

**EN004223**

# **RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident mortel survenu à un travailleur  
le 13 octobre 2018 à l'entreprise Papiers  
White Birch, S.E.C. Stadacona,  
10, boulevard des Capucins, Québec**

**Direction régionale de la Capitale-Nationale**

**VERSION DÉPERSONNALISÉE**

**Inspecteurs :**

\_\_\_\_\_  
**Stéphanie Deschamps**

\_\_\_\_\_  
**Marie-Pier Massicotte**

**Date du rapport : 2019-05-23**

**Rapport distribué à :**

- Monsieur [ A ], [ ... ], [ ... ], [ ... ] usine de Stadacona;
- Monsieur [ B ], [ ... ], [ ... ], Unifor;
- Maître Donald Nicole, coroner;
- Docteur François Desbiens, directeur de santé publique de la Capitale-Nationale;
- Comité de santé et sécurité travail

## TABLE DES MATIÈRES

<b><u>1</u></b>	<b><u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>3</u></b>
	<b>2.1 STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT</b>	<b>3</b>
	<b>2.2 ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL</b>	<b>4</b>
	2.2.1 MÉCANISMES DE PARTICIPATION	4
	2.2.2 GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
<b><u>3</u></b>	<b><u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u></b>	<b><u>5</u></b>
	<b>3.1 DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL</b>	<b>5</b>
	3.1.1 LIEU DE TRAVAIL	5
	3.1.2 POSTE DE COLORATION	6
	3.1.3 RÉSERVOIR DE COLORANT ROUGE	7
	3.1.4 AIR COMPRIMÉ DANS L'USINE	9
	<b>3.2 DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER</b>	<b>9</b>
	3.2.1 FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME DE COLORATION	9
	3.2.2 ÉTAPES DE PRÉPARATION D'UNE RECETTE DE COLORANT DILUÉ	10
<b><u>4</u></b>	<b><u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u></b>	<b><u>12</u></b>
	<b>4.1 CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT</b>	<b>12</b>
	<b>4.2 CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES</b>	<b>13</b>
	4.2.1 EXPÉRIENCE ET FORMATION DU TRAVAILLEUR ACCIDENTÉ	13
	4.2.2 MANUEL DE FORMATION – SECTION COLORATION	13
	4.2.3 RECETTE DE COLORANT ROUGE DILUÉ	14
	4.2.4 BRIS DE LA VALVE MANUELLE POUR LE REMPLISSAGE DU COLORANT ROUGE	14
	4.2.5 MOYENS POUR VIDER UN RÉSERVOIR DE MESURE	15
	4.2.6 UTILISATION DE L'AIR COMPRIMÉ AFIN DE VIDER LE RÉSERVOIR DE COLORANT ROUGE	15
	4.2.7 AIR COMPRIMÉ	17
	4.2.8 PROPRIÉTÉ DU VERRE TREMPÉ	17
	4.2.9 ANALYSE NUMÉRIQUE DE CONTRAINTES PAR ÉLÉMENTS FINIS	17
	4.2.10 AUTRES INFORMATIONS	18
	<b>4.3 ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES</b>	<b>19</b>
	4.3.1 LA PRESSION INDUITE SUR LE VERRE PAR L'AIR COMPRIMÉ ET LE COLORANT DANS LE RÉSERVOIR DE MESURE ENTRAÎNE LE DÉPASSEMENT DE LA RÉSISTANCE À LA RUPTURE DU VERRE ET PROVOQUE SON ÉCLATEMENT EN PLUSIEURS MORCEAUX QUI ATTEIGNENT LE TRAVAILLEUR MORTELLEMENT	19
	4.3.2 L'ABSENCE D'UN MOYEN POUR VIDER LE RÉSERVOIR ET DE DIRECTIVE À SUIVRE LORSQU'UN RÉSERVOIR DE MESURE SE REMPLIT AU-DELÀ DE LA QUANTITÉ VOULUE ENTRAÎNE L'IMPROVISATION D'UNE MÉTHODE DE TRAVAIL QUI EXPOSE LE TRAVAILLEUR À UN DANGER	19

<b>5</b>	<b><u>CONCLUSION</u></b>	<b>21</b>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	21
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	21
5.3	SUIVI À L'ENQUÊTE	21
	<b><u>ANNEXES</u></b>	<b>22</b>
ANNEXE A :	L'accidenté	22
ANNEXE B :	Liste des témoins et des autres personnes rencontrées	23
ANNEXE C :	Rapport d'expertise externe	24
ANNEXE D :	Références bibliographiques	30

## SECTION 1

### 1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

#### Description de l'accident

Le 13 octobre 2018, la vitre d'un réservoir de mesure éclate alors qu'un opérateur<sup>1</sup> tente de retourner le colorant rouge contenu dans ce réservoir vers la cuve d'alimentation en utilisant de l'air comprimé. Le travailleur qui est positionné devant le réservoir est atteint par des éclats de verre.

#### Conséquence

Le travailleur décède à la suite de ses blessures.



Photo 1 – Poste de coloration - réservoir de mesure de colorant rouge  
Source : CNESST

<sup>1</sup> L'opérateur au département des pâtes est officiellement nommé Régulateur de pâte dans l'entreprise. Le terme opérateur sera utilisé dans le présent rapport afin de faire référence au régulateur de pâte.

**Abrégé des causes**

L'enquête a permis de retenir les causes suivantes pour expliquer cet accident :

- La pression induite sur le verre par l'air comprimé et le colorant dans le réservoir de mesure entraîne le dépassement de la résistance à la rupture du verre et provoque son éclatement en plusieurs morceaux qui atteignent le travailleur mortellement.
- L'absence d'un moyen pour vider le réservoir et de directive à suivre lorsqu'un réservoir de mesure se remplit au-delà de la quantité voulue entraîne l'improvisation d'une méthode de travail qui expose le travailleur à un danger.

**Mesures correctives**

Le rapport RAP1240355, émis le 13 octobre 2018, interdit l'utilisation du système de coloration et exige notamment son inspection complète. Il interdit également l'utilisation de l'air comprimé afin de vider un réservoir de mesure. Enfin, dans ce même rapport, une interdiction de vider les réservoirs de mesure d'une autre façon que lors de leur utilisation habituelle est émise et l'élaboration d'une méthode de travail sécuritaire est demandée.

Le rapport RAP1241323, émis le 19 octobre 2018, autorise l'utilisation du système de coloration, celui-ci ayant été inspecté par [ C ].

Le RAP1243874, émis le 7 novembre 2018, rend la décision interdisant de vider un réservoir de mesure à l'aide de l'air comprimé de façon permanente. Dans ce même rapport, l'interdiction de vider les réservoirs de mesure par une autre méthode que lors de la préparation de recette est levée puisque l'employeur a élaboré une méthode de travail sécuritaire incluant une analyse de risque.

*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 Papiers White Birch exploite quatre usines spécialisées dans la fabrication de papier et de carton. L'usine de Stadacona fabrique du papier journal et différents grades de papier commercial (papier à haute blancheur). L'usine possède également une machine qui fabrique du carton en feuille ou en rouleau. L'usine exploite trois machines à papier pour une capacité de production d'environ 360 000 tonnes métriques et une machine à carton qui produit en moyenne 52 800 tonnes métriques annuellement. L'usine fabrique les pâtes à partir de copeaux de bois (papier) ou de papier recyclé (carton).

L'établissement emploie environ trois cent quatre-vingts (380) personnes. On compte environ trois cent dix (310) travailleurs syndiqués à la production. Ceux-ci sont représentés par le syndicat Unifor, sections 250, 137 et 200.

La production s'effectue sur deux quarts de travail (douze heures chacun), sept jours sur sept.

[ ... ]

Figure 1 – Organigramme Papiers White Birch – Usine Stadacona  
Source : Papiers White Birch modifié CNESST

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

### 2.2.1 Mécanismes de participation

Un comité de santé et sécurité du travail paritaire est présentement en cours de redémarrage. Effectivement, celui-ci n'a pas été reformé à la suite de la fermeture puis de la réouverture de l'usine en 2011-2012. La fréquence des rencontres, le rôle et le mandat du comité ne sont pas encore déterminés. Une première rencontre a eu lieu au printemps 2018.

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

Le programme de prévention de l'établissement indique principalement les règles de sécurité. Celui-ci est mis à jour selon les changements de règlements. [ ... ]. [ ... ]. [ ... ].

Différents moyens de prévention sont mis en place dans l'établissement :

- Procédure de cadenassage;
- Procédure de travail en espace clos;
- Procédure concernant le travail à chaud;
- Programme concernant la gestion des angles entrants (sécurité des machines);
- Procédure d'analyse sécuritaire de tâches, appelée analyse de risque à l'interne (3 types : tâches en général, produits chimiques, vapeur et pression);
- Programme SIMDUT (formation, mise à jour des fiches, abrégé de fiches de données de sécurité, etc.);
- Programme de formation en santé et sécurité du travail à l'embauche et de façon continue;
- Inspection régulière des lieux de travail par les travailleurs des différents départements;
- Procédure d'enquête et d'analyse d'accident.

Une procédure de diffusion d'information (document Alerte Prévention) en santé et sécurité du travail est prévue entre les trois usines du Québec. Elle permet d'informer chacune des usines des accidents survenus, des risques et des mesures de prévention qui en découlent.

Plusieurs travailleurs ont reçu une formation de secourisme en milieu de travail. Une brigade d'urgence est disponible pour intervenir au besoin. [ D ] est présente à l'établissement sur semaine.

## SECTION 3

### 3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

#### 3.1 Description du lieu de travail

##### 3.1.1 Lieu de travail

L'usine est située au 10, boulevard des Capucins à Québec. Elle est composée de plusieurs bâtiments et départements localisés sur différents niveaux. L'accident s'est produit au département de la salle des mélanges qui compte [ ... ] opérateurs et [ ... ] manutentionnaires, pour un total de [ ... ] travailleurs permanents à la production. Des travailleurs sont également disponibles pour les remplacements au besoin. [ E ] relève du [ F ].

Les opérateurs veillent à la qualité du papier afin d'assurer le respect des attentes des clients en contrôlant plusieurs paramètres.

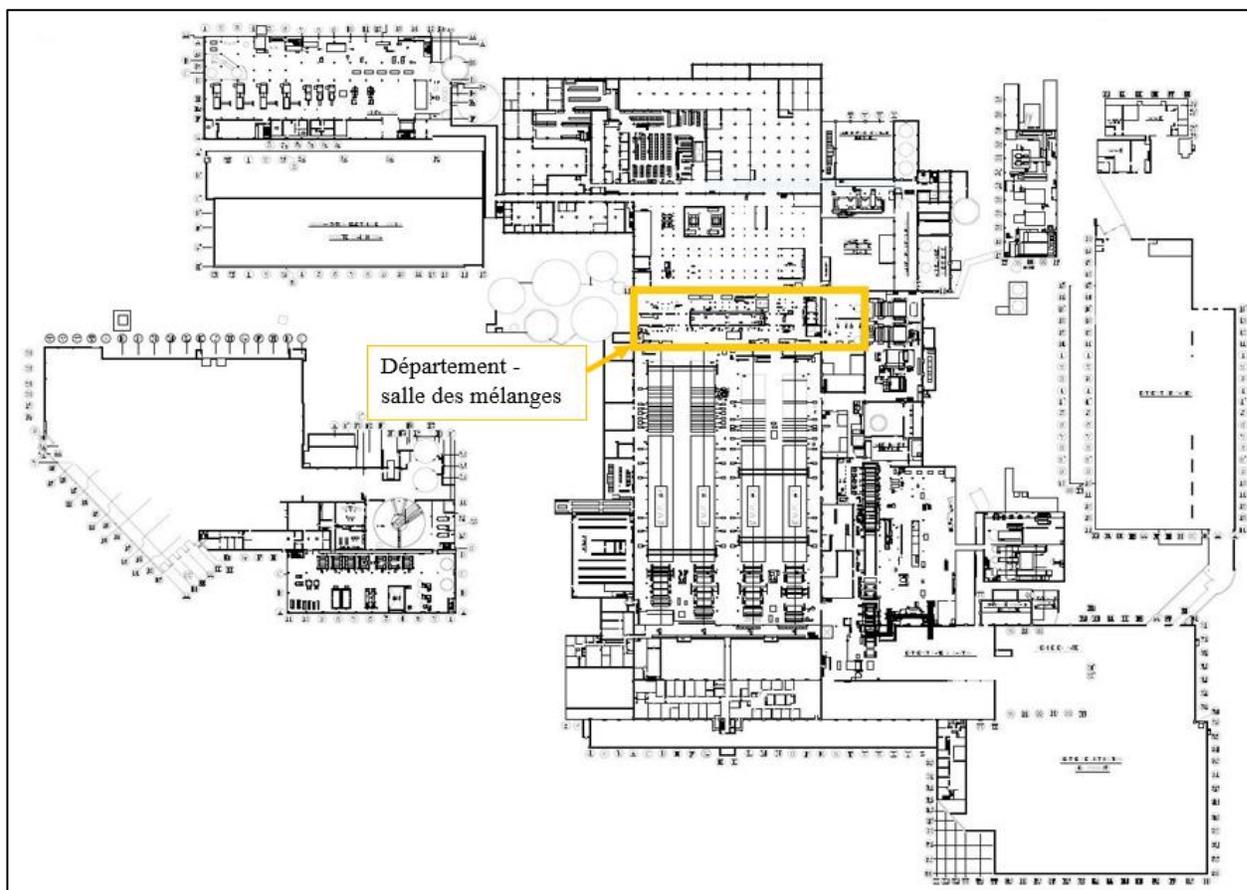


Figure 2 – Plan de l'usine niveau 115 – localisation du département de la salle des mélanges  
Source : Papier White Birch modifiée par la CNESST

### 3.1.2 Poste de coloration

L'accident s'est produit au poste de coloration du département de la salle des mélanges.

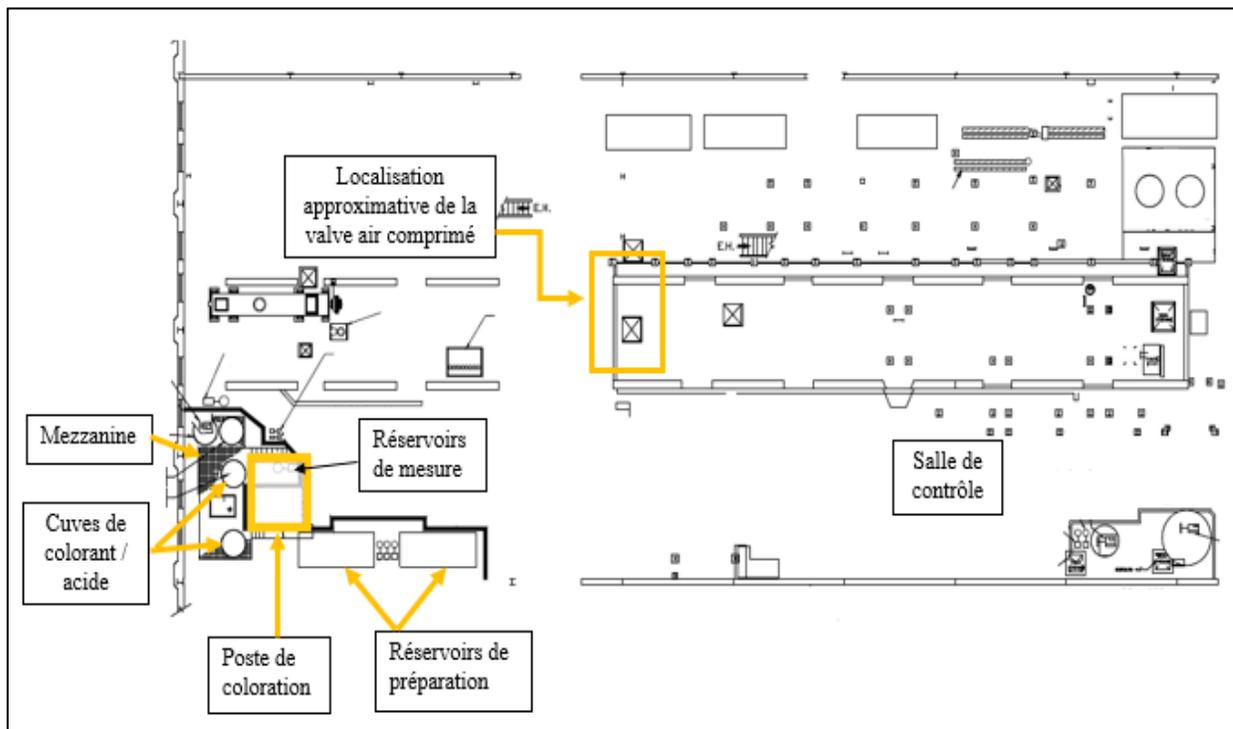


Figure 3 – Plan de la salle des mélanges – localisation du poste de coloration  
Source : Papier White Birch modifiée par la CNESST

Le poste de coloration sert à la préparation des recettes de colorant dilué. La recette de colorant dilué est composée d'eau, de colorant pur et d'acide acétique (ci-après nommé acide). Il y a trois colorants (rouge, bleu et jaune). Une fois la recette réalisée, le colorant dilué est utilisé pour ajuster la couleur du papier selon son grade et les spécifications du client.

Les tâches effectuées au poste de coloration sont réalisées par l'opérateur. La préparation des recettes s'effectue selon les besoins en colorant lors de la fabrication des pâtes. En général, les tâches de préparation de recette s'effectuent deux fois par quart de travail de jour et parfois lors du quart de nuit. La préparation d'une recette de colorant dilué est une tâche qui prend entre 15 et 20 minutes. Le temps de travail consacré au poste de coloration par les opérateurs est généralement moins d'une heure par quart de travail de douze heures.

Au poste de coloration, une mezzanine est présente. Les cuves de colorant pur (cuve d'alimentation) ainsi qu'une cuve d'acide y sont entreposées. Sur le plancher, il y a trois réservoirs de mesure (ces réservoirs sont appelés à l'interne « cylindre »). Les réservoirs de mesure permettent de doser les quantités de colorant pur et d'acide nécessaires à la fabrication de recette de colorant. Il y a un réservoir de mesure pour chaque colorant, donc trois réservoirs de mesure.

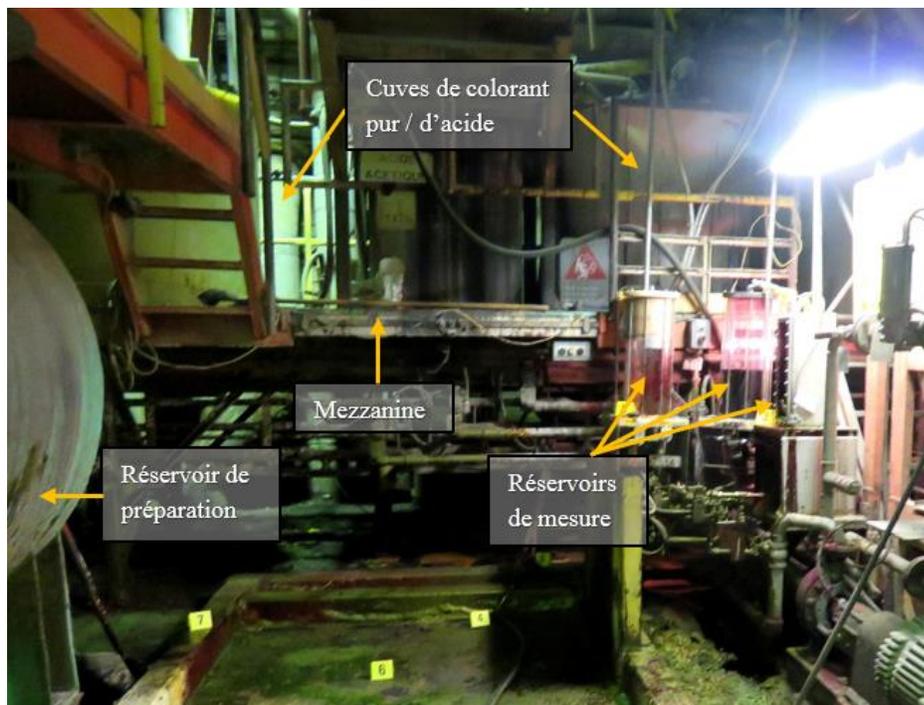


Photo 2 – Poste de coloration de la salle des mélanges  
Source : CNESST

D'autres réservoirs permettent d'emmagasinier les recettes de colorant dilué (ces réservoirs sont appelés à l'interne « réservoir de préparation »). Le réservoir de préparation de colorant rouge dilué est situé face au poste de coloration (photo 2). Le colorant dilué contenu dans les réservoirs de préparation est transféré vers de plus petits réservoirs en aval du procédé qui permettent l'ajout du colorant dilué à la pâte de papier dans les différentes machines à papier.

### 3.1.3 Réservoir de colorant rouge

Le réservoir de mesure du colorant rouge a été changé en mai 2016. La conception de celui-ci est différente des deux autres réservoirs de mesure. Il est de forme rectangulaire et possède une vitre en verre trempé à l'avant. Il a été conçu par un ingénieur d'une firme externe. Les réservoirs de mesure sont conçus pour subir des contraintes qui découlent de la gravité et de la pression atmosphérique.

Ces réservoirs de mesure permettent de doser la quantité nécessaire de colorant et d'acide puis de l'ajouter immédiatement dans le réservoir de préparation. Il ne s'agit pas d'un réservoir dans lequel du colorant reste entreposé. Ces réservoirs sont, la plupart du temps, vides. Le réservoir est gradué, il y a un marquage (gravure) indiquant le nombre de litres sur le côté de la vitre.

**Dimensions du réservoir de mesure :**

Hauteur : 50,8 cm (20,188 po)  
 Largeur : 17,8 cm (7,938 po)  
 Profondeur : 17,8 cm (7,938 po)  
 Volume intérieur : Environ 21 L

**Dimension de la tuyauterie :**

Évent : 9 mm (3/4 po)

**Dimensions de la vitre en verre trempé :**

Longueur : 44,45 cm (17,5 po)  
 Largeur : 10,16 cm (4 po)  
 Épaisseur : 4,7 mm (3/16 po)  
 Fabricant : MD Glass

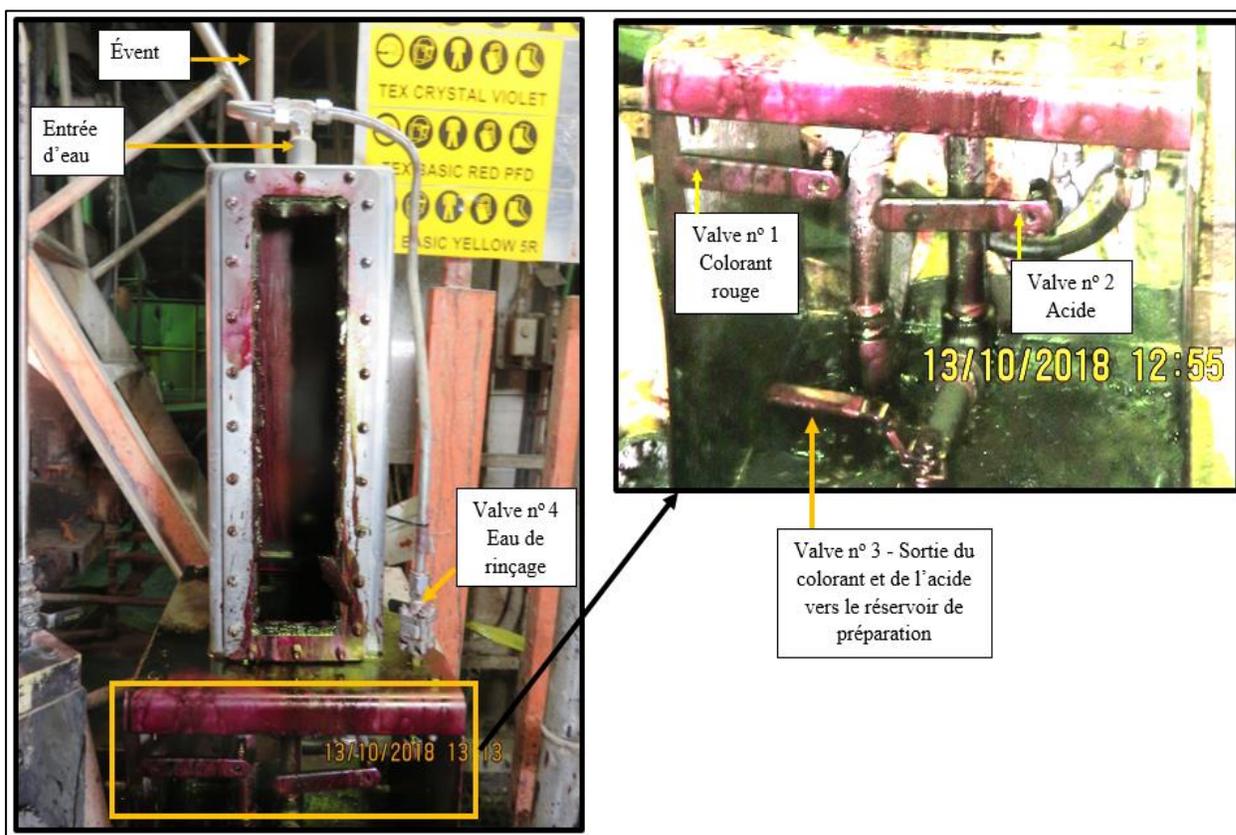


Photo 3 – Réservoir de mesure  
 Source : CNESST

Le réservoir possède trois valves manuelles au bas. La valve n° 1 permet l'arrivée du colorant rouge pur de la cuve d'alimentation située sur la mezzanine. La valve n° 2 permet l'entrée de l'acide dans le réservoir de mesure. La valve n° 3 permet la sortie du colorant ou de l'acide du réservoir de mesure vers le réservoir de préparation.

Un évent est installé au-dessus du réservoir. Il permet à l'air contenu dans le réservoir de s'évacuer lors du remplissage permettant ainsi au colorant de monter dans le réservoir. De plus, cet évent a été modifié de façon à servir de « trop plein » advenant le dépassement de la capacité du réservoir de mesure. L'évent est dirigé, à l'aide d'un tuyau flexible, vers une cuve de récupération située sous la

mezzanine, à un niveau inférieur (voir Figure 4). La modification de l'évent<sup>2</sup> a été apportée sur chacun des trois réservoirs de mesure.

Sur le dessus du réservoir, il y a une entrée d'eau permettant de rincer le réservoir de mesure après avoir effectué une préparation de recette de colorant dilué. La valve manuelle n° 4 permet de contrôler l'entrée d'eau de rinçage.

### **3.1.4 Air comprimé dans l'usine**

L'air comprimé utilisé dans l'usine est produit à partir d'une série de compresseurs. Il est ensuite emmagasiné dans des réservoirs de stockage. Des soupapes de sécurité sont présentes sur les réservoirs de façon à maintenir la pression interne des réservoirs entre 110 psi et 125 psi évitant ainsi les surpressions.

L'air comprimé d'usine est, par la suite, acheminé dans les départements par différentes lignes d'air (lignes principales et secondaires) sur lesquelles des boyaux flexibles sont installés à plusieurs endroits dans les départements.

Lors de l'accident, la pression de l'air à la centrale thermique est de 663,63 kPa (soit environ 96,25 psi). La mesure est prise en amont des lignes et aucune autre mesure de la pression d'air n'est prise ailleurs sur le réseau des lignes d'air. La pression à la sortie des lignes est donc inférieure à 96,25 psi compte tenu qu'une perte de charge se produit dans la tuyauterie.

Par ailleurs, le changement de diamètre dans les différents conduits n'amène pas d'augmentation de la pression de l'air comprimé mais entraîne un changement dans la vitesse d'écoulement de l'air.

## **3.2 Description du travail à effectuer**

### **3.2.1 Fonctionnement du système de coloration**

Les colorants purs et l'acide sont emmagasinés dans les cuves d'alimentation situées sur la mezzanine. La recette de colorant dilué (eau, colorant pur et acide) fabriquée par l'opérateur est emmagasinée dans un des réservoirs de préparation situés en aval de la ligne de procédé. Un autre réservoir en aval du réservoir de préparation emmagasine du colorant dilué et assure de façon automatique l'alimentation en colorant dilué aux trois machines à papier.

Ainsi, l'ajout du colorant dilué se fait de façon automatique par un système qui évalue précisément la coloration de la pâte de papier. En temps réel, ce système analyse le papier et envoie un signal afin d'augmenter ou de diminuer l'appart en colorant dilué dans la pâte. La concentration en colorant de la recette n'a donc pas à être parfaite puisque que le système ajustera la quantité envoyée selon les besoins. Ainsi, lorsque la recette de colorant dilué est concentrée, le système diminue l'ouverture des valves pour laisser passer une quantité moindre de colorant dilué.

---

<sup>2</sup> Le terme événement sera utilisé dans le cadre du rapport et celui-ci fait référence à l'événement modifié.

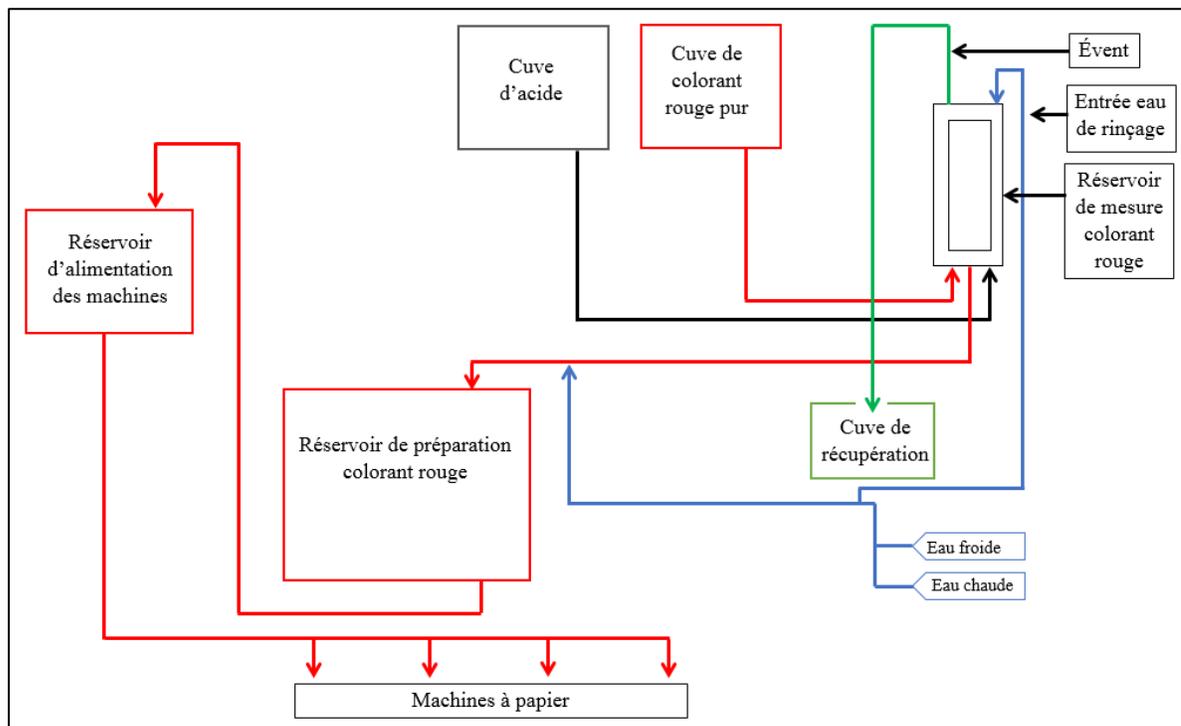


Figure 4 – Schéma simplifié du système de coloration  
Source : CNESST

### 3.2.2 Étapes de préparation d'une recette de colorant dilué

La recette de colorant dilué est fabriquée à partir d'eau, de colorant pur (rouge, jaune ou bleu) et d'acide qui sont envoyés dans un réservoir de préparation. L'eau est envoyée directement dans le réservoir de préparation, alors que le colorant et l'acide sont mesurés manuellement dans un réservoir de mesure avant d'être envoyés dans le réservoir de préparation.

Pour réaliser la recette, l'opérateur actionne, dans la salle de contrôle, une commande du système informatisé afin d'établir la quantité d'eau nécessaire à la recette. Il se déplace ensuite vers le poste de coloration. Il mesure la quantité de colorant nécessaire dans le réservoir de mesure. Pour le colorant rouge, il ouvre la valve n° 1 (photo 3, page 8), le colorant entre par le bas et monte dans le réservoir de mesure. L'opérateur ferme la valve lorsque la quantité voulue est atteinte. Par la suite, il actionne une autre valve afin que l'eau soit envoyée vers le réservoir de préparation. Un système automatisé assure le contrôle de la quantité d'eau. Après le passage de quelques litres d'eau vers le réservoir de préparation, l'opérateur ouvre la valve n° 3 et envoie le colorant rouge préalablement mesuré vers le réservoir de préparation. Une fois le réservoir de mesure vide, l'opérateur ferme la valve. La recette exige, par la suite, l'ajout d'acide. L'opérateur ouvre la valve n° 2 afin de mesurer dans le réservoir la quantité d'acide nécessaire à la recette. Ensuite, il procède de la même façon pour envoyer l'acide dans le réservoir de préparation lors du passage de l'eau. Certains opérateurs ajoutent l'acide avec la mesure du colorant en une seule étape.

Une fois le colorant rouge et l'acide envoyés avec l'eau dans le réservoir de préparation, l'opérateur actionne la valve n° 4 afin d'ajouter de l'eau dans le réservoir de mesure et ainsi nettoyer la vitre (entrée d'eau située sur le dessus du réservoir de mesure). Par la suite, l'eau de rinçage est envoyée

dans le réservoir de préparation. Une fois ces étapes réalisées, la préparation de recette est terminée et le réservoir de mesure est vide.

Lors de ces opérations, l'opérateur se positionne devant le muret qui fait face au réservoir de mesure afin d'accéder aux valves.

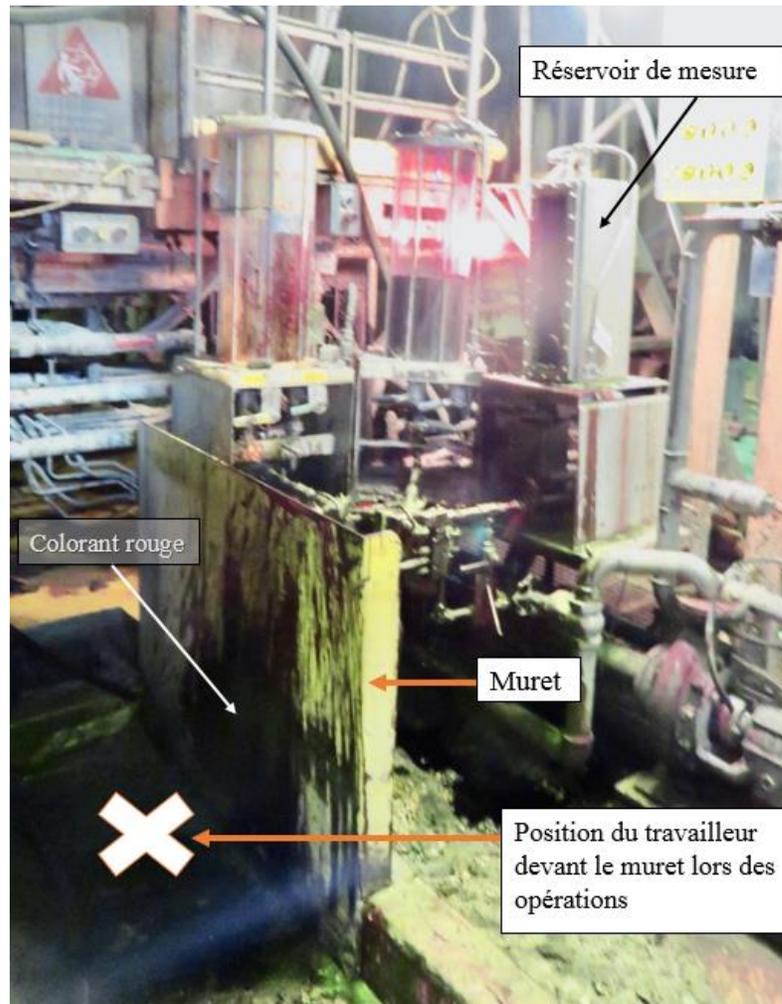


Photo 4 – Position du travailleur  
Source : CNESST

La majorité du système de coloration est automatisée à l'exception de la tâche consistant à préparer les recettes de colorant dilué qui nécessite une opération manuelle pour la mesure de colorant et d'acide dans les réservoirs de mesure.

## SECTION 4

### 4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

#### 4.1 Chronologie de l'accident

Le 12 octobre 2018, M. [ G ], ci-après nommé l'opérateur, effectue son quart de travail de 5 h 15 à 17 h 15. Aucune anomalie concernant le poste de coloration n'est notée dans les rapports de quart ou discutée entre les opérateurs dont les quarts de travail se chevauchent. Lors de ce quart de travail, l'opérateur effectue une recette de colorant rouge dilué soit vers 14 h 30. Il termine son quart de travail vers 17 h 15 et effectue la transition de quart avec [ ... ], M. [ H ] (ci-après appelé [ H ]).

Le 12 octobre, [ H ] effectue son quart de travail entre 17 h 15 (12 octobre) et 5 h 15 (13 octobre). Le 12 octobre à 21 h 00, il ajoute de l'eau dans le réservoir de préparation puisque la concentration de colorant est élevée. Il s'aperçoit alors que le réservoir de mesure de colorant rouge est plein puisque la valve n° 1 n'est pas bien fermée. Il referme la valve et il envoie 3 litres de colorant rouge dans le réservoir de préparation afin de commencer à vider le réservoir de mesure. Il écrit que le réservoir de colorant rouge est aux trois quarts sur les notes manuscrites qu'il complète en cours de quart. Vers 2 h 00 du matin, le 13 octobre, il ajoute de l'eau dans le réservoir de préparation sans ajouter de colorant afin d'ajuster la concentration de la préparation de colorant rouge.

Le 13 octobre vers 5 h 15, l'opérateur arrive au département et il rencontre [ H ]. Ce dernier informe l'opérateur de pâte que le réservoir de colorant rouge est aux trois quarts. L'opérateur informe [ H ] qu'il s'occupera de le vider. [ H ] lui mentionne qu'il n'est pas nécessaire de le vider, qu'ils écoulent le reste du colorant au fur et à mesure dans les recettes. Par la suite, les deux travailleurs discutent d'autres choses. [ H ] quitte le département vers 5 h 30.

M. [ I ], arrive au département vers 5 h 30, il parle avec l'opérateur mais ne discute pas du travail à faire. À 6 h 00, M. [ J ], arrive au département et discute avec les [ ... ] travailleurs. La rencontre dure environ cinq minutes. Vers 6 h 15, [ I ] informe l'opérateur qu'il part ramasser le papier sous la machine à papier n° 4. Ils s'assurent que leur fréquence de radio est la même. Lorsque [ I ] quitte la salle de contrôle, l'opérateur regarde les écrans de contrôle. Entre 15 et 20 minutes plus tard, [ I ] remonte au département. En arrivant, il constate une trace de substance rouge au sol entre la salle de contrôle et le poste de coloration. Il s'avance puis il constate que l'opérateur est écroulé sous l'évier près de la salle de contrôle, couvert de rouge. Il est inconscient. [ I ] contacte [ J ] afin que des secouristes et une ambulance soient appelés. [ J ] et [ ... ] autres secouristes arrivent rapidement sur place et des manœuvres de réanimation sont initiées. Les policiers arrivent également sur les lieux. Par la suite, les ambulanciers arrivent et prennent la relève pour les manœuvres de réanimation. L'opérateur de pâte est conduit à l'hôpital où son décès est constaté.

## 4.2 Constatations et informations recueillies

### 4.2.1 Expérience et formation du travailleur accidenté

L'opérateur est embauché à l'usine le [ ... ]. Le [ ... ], il est officiellement nommé opérateur de pâte au département de la salle des mélanges. Toutefois, il travaille au département de la salle des mélanges depuis le [ ... ]. Le cheminement normal au département est de débiter comme manutentionnaire afin d'acquérir de l'expérience sur le département. Par la suite, le manutentionnaire effectue les remplacements de vacances pour le poste d'opérateur. Ainsi, l'opérateur possède officiellement [ ... ] d'ancienneté à titre d'opérateur de pâte mais il effectue ces tâches depuis plus longtemps. L'expérience exacte n'est pas connue.

Au cours des années, l'opérateur a suivi plusieurs formations : [ ... ]. [ ... ].

### 4.2.2 Manuel de formation – section coloration

Un manuel de formation (Manuel de formation de base – Régulateur de pâte (opérateur)) regroupe les procédures de travail et les informations concernant les opérations. Il s'agit principalement d'un document de travail permettant aux opérateurs de s'y référer en cas de besoin. Ce document est également utilisé lors de la formation des nouveaux travailleurs. Les aspects de santé et sécurité ne sont pas traités dans ce document. Ce manuel a été élaboré par certains travailleurs du département. La version remise dans la cadre de l'enquête est datée de juin 2006.

Une section du manuel de formation concerne les produits chimiques et plus spécifiquement le colorant. Dans cette section, la procédure de mélange des colorants dilués est décrite, incluant les recettes à suivre. Voici l'extrait de cette section :

[ ... ]

Figure 5 – Extrait du manuel de formation  
Source : White Birch

Ainsi, dans le manuel de travail, la recette de colorant dilué est la suivante :

- Eau;
- Colorant pur;
- Acide.

Dans le manuel, il est noté que l'ajout d'acide en quantité égale au colorant pur permet d'empêcher la précipitation<sup>3</sup> du colorant qui pourrait faire bloquer la tuyauterie du système.

#### **4.2.3 Recette de colorant rouge dilué**

Comme mentionné précédemment, la recette de colorant rouge dilué est constituée d'un colorant basique (Tex basic rouge PFD LIQ), d'eau et d'acide. Pour la recette de colorant rouge dilué, le nombre de litres de colorant pur est déterminé en fonction du nombre de litres d'eau qui sera utilisé. La quantité d'acide utilisée dans une recette est la même que le colorant.

Concernant la possibilité de précipitation du colorant, dans la fiche signalétique du produit, il n'y a aucune information à ce sujet. La fiche n'indique pas les conditions qui peuvent entraîner cette réaction. [ K ] du fournisseur (Tri-Tex co inc.) nous informe que le produit est stable et qu'une garantie d'un an concernant sa stabilité est offerte. Toutefois, selon le fournisseur, le produit peut passer 5 ou 6 ans en stockage sans que son état change. [ K ] nous informe que le produit ne se précipitera pas seul, que des conditions particulières d'utilisation peuvent entraîner la formation de dépôts. Cependant, lorsque l'usage est fait selon les recommandations, il n'y aura pas de précipitation du produit.

Selon plusieurs membres de l'équipe du département, l'acide permet d'éviter que la tuyauterie en aval se bouche. Elle permet de stabiliser le colorant et ainsi d'éviter la formation de dépôts dans la tuyauterie. L'acide ne serait pas nécessaire à la recette de colorant dilué puisqu'elle n'a pas d'impact sur la qualité du papier. Le fait de ne pas en ajouter une ou deux fois dans une recette n'entraînerait pas un blocage immédiat de la tuyauterie. L'ensemble de l'équipe n'a pas la même interprétation du rôle de l'acide dans une recette.

#### **4.2.4 Bris de la valve manuelle pour le remplissage du colorant rouge**

Lors de l'accident, la valve n° 1 permettant le remplissage du réservoir de mesure du colorant rouge est défectueuse. Ce bris n'empêche pas son utilisation et n'occasionne pas de risque. Selon les travailleurs du département, cela exige une attention particulière afin de s'assurer que la valve soit bien fermée.

Ce bris fait en sorte que, lors de la fermeture de la valve, il peut arriver que celle-ci demeure partiellement ouverte alors qu'elle semble bien fermée. Ainsi, le colorant rouge continue à monter tranquillement dans le réservoir de mesure sans que les travailleurs ne s'en rendent compte. Il arrive donc, à l'occasion, que le réservoir de mesure se remplisse au-delà des quantités nécessaires pour les recettes.

Selon les travailleurs du département, ce bris était rapporté au [ E ] depuis quelque temps par le biais d'un rapport de quart. Les rapports de quart sont complétés par les travailleurs du département et ils

<sup>3</sup> Une précipitation correspond à la formation de dépôts solide à la suite d'une réaction chimique dans une solution.

sont ensuite lus par les superviseurs et les surintendants. Ces derniers sont responsables de donner suite aux commentaires et aux demandes. Les réparations sont priorisées en fonction de l'impact sur la production et sur les risques à la sécurité.

Un rapport de quart daté du 23 octobre 2016 rapporte la défectuosité de cette valve. Selon le travailleur ayant rapporté ce bris, la valve a été réparée à la suite de ce rapport et celle-ci s'est brisée à nouveau. Aucun n'autre rapport de quart plus récent ne fait mention de ce bris. La réparation des valves relève d'un autre département.

#### **4.2.5 Moyens pour vider un réservoir de mesure**

Comme mentionné précédemment, le réservoir de mesure utilisé pour fabriquer une recette de colorant dilué est vide après son utilisation. En effet, celui-ci ne sert qu'à mesurer la quantité nécessaire de colorant et d'acide. Le réservoir de mesure est conçu pour être vidé seulement lors de la fabrication des recettes, en envoyant son contenu dans le réservoir de préparation. Il n'y a pas de valve de vidange, ni aucun autre moyen ou méthode pour vider un réservoir de mesure advenant qu'il soit trop rempli.

Selon certains travailleurs rencontrés, si une quantité de colorant plus grande que ce qui est prévue pour une recette se retrouve dans le réservoir, il n'est pas nécessaire de le vider. Il est possible de laisser le colorant dans le réservoir de mesure et de laisser s'écouler la quantité nécessaire de colorant pour une recette. Le réservoir sera vidé en utilisant son contenu au fur et à mesure lors de la fabrication des recettes. Il est à noter que cette façon de faire n'est pas la procédure prévue au manuel de formation. En effet, selon celle-ci, le colorant mesuré dans le réservoir de mesure doit être ajouté à l'eau du réservoir de préparation puis la même quantité d'acide doit être mesurée dans le réservoir de mesure et être envoyée dans le réservoir de préparation.

Certains travailleurs mentionnent que s'il s'avère nécessaire de vider un réservoir, il serait possible de démonter des tuyaux sous le réservoir et de vidanger le contenu du réservoir par gravité. Selon les travailleurs, cette méthode serait effectuée par des tuyauteurs.

#### **4.2.6 Utilisation de l'air comprimé afin de vider le réservoir de colorant rouge**

Lors de l'accident, l'opérateur tente de vider le réservoir de mesure de colorant rouge. Ainsi, l'opérateur raccorde un boyau d'air comprimé au tuyau flexible de l'évent qui, normalement, se situe dans la cuve de récupération.

Le raccord est fabriqué artisanalement par des pièces disponibles dans l'usine. Ce montage permet d'apporter de l'air comprimé dans le réservoir de mesure via l'évent. L'air comprimé est utilisé dans le but de pousser le colorant du réservoir de mesure afin qu'il retourne vers la cuve de colorant pur par la tuyauterie qui normalement permet de remplir le réservoir de mesure.

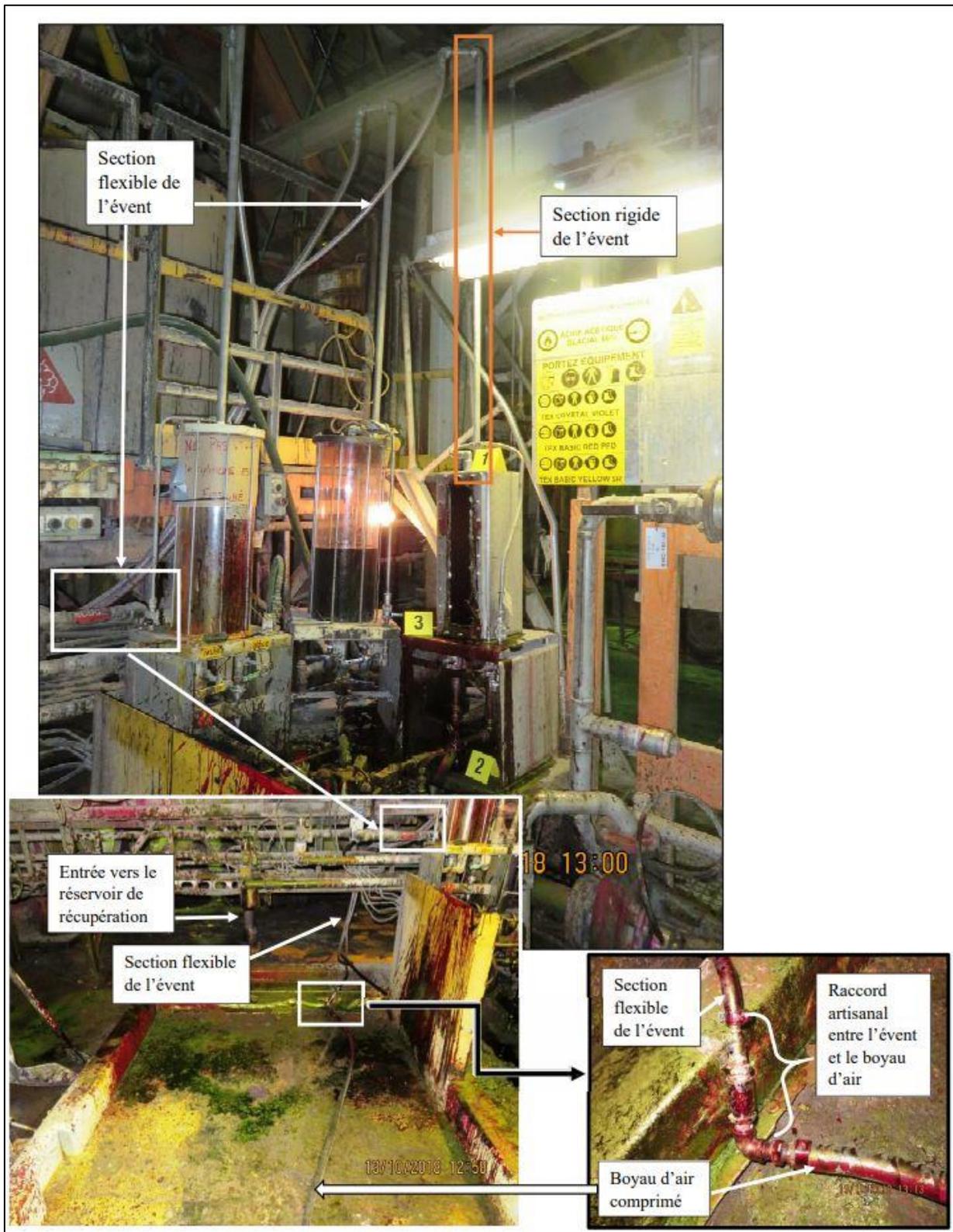


Photo 5 – Assemblage entre l'évent du réservoir de mesure et le boyau d'air comprimé  
Source : CNESST

Cette méthode de travail n'est pas usuelle dans le département. D'autres opérateurs connaissent cette façon de faire puisque l'opérateur leur en a parlé et l'a déjà utilisée dans le passé. Cette pratique n'est pas connue du [ E ] ni du [ F ] du département.

Selon l'information obtenue, la séquence suivie par l'opérateur est la suivante :

- Installation du boyau d'air comprimé sur la section flexible de l'évent du réservoir de mesure;
- Déplacement de l'opérateur du poste de coloration vers la valve d'air comprimé (voir figure 3, page 6);
- Ouverture partielle de la valve d'air (tentative de contrôler le débit);
- Retour de l'opérateur vers le poste de coloration;
- Ouverture de la valve n° 1 qui permet, sous l'effet de l'air comprimé, le retour du colorant dans la cuve de colorant pur.

L'accident s'est produit dans l'intervalle entre le départ du manutentionnaire pour réaliser ses tâches et son retour à la salle des mélanges. Ceci confirme que le raccord artisanal est prêt pour utilisation lors de l'accident. En effet, selon les intervenants rencontrés, la fabrication du raccord artisanal et sa mise en place, prend plus de 15 minutes. L'opérateur n'a eu qu'à ajouter un collet de serrage sur le raccord pour joindre le boyau d'air comprimé à la section flexible de l'évent. Un tournevis utilisé pour cet usage est retrouvé sur le lieu de l'accident près du réservoir de mesure pour le colorant jaune.

#### **4.2.7 Air comprimé**

En général, l'air comprimé est peu utilisé dans le département. Les travailleurs nous mentionnent que l'air est utilisé principalement pour alimenter les outils pneumatiques des mécaniciens et des tuyauteurs. L'air comprimé peut être utilisé à l'occasion pour déboucher certains tuyaux en tentant de pousser la pâte de papier.

Lors de l'accident, l'assemblage permet d'introduire de l'air comprimé par l'évent. Théoriquement, ce montage permet l'atteinte de la même pression dans le réservoir de mesure que la pression de la ligne d'air soit environ 96 psi.

#### **4.2.8 Propriété du verre trempé**

Comme mentionné précédemment, le verre de la vitre du réservoir de mesure est un verre trempé. Le verre trempé est généralement conforme à la norme ASTM C1048 – Standard Specification for Heat-Treated Flat Glass – Kind HS, Kind FT ou CAN/CSA CGSB-12.1-M90 – Verre de sécurité trempé ou feuilleté. Le verre trempé a une résistance mécanique de 4 à 5 fois plus élevée qu'un verre non-trempé de même épaisseur. Ce type de verre se brise en petit fragment (généralement de forme cubique).

Selon les règles de l'art, le verre trempé se rompt lorsque les contraintes « internes » atteignent entre 120 et 200 MPa (mégapascals).

#### **4.2.9 Analyse numérique de contraintes par éléments finis**

À la suite de l'accident, le concepteur du réservoir de mesure a effectué une analyse de contraintes de la vitre (annexe C, page 24). L'objectif est d'établir la limite de rupture de la vitre du réservoir

de mesure. La méthode utilisée par celui-ci est une analyse de contraintes par éléments finis<sup>4</sup>.

Selon les résultats de l'analyse, lorsqu'une pression de 80 psi est appliquée sur la surface de la vitre, cela engendre des contraintes internes dans le verre qui dépassent la limite de rupture de celle-ci, soit 120 MPa. L'analyse démontre donc que la vitre ne peut pas tolérer une pression plus grande que 80 psi.

La figure suivante représente la simulation d'une pression de 90 psi (pression de l'air comprimé) exercée sur une des deux faces de la vitre. Les contraintes dans la vitre sont représentées par différentes couleurs sur la figure. Ainsi, la présence de la couleur rouge-orangée témoigne du dépassement de la limite de rupture.

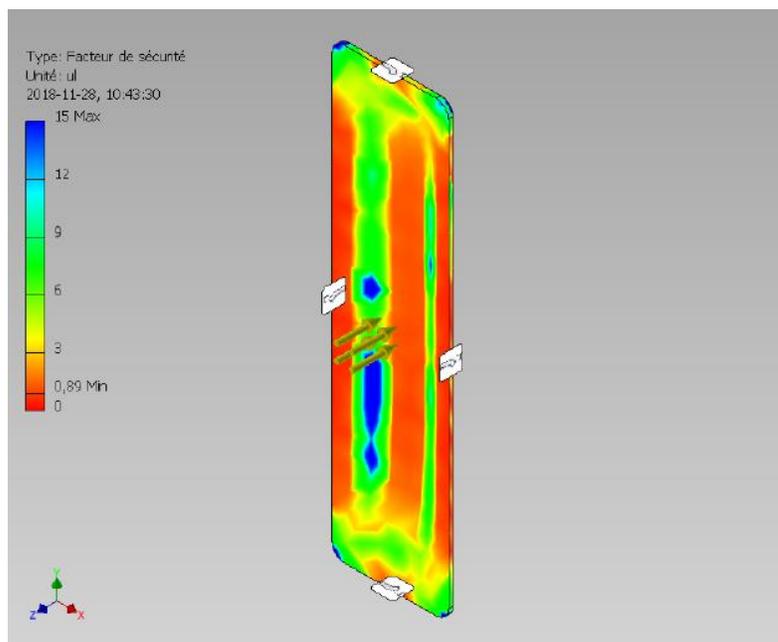


Figure 6 – Analyse par éléments finis  
Source : Praxis Technologie progressive

#### 4.2.10 Autres informations

Le 13 octobre 2018, peu de temps après l'accident, [ I ] s'est rendu au poste de coloration et a constaté que la valve n° 1 pour le remplissage du colorant rouge était entrouverte et que le colorant rouge coulait au sol. Il a donc fermé la valve pour éviter que le colorant continu de couler.

Pour la fin de semaine du 12 au 14 octobre 2018, le besoin en colorant dilué rouge n'allait pas être important compte tenu du grade de papier à produire lors de cette période. De plus, la préparation de colorant rouge dilué est plus concentrée qu'à l'habitude. En effet, le 12 et le 13 octobre 2018, la quantité de la préparation de colorant rouge dilué envoyée aux machines à papier par le système informatique est plus basse selon [ H ].

<sup>4</sup> La méthode par éléments finis permet de calculer et de représenter numériquement le comportement mécanique d'un matériau.

### 4.3 Énoncés et analyse des causes

#### 4.3.1 La pression induite sur le verre par l'air comprimé et le colorant dans le réservoir de mesure entraîne le dépassement de la résistance à la rupture du verre et provoque son éclatement en plusieurs morceaux qui atteignent le travailleur mortellement.

En installant le boyau d'air comprimé sur l'évent du réservoir de mesure et en ouvrant légèrement la valve, l'air comprimé s'introduit dans le réservoir de mesure. Puisque les valves du réservoir de mesure sont fermées, le colorant et l'air comprimé ne peuvent sortir du réservoir et la pression dans le réservoir monte graduellement. Celle-ci pourra atteindre la même pression que celle dans la ligne d'air comprimé, soit environ 96,25 psi.

Selon l'analyse du concepteur, la pression maximale admissible sur le verre avant sa rupture est de 80 psi. Ainsi, au moment de l'accident, l'air comprimé entre dans le réservoir et fait monter la pression. En ouvrant partiellement la valve de l'air comprimé, l'opérateur fait monter graduellement la pression dans le réservoir de mesure. Toutefois, la pression maximale pourra tout de même atteindre 96,25 psi à un moment donné.

Ainsi, le temps de déplacement de l'opérateur entre la valve de l'air comprimé et le poste de coloration permet à la pression dans le réservoir d'atteindre 80 psi et ainsi d'engendrer les contraintes internes (120 MPa) dans le verre ce qui entraîne la rupture de la vitre. Au moment où l'opérateur ouvre la valve d'entrée du colorant rouge (valve n° 1), afin que celui-ci soit poussé par l'air comprimé vers la cuve d'alimentation, la vitre éclate et l'opérateur est atteint mortellement par les morceaux de verre projetés.

**Cette cause est retenue.**

#### 4.3.2 L'absence d'un moyen pour vider le réservoir et de directive à suivre lorsqu'un réservoir de mesure se remplit au-delà de la quantité voulue entraîne l'improvisation d'une méthode de travail dangereuse.

La valve n° 1 permettant le remplissage du colorant rouge dans le réservoir de mesure est défectueuse depuis quelques temps. Le bris est connu par [ ... ] mais la réparation n'est pas priorisée puisque cela n'occasionne pas de risque à la sécurité des travailleurs ou pour la production. Le bris fait en sorte que la fermeture de la valve nécessite une certaine attention des travailleurs afin de bien la fermer mais n'empêche pas son utilisation. Ainsi, lorsqu'elle est mal fermée, le colorant rouge continue de monter lentement dans le réservoir de mesure sans que les travailleurs ne s'en rendent compte.

Dans ces circonstances, il devient probable que le colorant rouge puisse à l'occasion s'accumuler dans le réservoir de mesure au-delà de la quantité nécessaire à une recette empêchant ainsi l'ajout de l'acide dans la recette et le nettoyage de la vitre tel que prévu dans le manuel de formation. Nonobstant cette information, aucune mesure temporaire ou mise à jour concernant la fabrication de recette de colorant rouge dilué n'a lieu. Il n'y a pas de procédure particulière à suivre advenant que le réservoir de colorant rouge se remplit au-delà de la quantité voulue.

Selon certains travailleurs, il est évident que le colorant peut rester quelque temps dans le réservoir de mesure sans que celui-ci ne se précipite ou tache la vitre, et ce, même si la recette et la séquence d'opérations prévues dans le manuel de formation ne peuvent être respectées.

Toutefois, les directives et séquences prévues dans le manuel de formation de l'opérateur n'ont pas été mises à jour afin de clarifier, auprès de tous les travailleurs, l'application facultative de la recette exacte de colorant dilué ainsi que de la séquence de fabrication. Cela aurait permis de s'assurer de la compréhension de tous les travailleurs du rôle de l'acide dans la recette, notamment concernant le fait que l'ajout d'acide peut être omis quelques fois sans occasionner de blocage dans la tuyauterie en aval ou de problème de production. De plus, cela aurait permis d'officialiser le fait que le colorant peut demeurer quelques temps dans le réservoir de mesure sans que le colorant ne tache la vitre.

Par ailleurs, la configuration du réservoir de mesure ne permet pas de le vider d'une autre façon que par la préparation d'une recette. Le colorant contenu dans un réservoir doit donc être nécessairement envoyé dans le réservoir de préparation. Il n'a pas de dispositif ou de moyen, tel qu'une valve de vidange sur le réservoir permettant de vider son contenu autrement qu'en l'envoyant dans le réservoir de préparation.

En l'absence de directive à suivre lorsqu'un réservoir de colorant est trop plein, il est envisageable qu'un travailleur soit porté à trouver un autre moyen de le vider pour différentes raisons, notamment, afin de mesurer adéquatement la quantité de colorant envoyée dans la recette, d'éviter de tacher la vitre de façon permanente puisque la présence du colorant rouge empêche le rinçage du réservoir à l'eau ou afin de suivre les séquences de travail telles qu'il est prévu dans le manuel de formation et ainsi d'ajouter l'acide dans la recette. De plus, étant donné, que lors de l'accident, la recette de préparation de colorant rouge dilué est déjà plus concentrée qu'à l'habitude, envoyer tout le contenu du réservoir de rouge dans le réservoir de préparation devient une option peu appropriée.

Ainsi, l'absence d'un moyen pour vider un réservoir de mesure autre que par une recette et l'absence de directive à suivre advenant le remplissage d'un réservoir de mesure au-delà de la quantité nécessaire pour une recette, entraîne l'improvisation d'une méthode de travail dangereuse.

En effet, l'air comprimé est disponible et est utilisé occasionnellement pour déboucher d'autres types de tuyaux (en poussant le contenu avec l'air comprimé). Son utilisation devient donc une solution permettant de vider le réservoir de mesure en poussant sur le colorant contenu dans le réservoir à l'aide de l'air comprimé afin de le retourner vers la cuve de colorant pur.

Toutefois, cette méthode de travail crée une pression dans le réservoir qui n'est pas conçue pour être utilisée de cette façon. La pression créée par l'air comprimé dans le réservoir entraîne un dépassement de la résistance à la rupture de la vitre du réservoir et provoque son éclatement au moment où le travailleur se positionne en face au réservoir afin d'ouvrir la valve pour laisser passer le colorant vers la cuve d'alimentation située sur la mezzanine.

**Cette cause est retenue.**

## SECTION 5

### 5 CONCLUSION

#### 5.1 Causes de l'accident

- La pression induite sur le verre par l'air comprimé et le colorant dans le réservoir de mesure entraîne le dépassement de la résistance à la rupture du verre et provoque son éclatement en plusieurs morceaux qui atteignent le travailleur mortellement.
- L'absence d'un moyen pour vider le réservoir et de directive à suivre lorsqu'un réservoir de mesure se remplit au-delà de la quantité voulue entraîne l'improvisation d'une méthode de travail qui expose le travailleur à un danger.

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

- Le rapport RAP1240355, émis le 13 octobre 2018, interdit l'utilisation du système de coloration et exige notamment son inspection complète. Il interdit également l'utilisation de l'air comprimé afin de vider un réservoir de mesure. Enfin, dans ce même rapport, une interdiction de vider les réservoirs de mesure d'une autre façon que lors de leur utilisation habituelle est émise et l'élaboration d'une méthode de travail sécuritaire est demandée.
- Le rapport RAP1241323, émis le 19 octobre 2018, autorise l'utilisation du système de coloration, celui-ci ayant été inspecté par [ C ].
- Le RAP1243874, émis le 7 novembre 2018, rend la décision interdisant de vider un réservoir de mesure à l'aide de l'air comprimé de façon permanente. Dans ce même rapport, l'interdiction de vider les réservoirs de mesure par une autre méthode que lors de la préparation de recette est levée puisque l'employeur a élaboré une méthode de travail sécuritaire incluant une analyse de risque.

#### 5.3 Suivi à l'enquête

- Afin de prévenir un tel accident, la CNESST transmettra à Previbois le rapport d'enquête, pour qu'une sensibilisation soit faite auprès de ses membres sur les risques reliés à l'utilisation de l'air comprimé dans les usines.

**ANNEXE A**

## L'accidenté

**Nom, prénom** : [ G ]

Sexe : Masculin

Âge : [ ... ]

Fonction habituelle : [ ... ]

Fonction lors de l'accident : Régulateur de pâte (opérateur de pâte)

Expérience dans cette fonction : [ ... ]

Ancienneté chez l'employeur : [ ... ]

Syndicat : [ ... ]

**ANNEXE B**Liste des personnes et témoins  
rencontrés/contactés**Papier White Birch – Usine Stadacona**

- M. [ L ], [ ... ]
- M. [ M ], [ ... ]
- M. [ B ], [ ... ]
- M. [ J ], [ ... ]
- M. [ H ], [ ... ]
- M. [ N ], [ ... ]
- M. [ F ], [ ... ]
- M. [ O ], [ ... ]
- M. [ P ], [ ... ]
- M. [ Q ], [ ... ]
- M. [ R ], [ ... ]
- M. [ S ], [ ... ]
- M. [ A ], [ ... ]
- M. [ T ], [ ... ]
- M. [ U ], [ ... ]
- M. [ E ], [ ... ]
- M. [ V ], [ ... ]
- M. [ I ], [ ... ]
- M. [ W ], [ ... ]
- M. [ X ], [ ... ]

**Autres :**

- M. Haïtem Ben Ayed, ing., président, Praxis Technologie Progressive (9101-4423 Québec inc.)
- M. [ K ], [ ... ], Tri-Tex co inc.
- Me Donald Nicol, coroner
- M. [ C ], [ ... ], Norda Stelo inc.

## ANNEXE C

### Rapport d'expertise externe



5120, av. West suite 229, Québec, QC, G1X 4A6

### Analyse du vitrage du tube mélangeur d'encre

Date : 13 octobre 2018

**Objectif :**  
L'objectif de l'analyse est de vérifier la tolérance du vitrage avant rupture.

**Information de départ :**  
Le vitrage est trempé et mesure 18,25 po de haut, 4,75 po de large et a 3/16 po d'épaisseur. Le vitrage est arrivé avec le tube de mélange de PRAXIS T.P., mais a été acheté chez un fabricant de verre spécialisé qui a l'habitude de travailler ce type de verre.

**Information complémentaire :**

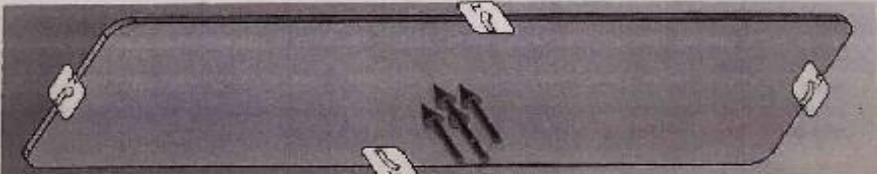
- La contrainte maximale à la flexion (soutenue en deux points) en rupture pour ce type de vitrage est de l'ordre 120 à 200 MPa. (Portail Français du verre, *Les propriétés mécaniques*, 2004 [http://www.verreonline.fr/vis/prop\\_mecan3.php](http://www.verreonline.fr/vis/prop_mecan3.php))

**Méthode d'analyse :**  
L'analyse de la vitre a été réalisée avec le logiciel Inventor 2018 à l'aide du module d'analyse de contrainte par éléments finis. Le matériau utilisé dans le logiciel Inventor pour cette analyse est le verre, vitrage transparent, trempé dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Module de young 70GPa
- Coefficient de poisson 0,23
- Module de cisaillement 28500 MPa
- Densité 2,42 g/cm<sup>3</sup>
- Limite de rupture 120 MPa (limite ultime selon références)
- Limite selon le logiciel est de 175 MPa.

Cette dernière donnée était à l'origine de 175MPa, mais elle a été ramenée à 120 MPa pour représenter la pire situation possible selon la référence trouvée.

**Résultats :**  
Dans tous les cas, la vitre est contrainte sur les 4 côtés pour simuler l'impact maximal d'une pression sur celle-ci. Or, il est clair qu'en réalité la surface pouvant fléchir est plus petite que celle qui sera étudiée.



**Figure 1 :** Positionnement des contraintes sur la vitre

**Résultat d'étude 1:**

Une pression de 10psi est appliquée sur l'une des deux faces de la vitre en ayant une contrainte maximale de 120MPa.

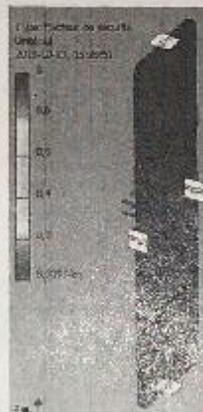


Figure 2 : Résultat de simulation avec 10psi et une limite de 120MPa

L'étude illustre que la vitre soumise à une pression de 10psi donne un facteur de B avant déformation. Or, puisqu'il s'agit d'un matériau fragile (peu ductile), la limite élastique utilisée est considérée comme la limite en rupture.

**Discussion :**

En supposant que la vitre se retrouve dans un état de flexion tel que représenté sur la figure 3 et que la donnée de contrainte moyenne maximale dans cet état est de 120MPa, l'analyse 1 montre que la vitre pouvait supportée jusqu'à 80psi avant rupture.

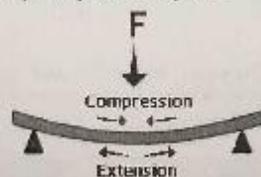
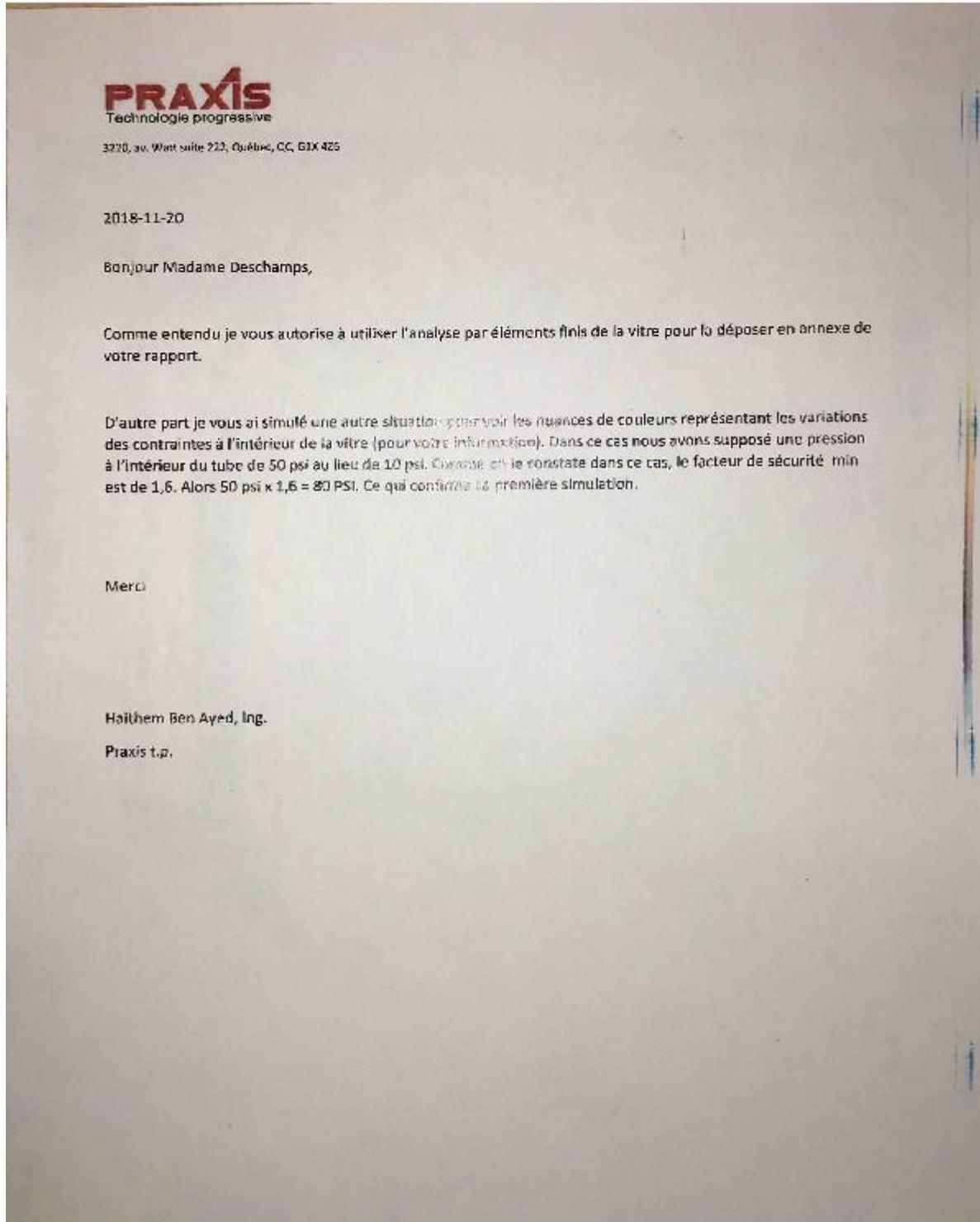
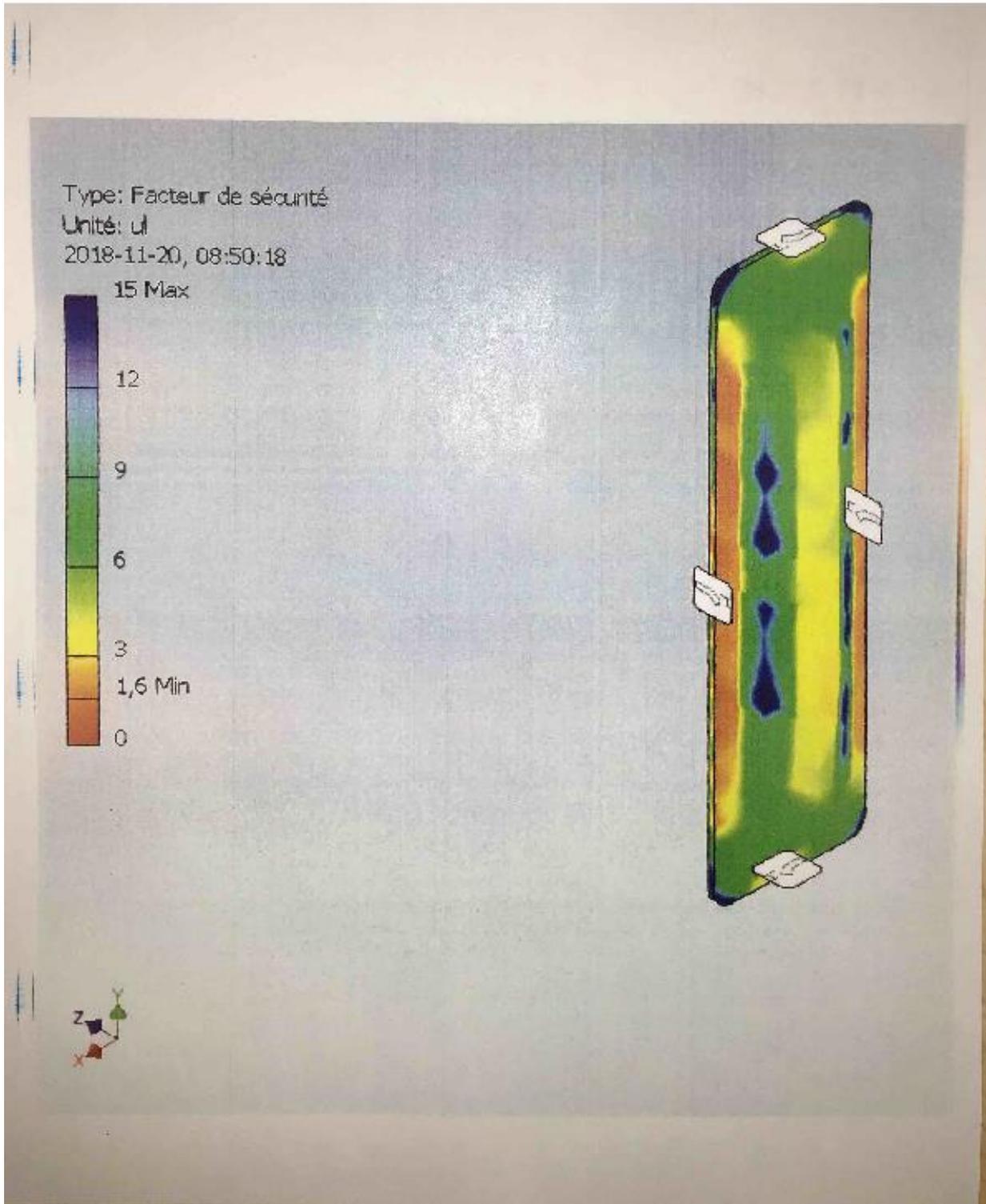


Figure 3 : État de contrainte de la vitre

Donc, l'alimentation du tube de mélange avec l'air d'usine, considéré comme étant à 94psi, provoque une augmentation de pression dans le tube pouvant aussi atteindre 94psi, ce qui dépasse la limite permise par la vitre et donc provoque sa rupture.

Il est à noter que cette simulation traite la situation qui s'est produite lors de l'accident seulement. En aucun cas, ce tube n'a été considéré ni conçu comme un vaisseau sous pression.





## PRAXIS

Technologie progressive

3270, av. West suite 222, Québec, QC, G1X 4Z6

2019-12-06

Bonjour Madame Deschamps,

Comme promis voici l'explication de l'état de la vitre sous une pression (air dans ce cas) de 90 psi

Il est à noter que les paramètres physiques sont les mêmes que les deux autres cas étudiés (par simulation par éléments finis) précédemment. De plus les caractéristiques du verre trempé sont aussi les mêmes. Le but est de voir la distribution des contraintes selon la variation de la pression seulement.

En appliquant une pression des 90 psi (air comprimé), les contraintes induites dépassent la valeur maximum avant rupture. Nous observons sur l'échelle des facteurs de sécurité (à gauche) que la valeur min dans ces conditions est de 0,89. Nous savons que si FS descendait en dessous de 1, cela veut dire que nous avons déjà atteint la limite. Dans le cas du verre trempé, la limite est 120 Mpa. Comme c'est un matériau fragile (comme tous les verres), la zone de déformation plastique est quasi nulle. Contrairement à l'acier (matériau ductile). Donc c'est la rupture! La nuance de couleur orange à rouge sur la vitre correspond aux mêmes nuances vis-à-vis FS 0,89 sur l'échelle. Plus qu'on descend vers le bas, plus le rouge se confirme. Clairement on observe bien les zones qui ont cassé en premier.

Maintenant pour savoir à quel niveau de pression que la vitre a cédé, il suffit de multiplier la pression par FS. Donc  $90 \text{ psi} \times 0,98 = 80,1 \text{ psi}$ .

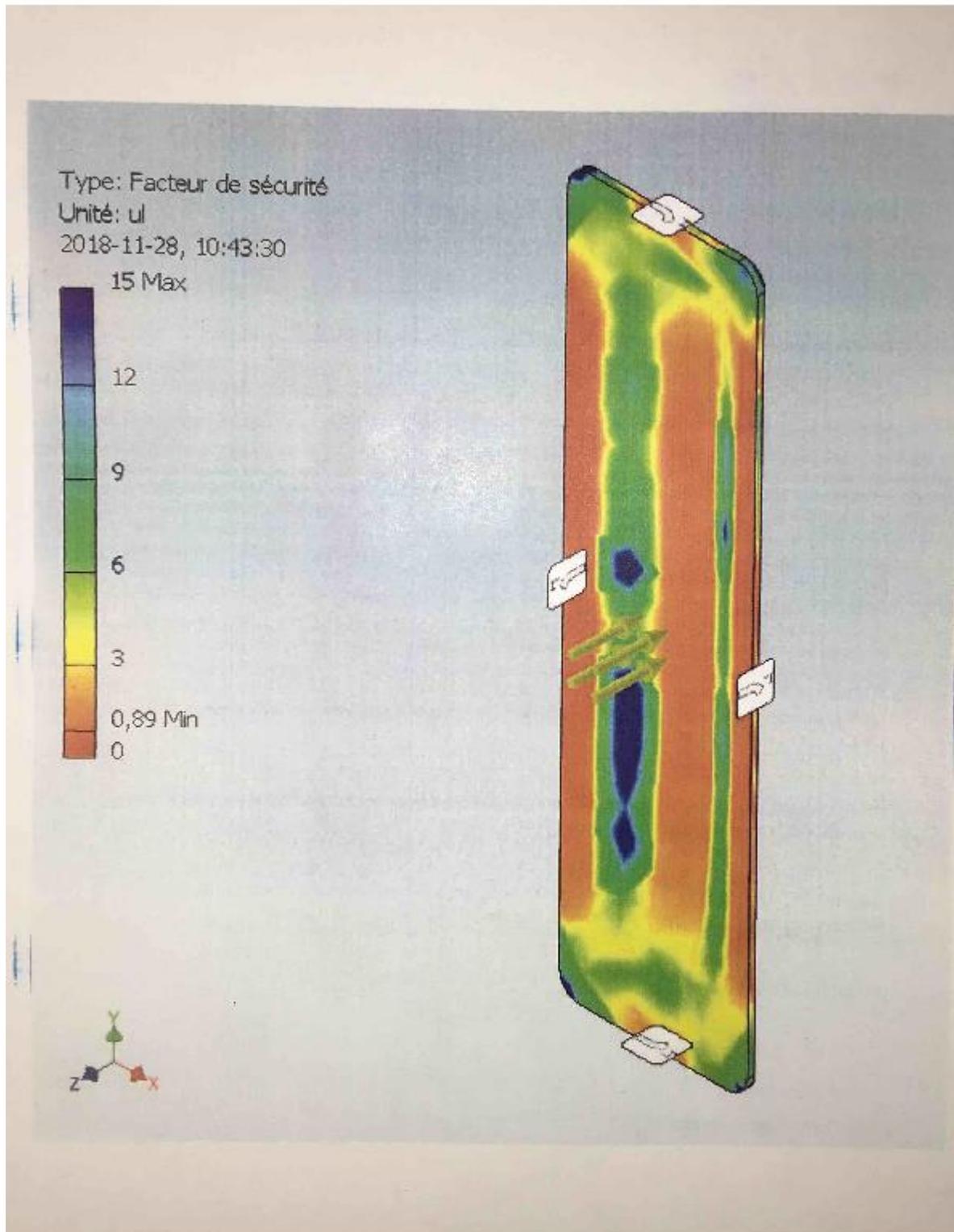
Selon la simulation par éléments finis (ci-jointe) la vitre a éclaté à partir de 80,1 psi. Comme c'est une vitre trempée, elle se fragmente en petit morceaux.

J'espère que j'ai bien répondu à vos questions et n'hésitez pas à me demander autres choses ou des explications supplémentaires si c'est nécessaire. Cela me fait toujours plaisir de collaborer.

Salutations et bonne journée

Haithem Ben Ayed, ing.

Praxis technologie progressive inc.



**ANNEXE D**

## Références bibliographiques

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Specification for Heat-Strengthened and Fully Tempered Flat Glass*, [West Conshohocken, Penns.], ASTM International, 2018, v. 15.02. (ASTM C1048 - 18).

ASSOCIATION TECHNIQUE ENERGIE ENVIRONNEMENT. *Guide pratique de l'air comprimé : performance énergétique et optimisation technique*, [En ligne], Arcueil, ATEE, 2013, [66] p. [[http://atee.fr/sites/default/files/2013-12\\_guide\\_de\\_lair\\_comprimeatee3web\\_0.pdf](http://atee.fr/sites/default/files/2013-12_guide_de_lair_comprimeatee3web_0.pdf)] (Consulté le 29 octobre 2018).

CARRÉ, Hélène. *Étude du comportement à la rupture d'un matériau fragile précontraint : le verre trempé*, [En ligne], Thèse (Ph. D.), École Nationale des Ponts et Chaussées, 1996, 175 p. [<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00529410/document>] (Consulté le 29 octobre 2018).

CARRÉ, Hélène, et Laurent DAUDEVILLE. *Détermination de la résistance du verre trempé*, [En ligne], [France, s. n., 1996?], 24 p. [<http://people.3sr-grenoble.fr/users/ldaudeville/publis/IDV.pdf>] (Consulté le 29 octobre 2018).

FAISANDIER, Jacques, et autres. *Mécanismes hydrauliques et pneumatiques*, 9e éd., Paris, Dunod, 2016, xvi, 717 p. (Technique et ingénierie. Série Mécanique et matériaux).

LAURIER. *Verre traité thermiquement*, [En ligne], Laurier-Station, Laurier, c2018, [5] p. [<http://laurier.net/wp-content/uploads/2017/11/Laurier-Document-technique-Verre-traite-thermiquement.pdf>] (Consulté le 29 octobre 2018).

MD GLASS. *Verre trempé*, [En ligne], St-Laurent, MD Glass, c2005-2006. [[https://www.mpglass.ca/fr/tempered\\_glass.php](https://www.mpglass.ca/fr/tempered_glass.php)] (Consulté le 29 octobre 2018).

MULTIVER. *Traitement thermique du verre : verre trempé, verre renforcé à la chaleur, verre trempé avec test heat soak : fiche technique : Québec*, version 2.1, [En ligne], Québec, Multiver, 2018, 9 p. [[https://www.multiver.ca/doc/nosproduits/MULTIVER-Verre\\_Trempe.pdf](https://www.multiver.ca/doc/nosproduits/MULTIVER-Verre_Trempe.pdf)] (Consulté le 29 octobre 2018).

OFFICE DES NORMES GÉNÉRALES DU CANADA, et CONSEIL CANADIEN DES NORMES. *Verre de sécurité trempé ou feuilleté*, Ottawa, ONGC, 1990, 13 p. (CAN/CGSB 12.1-M90).

OFFICE DES NORMES GÉNÉRALES DU CANADA, et CONSEIL CANADIEN DES NORMES. *Safety glazing*. Gatineau, ONGC, 2017, 31 p. (CAN/CGSB-12.1-2017).

PARKER. *Données techniques : lois de l'air comprimé*, [En ligne], Cleveland, Ohio, Parker, 2018. [<http://www.parkertransair.com/jahia/Jahia/filiale/de/lang/fr/home/TechnicalCenter/LawsOfCompressedAir>] (Consulté le 29 octobre 2018).

PRELCO. *Informations techniques : verre renforcé à la chaleur ou verre trempé*, [En ligne], [Rivière-du-Loup], Prelco, 2003. [[http://www.prelco.ca/uploads/tx\\_prelcoarchitectural/BT\\_5014f\\_Verre\\_renforce\\_a\\_la\\_chaleur\\_ou\\_Verre\\_trempe.pdf](http://www.prelco.ca/uploads/tx_prelcoarchitectural/BT_5014f_Verre_renforce_a_la_chaleur_ou_Verre_trempe.pdf)] (Consulté le 29 octobre 2018).

PRELCO. *Verre trempé*, [En ligne], Rivière-du-Loup, Prelco, c2013-2018. [<http://www.prelco.ca/architectural/produits/product-id/8/product-category/3/product-action/show/product-controller/architectural/>] (Consulté le 29 octobre 2018).

ROBOVER. *Spécifications générales pour le verre trempé thermiquement et le façonnage du verre*, [En ligne], [Québec], Robover, 2016, 4 p. [[http://www.robover.ca/pdf/Specifications\\_verre\\_trempe.pdf](http://www.robover.ca/pdf/Specifications_verre_trempe.pdf)] (Consulté le 29 octobre 2018).

TRIBOULET, Philippe. « *Mécanique des fluides* », dans *Ressources nationales de chimie : génie chimique* [En ligne], [France], Ministère de l'éducation nationale, [2003], 22 p. [[http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen\\_chim/triboulet/rtf/mecafluide.pdf](http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/mecafluide.pdf)] (Consulté le 29 octobre 2018).

VERRE ONLINE. *Le verre plat : les propriétés mécaniques : la résistance à la flexion du verre*, [En ligne], Paris, Verre Online, c2004. [[http://www.verreonline.fr/v\\_plat/prop\\_mecan3.php](http://www.verreonline.fr/v_plat/prop_mecan3.php)] (Consulté le 29 octobre 2018).