

Évaluation d'un système de corde d'assurance horizontale, de connecteurs d'ancrage et de fermes contreventées comme structure d'accueil lors de la pose de toitures résidentielles

André Lan
Bertrand Galy

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-947



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CNESST. Abonnement : preventionautravail.com

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
2017
ISBN : 978-2-89631-909-1
ISSN : 0820-8395

Évaluation d'un système de corde d'assurance horizontale, de connecteurs d'ancrage et de fermes contreventées comme structure d'accueil lors de la pose de toitures résidentielles

André Lan, Bertrand Galy

IRSST

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

R-947



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document.

En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cliquez recherche



Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.



ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce à la collaboration et à l'appui d'un grand nombre d'organisations et d'individus. Nous tenons particulièrement à remercier les organisations et les personnes suivantes :

- l'équipe technique du Groupe de recherche en génie des structures de Polytechnique Montréal pour sa contribution au programme expérimental;
- Bertrand Gauthier, Confédération des syndicats nationaux - Construction;
- Simon Lévesque, Fédération des travailleurs et travailleuses du Québec - Construction;
- Isabelle Dugré, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction;
- Martin Lemieux, Syndicat québécois de la construction;
- Pierre-Luc Labelle, Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST);
- Stéphane Desjardins, Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ);
- Yohann Aubé, Gestion d'entreprise en santé et en sécurité (GESTESS).

SOMMAIRE

La pose de fermes de toit présente particulièrement des risques et des dangers de chute pour les travailleurs de la construction parce qu'elle se fait en hauteur et dans des conditions difficiles. Les travailleurs, en équilibre précaire sur la charpente, risquent de perdre l'équilibre et/ou de chuter lors de la pose des fermes. Pour protéger ses travailleurs contre les chutes de hauteur lors de la pose de fermes, de contreplaqués et de bardeaux, un entrepreneur de construction domiciliaire a récemment développé un système de corde d'assurance horizontale (SCAH) constitué de deux potelets en aluminium et d'un câble en acier en utilisant la toiture comme structure d'accueil. Le SCAH, quoique fonctionnel, est lourd et peu convivial, ce qui freine son utilisation dans les chantiers. Cependant, des essais préliminaires effectués sur un toit pour lequel les travaux étaient complétés, ont montré que ce système présentait un potentiel comme composante d'un système antichute. Ainsi, à la demande de l'ASP Construction, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) a entrepris la présente étude qui visait, dans un premier temps, à évaluer le SCAH pour le rendre efficace, convivial et fiable en améliorant sa méthode d'installation et en réduisant son poids. Dans un second temps, l'étude avait comme objectif de vérifier la résistance des fermes de toit contreventées comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur, du SCAH et des connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15 – *Connecteurs d'ancrage*.

Pour ce faire, 1) une analyse structurale du SCAH a été effectuée en conformité avec le code de design de l'aluminium CAN/CSA-S157, 2) des essais de chute pour valider la résistance du SCAH ont été réalisés sur la structure située dans un laboratoire de Polytechnique Montréal et 3) des essais de chute pour valider la résistance de ces fermes comme structure d'accueil du SCAH et des connecteurs d'ancrage de toiture certifiés CAN/CSA Z259.15 – *Connecteurs d'ancrage* ont été entrepris sur des fermes de toit contreventées, reconstituées au laboratoire Polytechnique Montréal. Ces essais de chute répondaient aux exigences des normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes.

Initialement, lors de la reconstitution de la structure d'accueil au laboratoire, il était prévu de contreventer les fermes suivant les recommandations de l'Association québécoise des fabricants de structures de bois (AQSFB) ou celles du Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (CECOBOIS), mais l'entrepreneur de construction domiciliaire nous a informés qu'en pratique, les entrepreneurs ne suivent presque pas les recommandations de ces deux organismes pour contreventer les fermes, mais plutôt une méthode acquise avec l'expérience et qui a fait ses preuves. Dès lors, il devenait caduc de tester la résistance d'une structure d'accueil contreventée d'après les recommandations de l'AQSFB ou du CECOBOIS puisqu'elles ne sont pas appliquées dans les chantiers. Il a donc été décidé de contreventer la structure reconstituée suivant la pratique usuelle dans les chantiers, de documenter sa mise en place et de tester sa résistance comme structure d'accueil du SCAH et des connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15.

Les résultats des essais de chute montrent que le SCAH a réussi l'ensemble des essais effectués et possède donc la performance et la résistance requises pour un tel système. En effet, les résultats des essais de chute dynamiques montrent que :

- les potelets HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium servant de montants au SCAH ont réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques comme ancrage d'un cordon d'assujettissement;
- le SCAH fait de potelets HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm et d'un Sayflin de DBI SALA a réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques comme dispositif antichute;
- les fermes contreventées suivant les pratiques courantes des chantiers ont réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur avec le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme ancrage;
- les fermes contreventées suivant les pratiques courantes des chantiers ont nécessité un renforcement afin de compléter le programme d'essai. La structure avec le contreventement renforcé a réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques comme structure d'accueil du SCAH avec des HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme montant du système;
- les fermes contreventées renforcées suivant les pratiques courantes des chantiers ont réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques comme structure d'accueil des connecteurs d'ancrage DBI, Protecta et Ridge certifiés CSA Z259.15. Les résultats obtenus avec ces trois types de connecteurs indiquent que les fermes contreventées renforcées constituent une structure adéquate pour les connecteurs d'ancrage CAN/CSA Z259.15.

De plus, le SCAH de l'entrepreneur a été amélioré en facilitant son système d'assemblage à la structure d'accueil par la réduction du nombre de pièces. Ce faisant, son poids a été réduit d'au moins 30 %. Le SCAH permet aux travailleurs une mobilité accrue et les protège pendant toute la durée de leur tâche, tout en favorisant la productivité. Il constitue donc une protection adéquate contre les chutes de hauteur lors de la pose des toitures résidentielles. Le tendeur de câble dans la version originale du SCAH de l'entrepreneur a été enlevé dans la version recherche pour diminuer les coûts et pour faciliter le déroulement des essais puisqu'il n'a aucune fonction structurale. Cette version améliorée du système de câble, vérifiée et validée par des essais répondant aux exigences des normes CSA Z259 sur la protection contre les chutes, facilitera son utilisation dans les chantiers.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-------------|
| REMERCIEMENTS | I |
| SOMMAIRE | III |
| TABLE DES MATIÈRES | V |
| LISTE DES TABLEAUX | VIII |
| LISTE DES FIGURES | IX |
| LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS | XIII |
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Problématique de santé et de sécurité du travail | 1 |
| 1.1.1 Chutes de hauteur..... | 1 |
| 1.1.2 Protection contre les chutes de hauteur à l'aide d'un SCAH..... | 2 |
| 1.1.3 Topologie d'un SCAH développé par un entrepreneur domiciliaire – Mise en place sur une charpente de toiture | 3 |
| 1.2 Objectifs des travaux | 4 |
| 2. MÉTHODOLOGIE | 7 |
| 2.1 Évaluation préalable du SCAH | 7 |
| 2.2 Système de corde d'assurance horizontale retenu | 9 |
| 2.3 Connecteurs d'ancrage retenus | 13 |
| 2.3.1 Connecteur d'ancrage de toit Ridge : numéro de modèle 2103678 de Protecta..... | 13 |
| 2.3.2 Connecteur d'ancrage de toit DBI : numéro de modèle 2103676 | 13 |
| 2.3.3 Connecteur d'ancrage de toit Protecta : modèle AJ730A..... | 14 |
| 2.4 Reconstitution en laboratoire d'une charpente domiciliaire en bois comme structure d'accueil du SCAH | 15 |
| 2.4.1 Description de la charpente..... | 15 |
| 2.4.1.1 Utilisation d'un modèle 3D pour illustrer la structure reconstituée..... | 15 |
| 2.4.1.2 Dimensions de la structure d'accueil | 16 |
| 2.4.1.3 Fixation des potelets à la structure d'accueil | 19 |
| 2.4.2 Contreventement..... | 20 |
| 2.4.2.1 Contreventement de la base de la structure..... | 20 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.4.2.2 | Types de contreventement recommandés par l'AQSFB ou le CECOBOIS | 21 |
| 2.4.2.3 | Contreventement initial..... | 23 |
| 2.4.2.4 | Contreventement renforcé..... | 25 |
| 2.5 | Programme des essais dynamiques de chute – essais dynamiques de performance et de résistance..... | 26 |
| 2.5.1 | Vérification de la performance et de la résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme point d'ancrage d'un cordon d'assujettissement | 27 |
| 2.5.2 | Vérification de la performance et de la résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage d'un SCAH | 31 |
| 2.5.3 | Vérification de la performance et de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement..... | 36 |
| 2.5.4 | Vérification de la performance et de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un SCAH..... | 39 |
| 2.5.5 | Vérification de la performance et de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil pour les connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z 259.15 | 43 |
| 3. | RÉSULTATS..... | 47 |
| 3.1 | Performance et résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme point d'ancrage d'un cordon d'assujettissement | 47 |
| 3.2 | Performance et résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage d'un SCAH | 51 |
| 3.3 | Performance et résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement..... | 56 |
| 3.4 | Performance et résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un SCAH..... | 58 |
| 3.5 | Performance et résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil pour les connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15 | 62 |
| 4. | DISCUSSION..... | 75 |
| 4.1 | Évaluation du SCAH | 75 |
| 4.2 | Amélioration du SCAH | 75 |
| 4.3 | Fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur | 76 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.4 | Fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil d'un SCAH..... | 76 |
| 4.5 | Fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil pour les connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15 | 76 |
| 4.5.1 | Essais dynamiques de performance | 76 |
| 4.5.2 | Essais dynamiques de résistance (rupture) | 77 |
| 4.6 | Portée et limites de l'étude | 78 |
| 5. | CONCLUSION ET RECOMMANDATION | 79 |
| | BIBLIOGRAPHIE..... | 81 |
| | ANNEXE A - ÉVALUATION DU SCAH..... | 83 |
| | ANNEXE B - MODÈLE DE LA STRUCTURE RECONSTITUÉE EN 3D..... | 93 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1 - Résumé de l'analyse structurale du SCAH avec un porte-à-faux de 54 po = 1,37 m et un absorbeur d'énergie ZORBIT de 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH..... | 8 |
| Tableau 2 - Dimensions et propriétés nominales des potelets..... | 9 |
| Tableau 3 - Essais pour vérifier la performance et la résistance du potelet du SCAH comme ancrage d'un cordon d'assujettissement | 29 |
| Tableau 4 - Vérification du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage d'un SCAH | 34 |
| Tableau 5 - Vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement | 36 |
| Tableau 6 - Vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un SCAH..... | 40 |
| Tableau 7 - Vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil des connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSAZ259.15..... | 45 |
| Tableau 8 - Résultats des essais de performance et de résistance du potelet HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme ancrage d'un cordon d'assujettissement..... | 47 |
| Tableau 9 - Résultats des essais de performance et de résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage du SCAH..... | 52 |
| Tableau 10 - Résultats des essais de performance et de résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement | 57 |
| Tableau 11 - Résultats des essais de performance et de résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil du SCAH | 60 |
| Tableau 12 - Résumé des résultats des essais du Tableau 7 | 65 |
| Tableau 13 - Observations effectuées après les essais du Tableau 7..... | 66 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 - Travailleur en équilibre précaire. | 1 |
| Figure 2 - Risque de se faire frapper par une ferme. | 2 |
| Figure 3 - Prototype du système de corde d'assurance horizontale de l'entrepreneur. | 3 |
| Figure 4 - Extrémités des potelets : (a) extrémité supérieure des potelets 1 et 2 (b) extrémité inférieure du potelet 2. | 9 |
| Figure 5 - Extrémité du bas du potelet 2 avec 4 croisillons stabilisateurs : | 10 |
| Figure 6 - Schéma de principe avec les composantes du système. | 11 |
| Figure 7 - Système de serrage entre le potelet 2 et le montant central de la ferme de toiture : (a) système seul; (b) système installé. | 12 |
| Figure 8 - Corde d'assurance horizontale Sayflin à câble métallique de 3/8 po de diamètre. | 12 |
| Figure 9 - Connecteur d'ancrage de toit Ridge. | 13 |
| Figure 10 - Connecteur d'ancrage de toit DBI. | 14 |
| Figure 11 - Fixation du connecteur d'ancrage DBI à la toiture. | 14 |
| Figure 12 - Connecteur d'ancrage de toit Protecta : Modèle AJ730A. | 15 |
| Figure 13 - Comparaison du modèle 3D avec les photos. | 16 |
| Figure 14 - Espacement non régulier des fermes de toit à cause des colonnes structurales. | 17 |
| Figure 15 - Dimension de la toiture de la structure. | 17 |
| Figure 16 - Dimensions d'une ferme de toiture. | 18 |
| Figure 17 - Fixation du potelet à la structure d'accueil. | 19 |
| Figure 18 - Structure supplémentaire pour l'ancrage du croisillon <i>ouest</i> du potelet <i>ouest</i> | 19 |
| Figure 19 - Madrier 2 po x 6 po pour l'ancrage du croisillon <i>est</i> du potelet côté <i>est</i> | 20 |
| Figure 20 - Contreventement de la base de la structure. | 21 |
| Figure 21 - Contreventement recommandé par CECOBOIS sur les membrures verticales des fermes de toit. | 21 |
| Figure 22 - Contreventement sur les chevrons des fermes de toit (AQFSB, 2009a, b). | 22 |
| Figure 23 - Contreventement à la base des fermes de toit, dans le plan horizontal (AQFSB, 2009a, b). | 22 |
| Figure 24 - Contreventement sur les membrures verticales et diagonales des fermes de toit (AQFSB, 2009a, b). | 23 |
| Figure 25 - Évolution du contreventement. | 24 |
| Figure 26 - Détails du contreventement renforcé (rouge). | 25 |

| | |
|---|----|
| Figure 27 - Membrures mises bout à bout pour améliorer la transmission des efforts horizontaux..... | 26 |
| Figure 28 - Schéma de l'essai de validation du potelet comme point d'ancrage d'un cordon d'assujettissement. | 28 |
| Figure 29 - Montage expérimental pour l'ancrage des potelets pour les essais décrits au Tableau 3: (a) montage complet; (b) support à mi-portée; (c) support à mi-portée (vue de dessous); (d) support à l'extrémité de l'encastrement..... | 31 |
| Figure 30 - Schéma de l'essai de validation du potelet comme point d'ancrage d'un SCAH..... | 33 |
| Figure 31 - Ancrage des potelets à la colonne d'ancrage. | 35 |
| Figure 32 - Vérification de la résistance d'une ferme contreventée comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement..... | 37 |
| Figure 33 - Illustration du montage d'essai de validation de la structure d'accueil pour un potelet comme ancrage ponctuel..... | 38 |
| Figure 34 - Illustration du montage pour l'essai de validation de la structure d'accueil du SCAH..... | 41 |
| Figure 35 - Illustration des configurations d'essai pour la validation de la structure d'accueil du SCAH. | 42 |
| Figure 36 - Essai de chute dynamique. | 44 |
| Figure 37 - Clouage des connecteurs d'ancrage pour l'essai 3 du Tableau 7 : (a) Protecta; (b) DBI; (c) Ridge..... | 46 |
| Figure 38 - Tableau 3, essai 3 : avant (a) et après (b) le déclenchement de la chute du torse de bois. | 48 |
| Figure 39 - Indicateurs d'arrêt de chute du harnais : (a) activé; (b) non décousu. | 49 |
| Figure 40 - Hauteur de chute libre et force maximale d'arrêt pour l'essai 3 (courbes types). | 49 |
| Figure 41 - Essai 1 : force dans le cordon d'assujettissement et flèche du potelet..... | 50 |
| Figure 42 - Essai 4 : force dans le cordon d'assujettissement et déformation du potelet..... | 51 |
| Figure 43 - Tableau 4, essai 5 : avant (a) et après (b) le déclenchement de la chute du torse de bois. | 53 |
| Figure 44 - Déploiement du système Zorbit avec 13 déchirures lors de l'essai 4 du Tableau 4..... | 53 |
| Figure 45 - Déploiement du système Zorbit avec 14 déchirures lors de l'essai 5 du Tableau 4..... | 54 |
| Figure 46 - Déploiement du système Zorbit avec 13 déchirures lors de l'essai 6 du Tableau 4..... | 54 |
| Figure 47 - Essai 1 : tension dans le câble et déformation du potelet..... | 55 |
| Figure 48 - Essai 5 : tension dans le câble et déformation du potelet..... | 55 |

| | |
|---|----|
| Figure 49 - Tableau 5 - Essai 4 : (a) avant l'essai; (b) après l'essai. | 56 |
| Figure 50 - Légers endommagements à la structure d'accueil à la suite de l'essai 4 du Tableau 5..... | 58 |
| Figure 51 - Essai 5 : avant (a) et après (b) le déclenchement de la chute de la masse d'acier. | 59 |
| Figure 52 - Rupture de la diagonale et de la lisse supérieure du côté <i>est</i> , lors de l'essai 1 du Tableau 6..... | 61 |
| Figure 53 - Madriers supplémentaires (en rouge) ajoutés à la structure après la rupture engendrée par l'essai 1 du Tableau 6. | 61 |
| Figure 54 - Rupture au niveau du faîte de toit du côté <i>est</i> , lors de l'essai 6 du Tableau 6. | 62 |
| Figure 55 - Configuration des connecteurs d'ancrage pour l'essai 1 : (a) Protecta, (b) BDI et (c) Ridge..... | 63 |
| Figure 56 - Essai 2 : connecteur d'ancrage Ridge. | 63 |
| Figure 57 - Clouage des connecteurs d'ancrage lors de l'essai 3 : (a) Protecta; (b) DBI et (c) Ridge..... | 64 |
| Figure 58 - Soulèvement des connecteurs d'ancrages pour l'essai 3 : (a) DBI; (b) Protecta; (c) Ridge..... | 67 |
| Figure 59 - Soulèvement des connecteurs d'ancrage pour l'essai 4 du: (a) DBI; (b) Protecta; (c) Ridge. | 68 |
| Figure 60 - Essai 7 avec le connecteur d'ancrage Protecta : (a) rupture du crochet à ressort du cordon d'assujettissement; (b) soulèvement et déclouage partiel de la patte supérieure du connecteur d'ancrage..... | 69 |
| Figure 61 - Rupture de la corniche de toiture lors de l'essai 8 avec le connecteur d'ancrage Protecta..... | 69 |
| Figure 62 - Essai 8 avec le connecteur d'ancrage Protecta : soulèvement et déclouage partiel de la patte supérieure du connecteur d'ancrage. | 70 |
| Figure 63 - Essai 8 avec le connecteur d'ancrage Protecta : endommagement partiel de l'attache du crochet à ressort du cordon d'assujettissement à sangle en nylon. | 70 |
| Figure 64 - Essai 9 avec le connecteur d'ancrage Protecta : soulèvement et déclouage partiel de la patte supérieure du connecteur d'ancrage. | 70 |
| Figure 65 - Essai 9 avec le connecteur d'ancrage Protecta : endommagement de la corniche de la toiture..... | 71 |
| Figure 66 - Essai 7 sur le connecteur d'ancrage DBI : état du connecteur d'ancrage après l'essai. | 71 |
| Figure 67 - Essais 7 sur le connecteur d'ancrage DBI : chute au sol de la masse d'acier. | 71 |
| Figure 68 - Ajout du madrier 2 po x 6 po pour doubler la ferme de toit suite à l'arrachement d'un connecteur d'ancrage : vue du côté <i>est</i> de la ferme; (b) vue du côté <i>ouest</i> de la ferme..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Figure 69 - Connecteur d'ancrage DBI : (a) soulèvement du connecteur d'ancrage et déclouage lors de l'essai 8 du Tableau 7; (b) soulèvement du connecteur d'ancrage et déclouage lors de l'essai 9..... | 73 |
| Figure 70 - Essai 7 sur le connecteur d'ancrage Ridge : état du connecteur d'ancrage après l'essai. | 73 |
| Figure 71 - Essai 8 sur le connecteur d'ancrage Ridge : état du connecteur d'ancrage après l'essai. | 74 |
| Figure 72 - Essai 9 sur le connecteur d'ancrage Ridge : état du connecteur d'ancrage après l'essai. | 74 |

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

| | |
|--------------------|--|
| ACNOR : | Association canadienne de normalisation |
| AMCQ : | Association des maîtres couvreurs du Québec |
| APCHQ : | Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec |
| AQFSB : | Association québécoise des fabricants de structures de bois |
| ASCE : | <i>American Society of Civil Engineers</i> |
| ASP Construction : | Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction |
| CAN/CSA : | Canadian/Canadian Standards Association |
| CECOBOIS : | Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois |
| CNBC : | Code national du bâtiment du Canada. |
| GROUPE CSA : | Anciennement connu sous le nom d'Association canadienne de normalisation (<i>Canadian Standards Association</i>) |
| CNESST : | Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail |
| CSTC : | Code de sécurité pour les travaux de construction |
| ÉTS : | École de technologie supérieure |
| HSS : | <i>Hollow structural section</i> |
| IRSST : | Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail |
| OSB : | <i>Oriented strand board</i> |
| OSHA : | <i>Occupational Safety and Health Administration</i> |
| PRMP : | Prévention des risques mécaniques et physiques |
| RSST : | Règlement sur la santé et la sécurité du travail |
| SCAH : | Système de corde d'assurance horizontale |
| SCGC : | Société canadienne de génie civil |
| SCHL : | Société canadienne d'hypothèques et de logement |
| SIJM : | Société d'ingénierie Jean Massé |
| SPF : | <i>Spruce pine fir</i> |
| UV : | Ultraviolet |

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique de santé et de sécurité du travail

1.1.1 Chutes de hauteur

À elles seules, les chutes de hauteur représentent environ 12 % de l'ensemble des accidents qui surviennent dans les principaux secteurs économiques (Duguay et Massicotte, 2007). Elles sont les principales causes de décès pour les travailleurs de la construction. Plus spécifiquement, les couvreurs sont exposés à environ six fois plus de risques d'accidents graves que les autres travailleurs. Lorsqu'un couvreur fait une chute, elle s'avère mortelle dans 75 % des cas (Lan et Daigle, 2011). Dans le secteur de la construction, les chutes qui occasionnent des blessures entraînent, un arrêt de travail d'une durée moyenne de 140 jours et des coûts directs de plus de 6 500 \$ (Duguay et Massicotte, 2007). Les réglementations internationales sont très claires; il faut protéger les travailleurs exposés à un risque de chute de 1,8 mètre aux USA (OSHA, 1998). Cette limite est de 3 mètres au Québec selon le Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC) (S-2.1, r.4, 2013) et le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST, 2013).

La pose des fermes de toit présente particulièrement des risques et des dangers de chute parce qu'elle se fait en hauteur et souvent dans des conditions défavorables. Le travailleur, en équilibre précaire sur la charpente [Figure 1], risque de chuter en perdant l'équilibre et/ou de se faire frapper par une ferme lors de la manipulation et l'installation de celle-ci [Figure 2]. La chute peut aussi être entraînée par le basculement d'une ferme, attribuable à un manque de contreventement temporaire mis en place suivant les recommandations de l'Association québécoise des fabricants de structures de bois (AQFSB, 2009a, 2009b) ou du Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (CECOBOIS, 2011).



Figure 1 - Travailleur en équilibre précaire.



Figure 2 - Risque de se faire frapper par une ferme.

1.1.2 Protection contre les chutes de hauteur à l'aide d'un SCAH

Un système de corde d'assurance horizontale (SCAH) est composé de deux ancrages d'extrémité, généralement faits de deux potelets en acier ou en aluminium d'environ 4 à 6 pieds de hauteur assemblés à une structure d'accueil, et d'une corde d'assurance horizontale (avec ou sans absorbeur d'énergie) tendue entre ces deux potelets. C'est un moyen peu coûteux et efficace pour protéger les travailleurs contre les chutes de hauteur. Le SCAH a été utilisé dans plusieurs gros chantiers du Québec, entre autres, à l'usine de peinture de General Motors à Boisbriand, dont la surface de la toiture dépassait 40 000 m² (Alaurent *et al.*, 1992) et le chantier du complexe d'entraînement du Canadien de Montréal à Brossard. Au chantier de General Motors, le SCAH a permis d'arrêter 5 chutes de hauteur (Dupont, 2010) alors qu'au complexe du Canadien de Montréal, il a permis de sauver huit travailleurs lorsqu'une partie de la structure s'est effondrée (Dupont, 2010).

La technologie d'un SCAH est bien connue et maîtrisée. Les forces maximales d'ancrage sont estimées avec les abaques de l'IRSST (Arteau et Lan, 1991) ou par calcul avec un chiffrier Excel (en s'appuyant sur la méthode proposée dans le guide technique d'Arteau et Lan, par exemple). Le dimensionnement des potelets, sollicités en flexion, en torsion et en cisaillement est fait avec les méthodes classiques de la résistance des matériaux avec les codes de design de l'acier ou de l'aluminium. La corde d'assurance horizontale (CAH) est généralement un câble en acier de 12,7 mm (1/2 po) de diamètre. Elle peut être de dimension moindre si elle a été conçue par un ingénieur conformément à l'une des normes suivantes : ASTM 1023/A 1023M, Table 14, CSA

G4-00¹, EN 12385-4.9 et ISO 2408. Pour certaines applications en milieu électrique, un câble en fibres synthétiques convient mieux.

1.1.3 Topologie d'un SCAH développé par un entrepreneur domiciliaire – Mise en place sur une charpente de toiture

Pour protéger ses travailleurs contre les chutes de hauteur pendant la pose de fermes, de contreplaqués et de bardeaux lors de travaux de toiture, un entrepreneur de construction domiciliaire a mis en œuvre un SCAH installé à environ 4 à 5 pieds au-dessus du faîte pour protéger les travailleurs sur tous les versants de la toiture [Figure 3]. Il est composé de:

- deux potelets (A) munis de dispositifs de serrage pour les assembler aux montants de deux fermes d'extrémité ou aux 3/4^e fermes à partir de chaque extrémité; chaque potelet est fait de 3 profilés HSS (*hollow structural section*) en aluminium de 2 po x 6 po x 16 pi de longueur, soudés ensemble; un tendeur (non visible sur la Figure 3) est assemblé à l'un des profilés pour permettre de tendre aisément le câble;
- deux cordes d'assurance horizontales principales en acier (B);
- une corde d'assurance (C) pour accueillir le coulisseau du cordon d'assujettissement du travailleur;
- l'absorbeur d'énergie de la corde d'assurance horizontale (F) ;
- 4 tiges stabilisatrices à l'extrémité inférieure des potelets, assemblées à la charpente (non visibles sur la Figure 3).

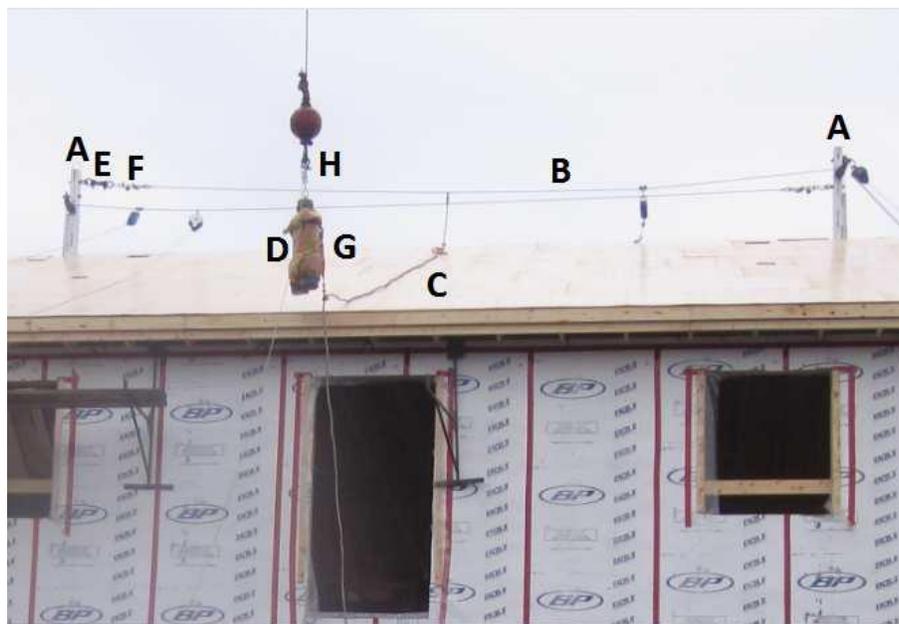


Figure 3 - Prototype du système de corde d'assurance horizontale de l'entrepreneur.

¹ La norme CSA G4 est citée dans Z259.16, cependant il faut garder en mémoire que cette norme CSA G4 ne s'applique pas aux câbles d'aéronef (art. 1.3), qui sont pourtant couramment utilisés en matière de protection contre les chutes.

Lorsque le toit est complété, les travailleurs installent sur celui-ci des connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15 (CAN/CSA Z259.15, 2012) pour s'y attacher avant d'enlever le SCAH et fermer les ouvertures laissées par les potelets du SCAH.

Les fermes contreventées sont donc utilisées comme la structure d'accueil du SCAH, une fonction pour laquelle elles n'ont pas été conçues. Seule leur résistance comme structure d'accueil du SCAH reste à déterminer. Lors de la revue de la littérature, aucune étude relative aux fermes comme structure d'accueil n'a été recensée. Généralement, les fermes sont contreventées suivant les consignes de l'AQFSB ou celles du CECOBOIS. Cependant, d'après l'entrepreneur de construction domiciliaire, les consignes de contreventement de l'AQFSB et du CECOBOIS sont peu ou ne sont pas suivies par le milieu. Face à cette affirmation, il devenait caduc de tester une structure d'accueil qui n'est jamais érigée dans les chantiers. Dès lors, il a été décidé de contreventer les fermes suivant la pratique courante aux chantiers, décrite plus loin. L'originalité de la présente étude est donc la validation des fermes contreventées suivant la pratique courante des chantiers comme structure d'accueil du SCAH.

Quoique fonctionnel et prometteur, le SCAH proposé par l'entrepreneur est lourd (> 90 kg (200 lb)) et peu convivial, ce qui freine son utilisation sur les chantiers. Il a subi avec succès quelques essais préliminaires sur un toit fini [Figure 3], une structure rigide et résistante², mais il n'a pas été testé avec les fermes contreventées comme structure d'accueil lors de la pose de contreplaqués et de bardeaux.

1.2 Objectifs des travaux

Des demandes de l'ASP Construction et des intervenants du milieu des travaux de toiture : Association des maîtres couvreurs du Québec (AMCQ), Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ) ainsi que de la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST)³ nous ont été adressées pour 1) évaluer le SCAH conçu par l'entrepreneur en vue de l'améliorer et 2) vérifier la résistance des fermes assemblées et contreventées selon les pratiques usuelles des chantiers comme structure d'accueil du SCAH et des six connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15 – *Connecteurs d'ancrage*, soit ceux les plus utilisés par les travailleurs lors des travaux de toiture.

Ainsi, les objectifs des travaux effectués lors de cette activité de recherche consistaient à :

- 1) vérifier la résistance des fermes contreventées suivant les pratiques usuelles des chantiers comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur, par des essais de chute en respectant les exigences des normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes de hauteur, une fonction pour laquelle les fermes n'ont pas été conçues;
- 2) vérifier la résistance des fermes contreventées suivant les pratiques usuelles des chantiers comme structure d'accueil du SCAH, par des essais de chute en respectant les exigences des normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes de hauteur, une fonction pour laquelle les fermes n'ont pas été conçues;

² SIJM. (2010). Système de protection contre les chutes dans le domaine de la construction résidentielle. Rapport d'analyse et d'essai. Société d'ingénierie Jean Massé. Beauport. Québec.

³ Connue jusqu'en janvier 2016 sous le nom de Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST).

- 3) vérifier la résistance des fermes contreventées suivant les pratiques usuelles des chantiers comme structure d'accueil de six connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15 – *Connecteurs d'ancrage* les plus utilisés par les travailleurs lors des travaux de toiture par des essais de chute en respectant les exigences des normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes de hauteur, une fonction pour laquelle les fermes n'ont pas été conçues.

Afin de remplir l'objectif 1, deux étapes préliminaires étaient nécessaires : (i) évaluer le SCAH proposé par l'entrepreneur selon les critères de fiabilité, d'efficacité et de convivialité en vue de l'améliorer et (ii) effectuer au besoin des modifications nécessaires au SCAH et refaire la procédure d'évaluation.

Les critères de fiabilité, d'efficacité et de convivialité utilisés pour l'évaluation sont définis comme suit :

- Fiabilité : pas de détérioration causée par les rayonnements UV et les intempéries; facile à inspecter visuellement et le travailleur est familier avec l'ensemble de ses composantes.
- Efficacité : par conception, régie par les règles de l'art de la résistance des matériaux, les codes de design de l'aluminium (CAN/CSA-S157, 2000) et de l'acier (CAN/CSA-S16-09, 2014), et les exigences des normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes de hauteur.
- Convivialité : légèreté du SCAH pour faciliter sa manipulation et sa mise en place, continuité du point d'attache aux cordons d'assujettissement et faible niveau d'intervention pour activer la protection du travailleur tout en évitant l'interférence avec ses activités de travail; en ne s'attachant qu'une seule fois, le travailleur peut effectuer une séquence ininterrompue de travail pendant toute la durée de sa tâche.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Évaluation préalable du SCAH

L'analyse structurale préalable du SCAH est détaillée en annexe. Elle est réalisée suivant les méthodes classiques de la résistance des matériaux, le code de conception CAN/CSA-S157 Calcul de la résistance mécanique des éléments en aluminium (CAN/CSA-S157, 2000), la norme CAN/CSA-S16-1 *Limit States Design of Steel Structures* (CAN/CSA S16-09, 2014) et le Code national du bâtiment du Canada (CNBC, 2010). Pour vérifier la résistance du SCAH, il faut tester l'ensemble des modes de rupture du SCAH et s'assurer que chacune des membrures le composant ait la résistance adéquate pour supporter les charges qui la sollicitent. Les montants du SCAH doivent être vérifiés principalement sur le plan de la flexion et du cisaillement. Pour vérifier la performance du SCAH, il faut s'assurer que sa déformation ne soit pas excessive afin d'éviter que le travailleur heurte le plancher ou tout matériaux/équipement se trouvant sur le plancher lors de l'arrêt d'une chute accidentelle et vérifier que la zone de dégagement disponible est adéquate.

Le Tableau 1 résume l'évaluation structurale du SCAH (voir aussi l'annexe A) avec un porte-à-faux de 1,37 m (54 po) et un absorbeur d'énergie Zorbit de 11,36 kN (2 500 lb). L'analyse structurale du SCAH montre :

- que le prototype du SCAH, fait d'un assemblage de 3 profilés en aluminium de type HSS 2 po x 6 po (équivalent à 6 po x 6 po) soudés ensemble, est nettement surdimensionné;
- qu'un HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm (3½ po x 3½ po x 3/8 po) en acier est adéquat comme potelets du SCAH;
- qu'un HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) en aluminium est adéquat comme potelets du SCAH;
- qu'un HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) en aluminium est adéquat comme potelets du SCAH.

Le HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm de 4,87 m (3½ po x 3½ po x 3/8 po de 16 pi) en acier de charpente, quoique adéquat, est à rejeter à cause de son poids (107 kg) et parce qu'il va à l'encontre d'un des objectifs de l'étude, soit l'amélioration de la convivialité. Le HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm, de 4,87 m (4 po x 4 po x 3/8 po de 16 pi) en aluminium est le profilé le plus facile à manipuler. Il constitue donc un bon choix pour fabriquer les potelets du SCAH, mais étant cher et disponible sur commande seulement, il n'est pas retenu. Le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm de 4,87 m (5 po x 5 po x ¼ po de 16 pi), quoique légèrement surdimensionné, est plus léger (39 kg) que le HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (43 kg) et il est disponible commercialement à un prix abordable. C'est donc ce HSS qui est retenu pour fabriquer les potelets du SCAH.

Tableau 1 - Résumé de l'analyse structurale du SCAH avec un porte-à-faux de 54 po = 1,37 m et un absorbeur d'énergie ZORBIT de 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH

| Système de corde d'assurance horizontale (SCAH) | Vérification à la flexion | Vérification à l'effort tranchant | Analyse* | Longueur | Poids | Conclusion Choix du potelet |
|--|--|-------------------------------------|---|-------------------|---------------------|----------------------------------|
| Potelets en acier : HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm (3½ po x 3½ po x 3/8 po) Porte-à-faux de 54 po = 1,37 m Absorbeur d'énergie: 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH. | $\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$ $\frac{3}{725,5} + \frac{1 \times 23,48}{25,4} + \frac{1 \times 0}{25,4} \leq 1$ 0,00414 + 0,92 + 0 = 0,93 ≤ 1 OK | $V_f \leq V_r$ 17 kN ≤ 290 kN OK | SCAH OK puisque c'est la flexion qui gouverne | 4,87 m (16 pi) | 107 kg (235 lb) | Trop pesant, à rejeter |
| Potelets en aluminium : HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) Porte-à-faux de 54 po = 1,37 m Absorbeur d'énergie : 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH. | $\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$ $\frac{3}{619,9} + \frac{1 \times 23,48}{23,79} + \frac{1 \times 0}{23,79} \leq 1$ 0,00484 + 0,98 + 0 = 0,99 ≤ 1 OK | $V_f \leq V_r$ 17 kN ≤ 214 kN OK | SCAH OK puisque c'est la flexion qui gouverne | 4,87 m (16 pi) | 43 kg (95 lb) OK | OK |
| Potelets en aluminium**: HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) Porte-à-faux de 54 po = 1,37 m Absorbeur d'énergie : 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH | $\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$ $\frac{3}{535,5} + \frac{1 \times 23,48}{25,78} + \frac{1 \times 0}{25,78} \leq 1$ 0,0056 + 0,91 + 0 = 0,92 ≤ 1 OK | $V_f \leq V_r$ 17 kN ≤ 192 kN OK | SCAH légèrement surdimensionné puisque c'est la flexion qui gouverne | 4,87 m (16 pi) | 39 kg (87 lb) OK | OK Choix retenu comme potelet |

Note: Masse volumique de l'aluminium 6061 T6 = 2 700 kg/m³; Masse volumique de l'acier de charpente = 7850 kg/m³

* Reste à vérifier le dégagement minimal avec les données techniques de l'absorbeur d'énergie du fabricant (voir sous-section A.2.4 en annexe)

** Retenu comme potelet du SCAH dans la présente étude

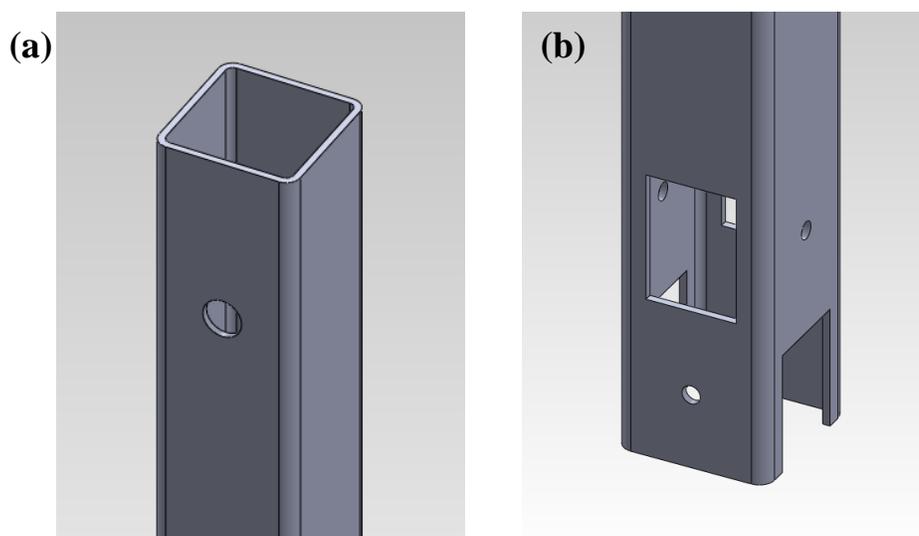
2.2 Système de corde d'assurance horizontale retenu

À la suite de l'analyse structurale, le SCAH retenu et soumis aux essais de chute dynamiques est constitué de potelets dont les profilés tubulaires sont en aluminium extrudé 127 mm x 127 mm x 6,4 mm conformément à la norme ASTM A221 ($F_y = 240$ MPa) et d'alliage 6061-T6511. Deux configurations de potelets décrites au Tableau 2 ont été testées avec des longueurs et des systèmes d'attache différents. Dans le Tableau 2, les résistances en flexion des potelets, M_y et M_p , ont été déterminées en utilisant la limite élastique nominale de l'alliage 6061-T6511, $F_y = 240$ MPa (35 ksi). Le moment M_y est celui produisant une contrainte égale à F_y à la fibre extrême du potelet ($M_y = S \cdot F_y$) alors que le moment M_p est celui produisant la plastification complète en flexion du potelet ($M_p = Z \cdot F_y$).

Tableau 2 - Dimensions et propriétés nominales des potelets

| Potelet | Profilé HSS (mm x mm x mm) | Longueur totale m (pied) | Porte-à-faux m (pouce) | Longueur d'encastrement m (pouce) | Moment d'inertie mm ⁴ | Moment résistant élastique $M_y = S F_y$ kN·m | Moment résistant plastique $M_p = Z F_y$ kN·m |
|---------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 1 | 127 x 127 x 6,4 | 3,048 (10) | 1,524 (60) | 1,524 (60) | $7,05 \times 10^6$ | 26,8 | 31,7 |
| 2 | 127 x 127 x 6,4 | 4,877 (16) | 1,524 (60) | 3,353 (132) | $7,05 \times 10^6$ | 26,8 | 31,7 |

La Figure 4 présente les extrémités des deux potelets à l'étude. Les potelets 1 et 2 sont percés à l'extrémité supérieure [Figure 4(a)] d'un trou ayant un diamètre de 32 mm situé à 152 mm (6 po) du bord pour recevoir un boulon œil G-277 1¼ po - 8 po. Dans le SCAH retenu, l'extrémité inférieure du potelet 2 [Figure 4(b)] est usinée pour recevoir 4 tiges d'échafaudage de 2235 mm [88 po] de long [Figure 5] servant à stabiliser le système lors de sa mise en place [Figure 6].



**Figure 4 - Extrémités des potelets : (a) extrémité supérieure des potelets 1 et 2
(b) extrémité inférieure du potelet 2.**

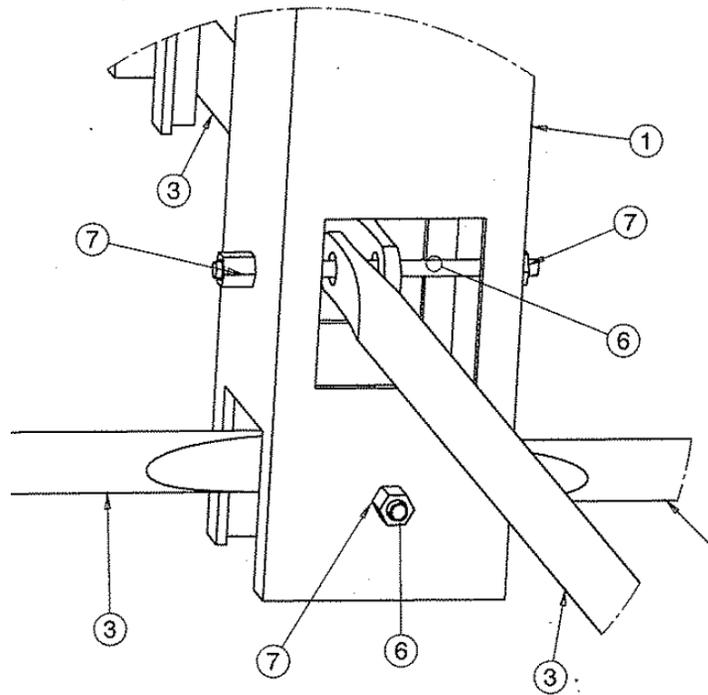


Figure 5 - Extrémité du bas du potelet 2 avec 4 croisillons stabilisateurs :

- (1) potelet 2; (3) Croisillon stabilisateur de 2235 mm de long (croisillon d'échafaudage 7 pi);
(6) Tige filetée de diamètre 12,7 mm [1/2 po] de 203 mm [8 po] de long; (7) Écrou 12,7 mm
[1/2 po]⁴.

⁴ Illustration tirée de : Riopel, M. (2012). *Conception d'un dispositif de prévention des chutes*. Rapport de stage. Polytechnique Montréal.

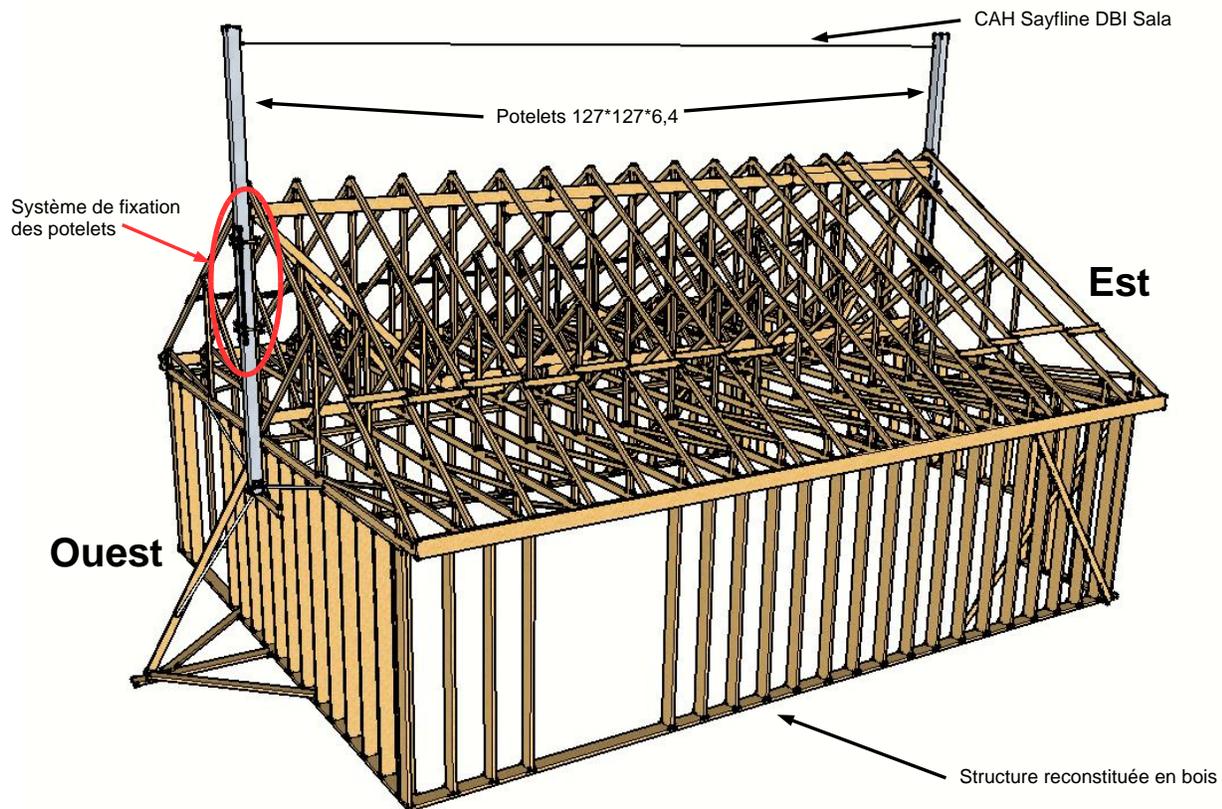


Figure 6 - Schéma de principe avec les composantes du système.

La Figure 7 illustre le système de serrage retenu pour l'étude et permettant d'assembler le potelet 2 au montant central de la ferme de toiture à l'aide de quatre tiges filetées de 12,7 mm [1/2 po] servant à fixer solidement le montant en bois avec le potelet 2 [Figure 7(a)]. Ce système est installé le plus haut possible pour optimiser son efficacité [Figure 7(b)].

La corde d'assurance horizontale pour le SCAH est le modèle *Sayflin Wire Rope* de DBI Sala à portée ajustable par un serre-câble comportant un absorbeur d'énergie DBI ZORBIT de 11,36 kN (2 500 lb) et un câble métallique de 9,5 mm (3/8 po) de diamètre [Figure 8].

En résumé, le SCAH retenu et soumis aux essais est constitué de :

- 2 potelets HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium de 16 pi. Les potelets sont percés à l'extrémité supérieure d'un trou ayant un diamètre de 32 mm situé à 152 mm (6 po) du bord pour recevoir un boulon œil G-277 1¼ po - 8 po [Figure 4];
- les potelets sont usinés à l'extrémité inférieure pour recevoir les tiges stabilisatrices de 88 po de long [Figure 5];
- le nouveau système d'attache proposé par Riopel [Figure 7 (a) et (b)];
- pas de tendeur de corde d'assurance horizontale;
- un Sayflin DBI Sala à câble métallique de 3/8 po de diamètre [Figure 8].

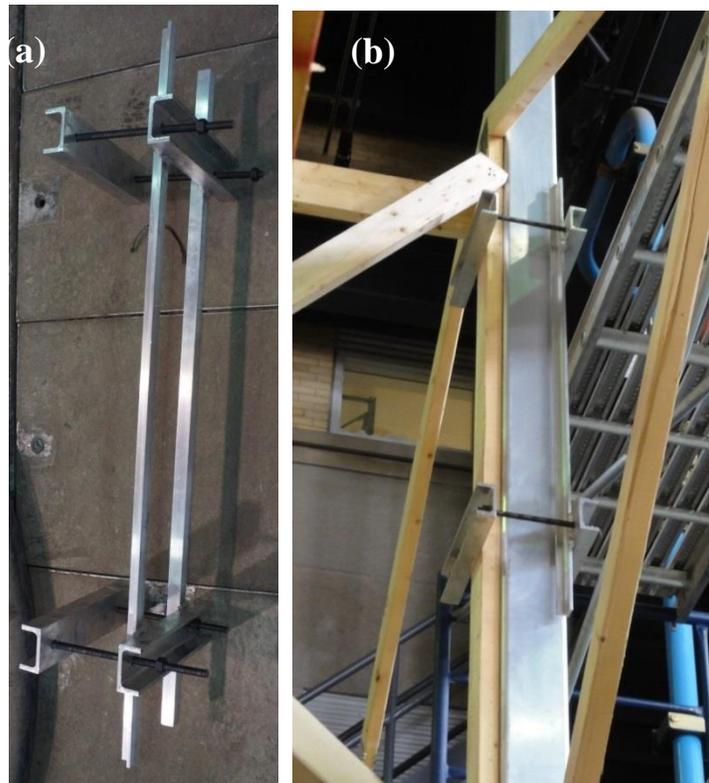


Figure 7 - Système de serrage entre le potelet 2 et le montant central de la ferme de toiture :
(a) système seul; (b) système installé.

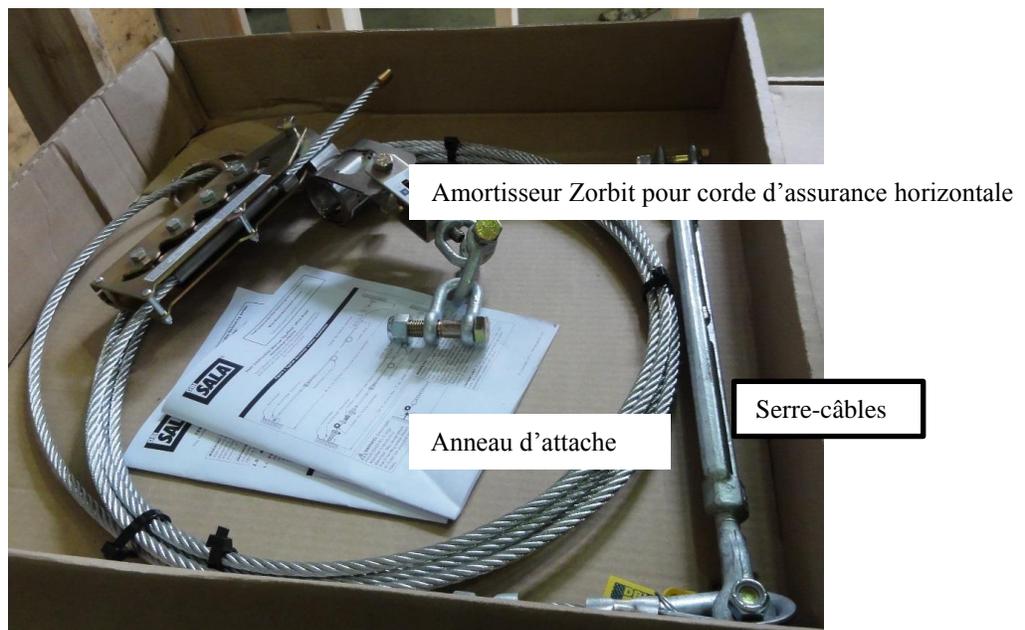


Figure 8 - Corde d'assurance horizontale Sayflin à câble métallique de 3/8 po de diamètre.

2.3 Connecteurs d'ancrage retenus

Un sondage a été effectué auprès des membres de l'AMCQ, de l'APCHQ et auprès de la CNESST afin de déterminer les modèles de connecteurs d'ancrage CAN/CSA Z259.15 les plus utilisés par les intervenants du milieu des travaux de toiture. Un total de six connecteurs d'ancrage a été identifié. Sur ces six connecteurs d'ancrage, trois étaient relativement difficiles à obtenir au moment de l'étude. Le choix s'est donc porté sur les trois autres modèles, qui sont détaillés dans les sous-sections suivantes.

2.3.1 *Connecteur d'ancrage de toit Ridge : numéro de modèle 2103678 de Protecta*

Le connecteur d'ancrage de toit Ridge est utilisé comme un connecteur d'ancrage permanent sur des structures à charpente de bois. Il est constitué d'un anneau en D forgé et zingué, assemblé à une base en acier inoxydable, comme illustré à la Figure 9.



Figure 9 - Connecteur d'ancrage de toit Ridge.

Le connecteur d'ancrage Ridge s'installe suivant les instructions du manufacturier. Il faut écarter les pattes de la base selon la surface sur laquelle il sera monté, soit un faîte ou soit une surface plane et on enfonce les 8 clous enduits 20d fournis avec le connecteur d'ancrage dans une membrure de la charpente.

2.3.2 *Connecteur d'ancrage de toit DBI : numéro de modèle 2103676*

Le connecteur d'ancrage de toit DBI articulé est utilisé comme un connecteur d'ancrage temporaire sur des charpentes de bois. Il est fait d'un anneau en D forgé assemblé à une base en acier [Figure 10].



Figure 10 - Connecteur d'ancrage de toit DBI.

Le connecteur d'ancrage s'installe suivant les instructions du manufacturier. Il faut déployer les pattes de socle pour qu'elles épousent la surface d'accueil, soit un faîte ou une surface plane. Le connecteur d'ancrage est ensuite installé sur la toiture de sorte que les trous pour le clouage situés le long du centre des pattes soient positionnés au-dessus d'une membrure de la structure de toit. Finalement, il faut enfoncer 10 clous 16d par patte, soit 6 dans les chevrons et 4 dans le revêtement [Figure 11].

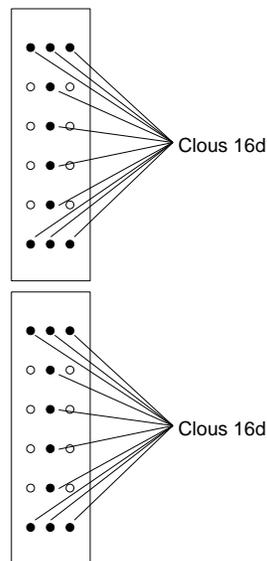


Figure 11 - Fixation du connecteur d'ancrage DBI à la toiture.

2.3.3 Connecteur d'ancrage de toit Protecta : modèle AJ730A

Les connecteurs d'ancrage de toiture Protecta [Figure 12] et DBI sont fabriqués par la même compagnie. Ils sont donc identiques et s'installent de la même façon que celle décrite à la sous-section 2.3.2.



Figure 12 - Connecteur d'ancrage de toit Protecta : Modèle AJ730A.

2.4 Reconstitution en laboratoire d'une charpente domiciliaire en bois comme structure d'accueil du SCAH

Faute de pouvoir réaliser les essais de chute dynamiques sur une structure réelle pour valider le SCAH et la résistance des fermes contreventées à titre de structure d'accueil, une charpente domiciliaire en bois a été reconstituée au laboratoire de Polytechnique Montréal suivant les règles de bonne pratique d'érection d'une charpente de bois de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL, 2011). Cette structure a été érigée par la compagnie Gaétan Sirois Construction sous la supervision d'Yves Sirois. La structure en bois SPF (*Spruce pine fir*) séché de classe 2 a été assemblée avec des clous vrillés de 3,5 po de long et de calibre 16D enfoncés au marteau et avec des clous vrillés de 3,25 po de long et de calibre 120 enfoncés par des cloueuses pneumatiques.

2.4.1 Description de la charpente

2.4.1.1 Utilisation d'un modèle 3D pour illustrer la structure reconstituée

La description de la structure reconstituée au laboratoire et de ses caractéristiques s'appuie, d'une part, sur des photos prises lors des essais et, d'autre part, sur un modèle tridimensionnel de la structure réalisé avec le logiciel Sketchup [Figure 13]. L'intérêt du modèle 3D réalisé sur Sketchup est multiple. Il permet de mettre en évidence, par l'utilisation de couleurs vives, différents éléments de la structure. Ensuite, il facilite le retrait de certains éléments qui n'apportent aucune information pertinente pour la

discussion (par exemple, les colonnes structurales du laboratoire de structures de Polytechnique Montréal). Le modèle 3D autorise également *in situ* des angles de vue impossibles. Pour toutes ces raisons, il nous a paru pertinent de nous appuyer sur un modèle numérique 3D, à l'échelle, et représentant fidèlement la structure assemblée au laboratoire, afin de soutenir le propos du texte. La Figure 13 montre une comparaison de la structure reconstituée au laboratoire et celle du modèle 3D. Comme on peut le voir, le choix a été fait de représenter le contreplaqué tel qu'il était pour les essais de chute dynamiques.

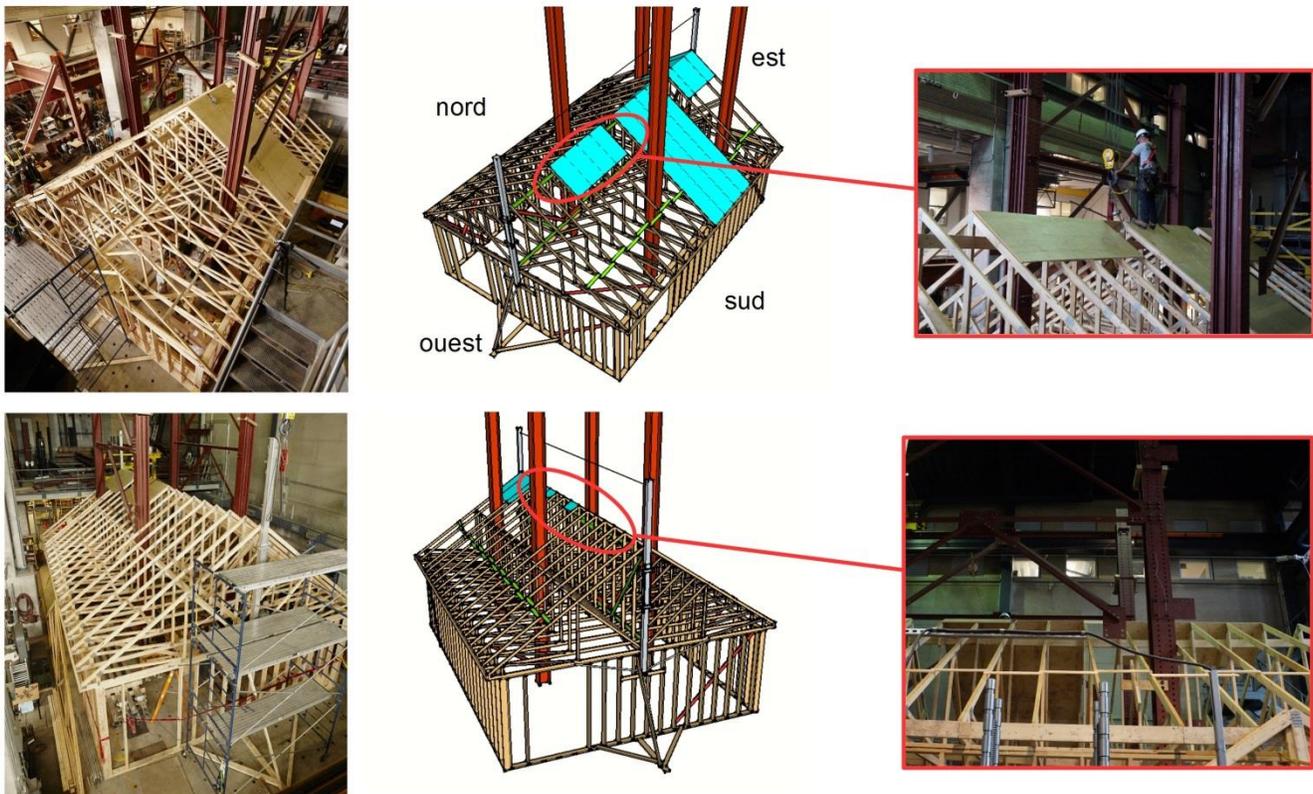


Figure 13 - Comparaison du modèle 3D avec les photos.

Un modèle de la structure reconstituée en 3D avec des vues différentes, activées par des flèches, est présenté à l'annexe B. Ce modèle permet de voir rapidement les vues les plus intéressantes de la structure.

2.4.1.2 Dimensions de la structure d'accueil

La structure d'accueil avait pour dimensions à la hauteur du sol 7,30 m [23 pi 11½ po] en largeur et 10,36 m [34 pi] en profondeur. Toutes les pièces de charpente utilisées pour l'ossature des murs extérieurs, sans les contreventements, étaient des madriers séchés SPF 2 po x 6 po (38 mm x 140 mm) de grade 2. Les montants verticaux étaient espacés régulièrement tous les 16 po (406 mm) centre à centre. Les 18 fermes avaient 26 pi de portée et une pente de 8/12. Elles étaient posées avec un porte-à-faux de 1 pi de chaque côté du mur. Elles étaient espacées régulièrement, à l'exception du passage des colonnes structurales [Figure 14, Figure 15], de 24 po (610 mm) centre à centre. La charpente n'était pas fixée au sol, elle était par contre reliée aux colonnes structurales en quelques endroits (encerclés en rouge sur la Figure 14). Cette fixation aux colonnes structurales a été installée pour monter la charpente.

La connexion de la toiture aux colonnes structurales avec deux planches n'apporte pas une résistance significative aux forces latérales. C'est le contreventement de la toiture dans son ensemble qui apporte de la rigidité à la structure.

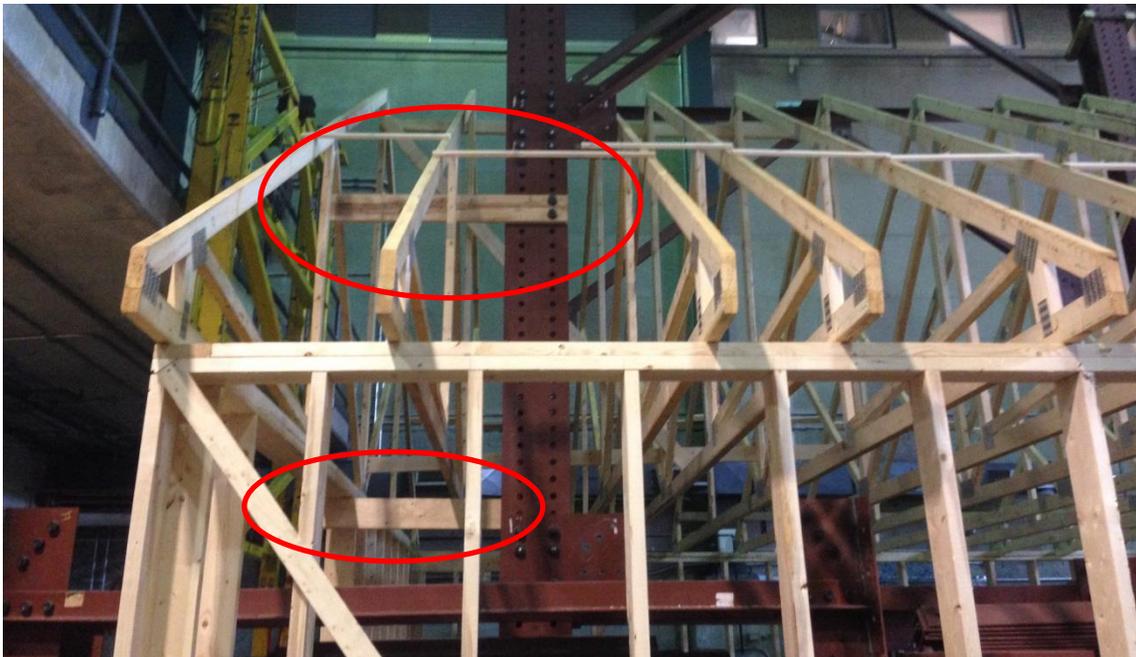


Figure 14 - Espacement non régulier des fermes de toit à cause des colonnes structurales.

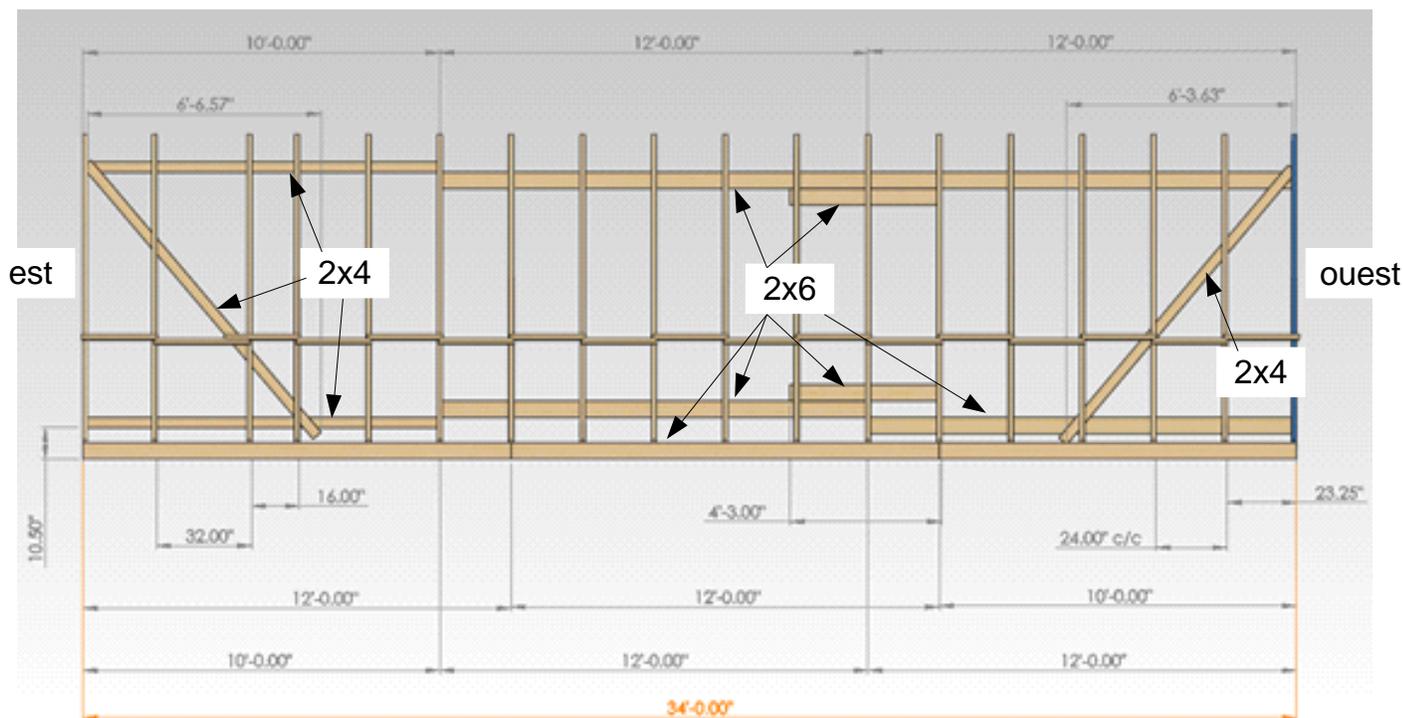


Figure 15 - Dimension de la toiture de la structure.

La Figure 16 illustre les dimensions de l'une des fermes de toiture ayant une pente de 8 dans 12 et où une cotation 6-1-8 correspond à 6 pieds + 1 pouce + 8/16 pouce. Les profilés w2, w3 et w4 étaient composés de madrier 2 po x 3 po (38 mm x 64 mm) tandis que tous les autres profilés étaient des madriers 2 po x 4 po (38 mm x 89 mm). Les dimensions des plaques d'assemblage ainsi que leur orientation y sont également illustrées en unités impériales.

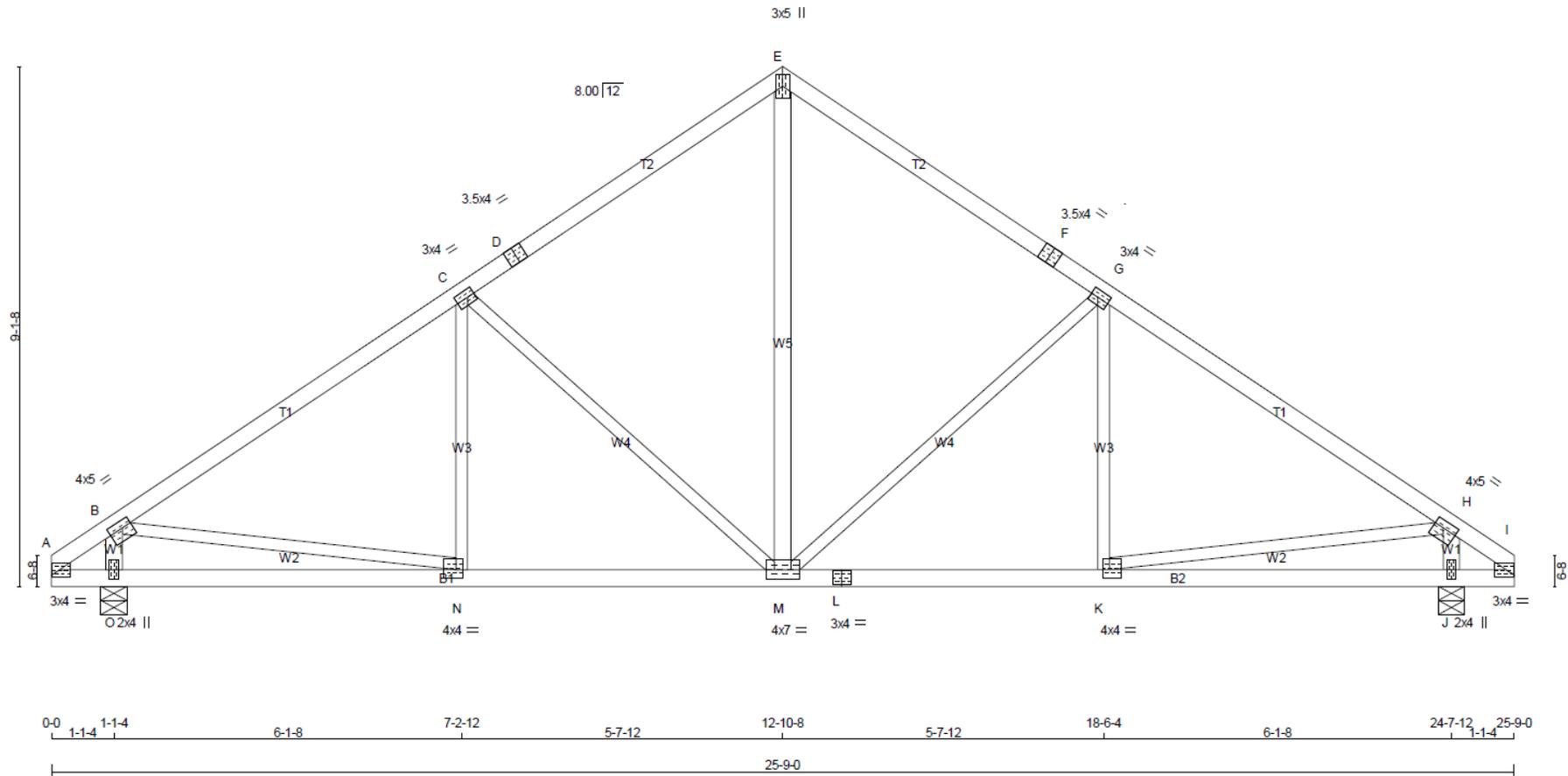


Figure 16 - Dimensions d'une ferme de toiture.

2.4.1.3 Fixation des potelets à la structure d'accueil

Les potelets du SCAH étaient fixés à chacune des extrémités de la structure de maison reconstituée au laboratoire. Les détails de la fixation sont donnés à la Figure 17. Encadré en rouge, on peut voir le détail du système de fixation du potelet sur la ferme de toit. Encadré en vert, on peut observer le système de fixation de la base du potelet, composé de quatre barres stabilisatrices standards pour les échafaudages. Trois de ces barres étaient vissées sur la structure d'accueil, la quatrième était vissée sur une extension à la structure d'accueil qui a été créée spécifiquement à cet effet (Figure 18).



Figure 17 - Fixation du potelet à la structure d'accueil.



Figure 18 - Structure supplémentaire pour l'ancrage du croisillon *ouest* du potelet *ouest*.

Une méthode spécifique a été utilisée pour fixer le croisillon en direction *est* du potelet côté *est*. L'encombrement et le faible dégagement derrière le mur *est* ne permettaient pas l'ajout d'une structure supplémentaire semblable à celle du potelet *ouest*. Un ancrage se situant sur un mur du laboratoire à proximité du mur *est* de la structure fut utilisé pour l'ajout d'un madrier 2 po x 6 po entre cet ancrage et le haut du mur *est* [Figure 19], pour l'ancrage du croisillon *est* du potelet côté *est*.



Figure 19 - Madrier 2 po x 6 po pour l'ancrage du croisillon *est* du potelet côté *est*.

Sur le chantier, c'est un système similaire à celui du potelet *ouest* qui est utilisé, à moins que le potelet ne soit installé à la 3^e ou 4^e ferme à partir de l'extrémité, auquel cas, le croisillon est fixé à une membrure de la structure en bois.

2.4.2 Contreventement

2.4.2.1 Contreventement de la base de la structure

Le contreventement de la base de la structure reconstituée au laboratoire est présenté à la Figure 20 (en rouge). Ce type de contreventement n'est normalement mis en place que lors de la construction de la structure, car ensuite ce sont les murs et murs de refend du bâtiment qui assurent le rôle de contreventement. Dans le cas de la structure reconstituée au laboratoire, le contreventement a été mis en place « au jugé », par l'équipe de construction, selon leur expérience habituelle. Ce contreventement ne devrait pas avoir eu une influence significative sur les résultats des essais. Le mur *est* comportait deux ouvertures qui furent nécessaires pour le stockage de profilés d'acier volumineux, qui étaient trop encombrants pour être relocalisés ailleurs dans le laboratoire. L'ouverture haute (a) contournait des

pièces d'acier sans entrer en contact avec celles-ci tandis que les montants de l'ouverture basse (b) reposaient sur des plaques d'acier. Les contreventements étaient constitués de madriers 2 po x 4 po.

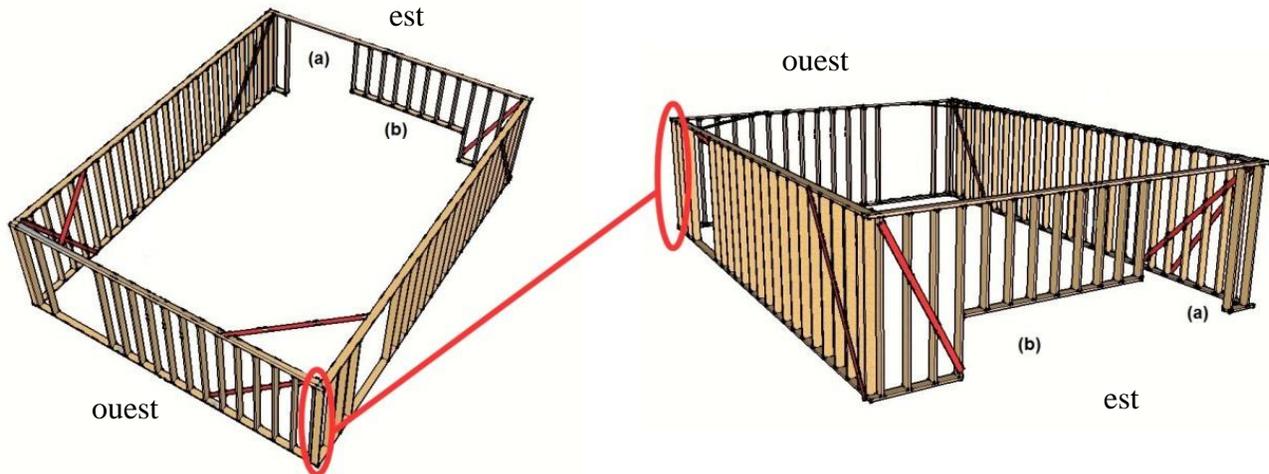


Figure 20 - Contreventement de la base de la structure.

2.4.2.2 Types de contreventement recommandés par l'AQSFB ou le CECOBOIS

La Figure 21 présente le contreventement sur les membrures verticales des fermes de toit. On peut remarquer qu'il y a un lien continu horizontal ainsi que des diagonales de stabilisation.

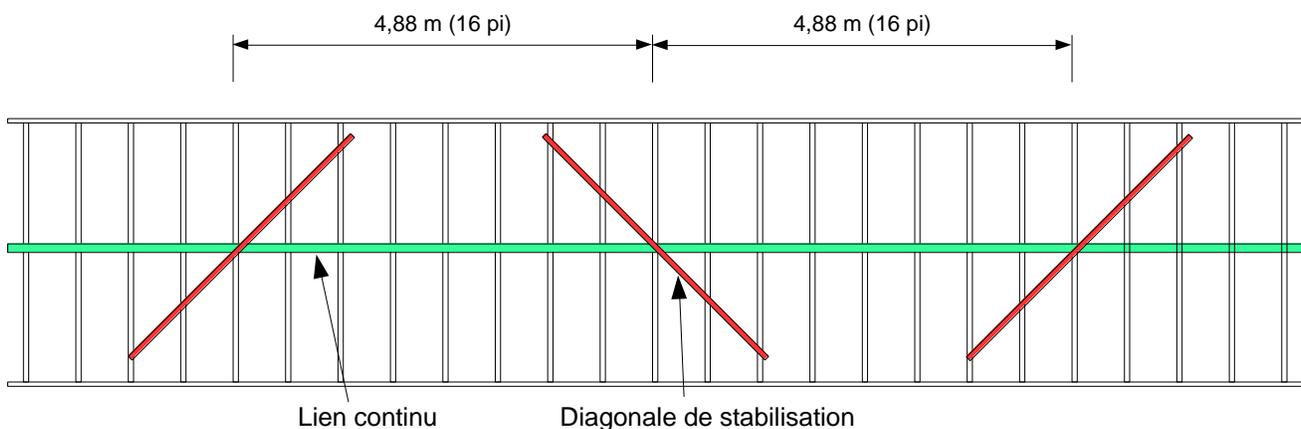


Figure 21 - Contreventement recommandé par CECOBOIS sur les membrures verticales des fermes de toit.

La Figure 22 représente le contreventement temporaire recommandé sur les chevrons des fermes de toit. Il se compose de membrures horizontales et diagonales. Ce type de contreventement temporaire doit être enlevé lors de la pose des panneaux de contreplaqué, ce qui demande temps et énergie. C'est donc le type de contreventement que l'on risque de retrouver le moins régulièrement sur les chantiers de construction domiciliaire.

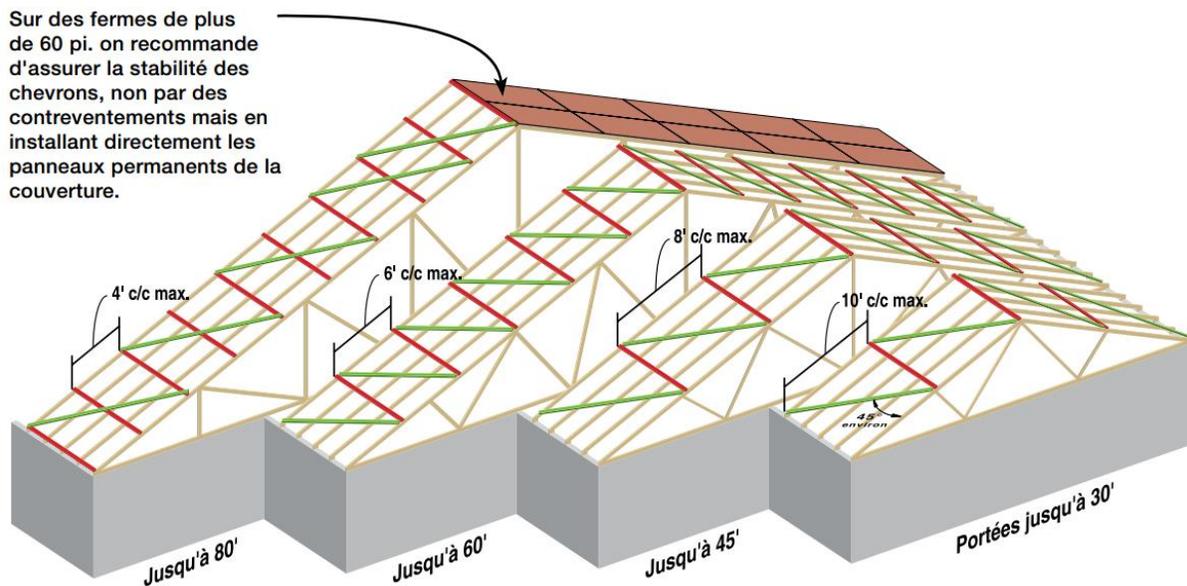


Figure 22 - Contreventement sur les chevrons des fermes de toit (AQFSB, 2009a, b).

La Figure 23 présente le contreventement à la base des fermes de toit, dans le plan horizontal. Ce type de contreventement temporaire, contrairement au contreventement sur les chevrons, peut rester en place définitivement après la construction de la toiture. Néanmoins, ce type de contreventement est relativement long à mettre en place, du fait des nombreux éléments à clouer sur les fermes de toit.

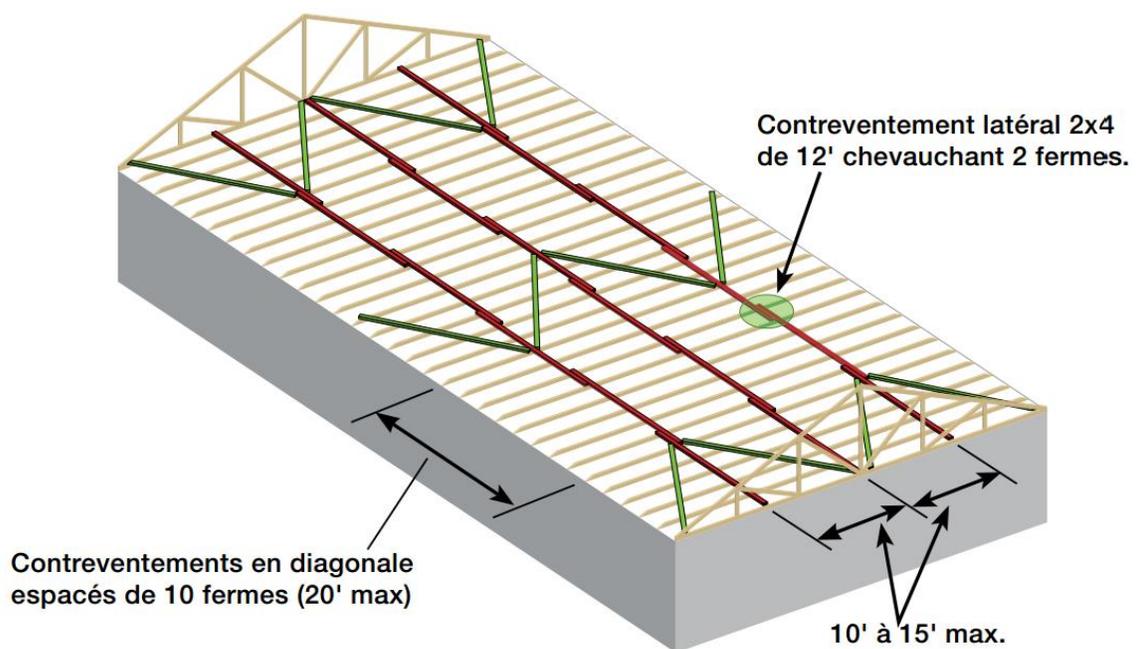


Figure 23 - Contreventement à la base des fermes de toit, dans le plan horizontal (AQFSB, 2009a, b).

La Figure 24 montre le contreventement sur les membrures verticales et diagonales des fermes de toit. Ce type de contreventement temporaire peut rester en place définitivement après la construction de la toiture et est rapidement mis en œuvre du fait du faible nombre de pièces à clouer aux fermes.

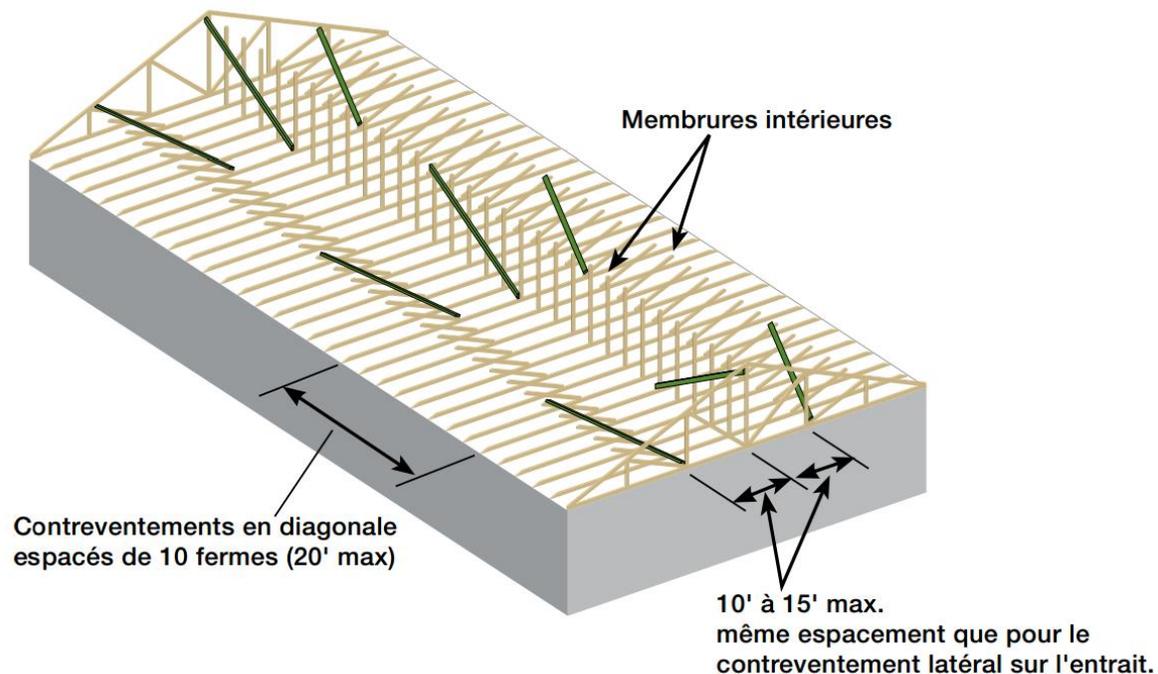


Figure 24 - Contreventement sur les membrures verticales et diagonales des fermes de toit (AQFSB, 2009a, b).

2.4.2.3 Contreventement initial

Initialement, il était prévu de contreventer la charpente selon les recommandations de l'AQFSB ou du CECOBOIS, mais le contreventement mis en œuvre sur la structure reconstituée au laboratoire ne correspond pas à leurs recommandations. L'entrepreneur a indiqué qu'une grande majorité des constructeurs d'habitations ne suivait pas ces recommandations et contreventaient *a minima*. Ainsi, plutôt que de mener une campagne d'essais de chute sur une structure lourdement contreventée et éloignée des réalités du chantier, le choix s'est porté sur un contreventement « réaliste ». Ainsi, l'entrepreneur a contreventé la charpente selon ses habitudes et la campagne d'essais de chute a débuté.

Lors du premier essai avec le SCAH, le système de contreventement a partiellement cédé. Ce contreventement est appelé « contreventement initial » dans la suite du rapport, et est présenté à la Figure 25.

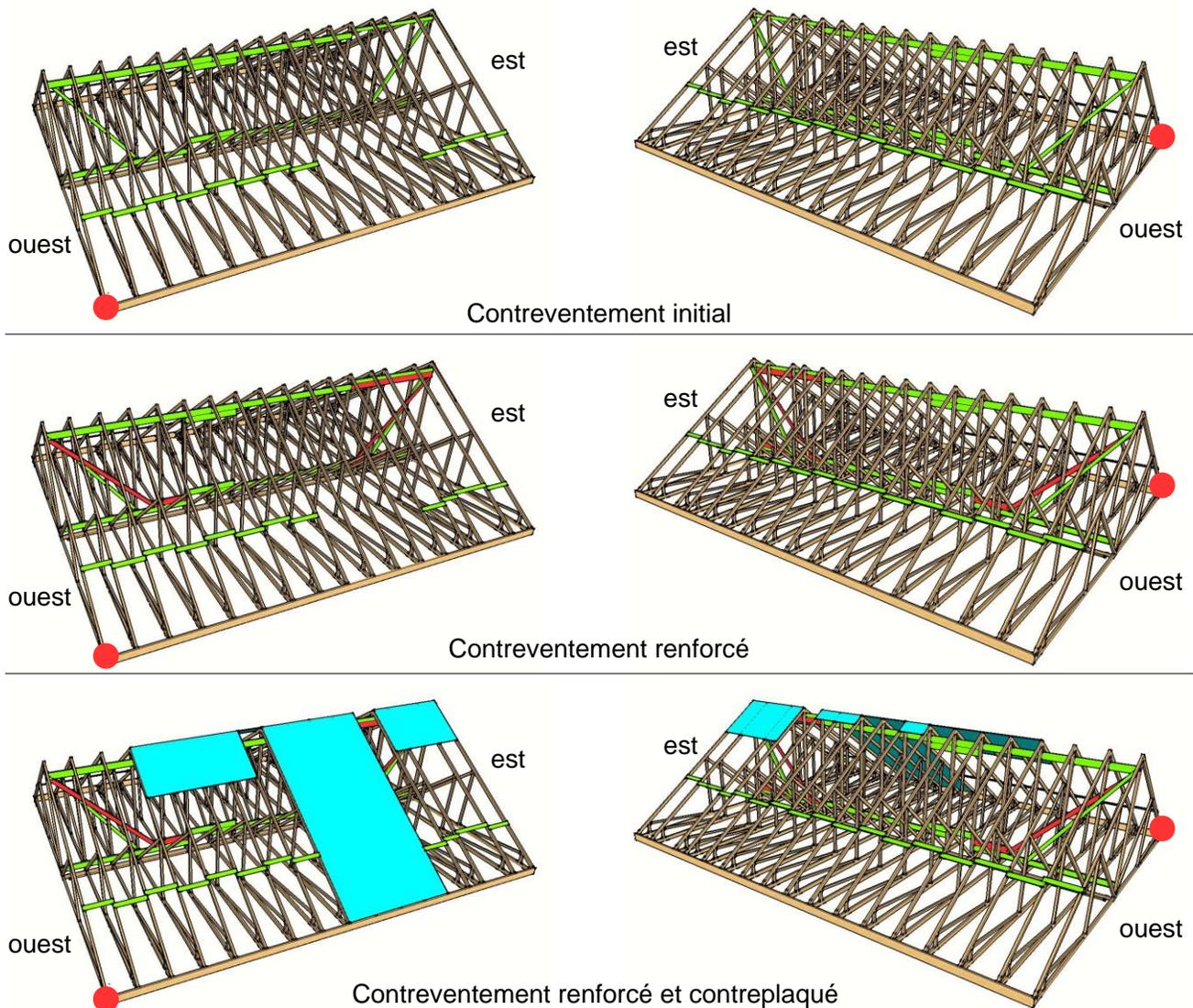


Figure 25 - Évolution du contreventement.

Il faut noter que, bien que le contreventement ait partiellement cédé, la chute du torse de bois a été arrêtée suffisamment haut pour éviter tout contact entre le torse et le sol. Par ailleurs, la hauteur était suffisante (près de 6 pieds) pour éviter qu'un travailleur ne percute le sol dans des conditions de chute similaires. À la suite de cet essai infructueux, le contreventement a été renforcé (en rouge sur la Figure 25). Le contreventement renforcé est discuté en détail dans la sous-section suivante. Enfin, il faut prendre note que la structure testée pour le SCAH comprenait quelques plaques de contreplaqué [Figure 25]. Les contreventements mis en place sur les chevrons sont des madriers de 1 po x 3 po, et les contreventements installés sur les membrures verticales de la toiture sont constitués de madriers 2 po x 4 po et 2 po x 6 po. Des madriers 2 po x 6 po sont également installés sur les bords du toit.

2.4.2.4 Contreventement renforcé

Les détails du contreventement renforcé sont présentés à la Figure 26. En vert sont associés les 2 po x 4 po et 2 po x 6 po mis en place pour le contreventement initial, en rouge sont représentés les 2 po x 4 po et 2 po x 6 po qui ont été rajoutés à la suite de l'essai ayant entraîné la rupture du contreventement. Comme on peut le remarquer à la Figure 26, le contreventement utilisé était encore très léger en comparaison de la recommandation de l'AQFSB ou du CECOBOIS. En effet, le contreventement était principalement installé sur les membrures intérieures verticales situées au centre des fermes de toit (à l'exception des madriers 1 po x 3 po installés sur les chevrons).

Le renforcement consistait en l'ajout de deux membrures diagonales, une à chaque extrémité de la toiture, en sus de celles déjà en place. Outre ces deux diagonales, plusieurs membrures horizontales ont été ajoutées afin d'assurer une continuité dans la transmission des forces horizontales : les membrures étaient mises bout à bout, comme illustré à la Figure 26. Cela correspond, sur le principe, au « lien continu » de la Figure 27. La continuité de la transmission des forces était ainsi assurée d'un bout à l'autre de la toiture.

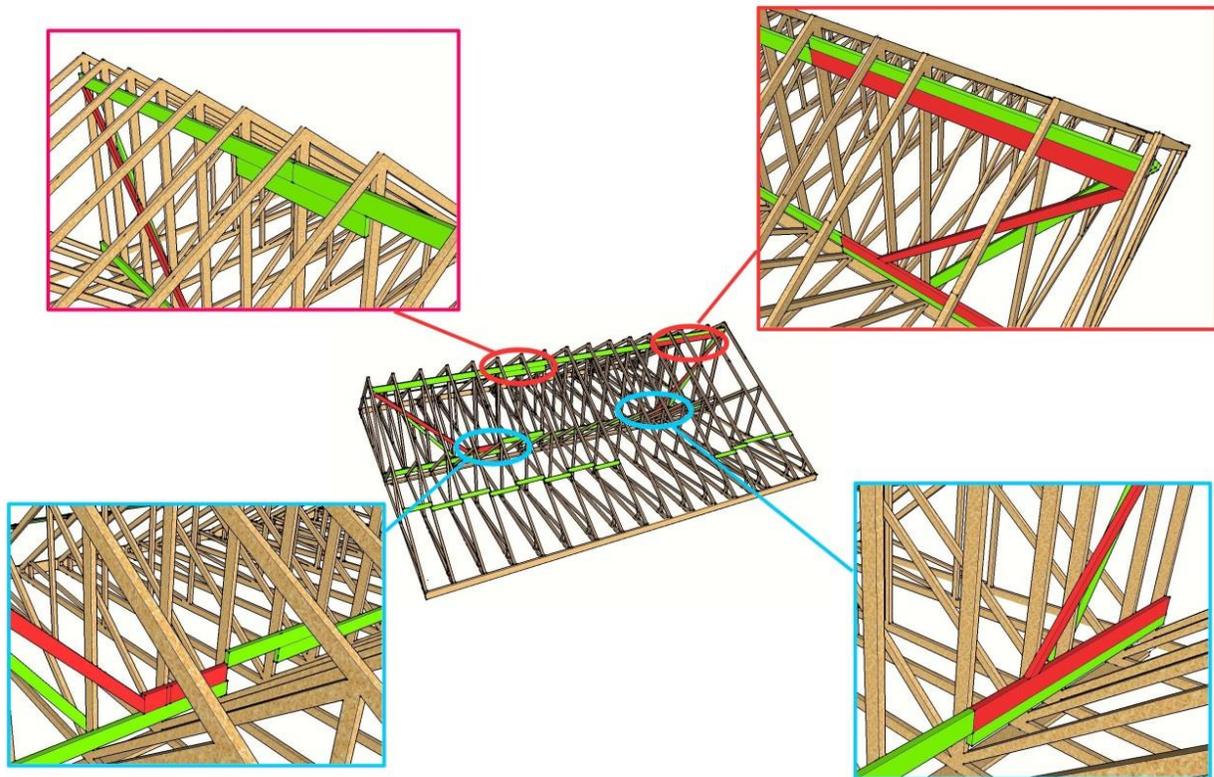


Figure 26 - Détails du contreventement renforcé (rouge).



Figure 27 - Membrures mises bout à bout pour améliorer la transmission des efforts horizontaux.

2.5 Programme des essais dynamiques de chute – essais dynamiques de performance et de résistance

L'hypothèse de l'analyse structurale et la méthode de calcul de la norme CAN/CSA-S157 reposent sur l'application d'une force statique en tête du potelet du SCAH. Or, dans la réalité, le potelet est soumis à une charge d'impact dynamique lors de l'arrêt d'une chute accidentelle. Ainsi, pour simuler une chute réelle, des essais dynamiques de chute sont effectués suivant les exigences d'essai de la famille des normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes. Le système Sayflin de DBI SALA utilisé comme corde d'assurance horizontale est un produit préfabriqué; étant déjà certifié suivant les normes CAN/CSA Z259, il ne nécessite pas de vérification supplémentaire.

Le programme d'essais de chute comprend trois parties distinctes, entre autres :

I. Validation du SCAH

- (i) vérification de la résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme point d'ancrage du cordon d'assujettissement d'un travailleur (sous-sections 2.5.1 et 3.1);
- (ii) vérification de la résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage d'un SCAH (sous-sections 2.5.2 et 3.2).

II. Validation des fermes contreventées comme structure d'accueil du SCAH

- (i) vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil du potelet, servant comme point d'ancrage du cordon d'assujettissement d'un travailleur (sous-sections 2.5.3 et 3.3);
- (ii) vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil du SCAH (sous-sections 2.5.4 et 3.4).

III. Validation des fermes contreventées comme structure d'accueil pour des connecteurs d'ancrage ponctuels, certifiés CAN/CSA Z259.15 (sous-sections 2.5.5 et 3.5).

La validation du SCAH et des fermes contreventées comme structure d'accueil du SCAH et des connecteurs d'ancrage requiert deux types d'essais : des essais de performance et des essais de résistance.

L'essai dynamique de performance est effectué en simulant les conditions réelles d'utilisation du SCAH avec :

- un harnais de sécurité conforme à la norme CAN/CSA Z259.10 *Harnais de sécurité* (CAN/CSA Z259.10, 2012)
- un cordon d'assujettissement avec un absorbeur E4 conforme à la norme CAN/CSA Z259.11 *Absorbeurs d'énergie et cordons d'assujettissement* (CAN/CSA Z259.11, 2010)
- un torse de bois de 100 kg conforme à la norme CAN/CSA Z259.10 *Harnais de sécurité* (CAN/CSA Z259.10, 2012), largué en chute libre de 1,2 m.

Les principaux critères de performance sont :

- aucune rupture;
- aucun abandon de charge;
- une distance totale de chute pour s'assurer que le tirant d'air disponible est adéquat pour éviter que le travailleur heurte le sol ou tout objet reposant sur le sol lors de l'arrêt de la chute accidentelle.

L'essai dynamique de résistance est effectué en simulant les conditions qui engendrent des sollicitations maximales dans le SCAH avec un cordon d'assujettissement en nylon 3 brins 5/8 po de diamètre sans absorbeur d'énergie et une masse compacte en acier de 100 kg larguée en chute libre de 1,2 m pour simuler la rupture.

Les principaux critères de résistance sont :

- aucune rupture;
- aucun abandon de charge;
- déformation plastique est permise.

Les essais ont été effectués suivant les méthodes normalisées recommandées par les normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes de hauteur. Ces normes sont couramment utilisées pour vérifier/valider les SCAH dans le cadre des projets de l'IRSST ayant pour objet la protection contre les chutes de hauteur (Lan et Daigle, 2011; Lan et Daigle, 2008; Lan *et al.*, 2004). Bien entendu, ces essais sont valides sur l'ensemble des charpentes avec plusieurs pentes, contreventées suivant les recommandations de l'AQFSB ou du CECOBOIS, puisque ces contreventements sont plus résistants que celui utilisé pour les essais.

2.5.1 Vérification de la performance et de la résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme point d'ancrage d'un cordon d'assujettissement

Trois essais dynamiques de performance et trois essais dynamiques de résistance ont été effectués pour

évaluer la performance et vérifier la résistance du potelet du SCAH comme ancrage d'un cordon d'assujettissement. Ces essais sont réalisés en larguant une masse de 100 kg en chute libre d'une hauteur de 1,2 m. La masse est reliée par un cordon d'assujettissement avec/sans absorbeur d'énergie à l'extrémité libre du potelet; celui-ci est fait d'un HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium, 3,048 m de long. Le potelet est ancré horizontalement avec un porte-à-faux de 1,524 m [Figure 28].

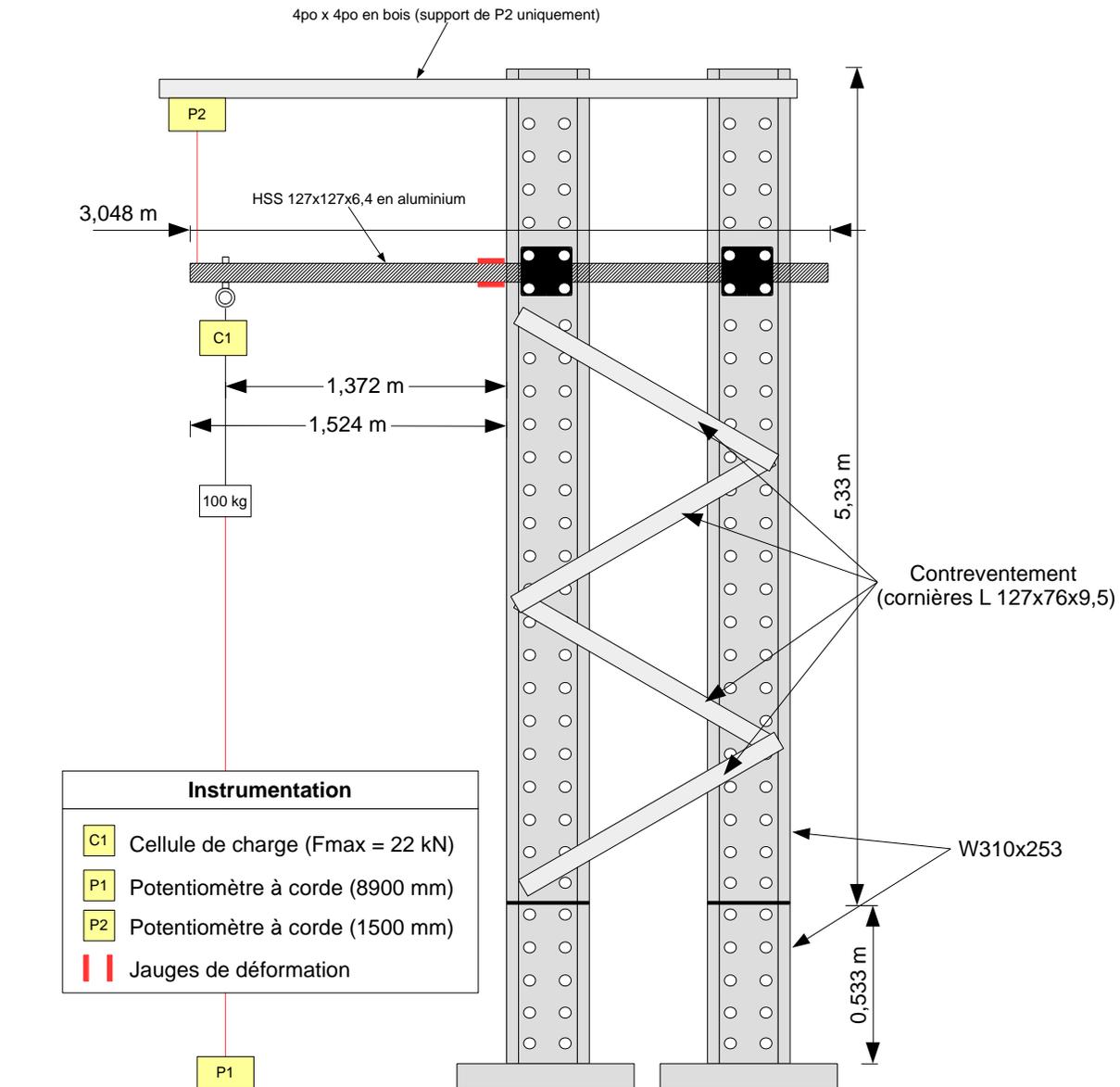


Figure 28 - Schéma de l'essai de validation du potelet comme point d'ancrage d'un cordon d'assujettissement.

Les essais de performance ont été réalisés avec un cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur avec un absorbeur d'énergie E4, un torse de bois de 100 kg, un harnais de classe A et une hauteur de chute libre de 1,2 m alors que les essais de résistance ont été réalisés avec un cordon d'assujettissement de

1,2 m de longueur en nylon 3 brins de 5/8 po de diamètre, sans absorbeur d'énergie E4, une masse rigide de 100 kg et une hauteur de chute libre de 1,2 m [Tableau 3]. Les paramètres mesurés en temps réel, à une fréquence de 1 200 Hz, incluaient : la force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (C1), la flèche du potelet (P2) et la hauteur de chute du torse de bois (P1) [Figure 28]. Les harnais et cordons d'assujettissement sont changés à chaque essai.

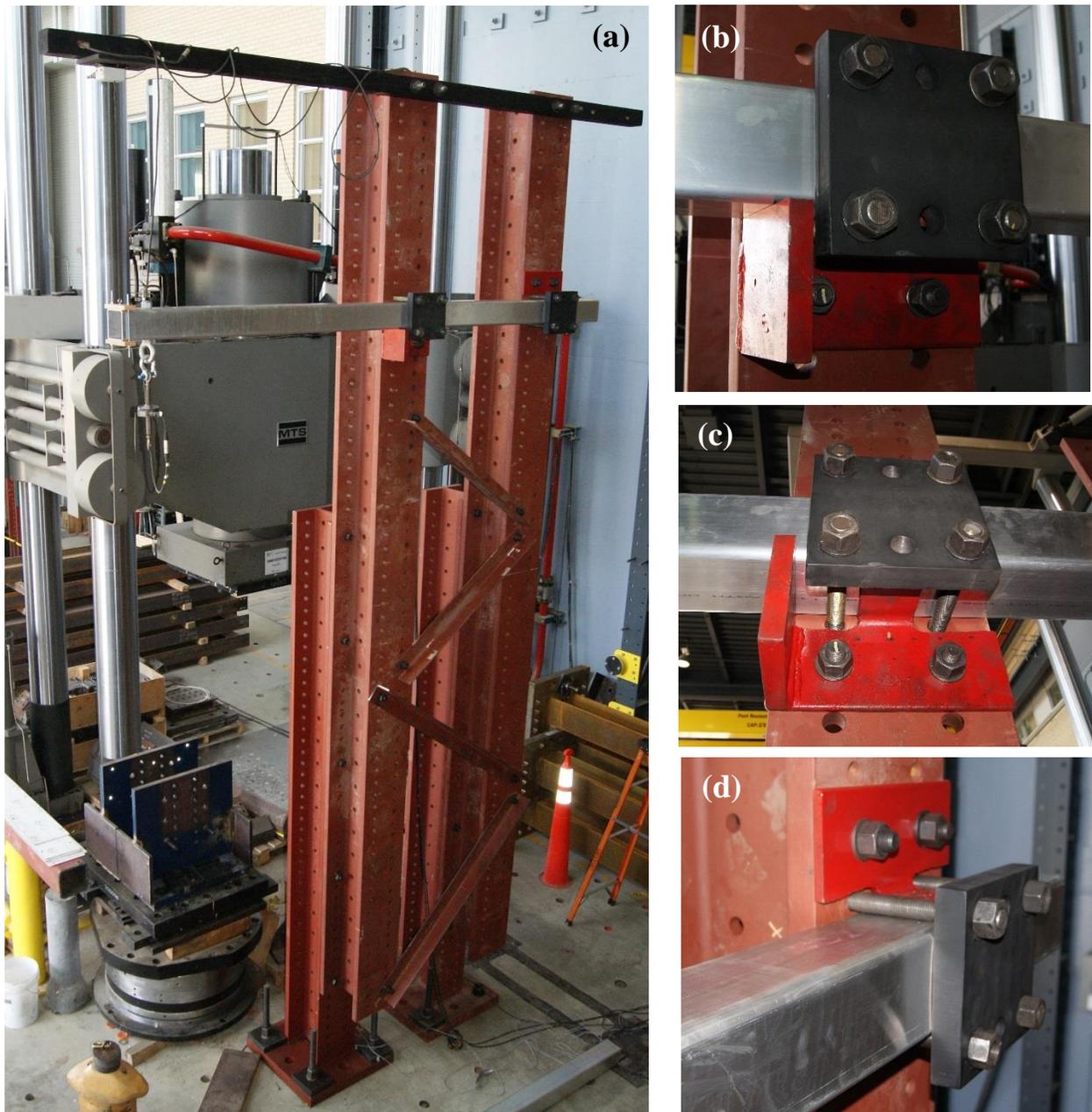
La Figure 29 présente le montage expérimental pour effectuer les essais décrits au Tableau 3. Le montage est fait de deux colonnes, contreventées entre elles et servant à ancrer les potelets. Chaque colonne d'ancrage est constituée d'un poteau de 3,66 m de hauteur ancré à la dalle d'essai du laboratoire et d'une extension verticale faisant 5,33 m de hauteur faite du même profilé en acier W310x253, boulonnés ensemble pour donner une hauteur totale de 5,88 m.

Tableau 3 - Essais pour vérifier la performance et la résistance du potelet du SCAH comme ancrage d'un cordon d'assujettissement

| Essai dynamique de performance | | | | |
|---------------------------------------|--|---|--|--|
| Essai | Système de SCAH | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 1 à 3 | <ol style="list-style-type: none"> Potelet HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) en aluminium avec un encastrement de 1,524 m (60 po) Cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie intégré conforme à CAN/CSA Z259.11-05 ou enrouleur-dérouleur avec un encastrement de 1,372 m (54 po) Harnais CSA Z259.10 Torse de bois de 100 kg, Hauteur de chute libre H = 1,2 m | <p>Solidement ancré à la structure de laboratoire avec un encastrement de 1,524 m (60 po) avec le cordon d'assujettissement à un encastrement de 1,372 m (54 po).</p> <p>Moyen d'essai : HSS 10 pi de long, les 5 pi d'extrémité serrés avec 2 ou 3 serres ou mâchoires</p> | <ol style="list-style-type: none"> Déformation du potelet (pose de jauges de déformation 1 essai sur 3 essais) Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement dans les 3 essais) Déformation de l'absorbeur d'énergie Distance totale de chute pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher | <ol style="list-style-type: none"> Pas de rupture ou amorce de rupture/bris du potelet Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge Observation du comportement général du potelet |
| Essai dynamique de résistance | | | | |
| Essai | Système SCAH | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 4 à 6 | <p>Idem avec un cordon d'assujettissement en nylon 3 brins de 16 mm (5/8 po) de diamètre sans absorbeur d'énergie</p> <p>Masse rigide en acier de 100 kg</p> | Idem | <ol style="list-style-type: none"> Déformation du potelet Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement) Distance totale de chute pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher | Idem |

La distance centre-centre entre les colonnes est de 1 m. Les 4 contreventements d'environ 1,5 m de longueur sont faits de profilés L 102 mm x 102 mm x 6,4 mm [4 po x 4 po x ¼ po]. Ils assurent une

action composite en flexion entre les deux colonnes verticales et augmentent la rigidité flexionnelle de l'ensemble du montage. Pour minimiser les glissements au niveau des ancrages de potelets, deux supports ont été ajoutés en plus des plaques d'ancrage et mis en contact avec le potelet (pièces peintes en rouge à la Figure 29 (b), (c) et (d)). Les supports sont composés d'une cornière L 102 mm x 102 mm x 6,4 mm [4 po x 4 po x ¼ po]. Une plaque de 102 mm par 102 mm par 25,4 mm d'épais fut soudée au support se situant à mi-portée du potelet pour assurer le contact avec le potelet au début de l'encastrement [Figure 29 (b) et (c)]. Les deux supports furent boulonnés mécaniquement avec une visseuse pneumatique de manière à maximiser la résistance au glissement.



**Figure 29 - Montage expérimental pour l'ancrage des potelets pour les essais décrits au Tableau 3:
(a) montage complet; (b) support à mi-portée; (c) support à mi-portée (vue de dessous);
(d) support à l'extrémité de l'encastrement.**

2.5.2 Vérification de la performance et de la résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage d'un SCAH

Trois essais dynamiques de performance et trois essais dynamiques de résistance ont été effectués pour évaluer la performance et la résistance des potelets HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm de 10 pi de longueur, comme ancrage du SCAH [Tableau 4]. Ces potelets sont encastrés dans une structure rigide

avec un porte-à-faux de 1,524 m (60 po), espacés de 10 m, entre lesquels un Sayflin de DBI SALA a été installé [Figure 30]. Le système Sayflin de DBI SALA est muni d'un indicateur de tension. La tension initiale du câble est ajustée à l'aide du tendeur afin que l'indicateur de tension soit dans la zone recommandée par le manufacturier (ce qui correspond à une tension initiale proche de 2 kN).

Les essais consistaient à larguer une masse de 100 kg en chute libre sur une distance de 1,2 m. La masse est reliée au milieu du câble Sayflin par un cordon d'assujettissement avec/sans absorbeur d'énergie pour simuler la chute d'un travailleur [Tableau 4]. Les paramètres mesurés en temps réel, à une fréquence de 1 200 Hz, incluaient : la force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement, la flèche du câble, la hauteur de chute du torse de bois et la force maximale d'ancrage dans le câble.

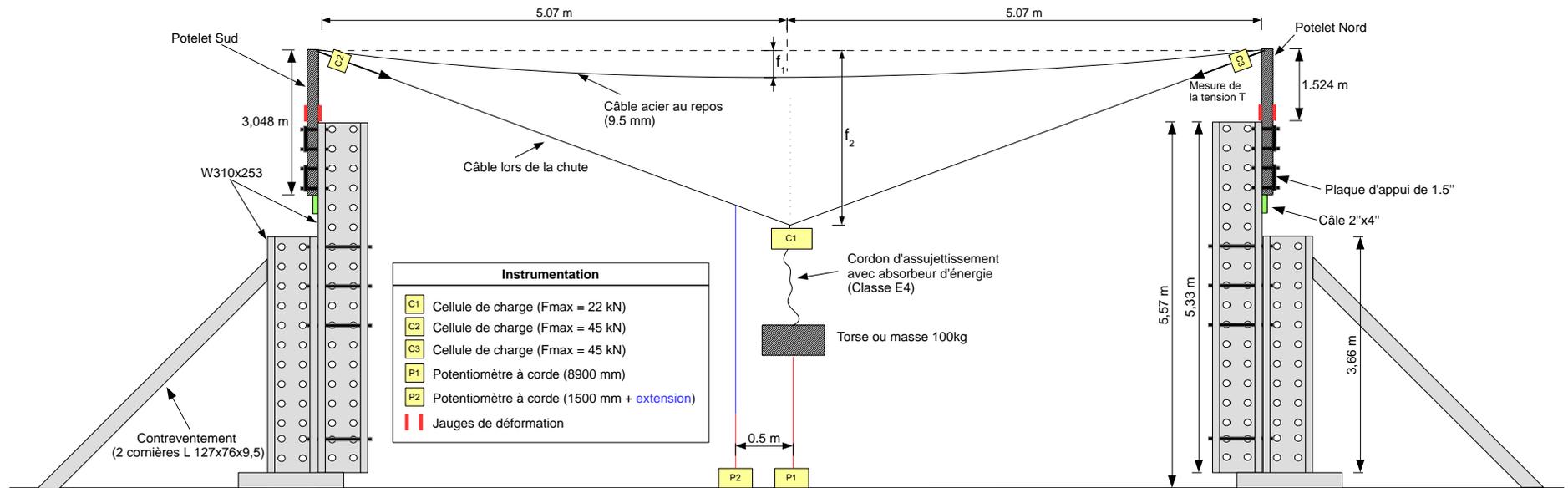


Figure 30 - Schéma de l'essai de validation du potelet comme point d'ancrage d'un SCAH.

Tableau 4 - Vérification du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage d'un SCAH

| Essai dynamique de performance | | | | |
|---------------------------------------|---|--|---|--|
| Essai | Système de SCAH | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 1 à 3 | <ol style="list-style-type: none"> 1. CAH: Sayline Wire Rope de DBI Sala à portée ajustable avec un absorbeur d'énergie DBI ZORBIT de 11,36 kN (2 500 lb) 2. Potelets HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) x10 pi en aluminium avec un porte-à-faux de 1,524 m, avec le Sayline à un porte-à-faux de 1,37 m (54 po) 3. Harnais de Classe A conforme à CAN/CSA Z259.10-06 4. Cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie intégré conforme à CAN/CSA Z259.11-05 ou enrouleur-dérouleur 5. Masse d'essai: Torse de bois de 100 kg 6. Hauteur de chute libre H = 1,2 m à mi-portée. | Solidement ancrés à la structure de laboratoire (5,5 à 10 m, portée entre 2 colonnes de laboratoire) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Déformation des potelets (pose de jauges de déformation 1 essai sur 3 essais) 2. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement dans les 3 essais) 3. Déplacement de la masse 4. Déformation des absorbeurs d'énergie 5. Force maximale d'ancrage (cellule de charge) 6. Distance totale de chute pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher 7. Déformation du SCAH | <ol style="list-style-type: none"> 1. Aucune rupture ou amorce de rupture du SCAH 2. Pas de rupture ou amorce de rupture/bris d'aucune composante du SCAH 3. Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge 4. Distance totale de chute telle que le torse en bois ne frappe pas le plancher ou tout matériau sur le plancher 5. Observation du comportement général du SCAH |
| Essai dynamique de résistance | | | | |
| Essai | Système de SCAH | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 4 à 6 | <p>Idem sauf PAS d'absorbeur d'énergie dans le cordon d'assujettissement.</p> <p>Utilisation d'un cordon d'assujettissement en nylon 3 brins de 16 mm (5/8 po) de diamètre</p> <p>Masse rigide en acier de 100 kg</p> | Idem | <ol style="list-style-type: none"> 1. Déformation des potelets 2. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement) 3. Déplacement de la masse 4. Force maximale d'ancrage (cellule de charge) 5. Distance totale de chute (pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher) 6. Déformation du SCAH | Idem |

Pour simuler le plus réellement possible la condition d'encastrement désirée à la base des potelets, ceux-ci étaient ancrés à une colonne d'ancrage avec deux plaques de 203 mm x 203 mm x 38 mm [8 po x 8 po x 1½ po] au sommet de la colonne d'ancrage et à environ au deux tiers de la longueur du segment du potelet en contact avec la colonne d'ancrage, et ce, à partir du haut du segment de potelet en contact [Figure 31]. Le porte-à-faux des potelets débutait au-dessus de la colonne d'ancrage. De plus, une butée de bois était fixée à la colonne d'ancrage à la base des potelets pour faciliter le montage et assurer le bon porte-à-faux des potelets pendant l'ensemble des essais.

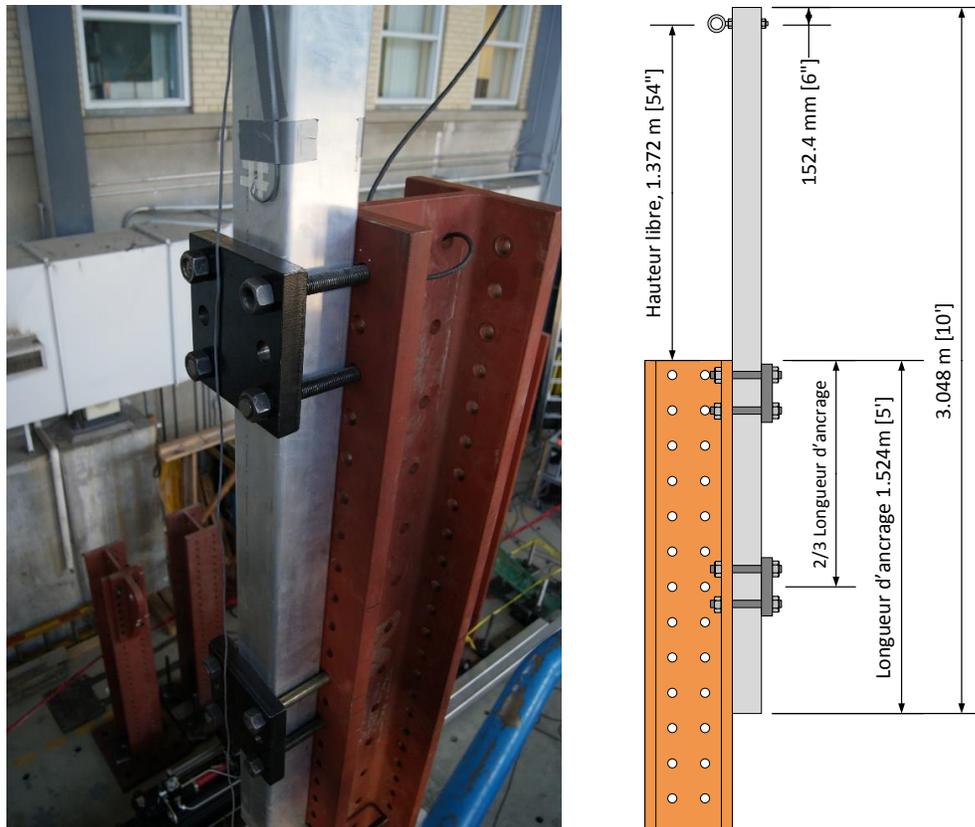


Figure 31 - Ancrage des potelets à la colonne d'ancrage.

Deux colonnes d'ancrage en acier ont été assemblées pour y fixer les potelets. Chaque colonne d'ancrage est constituée d'un poteau de 3,66 m de hauteur ancré à la dalle d'essai du laboratoire et d'une extension verticale faisant 5,33 m de hauteur. Le poteau et l'extension sont faits du même profilé en acier W310x253. Les deux pièces sont boulonnées ensemble pour totaliser une hauteur de 5,57 m. Les colonnes d'ancrage en porte-à-faux étant relativement élancées, un système de contreventement comprenant une membrure diagonale faite de deux cornières L 127 mm x 76 mm x 9,5 mm disposées dos-à-dos a été ajouté pour augmenter leur rigidité latérale.

La rigidité latérale des colonnes d'ancrage a été mesurée au laboratoire. Pour ce faire, on a utilisé un palan à chaîne d'une capacité de 2 tonnes, une cellule de charge de 45 kN et un potentiomètre à corde de 500 mm. La rigidité latérale d'une colonne d'ancrage a été évaluée à 17,8 kN/mm. Cette rigidité des colonnes structurales était suffisamment grande pour ne pas interférer avec les résultats des essais dynamiques de chute.

2.5.3 Vérification de la performance et de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement

Pour vérifier la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un potelet du SCAH servant à l'ancrage d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur, 3 essais dynamiques de performance et 3 essais dynamiques de résistance ont été réalisés avec le potelet assemblé à une ferme de la toiture contreventée [Tableau 5]. Les essais consistaient à larguer une masse de 100 kg en chute libre d'une hauteur de 1,2 m, reliée par un cordon d'assujettissement avec ou sans absorbeur d'énergie à l'extrémité libre du potelet ancré avec un porte-à-faux de 1,524 m à une ferme contreventée du toit [Figure 32]. Les paramètres mesurés en temps réel, à une fréquence de 1 200 Hz, incluaient : la force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement et la hauteur de chute du torse de bois. La structure de fermes contreventées est décrite en détail au chapitre 2, à la sous-section 2.4.

Tableau 5 - Vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement

| Essai dynamique de performance | | | | |
|---------------------------------------|--|---|--|---|
| Essai | Système de SCAH | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 1 à 3 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Potelet HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) x 16 pi en aluminium avec un porte-à-faux de 1,524 m (60 po) assemblé à une ferme d'une suite de 5 fermes contreventées 2. Harnais de Classe A conforme à CAN/CSA Z259.10-06 3. Cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie intégré conforme à CAN/CSA Z259.11-05 ou enrouleur-dérouleur 4. Masse d'essai: Torse de bois de 100 kg 5. Hauteur de chute libre H = 1,2 m à mi-portée | Solidement assemblé à une ferme d'une suite de 5 fermes contreventées | <ol style="list-style-type: none"> 1. Déformation du potelet (pose de jauges de déformation 1 essai sur 3 essais) 2. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement dans les 3 essais) 3. Déformation de l'absorbeur d'énergie 4. Distance totale de chute pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pas de rupture ou amorce de rupture/bris du potelet 2. Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge 3. Observation du comportement général du potelet |
| Essai dynamique de résistance | | | | |
| Essai | Système de SCAH | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 4 à 6 | <p>Idem avec un cordon d'assujettissement en nylon 3 brins de 16 mm (5/8 po) de diamètre sans absorbeur d'énergie</p> <p>Masse rigide en acier de 100 kg</p> | Idem | <ol style="list-style-type: none"> 1. Déformation du potelet 2. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement) 3. Distance totale de chute pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher | Idem |

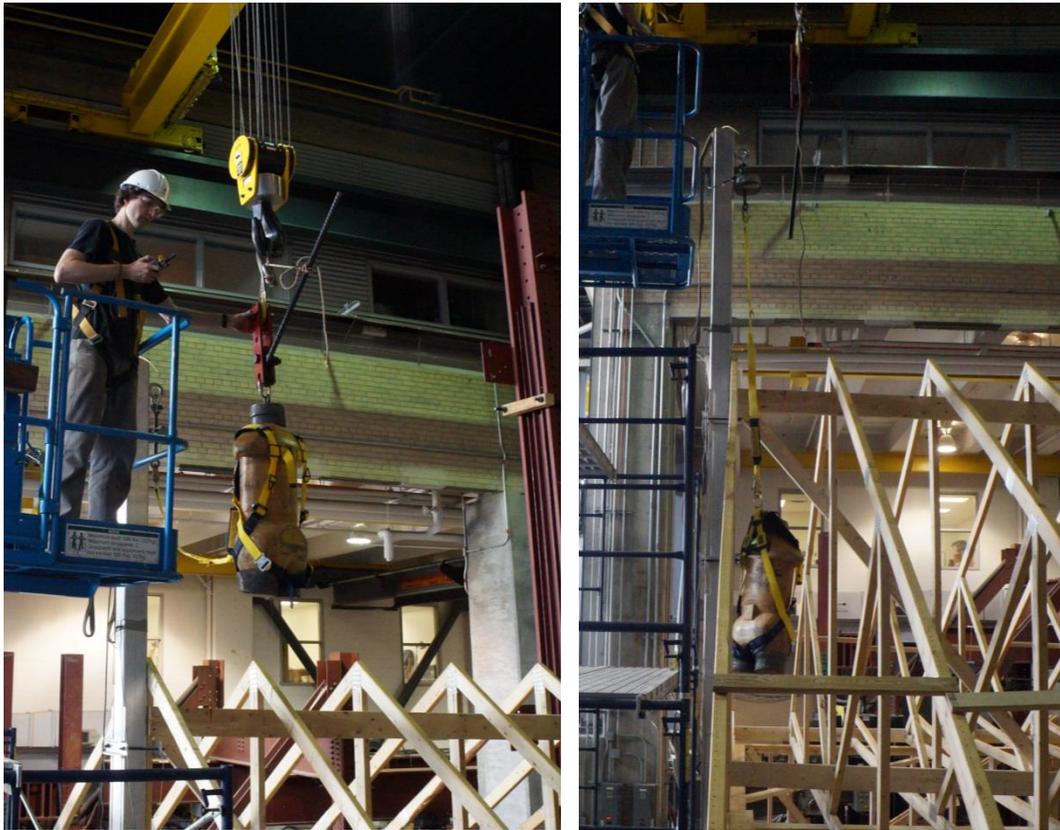


Figure 32 - Vérification de la résistance d'une ferme contreventée comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement.

La Figure 33 montre le schéma d'essai ainsi que la position des capteurs. La cellule de charge qui sert à mesurer la force lors de l'arrêt de chute est installée entre le boulon à œil et le cordon d'assujettissement. Au sol, un potentiomètre à corde sert à mesurer le déplacement vertical de la masse d'essai. Ces deux appareils de mesure sont connectés à un système d'acquisition enregistrant les mesures à 1 200 Hz.

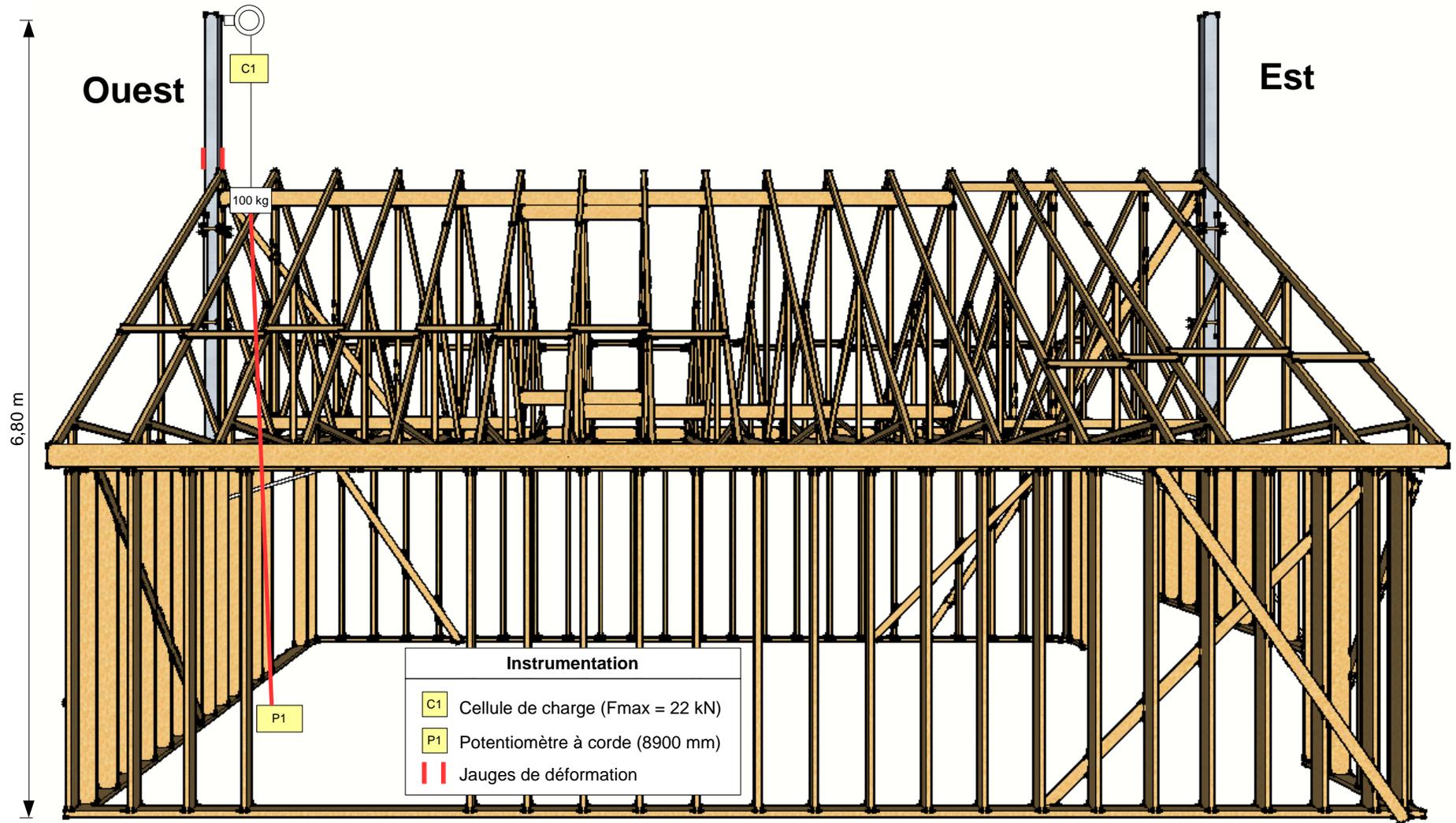


Figure 33 - Illustration du montage d'essai de validation de la structure d'accueil pour un potelet comme ancrage ponctuel

2.5.4 Vérification de la performance et de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un SCAH

Pour vérifier la performance et la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un SCAH, 3 essais dynamiques de performance et 3 essais dynamiques de résistance [Tableau 6] ont été effectués avec un Sayflin de DBI SALA, installé avec une portée de 10 m entre les potelets du SCAH faits de HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm de 16 pi de longueur. Les potelets étaient assemblés aux deux fermes d'extrémité de la toiture contreventée avec le dispositif d'assemblage du SCAH [Figure 7]. Les essais consistaient à larguer une masse de 100 kg en chute libre d'une hauteur de 1,2 m à mi-portée du Sayflin pour simuler la chute d'un travailleur. La masse était reliée au milieu du Sayflin par un cordon d'assujettissement avec/sans absorbeur d'énergie [Figure 34]. Les paramètres mesurés en temps réel, à une fréquence de 1 200 Hz, incluaient : la force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement, la hauteur de chute du torse de bois et la force maximale d'ancrage aux deux extrémités du câble. Les caractéristiques de la charpente domiciliaire reconstituée au laboratoire sont détaillées au chapitre 2.

Tableau 6 - Vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un SCAH

| Essai dynamique de performance | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|--|
| Essai | Système de SCAH | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 1 à 3 | <ol style="list-style-type: none"> 1. CAH: Sayline Wire Rope de DBI Sala à portée ajustable avec un absorbeur d'énergie DBI ZORBIT de 11,36 kN (2 500 lb) 2. Potelets HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) x 16 pi en aluminium avec un porte-à-faux de 1,524 m, avec le Sayline à un porte-à-faux de 1,37 m (54 po) 3. Harnais de Classe A conforme à CAN/CSA Z259.10-06 4. Cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie intégré conforme à CAN/CSA Z259.11-05 ou enrouleur-dérouleur 5. Masse d'essai: Torse de bois de 100 kg 6. Hauteur de chute libre H = 1,2 m à mi-portée | <p>Ancrés aux fermes contreventées suivant les règles de l'art sans contreplaqués, idéalement entre 2^e et l'avant-dernière ferme, portée à être mesurée sur le site</p> <p>Note : Si l'essai 1 est réussi, réparer tout dommage à la toiture pour effectuer les essais 2, 3 et 4 dans les mêmes conditions que l'essai 1</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Déformation des potelets 2. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge) 3. Déplacement de la masse 4. Déformation des absorbeurs d'énergie 5. Force maximale d'ancrage 6. Distance totale de chute pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher 7. Déformation du SCAH | <ol style="list-style-type: none"> 1. Aucune rupture ou amorce de rupture du SCAH 2. Pas de rupture ou amorce de rupture/bris d'aucune composante du SCAH 3. Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge 4. Distance totale de chute telle que le torse en bois ne frappe pas le plancher ou tout matériau sur le plancher 5. Observation du comportement général du SCAH |
| Essai dynamique de résistance | | | | |
| Essai | Système de SCAH | Ancrage | Paramètres à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 4 à 6 | <p>Idem sauf PAS d'absorbeur d'énergie dans le cordon d'assujettissement. Utilisation d'un cordon d'assujettissement en nylon 3 brins de 16 mm (5/8 po) de diamètre Masse rigide en acier de 100 kg</p> | Idem | Idem | Idem |

La Figure 34 montre le schéma d'essai ainsi que la position des capteurs. La cellule de charge C1 qui sert à mesurer la force dans le cordon d'assujettissement lors de l'arrêt de chute est connectée entre le câble et le cordon d'assujettissement. Au sol, un potentiomètre à corde P1 sert à mesurer le déplacement vertical de la masse d'essai. Une cellule de charge est installée à chaque extrémité du câble pour mesurer la tension lors de l'arrêt de chute (C2 et C3). Ces appareils de mesure sont reliés à un système d'acquisition enregistrant les mesures à 1 200 Hz. L'essai 1 du Tableau 6 a été effectué suivant la configuration 1 de la Figure 35, alors que les essais subséquents 2 à 6 ont été effectués suivant la configuration 2 (avec un contreventement renforcé) de la Figure 35.

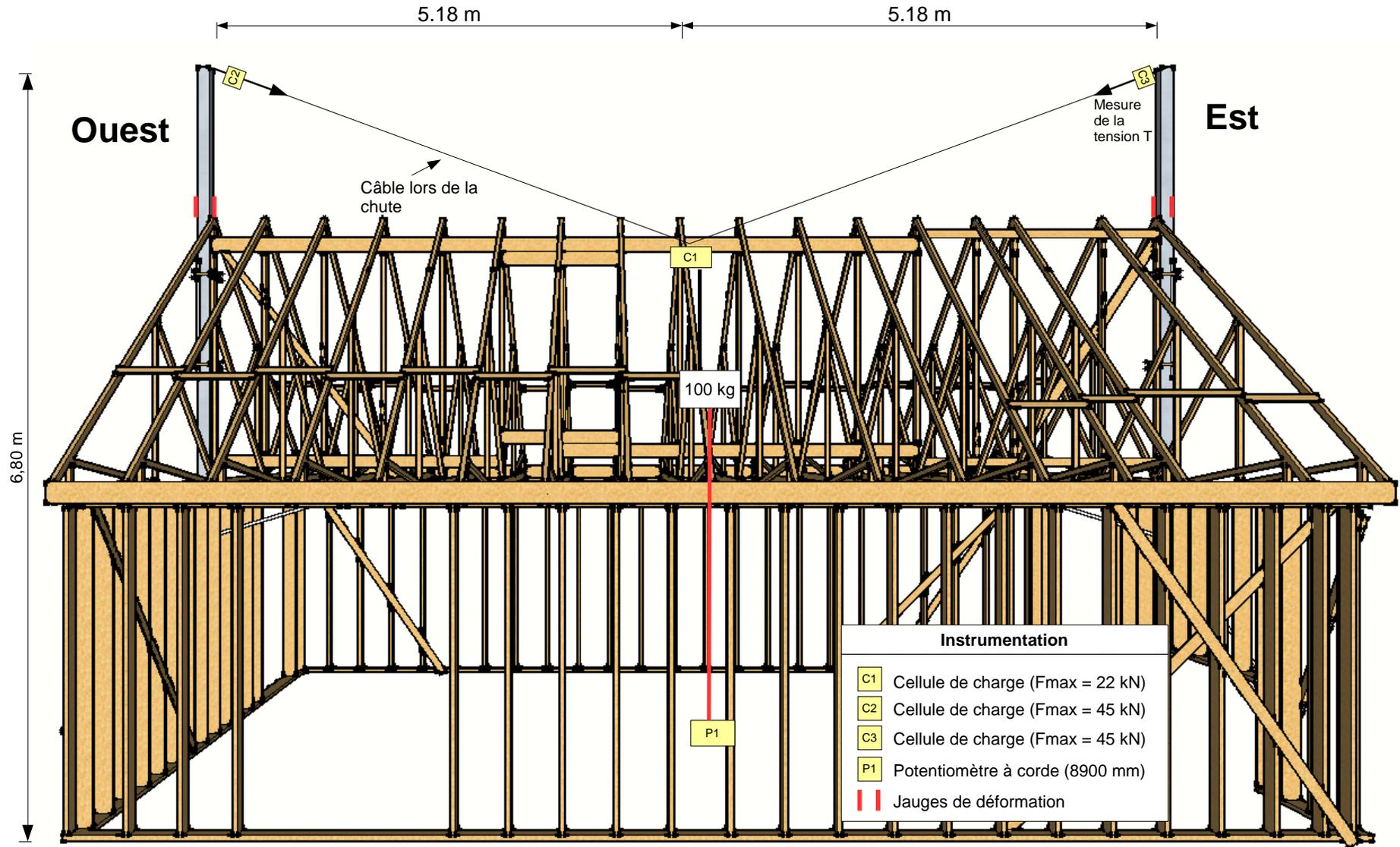


Figure 34 - Illustration du montage pour l'essai de validation de la structure d'accueil du SCAH.

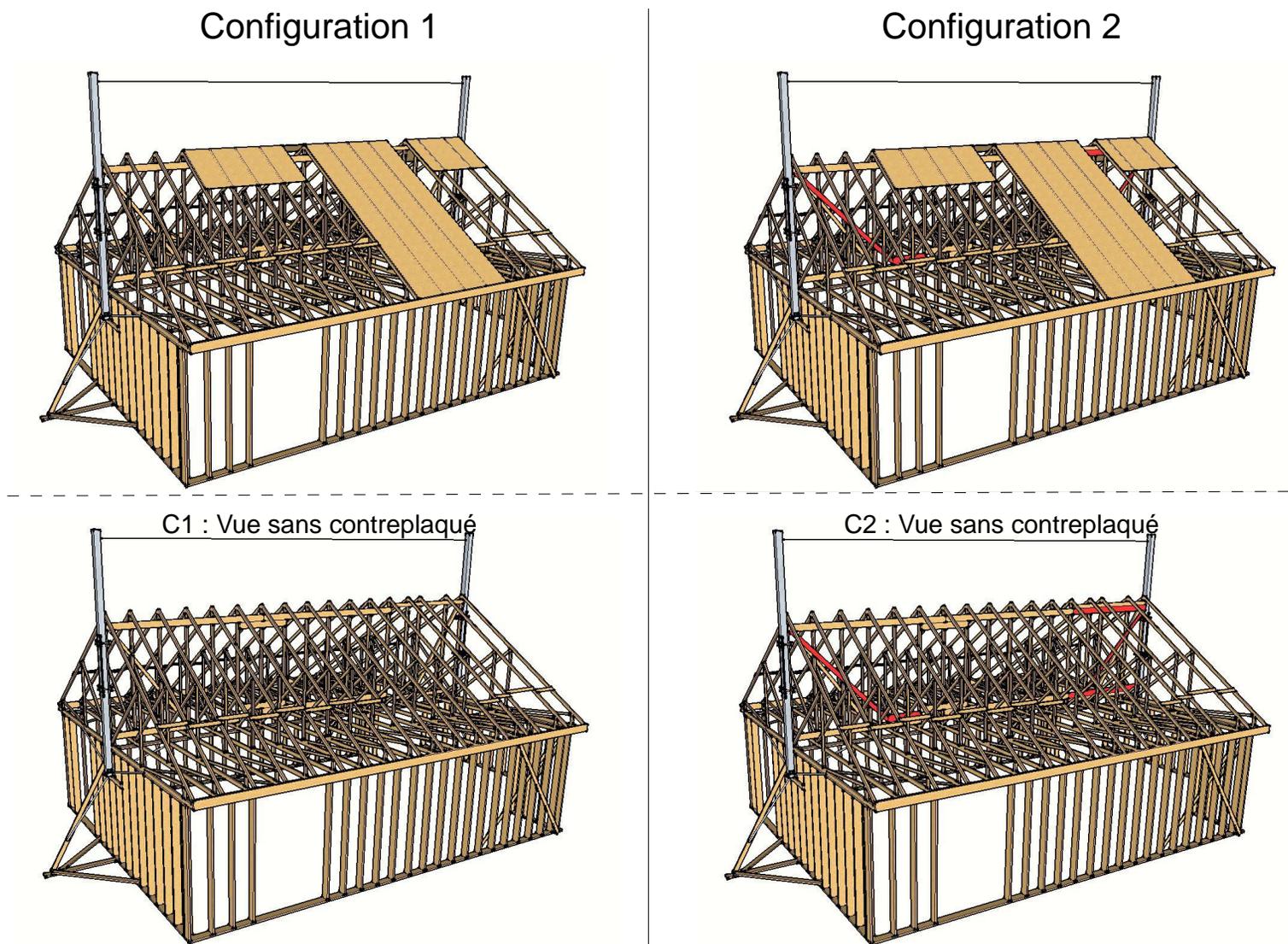


Figure 35 - Illustration des configurations d'essai pour la validation de la structure d'accueil du SCAH.

2.5.5 Vérification de la performance et de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil pour les connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z 259.15

Avec la publication de la norme CAN/CSAZ259.15 – *Connecteurs d'ancrage* en 2012, les couvreurs utilisent de plus en plus des connecteurs d'ancrage pour fixer un système antichute ou de retenue sur la toiture [Figure 36]. La structure reconstituée en laboratoire a été utilisée pour effectuer des essais de chute dynamiques pour vérifier sa résistance comme structure d'accueil des connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15 utilisés lors des travaux sur les toits en bois. Au total, 3 des 6 connecteurs d'ancrage les plus utilisés par les intervenants du milieu des travaux de toiture ont été testés. Ces connecteurs d'ancrage ont été choisis lors d'un sondage de l'AMCQ et de l'APCHQ auprès de leurs membres et auprès des inspecteurs de la CNESST.

Les essais de résistance ont été faits suivant l'alinéa 8.2.3.3 *Mode opératoire de l'essai de résistance dynamique initiale* de la norme CAN/CSA Z259.15 [Figure 36]. Les principaux accessoires d'essai sont :

- a) un cordon d'assujettissement d'essai d'au moins 1,2 m (4 pi) de long fait d'une sangle de polyester d'une largeur de 25 mm (1 po). Il ne doit pas s'étirer de plus de 200 mm (8 po) lorsqu'il est soumis à une force de 20 kN (4500 lbf) pendant 10 secondes;
- b) la masse d'essai de 100 kg (220 lb), de construction rigide, doit être élevée de sorte à réaliser une distance en chute libre de 2,4 m (8 pi) et larguée au moyen du mécanisme à décrochage rapide.

La Figure 36 montre le schéma d'essai ainsi que la position des capteurs. La cellule de charge C1 qui sert à mesurer la force dans le cordon d'assujettissement lors de l'arrêt de chute est connectée entre le connecteur d'ancrage et un câble de 9,5 mm de diamètre relié au cordon d'assujettissement. Au sol, un potentiomètre à corde P1 sert à mesurer le déplacement vertical de la masse d'essai. Ces appareils de mesure sont connectés à un système d'acquisition enregistrant les mesures à 1 200 Hz.

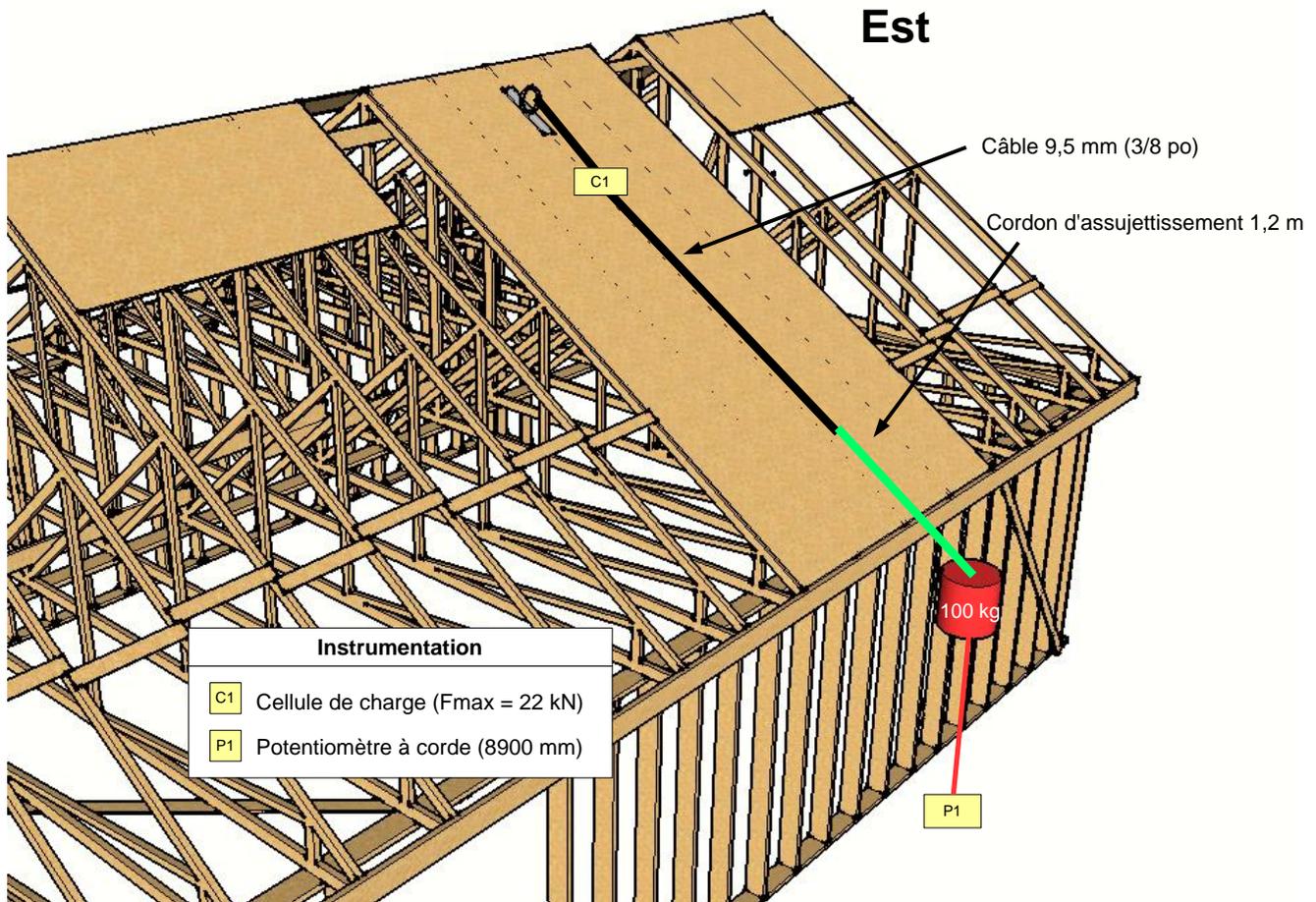


Figure 36 - Essai de chute dynamique.

Pour chaque connecteur d'ancrage, les essais décrits au Tableau 7 ont été réalisés. La réussite du premier essai déterminait si les essais subséquents étaient effectués:

- 3 essais de performance avec la base assemblée à un chevron (cas 1) d'une ferme avec un cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie, une masse de 100 kg et une hauteur de chute libre de 1,2 m. Le cas 1 correspond à l'usage usuel recommandé;
- 1 essai de performance avec la base assemblée au contreplaqué (cas 2) avec un cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie, une masse de 100 kg et une hauteur de chute libre de 1,2 m. Le cas 2 correspond à l'installation incorrecte du connecteur d'ancrage par un travailleur distrait;
- 3 essais de résistance avec la base assemblée à un chevron (cas 3) avec un cordon d'assujettissement CAN/CSA Z259.11 sans absorbeur d'énergie, une masse de 100 kg et une hauteur de chute libre de 2,4 m.

Pour chaque essai, la force du cordon d'assujettissement et la position de la masse en chute libre étaient enregistrés en temps réel, à une fréquence de 1200 Hz.

Tableau 7 - Vérification de la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil des connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSAZ259.15

| Essai dynamique de performance | | | | |
|---|---|---|--|---|
| Essai | Structure d'accueil | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 1 à 3 | 1. Toiture reconstituée 2. Cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie intégré conforme à CAN/CSA Z259.11-05 ou enrouleur-dérouleur 3. Masse d'essai: d'acier de 100 kg 4. Hauteur de chute libre H = 1,2 m en bordure de la toiture Note : 1 essai sur 3 avec harnais CSA Z259 et torse de bois de 100 kg | Chevrons des fermes/contreplaqués 1 essai au faîte et les 2 autres sur le contreplaqué | 1. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement dans les 3 essais) 2. Déformation de l'absorbeur d'énergie 3. Distance totale de chute (pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher) | 1. Pas de rupture ou amorce de rupture/de la structure d'accueil 2. Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge 3. Observation du comportement du système |
| 4 Essais 5 et 6 réalisés si essai 4 réussi | 1. Toiture reconstituée 2. Cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie intégré conforme à CAN/CSA Z259.11-05 ou enrouleur-dérouleur 3. Masse d'essai: d'acier de 100 kg 4. Hauteur de chute libre H = 1,2 m en bordure de la toiture Note : 1 essai sur 3 avec harnais CAN/CSA Z259 et torse de bois de 100 kg | Contreplaqués | 1. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement dans les 3 essais) 2. Déformation de l'absorbeur d'énergie 3. Distance totale de chute (pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher) | 1. Pas de rupture ou amorce de rupture/de la structure d'accueil 2. Déformation plastique permise, mais en aucun cas abandon de la charge 3. Observation du comportement du système |
| Essai dynamique de résistance (rupture) | | | | |
| Essai | Structure d'accueil | Ancrage | Paramètre à mesurer | Critère d'essai et observation |
| 7 à 9 | 1. Toiture reconstituée 2. Cordon d'assujettissement d'essai du CAN/CSAZ259.15 3. Masse d'essai: d'acier de 100 kg 4. Hauteur de chute libre H = 2,4 m en bordure de la toiture | Chevrons des fermes/contreplaqués | 1. Force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement (cellule de charge du cordon d'assujettissement dans les 3 essais) 2. Distance totale de chute (pour éviter que la masse d'acier frappe le plancher ou tout matériau sur le plancher) | Idem |
| 10 Essai réalisé si essai 4 réussi | Si essai 4 réussi, effectuer l'essai 10 suivant les mêmes conditions que l'essai 7 | Contreplaqués | Idem | Idem |

Pour les 3 ancrages, l'essai 3 fut identique à l'essai 2 sauf que le nombre de clous utilisés par patte de socle fut réduit à 3 au lieu de 10 pour chaque patte des connecteurs d'ancrage Protecta et DBI et à 2 plutôt que 4 pour chaque patte du connecteur d'ancrage Ridge [Figure 37]. De plus, les clous ne furent pas entièrement enfoncés, ce qui est pratique courante dans le secteur de la construction résidentielle de manière à permettre leur extraction plus facilement.

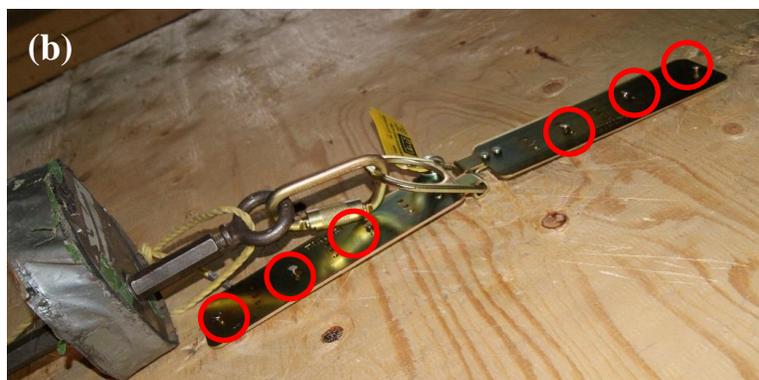


Figure 37 - Clouage des connecteurs d'ancrage pour l'essai 3 du Tableau 7 : (a) Protecta; (b) DBI; (c) Ridge.

3. RÉSULTATS

Les résultats des essais et les photos sont extraits du rapport technique des essais effectués par Polytechnique Montréal⁵.

3.1 Performance et résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme point d'ancrage d'un cordon d'assujettissement

Trois essais de performance et trois essais de résistance ont été effectués pour vérifier la performance et la résistance du potelet du SCAH fait d'un HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium, de 3,048 m (10pi) de long avec un porte-à-faux de 1372 mm (54 po) pour le point d'ancrage du cordon d'assujettissement. Le Tableau 8 résume les résultats des essais décrits au Tableau 3.

Tableau 8 - Résultats des essais de performance et de résistance du potelet HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme ancrage d'un cordon d'assujettissement

| Essai de performance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur, absorbeur d'énergie E4, torse de bois de 100 kg, harnais de classe A et hauteur de chute libre de 1,2 m | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-------------------------------------|------------|-------------------------|------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------|
| Essai | Hauteur de chute libre (m) | Cordon d'assujettissement + Harnais | | | Potelet | | | Harnais Indicateur d'impact Décousu |
| | | Allongement | | Force max. d'arrêt (kN) | Flèche max. (mm) | Jauges de déformation | | |
| | | Max. (mm) | Final (mm) | | | Compression (µm/m) | Tension (µm/m) | |
| 1 | 1,2 | 668 | 644 | 3,59 | 19,9 | -830 | 879 | 2 sur 2 |
| 2 | 1,2 | 702 | 679 | 3,67 | 15,1 | | | 0 sur 2 |
| 3 | 1,2 | 718 | 686 | 4,13 | 16,1 | | | 2 sur 2 |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 696 | 670 | 3,79 | 17,0 | | | |
| Essai de résistance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur en nylon 3 brins de 5/8 po de diamètre, pas d'absorbeur d'énergie, masse rigide de 100 kg et hauteur de chute libre de 1,2 m | | | | | | | | |
| Essai | Hauteur de chute libre (m) | Cordon d'assujettissement + harnais | | | Potelet | | | Harnais Indicateur d'impact décousu |
| | | Allongement | | Force max. d'arrêt (kN) | Flèche max (mm) | Jauges de déformation | | |
| | | Max. (mm) | Final (mm) | | | Compression (µm/m) | Tension (µm/m) | |
| 4 | 1,2 | 185 | 58,4 | 10,28 | 42,6 | -1758 | 1910 | N/A |
| 5 | 1,2 | 182 | 49,0 | 10,53 | 39,6 | | | N/A |
| 6 | 1,2 | 160 | 46,1 | 8,74 | 35,4 | | | N/A |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 176 | 51,1 | 9,85 | 39,2 | | | |

⁵ Leclerc, M., Tremblay, R. (2015) *Évaluation d'un système de corde d'assurance horizontale et ancrages utilisés lors de la pose de toitures résidentielles*. Projet CDT/Rapport ST15-03. Département des génies civil, géologie et des mines. Polytechnique Montréal.

La Figure 38 présente le montage expérimental type des essais, soit l'essai 3 avant [Figure 38 (a)] et après [Figure 38 (b)] le déclenchement de la chute du torse de bois. Un glissement significatif s'est produit lors de l'essai 1 et cela s'est traduit par une flèche résiduelle de l'ordre de 5 mm, même si les ancrages ont été bien serrés et des butées avaient été mises en place. Pour les autres essais, les flèches résiduelles sont demeurées relativement faibles. La Figure 39 montre le nombre d'indicateurs d'arrêt de chute du harnais de sécurité qui se sont activés lors de l'essai 3. Par contre, lors de l'essai 2, aucun indicateur d'arrêt de chute ne s'est activé. La Figure 40 illustre la hauteur de chute libre et la force maximale d'arrêt typiques enregistrées lors de l'essai 3.

Les résultats des essais 1 à 3 sont relativement identiques, sauf la flèche du potelet de l'essai 1 qui est plus importante à cause du glissement des appuis. L'absorbeur d'énergie E4 a permis de limiter la force maximale d'arrêt à moins de 4 kN, sauf lors de l'essai 3, qui a résulté en une force d'arrêt maximale de 4,13 kN. Lors des essais de résistance avec le cordon d'assujettissement en nylon 3 brins de 5/8 po de diamètre, la force maximale d'arrêt moyenne est de 9,85 kN (essais 4 à 6). Les potelets équipés de jauges de déformation ont mis en évidence que le potelet restait dans le domaine élastique lors de l'arrêt de chute.

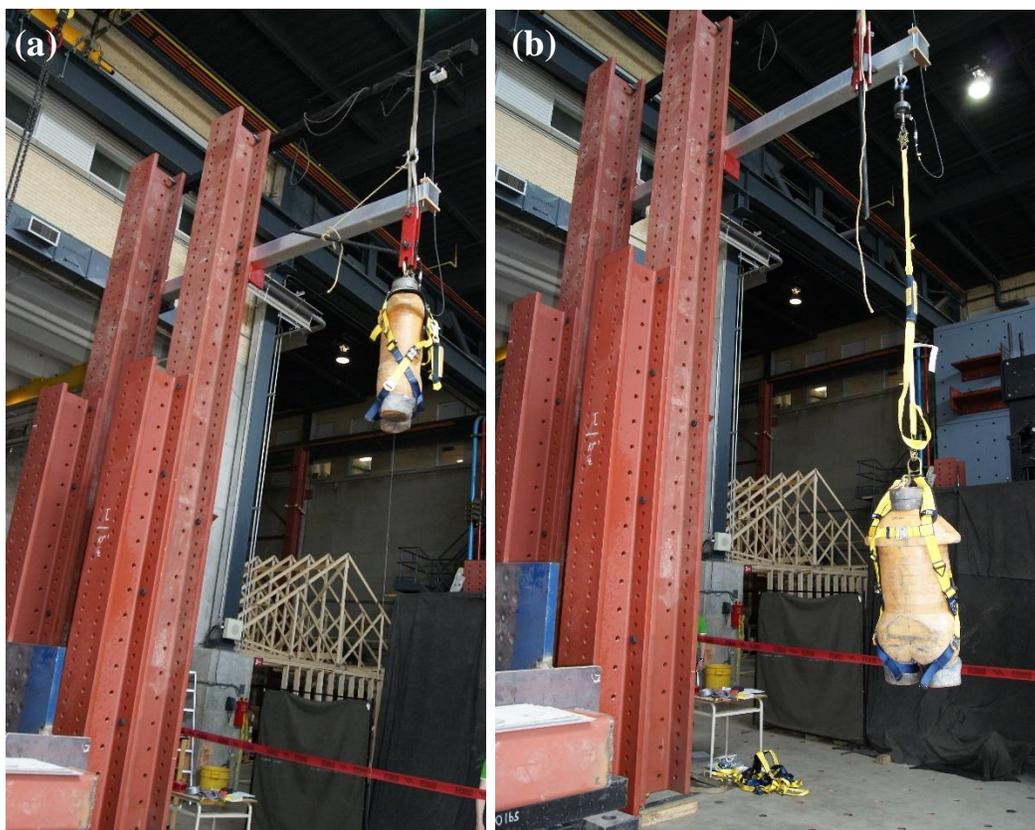


Figure 38 - Tableau 3, essai 3 : avant (a) et après (b) le déclenchement de la chute du torse de bois.



Figure 39 - Indicateurs d'arrêt de chute du harnais : (a) activé; (b) non décousu.

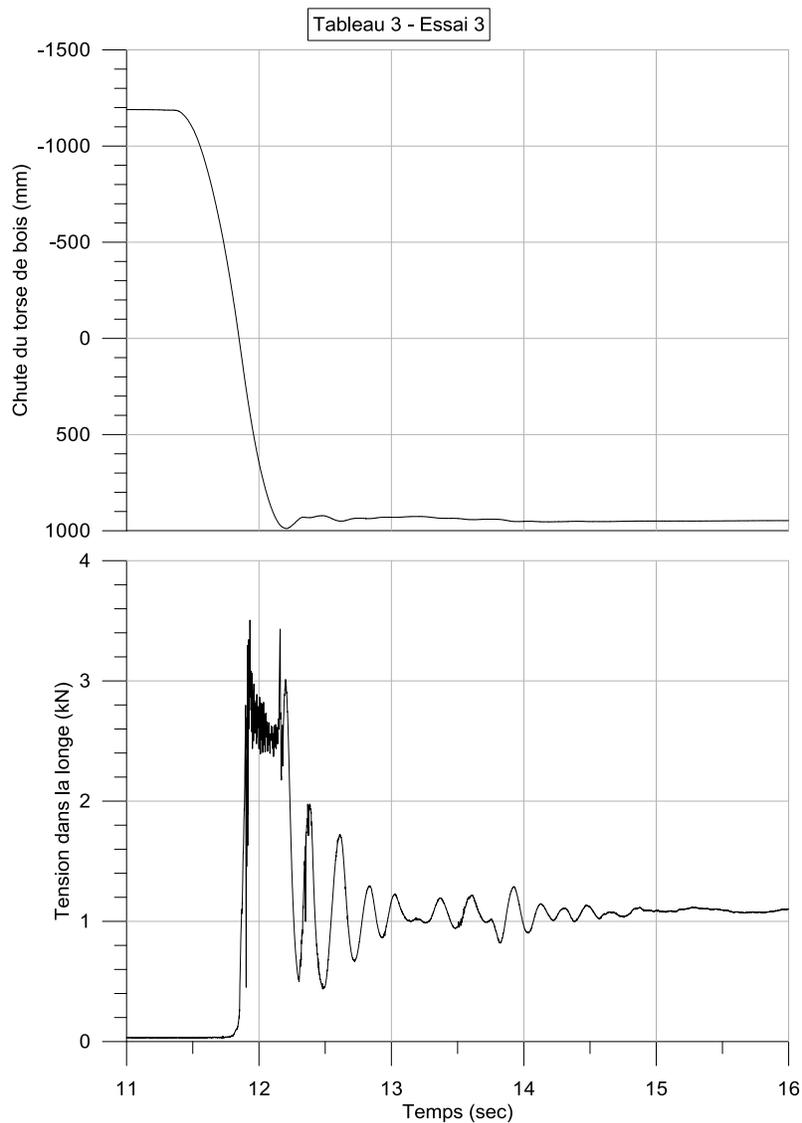


Figure 40 - Hauteur de chute libre et force maximale d'arrêt pour l'essai 3 (courbes types).

La Figure 41 montre la flèche du potelet en fonction de la force exercée sur le cordon d'assujettissement lors de la chute pour l'essai 1 (avec absorbeur d'énergie). Comme on peut le remarquer le comportement est hautement non linéaire, ce qui est attendu du fait de l'utilisation d'un absorbeur d'énergie de classe E4 dans l'essai 1 du Tableau 3.

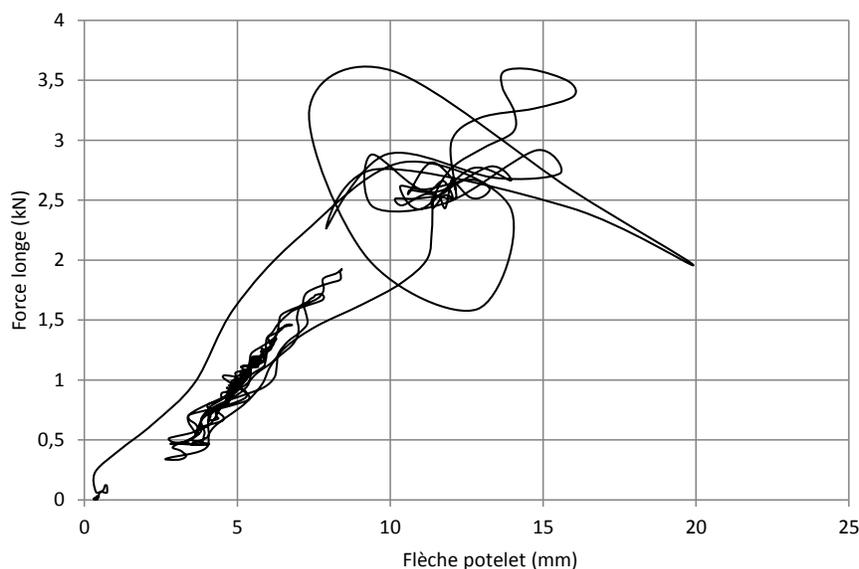


Figure 41 - Essai 1 : force dans le cordon d'assujettissement et flèche du potelet.

Le potelet présente une flèche résiduelle à la fin de l'essai, cette flèche est due au poids du torse de bois en suspension. En effet, lors du soulèvement du torse de bois, les jauges de déformation reviennent à 0, et la flèche résiduelle est de l'ordre de 1 mm, ce qui correspond à un déplacement du dispositif de fixation à l'extrémité du potelet.

La Figure 42 montre la force exercée dans le cordon d'assujettissement lors de la chute pour l'essai 4 (sans absorbeur d'énergie) en fonction de la flèche du potelet. Le comportement présente une légère non-linéarité. En effet, il reste un déplacement résiduel de l'ordre de 4 mm visible lors du soulèvement du torse de bois après l'essai de chute. Cette déformation permanente est cohérente avec les niveaux de microdéformation enregistrés lors de la chute, de l'ordre de 2000 $\mu\text{m}/\text{m}$, soit au-delà de la limite élastique qui est à environ 1 500 $\mu\text{m}/\text{m}$.

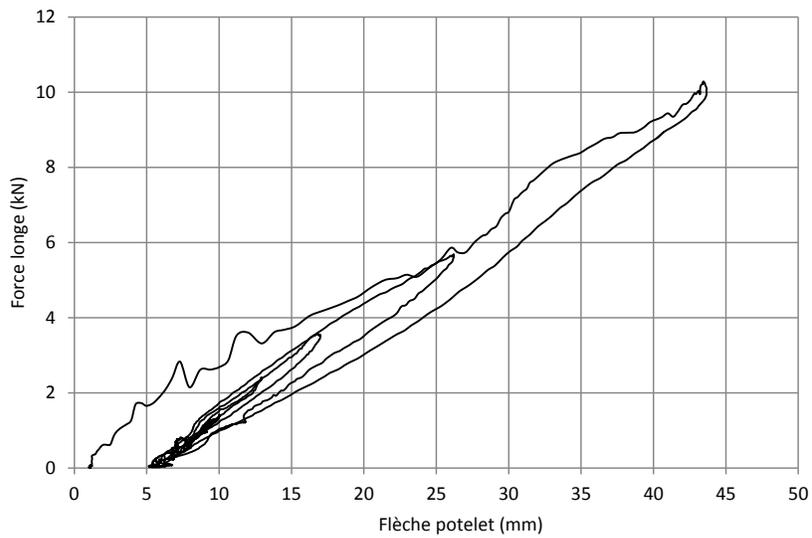


Figure 42 - Essai 4 : force dans le cordon d'assujettissement et déformation du potelet.

3.2 Performance et résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage d'un SCAH

Trois essais de performance et trois essais de résistance ont été effectués pour vérifier la performance et la résistance du potelet du SCAH fait d'un HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium, de 3,038 m (10 pi) de long avec un porte-à-faux de 1371,6 mm (54 po) comme ancrage du SCAH. Le Tableau 9 résume les résultats des essais du Tableau 4.

Tableau 9 - Résultats des essais de performance et de résistance du profilé HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme potelet d'ancrage du SCAH

| Essai de performance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur, absorbeur d'énergie E4, torse de bois de 100 kg, harnais de classe A et hauteur de chute libre de 1,2 m à mi-portée du SCAH | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-------------------------------------|------------|-------------|-----------------------------|------------------|------------------|----------|---|-------------------------------------|
| Essai | Hauteur de chute libre (m) | Cordon d'assujettissement + Harnais | | | | Câble | | | | Harnais Indicateur d'impact décousu |
| | | Allongement | | | Force maximale d'arrêt (kN) | Flèche max. (mm) | Tension maximale | | Zorbit Déploiement (n ^{bre} de déchirures) | |
| | | Max (mm) | Final (mm) | Cordon (mm) | | | Ouest (kN) | Est (kN) | | |
| 1 | 1,2 | 882 | 737 | 673 | 3,42 | 728 | 11,07 | 11,14 | 1 | 2 sur 2 |
| 2 | 1,2 | 927 | 778 | 654 | 3,49 | 713 | 10,44 | 10,49 | 1 | 0 sur 2 |
| 3 | 1,2 | 916 | 771 | 699 | 3,36 | 732 | 10,99 | 10,99 | 1 | 2 sur 2 |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 908 | 762 | 678 | 3,42 | 724 | 10,84 | 10,87 | 1 | |
| Essai de résistance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur en nylon 3 brins de 5/8 po de diamètre, pas d'absorbeur d'énergie, masse rigide de 100 kg et hauteur de chute libre de 1,2 m à mi-portée du SCAH | | | | | | | | | | |
| Essai | Hauteur de chute libre (m) | Cordon d'assujettissement + Harnais | | | | Câble | | | | Harnais Indicateur d'impact décousu |
| | | Allongement | | | Force maximale d'arrêt (kN) | Flèche max. (mm) | Tension maximale | | Zorbit Déploiement (n ^{bre} de déchirures) | |
| | | Max (mm) | Final (mm) | Cordon (mm) | | | Ouest (kN) | Est (kN) | | |
| 4 | 1,2 | 286 | 103 | 83 | 4,79 | 1099 | 13,26 | 11,60 | 13 | N/A |
| 5 | 1,2 | 264 | 110 | 64 | 4,39 | 1077 | 12,18 | 11,43 | 14 | N/A |
| 6 | 1,2 | 170 | 51 | 57 | 4,47 | 1060 | 13,49 | 11,57 | 13 | N/A |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 240 | 88 | 68 | 4,55 | 1079 | 12,98 | 11,53 | 13 | |

La Figure 43 illustre le montage type expérimental de la série des essais du Tableau 4, soit l'essai 5 avant [Figure 43 (a)] et après [Figure 43 (b)] le déclenchement de la chute du torse de bois.

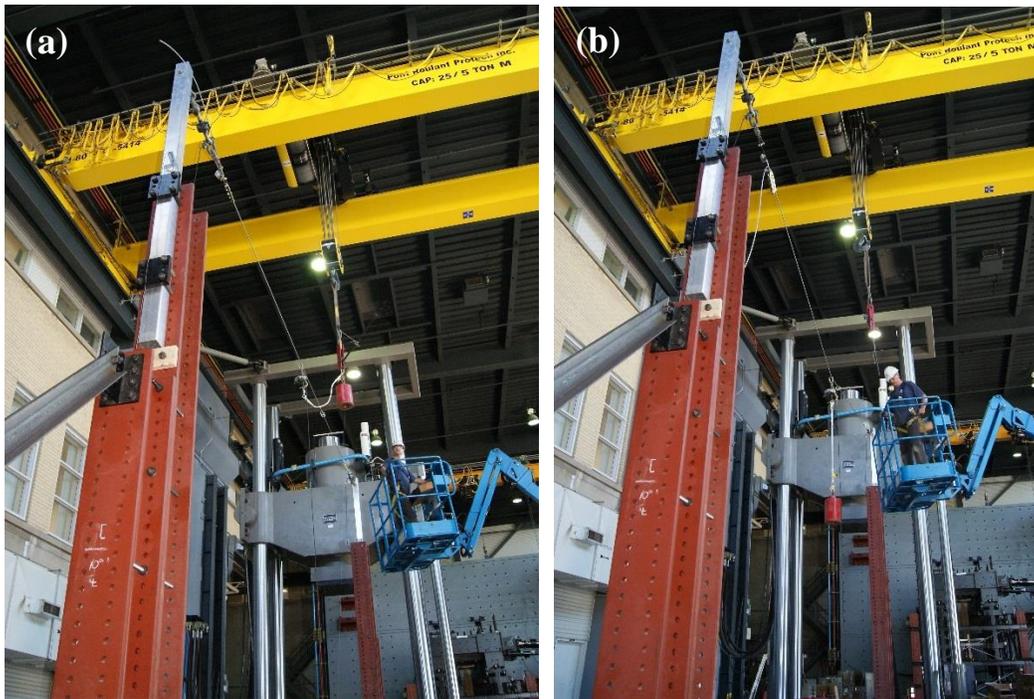


Figure 43 - Tableau 4, essai 5 : avant (a) et après (b) le déclenchement de la chute du torse de bois.

Les essais 4 à 6 montrent que le système de corde d'assurance Sayflin ne peut à lui seul limiter la force maximale d'arrêt à moins de 4 kN du cordon d'assujettissement en nylon 3 brins de 5/8 po de diamètre qui demeure néanmoins proche de cette limite de 4 kN. Avec un potelet seul, la force maximale d'arrêt moyenne est 9,85 kN [Tableau 8]. Ces résultats confirment que le SCAH possède suffisamment de flexibilité pour permettre de dissiper l'énergie de la chute. Autre fait à remarquer, la présence de l'absorbeur d'énergie Zorbit limite les forces maximales d'ancrage à environ 11 kN lors des essais 1 à 6. Par contre, le déploiement de l'absorbeur d'énergie Zorbit est plus grand lors des essais 4 à 6, soit 13 déchirures par rapport à 1 déchirure [Tableau 9].

Les résultats indiquent aussi que le mécanisme le plus actif pour dissiper l'énergie de la chute est le cordon d'assujettissement avec l'absorbeur d'énergie E4. La plupart des indicateurs de chute des harnais (2 sur 6) ne se sont pas décosus. Les Figure 44, Figure 45 et Figure 46 illustrent le déploiement et le nombre de déchirures du système Zorbit observés lors des essais 4 à 6 du Tableau 4.

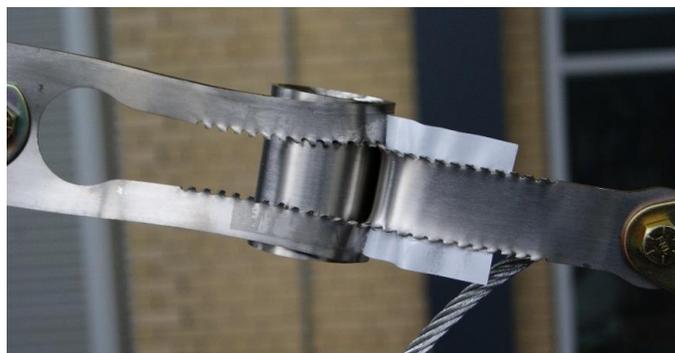


Figure 44 - Déploiement du système Zorbit avec 13 déchirures lors de l'essai 4 du Tableau 4.



Figure 45 - Déploiement du système Zorbit avec 14 déchirures lors de l'essai 5 du Tableau 4.



Figure 46 - Déploiement du système Zorbit avec 13 déchirures lors de l'essai 6 du Tableau 4.

La Figure 47 présente le diagramme force déformation pour le potelet lors des essais dynamiques de chute avec le torse de bois et l'absorbeur d'énergie. On peut remarquer que le comportement du potelet est parfaitement linéaire, ce qui signifie que l'absorbeur d'énergie Zorbit placé sur la corde d'assurance horizontale ne s'est pas déployé. En effet, la force du câble est restée inférieure à 11 kN.

La Figure 48 exhibe le diagramme force déformation pour le potelet lors des essais dynamiques de chute avec masse en métal et cordon d'assujettissement de nylon sans absorbeur d'énergie. On remarque que le comportement est non linéaire, ce qui indique que l'absorbeur d'énergie Zorbit s'est déployé (comme cela a pu être constaté après l'essai de chute). Il a en outre tout à fait rempli la fonction pour laquelle il a été conçu et a maintenu la tension dans le câble sous les 12 kN à l'extrémité *est* du câble. Ces constatations valent aussi pour les essais du Tableau 4 sur la structure en bois reconstituée au laboratoire.

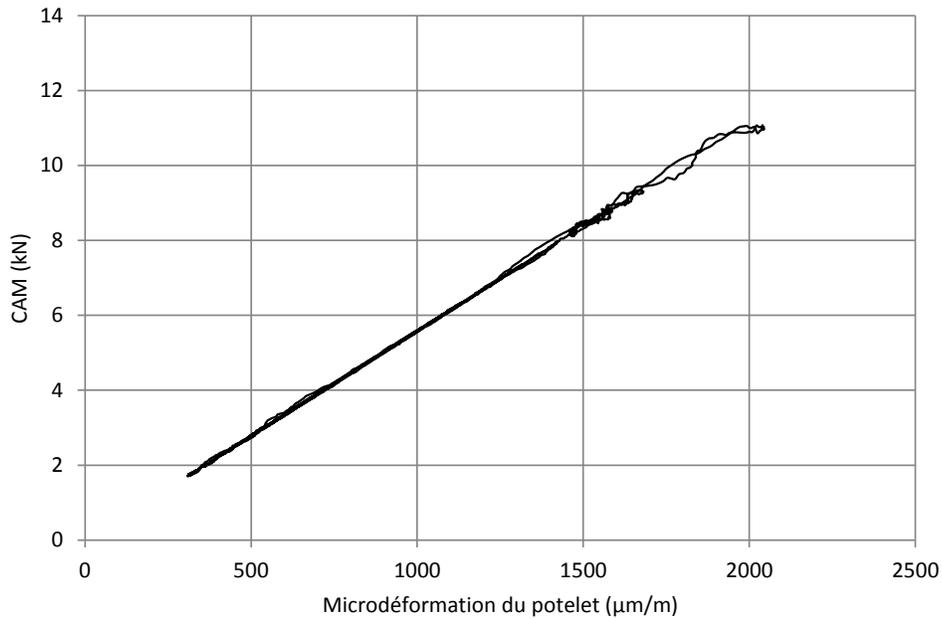


Figure 47 - Essai 1 : tension dans le câble et déformation du potelet.

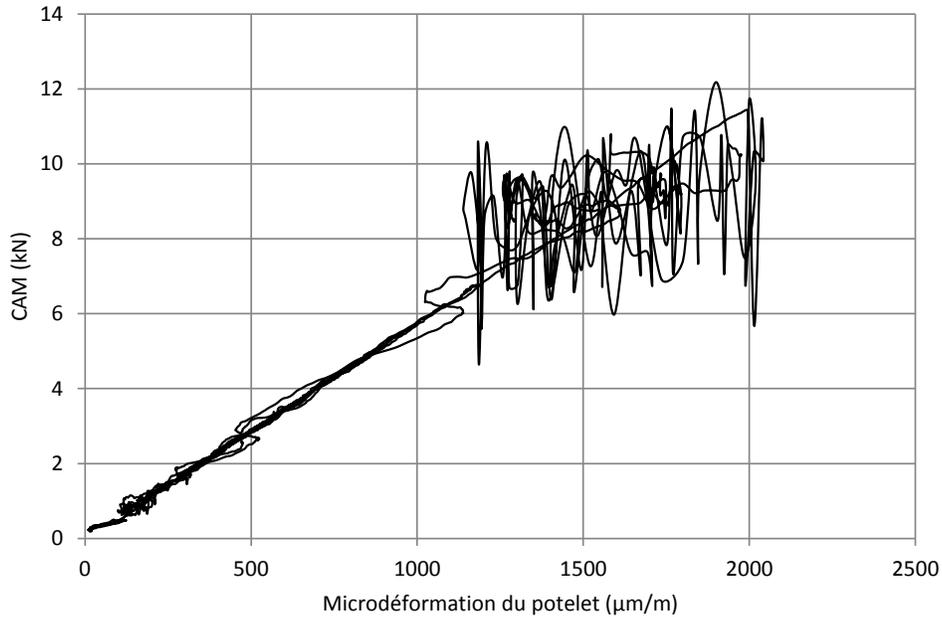


Figure 48 - Essai 5 : tension dans le câble et déformation du potelet.

3.3 Performance et résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement

Trois essais de performance et trois essais de résistance ont été effectués pour vérifier la performance et la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil du potelet 2 du SCAH fait d'un HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium, de 4,878 m (16 pi) de long assemblé au montant central d'une ferme contreventée avec un porte-à-faux de 1372 mm (54 po) pour le point d'ancrage d'un cordon d'assujettissement. La Figure 49 présente le montage type de cette série, soit l'essai 4, avant [Figure 49(a)] et après [Figure 49 (b)] le déclenchement de la chute de la masse d'acier.

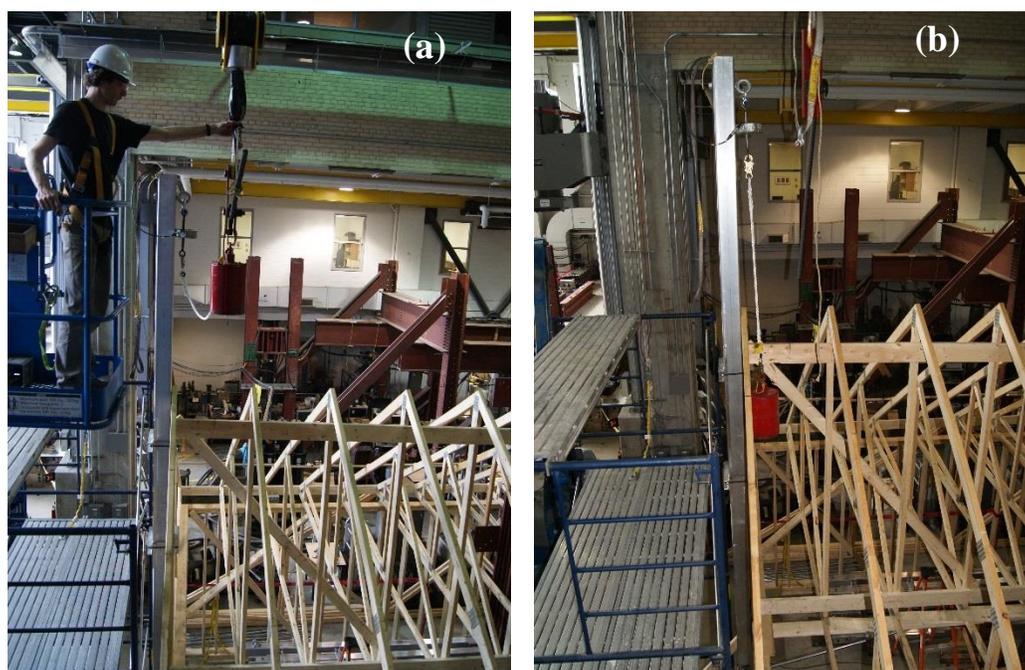


Figure 49 - Tableau 5 - Essai 4 : (a) avant l'essai; (b) après l'essai.

Le Tableau 10 présente les résultats des essais du Tableau 5. Les forces maximales d'arrêt mesurées dans les cordons d'assujettissement avec absorbeur d'énergie étaient inférieures à 4 kN, alors qu'elles étaient en moyenne de l'ordre de 10 kN dans les cordons d'assujettissement en nylon 3 brins de 5/8 po sans absorbeur d'énergie. Les potelets, instrumentés de jauges d'extensométrie sont tous demeurés dans la zone élastique. Quatre indicateurs de chute des harnais sur 6 ne se sont pas décousus. Lors de l'essai 4, le contreventement de la structure d'accueil a cédé et la structure a subi de légers endommagements sur le longeron sous le faîte de toit [Figure 50].

Tableau 10 - Résultats des essais de performance et de résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement

| Essai de performance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur, absorbeur d'énergie E4, torse de bois de 100 kg, harnais de classe A et hauteur de chute libre de 1,2 m | | | | | | |
|---|----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------|
| Essai | Hauteur de chute libre (m) | Cordon + Harnais | | Potelet | | Harnais Indicateur d'impact décousu |
| | | | | Jauges de déformation | | |
| | | Allongement max (mm) | Force maximale d'arrêt (kN) | Compression (µm/m) | Tension (µm/m) | |
| 1 | 1,2 | 1028 | 3,36 | | | 0 sur 2 |
| 2 | 1,2 | 940 | 3,94 | -211 | 191 | 2 sur 2 |
| 3 | 1,2 | 950 | 3,51 | | | 0 sur 2 |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 972 | 3,60 | | | |
| Essai de résistance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur en nylon 3 brins de 5/8 po de diamètre, pas d'absorbeur d'énergie E4, masse rigide de 100 kg et hauteur de chute libre de 1,2 m | | | | | | |
| Essai | Hauteur de chute libre (m) | Cordon + Harnais | | Potelet | | Harnais Indicateur d'impact décousu |
| | | | | Jauges de déformation | | |
| | | Allongement max (mm) | Force maximale d'arrêt (kN) | Compression (µm/m) | Tension (µm/m) | |
| 4 | 1,2 | 304 | 10,24 | | | N/A |
| 5 | 1,2 | 289 | 9,30 | -419 | 355 | N/A |
| 6 | 1,2 | 280 | 9,02 | | | N/A |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 291 | 9,52 | | | |



Figure 50 - Légers endommagements à la structure d'accueil à la suite de l'essai 4 du Tableau 5.

3.4 Performance et résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil d'un SCAH

Trois essais de performance et trois essais de résistance ont été effectués pour vérifier la performance et la résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil du SCAH avec des 2 potelets du SCAH faits de 2 profilés HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium, de 4,878 m (16 pi) de long, assemblés aux montants centraux des fermes contreventées d'extrémité, avec un porte-à-faux de 1372 mm (54 po) du SCAH. La Figure 51 présente le montage type pour une série d'essais du Tableau 6, soit l'essai 5 avant [Figure 51 (a)] et après [Figure 51 (b)] le déclenchement de la chute de la masse d'acier.

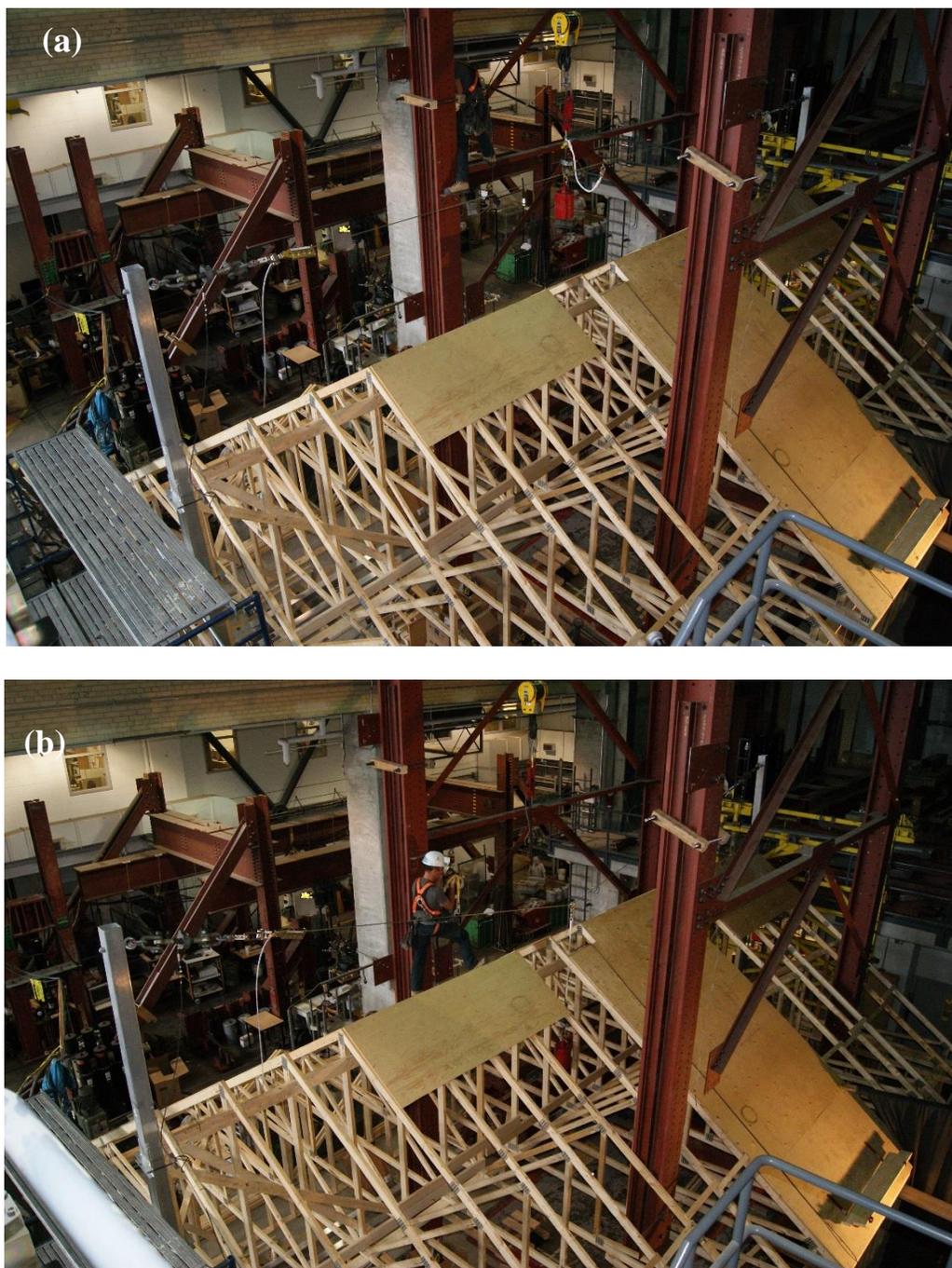


Figure 51 - Essai 5 : avant (a) et après (b) le déclenchement de la chute de la masse d'acier.

Le Tableau 11 présente un résumé des résultats des essais décrits au Tableau 6.

Tableau 11 - Résultats des essais de performance et de résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil du SCAH

| Essai de performance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur, absorbeur d'énergie E4, torse de bois de 100 kg, harnais de classe A et hauteur de chute libre de 1,2 m à mi-portée du SCAH | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------|---|------------------------------------|----------------|---------------|----------------|--------------------------------------|
| Essai | Hauteur de chute libre (m) | Chute du torse de bois (mm) | Cordon + Harnais | | Câble | | | Jauges de déformation des potelets | | | | Harnais Indicateur d'impact décousus |
| | | | Allongement cordon seul (mm) | Force maximale d'arrêt (kN) | Force maximale d'ancrage | | Zorbit Déploiement (n ^{bre} de déchirures) | Potelet ouest | | Potelet est | | |
| | | | | | Ouest (kN) | Est (kN) | | Compr. (µm/m) | Tension (µm/m) | Compr. (µm/m) | Tension (µm/m) | |
| 1 | 1,2 | 3190 | 559 | 3,41 | 4,64 | 4,52 | 0 | | | | | 0 sur 2 |
| 2 | 1,2 | 2999 | 660 | 3,51 | 8,90 | 8,89 | 0 | | | | | 1 sur 2 |
| 3 | 1,2 | 2958 | 622 | 3,37 | 8,52 | 8,36 | 0 | -1529 | 1537 | -1473 | 1503 | 0 sur 2 |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 3049 | 614 | 3,44 | 7,35 | 7,26 | 0 | | | | | |
| Essai de résistance : cordon d'assujettissement de 1,2 m de longueur en nylon 3 brins de 5/8 po de diamètre, pas d'absorbeur d'énergie E4, masse rigide de 100 kg et hauteur de chute libre de 1,2 m à mi-portée du SCAH | | | | | | | | | | | | |
| Essai | Hauteur de chute libre (mm) | Chute du torse de bois (mm) | Cordon + Harnais | | Câble | | | Jauges de déformation des potelets | | | | Harnais Indicateur d'impact décousus |
| | | | Allongement cordon seul (mm) | Force maximale d'arrêt (kN) | Force maximale d'ancrage | | Zorbit Déploiement (n ^{bre} de déchirures) | Potelet ouest | | Potelet est | | |
| | | | | | Ouest (kN) | Est (kN) | | Compr. (µm/m) | Tension (µm/m) | Compr. (µm/m) | Tension (µm/m) | |
| 4 | 1,2 | 2402 | 70 | 5,35 | 12,57 | 11,99 | 10 | | | | | N/A |
| 5 | 1,2 | 2306 | 89 | 5,34 | 12,53 | 11,80 | 9 | | | | | N/A |
| 6 | 1,2 | 2402 | 57 | 5,52 | 13,83 | 11,84 | 9 | -2108 | 2138 | 2124 | | N/A |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | 2370 | 72 | 5,40 | 12,31 | 11,88 | 9 | | | | | |

Lors de l'essai 1, la diagonale et la lisse supérieure du contreventement des fermes au niveau du faîte ont cédé à la poussée engendrée par le potelet *ouest* [Figure 52]. Conséquemment, les forces maximales d'ancrage mesurées lors de cet essai sont faibles et la distance totale de chute du torse qui a pu être observée lors de l'essai est plus élevée comparativement aux essais subséquents.



Figure 52 - Rupture de la diagonale et de la lisse supérieure du côté *est*, lors de l'essai 1 du Tableau 6.

À la suite de l'essai 1, la structure fut renforcée par l'ajout de plusieurs madriers supplémentaires à chacune des extrémités de la toiture, soit ceux qui apparaissent en rouge à la Figure 53.

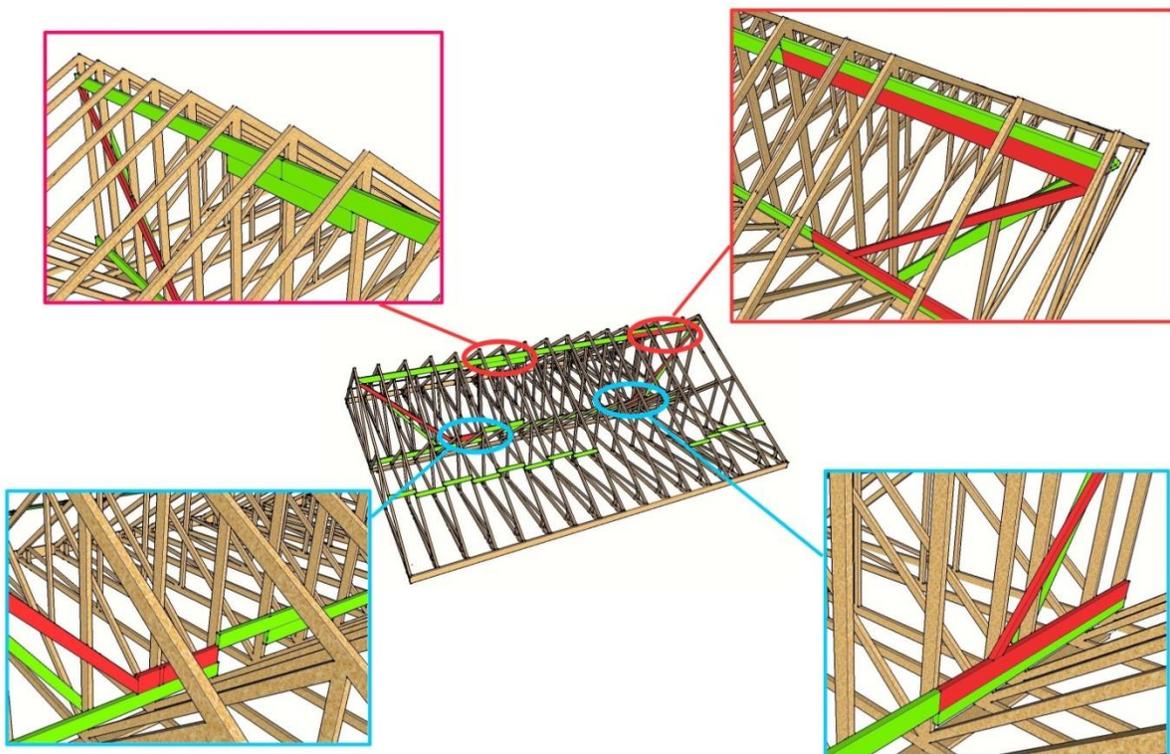


Figure 53 - Madriers supplémentaires (en rouge) ajoutés à la structure après la rupture engendrée par l'essai 1 du Tableau 6.

Lors des essais 2 à 5 suivants, aucun dommage ne fut observé. Cependant, lors de l'essai 6, la structure d'accueil a cédé de nouveau à la hauteur du faîte de toit du côté *est* [Figure 54].



Figure 54 - Rupture au niveau du faîte de toit du côté *est*, lors de l'essai 6 du Tableau 6.

3.5 Performance et résistance des fermes contreventées comme structure d'accueil pour les connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15

Le programme d'essais du Tableau 7 a été modifié puisque : 1) trois des six connecteurs d'ancrage prévus pour ces essais n'étaient pas disponibles et le temps d'attente pour les recevoir était trop long pour conserver la structure reconstituée au laboratoire de Polytechnique Montréal et 2) lors des essais 4 avec les connecteurs d'ancrage fixés au contreplaqué, le soulèvement du centre du connecteur d'ancrage était supérieur à celui observé lors des essais 3. L'essai 1 a été réalisé suivant le programme d'essai sauf pour le connecteur d'ancrage Protecta qui fut installé au faîte de toit [Figure 55 (a)] alors que les connecteurs d'ancrage DBI et Ridge ont été fixés plus bas sur une ferme de toiture [Figure 55 (b)] et [Figure 55 (c)]. Ces connecteurs d'ancrage ont été installés suivant les instructions du manufacturier avec le nombre de clous recommandé. Le torse de bois a été utilisé pour l'ensemble des essais 1 alors que pour les essais 2 et 3, la masse d'acier a été utilisée [Figure 56] et aucun connecteur d'ancrage n'a été installé au faîte de toit. Les essais 1 et 2 étant réussis, au lieu d'effectuer l'essai 3, il fut décidé de vérifier certaines situations réelles de travail où ces connecteurs d'ancrage ne sont pas installés conformément aux recommandations du manufacturier.

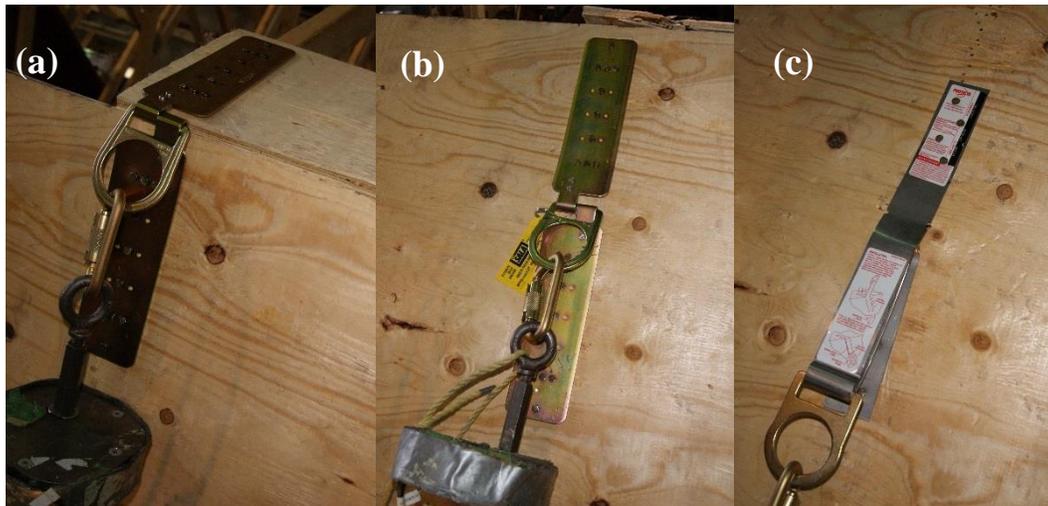


Figure 55 - Configuration des connecteurs d'ancrage pour l'essai 1 : (a) Protecta, (b) BDI et (c) Ridge.



Figure 56 - Essai 2 : connecteur d'ancrage Ridge.

C'est ainsi que lors des essais 3, le nombre de clous utilisés par patte de socle fut réduit à 3 au lieu de 10 comme le recommandait le fabricant pour les connecteurs d'ancrage Protecta et DBI, et à 2 sur 4 pour le connecteur d'ancrage Ridge, comme illustré à la Figure 57. Ces essais ont été réalisés afin de vérifier certaines pratiques d'installation non recommandées qui ont cours régulièrement sur les chantiers d'après l'entrepreneur. De plus, les clous n'ont pas été entièrement enfoncés, une pratique courante dans le secteur de la construction résidentielle afin d'utiliser facilement la tête du marteau pour les arracher lorsque le dispositif n'est plus requis.

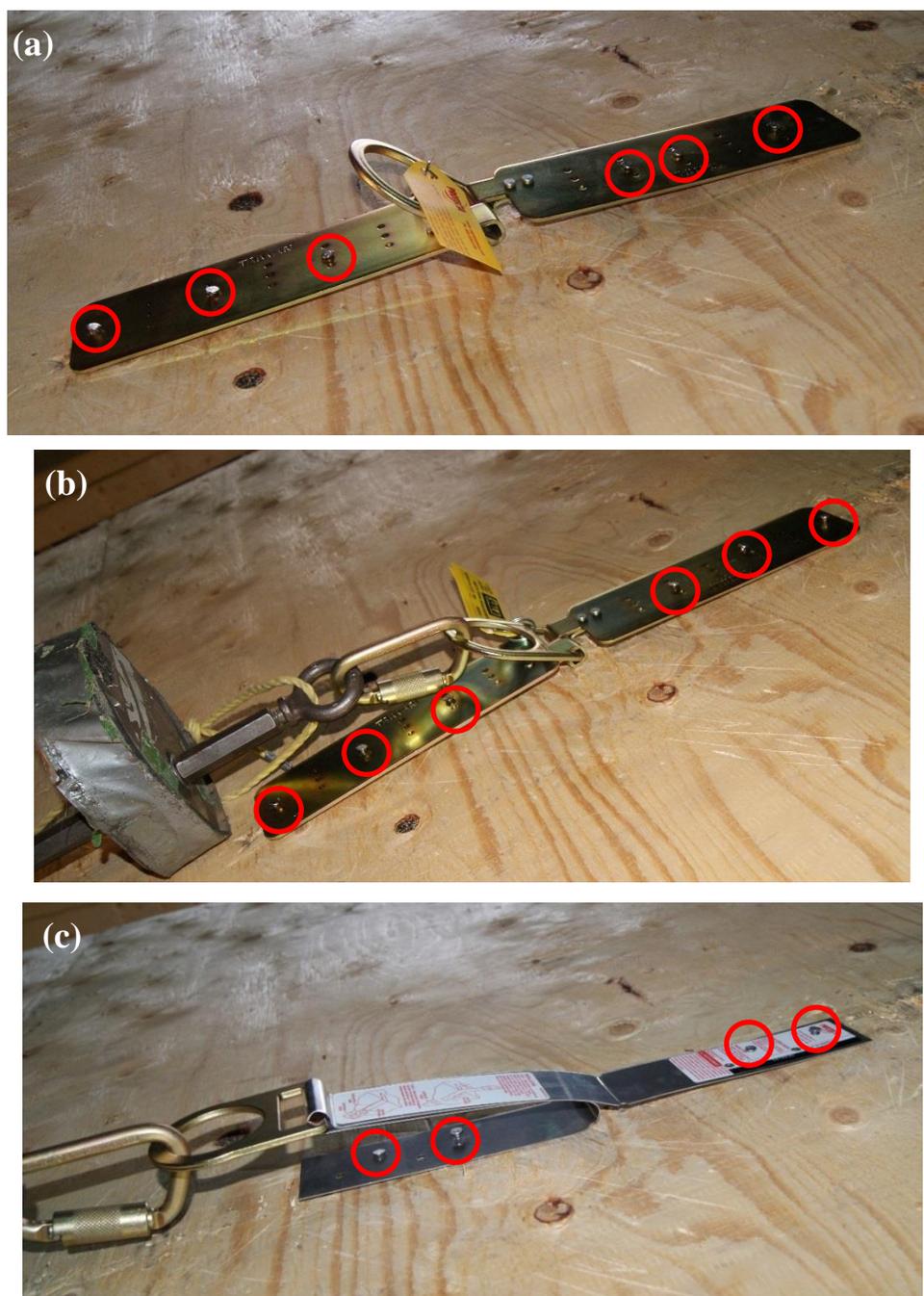


Figure 57 - Clouage des connecteurs d'ancrage lors de l'essai 3 : (a) Protecta; (b) DBI et (c) Ridge.

L'essai 4 pour les trois connecteurs d'ancrage a été effectué avec le torse de bois. Bien que ces essais aient été relativement concluants, le soulèvement du centre du connecteur d'ancrage observé nous a incités à la prudence et donc à ne pas poursuivre avec les essais (5 et 6), ni l'essai 10, étant donné que des arrachements de connecteurs d'ancrage ont été observés au cours de l'essai 7.

Le Tableau 12 résume l'ensemble des résultats des essais du Tableau 7, alors que le Tableau 13 synthétise l'ensemble des observations effectuées sur la structure et le connecteur d'ancrage après les essais du Tableau 7.

Tableau 12 - Résumé des résultats des essais du Tableau 7

| Essai | Chute de la masse (m) | | | Cordon d'assujettissement + Harnais | | | | | | Harnais Indicateur d'impact décousu | | |
|-------------|-----------------------|----------|-------|-------------------------------------|----------|-------|-----------------------------|----------|-------|-------------------------------------|----------|-------|
| | DBI | Protecta | Ridge | Allongement cordon (mm) | | | Force maximale d'arrêt (kN) | | | DBI | Protecta | Ridge |
| | | | | DBI | Protecta | Ridge | DBI | Protecta | Ridge | | | |
| 1 | 1,2 | | | 610 | 603 | 610 | 3,84 | 3,08 | 3,40 | 2/2 | 2/2 | 2/2 |
| 2 | | | | 667 | 648 | 679 | 4,28 | 3,84 | 2,95 | | | |
| 3 | | | | 686 | 673 | 686 | 3,26 | 3,18 | 2,98 | | | |
| <i>Moy.</i> | | | | 654 | 641 | 658 | 3,80 | 3,37 | 3,11 | 2/2 | 2/2 | 2/2 |
| 4 | | | | 711 | 673 | 660 | 3,73 | 3,76 | 3,37 | 2/2 | 2/2 | 2/2 |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | |
| <i>Moy.</i> | 1,2 | | | 711 | 673 | 660 | 3,73 | 3,76 | 3,37 | | | |
| 7 | 2,4 | | | 70 | 64 | 102 | 11,61 | 13,66 | 14,12 | | | |
| 8 | | | | 102 | 102 | 102 | 17,48 | 13,68 | 14,36 | | | |
| 9 | | | | 133 | 127 | 89 | 18,68 | 15,86 | 14,98 | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | |
| <i>Moy.</i> | | | | 117 | 114 | 97 | 18,08 | 14,40 | 14,49 | | | |

Tableau 13 - Observations effectuées après les essais du Tableau 7

| Essai | Observation | | |
|-------|--|---|---|
| | DBI | Protecta | Ridge |
| 1 | Aucun dommage | Aucun dommage | Aucun dommage |
| 2 | Aucun dommage | Aucun dommage | Aucun dommage |
| 3 | Faible soulèvement du centre du connecteur d'ancrage | Soulèvement de 5 mm du centre du connecteur d'ancrage | Très faible soulèvement du centre du connecteur d'ancrage |
| 4 | Faible soulèvement du centre du connecteur d'ancrage | Faible soulèvement du centre du connecteur d'ancrage | Faible soulèvement du centre du connecteur d'ancrage |
| 7 | Arrachement du connecteur d'ancrage | Rupture du mousqueton de la sangle | Les clous du connecteur d'ancrage sont demeurés enfoncés |
| 8 | Connecteur d'ancrage sans mouvement apparent | Endommagement de la corniche | Un clou du connecteur d'ancrage a été partiellement décloué et un autre arraché |
| 9 | Connecteur d'ancrage sans mouvement apparent | Endommagement de la corniche et soulèvement de 5 mm du centre du connecteur d'ancrage | Un clou du connecteur d'ancrage a été arraché |

Il n'y a eu aucun dommage apparent aux connecteurs d'ancrage et à la structure d'accueil lors des essais 1 et 2, et tous les indicateurs d'impact des harnais se sont déployés pour ces essais. Lors de l'essai 2 avec le connecteur d'ancrage DBI, la mesure de la force maximale d'arrêt du cordon d'assujettissement avec un absorbeur d'énergie E4 était de 4,28 kN, légèrement supérieure au seuil de 4 kN. Il y a eu de légers soulèvements de tous les connecteurs d'ancrage lors de l'essai 3 réalisé avec un nombre réduit de clous [Figure 58]. Le connecteur d'ancrage Ridge est relativement plus flexible que les deux autres et donc la force d'arrêt maximale moyenne mesurée avec ce connecteur d'ancrage (3,37 kN) est en moyenne plus faible qu'avec les deux autres connecteurs d'ancrage (3,73 kN).

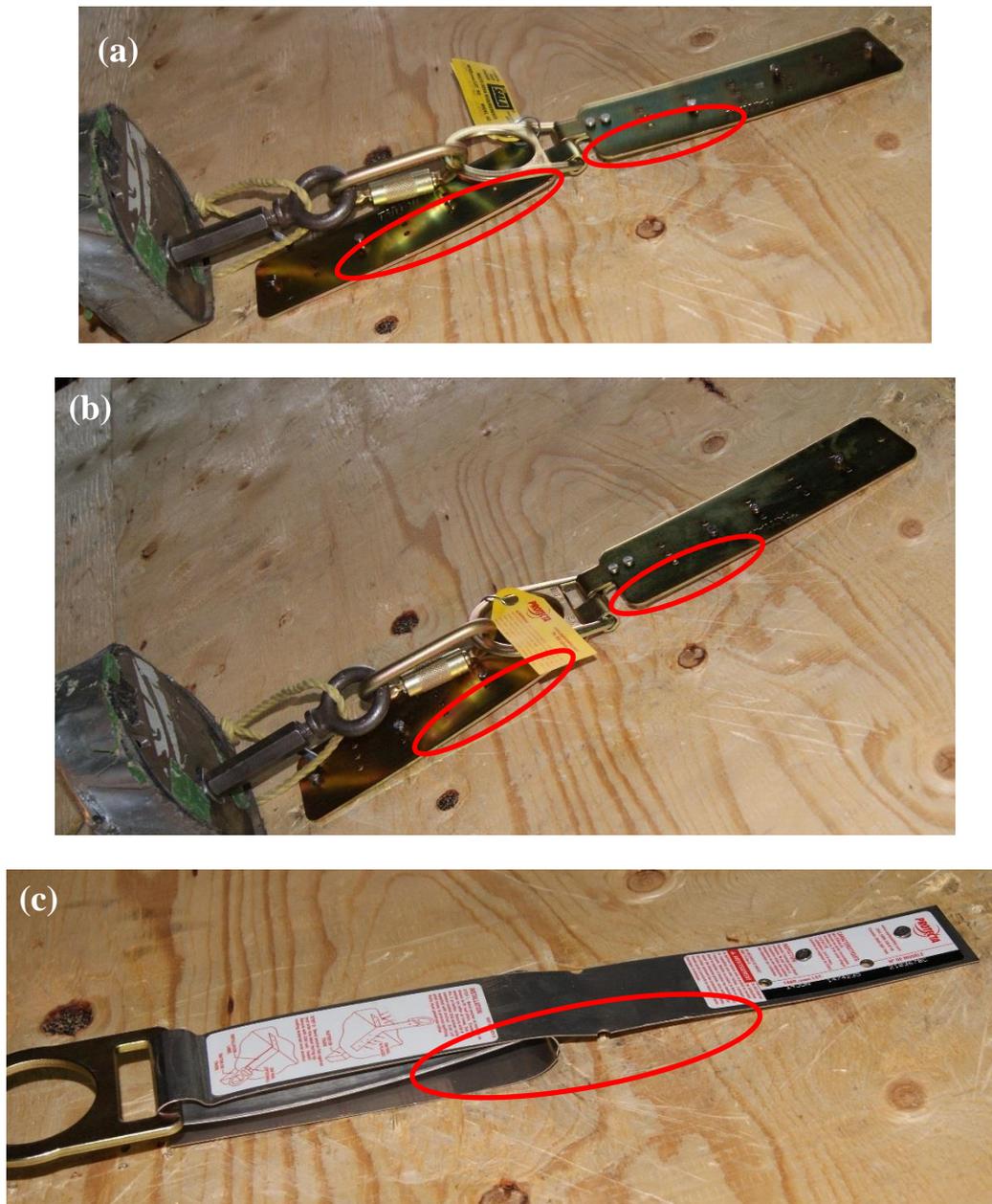


Figure 58 - Soulèvement des connecteurs d'ancrages pour l'essai 3 : (a) DBI; (b) Protecta; (c) Ridge.

Pour l'essai 4, les connecteurs d'ancrage ont été assemblés sur le contreplaqué seulement comme structure d'accueil pour simuler un cas potentiel de mauvaise installation sur les chantiers. Malgré cela, aucun connecteur d'ancrage n'a cédé et il n'y avait aucun signe de déclouage ou d'abandon de charge, avec, cependant, un léger soulèvement au centre, supérieur à celui observé lors de l'essai 3, comme illustré à la Figure 59.

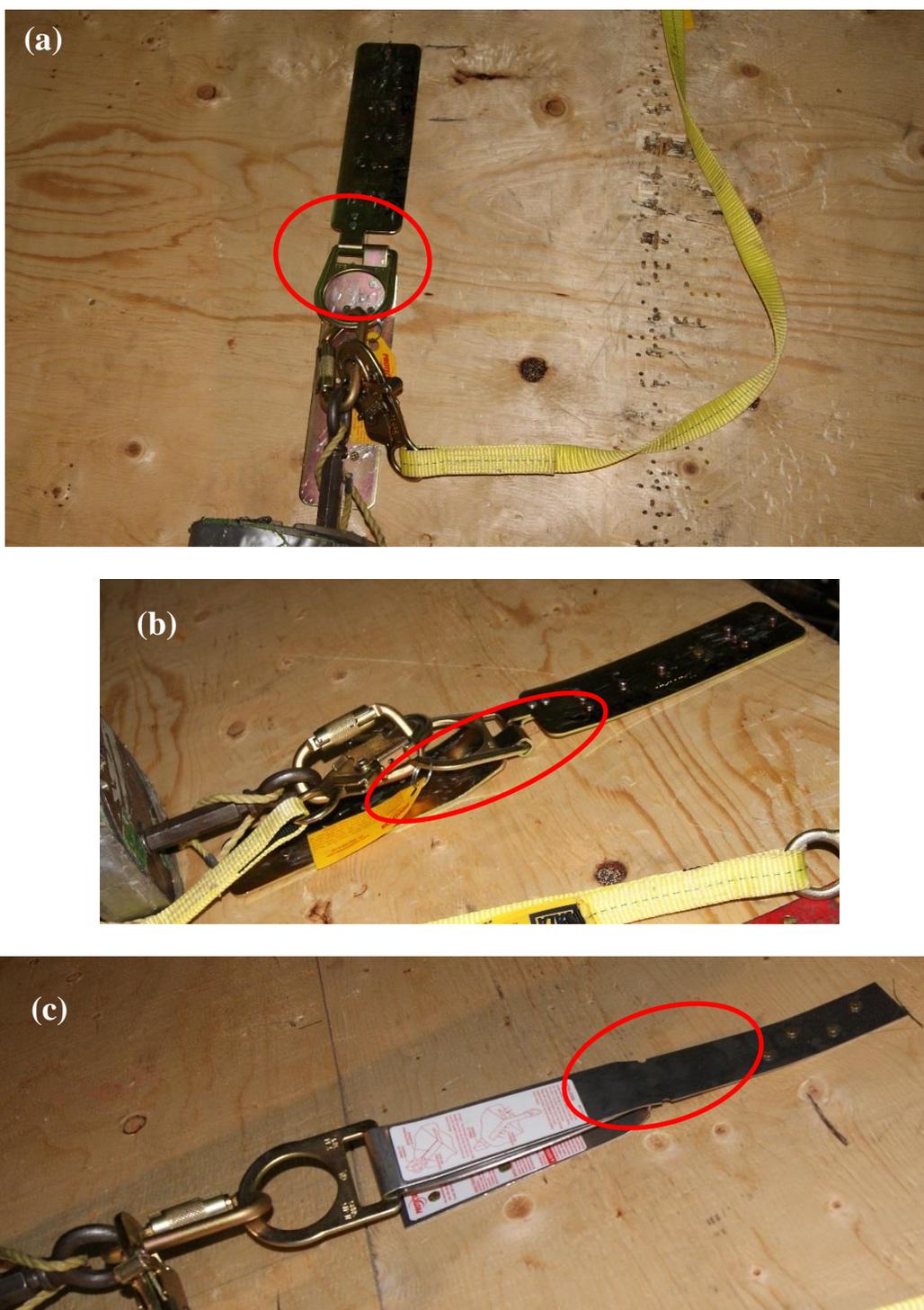


Figure 59 - Soulèvement des connecteurs d'ancrage pour l'essai 4 du: (a) DBI; (b) Protecta; (c) Ridge.

Les essais 7, 8 et 9 ont été réalisés pour vérifier la résistance des connecteurs d'ancrage et de la structure d'accueil en engendrant des forces maximales dans le système d'arrêt de chute afin de simuler la rupture. Pour ce faire, le cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie a été remplacé par un

cordons d'assujettissement à sangle en nylon 1 po sans absorbeur d'énergie et les essais ont été réalisés avec une hauteur de chute libre de 2,4 m.

Les essais 7, 8 et 9 ont débuté avec le connecteur d'ancrage Protecta. Lors de l'essai 7 avec ce connecteur d'ancrage, le crochet à ressort de la sangle en nylon d'un 1 po s'est rompu, comme illustré à la Figure 60 (a). Il y a eu un soulèvement du centre du connecteur d'ancrage d'environ 5 mm et la moitié des clous sur la patte supérieure ont été partiellement décloués [Figure 60 (b)]. Il y a eu abandon de charge et la masse d'acier a heurté le plancher.

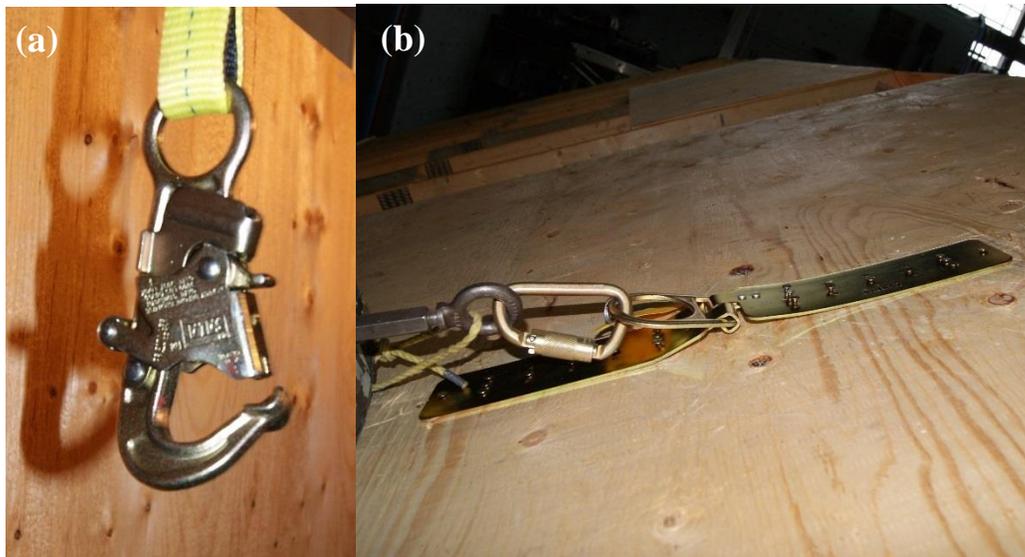


Figure 60 - Essai 7 avec le connecteur d'ancrage Protecta : (a) rupture du crochet à ressort du cordon d'assujettissement; (b) soulèvement et déclouage partiel de la patte supérieure du connecteur d'ancrage.

Lors de l'essai 8 avec le connecteur d'ancrage Protecta, la corniche de toiture a cédé [Figure 61].



Figure 61 - Rupture de la corniche de toiture lors de l'essai 8 avec le connecteur d'ancrage Protecta.

La Figure 62 illustre le soulèvement et le déclouage partiel du connecteur d'ancrage Protecta lors de l'essai 8. Le soulèvement est environ le même que celui constaté lors de l'essai 7. De plus, il s'est produit un endommagement de l'attache du crochet à ressort [Figure 63] du cordon d'assujettissement à sangle en nylon.



Figure 62 - Essai 8 avec le connecteur d'ancrage Protecta : soulèvement et déclouage partiel de la patte supérieure du connecteur d'ancrage.



Figure 63 - Essai 8 avec le connecteur d'ancrage Protecta : endommagement partiel de l'attache du crochet à ressort du cordon d'assujettissement à sangle en nylon.

La Figure 64 illustre le soulèvement et le déclouage partiels des clous de la patte supérieure observé après l'essai 9 sur le connecteur d'ancrage Protecta. La Figure 65 montre l'endommagement à la corniche causé par le cordon d'assujettissement à sangle en nylon.



Figure 64 - Essai 9 avec le connecteur d'ancrage Protecta : soulèvement et déclouage partiel de la patte supérieure du connecteur d'ancrage.



Figure 65 - Essai 9 avec le connecteur d'ancrage Protecta : endommagement de la corniche de la toiture.

Lors du premier essai avec le connecteur d'ancrage DBI, soit l'essai 7, il y a eu arrachement complet du connecteur d'ancrage [Figure 66] et abandon de charge, avec la masse d'acier terminant sa course en frappant le sol [Figure 67].



Figure 66 - Essai 7 sur le connecteur d'ancrage DBI : état du connecteur d'ancrage après l'essai.



Figure 67 - Essais 7 sur le connecteur d'ancrage DBI : chute au sol de la masse d'acier.

La rupture de ce connecteur d'ancrage et le degré d'endommagement du contreplaqué et de la ferme de toit sont peut-être dus aux clouages successifs des essais précédents. Dès lors, un madrier 2 po x 6 po a été ajouté pour reproduire les mêmes conditions d'ancrage pour les essais subséquents que ceux utilisés précédemment. Ce madrier a permis en même temps de doubler la ferme de toit en contact avec le contreplaqué [Figure 68].

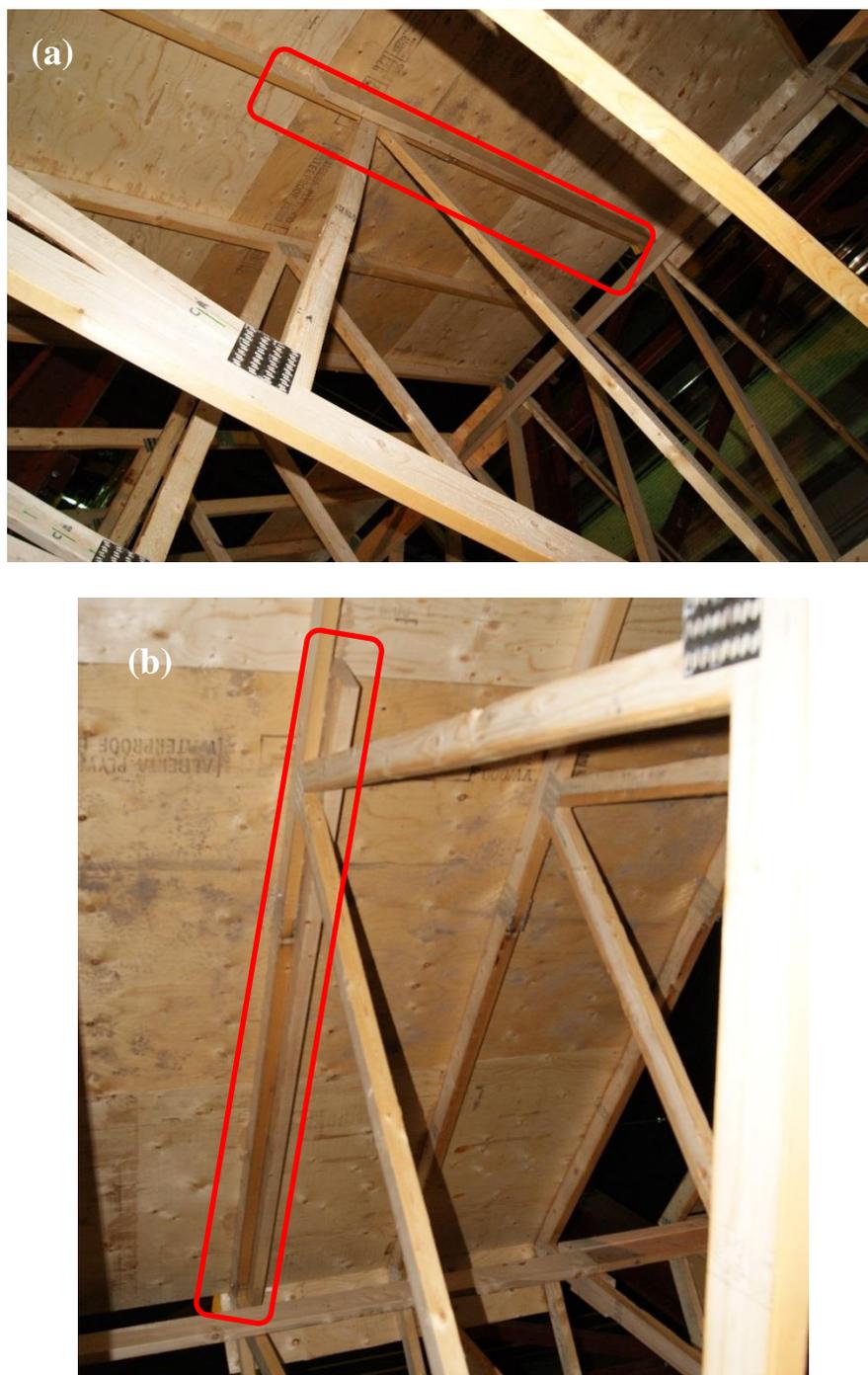


Figure 68 - Ajout du madrier 2 po x 6 po pour doubler la ferme de toit suite à l'arrachement d'un connecteur d'ancrage : vue du côté *est* de la ferme; (b) vue du côté *ouest* de la ferme.

Il n'y a pas eu de dommage supplémentaire à la corniche lors des essais 8 et 9 avec le connecteur d'ancrage DBI. Les soulèvements et le déclouage [Figure 69] se comparent aux essais sur les connecteurs d'ancrage Protecta.

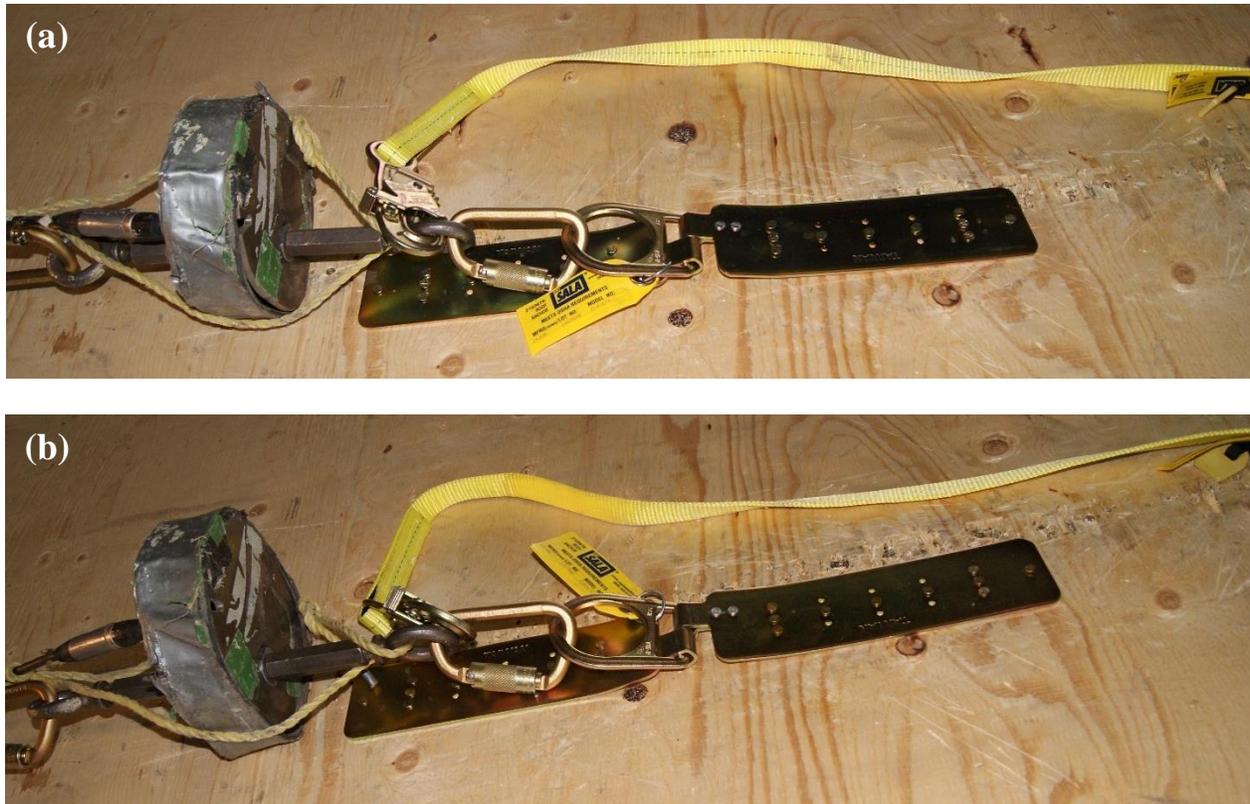


Figure 69 - Connecteur d'ancrage DBI : (a) soulèvement du connecteur d'ancrage et déclouage lors de l'essai 8 du Tableau 7; (b) soulèvement du connecteur d'ancrage et déclouage lors de l'essai 9.

La Figure 70 montre l'état du connecteur d'ancrage Ridge après l'essai 7. On observe que le point d'attache de l'anneau s'est déplacé. La ligne de pliage de la patte inférieure s'est aussi déplacée jusqu'au premier clou rencontré. Il n'y a eu aucun déclouage lors de cet essai.



Figure 70 - Essai 7 sur le connecteur d'ancrage Ridge : état du connecteur d'ancrage après l'essai.

La Figure 71 et la Figure 72 montrent l'état du connecteur d'ancrage Ridge après les essais 8 et 9 respectivement. Il y a eu déclouage complet du clou supérieur de la patte inférieure pour chacun des essais. Le clou suivant s'est soulevé légèrement. De même, la ligne de pliage s'est déplacée comme lors de l'essai 7, mais cette fois à la hauteur du deuxième clou.



Figure 71 - Essai 8 sur le connecteur d'ancrage Ridge : état du connecteur d'ancrage après l'essai.



Figure 72 - Essai 9 sur le connecteur d'ancrage Ridge : état du connecteur d'ancrage après l'essai.

4. DISCUSSION

La présente section discute des résultats obtenus lors des travaux en fonction des objectifs de cette activité qui consistaient à :

- 1- évaluer un SCAH conçu par un entrepreneur de construction des points de vue fiabilité, efficacité et convivialité en vue de l'améliorer;
- 2- effectuer des modifications nécessaires au SCAH;
- 3- vérifier la résistance des fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur selon les normes CAN/CSA Z259;
- 4- vérifier la résistance des fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil du SCAH selon les normes CAN/CSA Z259;
- 5- vérifier la résistance des fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil de six connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15.

4.1 Évaluation du SCAH

De par sa conception, le SCAH est :

- fiable, puisqu'il est fait principalement de membrures métalliques qui sont faciles à inspecter visuellement, et le travailleur est familier avec l'ensemble de ces membrures. Celles-ci ne se détériorent pas non plus aux rayons UV;
- efficace parce que sa conception est régie par les règles de l'art de la résistance des matériaux et des essais de chute dynamiques suivant les exigences des normes CAN/CSA Z259 en protection contre les chutes de hauteur;
- convivial parce que son poids a été considérablement réduit et cela facilite sa manipulation. De plus, il favorise la liberté de mouvement des travailleurs et offre la continuité du point d'attache aux cordons d'assujettissement et demande peu d'interventions pour activer la protection du travailleur, évitant l'interférence avec ses activités de travail. En ne s'attachant qu'une fois, le travailleur peut effectuer une séquence ininterrompue de travail et assurer sa sécurité pendant toute la durée de ses tâches.

4.2 Amélioration du SCAH

L'ancien potelet était fait de 3 HSS 2 po x 6 po x ¼ po soudés ensemble pour former un HSS équivalent à un HSS 6 po x 6 po x ¼ po. Le nouveau potelet est fait maintenant d'un HSS 5 po x 5 po x ¼ po [Figure 4], ce qui en réduit considérablement le poids. Riopel⁶ proposait un HSS 6 po x 6 po x ¼ po. La vérification par l'analyse structurale montre aussi qu'un HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) en aluminium pesant 43 kg convient aussi et serait plus facile à manipuler que le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) pesant 39 kg. Mais, le HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) étant plus lourd, le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm présente un avantage du côté poids et a donc été retenu comme potelet du SCAH.

⁶ Riopel, M. (2012). *Conception d'un dispositif de prévention des chutes*. Rapport de stage. Polytechnique Montréal

Les résultats des essais du Tableau 8 montrent que le potelet HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm choisi lors de l'analyse structurale a réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques de performance et de résistance du Tableau 3 comme ancrage d'un cordon d'assujettissement. De même, les résultats des essais du Tableau 9 montrent que les potelets HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm ont réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques de performance et de résistance du Tableau 4 comme ancrage du SCAH. Conséquemment, aucune modification n'a été effectuée aux membrures du SCAH et le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm a été retenu comme potelet du SCAH.

4.3 Fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil d'un potelet pour l'ancrage d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur

Les résultats des essais du Tableau 10 montrent que les fermes contreventées [Figure 53] suivant les pratiques courantes de chantier ont réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques de performance et de résistance du Tableau 5 comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur avec le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme ancrage. Lors du premier essai de résistance (essai 4) du Tableau 5, le contreventement de la structure d'accueil a subi de légers endommagements sur le longeron sous le faîte de toit [Figure 50]. Il a été réparé avant d'effectuer les essais 5 et 6.

4.4 Fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil d'un SCAH

Les résultats des essais du Tableau 11 montrent que les fermes contreventées [Figure 53] suivant les pratiques courantes de chantier, ont permis d'arrêter la chute du torse de bois. Néanmoins des dommages ont été observés lors de l'essai 1 du Tableau 6 et un renforcement a été nécessaire pour continuer le programme d'essai. En effet, lors de cet essai, la diagonale et la lisse supérieure du contreventement des fermes à la hauteur du faîte ont cédé à la poussée engendrée par le potelet *ouest* [Figure 54]. La structure fut renforcée par la suite par la pose de plusieurs madriers supplémentaires à chacune extrémité de la toiture, soit les madriers qui apparaissent en rouge à la Figure 53.

La structure de fermes avec le contreventement renforcé a réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques de performance et de résistance comme structure d'accueil du SCAH avec des HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm comme montant du SCAH. À la lumière de ces résultats, il nous paraît primordial de contreventer *a minima* avec le contreventement renforcé sur la charpente reconstituée pour l'étude [Figure 53], tout en prenant bien soin de créer une continuité dans le contreventement installé sur les membrures verticales.

4.5 Fermes contreventées suivant les pratiques usuelles sur les chantiers comme structure d'accueil pour les connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15

4.5.1 Essais dynamiques de performance

Des essais ont été effectués sur les connecteurs d'ancrage DBI, Protecta et Ridge puisque les autres connecteurs d'ancrage choisis n'étaient pas disponibles. Les résultats obtenus avec les connecteurs

d'ancrage DBI, Protecta et Ridge peuvent être extrapolés aux autres connecteurs d'ancrage non testés, car d'après leurs fiches techniques, ils sont de conception similaire et fabriqués par la même entreprise.

Les résultats des essais du Tableau 12 montrent que les fermes contreventées renforcées [Figure 53] suivant les pratiques courantes de chantier ont réussi l'ensemble des essais de chute dynamiques de performance comme structure d'accueil des connecteurs d'ancrage DBI, Protecta et Ridge certifiés CSA Z259.15 installés suivant les instructions du fabricant avec le nombre de clous recommandés sur un chevron. Lors des essais 1 et 2, aucun dommage apparent n'a été observé aux connecteurs d'ancrage et à la structure d'accueil.

Lors des essais 3, avec les connecteurs d'ancrage assemblés aux chevrons des fermes avec un nombre réduit de clous pas complètement enfoncés (Protecta et DBI avec 3 clous par socle au lieu de 10, et Ridge avec 2 clous par socle au lieu de 4), de légers soulèvements ont été observés au centre de trois connecteurs d'ancrage. Même si aucun connecteur d'ancrage n'a cédé, ni aucun abandon de charge n'a été observé, il s'agit d'une pratique à proscrire sur les chantiers; les connecteurs d'ancrage doivent être installés suivant les instructions du fabricant.

Lors des essais 4, avec les connecteurs d'ancrage installés sur le contreplaqué seulement comme structure d'accueil, aucun connecteur d'ancrage n'a cédé et aucun signe de déclouage ni abandon des charges n'ont été observés. Il y a eu un léger soulèvement au centre des connecteurs d'ancrage. Bien que l'essai 4 ait été relativement concluant, cela nous a incité à la prudence et à proscrire l'utilisation du seul contreplaqué comme surface d'assise des connecteurs d'ancrage CAN/CSA Z259.15.

4.5.2 Essais dynamiques de résistance (rupture)

Les essais 7, 8 et 9 ont été réalisés avec un cordon d'assujettissement à sangle de nylon de 1 po de largeur, sans absorbeur d'énergie, avec une hauteur de chute libre de 2,4 m suivant l'alinéa 8.2.3.3 *Mode opératoire de l'essai de résistance dynamique initiale* de la norme CAN/CSA Z259.15, alors que les essais dynamiques de résistance usuels sont réalisés avec un cordon d'assujettissement en nylon 3 brins, 5/8 po de diamètre, sans absorbeur d'énergie avec une hauteur de chute libre de 1,2 m. Les essais 7, 8 et 9 sont des essais très sévères de certification des connecteurs d'ancrage à la norme CAN/CSA Z259.15 et ne conviennent pas pour vérifier la résistance des structures d'accueil. Par ailleurs, les forces maximales d'arrêt moyennes mesurées lors de ces essais dans les cordons d'assujettissement sont : 18 kN pour le connecteur d'ancrage DBI, 14,4 kN pour le connecteur d'ancrage Protecta et 14,5 kN pour le connecteur d'ancrage Ridge. Ce sont des forces d'arrêt maximales qui ne seront jamais atteintes avec l'absorbeur d'énergie E4 dans le cordon d'assujettissement.

Les principales observations colligées lors de ces essais sont les suivantes:

Essai 7

- il y a eu arrachement complet du connecteur d'ancrage DBI et la masse d'essai s'est retrouvée au sol. Après cette rupture d'ancrage, il fut décidé d'ajouter un madrier 2 po x 6 po pour offrir un ancrage neuf aux essais subséquents puisqu'il est fort possible que les essais précédents aient endommagé le contreplaqué de la toiture;
- avec le connecteur d'ancrage Protecta, le crochet à ressort de la sangle d'essais en nylon 1 po s'est rompu, avec un soulèvement de 5 mm au centre du connecteur d'ancrage, la moitié des clous sur la patte supérieure a été partiellement déclouée et la masse d'acier a terminé sa course sur le sol;

- avec le connecteur d'ancrage Ridge, les clous sont demeurés enfoncés.

Essai 8

- avec le connecteur d'ancrage DBI, il n'y a pas eu de dommage supplémentaire à la corniche et le soulèvement et le déclouage se comparent avec le résultat obtenu par les connecteurs d'ancrage Protecta;
- la corniche a cédé avec le connecteur d'ancrage Protecta. Il y a eu soulèvement et déclouage partiels avec un endommagement de l'attache du crochet à ressort du cordon d'assujettissement;
- le clou supérieur de la patte inférieure du connecteur d'ancrage Ridge s'est complètement décloué alors que le clou suivant s'est soulevé légèrement.

Essai 9

- il n'y a pas eu de dommage supplémentaire à la corniche avec le connecteur d'ancrage DBI et le soulèvement et le déclouage se comparent avec le résultat obtenu par les connecteurs d'ancrage Protecta;
- avec le connecteur d'ancrage Protecta, il y a eu soulèvement du connecteur d'ancrage, déclouage partiel de la patte supérieure et endommagement de la corniche par la sangle de nylon;
- le clou supérieur de la patte inférieure du connecteur d'ancrage Ridge s'est complètement décloué alors que le clou suivant s'est soulevé légèrement.

Les essais 7, 8 et 9 ont effectivement simulé la rupture des fermes contreventées renforcées comme structure d'accueil des connecteurs d'ancrage certifiés CAN/CSA Z259.15. Cependant, à la lumière des résultats d'essais de performance, les fermes contreventées renforcées de la Figure 53 peuvent être utilisées comme structure d'accueil des connecteurs d'ancrage CAN/CSA Z259.15 installés suivant les instructions du fabricant.

4.6 Portée et limites de l'étude

L'étude a démontré la fonctionnalité du SCAH sur une charpente domiciliaire en cours de construction. Néanmoins pour que le système soit efficace, il faut que le contreventement de la charpente soit fait correctement et corresponde *a minima* aux recommandations de « contreventement renforcé » présentées dans ce rapport. Par ailleurs, le SCAH en lui-même doit être correctement installé sur la charpente. Un guide de présentation du système et d'installation est en cours de préparation en partenariat avec l'ASP construction et sera disponible sur le site web de l'IRSST.

Les essais dynamiques de chute effectués sur les connecteurs d'ancrage ont montré la performance et la résistance de ce type de connecteur d'ancrage lorsqu'ils sont installés selon les recommandations des fabricants. Le nombre de configurations d'essais étant relativement limité, il faudrait éventuellement faire des études subséquentes pour valider la résistance de ces connecteurs d'ancrage dans différentes situations d'utilisation.

5. CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Les travaux entrepris dans le cadre de cette étude ont permis d'évaluer et d'optimiser le SCAH fait de deux profilés HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium et d'une corde d'assurance normalisée Sayflin de DBI Sala comme corde d'assurance. L'analyse structurale conformément aux méthodes classiques de la résistance des matériaux, le code de l'aluminium CAN S157 et les essais selon les exigences des normes CAN/CSA Z259 sur la protection contre les chutes ont permis de vérifier la performance et la résistance de 1) chacune des membrures composant le SCAH et 2) des fermes contreventées renforcées [Figure 53] suivant les pratiques qui ont cours dans les chantiers de construction domiciliaire comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur, du SCAH et des connecteurs d'ancrage normalisés CSA Z259.15.

Les résultats des essais de performance et de résistance montrent que le système de corde d'assurance horizontale et les fermes contreventées renforcées [Figure 53] suivant les pratiques qui ont cours sur les chantiers ont réussi l'ensemble des essais de chute de performance et de résistance effectués lors du programme d'essai. Le SCAH peut donc être utilisé comme un dispositif antichute sécuritaire et les fermes contreventées renforcées suivant les pratiques qui ont cours sur les chantiers peuvent être utilisées comme structure d'accueil d'un cordon d'assujettissement d'un travailleur, du SCAH et des connecteurs d'ancrage CAN/CSA Z259.15 installés suivant les indications du manufacturier.

De plus, le SCAH de l'entrepreneur a été amélioré en diminuant considérablement le poids des potelets d'environ 60 %, ce qui a permis de réduire le poids total du SCAH de 30 % environ. Le SCAH permet aux travailleurs une mobilité accrue et les protège pendant toute la durée de leur tâche tout en favorisant la productivité; il constitue une protection adéquate contre les chutes de hauteur lors de la pose des toitures résidentielles. Il est toutefois important de noter que le SCAH requiert un moyen mécanique de levage pour sa mise en place et pour son enlèvement. De plus, il ne convient pas pour des toitures existantes puisqu'il n'est pas facile d'assembler correctement les potelets à la toiture.

Il est à espérer que la version améliorée du SCAH, vérifiée et validée par des essais normalisés CAN/CSA Z259, facilitera son utilisation sur les chantiers. À cette fin, une activité de valorisation est prévue afin de produire les plans, les documents de fabrication du SCAH avec/sans le tendeur et un manuel d'utilisation afin de favoriser son utilisation sur les chantiers de toiture.

BIBLIOGRAPHIE

- Alaurent, R., J. Arteau, P.C. Wing, J-F. Corbeil, L. Desbois, D. Fortin et A. Lan. (1992). *Conception De Câbles De Secours Horizontaux* (1992). 4. Notes de cours, École Polytechnique de Montréal
- AQFSB. (2009a). Association québécoise des fabricants de structures de bois. *Guide d'installation et de contreventement des fermes de toit de longue portée*. Victoriaville, Québec.
- AQFSB. (2009b). Association québécoise des fabricants de structures de bois. *Liens continus, montage et contreventement des fermes de toit*. Victoriaville, Québec.
- Arteau, J., Lan, A. (1991). *Protection contre les chutes de hauteur - Conception de câbles de secours horizontaux*. Études et recherches / Guide technique T-18. Montréal, IRSST, 1991, 56 pages.
- CAN/CSA-S157. (2000). Canadian Standards Association. *Norme nationale du Canada pour le calcul de la résistance mécanique des éléments en aluminium*. Rexdale, Ontario, CSA, 2000.
- CAN/CSA Z259.10. (2012). Canadian Standards Association. *Norme nationale du Canada sur les harnais de sécurité*. Mississauga, Ontario.
- CAN/CSA Z259.11. (2010). Canadian Standards Association. *Norme nationale du Canada sur les absorbeurs d'énergie et cordons d'assujettissement*. Mississauga, Ontario.
- CAN/CSA-S16-09. (2014). Canadian Institute of Steel Construction. *Canadian national standard for Limit States Design of Steel Structures*. Willowdale, Ontario CSIC.
- CAN/CSA Z259.15. (2012). Canadian Standard Association. *Norme nationale du Canada sur les connecteurs d'ancrage*. Mississauga, Ontario.
- CECOBOIS. (2011). Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois. *Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale*. Québec. Québec.
- CNBC. (2010). Conseil national de recherches Canada. *Code National du bâtiment du Canada*. Ottawa, Ontario.
- Dupont, L. (2010). « Les Câbles de Secours Horizontaux : Une "Ligne De Vie" À L'horizontale ». *Prévention au travail*, vol. Printemps 2010, (2010).
- Duguay, P., Massicotte, P. (2007). *Décès indemnisés à la suite d'une lésion professionnelle: Comparaison entre le Québec, l'Ontario et la Colombie-Britannique, 1997-2003*. Études et recherche. Rapport, Montréal, IRSST.
- Lan, A., Daigle, R. (2011). *Système d'ancrage de garde-corps sur toits plats pour couvreurs*. Études et recherches. Rapport R-678, Montréal, IRSST, 74 pages.
- Lan, A., Daigle, R. (2008). *Résistance du point d'ancrage d'un système d'arrêt de chute et de positionnement pour les poseurs d'acier d'armature*. Études et recherches / Rapport R-550, Montréal, IRSST, 2008, 40 pages.
- Lan, A., Arteau, J., Sirard, C. (2004). « Method for validating a multi-component safety system ». *Safety Science*, Volume 46, Issue 6, 2004, p. 493-517.
- OSHA. (1998). *Part 1926 Subpart M CFR 1926.500 - Fall Protection for the Construction Industry*. U.S. Department of Labor, Washington, DC.

RSST. (2013). *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*. Éditeur officiel du Québec. Québec. 2013.

S-2.1, r.4. (2013). *Code de sécurité pour les travaux de construction du Québec*. Les Publications du Québec, Gouvernement du Québec. Québec.

SCHL. (2015). *Construction de maison à ossature de bois - Canada*. Société canadienne d'hypothèques et de logement. Repéré à <http://www.schl.ca>. 2013. (dernière consultation juillet 2015).

ANNEXE A - ÉVALUATION DU SCAH

A.1 Analyse structurale

L'objectif de cette analyse structurale vise : 1) à montrer qu'il est nécessaire d'inclure un absorbeur d'énergie dans le SCAH afin de limiter les forces dans la structure d'accueil et 2) à optimiser le SCAH. Pour un SCAH similaire à celui de l'entrepreneur de construction domiciliaire, fait d'un câble d'acier IWRC de 8 mm de diamètre, tendu initialement à 891,82 N (200 lb), avec un porte-à-faux de 54 po, de 1,83 à 10 m de portée, avec un absorbeur d'énergie E4 conforme à la norme CAN/CSA Z259.11 qui limite la forme maximale d'arrêt à 4 kN, la force maximale d'ancrage calculée avec les abaques de l'IRSST (Arteau et Lan, 1991) est environ 18,75 kN lors d'un arrêt d'une chute accidentelle.

A.1.1 Vérification du SCAH

Force maximale d'ancrage $T = 18,75$ kN

Porte-à-faux $H = 54$ po = 1,37 m

Portée du câble = 1,83 m (6 pi)

La figure A.1 illustre le diagramme de corps libre des forces agissant sur le SCAH. La figure A.2 illustre les sollicitations sur les membrures du SCAH.

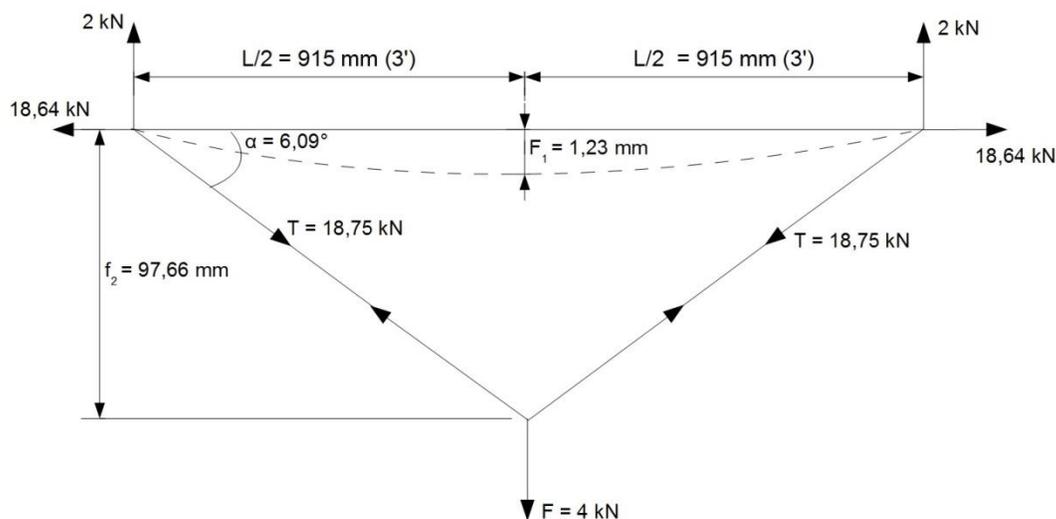


Figure A.1 - Forces agissant sur les ancrages.

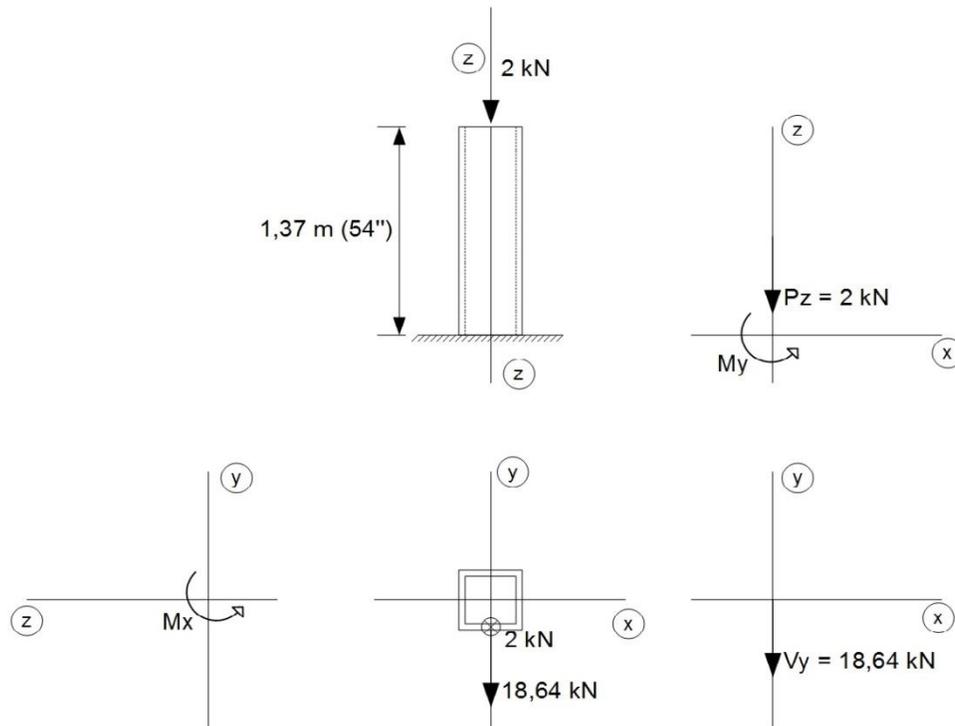


Figure A.2 - Sollicitations de membrures.

A.1.2 Efforts agissant à l'ancrage du câble

De la Figure A.1 :

Effort dans le câble $T = 18,75$ kN

Effort vertical à l'ancrage du câble $= T \sin \alpha = 18,75 \sin 6,09 = 1,99$, soit 2 kN

Effort horizontal à l'ancrage du câble $T_2 = T \cos \alpha = 18,75 \cos 6,09 = 18,64$ kN

Hauteur en porte-à-faux = 1,37 m (54")

Avec les axes x , y et z choisis de la figure A.2, ces efforts créent à la base du potelet, la section la plus soumise à des forces extérieures, les sollicitations suivantes :

$P_z =$ effort axial $= 2$ kN

$V_y =$ effort tranchant $= 18,64$ kN

$M_x =$ moment fléchissant $= 18,64 \times 1,37 + 2 \times 0,051/2 = 25,59$ kN·m

$M_y =$ moment fléchissant $= 0$

A.1.3 Sollicitations maximales pondérées

Selon l'alinéa 7.2.1 du *Handbook of Steel Construction* (HSC), la membrure doit être conçue de sorte que sa résistance pondérée soit supérieure ou égale aux effets des charges pondérées. Cela s'exprime par l'équation suivante :

$$\phi R \geq \Sigma \alpha_i S_i$$

avec :

ϕR : résistance pondérée, calculée avec la norme S-16-09;

$\Sigma \alpha_i S_i$: effet de charges pondérées calculé suivant l'alinéa 4.1.3.2 du Code national du bâtiment du Canada (CNBC);

α_i : coefficients des pondérations des charges, donnés par le CNBC

ϕ : coefficient de pondération de la résistance, donné par le CNBC.

L'alinéa 4.1.2.1. du CNBC énumère l'ensemble des charges qui peuvent agir sur une membrure/structure. Pour le SCAH, seules la charge permanente D et la surcharge L (force maximale d'ancrage) agissent sur le SCAH. Le Tableau 4.1.3.2.A. donne les combinaisons suivantes de la charge permanente et de la surcharge L (force maximale d'ancrage) agissant sur le SCAH :

1. 1,4D
2. (1,25 ou 0,9D) + 1,5L

En négligeant le poids propre du SCAH par rapport à la force maximale d'ancrage, la combinaison des charges la plus critique est 1,5L.

D : charge permanente;

L : surcharge d'exploitation.

Les sollicitations pondérées agissant sur le SCAH sont :

$$P_{fz} = 1,5L = 1,5 \times 2 = 3 \text{ kN}$$

$$V_{fy} = 1,5V_y = 1,5 \times 18,64 = 27,96 \text{ kN}$$

$$M_{fx} = 1,5M_y = 1,5 \times 25,59 = 38,38 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{fy} = 0$$

Pour le potelet de 1,37 m, le rapport d'élanement KL est pris égal à 1 500 mm (1,5 m). La flexion et le cisaillement des potelets en acier, conçus selon le Code de design de l'acier CAN/CSA-S-16.1 et des potelets en aluminium du SCAH, conçus selon le Code de design de l'aluminium CAN3-S157-M83, doivent faire l'objet d'une vérification.

A.1.4 Vérification de la flexion

D'après l'alinéa 13.8.3 du HSC, le potelet du SCAH, soit une membrure autre qu'un profilé en I, résistant à la fois à la flexion et à la compression axiale doit être conçu de telle sorte que :

$$\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$$

avec :

C_f : Charge de compression pondérée;

C_r : Résistance à la compression pondérée;

$U_{1x} = 1$ pour une membrure non contreventée;

$U_{1y} = 1$ pour une membrure non contreventée;
 M_{fx} : moment fléchissant pondéré, axe x;
 M_{fy} = moment fléchissant pondéré, axe y;
 M_{rx} = moment fléchissant résistant pondéré, axe x;
 M_{ry} = moment fléchissant résistant pondéré, axe y.

A.1.5 Vérification du cisaillement

D'après l'alinéa 13.4.1.3 du HSC, la résistance pondérée au cisaillement d'un profilé tubulaire de classe 1 et 2, où le flambement local des parois est empêché, est donnée par:

$$V_r = 0,66\phi(A/2)F_y$$

avec:

V_r = résistance pondérée au cisaillement;
 $\phi = 0,9$;
 A = aire du profilé tubulaire;
 F_y = limite élastique.

A.1.6 Vérification du SCAH de l'entrepreneur de construction domiciliaire

De la section A.1.2.:

$P_{fz} = 1,5L = 1,5 \times 2 = 3 \text{ kN}$
 $V_{fy} = 1,5V_y = 1,5 \times 18,64 = 27,96 \text{ kN}$
 $M_{fx} = 1,5M_y = 1,5 \times 25,59 = 38,38 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Une vérification rapide avec le HSC et le CAN3-S157 montre :

- 1) le potelet du SCAH de l'entrepreneur, fait de 3 HSS 2 po x 6 po est surdimensionné;
- 2) un profilé qu'un HSS 114 mm x 114 mm x 8 mm (4½ po x 4½ po x 5/16 po) avec $M_r = 39,7 \text{ kN}\cdot\text{m}$ en acier ou un HSS 127 mm x 127 mm x 9,5 mm (5 po x 5 po x 3/8 po) en aluminium avec $M_r = 39,50 \text{ kN}\cdot\text{m}$ convient pour résister à ces sollicitations.

Ces profilés sont lourds, ce qui va à l'encontre de l'objectif de l'étude qui vise à optimiser le SCAH. Par conséquent, afin de limiter la force maximale d'ancrage dans le SCAH, un absorbeur d'énergie limitant la force maximale d'ancrage à 11,36 kN (2 500 lb) est utilisé. Cet absorbeur était déjà présent dans le SCAH original.

A.2 Optimisation du SCAH - Utilisation d'un absorbeur d'énergie dans le CSH

Avec l'absorbeur d'énergie de 11,36 kN intégré à la corde d'assurance horizontale, trois profilés semblent prometteurs, soit :

1. HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm (3½ po x 3½ po x 3/8 po) en acier
2. HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) en aluminium
3. HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) en aluminium

A.2.1 Vérification d'un HSS en acier 89 mm x 89 mm x 9,5 mm (3½ po x 3½ po x 3/8 po) avec l'absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb)

Du *Handbook of Steel Construction* (HSC), pour un HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm:

$$M_r = 25,4 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$C_r = 725,50 \text{ kN (par interpolation pour } kL = 1500 \text{ mm)}$$

$$T = 11,36 \text{ kN (2 500 lb)}$$

avec $T = 11,36 \text{ kN}$, les sollicitations pondérées sont:

$$P_{fz} = 1,5 \times 2 = 3 \text{ kN}$$

$$V_{fy} = 1,5 \times 11,36 = 17,04 \text{ kN}$$

$$M_{fx} = 1,5 \times 15,65 = 23,48 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{fy} = 0$$

A.2.2 Vérification de la flexion

$$\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$$

$$\frac{3}{725,5} + \frac{1 \times 23,48}{25,4} + \frac{1 \times 0}{25,4} \leq 1$$

$$0,414 + 0,92 + 0 = 0,93 \leq 1 \text{ OK}$$

A.2.3 Vérification du cisaillement

$$V_{fy} = 17,04 \text{ kN}$$

$$V_r = 0,66\phi(A/2)F_y$$

$$V_r = 0,66 \times 0,9 \times (2790/2)350 = 290020,5 \text{ N} = 290 \text{ kN}$$

$$V_r = 290 \text{ kN} \geq V_{fy} = 17,04 \text{ kN}$$

OK

Puisque c'est la flexion qui gouverne, le HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm en acier est adéquat pour utiliser un absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb) dans le SCAH.

A.2.4 Vérification du dégagement minimal

Lors de l'arrêt de la chute, l'absorbeur d'énergie dans le SCAH va se déployer et il faut vérifier le dégagement minimal sous le système de SCAH avec les données du fabricant de l'absorbeur d'énergie pour s'assurer que le travailleur ne heurte pas le plancher.

Le calcul du dégagement (D) nécessaire pour un travailleur retenu par un SCAH se fait de la façon suivante :

$$D = f_2 + L_l + d_a + h_t + d_s + e_h \quad (1)$$

où L_l est la longueur du cordon d'assujettissement (1,2 m ou 1,8 m), d_a est la longueur de déploiement de l'absorbeur d'énergie (max 1,2 m pour un absorbeur de classe E4, 1,8 m pour un absorbeur de classe E6), h_t est la hauteur de l'anneau en D par rapport aux pieds du travailleur (en m), d_s est la distance de sécurité (1 m pour un SCAH, comme défini dans la CAN/CSA Z259.13), et e_h l'étirement du harnais (environ 0,2 m).

Ce calcul est conservateur puisque le déploiement moyen de l'absorbeur d'énergie (d_a) peut se calculer avec l'équation suivante (principe de conservation d'énergie) :

$$d_a = \frac{Wh}{F_m - W} \quad (2)$$

avec h la hauteur de chute libre (en m), W le poids du travailleur en N (incluant son équipement), et F_m la force moyenne de déploiement de l'absorbeur (entre 2,5 et 2,8 kN pour un absorbeur de classe E4 comme observé lors des essais dynamiques de chute, ou $0,8 \times 4 = 3,2$ kN selon la norme CAN/CSA Z259.16, environ 4,8 kN pour un absorbeur de classe E6).

Par exemple, pour une chute libre de 1,2 m et un travailleur de 100 kg :

$$d_a = \frac{100 \times 9,81 \times 1,2}{2600 - 100 \times 9,81} = 0,727 \text{ m} \quad (3)$$

en considérant une force de déchirement de 2,6 kN, telle qu'observée lors des essais de laboratoire. Si une force de 3,2 kN était considérée, le déploiement de l'absorbeur serait de 52 cm.

A.3 Vérification d'un HSS en aluminium 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) avec l'utilisation de l'absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb)

Pour l'aluminium 6061 - T6, du Tableau 2.2 du CAN3-S157-M83, $F_y = 240$ MPa.

Du HSC, pour un HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm en acier:

$$M_r = 34,7 \text{ kN.m}$$

$$C_r = 904 \text{ kN (par interpolation pour } kL = 1500 \text{ mm)}$$

Pour un HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm en aluminium

$$M_r = (34,7 \times 240)/350 = 23,79 \text{ kN.m (au prorata } F_y \text{ aluminium}/F_y \text{ Acier)}$$

$$C_r = (904 \times 240)/350 = 619,9 \text{ kN (par interpolation pour } kL = 1500 \text{ mm)}$$

Avec un absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb) dans le système de SCAH, les sollicitations pondérées à la base du potelet, soit la section la plus soumise aux forces extérieures, sont (section 3.1.3.1):

$$P_{fz} = 1,5 \times 2 = 3 \text{ kN}$$

$$V_{fy} = 1,5 \times 11,36 = 17,04 \text{ kN}$$

$$M_{fx} = 1,5 \times 15,65 = 23,48 \text{ kN.m}$$

$$M_{fy} = 0$$

A.3.1 Vérification de la flexion

$$\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$$

$$\frac{3}{619,9} + \frac{1 \times 23,48}{23,79} + \frac{1 \times 0}{23,79} \leq 1$$

$$0,00484 + 0,98697 + 0 = 0,99 \leq 1 \quad \text{OK}$$

A.3.2 Vérification du cisaillement

$$V_{fy} = 17,04 \text{ kN}$$

$$V_r = 0,66\phi(A/2)F_y$$

$$V_r = 0,66 \times 0,9 \times (3000/2) \times 240 = 213840 \text{ N} = 214 \text{ kN}$$

$$V_r = 213,84 \text{ kN} \geq V_{fy} = 17,04 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Puisque c'est la flexion qui gouverne, le HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm en aluminium est adéquat pour l'utilisation d'un absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb) dans le SCAH.

A.3.3 Vérification du dégagement minimal

Voir la sous-section A.2.4.

A.4 Vérification d'un HSS en aluminium HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) avec l'utilisation de l'absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb)

Pour l'aluminium 6061 - T6, Tableau 2.2 du CAN3-S157-M83, $F_y = 240 \text{ MPa}$.

Du HSC, pour un HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en acier:

$$M_r = 37,6 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$C_r = 775,08 \text{ kN (par interpolation pour } kL = 1\,500 \text{ mm)}$$

Pour un HSS 127 mm x 127 mm x 9,5 mm en aluminium

$$M_r = (37,6 \times 240) / 350 = 25,78 \text{ kN}\cdot\text{m (au prorata } F_y \text{ aluminium}/F_y \text{ Acier)}$$

$$C_r = (775,08 \times 240) / 350 = 535,5 \text{ kN}$$

Avec un absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb) dans le système de SCAH, les sollicitations pondérées à la base du potelet, soit la section la plus soumise aux forces extérieures, sont (sous-section 3.1.3.1):

$$P_{fz} = 1,5 \times 2 = 3 \text{ kN}$$

$$V_{fy} = 1,5 \times 11,36 = 17,04 \text{ kN}$$

$$M_{fx} = 1,5 \times 15,65 = 23,48 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{fy} = 0$$

A.4.1 Vérification de la flexion

$$\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$$

$$\frac{3}{535,5} + \frac{1 \times 23,48}{25,78} + \frac{1 \times 0}{25,78} \leq 1$$

0,56 + 0,9108 + 0 = 0,92 ≤ 1, le profilé est légèrement surdimensionné, mais OK.

A.4.2 Vérification du cisaillement

$$V_{fy} = 17,04 \text{ kN}$$

$$V_r = 0,66\phi(A/2)F_y$$

$$V_r = 0,66 \times 0,9 \times (2690/2) \times 240 = 191743 \text{ N} = 192 \text{ kN}$$

$$V_r = 191,74 \text{ kN} \geq V_{fy} = 17,04 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Puisque c'est la flexion qui gouverne, le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm en aluminium est légèrement surdimensionné avec l'utilisation d'un absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb) dans le SCAH, mais il est retenu comme potelet du SCAH.

A.4.3 Vérification du dégagement minimal

Voir la sous-section A.2.4.

A.5 Récapitulatif de l'analyse structurale

Le Tableau 1 résume la vérification du système de SCAH avec un porte-à-faux de 54 po = 1,37 m, avec un absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH fait d'un :

- HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm (3½ po x 3½ po x 3/8 po) en acier;
- HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) en aluminium;
- HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po) en aluminium.

Cette analyse structurale du SCAH suivant les méthodes classiques de la résistance des matériaux, les normes de conception CAN/CSA-S157 *Calcul de la résistance mécanique des éléments en aluminium* (CAN/CSA-S157, 2000) et CAN/CSA-S16-1 *Limit States Design of Steel Structures* ainsi que le Code national du bâtiment du Canada (CNBC) montre que le prototype du SCAH, fait d'un assemblage de 3 profilés en aluminium de type HSS 2 po x 6 po (équivalent à 6 po x 6 po) soudés ensemble, est nettement surdimensionné, puisqu'un profilé HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (4 po x 4 po x 3/8 po) en aluminium constitue un profilé adéquat pour les potelets du SCAH.

Le HSS 89 mm x 89 mm x 9,5 mm de 4,87 m (3½ po x 3½ po x 3/8 po x 16 pi) en acier de charpente, quoique adéquat, est à rejeter à cause de son poids (107 kg) puisque celui-ci va à l'encontre de l'objectif de l'étude. Le HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm, de 4,87 m (4 po x 4 po x 3/8 po x 16 pi) en aluminium

est un profilé plus léger. Il aurait pu être choisi pour fabriquer les potelets du SCAH, mais étant cher et disponible sur commande seulement, il n'a pas été retenu. À la place, le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm (5 po x 5 po x ¼ po), quoique légèrement surdimensionné, est plus léger que le HSS 102 mm x 102 mm x 9,5 mm (39 kg par rapport à 43 kg). Le HSS 127 mm x 127 mm x 6,4 mm est aussi disponible commercialement. Il a donc été retenu pour fabriquer les potelets du SCAH.

Tableau A.1 - Résumé de la vérification du SCAH avec un porte-à-faux de 54 po = 1,37 m, avec un absorbeur d'énergie de 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH.

| Système de corde d'assurance horizontale (SCAH) | Vérification à la flexion | Vérification à l'effort tranchant | Analyse* | Longueur | Poids | Conclusion Choix du potelet |
|--|--|-------------------------------------|---|-------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Potelets en acier : HSS 3½ po x 3½ po x 3/8 po (89 mm x 89 mm x 9,5 mm) Porte-à-faux de 54 po = 1,37 m Absorbeur d'énergie: 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH. | $\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$ $\frac{3}{725,5} + \frac{1 \times 23,48}{25,4} + \frac{1 \times 0}{25,4} \leq 1$ 0,00414 + 0,92 + 0 = 0,93 ≤ 1 OK | $V_f \leq V_r$ 17 kN ≤ 290 kN OK | SCAH OK puisque c'est la flexion qui gouverne | 4,87 m (16 pi) | 107 kg (235 lb) | Trop pesant, à rejeter |
| Potelets en aluminium : HSS 4 po x 4 po x 3/8 po (102 mm x 102 mm x 9,5 mm) Porte-à-faux de 54 po = 1,37 m Absorbeur d'énergie : 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH. | $\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$ $\frac{3}{619,9} + \frac{1 \times 23,48}{23,79} + \frac{1 \times 0}{23,79} \leq 1$ 0,00484 + 0,98 + 0 = 0,99 ≤ 1 OK | $V_f \leq V_r$ 17 kN ≤ 214 kN OK | SCAH OK puisque c'est la flexion qui gouverne | 4,87 m (16 pi) | 43 kg (95 lb) OK | OK |
| Potelets en aluminium**: HSS 5 po x 5 po x ¼ po (127 mm x 127 mm x 6,4 mm) Porte-à-faux de 54 po = 1,37 m Absorbeur d'énergie : 11,36 kN (2 500 lb) sur le SCAH | $\frac{C_f}{C_r} + \frac{U_{1x}M_{fx}}{M_{rx}} + \frac{U_{1y}M_{fy}}{M_{ry}} \leq 1$ $\frac{3}{535,5} + \frac{1 \times 23,48}{25,78} + \frac{1 \times 0}{25,78} \leq 1$ 0,0056 + 0,91 + 0 = 0,92 ≤ 1 OK | $V_f \leq V_r$ 17 kN ≤ 192 kN OK | SCAH légèrement surdimensionné puisque c'est la flexion qui gouverne | 4,87 m (16 pi) | 39 kg (87 lb) OK | OK Choix retenu comme potelet |

Note: Masse volumique de l'aluminium 6061 T6 = 2700 kg/m³; Masse volumique de l'acier de charpente = 7850 kg/m³

* Reste à vérifier le dégagement minimal avec les données techniques de l'absorbeur d'énergie du fabricant (sous-section 1.2.4)

** Retenu comme potelet du SCAH



La RECHERCHE à L'ÉCOUTE des MILIEUX DE TRAVAIL

www.irsst.qc.ca



Institut de recherche
Robert-Sauvé en santé
et en sécurité du travail