ils sont nettoyés et ébavurés avant d'être entreposés dans les supports du secteur de la réparation-finition (voir figure 6).

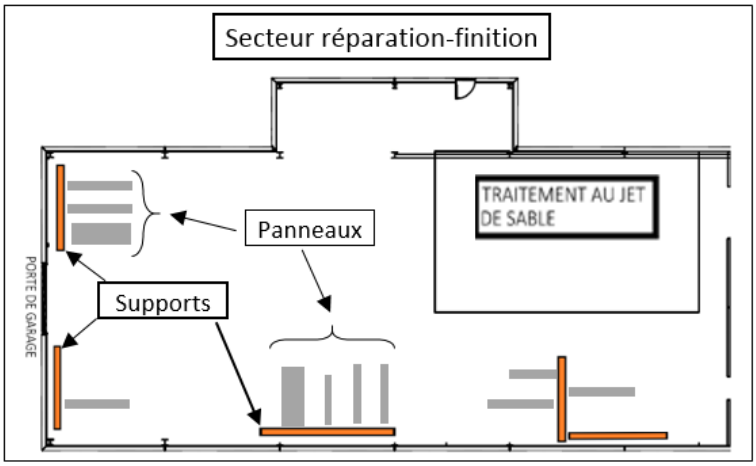

Figure 6 - Entreposage des panneaux

Dans ce secteur, les imperfections à la surface des panneaux sont réparées et les fenêtres ainsi que les matériaux isolants sont installés.

Une fois le panneau terminé, il est déplacé dans la zone d'entreposage extérieure à l'aide d'un pont roulant. Les panneaux sont ensuite chargés sur des remorques par l'équipe d'expédition avant d'être livrés aux clients.

3.2 Description du travail à effectuer

Il y a deux (2) équipes affectées au secteur de la réparation-finition. L'une d'elles est chargée de réparer les imperfections à la surface du panneau. L'autre équipe s'occupe de poser les fenêtres et les matériaux isolants. Cette équipe est composée de deux (2) journaliers qui ont pour tâche de poser les joints d'étanchéité et deux (2) autres qui sont responsables de poser les fenêtres et les membranes d'étanchéité.

Dans le secteur de la réparation-finition, il n'y a que les deux (2) opérateurs de ponts roulants (ci-après nommés « opérateurs ») qui sont autorisés à déplacer les panneaux. Ceux-ci sont également responsables d'entreposer les panneaux en prévision des travaux de réparation et de finition qui y seront faits.

3.2.1 Équipement et matériel

Panneaux

Le contrat « *Vandewater* », en cours depuis juin 2019, vise la construction d'un bâtiment en béton architectural situé à New York. L'enveloppe extérieure du bâtiment est divisée en plusieurs panneaux de béton préfabriqués. Les panneaux sont fabriqués à l'usine de la Papeterie et sont ensuite livrés sur le chantier pour y être assemblés.

Tous les panneaux portent un numéro d'identification. Le poids et la forme des panneaux varient grandement. Selon leur géométrie, le centre de gravité de certains panneaux ne se trouve pas au-dessus de leur point d'appui lorsqu'ils sont entreposés.

Le plan précise l'emplacement du centre de gravité des panneaux. Il est marqué directement sur le panneau pour faciliter, entre autres, le positionnement des accessoires de levage. Le plan est utilisé également pour déterminer l'emplacement des boucles de levage. Celles-ci sont insérées dans le béton frais à l'étape de la production.

Système de retenue

Les supports utilisés pour retenir les panneaux sont en place dans l'usine depuis plusieurs années et sont fixés à la structure du bâtiment. Chaque support est constitué de trois (3) barres horizontales situées à différentes hauteurs et de tiges de retenue amovibles (voir figure 7). Aucun calcul n'a été réalisé pour déterminer la capacité des supports.

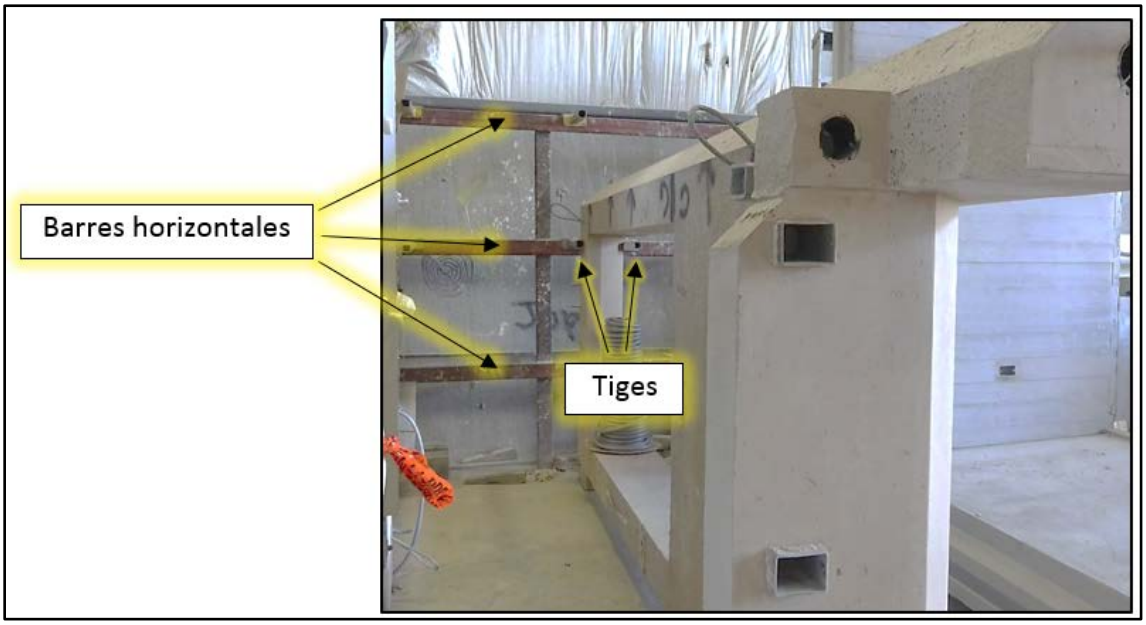

Figure 7 - Barres horizontales des supports

Les panneaux sont placés perpendiculairement aux supports et sont maintenus à l'aide de tiges qui sont placées de chaque côté du panneau. Les tiges d'une longueur de 35,5 cm sont placées sur les barres horizontales (voir figure 8).

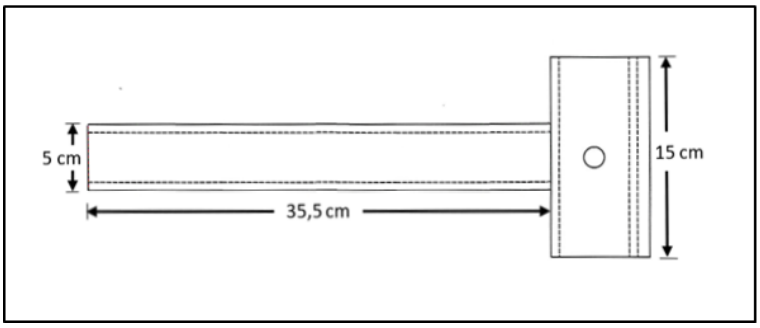

Figure 8 – Plan d'une tige de retenue

Pour positionner les tiges, des goupilles sont insérées dans des trous situés dans les barres. L'espacement entre chaque trou est de 5 cm ce qui permet de recevoir des panneaux de différentes épaisseurs (voir figure 9).

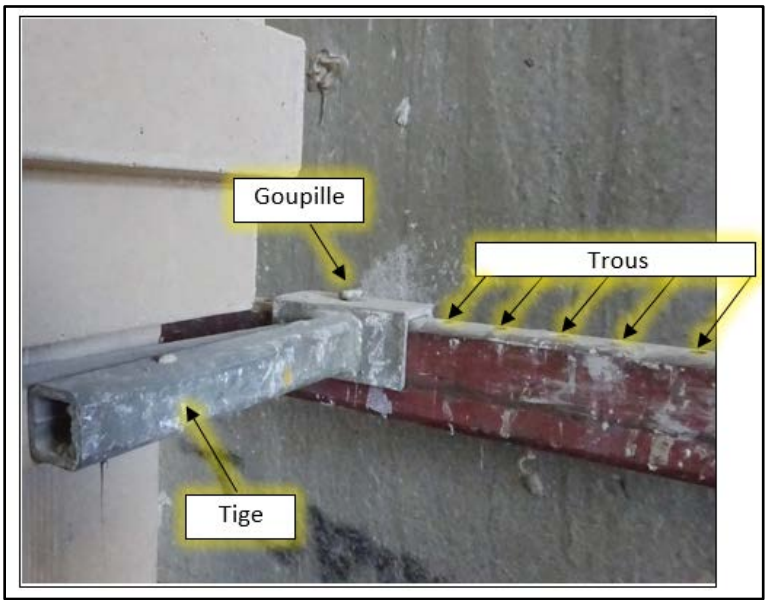

Figure 9 - Assemblage tige et barre horizontale

Les panneaux sont déposés sur des blocs de bois de 15 cm x 15 cm (6 po x 6 po) afin d'éviter de briser la façade du panneau.

Des coins de bois sont insérés entre la tige et le panneau afin de bien le retenir en place. Les coins ont une longueur d'environ 390 mm et une épaisseur maximale de 76 mm (voir figure 10).

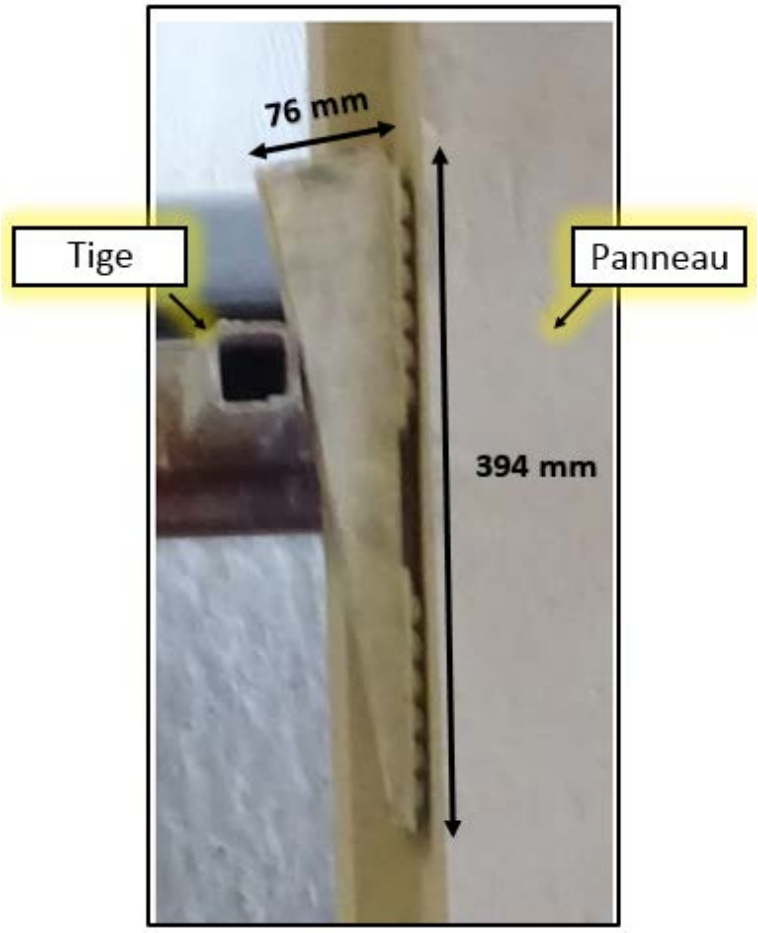

Figure 10 - Coin de bois

Membrane et rouleau

Certaines membranes d'étanchéité sont autocollantes et d'autres sont sous forme liquide selon les demandes du client. Pour le contrat « *Vandewater* », la membrane est liquide. Elle est appliquée avec un rouleau de 100 mm de longueur et de 38 mm de diamètre (voir figure 11).

Figure 11 - Réplique 3D du rouleau

La membrane est appliquée au bas de l'ouverture dans laquelle la fenêtre sera insérée. La membrane doit également dépasser d'au moins 15 cm sur la surface arrière du panneau (voir figure 12). Cette information a été communiquée aux travailleurs de la finition au début du contrat « *Vandewater* ».

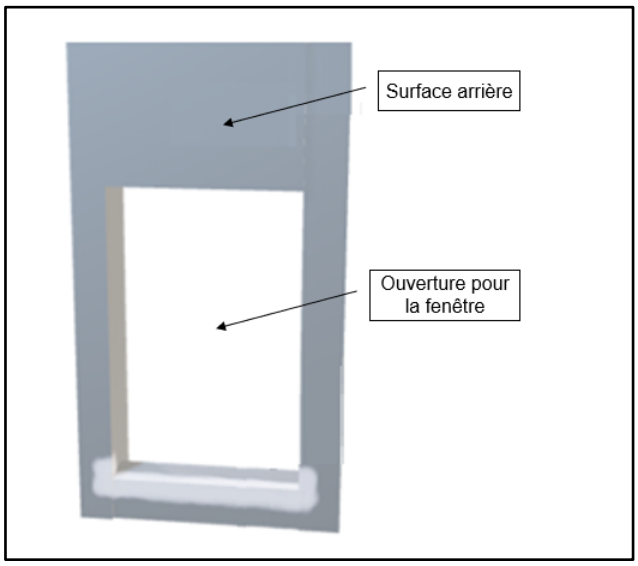

Figure 12 - Emplacement de la membrane sur un panneau avec fenêtre

Le temps de séchage de la membrane est de 2 à 4 heures. Notons qu'il faut attendre que la membrane soit complètement sèche avant d'installer la fenêtre.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le jour de l'accident, le travailleur débute sa journée à 7 h. Sa tâche est d'assister le journalier responsable de l'installation des fenêtres. Dans l'avant-midi, le travailleur aide son collègue à ajuster les fenêtres dans les panneaux. Vers 11 h, le travailleur effectue des tâches seul, car son collègue se rend dans la cour pour décharger du matériel. Les travailleurs dînent de 12 h à 12 h 30. Après le dîner, le travailleur est seul pour effectuer ses tâches. Vers 13 h 30, son collègue revient dans l'usine et les deux (2) travailleurs appliquent la membrane sur les panneaux n^{os} 5 et 10 (voir figure 13). Par la suite, le travailleur applique la membrane sur le panneau n^{o} 4 alors que son collègue s'affaire sur le panneau n^{o} 2. La distance entre les deux (2) travailleurs est de moins de 4 mètres. Le travailleur est dos à son collègue.

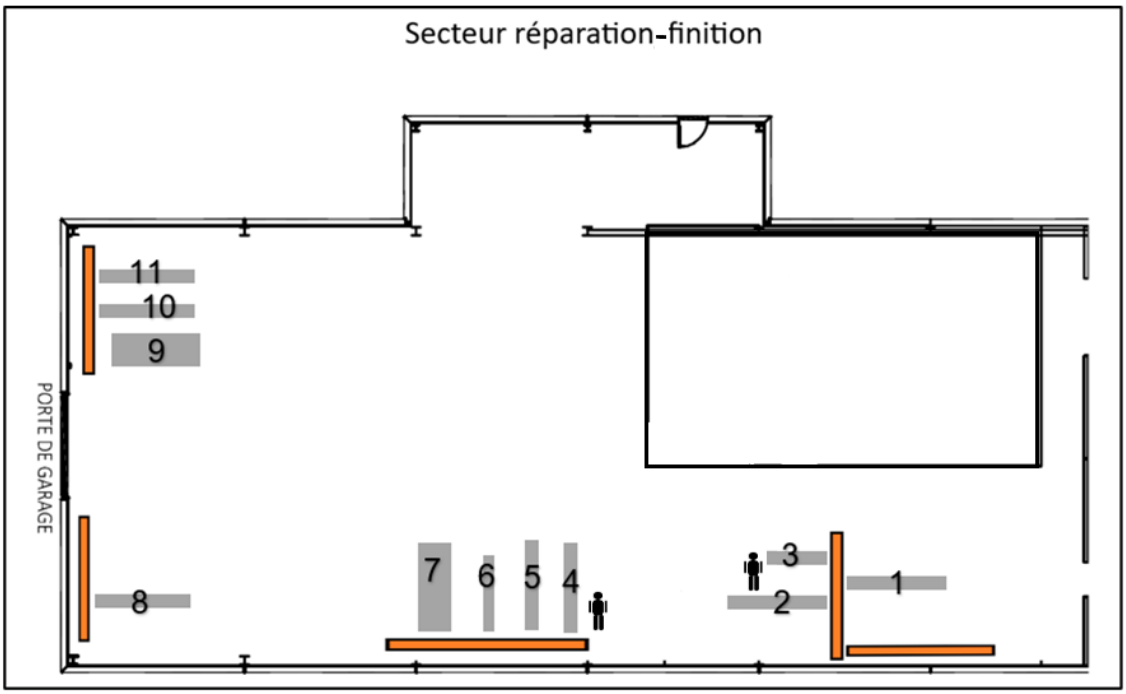

Figure 13 - Numérotation des panneaux et position des travailleurs avant l'accident

Lorsque le travailleur constate qu'une des tiges empêche d'appliquer la membrane avec le rouleau, il se retourne et demande à son collègue ce qu'il doit faire pour enlever la tige. Celui-ci lui explique qu'il peut enlever la tige mais qu'il doit d'abord en placer une autre sur la barre inférieure. Une vingtaine de secondes après avoir parlé au travailleur, le collègue entend un bruit assourdissant. Il voit que le panneau a basculé au sol et que le travailleur est sous le panneau. Les secours sont appelés. Le décès du travailleur est constaté par les ambulanciers.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Description du panneau S31A

Le panneau S31A, en cause dans l'accident, a une masse de 3368 kg. Dans sa position lors de l'accident, il a une hauteur de 2 m, une largeur de 4,35 m et une épaisseur de 23 cm (voir figure 14).

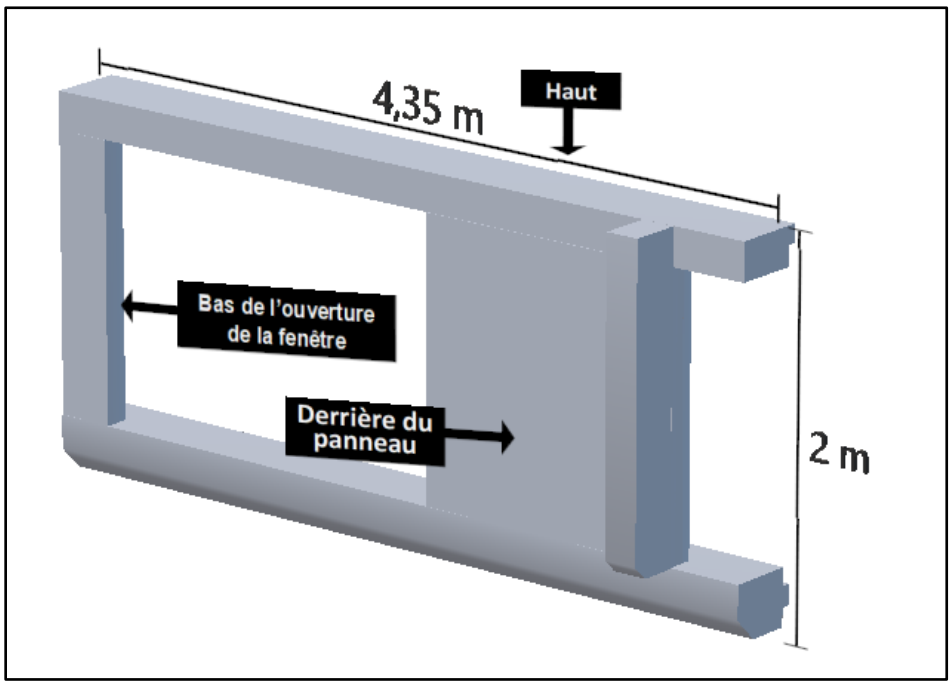

Figure 14 – Dimensions et positionnement du panneau S31A

Le panneau est dans cette position pour répondre aux contraintes du transport routier. Il a donc été soulevé avec les boucles du haut. Il est demeuré dans cette position pour effectuer toutes les tâches de réparation et de finition (voir figure 15).

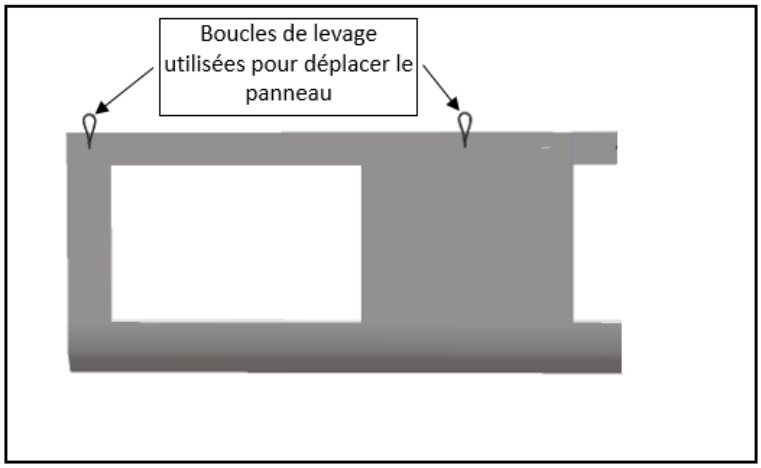

Figure 15 - Positionnement du panneau pour la manutention

4.2.2 Tâche à accomplir et difficultés rencontrées

La tâche du travailleur est d'assister le journalier responsable de l'installation des fenêtres dans les panneaux de béton. Rappelons qu'il n'y a qu'une seule équipe affectée à l'installation des fenêtres. Une des tâches du travailleur consiste à appliquer la membrane liquide. Le plan du panneau précise les endroits où la membrane doit être appliquée (voir figure 16).

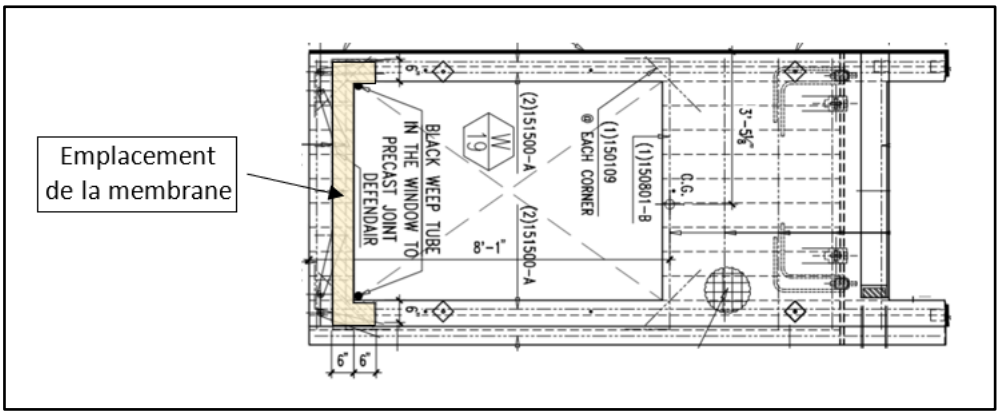

Figure 16 - Emplacement de la membrane sur le panneau S31A

Source : BPDL (modifiée CNESST)

La membrane liquide est versée dans un bac à peinture. Les deux (2) travailleurs utilisent le même bac au moment de l'accident. Il est placé sur un échafaudage mobile situé entre les travailleurs.

Le support utilisé pour maintenir le panneau S31A est constitué de trois (3) barres horizontales. Cependant, seule la barre du milieu, qui est à une hauteur de 155 cm, est utilisée pour maintenir le panneau. Les autres barres sont situées respectivement à une hauteur de 74 cm et de 236 cm (voir figure 17).

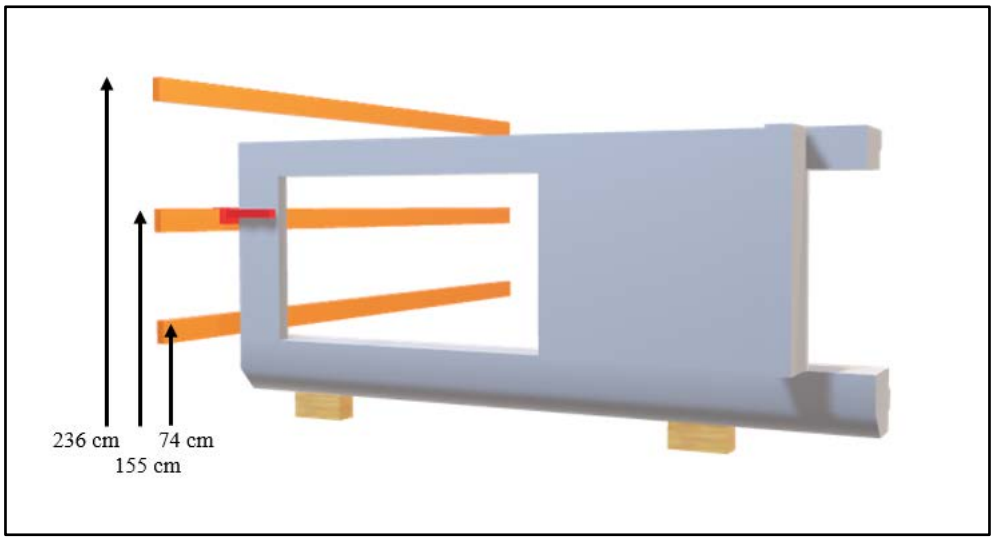

Figure 17 - Hauteur des barres horizontales

La hauteur du panneau ne permet pas d'utiliser la barre supérieure puisque le panneau ne mesure que 215 cm sur les blocs de bois. La barre du bas, quant à elle, n'est pas utilisée.

Étant donné la forme du panneau, l'emplacement des barres de support et la longueur des tiges, il aurait été impossible de le positionner dans l'autre sens sans modifier la hauteur ou la longueur des tiges (voir figure 18).

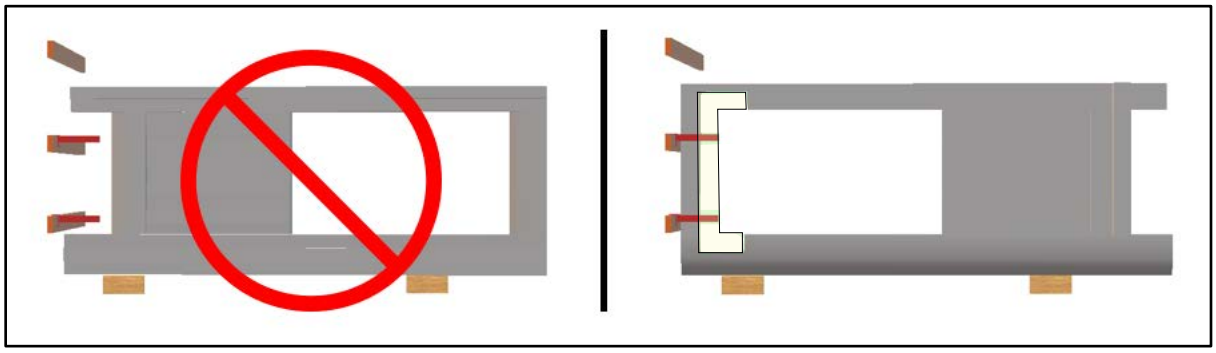

Figure 18 – Positions possibles du panneau

Le panneau est positionné à moins de 20 cm du support. Dans cette position, la tige arrière nuit à l'application de la membrane, car l'espace entre la tige et le panneau empêche le passage du rouleau (voir figure 19).

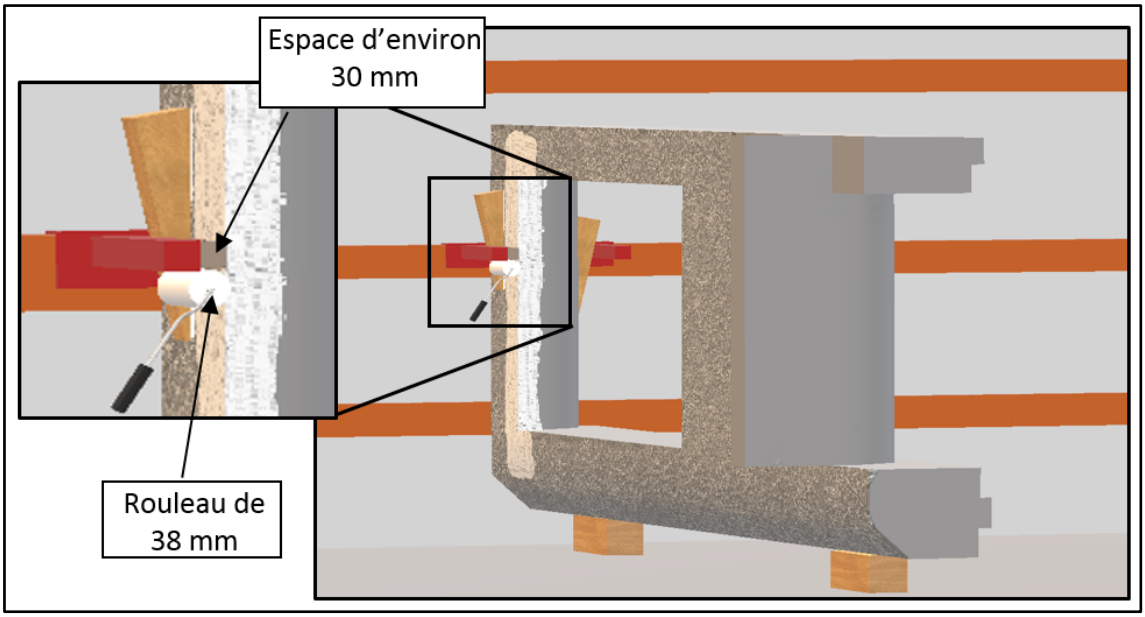

Figure 19 - Espace entre la tige et le panneau

Une photo de l'arrière du panneau (figure 21) montre les marques de membrane laissées par la tige et le coin. En comparant ces marques avec l'épaisseur d'un coin (figure 20), on constate que l'espace libre créé par le coin est inférieur à 38 mm vis-à-vis de la tige.

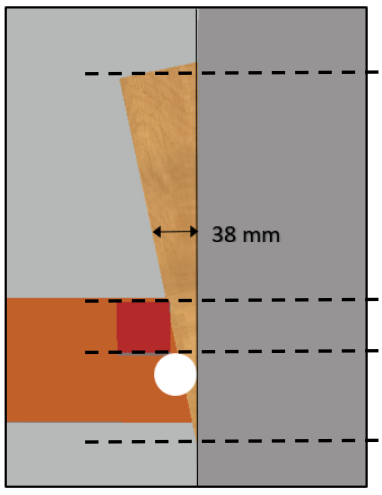

Figure 20–Espace pour le Rouleau

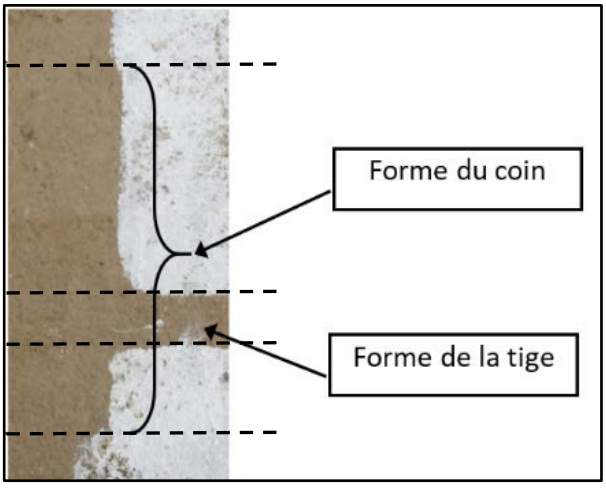

Figure 21 –Photo des marques sur le panneau

Il est à noter que, selon la fiche technique, le produit peut être appliqué avec un pinceau à poils de nylon ou un rouleau de 19 mm au lieu de celui de 38 mm. Cependant, ce matériel n'est pas disponible pour le travailleur.

4.2.3 Problème concernant les tiges de retenue

Lors de son témoignage, [C] déclare que ce n'est pas la première fois qu'une tige nuit aux tâches de réparation et de finition. Il mentionne d'ailleurs qu'il faut parfois enlever des tiges pour l'application de la membrane, l'installation de la fenêtre ou la pose du joint d'étanchéité. De plus, deux (2) des travailleurs interrogés disent avoir déjà enlevé une tige pour faire leur travail.

[…] témoigne avoir constaté à trois (3) reprises qu'il manquait des tiges pour maintenir les panneaux. Ces observations ont eu lieu entre le 5 et le 28 août 2019.

La première fois, [D] a informé tous les travailleurs du secteur de la réparation-finition de ne pas enlever les tiges. Lors du 2e évènement, les travailleurs ont de nouveau été informés par [D] de ne pas enlever les tiges. [D] a également avisé [C] et [E] de la situation.

Après le 3e évènement, [D] a demandé à [E] de venir immédiatement informer les travailleurs sur le sujet. La rencontre a eu lieu le 28 août 2019 vers 11 h. Les travailleurs ont alors été informés par [D] et [E] qu'ils doivent laisser les tiges en place. Cette dernière ajoute que seuls les opérateurs ont le droit d'enlever les tiges. Tous les travailleurs du secteur de la réparation-finition étaient présents à la rencontre et tous ont signé un formulaire de présence. Il est à noter que [C] n'est pas présent à cette rencontre.

[E] a informé [C] et [F] qu'elle a tenu une rencontre. Aucune autre intervention n'a été faite par l'employeur. De plus, aucun autre membre de la direction n'a été informé du problème.

4.2.4 Horaire de travail

Les panneaux sont démoulés très tôt le matin. Un des opérateurs du secteur de la réparation-finition commence son quart de travail à 3 h 30 tandis que l'autre débute à 5 h 15. Ils terminent donc leur journée de travail respectivement à 11 h 15 et à 13 h.

Le quart de travail des autres journaliers du secteur de la réparation-finition est de 7 h à 15 h 15. Au moment de l'accident, vers 13 h 45, aucun opérateur n'est présent dans le secteur de la réparation-finition.

4.2.5 Méthodes de travail

Il n'y a aucune méthode de travail écrite pour l'application de la membrane. Le programme de prévention ne traite pas des méthodes à utiliser pour les travaux de finition ou pour maintenir les panneaux.

Les panneaux sont placés dans les supports de manière à éviter de devoir les retourner. En effet, le positionnement des panneaux dépend surtout du sens dans lequel le panneau a été démoulé, de la configuration des supports et des contraintes du transport routier.

Concernant les tiges, les coins et les blocs de bois, ceux-ci sont installés par les opérateurs. Les opérateurs décident du nombre de tiges et de l'emplacement de celles-ci selon la dimension et la forme du panneau. Il a été constaté que certains coins de bois sont absents ou sont placés à l'horizontale par les opérateurs. [C] mentionne que les opérateurs enfoncent parfois les coins moins fermement de sorte que certains s'enlèvent sans effort.

4.2.6 Formation

L'équipe de finition comprend quatre (4) journaliers, dont […] sont à ce poste depuis moins de deux mois. La formation des travailleurs a été donnée par compagnonnage.

La victime, quant à elle, travaille pour l'entreprise depuis […]. [E] lui a donné son accueil et [C] lui a fait visiter l'usine pour lui montrer ses tâches. Le travailleur a été jumelé à un collègue ayant de l'expérience à ce poste dans le but de lui montrer le travail. Ainsi, le travailleur apprenait par compagnonnage et un suivi informel était prévu entre [C] et le collègue.

M. [D] effectue le déplacement et la mise en place des panneaux depuis une […]. [D] a été formé sur sa tâche par un collègue de l'époque. M. [G], […], est jumelé à M. [D] afin que ce dernier lui montre, notamment, comment installer les tiges. Aucun suivi n'est fait par l'employeur concernant le contenu ou la qualité de la formation qui est prodiguée par le travailleur expérimenté.

Tous les travailleurs qui utilisent les ponts roulants détiennent une formation d'opérateur.

4.2.7 Expertise sur le basculement du panneau S31A

Une étude de la dynamique du basculement du panneau de béton a été réalisée par un ingénieur en mécanique. Le rapport découlant cette étude se trouve à l'Annexe C. Le panneau a été reproduit à partir des plans dans un logiciel de conception assistée par ordinateur (voir figure 22).

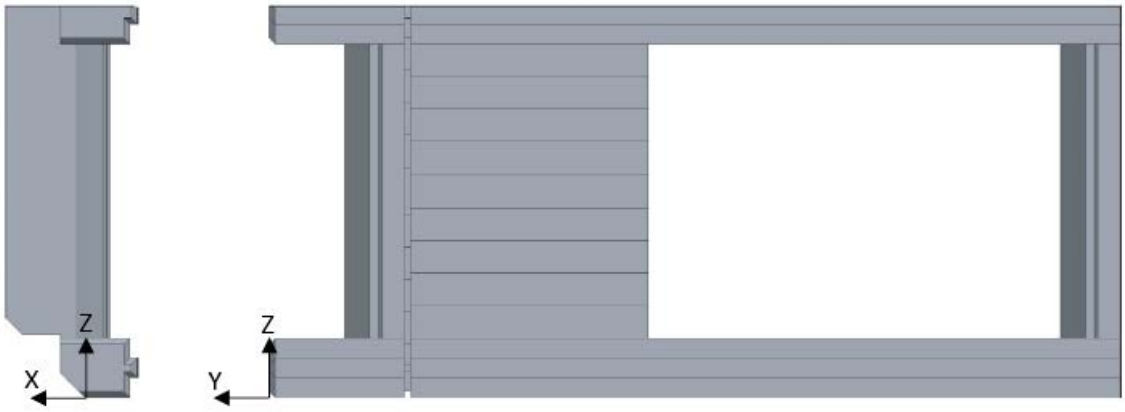

Figure 22 - Réplique du panneau S31A à l'échelle

L'étude démontre qu'une force équivalente à 21,2 kg est appliquée sur la tige arrière. Malgré la présence de cette force, le travailleur est en mesure de retirer le coin à l'aide d'un marteau.

Le centre de masse du panneau se situe à 8,8 mm à l'extérieur de la zone d'appui du panneau (voir figure 23).

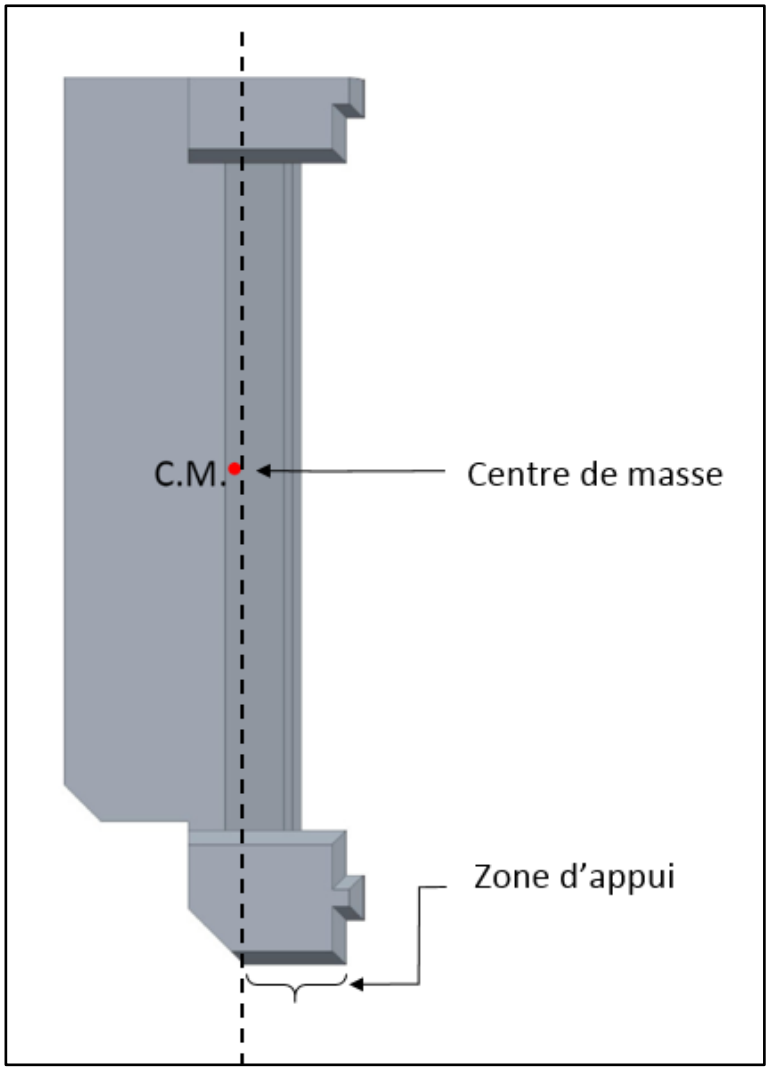

Figure 23 - Centre de masse du panneau S31A

Source : Rapport d'expertise (modifié CNESST)

Le rapport d'expertise mentionne que : « *puisque le centre de masse du panneau était si près de la zone d'équilibre, les poutres de bois qui le soutenaient au niveau du sol ont pu se déformer légèrement sous son poids et offrir une certaine stabilité momentanée, bien que très précaire* ». Cette stabilité momentanée laisse le temps au travailleur de retirer la tige avant que le panneau n'amorce sa chute.

L'étude révèle que la durée totale du basculement est de 2,55 secondes. Pendant la première seconde, l'angle du panneau varie de seulement deux (2) degrés. Comme le travailleur se trouve à l'arrière du panneau, il peut difficilement percevoir ce mouvement. Toutefois, à partir du moment où le mouvement commence à être perceptible, le basculement se termine en moins de 1,5 seconde, ce qui ne laisse pas le temps au travailleur d'éviter le panneau.

4.2.8 Stabilité des panneaux

Après l'accident, l'employeur a déposé un document de suivi de production du contrat « *Vandewater* » qui identifie les panneaux instables. Ce document démontre que 41 % des panneaux produits jusqu'au 6 septembre 2019 sont instables, soit 59 sur un total de 143 panneaux.

4.2.9 Déclaration des témoins

4.2.9.1 Travailleurs

- Tous les travailleurs disent qu'ils ont été formés « sur le tas »
- Tous les travailleurs du secteur de la réparation-finition affirment que ce sont les opérateurs qui sont responsables de stabiliser les panneaux dans ce secteur
- Quatre (4) travailleurs sur les huit (8) interrogés ne connaissent pas l'existence du programme de prévention
- […] du secteur de la réparation-finition dit que lorsque le panneau est haut, il met une paire de tiges en haut et une au milieu
- […] du secteur de la production mentionne que quand le panneau le permet, il est préférable de mettre trois (3) paires de tiges

4.2.9.2 [C]

- Mentionne que les opérateurs sont responsables de stabiliser les panneaux dans le secteur de la réparation-finition
- Mentionne qu'il n'y a pas de méthode écrite pour le support des panneaux

4.2.9.3 Direction

- Tous disent qu'il n'y a jamais eu de méthode écrite pour le support des panneaux
- [A] mentionne que l'entreprise fabrique des panneaux de béton depuis plus de 30 ans

4.2.9.4 Législation applicable

L'article 51.3 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) stipule que l'employeur doit 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.

L'article 51.5 de la LSST mentionne que l'employeur doit utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur.

L'article 51.9 de la LSST précise que l'employeur doit informer adéquatement le travailleur sur les risques reliés à son travail et lui assurer la formation, l'entraînement et la supervision appropriés afin de faire en sorte que le travailleur ait l'habileté et les connaissances requises pour accomplir de façon sécuritaire le travail qui lui est confié.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Un panneau de béton de 3 368 kg écrase le travailleur après qu'une tige de retenue est enlevée pour finaliser l'application de la membrane

Le 6 septembre 2019 vers 13 h 30, la tâche du travailleur consiste à appliquer une membrane liquide sur un panneau de béton à l'aide d'un rouleau. La membrane doit être appliquée au bas de l'ouverture dans laquelle la fenêtre sera insérée et derrière le panneau.

Une seule paire de tiges est en place pour maintenir le panneau. Les tiges sont placées sur la barre de support située à 155 cm du sol. Le panneau a une hauteur de 2 mètres et se trouve à moins de 20 cm des barres de support. Les tiges ont une longueur de 35,5 cm. Des coins de bois sont insérés entre les tiges et le panneau pour le maintenir en place.

Avec le panneau dans cette position, l'endroit où la membrane doit être appliquée se trouve vis-à-vis la tige arrière. De plus, l'espace entre le panneau et la tige est trop petit pour permettre le passage du rouleau.

Lorsque le travailleur constate que la tige l'empêche d'appliquer la membrane, il enlève le coin, puis la tige. En l'absence de tige pour retenir le panneau du côté arrière, le panneau est libre de basculer de ce côté. Comme le centre de gravité du panneau est situé à l'arrière de son point d'appui, le panneau bascule subitement. La durée du basculement est de 2,55 secondes. À ce moment le travailleur, qui est toujours derrière le panneau, ne peut l'éviter et est écrasé mortellement.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La gestion des tâches reliées à la finition des panneaux est déficiente, car une méthode de travail dangereuse est utilisée causant l'écrasement du travailleur

La fabrication de panneaux de béton préfabriqués est l'activité principale de l'entreprise depuis plus de 30 ans. Depuis toutes ces années, aucune méthode de travail n'a été élaborée quant au nombre de tiges requis ou à leur emplacement. Le programme de prévention ne traite pas des méthodes à utiliser pour maintenir les panneaux. De plus, aucun calcul de capacité n'a été réalisé pour les supports.

Les opérateurs sont les seuls responsables de stabiliser les panneaux. Ceux-ci doivent décider, pour chaque panneau, l'emplacement optimal des tiges. Malgré l'importance de ces décisions, les opérateurs n'ont reçu aucune consigne de l'employeur pour effectuer ces tâches.

Comme il n'y a pas de méthode ni de consigne pour maintenir les panneaux, les opérateurs se consultent et apprennent exclusivement par compagnonnage. Toutefois, aucun opérateur ne fixe les panneaux de la même façon. Ainsi, nous observons des situations telles que l'absence de coin d'un côté, un coin installé à l'horizontale, un coin qui peut s'enlever avec une main ou l'absence de tige au bas du panneau. L'élaboration d'une méthode écrite par l'employeur pour déterminer l'emplacement des tiges aurait évité une si grande variabilité d'un opérateur à l'autre.

La géométrie de certains panneaux fait en sorte qu'ils sont instables lorsqu'ils reposent debout. C'est le cas du panneau S31A qui possède une forme irrégulière. Ce panneau a un centre de gravité déporté vers l'arrière en raison de sa forme et de son point d'appui étroit. Le panneau ne peut donc pas tenir debout en équilibre sans la présence d'une tige à l'arrière.

Le centre de gravité des panneaux est une information qui est disponible car elle se trouve sur les plans. Le document de suivi de production démontre d'ailleurs que plusieurs panneaux du contrat « *Vandewater* » étaient instables.

En ce qui concerne le panneau qui a basculé, une seule paire de tiges est en place pour le maintenir. De plus, la tige arrière se trouve directement à l'endroit où la membrane doit être appliquée. Ceci s'explique par le fait que le positionnement du panneau S31A ne dépend pas des tâches à effectuer sur celui-ci, mais bien d'autres contraintes telles que le pont roulant, la configuration des supports et le transport routier. Ce panneau aurait pu être placé autrement, toutefois, l'employeur n'a pas considéré d'autres façons de faire.

Certains journaliers des autres équipes sont également confrontés à la présence de tiges qui nuisent à leur travail. Dans les semaines précédant l'accident, des anomalies ont d'ailleurs été observées par un travailleur du secteur de la réparation-finition. En effet, des tiges avaient été enlevées si bien que certains panneaux n'étaient pas maintenus. Le travailleur en question a d'ailleurs soulevé ce problème à trois reprises.

Afin de corriger ce problème, une pause sécurité est tenue le 28 août 2019 à 11 h. Tous les travailleurs du secteur de la réparation-finition sont présents à cette rencontre. Le travailleur, assisté de [E], a averti ses collègues de ne pas enlever les tiges. Celui-ci a mentionné le danger de renversement des panneaux lorsqu'ils ne sont pas retenus adéquatement. Le message de l'employeur est qu'il ne faut pas enlever de tige. De plus, il est mentionné que seuls […] du secteur de la réparation-finition sont autorisés à déplacer les tiges.

Par la suite, [E] a informé [F] du problème et de l'intervention qui a été faite. À ce moment, [F] juge que cette rencontre est suffisante pour corriger la situation. Il est à noter qu'aucun autre membre de la direction n'est informé de la situation.

Or, il y a une tige qui nuit au travail d'application de la membrane sur le panneau S31A. Selon la consigne de l'employeur, le travailleur ne doit pas enlever la tige, mais doit plutôt demander aux opérateurs de la déplacer. Toutefois, […] sont absents à ce moment, car ils terminent leur journée à 11 h 15 et à 13 h.

Le travailleur estime donc qu'il doit enlever la tige pour finir sa tâche. Toutefois, avant de s'exécuter, le travailleur demande à un collègue plus expérimenté comment procéder. Son collègue lui dit qu'il peut enlever la tige qui nuit au travail, mais qu'il doit d'abord en mettre une deuxième. […] de l'équipe des fenêtres sont arrivés à la conclusion qu'il faut enlever la tige pour finaliser le travail. Il est clair que la consigne de l'employeur de ne pas enlever de tige n'est pas applicable, car elle empêche d'appliquer la membrane complètement.

Pour éviter d'enlever la tige, le travailleur aurait pu appliquer la membrane avec un rouleau plus petit ou un pinceau. En effet, il y avait un dégagement suffisant entre le panneau et la tige pour permettre le passage d'un outil plus mince. Cependant, l'employeur n'a pas donné cette possibilité aux travailleurs. L'employeur s'est contenté d'interdire formellement aux travailleurs d'enlever les tiges.

L'employeur autorise cependant les opérateurs à déplacer les tiges, mais il ne leur donne aucune directive pour ce faire. Ceci implique que les opérateurs doivent encore une fois juger, pour chaque situation, comment placer les tiges de manière à ne pas nuire au travail de réparation et de finition.

Finalement, l'employeur sait que des tiges doivent être enlevées pour faire le travail. Cependant, il a omis d'identifier les raisons pour lesquelles les tiges sont enlevées à plusieurs reprises par les travailleurs. Une analyse de risque, pour les tâches de réparation et de finition, aurait permis à l'employeur de mettre en place des mesures de sécurité, mais il ne l'a pas fait. Donc, en l'absence d'une méthode sécuritaire, les travailleurs ont utilisé une méthode de travail dangereuse afin de pouvoir appliquer la membrane, ce qui cause l'écrasement d'un travailleur.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

- Un panneau de béton de 3 368 kg écrase le travailleur après qu'une tige de retenue est enlevée pour finaliser l'application de la membrane.
- La gestion des tâches reliées à la finition des panneaux est déficiente, car une méthode de travail dangereuse est utilisée causant l'écrasement du travailleur.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Dans le rapport RAP9142260 du 6 septembre 2019, la CNESST ordonne la fermeture du secteur de la réparation-finition de l'usine. Pour autoriser l'accès à cette partie de l'usine, la CNESST exige à l'employeur de démontrer que les panneaux sont maintenus en place de manière à éviter leur basculement.

Le 10 septembre 2019, dans le rapport RAP1278096, la CNESST autorise la réouverture du secteur de la réparation-finition, car l'employeur a élaboré une méthode temporaire pour sécuriser ce secteur. Toutefois, la CNESST maintient l'interdiction de déplacer les panneaux dans le secteur réparation-finition ainsi que l'interdiction d'effectuer des travaux de réparation et de finition dans l'ensemble de l'usine.

Dans le rapport RAP1281088 daté du 8 octobre 2019, la CNESST autorise la reprise des travaux de réparation et de finition dans l'usine, car l'employeur a soumis une méthode de travail sécuritaire et a formé les travailleurs concernés.

5.3 Suivi de l'enquête

La CNESST transmettra son rapport d'enquête à l'Association Béton Québec, à l'Association québécoise des fabricants de tuyaux et d'éléments en béton préfabriqué, aux associations sectorielles paritaires ainsi qu'à l'ensemble des gestionnaires de mutuelles de prévention afin que leurs membres soient informés de ses conclusions.

Le rapport d'enquête sera également diffusé dans les établissements de formation qui offrent le programme « *Préparation et finition de béton* ».

ANNEXES

ANNEXE A
Accidentés

Nom, prénom	**:**	**[H]**
Sexe	:	[…]
Âge	:	[…]
Fonction habituelle	:	[…]
Fonction lors de l'accident	:	Journalier d'usine
Expérience dans cette fonction	:	[…]
Ancienneté chez l'employeur	:	[…]
Syndicat	:	[…]

Nom, prénom	**:**	**[I]**
Sexe	:	[…]
Âge	:	[…]
Fonction habituelle	:	[…]
Fonction lors de l'accident	:	Journalier d'usine
Expérience dans cette fonction	:	[…]
Ancienneté chez l'employeur	:	[…]
Syndicat	:	[…]

ANNEXE B
Liste des témoins et des autres personnes rencontrées

Madame [E], […]

Monsieur [I], […]

Monsieur [A], […]

Madame [F], […]

Monsieur [J], […]

Docteur Dominique Emond, coroner

Monsieur [D], […]

Monsieur [K], […]

Monsieur [L], […]

Monsieur [C], […]

Monsieur [M], […]

Monsieur [N], […]

Madame Myriam Simard, enquêteuse, Sûreté du Québec

Monsieur [O], […]

Monsieur [P], […]

Monsieur [G], […]

ANNEXE C
Rapport d'expertise

Expertise sur l'étude de la dynamique du basculement d'un panneau de béton

réalisée pour la
Direction régionale Saguenay-Lac-St-Jean de la
Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST)

par

Jean Ruel, ing., Ph.D.
Professeur titulaire
Département de génie mécanique de l'Université Laval

2 décembre 2019

Introduction

Ce rapport est la réalisation d'un mandat qui m'a été confié le 7 novembre 2019 par la Direction régionale Saguenay-Lac-St-Jean de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST).

Le mandat est décrit brièvement dans le document intitulé « DEMANDE DE SOUMISSION - Expertise sur le basculement d'un panneau de béton » produit par la Direction régionale Saguenay-Lac-St-Jean de la CNESST.

Le contexte de l'accident était décrit brièvement dans le document de demande de soumission : un travailleur effectue des travaux d'application de membrane liquide sur un panneau de béton. Le panneau de béton de plus de 5000 lbs, qui est placé à la verticale, bascule sur le travailleur l'écrasant mortellement après qu'un support latéral ait été retiré.

Des photos de la scène de l'accident ainsi que des reconstitutions me furent aussi envoyées par courriel les 28 et 29 octobre 2019. Une conversation téléphonique tenue le 29 octobre avec Monsieur Stéphane Simard de la Direction régionale Saguenay-Lac-St-Jean de la CNESST m'a également permis d'obtenir des informations complémentaires concernant l'accident et le mandat.

Le mandat d'expertise comportait les trois éléments suivants :

1) Représentation 3D du panneau à l'échelle avec positionnement du centre de gravité.

2) Détermination des forces exercées sur les tiges selon le positionnement du panneau et de son centre de gravité.

3) Déroulement de la chute du panneau en fonction temps compte tenu des forces exercées au départ sur les tiges.

Le présent rapport répond aux points énumérés ci-dessus.

Étude de la dynamique du basculement du panneau de béton

Afin d'étudier la dynamique du basculement du panneau de béton, un modèle a été établi afin d'en connaître les caractéristiques massiques et géométriques, notamment la position de son centre de masse.

Un dessin technique détaillé du panneau m'a été fourni (référence [1]), ainsi que plusieurs photographies qui m'ont aidé à en comprendre la géométrie. Le modèle a été réalisé avec un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). Ce modèle sera désigné par l'appellation « modèle CAO » dans la suite de ce document. La figure 1 présente ce modèle.

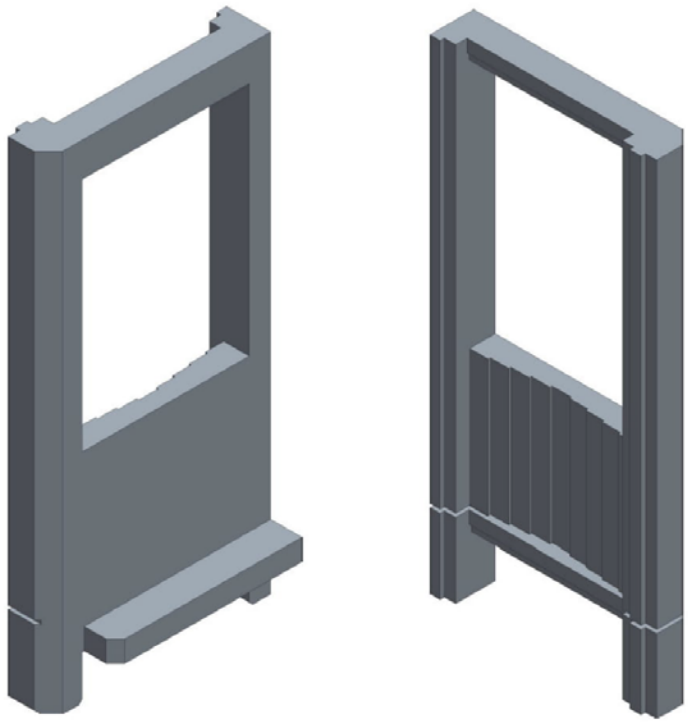

Figure 1. Modèle CAO

3

La figure 2 présente quant à elle deux projections orthogonales du modèle dans son orientation lors de l'accident. Un système de coordonnées est représenté. C'est à partir de cette référence que les propriétés géométriques et les coordonnées du centre de masse seront calculées. Lors de l'accident, la face inférieure du panneau (celle qui est alignée avec les axes X et Y) reposait sur des appuis de bois (poutres 6 po x 6 po).

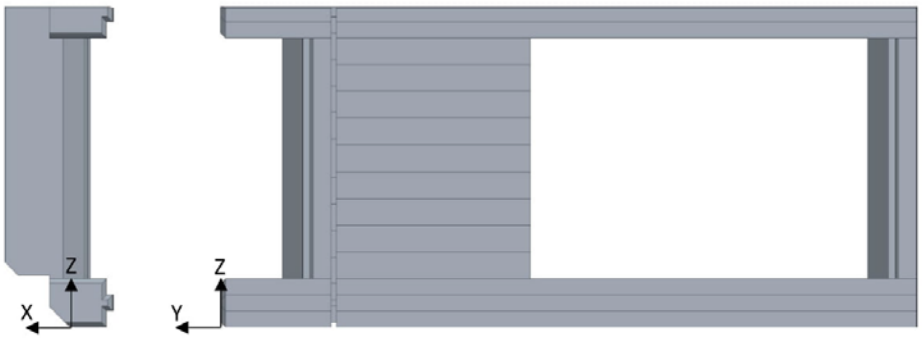

Figure 2. Modèle CAO et système de coordonnées

La figure 3 présente une vue en projection oblique du modèle ainsi que le système de coordonnées.

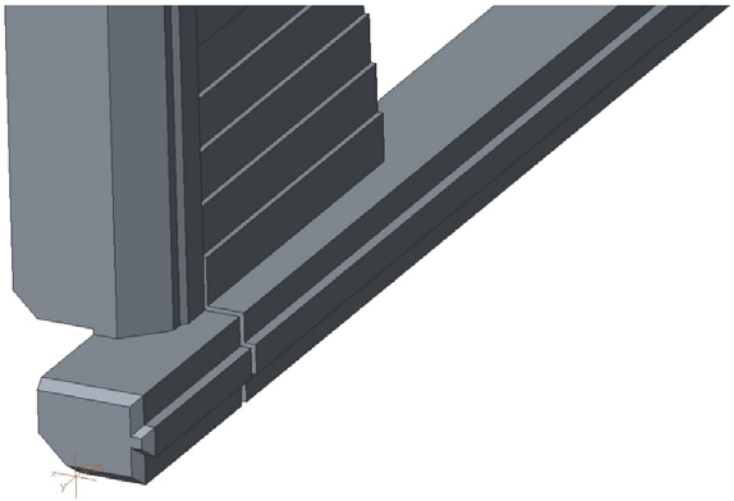

Figure 3. Modèle CAO et système de coordonnées

La première étape dans l'établissement du mouvement était de calculer la position du centre de masse. Le volume a été évalué par le logiciel. Il est de 1.401 m^3 (8.549 x 10^E4 po^3). Le 13 novembre 2019, Monsieur Stéphane Simard, inspecteur à la Direction régionale Saguenay-Lac-St-Jean de la CNESST, m'a transmis la masse du panneau de béton, évaluée à 3368 kg. En divisant cette masse par le volume, on obtient une masse volumique moyenne de 2404 kg/m^3. Cette valeur est plus près de la masse volumique du béton ordinaire (de l'ordre de 2200-2300 kg/m^3, références [2,3,4,5,6]) que de la masse volumique du béton armé, qui est de l'ordre de 3000 kg/m^3. Ceci est cohérent avec le fait qu'il y avait, selon le plan fourni, très peu de tiges d'armature d'acier dans le panneau de béton.

La position du centre de masse, représentée par un point rouge à la figure 4, se trouve aux coordonnées suivantes :

X = -8.8 mm (-0.347 po)
Y = -1886 mm (-74.3 po)
Z = 963 mm (37.9 po)

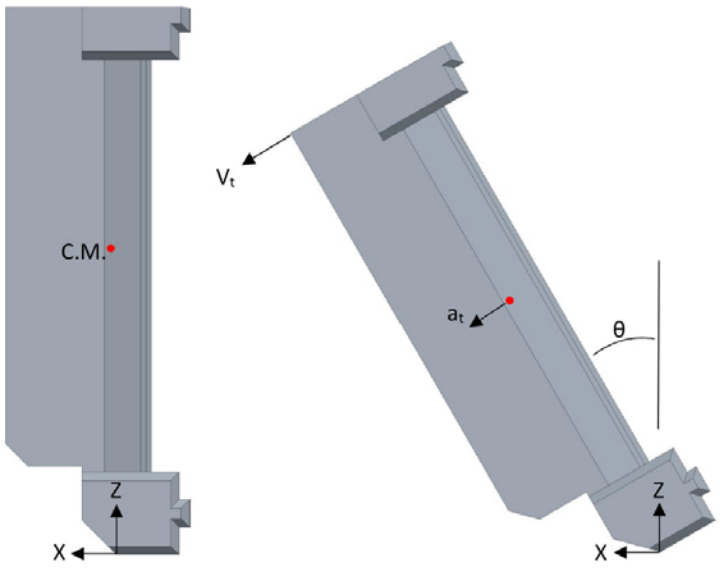

Figure 4.

On peut donc remarquer que la position du centre de masse n'est que légèrement à gauche du système d'axe, qui est quant à lui situé sur l'arrête autour de laquelle le panneau a basculé lors de sa chute. L'axe Y est aligné avec cette arrête, c'est-à-dire qu'il se trouve sur l'axe de rotation. La zone d'équilibre fournie par l'appui sur les poutres de bois était à droite du plan formé par les axes Y et Z. Le panneau devait être retenu par les tiges pour être maintenu à la verticale, mais le déséquilibre du panneau était si faible que le travailleur a pu avoir l'impression que celui-ci était en équilibre lorsqu'il a retiré la tige d'appui qui le retenait.

5

La tige métallique qui retenait le panneau à l'aide d'un prisme de bois était située à une hauteur de 1400 mm (55 po). L'équilibre des moments de forces par rapport à l'axe Y permet de calculer la force horizontale à ce point d'appui :

$$F_{appui} = 3368 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 8.8 \text{ mm} / 1400 \text{ mm} = 208 \text{ N} = 21.2 \text{ kg}$$

Cette force est relativement faible. Il n'a pas dû être difficile pour le travailleur de retirer le prisme de bois. Puisque le centre de masse du panneau était si près de la zone d'équilibre, les poutres de bois qui le soutenaient au sol ont pu se déformer légèrement sous son poids et offrir une certaine stabilité momentanée, bien que très précaire. Le travailleur a donc pu retirer la tige métallique. L'autre tige, du côté opposé, ne retenait aucune force. Par contre, elle en exerçait peut être une étant donnée la présence du prisme de coincement en bois.

Le retrait du prisme de bois et de la tige a laissé libre cours à la possibilité de rotation du panneau, qui a pu se mettre en mouvement spontanément ou sous l'effet d'une légère perturbation, comme le passage d'un rouleau à enduit.

Analyse du mouvement de rotation du panneau de béton

Au début du mouvement, le centre de masse du panneau est à 8.8 mm à gauche de l'axe de rotation et 963 mm au-dessus. La position initiale du centre de masse, lorsque le panneau est à la verticale, est donc à un angle θ_{init} par rapport à l'axe Z vertical :

$$\theta_{init} = \tan^{-1} (8.8 \text{ mm} / 963 \text{ mm}) = 0.52 \text{ degrés}$$

La composante tangentielle de l'accélération gravitationnelle au mouvement circulaire par rapport à l'axe de rotation, pour un angle θ du panneau par rapport à l'axe Z vertical est :

$$a_t = 9.81 \text{ m/sec}^2 \times \sin (\theta + \theta_{init})$$

La relation entre l'accélération angulaire α et l'accélération tangentielle a_t est [7] :

$$\alpha = a_t / r$$

où r est la distance entre l'axe de rotation et le centre de masse.

La relation entre la vitesse angulaire ω et l'accélération angulaire α est :

$$\alpha = d\omega/dt$$

À chaque instant dt, la vitesse angulaire ω augmente d'une valeur $d\omega = \alpha\, dt$ et l'angle θ augmente d'une valeur $d\theta = \omega\, dt$.

À mesure qu'augmente l'angle θ que fait le panneau avec la verticale pendant sa chute, son accélération angulaire augmente puisque l'angle θ augmente :

$$a_t = 9.81 \text{ m/sec}^2 \times \sin (\theta) \text{ et } \alpha = a_t / r$$

L'énergie cinétique angulaire du panneau (en Joules) à tout instant est donnée par l'équation

$$E = \frac{1}{2} I_{yy} \omega^2$$

où I_{yy} est le moment d'inertie du panneau selon l'axe Y, évalué à partir du modèle CAO.

Le mouvement du panneau a été calculé en évaluant numériquement, pour de petits incréments de temps dt, l'énergie du panneau, sa position angulaire θ, sa vitesse angulaire ω et son accélération angulaire α avec ces équations.

La figure 5 présente la position du panneau de béton en fonction du temps. Sur ce graphique, l'angle a été présenté par rapport à l'horizontale, parce qu'il est plus intuitif de considérer que la position initiale du panneau est à 90 degrés par rapport au sol.

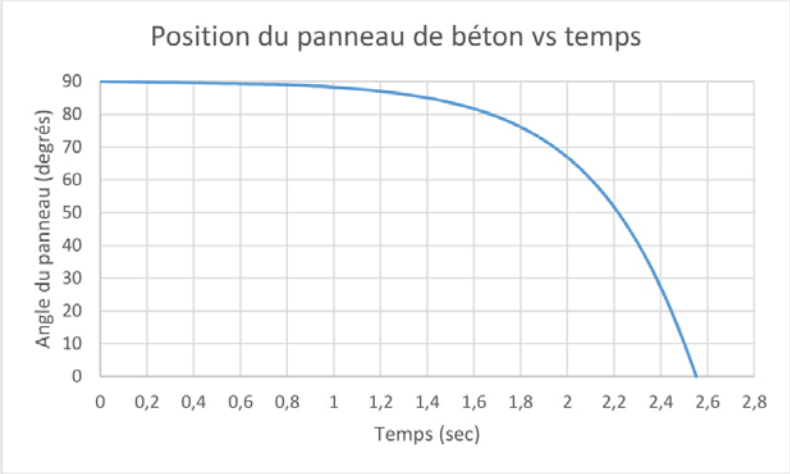

Figure 5. Évolution de l'angle du panneau par rapport au sol lors de sa chute

La figure 6 présente la vitesse tangentielle V_t du coin supérieur gauche du panneau de béton (tel que représenté sur la figure 4) en fonction du temps.

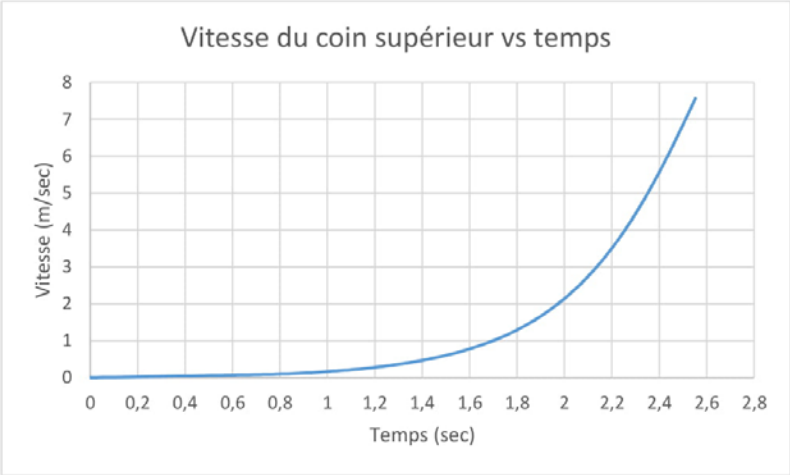

Figure 6. Évolution de la vitesse du coin supérieur gauche du panneau lors de sa chute

Ces graphiques nous indiquent que le temps total de la chute de 90 à 0 degré est de 2.55 secondes. On peut aussi remarquer que pendant la première seconde, l'angle ne varie que de 2 degrés et la vitesse est presque nulle, et que la quasi-totalité du mouvement de basculement se produit pendant les 1.5 secondes suivantes. L'amorce du mouvement du panneau a pu être difficile à percevoir et à évaluer par le travailleur : le panneau a pu lui paraître en équilibre pendant la première seconde, et lorsqu'il s'est mis à basculer, le mouvement a été si rapide qu'il n'a pas eu le temps de réagir.

8

Conclusion

Afin de réaliser ce mandat, il a d'abord fallu procéder à une modélisation du panneau à l'échelle afin de déterminer la position de son centre de masse. Cette modélisation a permis de déterminer que le centre de masse du panneau lors de l'accident était situé à 8.8 mm hors de la zone d'équilibre délimitée par la largeur de son appui.

Ceci a eu pour conséquence que la force sur la tige qui le retenait était relativement faible, de l'ordre de 208 N (21.2 kg). Le travailleur a donc pu la retirer aisément et avoir l'impression que le panneau était en équilibre.

Puisque le centre de masse du panneau était si près de la zone d'équilibre, les poutres de bois qui le soutenaient au niveau du sol ont pu se déformer légèrement sous son poids et offrir une certaine stabilité momentanée, bien que très précaire.

Spontanément, ou sous l'effet d'une légère perturbation, le panneau qui se trouvait alors dans une situation d'instabilité a amorcé sa chute par pivotement.

Le temps total de la chute de 90 à 0 degré a été de 2.55 secondes. Pendant la première seconde du mouvement, l'angle n'a varié que de 2 degrés et la vitesse était presque nulle. La quasi-totalité du mouvement de basculement s'est produit en 1.5 seconde, un mouvement très rapide qui n'a pas laissé au travailleur le temps de réagir.

Jean Ruel, ing. Ph.D., le 2 décembre 2019
No. OIQ : 106 900

Références

[1] Dessin technique du panneau de béton, document *S31A.PDF* fourni par la CNESST.

[2] Fundamentals of Heat Transfer. F.P. Incropera and D.P. DeWitt. 4th Edition, Wiley, 1996.

[3] Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding. A. S. Ouda. Progress in Nuclear Energy 79, 2015.

[4] http://www.guidebeton.com/masse-volumique-beton

[5] https://www.engineeringtoolbox.com/concrete-properties-d_1223.html

[6] https://www.aggregateresearch.com/news/understanding-the-density-of-concrete/

[7] Engineering Mechanics, Volume 2: Dynamics. J. L. Meriam and L. G. Kraige. 2nd Edition, Wiley, 1986.

ANNEXE D
Liste des figures

Figure 1 - Scène de l'accident....1
Figure 2 - BPDL inc. et ses filiales....3
Figure 3 - Organigramme de l'usine....4
Figure 4 - Vue aérienne du site de l'usine....7
Figure 5 - Plan de l'usine....7
Figure 6 - Entreposage des panneaux....8
Figure 7 - Barres horizontales des supports....9
Figure 8 - Plan d'une tige de retenue....10
Figure 9 - Assemblage tige et barre horizontale....10
Figure 10 - Coin de bois....11
Figure 11 - Réplique 3D du rouleau....12
Figure 12 - Emplacement de la membrane....12
Figure 13 - Numérotation des panneaux et position des travailleurs avant l'accident....13
Figure 14 - Dimensions et positionnement du panneau....14
Figure 15 - Positionnement du panneau pour la manutention....15
Figure 16 - Emplacement de la membrane sur le plan....15
Figure 17 - Hauteur des barres....16
Figure 18 - Positions possibles du panneau....16
Figure 19 - Espace entre la tige et le panneau....17
Figure 20 - Espace pour le rouleau Figure 21 – Photo des marques sur le panneau....17
Figure 22 - Réplique du panneau à l'échelle....19
Figure 23 - Centre de masse du panneau S31A....20

ANNEXE E
Référence bibliographique

Bibliographie

Gouvernement du Québec. *Loi sur la santé et la sécurité du travail, LRQ, chapitre S-2.1*. [En ligne]. [http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/S-2.1,] (Page consultée le 18 avril 2019).