

EN004105**RAPPORT D'ENQUÊTE**

**Accident mortel survenu le 27 octobre 2014
à un travailleur de l'entreprise
Constructions Jacques Dubois & Fils inc.
sur un chantier situé
au 1100, rue des Rigoles à Québec**

Direction régionale de la Capitale-Nationale

VERSION DÉPERSONNALISÉE

Inspecteurs :

**David Parent,
inspecteur**

**Serge Gagnon ing.,
inspecteur**

Date du rapport : 16 août 2016

Rapport distribué à :

- Monsieur [**A**], [...], Constructions Jacques Dubois et Fils inc.
- Monsieur [**B**], [...], Constructions Jacques Dubois et Fils inc.
- Monsieur [**C**], [...], Constructions Jacques Dubois et Fils inc.
- Maître Donald Nicole, coroner
- Docteur François Desbiens, directeur de la santé publique, région de la Capitale-Nationale
- Centrale des syndicats démocratiques (CSD-Construction)
- Confédération des syndicats nationaux (CSN-Construction)
- Fédération des travailleurs et travailleuses du Québec (FTQ-Construction)
- Conseil provincial du Québec des métiers de la construction (International) (CPQMCI)
- Syndicat Québécois de la Construction (SQC)

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>4</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>6</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	6
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	6
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	6
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	6
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>7</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	7
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	9
<u>4</u>	<u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u>	<u>11</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	11
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	12
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	17
4.3.1	SOUS L'EFFET DU VENT, LES CLOUS MAINTENANT LE MUR À LA VERTICALE CÈDENT ET ENTRAÎNENT LE RENVERSEMENT DU MUR SUR LE TRAVAILLEUR.	17
4.3.2	LA MÉTHODE DE TRAVAIL UTILISÉE POUR LA DÉMOLITION DES MURS EST DÉFICIENTE, CAR ELLE PERMET AUX TRAVAILLEURS DE CIRCULER DANS LES ZONES DE RENVERSEMENT DES MURS ALORS QUE CEUX-CI NE SONT PAS MUNIS DE CONTREVENTEMENTS.	18
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>19</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	19
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	19
<u>ANNEXES</u>		
ANNEXE A :	L'accidenté	20
ANNEXE B :	Liste des autres personnes et des témoins rencontrés	21
ANNEXE C :	Rapport d'expertise	22
ANNEXE D :	Références bibliographiques	47

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 27 octobre 2014, vers 11 h 15, [...] travailleurs finalisent la démolition du rez-de-chaussée d'un bâtiment à structure de bois préfabriqué sur un chantier de construction à Québec. Alors que l'un d'eux circule le long d'un mur porteur, celui-ci se renverse et écrase le travailleur.

Conséquences

Le travailleur est écrasé mortellement par le mur.



Photo 1 : Lieu de l'accident
(Source : CNESST)

Abrégé des causes

- Sous l'effet du vent, les clous qui maintiennent le mur à la verticale, cèdent et entraînent le renversement du mur sur le travailleur.
- La méthode de travail utilisée pour la démolition des murs est déficiente, car elle permet aux travailleurs de circuler dans les zones de renversement des murs alors que ceux-ci ne sont pas munis de contreventements.

Mesures correctives

Le 31 octobre 2014 (RAP0932545), la CNESST interdit l'accès au chantier ainsi que les travaux de démolition de la structure de bois. Afin de pouvoir reprendre les travaux sur le chantier, une méthode de travail sécuritaire doit être élaborée.

Le 27 novembre 2014 (RAP0932579), la CNESST autorise la reprise des travaux de démolition de la structure de bois. Constructions Dubois & Fils inc. a élaboré une méthode de travail sécuritaire pour l'achèvement des travaux de démolition des murs qui sont toujours en place. Cette méthode de travail a été présentée aux travailleurs chargés de l'exécution des travaux de démolition.

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

Constructions Jacques Dubois et Fils inc. dispose d'une licence d'entrepreneur général depuis 2008 et emploie environ 15 travailleurs. L'entreprise se spécialise dans la construction résidentielle et institutionnelle. Elle est propriétaire du terrain situé au 1100, rue des Rigoles dans l'arrondissement Haute-Saint-Charles à Québec.

En août 2012, Constructions Jacques Dubois & Fils inc. entreprend la construction d'un complexe composé de quatre immeubles construits sur un stationnement souterrain commun. L'entreprise agit à titre d'entrepreneur général et de maître d'œuvre. Une partie des travaux de construction est effectuée en sous-traitance. Monsieur [B], [...] de Constructions Jacques Dubois et Fils inc. est responsable de [...].

Le jour de l'accident, le 27 octobre 2014, [...] travailleurs sont présents sur le chantier. M. [D], [...] est [...].

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

Constructions Jacques Dubois et Fils inc. est membre d'une mutuelle de prévention. Aucun mécanisme de participation n'est prévu sur le chantier.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Le chantier est sous la responsabilité du maître d'œuvre, Constructions Jacques Dubois & Fils inc., qui assure la gestion de la santé et de la sécurité du travail.

L'entreprise possède un programme de prévention général daté du 22 mai 2014. Ce programme de prévention ne traite pas des travaux de démolition, ni des mesures de sécurité à mettre en place afin d'assurer la santé et la sécurité des travailleurs sur un chantier pendant ce type de travaux.

Des pauses sécurité sont tenues chaque semaine sur les chantiers où l'on compte cinq travailleurs et plus. Lorsqu'il y a moins de quatre travailleurs, des interventions concernant la santé et la sécurité sont effectuées lors des visites des administrateurs sur ces chantiers. Il n'y a pas de registre de ces activités.

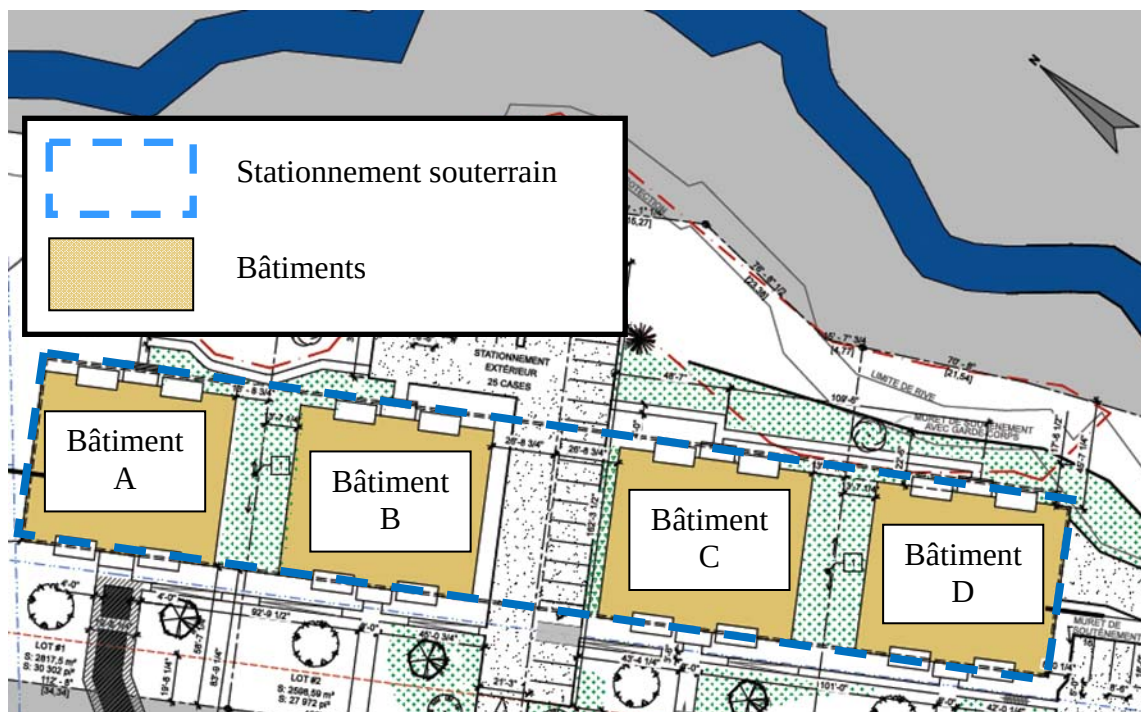
Aussi, certains travailleurs de Constructions Jacques Dubois et Fils inc. prennent part à des formations spécifiques portant sur la protection contre les chutes, l'utilisation des plateformes élévatrices et des chariots élévateurs.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le projet Domaine du Ruisseau consiste à construire quatre bâtiments à étages sur la rue des Rigoles dans l'arrondissement Haute-Saint-Charles à Québec. Les bâtiments doivent être érigés sur un stationnement souterrain commun qui mesure 133 mètres sur 24 mètres. La surface prévue pour chaque bâtiment est de 25 mètres sur 22 mètres.

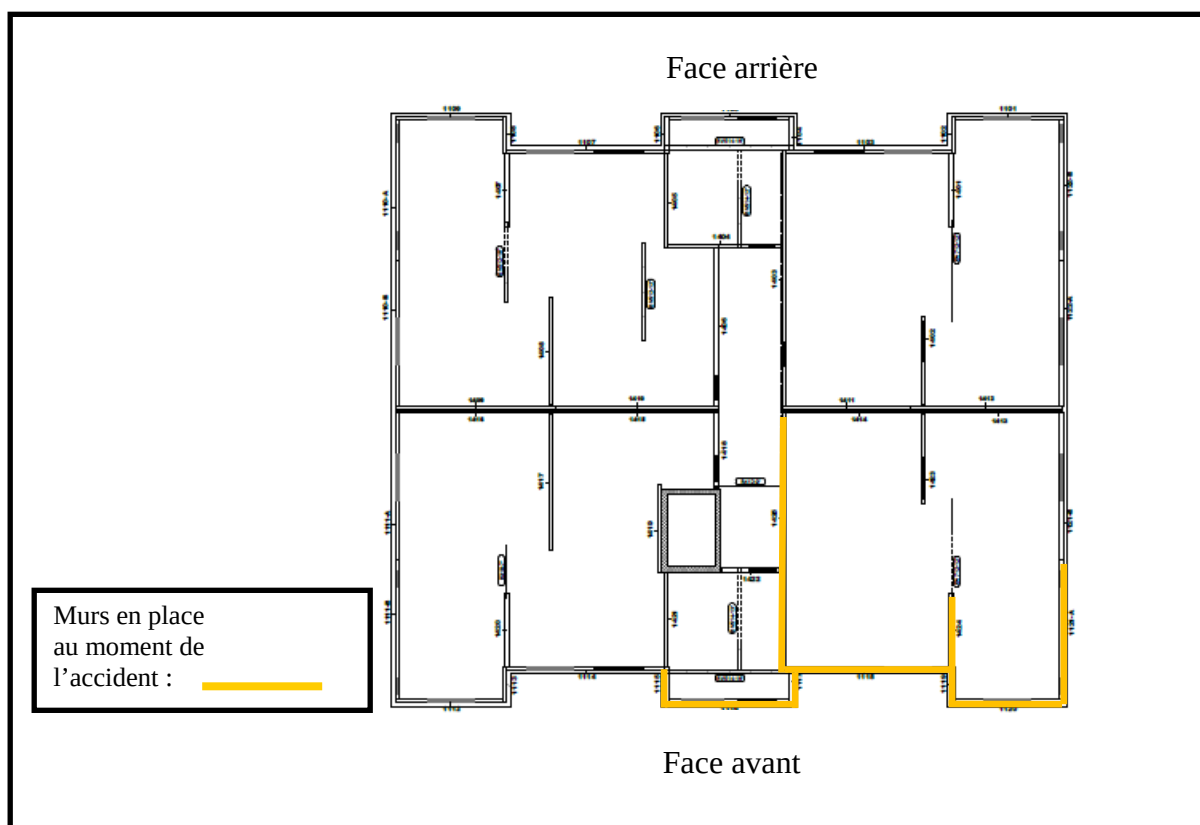


Plan 1 : Emplacement des bâtiments sur la dalle de béton du stationnement
(Source : Constructions Jacques Dubois et Fils inc., modifié par la CNESST)

Vers le 20 août 2012, la construction du stationnement souterrain est entamée. En octobre, le montage de la structure du bâtiment « D » est complétée. Au cours des mois d'octobre et de novembre 2013, le rez-de-chaussée de chacun des trois bâtiments adjacents au bâtiment « D » est érigé. La structure de ces bâtiments (« A », « B », « C ») est constituée de murs préfabriqués en usine. Comme les travaux sont suspendus ensuite, des toiles sont installées sur ces structures.

Au printemps 2014, Constructions Jacques Dubois et Fils inc. constate que l'humidité emprisonnée sous les toiles durant l'hiver a endommagé les structures des trois bâtiments. C'est pourquoi, dans la semaine du 15 octobre 2014, les travaux de démolition des rez-de-chaussée des bâtiments « A », « B » et « C » sont entrepris.

Le 27 octobre 2014, le jour de l'accident, les conditions climatiques sont généralement nuageuses. La température est d'environ 8 °C . Des vents d'orientation ouest-sud-ouest de 26 km/h soufflent avec des rafales allant jusqu'à 39 km/h. Les travailleurs procèdent à la démolition du bâtiment « B », les bâtiments « A » et « C » ayant été démolis la semaine précédente. La dalle de béton où se trouve le bâtiment « B » est humide et il y a des accumulations d'eau par endroits. Au moment de l'accident, seuls quelques murs de la section avant droite du bâtiment « B » sont toujours en place (voir plan 2). Les sections de structure démolies sont empilées autour des bâtiments « A », « B » et « C.



Plan 2 : Plan du bâtiment « B »

(Source : Constructions Jacques Dubois et Fils inc., modifié par la CNESST)

3.2 Description du travail à effectuer

Afin de conserver l'intégrité physique de la dalle structurale du stationnement, une méthode de travail est élaborée afin de démolir les bâtiments. La méthode consiste à démanteler la structure en sections pouvant ensuite être chargées sur une semi-remorque à plateau à l'aide d'un chariot élévateur. Avant de procéder au démantèlement, tous les contreventements qui soutiennent latéralement les murs ainsi que les ancrages fixant les murs extérieurs à la dalle de béton doivent être retirés. Les contreventements sont constitués de planches de bois de 38 mm sur 140 mm (2 po sur 6 po).



Plan 3: Positionnement des contreventements
(Source : Constructions Jacques-Dubois et Fils inc., modifié par la CNESST)

La progression des travaux s'effectue de la gauche vers la droite du bâtiment, en commençant par la section arrière, en terminant par la section avant.

Pour retirer les murs préfabriqués, les fourches du chariot élévateur sont insérées dans ceux-ci, puis chaque section est soulevée de la dalle de béton. Une fois les murs retirés, les panneaux structuraux du plancher du premier étage sont découpés, pour ensuite être transporté par un chariot élévateur. Selon cette méthode, dès qu'un mur ou une poutre ne supporte plus de charge, ces composantes sont retirées au fur et à mesure. Chacune des sections démantelées est ensuite transportées et empilées en bordure de la zone de travail

Une fois la démolition terminée, un édicule¹ doit être construit afin de couvrir l'escalier d'accès menant au garage.

¹ Petite construction.

SECTION 4

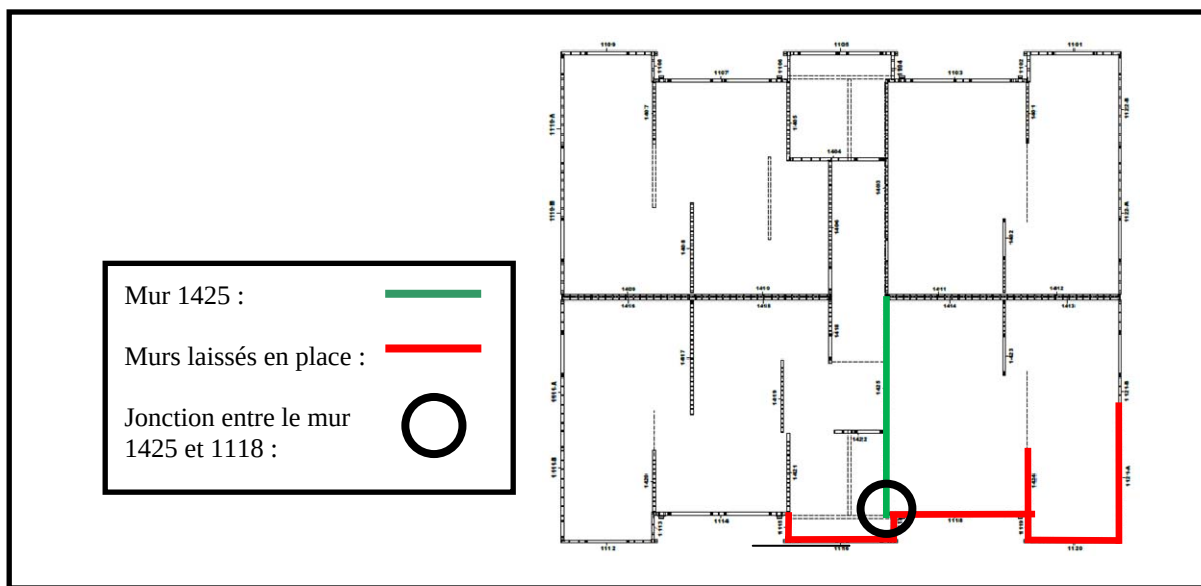
4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 27 octobre 2014, les travaux de démolition du bâtiment « B » débutent vers 7 h 30. À ce moment, il n'y a plus de toiles sur la structure de bois et l'isolant est arraché des murs extérieurs. Aucun contreventement n'est en place dans le bâtiment ayant été retiré en même temps que ceux du bâtiment « C ». Une journée complète est prévue pour achever ces travaux.

Les travaux de démolition sont exécutés selon la méthode utilisée pour démolir les bâtiments « A » et « C ». Vers 8 h 30, [D] demande à M. [F] de nettoyer la dalle de béton du bâtiment « A ». [D] et M. [F] continuent ensemble les travaux de démolition du bâtiment « B ». M. [F] est responsable de découper les sections de plancher devant être arrachées alors que [D] conduit le chariot élévateur.

Vers 11 h, le plancher du premier étage est démolì. Certains murs sur lesquels il s'appuyait sont toujours en place. Ces murs se trouvent à l'avant du côté droit du bâtiment et reposent à la verticale sans contreventements (voir plan 4). Ils sont joints les uns aux autres à l'aide de clous .



Plan 4 : Emplacement des murs en place
(Source : Constructions Jacques-Dubois et Fils inc., modifié par la CNESST)

Le renversement du mur 1425 se produit alors que M. [F] longe celui-ci. Le travailleur est écrasé sous le poids du mur. (voir photo 3).



Photo 3 : Emplacement du travailleur lors du renversement du mur
(Source : CNESST)

4.2 Constatations et informations recueillies

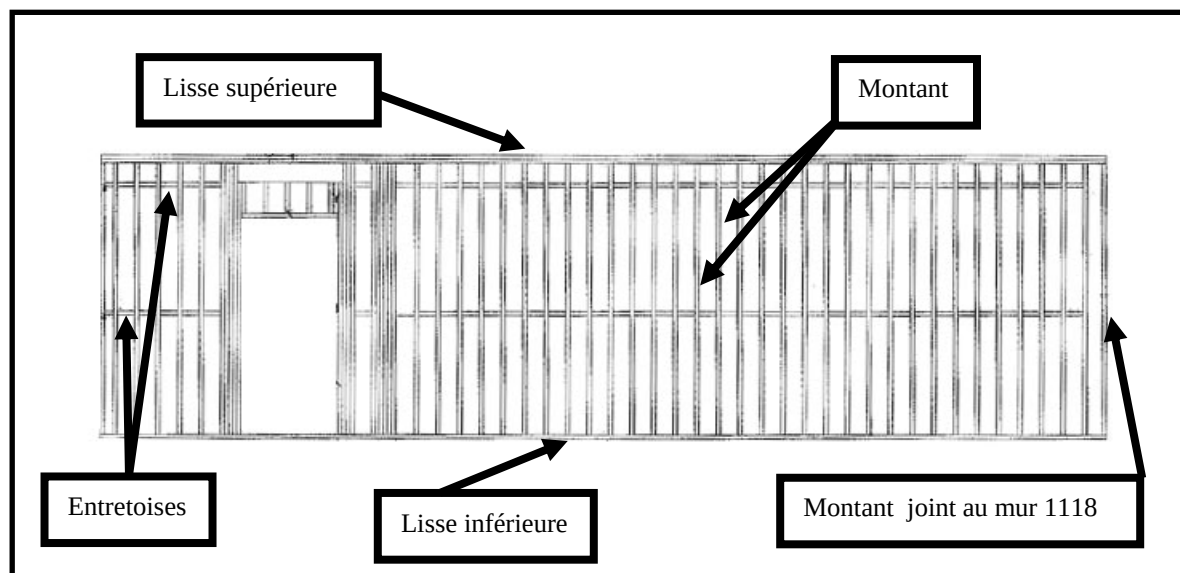
4.2.1 Les murs

- Les murs laissés en place à l'avant du côté droit du bâtiment « B » reposent en équilibre précaire, sans contreventements.
- De chaque côté des murs en place se trouve une aire de renversement.
- La zone dangereuse de l'aire de renversement des murs n'est délimitée par aucun périmètre de sécurité.
- La structure de bois du bâtiment est humide et des traces de moisissures sont apparentes sur diverses composantes.

4.2.2 Le mur 1425

Selon le fabricant, la masse du mur 1425 est d'environ 680 kg (1500 lbs).

Le mur 1425 mesure 9,5 m de long sur 2,73 m de haut sur 15 cm de large. La distance entre les montants est de 20 cm (centre-centre) excepté aux abords d'une ouverture de porte où un ajout de montants est fait afin de solidifier la structure. Des entretoises sont installées entre les montants environ à la mi-hauteur du mur et dans la partie supérieure (voir plan 5). Un côté du mur est recouvert d'un panneau structural.



Plan 5 : Composantes du mur 1425
(Source : Les structures Ultratec inc., modifié par la CNESST)

- Sous la lisse inférieure du mur 1425, laissée intacte, on compte cinquante-quatre clous. Quarante-deux sont recourbés ou traversent la lisse inférieure de moins de 10 mm. Les douze clous restants traversent la lisse inférieure d'au plus 13 mm. (voir photo 5).

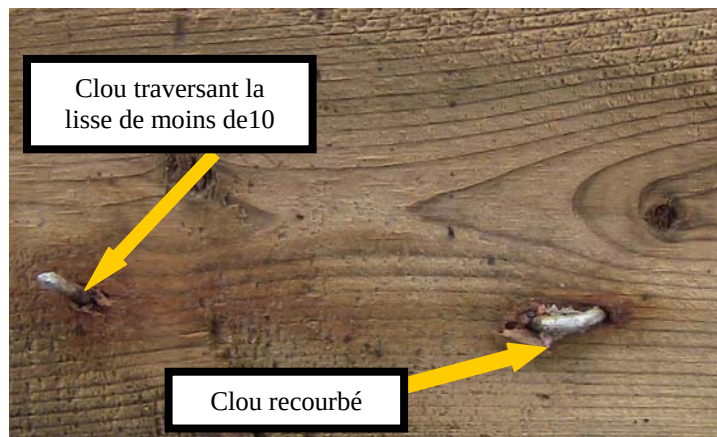


Photo 5 : Clous sous la lisse du mur 1425
(Source : CNESST)

4.2.3 La jonction des murs 1425 et 1118

- À l'extrémité du mur 1118, sept clous vrillés de 83 mm sur 3,1 mm sont visibles,
- Ces clous sont enfoncés en angle dans un montant de 51 mm sur 152 mm (2 po sur 6 po) du mur 1425 sur une profondeur de 35 millimètres.
- À l'extrémité supérieure du mur 1425, deux clous dépassent de la lisse supérieure du mur 1118. (voir photo 4).

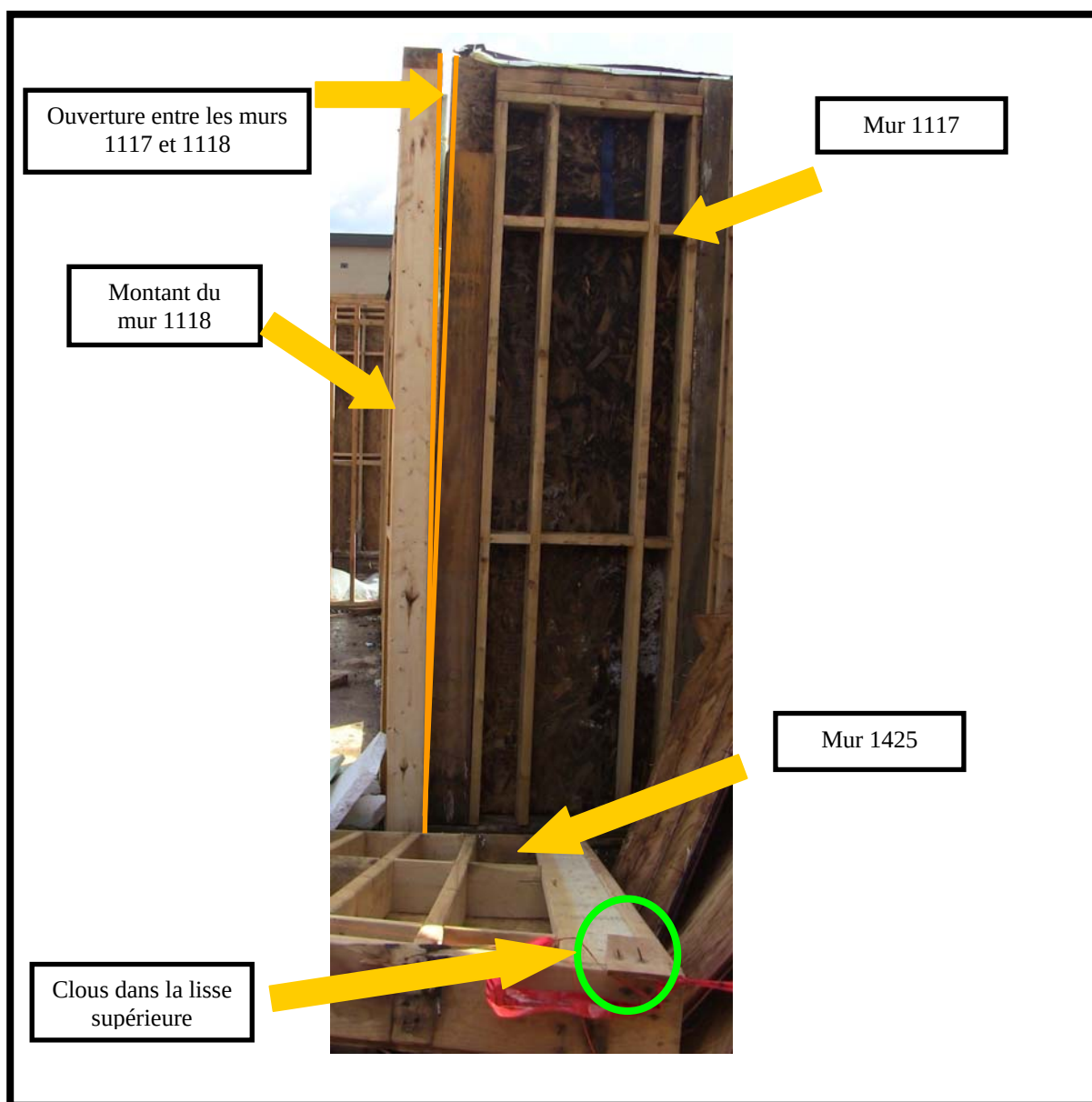


Photo 4 : Vue des éléments des murs 1425, 1118 et 1117
(Source : CNESST)

- L'enfoncement maximal des clous à la jonction des murs 1425 et 1118. est de 35mm.
- Aucun des neuf clous joignant les murs 1425 et 1118 n'est déformé à la suite du renversement du mur 1425.
- Une ouverture entre les murs 1117 et 1118 est visible précarisant la stabilité du mur 1118..

4.2.4 Supervision des travaux

Pour effectuer les travaux de démolition, la sélection des travailleurs est réalisée en fonction de leur expérience dans le domaine de la construction. L'entreprise n'est pas spécialisée dans les travaux de démolition. Aucune consigne de sécurité spécifique n'est donnée aux travailleurs. La méthode de travail permet aux travailleurs de circuler dans les zones de renversement des murs alors que ceux-ci ne sont pas munis de contreventements.

4.2.5 Conditions climatiques

Au moment de l'accident, le vent souffle en direction ouest-sud-ouest à 26 km/h avec des rafales allant jusqu'à 39 km/h selon les données recueillies par Environnement Canada.

4.2.6 Capacité des fixations et poussée des vents

La capacité en compression de la dalle de béton du bâtiment sur laquelle est fixée la lisse inférieure du mur 1425 est de 36,51 MPa (5300 lbs/po²), sept jours après la coulée. La dalle est au niveau, mais sa surface est raboteuse. La lisse inférieure du mur 1425 n'est pas parfaitement appuyée sur la dalle de béton. Les clous utilisés pour la fixer sont de marque Hilti, modèle X-C 62 MX et sont enfoncés dans le béton d'au plus 13 mm.,

Selon les spécifications du fabricant, ces clous d'ancrage sont adaptés pour du béton dont la résistance est de moins de 27,57 MPa (4000 lbs/po²). De plus, afin d'assurer une capacité maximale de l'assemblage, l'enfoncement dans le béton doit être de 19 mm à 32 mm. Un enfoncement inférieur à 19 mm et supérieure à 32 mm augmente la possibilité de rupture de l'assemblage.

Selon l'expertise (annexe C) sur la stabilité du mur 1425, la résistance à l'arrachement du clouage à la jonction des murs 1425 et 1118 est de 106 newtons. La capacité des clous d'ancrage fixant la lisse inférieure du mur 1425 au béton est considérée négligeable en raison de l'enfoncement insuffisant des clous dans la dalle de béton.

Au moment de l'accident, le vent souffle en rafales jusqu'à 39 km/h, la force exercée par celui-ci sur les murs 1425 et 1118 peut atteindre 159,7 newtons. Par conséquent, la force du vent exercée sur les murs est supérieure à la force d'arrachement des clous joignant ces

murs. Cette force est suffisante pour faire céder le clouage et entraîner le renversement du mur 1425.

4.2.7 Dispositions législatives

4.2.7.1 Loi sur la santé et la sécurité du travail

L'article 51 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) spécifie les obligations de l'employeur, notamment à propos de : l'organisation du travail, l'identification et l'élimination des dangers ainsi que la formation, l'information et la supervision du travailleur.

L'article 49, de cette même loi, identifie les obligations du travailleur, qui doit prendre connaissance du programme de prévention qui lui est applicable et prendre les mesures nécessaires pour protéger sa santé, sa sécurité ou son intégrité physique.

4.2.7.2 Code de sécurité pour les travaux de construction

Le Code de sécurité pour les travaux de construction s'applique à tout travail effectué sur un chantier de construction au sens de la LSST et traite entre autres des éléments à mettre en place lors de travaux de démolition:

À l'article, 3.18.2.1 i), il est inscrit : « Il est interdit de laisser sans avoir pris des mesures de protection un mur, une cheminée ou tout autre élément de charpente pouvant s'écrouler sous l'effet du vent ou des vibrations. »

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 Sous l'effet du vent, les clous maintenant le mur à la verticale cèdent et entraînent le renversement du mur sur le travailleur.

Le jour de l'accident, les travailleurs procèdent à la démolition du dernier des trois bâtiments. La méthode de travail est identique à celle utilisée précédemment et les travaux sont effectués par la même équipe de travail sous la supervision du [F].

Comme pour les deux autres bâtiments, l'ensemble des contreventements a été retiré.

Vers 11 h, le mur 1425 est sur le point d'être renversé au sol à l'aide du chariot élévateur, puis coupé afin d'être réutilisé pour la construction d'un édicule couvrant l'issue de secours du stationnement.

Les murs laissés en place sont retenus les uns aux autres par des clous les joignant à leurs extrémités. Le plancher du premier étage a été démantelé.

Le mur 1425 est appuyé latéralement à son extrémité sur le mur 1118. Un total de neuf clous assure la jonction de ces deux murs. L'extrémité du mur 1425 n'est pas appuyée ou joint à un autre élément de charpente laissé en place. En raison de l'enfoncement insuffisant des clous d'ancrage à la dalle de béton, la stabilité du mur 1425 n'est pas assurée par ceux-ci.

Exposés aux vents qui soufflent à 26 km/h, avec des rafales allant jusqu'à 39 km/h, les clous joignant les murs 1425 et 1118 cèdent puisque la force exercée à la jonction des murs est supérieure à la résistance d'arrachement des clous. La force du vent a été suffisante pour provoquer le renversement du mur 1425.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La méthode de travail utilisée pour la démolition des murs est déficiente, car elle permet aux travailleurs de circuler dans les zones de renversement des murs alors que ceux-ci ne sont pas munis de contreventements.

Les contreventements, mis en place lors du montage de la structure, ont été retirés dans une même séquence avant d'entreprendre la démolition du bâtiment « C », . La stabilité de l'ensemble de la structure est fragilisée puisqu'aucun moyen permet de contrer les forces induites par le vent sur la structure et empêcher le renversement des murs.

Vers 11 h, huit murs sont encore en place, dont le mur 1425. Ce dernier est sur le point d'être mis à plat sur la dalle de béton afin d'être coupé. Les murs sont maintenus en place uniquement par les clous qui les fixent les uns aux autres à leurs jonctions.

Aucun périmètre de sécurité n'empêche la circulation dans l'aire de renversement des murs. La méthode de travail prévoit qu'une fois renversé, le mur 1425 doit être coupé sans être déplacé. Par conséquent ces opérations doivent être réalisées à proximité de murs pouvant se renverser en raison de leur instabilité.

Le travailleur circule sur la dalle de béton dans l'aire de renversement du mur 1425. Il n'y a aucun périmètre de sécurité en place ni de consignes de sécurité afin d'empêcher la circulation le long des murs balayés par le vent sans contreventements.

Cette cause est retenue.

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

L'enquête permet de retenir les causes suivantes :

Sous l'effet du vent, les clous maintenant le mur à la verticale cèdent et entraîne le renversement du mur sur le travailleur.

La méthode de travail utilisée pour la démolition des murs est déficiente, car elle permet aux travailleurs de circuler dans les zones de renversement des murs alors que ceux-ci ne sont pas munis de contreventements.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Le 31 octobre 2014 (RAP0932545), la CNESST interdit l'accès au chantier ainsi que les travaux de démolition de la structure de bois. Afin de pouvoir reprendre les travaux sur le chantier, une méthode de travail sécuritaire doit être élaborée.

Le 27 novembre 2014 (RAP0932579), la CNESST autorise la reprise des travaux de démolition de la structure de bois. Constructions Dubois & Fils inc. a élaboré une méthode de travail sécuritaire pour l'achèvement des travaux de démolition des murs qui sont toujours en place. Cette méthode de travail a été présentée aux travailleurs chargés de l'exécution des travaux de démolition.

ANNEXE A

L'accidenté

ACCIDENTÉ

Nom, prénom : [F]

Sexe : Masculin

Âge : [...] ans

Fonction habituelle : [...]

Fonction lors de l'accident : Charpentier-menuisier

Expérience dans cette fonction : [...] ans

Ancienneté chez l'employeur : [...] ans

Syndicat : [...]

ANNEXE B

Liste des personnes et témoins rencontrés

Constructions Jacques Dubois et Fils inc.

- Monsieur [B], [...]
- Monsieur [A], [...]
- Monsieur [C], [...]
- Monsieur [D], [...]
- Monsieur [E], [...]

Service de police de la Ville de Québec

- Monsieur Éric Chamberland, constable
- Madame Katy Forêt, constable
- Madame Sophie Lachance, enquêteur

ANNEXE C

Rapport d'expertise

Titre du rapport :

**Stabilité mur 1425, bâtiment B
Projet 16 logements
Val-Bélair, Qc
Construction Jacques Dubois**

Rapport présenté à

*David Parent, inspecteur
Capitale nationale*

Préparé par

Claude Rochon, ing.
Conseiller en prévention-inspection / DGPIP

Le 13 mai 2015

Table des matières

- 1 Mise en contexte
- 2 Description du mandat
- 3 Informations recueillies
- 4 Hypothèses
- 5 Méthodologie
- 6 Analyse
- 7 Conclusion
- 8 Références
- 9 Annexe – Photos et données recueillies
- 10 Annexe – Calcul

1. Mise en contexte

Date de l'accident : 27 octobre 2014

Lésion : décès

Dossier d'intervention : DPI

Adresse : 1100 rue des Rigoles, Val Bélair

- Description de chantier

Le projet consiste à construire 4 bâtiments séparés sur un stationnement sous terrain commun en béton dans le cadre d'un complexe locatif nommé le Domaine du Ruisseau et situé sur la rue des Rigoles à Val Bélair. Chaque bâtiment sera constitué de 4 étages dont les murs sont préfabriqués en bois. Le stationnement sous terrain débute en août 2012 et est construit en totalité. Le bâtiment D, le seul à être complété, est achevé au mois de juillet 2013. La structure des rez-de-chaussée des 3 autres bâtiments est érigée en octobre et novembre 2013. L'entrepreneur arrête alors le projet et recouvre de toiles la structure partiellement érigée des bâtiments A, B et C pour la préserver des infiltrations et des rigueurs de l'hiver (voir plan de localisation page 14)

Au printemps 2014, l'entrepreneur constate que l'humidité provoquée par le chauffage du stationnement sous terrain est restée emprisonnée sous les toiles dans la structure du rez-de-chaussée des bâtiments A, B et C. La moisissure s'est installée sur les murs. La décision de démolir est prise et le travail débute à l'automne 2014.

- Description sommaire de l'accident:

Alors que le travailleur et son contremaître achèvent le démembrement de la structure du rez-de-chaussée du bâtiment B, le travailleur est écrasé par un mur préfabriqué en bois (#1425) de 9,5 m de long et 2,73 m de haut (voir plan du mur #1425, page 15)

2. Description du mandat

Dans le but de compléter l'arbre des faits qui ont mené à l'accident, le mandat consiste à déterminer l'impact du vent sur la stabilité du mur #1425 du bâtiment B juste avant l'accident, en se basant sur les observations réalisées lors d'une visite du site le 12 novembre 2014, et sur les informations recueillies par l'inspecteur dans le cadre de cette enquête.

3. Informations et constatations pertinentes à l'expertise

- Constatations de l'inspecteur le jour de l'accident

À l'arrivée de l'inspecteur le jour de l'accident, les murs préfabriqués 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120, et 1121-A sont debout, mais vacillent sous les rafales de vent. Le mur 1425 est renversé vers le nord et son coin nord-est est relevé avec un chariot élévateur de chantier. Le joint entre les murs #1117 et #1118 est ouvert. L'inspecteur demande alors de contreventer tous les murs pour assurer leur stabilité et de solidifier le joint entre les murs #1117 et #1118 en clouant une pièce de bois (voir photo page 13).

L'inspecteur constate aussi les points suivants

- la lisse inférieure du mur est composée de deux sections 2x6 à plat l'une sur l'autre; celle en contact avec le béton est en bois traité, l'autre en bois ordinaire;
- une section de 2x6 en bois traité d'environ 2m de long à l'extrémité ouest de la lisse inférieure (près du mur 1118) est restée fixée au béton. Il la soulève de sa position avec la force d'une main. Il constate la présence de 6 clous qui dépassent sous cette lisse et de 3 clous à l'extrémité est.
- sous la partie restée intacte de la lisse inférieure du mur renversé la présence de 54 clous, dont 42 sont recourbés ou dépassent de moins de 10 mm, et les 12 autres ont au maximum un dépassement de 13 mm.
- il y a 7 clous qui dépassent d'environ 35 mm à l'extrémité nord du mur #1118 où il y avait un joint avec le mur #1425; ils étaient plantés dans le fil latéral des 2x6 verticaux au bout des 2 murs et positionnés par rapport au niveau du béton aux hauteurs suivantes en centimètres : 48.3, 73.7, 94.0, 109.2, 129.2, 149.9, 200.7 (voir photo page 13); pour le but de l'expertise, ils seront désignés « clous 1118 »
- il y a 2 clous qui dépassent, un d'environ 30 mm et l'autre d'environ 18 mm, à l'extrémité supérieure ouest du mur # 1425; ils retiennent une cale et sont plantés à angle dans le fil latéral de la lisse supérieure du mur #4125 et rejoignent le fil d'extrémité de la lisse supérieure du mur #1118 ; pour le but de l'expertise, ils seront désignés « clous 1425 ».

- Informations recueillies par l'inspecteur

- Les toiles recouvrant la structure sont enlevées le 15 octobre 2014.
- Les travaux de démembrement débutent le 21 octobre avec le bâtiment A et se poursuivent le 22 avec le bâtiment C; en raison de la température, les travaux reprennent seulement le 27 octobre avec le bâtiment B, le jour de l'accident.
- La séquence de travaux est la même pour chacun des bâtiments : l'équipe enlève les contreventements installés à l'automne 2013, et elle déboulonne ou brise les ancrages fixant au sol les lisses inférieures des murs extérieurs; le démembrement est effectué par sections dont les grandeurs rendent possible la manipulation avec un chariot élévateur de chantier et le chargement sur un semi-remorque; les travaux progressent de l'arrière du bâtiment vers l'avant (côté ouest).
- Les poutrelles qui reposent sur les murs #1115 et #1117 sont enlevées quelques minutes avant l'accident.
- Le relevé de Transport Canada des conditions climatiques à l'Aéroport international de Jean Lesage indique pour le créneau de 11 heures un vent de 26 km/h OSO avec des rafales de 39 km/h (voir relevé page 14).

- Les clous utilisés pour ancrer la lisse inférieure du mur #1425 au plancher de béton sont de type HILTI X-C 62 MX d'une longueur total de 62 mm (2 ½ pouce).
- Le rapport d'essai de la capacité en compression du béton mentionne que l'échantillon prélevé de la dalle de béton du bâtiment « B » présente une capacité à 7 jours de 36.51 MPa (5300 lbs/po²).
- Les 9 clous utilisés pour relier les murs #1118 et #1425 sont de type BOSTITCH ESR-1539 3 ¼ x .120 po (83mm x 3.1mm) reliés sur bobine.
- Le plan d'atelier du mur #1425 fourni pour le fabricant indique que les sections de bois utilisés sont des 2x6 de type SPF (Épinette-pin-sapin) de qualité STUD et que le revêtement est un panneau aggloméré de 15/32 OSB #1 USA. Le plan indique les données suivantes : une longueur de 31 pi et 1 1/16 po, une hauteur de 8 pi et 10 po, et un poids approximatif de 1500 lb.

- **Visite du site de l'accident le 12 novembre 2014 en présence de l'inspecteur**

J'ai effectué une visite du site de l'accident en présence de l'inspecteur le 12 novembre 2014 pour compléter les informations reçues et évaluer l'environnement du site en vue d'estimer les charges de vent.

Le plancher de béton est au niveau, mais raboteux, notamment la section sur laquelle reposait le mur #1425 qui a renversé (voir photo page 13).

Le mur 1425 tombé est présent sur le plancher de béton , mais a été bougé de sa position originale à la demande inspecteur. Les murs # 1115, 1116, 1117,1118, 1119, 1120, et 1121-A sont aussi présents dans leur position verticale originale.

Les 7 clous 1118 sont plantés en biais. Ils sont toujours en axe. De façon générale, ils ne sont pas déformés à la suite de l'ouverture du joint entre les murs #1118 et #1425.

Il y a 2 clous de la lisse inférieure du mur #1425 qui sont ancrés dans le béton.

Il y avait présence de moisissure sur les panneaux de particules, mais il n'y avait pas de carie dans les sections de bois des murs impliqués dans l'accident.

- **Informations techniques**

- Caractéristiques du bois.

Le bois est un matériau naturel qui peut changer de poids et de volume en fonction de l'humidité environnante (hygroscopique). Le bois est dit sec lorsque son degré d'humidité est inférieur à 19%. Le bois utilisé dans un milieu intérieur se stabilise généralement entre 8% et 12%, tandis qu'à l'extérieur il se retrouve plutôt entre 12% et 18%. La résistance du bois est généralement plus faible lorsqu'il est humide ou lorsqu'il se retrouve dans des conditions d'utilisation humide. Le Code CSA O86-09 « Règles de calcul des charpentes en bois » définit l'expression « conditions d'utilisation en milieu sec » comme étant les conditions climatiques auxquelles la teneur en humidité d'équilibre du bois massif est égale ou inférieure à 15% selon une moyenne annuelle, tout en ne dépassant jamais 19%. Les conditions en milieu humide correspondent à toutes les conditions autres qu'en milieu sec.

Lorsque le degré d'humidité atteint environ 28%, la fibre de bois atteint son point de saturation d'eau. C'est à partir de ce moment, si ce degré d'humidité est conservé pendant une période prolongée, que le processus de biodétérioration du bois est susceptible de s'installer. Il y a une différence à faire entre la moisissure et la pourriture (carie). Les champignons qui les provoquent sont de différentes natures. Les champignons moisissures qui se forment à la surface du bois, peuvent le décolorer, mais ils ont peu d'impact sur la capacité structurale du bois. Ces types de champignons sont généralement associés à des problèmes de santé. Les champignons décomposeurs, quant à eux, s'attaquent à l'intégrité de la fibre de bois et provoquent la carie ou la pourriture du bois, ce qui a un impact négatif sur sa capacité structurale. Cependant, ce type n'a habituellement pas d'effet négatif sur la santé de l'humain.

Dans le cas qui nous concerne, les sections 2X6 sont de type EPS (épinette, pin, sapin), ce qui est couramment utilisé pour la construction. La densité moyenne est de 0,42 à l'état sec (humidité 15%).

- Caractéristiques des clous

Les clous utilisés pour fixer la lisse du mur dans le béton sont de marque Hilti de type X-C. Tel qu'indiqué dans leur document « Direct fastening technical guide 2013 », ce type de clou est adapté pour du béton dont la résistance est moins de 4000 psi. La plage de longueur efficace de pénétration dans le béton varie de 19 mm à 32 mm. Une longueur de pénétration plus courte ou plus longue augmente la possibilité de bris rupture de l'assemblage. Le rapport de certification ESR-1663 du bureau de l'Evaluation Service de l'International Code Council (ICC) indique que la charge admissible pour ce type de clou est de 265 N (60lbf) pourvu que l'installation soit adéquate.

Le joint entre les murs # 1118 et #1425 est réalisé à l'aide de 9 clous. La résistance à l'arrachement d'un clou dépend de l'essence du bois (ou de la densité), du diamètre du clou et de la longueur de pénétration. Cette résistance est ajustée en multipliant par des facteurs en fonction du sens du grain, de l'angle de pénétration et de l'état d'humidité du bois et de ses conditions d'utilisation (sec ou humide). Selon le Code O86 « Règles de calcul des charpentes en bois », les clous enfoncés dans le fil d'extrémité sont considérés incapables de résister aux charges d'arrachement. Si les clous sont enfoncés en biais dans le fil d'extrémité, on peut considérer 67% de la résistance d'un clou enfoncé dans le fil latéral. Finalement, les charges en arrachement ne sont permises que pour des charges de courte durée; vent ou séisme.

- Le vent

Le vent est un phénomène météorologique qui provoque une charge perpendiculaire à une surface; la charge totale sur les surfaces d'un mur est l'addition de la pression positive (pression) et celle négative (suction), dépendamment que la surface est située directement au vent, sous le vent ou parallèle. De façon générale, la charge du vent varie en fonction de l'altitude, de la configuration de l'environnement et des variations de vitesses de vent qui provoquent les rafales. Les rafales sont des parcelles de vent d'une durée de 3 à 5 secondes qui peuvent agresser toute la structure ou une section de la structure ou du revêtement d'un bâtiment de dimension ordinaire.

Le Code national du bâtiment propose 3 méthodes pour évaluer l'impact du vent sur un bâtiment. La méthode statique est la plus appropriée étant donné la grandeur de la structure impliquée dans l'accident. On considère que la structure est rigide et que l'effet du vent sur la structure est représenté par une charge statique. Le CNB fournit des coefficients de pression en fonction de l'orientation du vent et de la géométrie du bâtiment. La méthode dynamique est indiquée pour les bâtiments de grande hauteur ou élancés. La méthode empirique, quant à elle, est basée sur des essais en soufflerie et est retenue pour des bâtiments ayant une configuration ou un revêtement particuliers, ou situés dans un environnement dont la configuration peut provoquer des phénomènes venteux hors de l'ordinaire.

4. Hypothèses

- Le clouage entre les murs #1118 et #1425 a cédé sous une force d'arrachement.

La stabilité du mur # 1425 était assurée par le clouage de son extrémité ouest avec le mur #1118 et par son propre poids. On a observé que les clous 1118 n'étaient pas pliés ou presque après que l'assemblage ait cédé. Les projections des clous 1118 sont restées plus ou moins dans le même axe avec lequel ils avaient été plantés, ce qui suppose une force d'arrachement dans l'axe des clous. Le vent pousse sur le mur #1118 vers l'est, et en même temps, le mur #1425 est déplacé vers le nord par la succion (pression négative) qu'elle exerce sur sa surface.

- La résistance en arrachement des clous d'ancrage au béton du mur #1425 est considérée négligeable.

Aucun des clous qui dépassent de la semelle du mur #1425 n'avait la pénétration minimale de 19 mm dans le béton recommandée par le fabricant Hilti. La plupart des clous, 42 sur 54, sont recourbés ou n'ont pas 10 mm de projection; les 12 autres, à peine 12 mm de projection. La surface de la dalle de béton est raboteuse. Il y avait donc des espaces vides sous la semelle du mur # 1425 lorsqu'il était à sa place en position verticale. Ces vides pouvaient atteindre jusqu'à une hauteur de 6 mm d'épaisseur, ce qui amenuisait la projection des clous positionnés à la verticale de ces vides. De plus, le rapport d'essai fait état d'une capacité en compression à 7 jours de 5000 lb ce qui dépasse la capacité de béton pour lequel ce type clou est adapté, ce qui rend plus susceptible la rupture de l'assemblage. Étant donné la faible projection des clous dans le béton et la résistance du béton qui dépasse celle recommandée pour ce type de clou, la résistance en arrachement des clous d'ancrage au béton du mur #1425 est considérée négligeable pour le calcul de renversement du mur.

- Pour le calcul de la capacité d'arrachement des clous, le bois est considéré sec en condition d'utilisation humide.

L'intérêt de déterminer le taux d'humidité du bois et sa condition d'utilisation réside dans le fait que la résistance du bois sec est plus élevée que celle du bois humide. La présence de moisissure sur la structure des murs indique que le taux d'humidité du bois a dépassé 28% pendant une période prolongée. Il y avait présence de moisissure, mais pas de pourriture, la résistance du bois n'a donc pas été altérée. Cependant, le bois était humide dans une condition d'utilisation humide. Le recouvrement de toile fut enlevé le 15 octobre, donc le bois a commencé à être à l'air libre et à équilibrer son humidité avec celle de l'air ambiant. Il est plausible de considérer que la teneur en humidité du bois a diminué. En supposant que les délais soient suffisants, les paramètres de température et de taux d'humidité dans l'air entre le 15 octobre et le 27 octobre impliquent une teneur d'équilibre en humidité dans le bois variant de 11% à 23% avec une moyenne juste au dessus de 17%, ce qui est près de la limite entre le bois considéré comme sec ou humide pour les calculs de charpente. Le bois peut à la limite être considéré sec sur la base de la moyenne des 12 jours entre le 15 et le 27 octobre, mais les valeurs de teneur d'humidité atteintes au-dessus de 19% indiquent des conditions d'utilisation humides. Pour le calcul de la capacité en arrachement, l'humidité est considérée par l'intermédiaire du coefficient K_{sf} dont la valeur est déterminée pour la capacité en arrachement en fonction des situations suivantes :

États et conditions d'utilisation	K_{sf} arrachement
Bois sec, conditions d'utilisation sèche	1,0
Bois sec, conditions d'utilisation humide	0,67
Bois humide, conditions d'utilisation humide	0,4

En considérant des conditions d'utilisation humide, il est conservateur d'utiliser la capacité la plus élevée soit celle à l'état sec du bois pour évaluer l'impact du vent dans un tel cas d'effondrement, $K_{sf} = 0,67$.

- Les conditions de vent sur le site sont semblables à celles répertoriées à l'Aéroport international Jean Lesage.

La station météorologique la plus proche est celle de l'Aéroport international Jean Lesage située à environ 7 km au sud du site de l'accident. Les vitesses de vent peuvent être variables d'un lieu à un autre, par contre l'ordre de grandeur est suffisant pour faire l'estimation de la force du vent. De toute façon, outre un relevé sur place au moment de l'accident, il serait difficile d'obtenir des données plus précises.

5. Méthodologie

Le vent est une force de la nature et elle est imprévisible. Le bois est un matériau de la nature dont les caractéristiques sont variables même pour une essence identique. Les méthodes et les données fournies par le Code national du bâtiment tiennent compte de l'imprévisibilité et de la variabilité de la nature en se basant sur les règles des sciences de l'ingénierie et des probabilités. Ces dernières sont associées notamment en vue de l'objectif ultime d'éviter la rupture d'un bâtiment à construire avec une marge d'erreur presque nulle. Dans le cas qui nous concerne, la rupture est survenue, ainsi quelques ajustements seront apportés au niveau de la valeur de certains coefficients pour le calcul de la charge et de la résistance pour refléter le plus possible les conditions de charge et des matériaux survenues le 27 octobre vers 11 heures.

La méthode statique proposée par le Code national du bâtiment est utilisée pour évaluer la force du vent sur le mur #1425. Étant donné que l'expertise porte sur les circonstances d'un accident qui s'est produit, et non sur le dimensionnement d'une structure en vue d'une utilisation future, les charges réelles (c'est à dire celles calculées à partir des vitesses de vent enregistrées à la station météorologique le plus près au moment de l'accident) seront utilisées dans les calculs pour déterminer la force de vent sur le ou les murs concernés. Donc, la vitesse de rafale de 39 km/h enregistrée à peu près au même moment de l'accident sera utilisée. D'ailleurs, c'est la vitesse de vent maximale enregistrée cette journée du 27 octobre. Les coefficients de rafale et de simultanéité seront établis à 1.0

Le poids du mur sera établi en fonction des informations apparaissant sur le plan d'atelier utilisé pour construire le mur à l'atelier de préfabrication. Les poids unitaires pour les sections de bois sont établis pour une teneur en humidité de 15% (état sec). Le poids calculé sera ajusté en fonction de la teneur d'équilibre en humidité du bois évaluée dans la période du 15 au 27 octobre 2014, soit au dessus de 17%. Le poids du mur sera donc augmenté de 3%.

La résistance à l'arrachement des clous utilisés pour joindre les murs # 1425 et #1118 sera établie à partir du Code CSA O86-09 Règles de calcul des charpentes d'acier. Cette valeur de résistance sera augmentée de 10 % pour tenir compte que les clous sont vrillés. Par contre, le coefficient de résistance sera établi à 1.0 au lieu de 0,6 pour refléter une résistance optimale plutôt que minimale. Ce coefficient prend en compte notamment la variabilité dans les dimensions et dans l'installation.

L'objectif des calculs vise à comparer la résistance versus la charge en arrachement des 7 clous 1118 en considérant que les 2 clous 1425 sont sollicités à pleine capacité. Les clous 1425 sont plantés dans la fibre d'extrémité tandis que les clous 1118 le sont dans la fibre latérale. Les forces qui s'opposent au renversement du mur proviennent du poids propre du mur, de la résistance en arrachement des 2 clous 1425 et de celle des 7 clous 1118. Le poids du mur est connu, la résistance en arrachement des clous 1425 est assumée à la capacité maximale, la charge résiduelle en arrachement sur les 7 clous 1118 est déduite et comparée à leur résistance en arrachement.

6. Résultats et analyse

La charge en arrachement par clou induite par la force du vent s'élève à 159,7 Newtons (N), ce qui est supérieur à la résistance calculée de 106 N.

Si on effectue un retour sur nos hypothèses pour mettre en perspective notre résultat, on constate que

- l'effort d'arrachement est important et qu'il dépasse largement la résistance du clou pour ce type d'effort, d'autant plus que l'effort de cisaillement n'a pas été considéré dans la résistance du clou, que les valeurs utilisées pour le calcul sont conservatrices dans le sens qu'elles sont non pondérées : d'ailleurs si on avait eu à dimensionner cet assemblage en fonction des exigences du Code national du bâtiment et de la norme CSA O86, la charge pondérée aurait été de 258 N et la capacité pondérée d'un clou, de 64 N ; il aurait fallu quatre fois plus de clous pour être conforme à la norme.
- malgré que le choix de K_{sf} à 0,67 soit conservateur, si on va à la limite et que l'on considère le bois dans un état sec en condition d'utilisation sèche plutôt qu'humide, donc dans les meilleures conditions possible de résistance; la résistance en arrachement du clou serait de 158 N ($106/0,67$), le clouage céderait étant donné que la force d'arrachement de 159,7 N est presque égale, mais supérieure;
- si on considère une résistance en arrachement pour les 12 clous de la lisse inférieure du mur ayant une projection de 12 mm de 168 N (12/19 mm x 265 N), une force résistante au renversement serait créée et ferait diminuer la force d'arrachement par clou à 143 N, le clouage céderait étant donné que la résistance en arrachement de 106 N est inférieure.

Le seul scénario où la capacité du clou aurait pu être suffisante serait d'additionner les cas limites, et de considérer la capacité en arrachement d'un clou dans le bois sec avec un milieu sec, avec la contribution d'une capacité en arrachement des clous de la lisse inférieure du mur #1425 dans le béton. Ce scénario est peu plausible, car le milieu était humide, et la résistance des 54 clous dans le béton était presque négligeable.

Malgré que les valeurs utilisées soient conservatrices et que nos hypothèses soient poussées à la limite, la force d'arrachement est supérieure à la résistance en arrachement d'un clou, on en déduit donc que la force du vent a été suffisante par elle-même pour faire céder le joint entre les murs #1118 et #1425 et renverser le mur #1425.

7. Conclusion

Le mur #1425 était appuyé verticalement du côté sud sur l'extrémité du mur #1118, ce qui assurait son support latéral de ce côté. Par contre du côté nord, la stabilité latérale était assurée, outre son propre poids, par la capacité en arrachement de 9 clous plantés pour joindre l'extrémité des deux murs. La force d'arrachement induite dans les clous par le vent a dépassé la résistance de ces clous. La force du vent a été suffisante par elle-même pour faire céder le clouage au joint et renverser le mur #1425.

8. Référence

- Manuel de calcul de charpente en bois 2012, Conseil canadien du bois, Ottawa,
- Norme CSA O86-09 Règles de calcul des charpentes en bois
- Guide l'utilisateur- CNB 2010 Commentaires sur le calcul des structures (partie 4 de la division B)
- L'humidité et les bâtiments à ossature de bois, Conseil canadien du bois, Ottawa, 2000
- Direct fastening technical Guide 2013, HILTI, section 3.2.1 et 3.2.2,
- ICC-ES Report ESR-1663, HILTI inc, HILTI low-velocity power driven fasteners Valid 03/15 to 03/17

9. Annexes informations recueillies

9.1A Photo mur 1118



Photo 9.1A

Source : C. Rochon

La photo a été prise le 12 novembre 2014 en compagnie de l'inspecteur. On y voit la position initiale du mur #1425 avant le renversement, de même que le mur #1118 toujours debout, mais contreventé à la suite de la demande de l'inspecteur. Le mur #1425 est présent au site, mais hors du champ de l'appareil photographique. Il a été déplacé à la demande de l'inspecteur.

9.1B Photo mur #1425

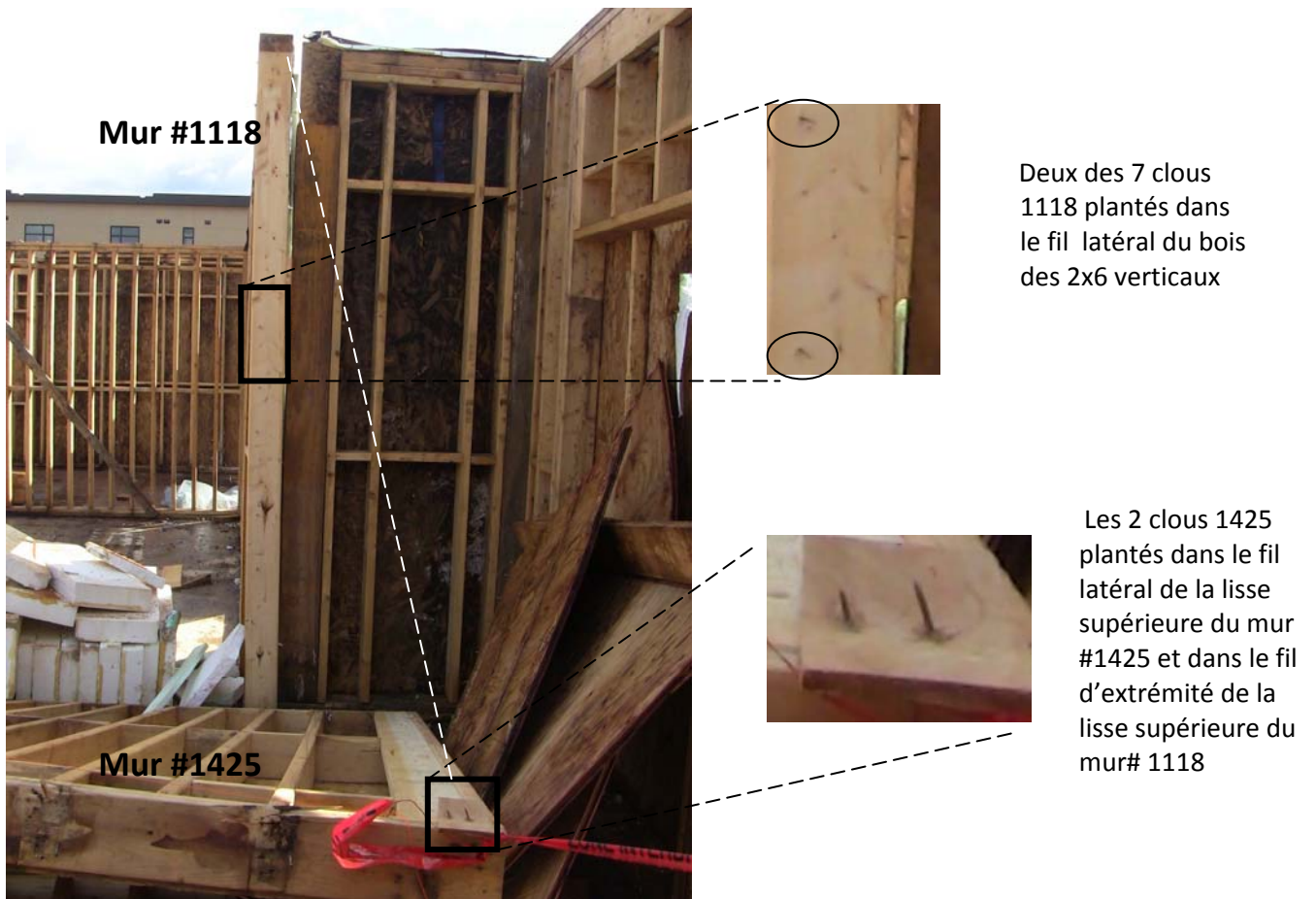


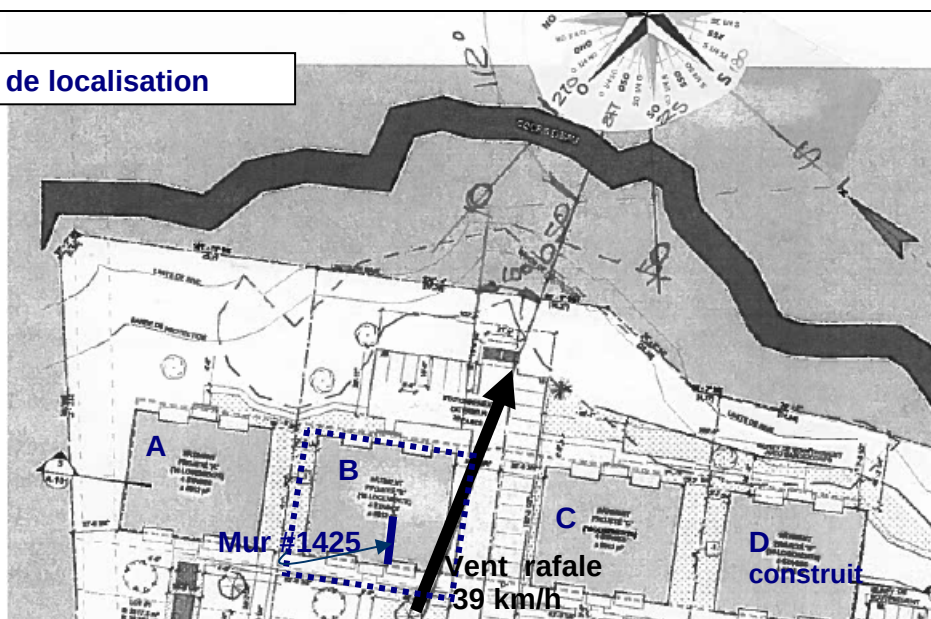
Photo 9.1B

Source CSST

La photo a été prise par l'inspecteur quelques heures après l'accident. Le mur #1425 est déplacé latéralement de sa position originale de chute à la suite de manipulation avec le chariot élévateur de chantier dans le but de dégager la victime.

9.2 Données climatiques

Plan de localisation



Source : employeur; annotations par C. Rochon



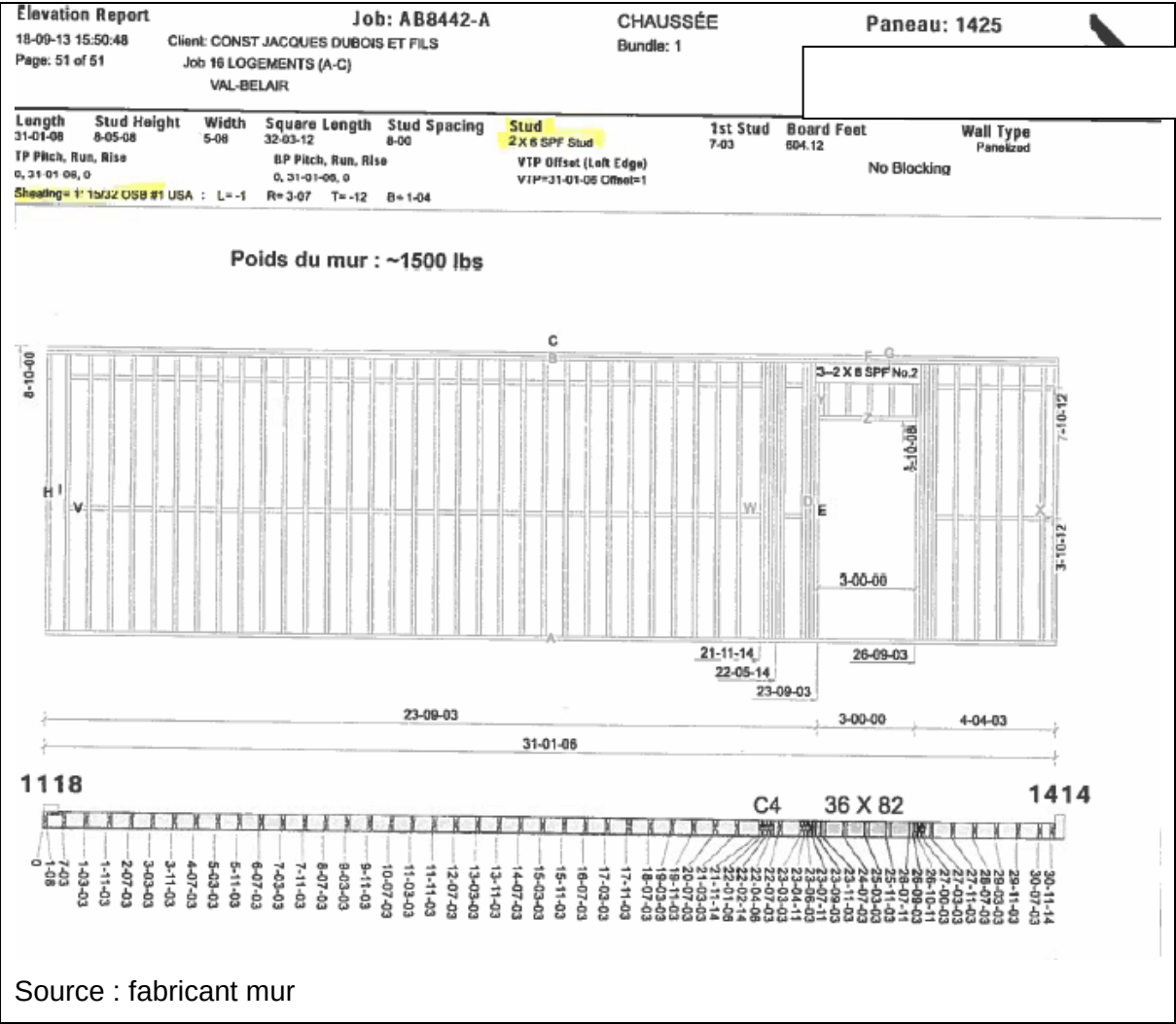
Gouvernement du Canada
Government of Canada

[Accueil](#) | [Tous les services](#) | [Environnement et ressources naturelles](#) | [Information météo](#) | [Météo](#)
[Prévisions locales](#) | [Québec](#) | [Sommaire provincial](#) | [Aéroport int. Lesage de Québec](#)

Aéroport int. Lesage de Québec, Québec

Conditions des dernières 24 heures					°C °F	Tableau	Graphique
Date / Heure (HAE)	Conditions	Temp (°C)	Humidité (%)	Point de rosée (°C)	Vent (km/h)	Pression (kPa)	Visibilité (km)
27 octobre 2014							
12:00	Partiellement nuageux	10	76	6	OSO 25	100,9	24
11:00	Généralement nuageux	8	82	5	OSO 26 rafale 39	100,9	24
10:00	Faible averse de pluie	7	88	5	OSO 23 rafale 33	100,9	24
9:00	Généralement nuageux	6 ↓	91	5	OSO 22	100,8	24
8:00	Faible averse de pluie	6 ↓	93	5	OSO 22	100,6	24

9.3 Plan du mur #1425



Annexe 10

10.1 Calcul poids du mur #1425

Poids du mur #1425						
Section	long. pi	quant.	poids unit. lb/pi	poids lbf	poids N	
2x6	8,46	54	2,01	918,25		
2x6	31,125	2	2,01	125,12		
2x6	1,71	6	2,01	20,62		
2x6	3	1	2,01	6,03		
2x8	3,54	3	2,62	27,82		
2x6	0,54	38	2,01	41,25		
2x6	0,54	38	2,01	41,25		
2x6	31,125	1	2,01	62,56		
			Total	1242,9		
Correction humidité (+ 3%)				1280,2	5594,0	
OSB#1 USA						
15/32						
	hauteur pi	longueur pi	poids unit. lb/pi ²	poids lbf		
mur	8,83	31,125	1,46	401,26		
porte	6,83	3	-1,46	-29,92		
total poids				371,3		
Correction humidité (+ 3%)				382,5	1701,0	
POIDS TOTAL				1662,7	7295,0	
Notes :						
1) Basé sur les dimensions et les quantités du plan d'atelier						
Ultratec : job AB8442-A , 2018-09-13, page 51 de 51						
2018-09-13						
2) Poids unitaire basé sur un taux d'humidité dans le bois de 15%						
3) Le poids de 1663 lb utilisé pour le calcul est environ 10 % plus élevé que le poids						
approximatif de 1500 lb indiqué sur le plan d'Ultratec.						
Claude Rochon ing.						

10.2 Calcul de la teneur équivalente en humidité du bois

Valeurs horaires de teneur d'humidité dans le bois (%) évaluées avec tableau 11.2a du Manuel de calcul des charpentes en bois à partir des données climatiques d'Environnement Canada du 15 au 27 octobre 2014													
15-oct	16-oct	17-oct	18-oct	19-oct	20-oct	21-oct	22-oct	23-oct	24-oct	25-oct	26-oct	27-oct	heures
23	22	23	19	15	15	18	11	13	14	22	22	20	0
16	22	23	19	15	14	21	11	13	14	22	22	20	1
16	22	23	21	15	15	20	11	13	17	22	22	20	2
16	22	23	22	15	15	20	11	13	15	22	22	21	3
16	22	23	22	16	16	20	11	13	15	22	22	19	4
16	22	23	23	16	17	20	11	14	14	22	22	21	5
16	22	23	23	16	17	18	12	15	14	22	21	21	6
16	22	23	23	16	16	18	13	16	14	22	22	21	7
16	22	23	23	13	15	17	14	15	14	22	22	19	8
16	22	23	21	12	11	13	14	15	12	20	22	19	9
16	22	23	15	11	10	13	13	15	12	18	22	18	10
16	21	23	13	12	10	11	12	15	11	18	22	15	11
16	22	23	13	12	10	11	11	14	11	18	22		12
21	22	19	20	12	10	12	11	14	11	14	22		13
22	22	18	20	13	10	10	9	16	11	14	19		14
22	22	18	20	13	10	10	11	16	11	13	16		15
22	22	16	20	15	11	10	12	16	10	14	18		16
22	22	16	21	17	12	10	13	16	12	16	21		17
22	22	18	21	15	13	10	13	15	17	20	18		18
22	22	20	20	15	14	11	13	15	18	21	18		19
22	22	21	18	15	14	11	12	14	18	22	18		20
22	22	19	18	14	14	11	12	13	21	21	18		21
22	22	18	16	13	16	11	12	15	20	22	20		22
22	23	17	15	14	16	11	12	15	20	22	20		23
									moj. 15 -27 oct.		17,083		
note 1) Avant 15 octobre, des sections de bois ont atteint plus de 28 % de teneur en humidité, donc bois état humide, milieu humide. Après 15 octobre, si équilibre, bois état sec (moins de 18%), milieu humide (jusqu'à 23 % de teneur d'humidité équivalente.) Pour les calculs , on considère état bois sec et milieu humide													
note 2) Basées sur les données d'humidité et de température d'Environnement Canada, Aéroport Jean Lesage, Ancienne Lorette													

C.Rochon ing.

C.Rochon ing.

10.3 Calcul de la capacité en arrachement d'un clou

Capacité en arrachement d'un clou

$$T_{cp} = \phi y_w \times L_p \times K_{sf} \times K_t \times n_f \times J_a \times J_b \text{ (CSA O86 article 10.9.5)}$$

T_{cp} : résistance pondérée arrachement clou (N)

ϕ : coefficient de résistance = 0,6

y_w : résistance à l'arrachement unitaire : 6.15 N/mm

L_p : longueur d'enfoncement : 35 mm

K_{sf} : condition de bois et d'utilisation = 0,67 (CSA O86 10.2.1.5)

K_t : coefficient de traitement (aucun) = 1,0

n_f : nombre de clous = 1

J_a : clouage en biais : 0,67

J_b : non riveté = 1,0

	T_{cp} pondérée coefficient de résistance = 0,6 (N)	T_c non pondérée coefficient de résistance = 1,0 (N)
Résistance en arrachement d'un clou	58	97
Résistance en arrachement d'un clou vrillé (x 1,1)	64	106

Notes :

- 1) T_{cp} est la résistance pondérée, car la résistance unitaire y_w est multipliée par un coefficient de résistance. Ce coefficient est appliqué pour tenir compte de la variabilité dans les dimensions et les propriétés des matériaux, de la qualité d'exécution, du type de défaillance et de l'incertitude de l'estimation.
- 2) K_{sf} : ce coefficient dépend de l'état du bois à la fabrication et des conditions d'utilisation: valeur de 1.0 bois sec et milieu sec; valeur de 0,67 bois sec et milieu humide; valeur de 0,4 bois humide et milieu humide.
- 3) y_w : clou Bostitch, long. 83 mm, dia. 3.1 mm, vrillé, bois E-P-S
- 4) L_p : les clous avaient 35 mm d'enfoncement sauf un qui avait 18 mm. On considère 35 mm.
- 5) La résistance sera multipliée par un facteur de 1,1 pour tenir compte que le clou est vrillé.

C. Rochon ing.

10.4 Calcul de la force du vent sur les murs #1118 et #1425

Estimation force de vent sur les murs #1118 et #1425

$$P_{\text{vent}} = I_w \times q \times C_e \times C_g \times C_p \text{ (CNB)}$$

$$F_v = P_{\text{vent}} \times S$$

P_{vent} : pression vent (Pa)

I_w : facteur de risque = 1.0

q : pression = $50 \times 10^{-6} \times 39 \text{ km/h}$ (Pa) (vitesse vent rafale 27 octobre 2014)

C_e : coefficient d'exposition = 0,9

C_g : coefficient de rafale = 1,0 (utilisation charge réelle)

C_p : coefficient de pression (tel que figure I-15, CNB 2010, section commentaires)

F_v : force vent sur un mur (N)

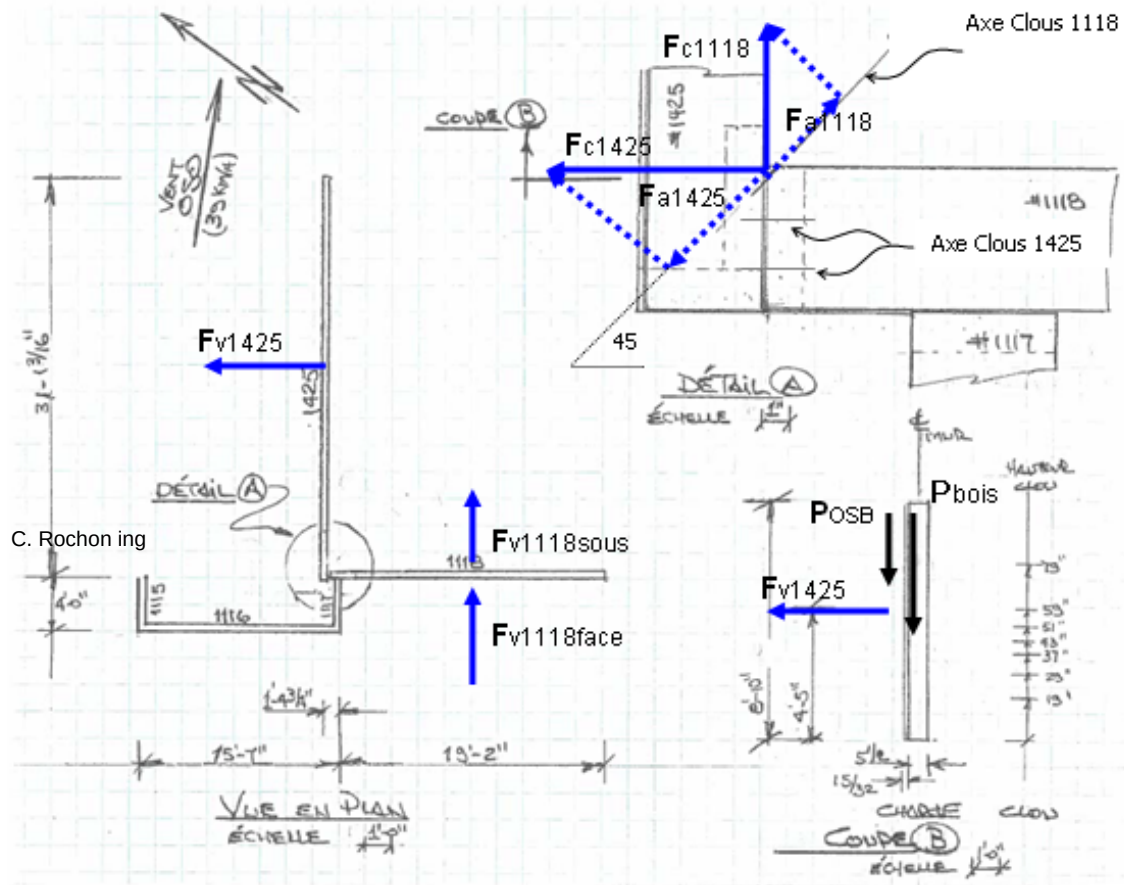
S : superficie du mur (m^2)

Murs	Parallèle au vent	Perpendiculaire face au vent	Perpendiculaire sous le vent	Total Fv (N)
Mur #1425 C_p P_{vent} : (Pa) Surface : (m^2) F_v : force vent : (N)	 0,7 47,6 23,6 1131			1131
Mur #1118 C_p P_{vent} : (Pa) Surface : (m^2) F_v : force vent : (N)		 0,8 54,4 15,7 848	 0,5 34,0 15,7 533	1381

C. Rochon ing.

10.5 Calcul de la force d'arrachement dans les clous

10.5.1 Diagramme des charges



C. Rochon ing

10.5.2 Feuille de calcul

Force d'arrachement pour un clou 1118

				M	Le	Fc	Fa	Fcis.
effort		levier		moment	levier clous	force clous	arrachement	cisaillement
						M/Le	$F_{c \times .707}$	$F_{c \times .707}$
	N	pied-pouce	mm	N-mm	mm	N	N	N
Fv1425	-1131	4' 5"	1346	-1522326				
Pbois	5994	2.5"	63,5	380619				
Posb	-1701	.25"	6	-10206				
clous1425	97,4	8' 10"	2692	262200,8				
sous total				-889712,2	8052	-110	-78,1	-78,1
1/2 Fv1118	-690		1346	-928740	8052	-115	-81,5	-81,5
Donc force d'arrachement non pondérée clou 1118							-159,7	3,4

Positions des clous 1118 par rapport au point de renversement du mur

hauteur po	79	59	51	43	37	29	19
hauteur mm	2007	1499	1295	1092	940	737	483
Le	8052						

Comparaison Résistance et Force d'arrachement d'un clou 1118

Force arra.	Force	Force arra.	Résis. non pon	Force pond.	Résis. Pond.		
	Clou béton	clou1118	coef. = 1,0	(note 7)	coef. = 0,6		
Fa (N)	N	N	Tc (N)		Top (N)		
148,3	17,7	130,6	158	251,4	95	Ksf = 1,0 ; bois sec, milieu sec	
159,7	17,7	142	106	258,1	64	Ksf = 0,67 ; bois sec, milieu humide	
173,1	17,7	155,4	64	263,7	38	Ksf = 0,4 ; bois humide, milieu humide	
Notes:	1) L'angle d'enfoncement des clous est 45 degrés.						
	2) La force résistante au renversement est le poids propre du mur et la résistance des clous cale #1425 et clous montant #1118						
	3) Le joint #1425-1118 reprend la moitié de la force de vent appliquée sur le mur #1118						
	4) Le joint #1118-1117 ne reprend aucune force de vent appliquée sur le mur #1118						
	5) Les forces d'arrachement s'additionnent; les forces de cisaillement se soustraient.						
	6) L'estimation de la capacité du clou est basée en fonction de sa résistance à l'arrachement seulement.						
	7) Les coefficients de pondération: charge morte 0,9 et charge de vent 1,4						

C. Rochon ing

10.5.2 Feuille de calcul (suite)

Force pondérée d'arrachement pour un clou 1118						
effort	M moment	coefficient pondération	M pondéré	Fc pond.	Fa pond.	
				M pond/Lc		
	N-mm		N-mm	N	N	
Fv1425	-1522326	1,4	-2131256,4			
Pbois	380619	0,9	342557,1			
Posb	-10206	0,9	-9185,4			
clous1425	262200,8	0,6	157320,48			
sous total			-1640564,22	-203,75	-144,0	
1/2 Fv1118		1,4			-114,1	
Donc force d'arr. pond. pour clou 1118					-258,1	Ksf=0,67
						Ksf=1,0 -251,4
						Ksf=0,4 -263,7
Moment résistant clou béton non pondéré						
Hyp. .	Au mieux, 12 clous à béton avec levier de 4 po					
	Au mieux, capacité (12mm/19mm) x 60 lbf capacité = 38 LBF					
	Quantité	force ar.	levier	moment	Fc	Fa
	unité	lbf N	po mm	Nmm	N	
imp	12	38	4			
métrique	12	168	100	201600	25,0	17,7
Donc force d'arrachement = 160 - 17,7= 142,3 Newtons						
Capacité clous 1425						
		Ksf	clou 1	clou 2	total	
			long. 30 mm	long. 18 mm	N	
		1			145,4	
		0,67	60,9	36,5	97,4	
		0,4			58,1	

C. Rochon ing

ANNEXE D

Références bibliographiques

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail : RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 10 août 2010*, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2010, vi, 65, xii p.

QUÉBEC. *Code de sécurité pour les travaux de construction, RLRQ, chapitre S-2.1, r. 4, à jour au 22 juillet 2014*, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2014, xiv, 249 p.

GOUVERNEMENT DU CANADA. *Environnement Canada* [En ligne], 2014.
[https://meteo.gc.ca/trends_table/pages/yqb_metric_f.html] (Consulté le 27 octobre 2014).

