



Systeme d'ancrage de garde-corps sur des toits plats pour les couvreurs

André Lan, Renaud Daigle

Plan de la présentation

- Introduction – Statistiques d'accidents
- Survol de rapports d'accidents mortels – Québec
- Origine de la demande
- Garde-corps sélectionnés
- Objectifs de l'étude
- Démarche – Méthode utilisée
- Résultats
- Conclusions

Participants

- André Lan et Renaud Daigle de l'IRSST;
- L'équipe technique du Groupe de recherche en génie des structures de l'École Polytechnique pour sa contribution au programme expérimental;
- Monsieur François Morissette de l'Association des Maîtres Couvreur du Québec (AMCQ);
- Monsieur Paul Correia de Alcor de PNRC International Inc ;
- Monsieur François Lemieux de J.P. Lemieux et fils SENC de Montréal-Nord;
- Monsieur J-Claude Malenfant de Innovation Malenfant inc.

Introduction – Statistiques d'accidents

- Aux USA, le travail de couvreur a été classé comme l'un des travaux les plus dangereux avec un taux de mortalité de 29 par 100 000 travailleurs équivalents à temps plein en 1997; un taux de mortalité de 34,7 par 100 000 travailleurs équivalents à temps plein en 2009 (Source U.S. Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, 2011).
- Les couvreurs sont exposés à environ 6 fois plus de risques d'accidents graves et mortels que le travailleur moyen.
- Les chutes sont les évènements mortels dans 75 % des cas (Ruser 1995).

- La CSST juge le métier de couvreur comme le plus dangereux parmi les emplois de la construction (Couverture Montréal Nord).
- Pour les 3560 couvreurs recensés en 2003: taux moyen de 4,99 % vs 6,90 % pour les travailleurs de la construction.
- Les chutes de hauteur représentent 20,8 % de lésions de couvreurs vs 10,8 % pour l'ensemble des travailleurs de la construction.

Survol de rapports d'accidents mortels de couvreur - Québec

- Accident mortel survenu à un travailleur de A-1 Toiture à vie le 28 mai 2010 à Sainte-Madeleine de Rigaud. Chute de 7,2 m et pas de dispositifs de protection collective (garde-corps) ou individuelle (harnais, câble de retenu) contre les chutes de hauteur.
- Accident mortel survenu à un travailleur de Couvreur M. L. le 2 novembre 2009 à Pointe-Claire. Cause de l'accident: la présence d'une ouverture en bordure du toit entraîne la perte d'équilibre du travailleur qui fait une chute et s'empale sur un tuteur métallique. Il portait un harnais mais n'était pas attaché. Il n'y avait aucun moyen de protection adéquat contre les chutes.

- Accident mortel survenu à un travailleur de l'entreprise Les constructions Pro-Tec-Toit le 25 juin 2009 à St-Augustin-de-Desmaures. Cause de l'accident: le travailleur, positionné sur une plate-forme de travail, est mortellement écrasé entre le boulin d'un cadre d'échafaudage et la palette de bardeaux d'asphalte.

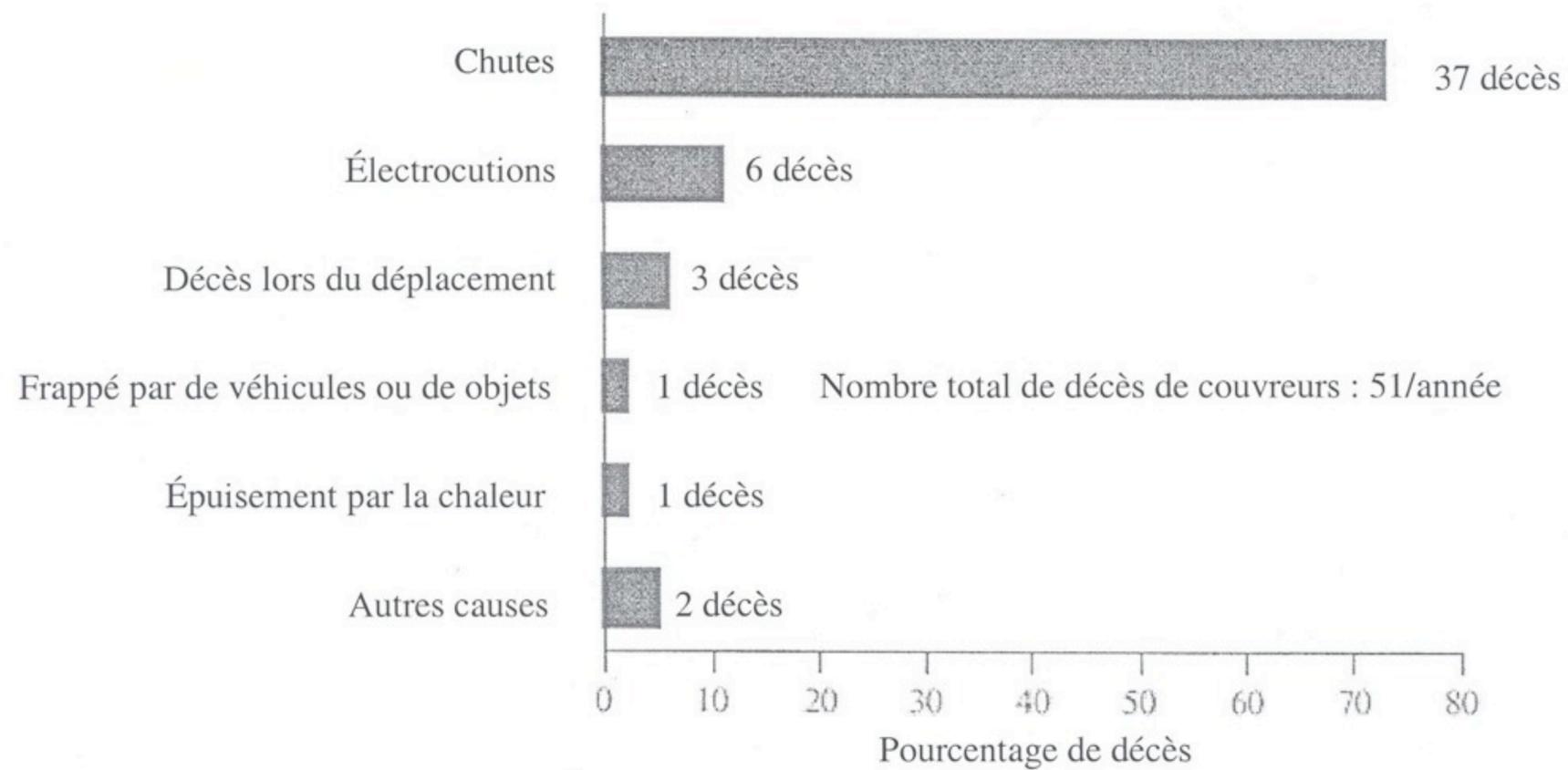
- Chute mortelle d'un contremaître de l'entreprise Couverture Montréal-Nord Itée le 18 août 2008 à Anjou. Cause de l'accident: chute de 8,38 m lorsque le panneau d'accès du plafond cède sous le poids du contremaître.

- Le 9 novembre 2004, dans le quartier Saint-Henri à Montréal, deux travailleurs de la construction ont connu une fin atroce. Prisonniers du toit d'un immeuble enflammé par un récipient de goudron surchauffé, ils ont été transformés en torches humaines. Les ouvriers sont morts carbonisés (<http://carriere.jobboom.com/marche-travail/dossiers-chauds/2006/08/29/pf-1783817.html> par **Jean-Sébastien Marsan**).

Accidents types dans le métier de couvreurs

- Étude de Mc Cann: donne un portrait type des accidents dans le métier de couvreurs.
- Son analyse de 359 accidents mortels de couvreurs de 1992 à 1998 aux USA montre qu'environ 50 couvreurs décèdent au travail annuellement, principalement de chutes de hauteur.
- Portrait type des accidents de couvreurs:
 - Électrocutions;
 - Les chutes;
 - Lors des déplacements.

Accidents types dans le métier de couvreur (suite)

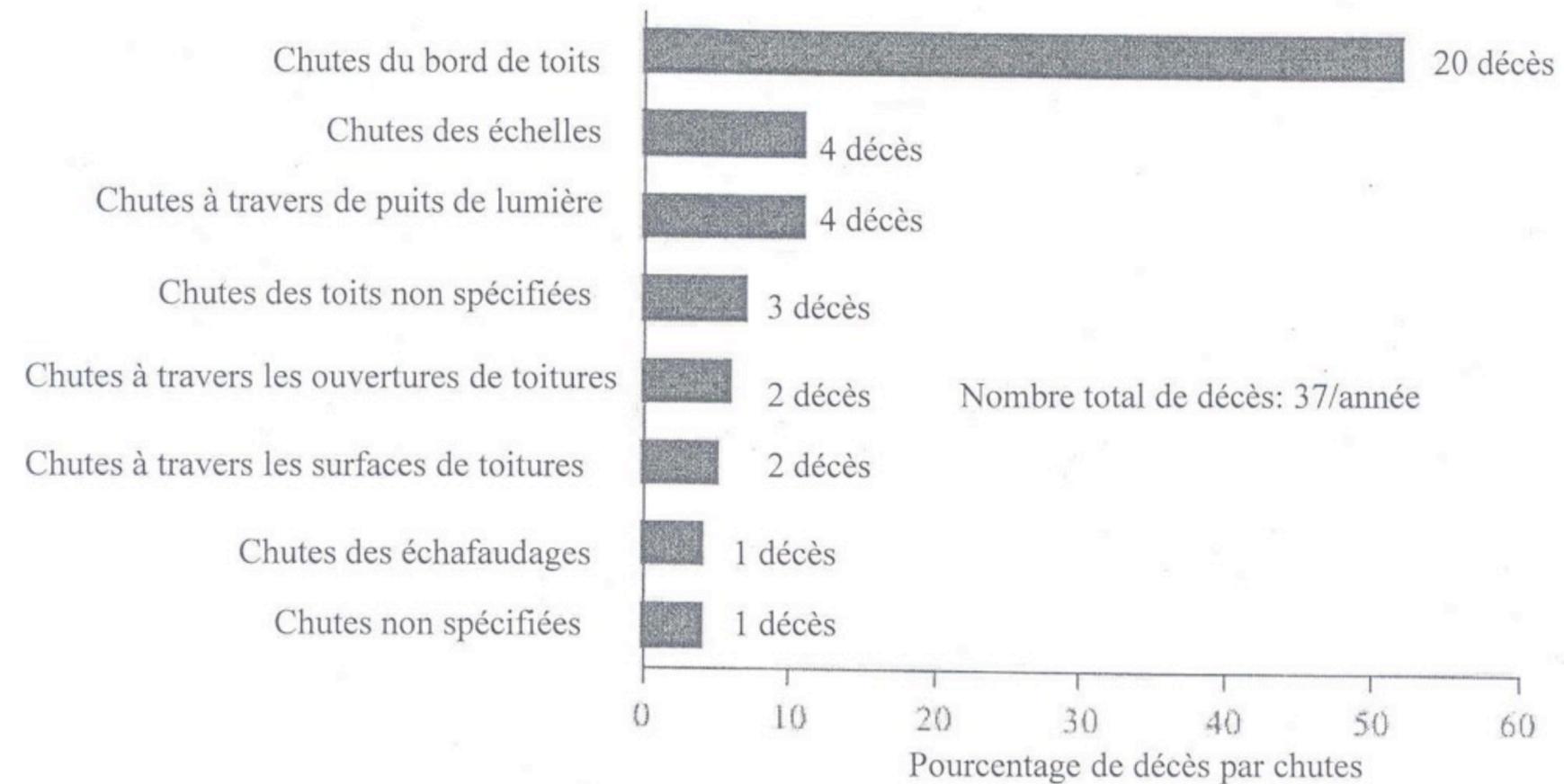


Causes de décès reliées aux chutes de hauteur, couvreurs, USA, moyenne annuelle, 1992 – 1998.

Source : U.S Bureau of Labor Statistics

www.cdc.gov/docs/d0400/d000491/d000491.pdf

Accidents types dans le métier de couvreur (suite)



Causes de décès reliées au travail, couvreurs, USA, moyenne annuelle, 1992 – 1998. Source : Données extraites du recensement des accidents mortels, U.S Bureau of Labor Statistics. www.cdc.gov/docs/d0400/d000491/d000491.pdf

Accidents types dans le métier de couvreur (suite)

- D'après Mc Cann, l'analyse de rapports d'accidents révèle qu'une protection adéquate contre les chutes de hauteur aux bords des toits n'était pas fournie.
- Un garde-corps, un filet ou des équipements individuels de protection auraient pu prévenir la plupart de ces accidents mortels.
- L'étude de Mc Cann corrobore les rapports d'enquête d'accidents mortels au Québec.

Aspects réglementaires

- Réglementations sont claires:
 - Occupational Safety and Health Administration (OSHA): protéger les travailleurs si risque de chute > 1,8 m;
 - Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC) S-2.1, r.6 et Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST): protéger les travailleurs si risque de chute > 3 m.
- Pour les planchers et toits plats, le garde-corps est le moyen le plus approprié pour protéger les travailleurs contre les chutes:
 - Excellente protection collective qui permet la mobilité;
 - Dispense les travailleurs du port du harnais;
 - Évite la pose d'ancrage de 18 kN.

Origine de la demande

- Présentement, les couvreurs utilisent des garde-corps en périmètre de toits plats. D'après l'Association des Maîtres Couvreur du Québec (AMCQ), ces garde-corps conviennent bien, mais ils n'ont pas fait l'objet de vérification ou d'essais pour vérifier s'ils sont sécuritaires et conformes au S-2.1, r.6.
- À la demande de l'AMCQ, la présente étude vise à vérifier si les garde-corps sont sécuritaires et conformes au S-2.1, r.6 pour assurer aux couvreurs une protection adéquate.

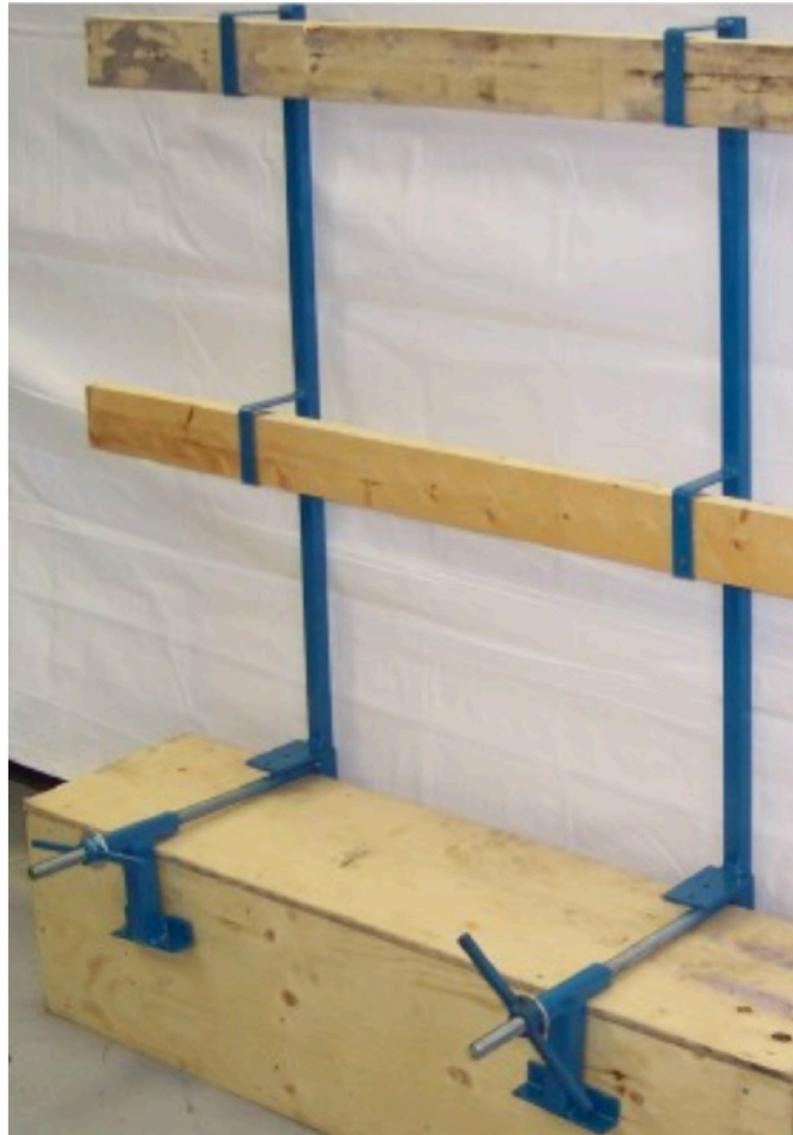
Garde-corps sélectionnés

- Il était impossible de vérifier tous les garde-corps utilisés, dès lors, l'AMCQ a réalisé un sondage auprès de ses membres pour cibler les 3 types de garde-corps les plus utilisés sur les toits plats.
- De ce sondage, les 3 garde-corps les plus utilisés sont ceux des entreprises Alcor Inc., J. P. Lemieux et fils et Innovation Malenfant Inc. (Mentionner les noms de fabricants de garde-corps sont à titre informatif seulement et ne constitue pas une promotion de ces garde-corps).

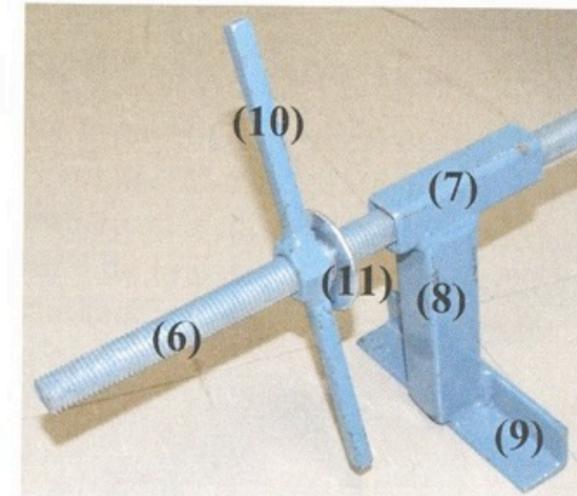
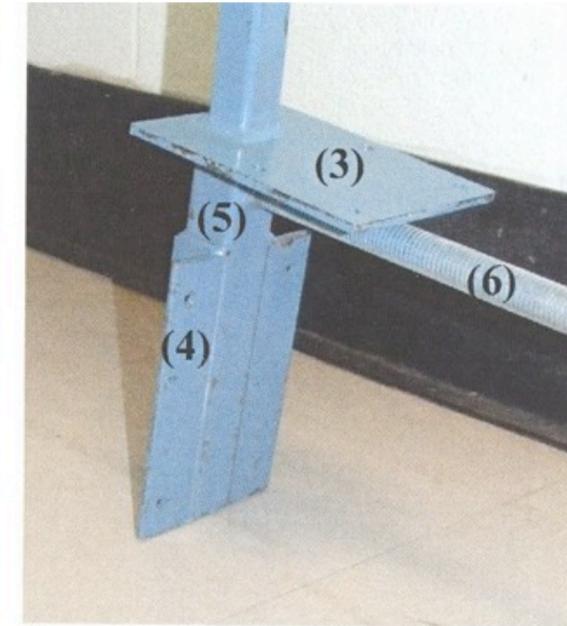
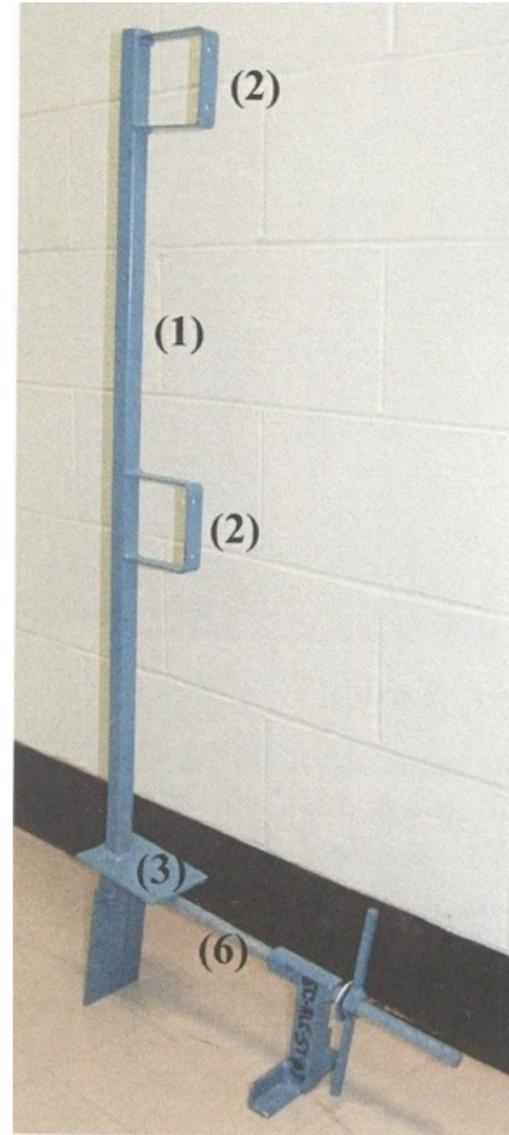
Objectifs de l'étude

- Vérifier si les trois garde-corps préfabriqués métalliques les plus utilisés, installés à pied d'œuvre en périmètre de toit plats par les couvreurs sont sécuritaires et rencontrent les exigences des articles 3.8.2 et 3.8.3 du Code de sécurité pour les travaux de construction.
- Valider les paramètres d'ancrage sur les toits plats et/ou définir ces paramètres.
- Vérifier la capacité des trois garde-corps à retenir un torse de bois de 100 kg animé d'une vitesse de 2 m/s.

Garde-corps Alcor Inc.



Garde-corps ALCOR INC.

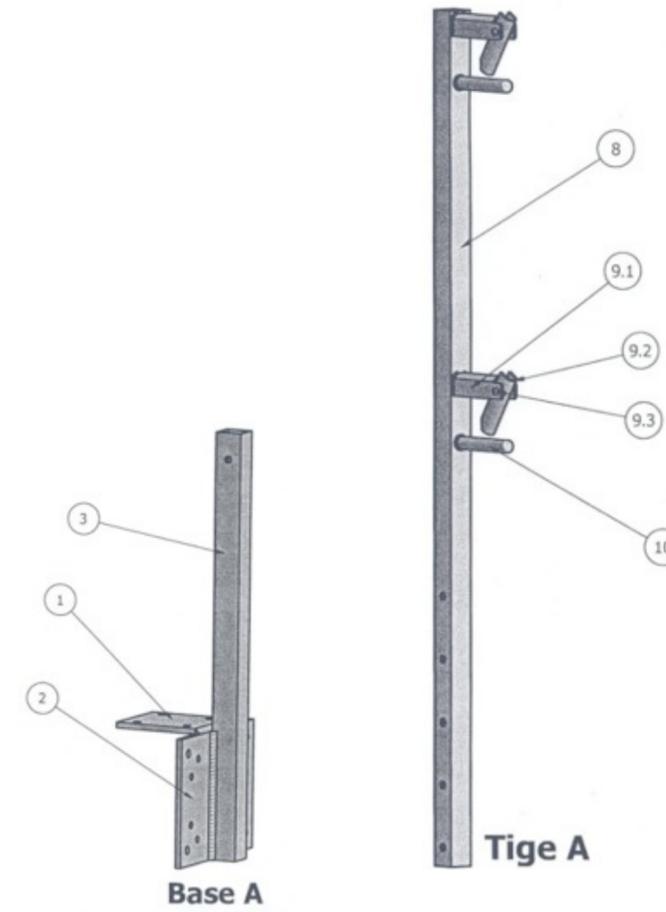


Membrures du garde-corps Alcor

Gare-corps J.P. Lemieux et fils



Garde-corps J. P. Lemieux et fils



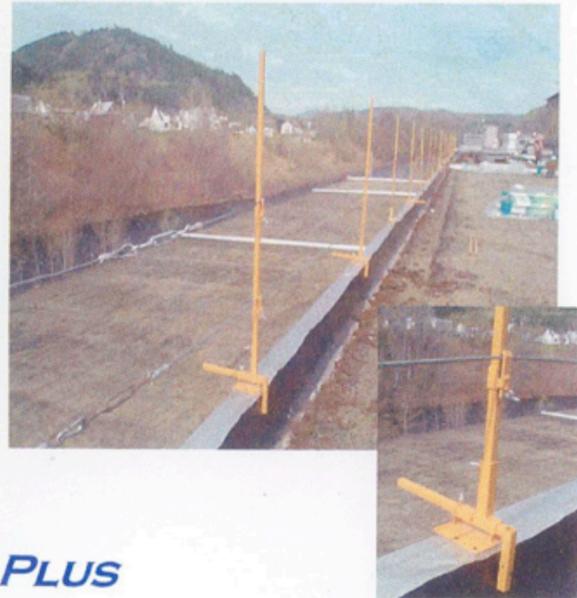
Membrures garde-corps J.P. Lemieux

Garde-corps Innovation Malenfant Inc.

INNOVATION PLUS

UN GARDE DE CORPS
INNOVATEUR

POUR LE CONTRACTEUR QUI VEUT
PLUS QUE DE LA SÉCURITÉ.



PLUS

- COMPACT
- DURABLE
- VERSATILE
- SÉCURITAIRE
- FLEXIBLE D'INSTALLATION

LES PIÈCES COMPACTES ET DURABLES SONT
CONSTRUITES À PARTIR DU MEILLEUR ACIER.

LES BOULONS D'ACIER INOXYDABLE
PROCURENT UNE LONGÉVITÉ ACCRUE AUX
ÉLÉMENTS PLUS SENSIBLES À LA
DÉTÉRIORATION.

CES CÂBLES AYANT 3/8" DE DIAMÈTRE
PROCURENT UNE RÉSISTANCE EFFICACE
ALLIÉS AU POSITIONNEMENT DES POTEAUX DE
SOUTIEN INSTALLÉS AU 10' C/C.

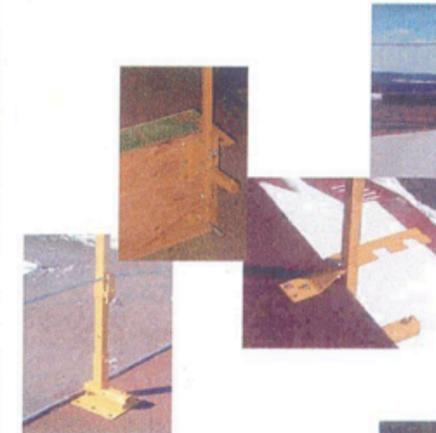


LES CÂBLES D'ACIER
MUNIS DE TENDEURS
AJUSTABLES ASSURENT
UNE TENSION CONTINUE
DU GARDE DE CORPS.

UN ENSEMBLE DE 40
POTEAUX VOUS EST
FOURNI AVEC TOUS LES
ACCESSOIRES POUVANT
S'ADAPTER À PLUS
D'UNE CONFIGURATION
DE BORDURES DE
TOITURES.



INNOVATION PLUS EST APPLIQUÉE
INGÉNIERIE ET RÉPOND À TOUTES LES
SÉCURITÉ EN VIGUEUR.



LES TAQUETS, FACILES À
MANIER GARANTISSENT UNE
MISE EN PLACE CONTINUE DU
CÂBLE.

UNE ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'
INSTALLATION ? FAITES-EN LA
VOTRE REPRÉSENTANT.
VOUS DÉSIREZ PLUS DE RENSEIGNEMENTS ?
CONTACTER VOTRE REPRÉSENTANT.

Fabriqué par:

INNOVATION MALENFANT INC
St-Jean-de-Dieu, QC
GOL 3MO

Tél: 1-877-963-2726 Fax: 418-963-6640

Démarche – Méthode utilisée

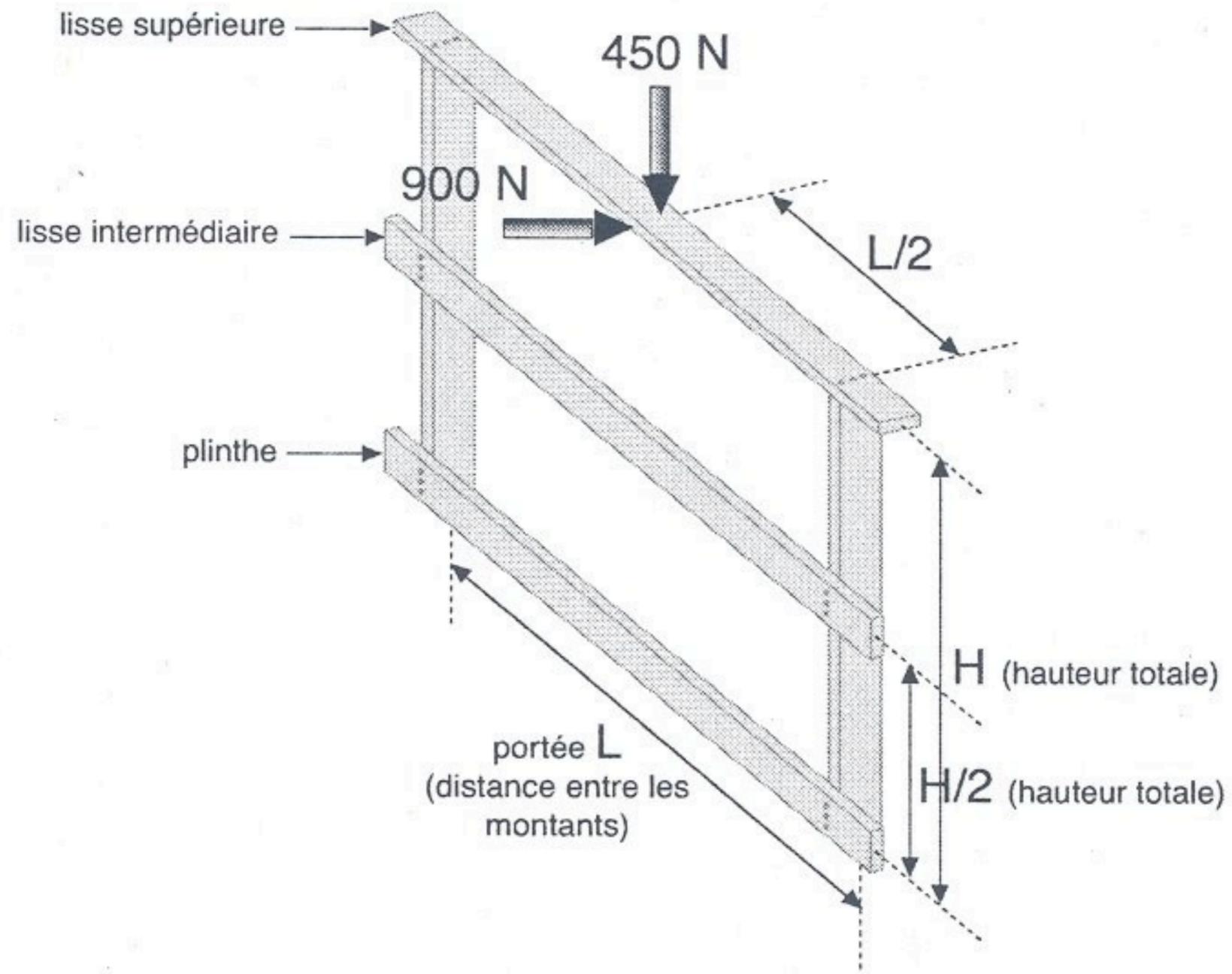
- La modélisation du garde-corps pour appliquer les formules classiques de la résistance des matériaux pose problème.
- Dans ce contexte la méthode la plus simple et la plus rapide pour vérifier les garde-corps consiste à effectuer des essais au laboratoire et in situ.

Exigences de résistance

Article 3.8.2 *Résistance* du Code de sécurité pour les travaux de construction du Québec (S-2.1, r.6) stipule :

- *Un garde-corps doit être conçu pour :*
 - *résister à une force horizontale concentrée de 900 newtons appliquée à n'importe quel point de la lisse supérieure; et*
 - *résister à une force verticale concentrée de 450 newtons appliquée à n'importe quel point de la lisse supérieure.*

Exigences de résistance

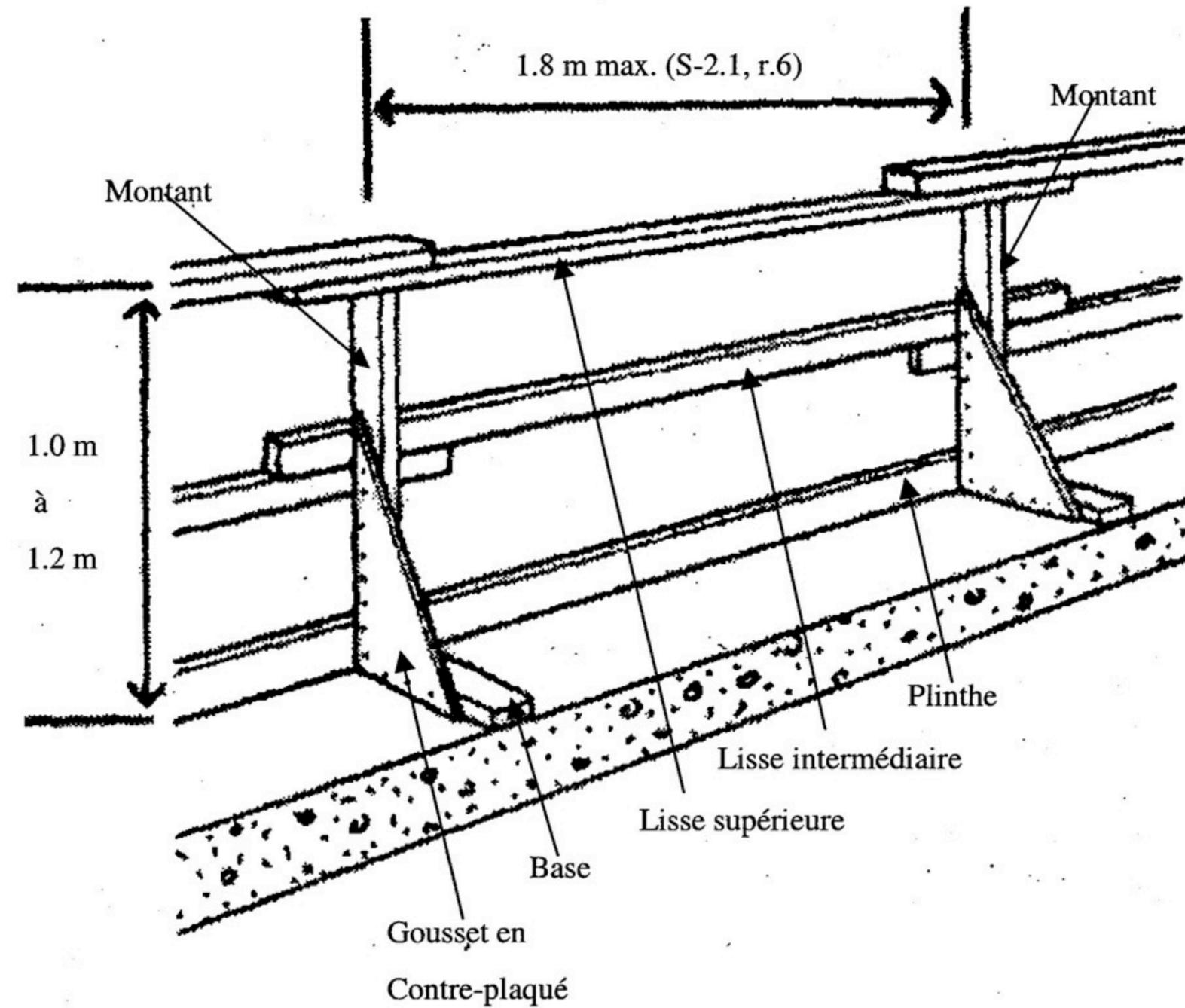


Exigences de construction

Article 3.8.3 *Construction* du Code de sécurité pour les travaux de construction du Québec stipule :

- 1) *Tout garde-corps doit avoir une hauteur qui varie entre 1 mètre et 1,2 mètre au-dessus de l'aire où le travailleur se trouve.*
- 2) *Un garde-corps en bois doit être constitué d'une :*
 - a) *lisse supérieure d'une épaisseur minimale de 40 millimètres sur une hauteur de 90 millimètres appuyée sur des montants de même dimension espacés d'au plus 1,8 mètre placés de telle façon que la largeur de 90 millimètres du montant soit dans l'axe de la largeur de la lisse supérieure.*
 - b) *traverse intermédiaire d'au moins 75 millimètres de largeur à mi-hauteur et fixée solidement à l'intérieur des montants; et*
 - c) *plinthe d'au moins 90 mm de hauteur et fixée solidement à l'intérieur des montants.*

Exigences de construction



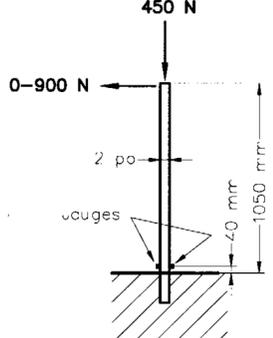
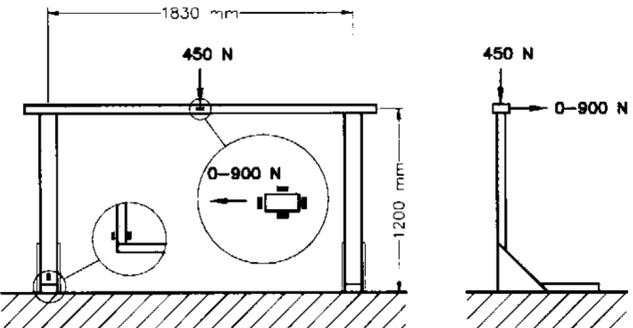
Protocole d'essais

- À partir des exigences de résistance et de construction  Protocole d'essais.
- Protocole d'essais comprend 4 parties:
 - 1) Vérification des exigences de construction;
 - 2) Essais de résistance pour vérifier la résistance des membrures du garde-corps (garde-corps solidement ancré pour forcer ses membrures à résister);
 - 3) Essais de résistance du garde-corps in situ (vérification d'ensemble de la résistance du garde-corps et de la structure d'accueil);
 - 4) Essais dynamiques in situ pour vérifier la capacité du garde-corps à retenir un torse de bois de 100 kg frappant le garde-corps à 2 m/s (non requis par S-2.1, r.6).

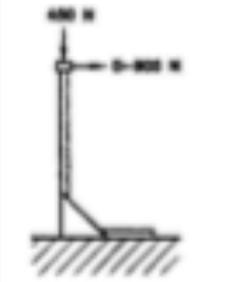
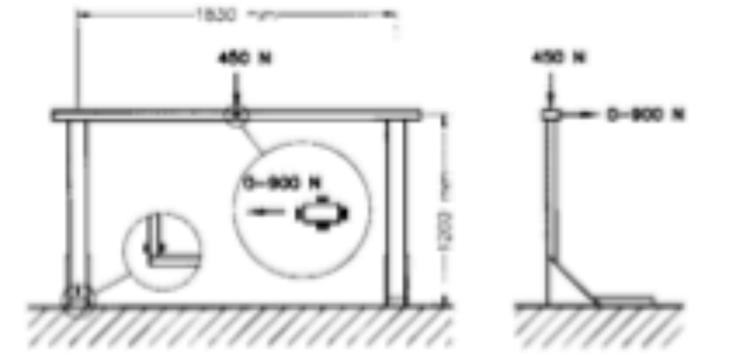
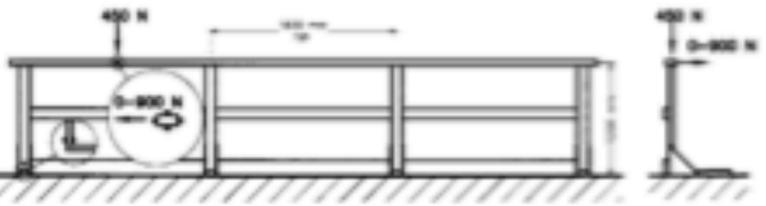
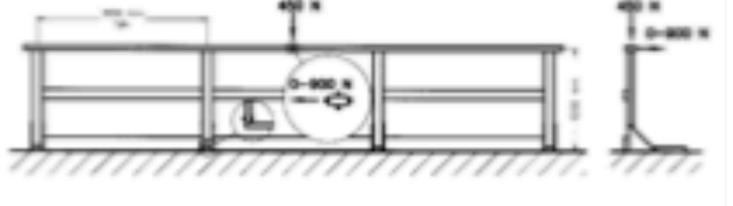
1) Vérification des exigences de construction

Article 3.8.3 du S-2.1, r.6 - Exigences de construction			
Items	Exigences S-2.1, r.6	Dimensions et dispositions de membrures du garde-corps in situ	Vérifie S-2.1, r.6 Oui/Non
Hauteur de tous les garde-corps	1 à 1.2 m		
Garde-corps en bois			
Montants	40 x 90 mm		
Portée des montants	1.8 m max.		
Lisse supérieure	40 x 90 mm appuyée sur des montants de même dimension de telle façon que la largeur de 90 mm du montant soit dans l'axe de la lisse supérieure		
Traverse intermédiaire	Au moins 75 mm de large à mi-hauteur et fixée solidement à l'intérieure des montants		
Plinthe	Au moins 90 mm de hauteur et fixée solidement à l'intérieur des montants.		
Garde-corps en câble d'acier			
Montants	Espacés d'au plus 3 m.		
Câble d'acier	Doit être maintenu rigide à l'aide d'un tendeur à vis		
Main courante	Câble d'acier de 10 mm de diamètre		
Traverse intermédiaire	Câble d'acier de 10 mm de diamètre		
Plinthe	Au moins 90 mm de hauteur et fixée solidement à l'intérieur des montants.		
Article 3.8.4 Garde-corps métalliques			
Doivent être conçus, construits, installés et entretenus de manière à assurer une résistance et une sécurité égales ou supérieures à celles qui sont exigées pour les garde-corps.			

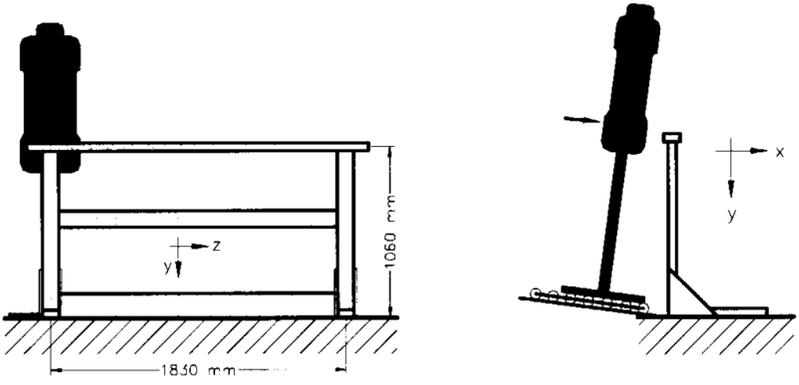
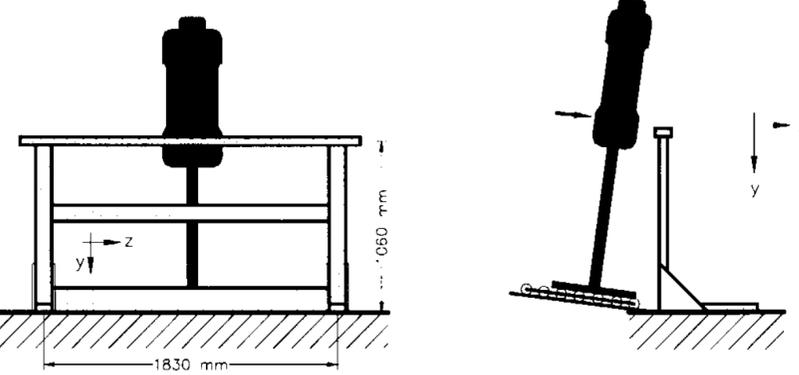
2) Essais de résistance du garde-corps

Essais	Description de l'essai	Nombre d'essais	Objectifs des essais
R-1	<p>1) Charges de 900 N horizontale par pas de 100 N et de 450 N verticale appliquées simultanément sur un montant solidement encastré et observation sous charge.</p> <p>2) Amorce de la rupture en augmentant la charge horizontale de 900 N par pas de 100 N jusqu'à 1800 N.</p>  <p>Figure schématique de l'essai</p>	3	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier la résistance du montant Mesurer la flèche sous les 900 et 450 N. observation du comportement du montant sous charge. observation du comportement du montant à la rupture.
R-2	<p>1) Charges de 900 N horizontale par pas de 100 N et de 450 N verticale appliquées simultanément à mi-portée de la lisse supérieure d'une section de garde-corps solidement encastré et observation sous charge.</p> <p>2) Amorce de la rupture en augmentant la charge horizontale de 900 N par pas de 100 N jusqu'à 1800.</p>  <p>Figure schématique de l'essai</p>	1	<ul style="list-style-type: none"> Vérifier la résistance de la lisse supérieure Mesurer les déformations sous les 900 et 450 N; observation du comportement de la section sous charge; observation du comportement de la section du garde-corps à la rupture.
Nombre total d'essais de résistance		4	

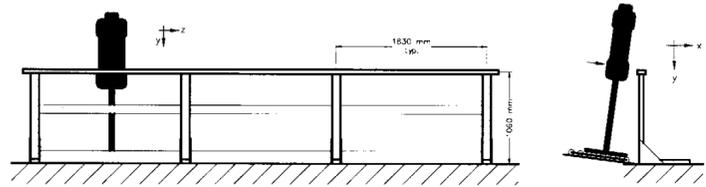
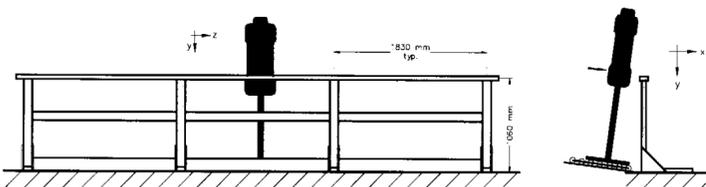
3) Essais de résistance in situ du garde-corps

Essai	Description de l'essai	Schéma de l'essai	Paramètres à mesurer et observations
ST-1	Charges de 900 N horizontale et de 450 N verticale appliquées simultanément sur un montant ancré tel qu'au chantier.	 <p>Figure schématique de l'essai ST-1</p>	<ul style="list-style-type: none"> mesure de flèche pour tracer la courbe force vs déformation; mesure de la flèche à 900 N; mesure de la déformation maximale à la base du montant par une jauge de déformation (1 essai/3 essais); observation du comportement du montant sous charge.
ST-2	Charges de 900 N horizontale et de 450 N verticale appliquées simultanément à mi-portée de la lisse supérieure d'une section de garde-corps ancré tel qu'au chantier.	 <p>Figure schématique de l'essai ST-2</p>	<ul style="list-style-type: none"> mesure de la flèche à 900 N; mesure de la déformation maximale aux points critiques du garde-corps par des jauges de déformation (1 essai/3 essais); observation du comportement de la section du garde-corps sous charge.
ST-3	Charges de 900 N horizontale et de 450 N verticale appliquées simultanément à mi-portée de la lisse supérieure de la travée de rive d'une suite de trois sections de garde-corps ancré tel qu'au chantier.	 <p>Figure schématique de l'essai ST-3</p>	<ul style="list-style-type: none"> mesure de la flèche à 900 N; mesure de la déformation maximale aux points critiques du garde-corps par des jauges de déformation (1 essai/3 essais); observation du comportement de la section du garde-corps sous charge.
ST-4	Charges de 900 N horizontale et de 450 N verticale appliquées simultanément à mi-portée de la lisse supérieure de la travée centrale d'une suite de trois sections de garde-corps ancré tel qu'au chantier.		<ul style="list-style-type: none"> mesure de la flèche à 900 N; mesure de la déformation maximale aux points critiques du garde-corps par des jauges de déformation (1 essai/3 essais);

4) Essais dynamiques in situ

Essai	Description de l'essai	Schéma de l'essai	Paramètres à mesurer et observations
D-1	Un torse de bois de 100 kg frappe le montant d'une section de garde-corps à une vitesse de 2 m/s.	 <p>Figure schématique de l'essai D-1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mesure des déformations xx, yy, zz avec des capteurs de déplacement; • prise de vues avec la caméra à haute vitesse; • capacité du montant à retenir le torse de bois sans rupture ou abandon de la charge; • observation du comportement du montant ancré tel qu'au chantier sous la force d'impact;
D-2	Un torse de bois de 100 kg frappe la lisse supérieure d'une section de garde-corps à une vitesse de 2 m/s.	 <p>Figure schématique de l'essai D-2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mesure des déformations xx, yy, zz avec des capteurs de déplacement; • prise de vues avec la caméra à haute vitesse; • capacité du garde-corps à retenir le torse de bois sans rupture ou abandon de la charge; • observation du comportement de la section du garde-corps ancré tel qu'au chantier sous la force d'impact.

4) Essais dynamiques in situ (suite)

Essai	Description de l'essai	Schéma de l'essai	Paramètres à mesurer et observations
D-3	Un torse de bois de 100 kg frappe la lisse supérieure de la section de rive (gauche ou droite) d'une suite de trois sections de garde-corps ancré tel qu'au chantier à une vitesse de 2 m/s.	 <p>Figure schématique de l'essai D-3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mesure des déformations xx, yy, zz avec des capteurs de déplacement; • prise de vues avec la caméra à haute vitesse; • capacité du garde-corps à retenir le torse de bois sans rupture ou abandon de la charge; • observation du comportement de la section du garde-corps sous la force d'impact.
D-4	Un torse de bois de 100 kg frappe la lisse supérieure de la section centrale d'une suite de trois sections de garde-corps à une vitesse de 2 m/s	 <p>Figure schématique de l'essai D-4</p>	<ul style="list-style-type: none"> • mesure des déformations xx, yy, zz avec des capteurs de déplacement; • prise de vues avec la caméra à haute vitesse; • capacité du garde-corps à retenir le torse de bois sans rupture ou abandon de la charge; • observation du comportement de la section du garde-corps ancré tel qu'au chantier sous la force d'impact.

Ancrage pour les essais de résistance



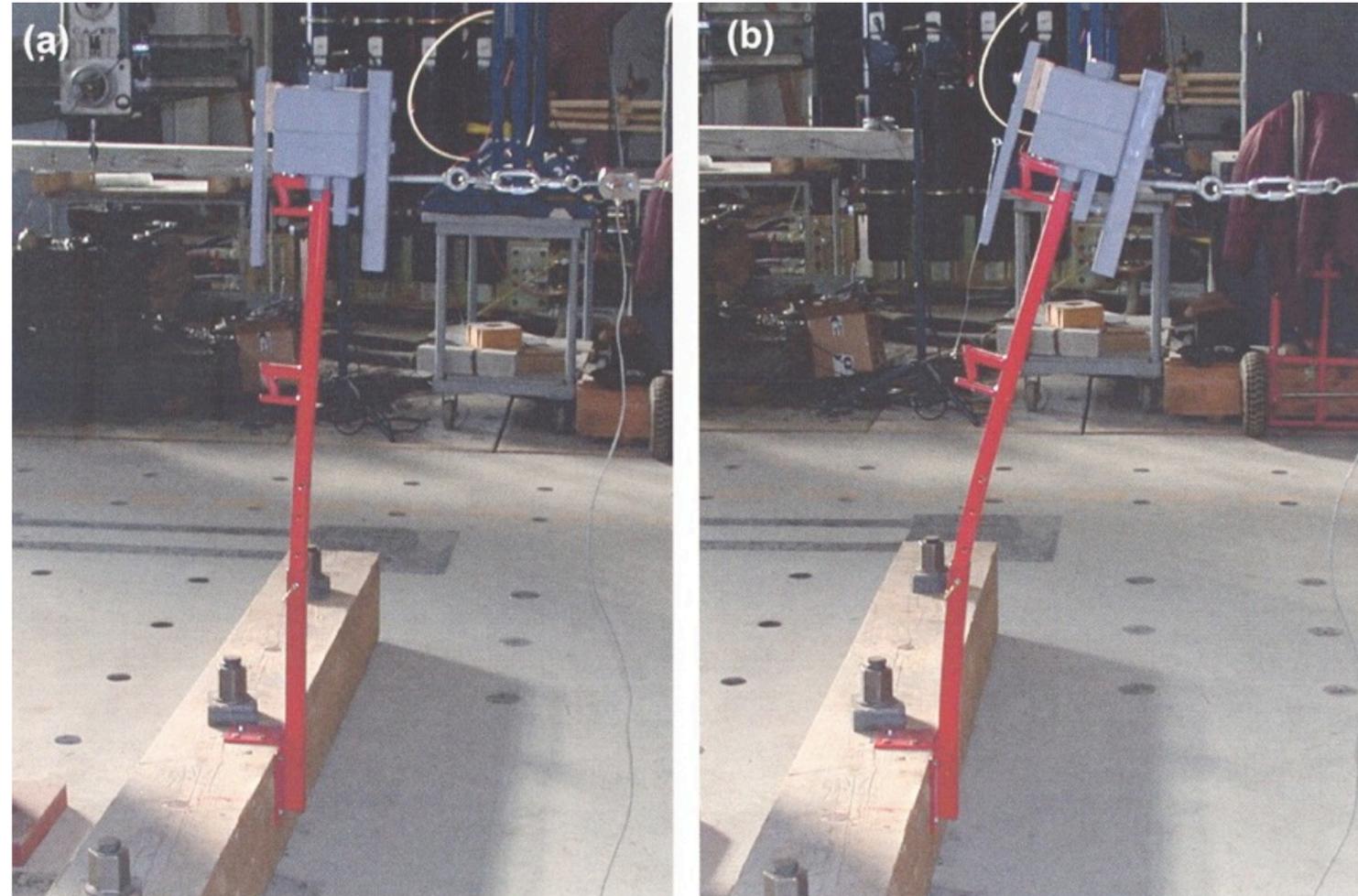
Bille de bois utilisée comme ancrage lors d'essais de résistance

Ancrage garde-corps Alcor: vis à bois #10 de 3", 4 vis sur la plaque horizontale et 4 vis sur la plaque verticale.

Ancrage garde-corps J.P. Lémieux: 4 vis tire-fond de 3" de longueur et de 3/8" de diamètre sur la plaque verticale et 4 vis tire-fond de 2½" de longueur et de ¼" de diamètre sur la plaque horizontale.

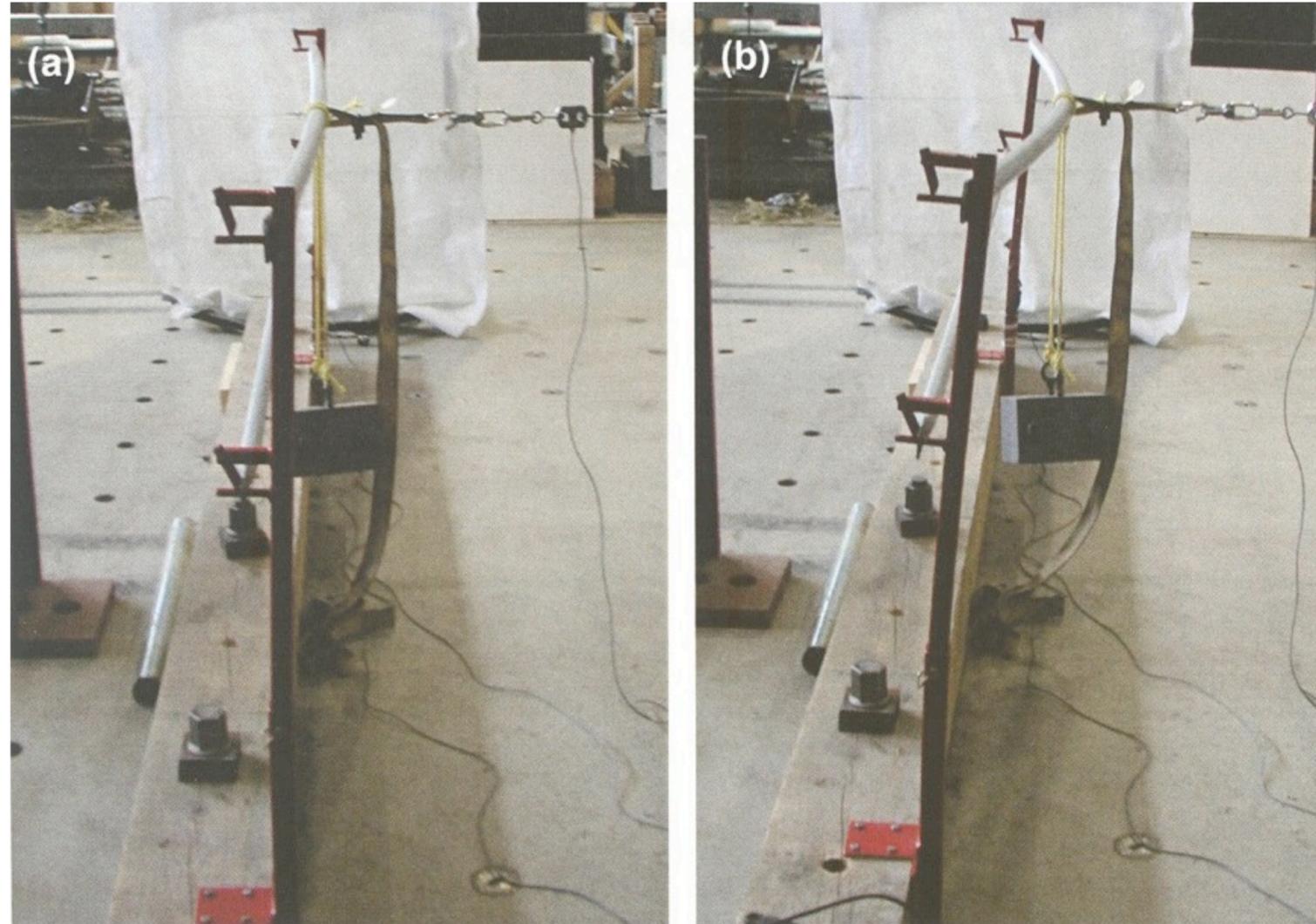
Ancrage garde-corps Malenfant: 6 vis tire-fond de 2" de longueur et de 3/16" de diamètre avec un stabilisateur de poteau.

Essai de résistance – Montant seul



Essai GC-JPL-ST-03 : 1 montant; (a) Force verticale de 450N, force horizontale de 900 N, déplacement horizontal de 57 mm ; (b) Force verticale de 450 N, force horizontale de 1840 N, déplacement horizontal de 254 mm (course maximale de chargement)

Essai de résistance – une travée



Essai GC-JPL-ST-04 : (a) Force verticale de 450 N, force horizontale de 900 N, déplacement horizontal de 64 mm ; (b) Force verticale de 450 N, force horizontale de 2370 N, déplacement horizontal de 210 mm (charge ultime dépassée).

Résultats – Garde-corps Alcor

■ Essais de résistance sur bille de bois

Nom de l'essai	Charge horizontale de 900 N		Charge horizontale maximale			Observations
	Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	Charge max. (N)	Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	
1 montant, charge verticale de 450 N et charge horizontale variable du montant						
GC-ALC-ST-01	148	-8200 6700 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	958	252	-25800 25300 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	Plastification du montant entre 600 et 700 N
GC-ALC-ST-02	153		1185	256		Plastification du montant entre 700 et 800 N
GC-ALC-ST-03	126		1040	242		Plastification du montant entre 600 et 800 N
Moyenne	142		1061	250		
Écart-type	14.4		115	7		
1 travée (2 montants), charge verticale de 450 N et charge horizontale variable au centre de la lisse supérieure						
GC-ALC-ST-04	91	-1275 1450 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	2025	228	-3260 4175 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	Rupture de la lisse de bois à 2025 N
GC-ALC-ST-05	75		1910	245		Aucune rupture et début de plastification à 1600 N
GC-ALC-ST-06	74		2050	236		Aucune rupture et début de plastification à 1800 N
Moyenne	80		1995	236		
Écart-type	9.5		75	9		

Résultats – Garde-corps J. P. Lemieux

■ Essais de résistance sur bille de bois

Nom de l'essai	Charge horizontale de 900 N		Charge horizontale maximale			Observations
	Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	Charge max. (N)	Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	
1 montant, charge verticale de 450 N et charge horizontale variable du montant						
GC-JPL-ST-01	57	-1290 1540 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	1420	97	-3480 3290 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	Début de plastification à la base du montant à 1200 N
GC-JPL-ST-02	63		1430	118		Début de plastification à la base du montant à 1100 N
GC-JPL-ST-03	57		1840	254		Début de plastification à la base du montant à 1200 N
Moyenne	59		1563	156		
Écart-type	3.54		240	85		
1 travée (2 montants), charge verticale de 450 N et charge horizontale variable au centre de la lisse supérieure						
GC-JPL-ST-04	64	-620 590 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	2370	210	-1860 1660 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	Début de plastification à la base du montant à 1800 N
GC-JPL-ST-05	66		2270	205		Début de plastification à la base du montant à 1800 N
GC-JPL-ST-06	65		2310	190		Début de plastification à la base du montant à 1650 N
Moyenne	65		2317	202		
Écart-type	1.0		50	10		

Résultats – Garde-corps Innovation Malenfant

■ Essais de résistance sur bille de bois

Nom de l'essai	Largeur de la travée (mm) Flèche (mm)	Charge horizontale de 900 N		Charge horizontale maximale			Observations
		Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	Charge max. (N)	Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	
1 montant et stabilisateur de poteau, charges au sommet du montant							
GC-MAL-ST-01	N/A	110	-3590 4000 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	1012	177	-7500 8800 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm	Plastification à la base du montant à environ 550 N, perte de charge à 177 mm
GC-MAL-ST-02	N/A	108		1031	174		Plastification à la base du montant à environ 550 N, perte de charge à 174 mm
GC-MAL-ST-03	N/A	97		1042	159		Plastification à la base du montant à environ 600 N, perte de charge à 150 mm
Moyenne		105		1028	170		
Écart-type		7.0		15.2	9.6		

Résultats – Garde-corps Innovation Malenfant

■ Essais de résistance sur bille de bois

Nom de l'essai	Largeur de la travée (mm) Flèche (mm)	Charge horizontale de 900 N		Charge horizontale maximale			Observations
		Flèche (mm)	Jauges (10^{-6} mm/mm) Comprimée tendue	Charge max. (N)	Flèche (mm)	Jauges (10^{-6} mm/mm) Comprimée tendue	
1 travée (2 montants) et stabilisateurs de poteau, tube pour lisse supérieure, charges au centre de la lisse							
GC-MAL-ST-04	3048	70	-930 1080 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10^{-6} mm/mm	1700	150	-2610 2750 Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10^{-6} mm/mm	Début de plastification à la base du montant à environ 1300 N
GC-MAL-ST-05	3048	76		1650	147		Début de plastification à la base du montant à environ 1300 N
GC-MAL-ST-06	3048	68		1825	152		Début de plastification à la base du montant à environ 1400 N
Moyenne		71		1725	150		
Écart-type		4.2		90.1	2.5		

Résultats – Garde-corps Innovation Malenfant

■ Essais de résistance sur bille de bois

Nom de l'essai	Largeur de la travée (mm) Flèche (mm)	Charge horizontale de 900 N		Charge horizontale maximale			Observations
		Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	Charge max. (N)	Flèche (mm)	Jauges (10 ⁻⁶ mm/mm) Comprimée tendue	
1 travée (2 montants) et stabilisateurs de poteau, tube télescopique pour lisse supérieure, charges au centre de la lisse							
GC-MAL-ST-07	3296	99		1330	175		Début de plastification à la base du montant à environ 1100 N
GC-MAL-ST-08	2717.8	72		1810	162		Début de plastification à la base du montant à environ 1000 N
GC-MAL-ST-09	2171.7	45		2050	150		Début de plastification à la base du montant à environ 1000 N
Moyenne		72		1730	162		
Écart-type		27.0		366.6	12.5		

Essais in situ - Toiture reconstituée au laboratoire



Toiture reconstituée au laboratoire: 2 sections identiques de 20'x16'; chaque section est faite de 3 poutres W 250x59 disposées sur 3 des côtés du périmètre (2x16' + 1x20') et 4 poutrelles Warren de 20' espacées de 4' c/c et reposent sur les 2 poutres parallèles de 16'

Construction du parapet sandwich



Toiture et parapet

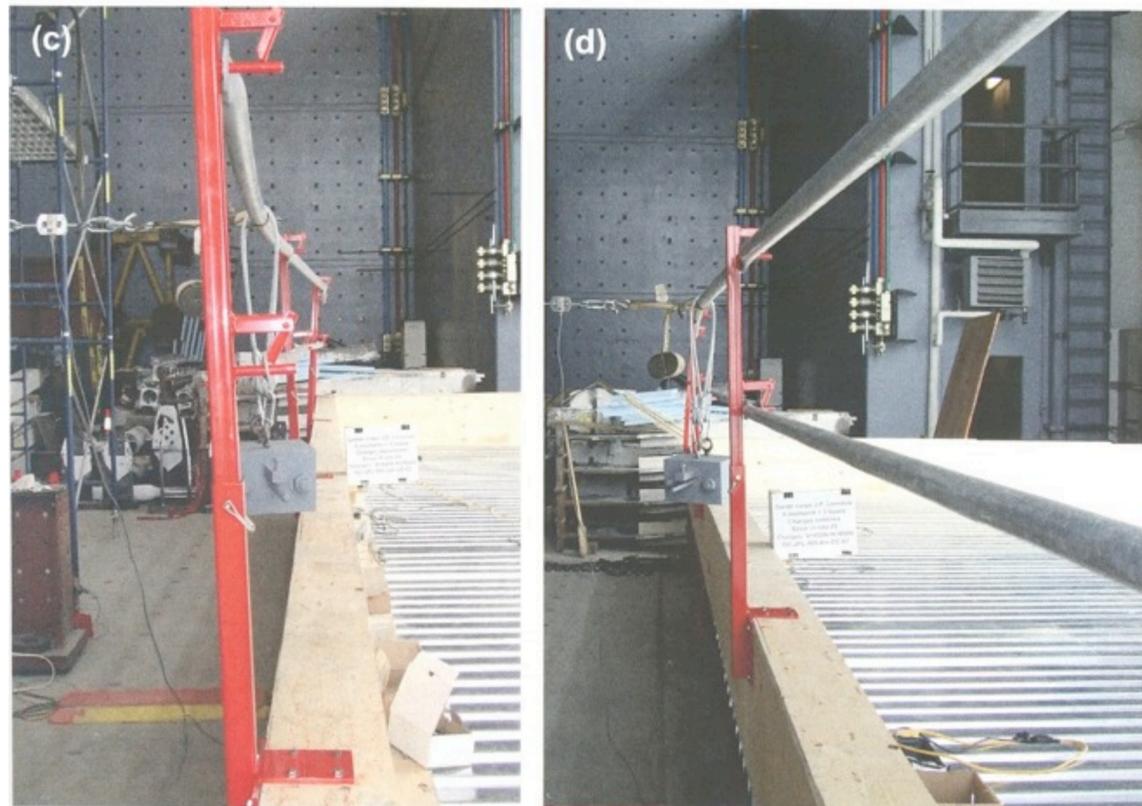
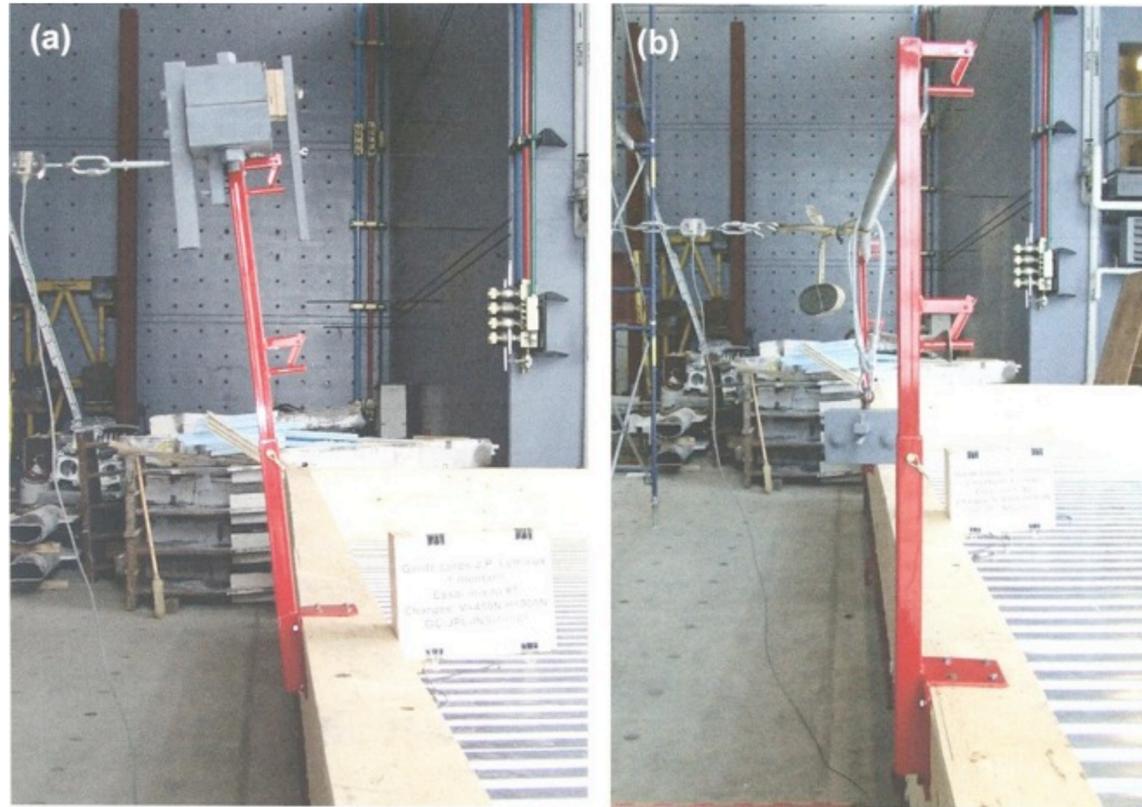


Parapet complété

Essais INS: parapet parallèle aux poutrelles

Essais INSR: parapet perpendiculaire aux poutrelles

Essais de résistance in situ - Parapet parallèle aux poutrelles (INS)



INS: in situ

Essais INS charges horizontale de 900 N et verticale de 450 N.

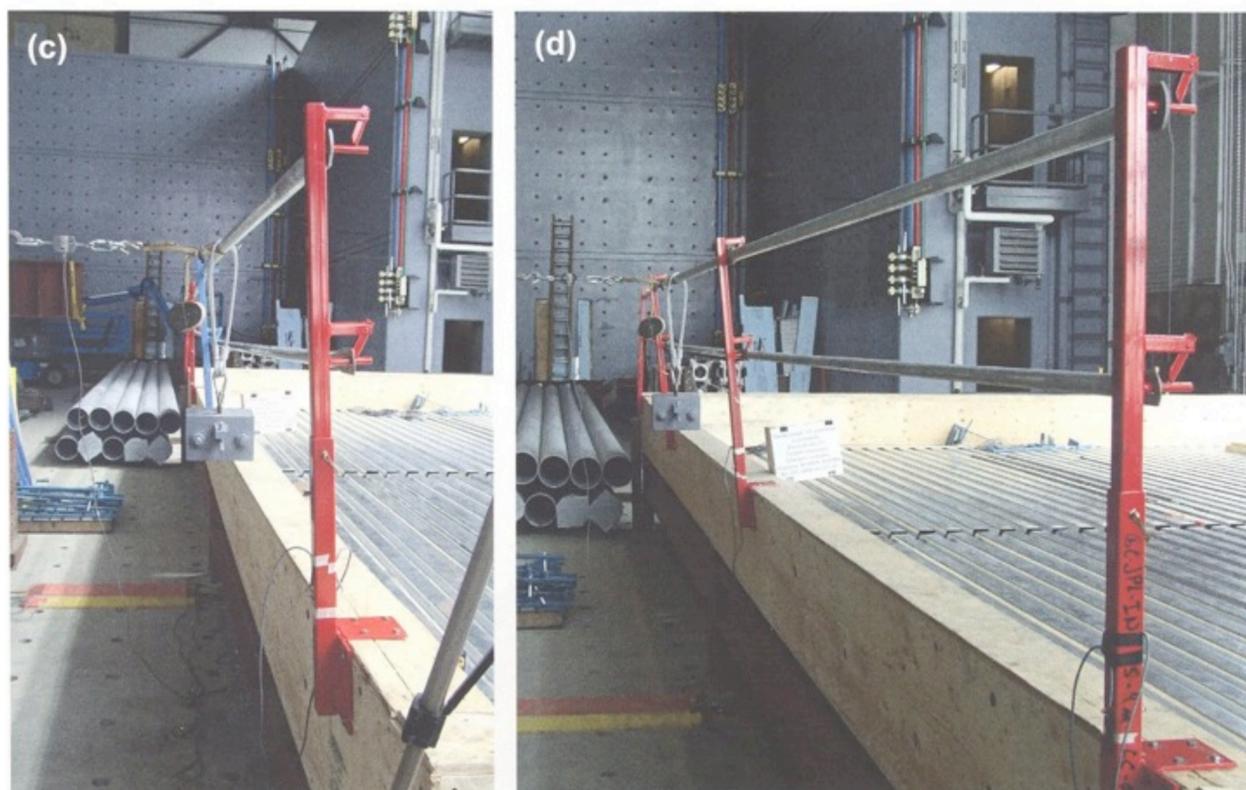
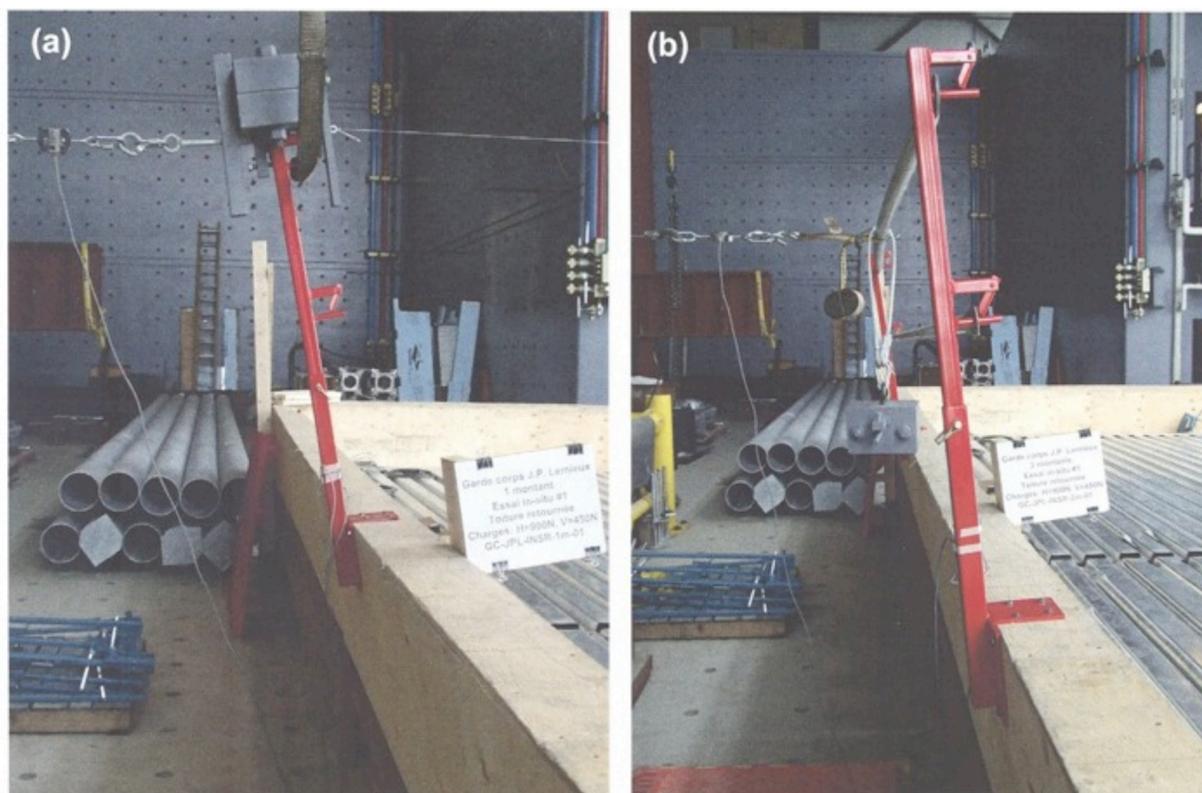
(a) Essai avec 1 montant (GC-JPL-INS-1m-01) ;

(b) Essai avec 1 travée (GC-JPL-INS-2m-02) ;

(c) Essai avec 3 travées et charges au centre de la travée de rive (GC-JPL-INS-4m-CE-02) ;

(d) Essai avec 3 travées et charges au centre de la travée centrale (GC-JPL-INS-4m-CC-02).

Essais de résistance in situ - Parapet perpendiculaire aux poutrelles (INSR)



INSR: in situ rotulé

Essais INSR avec charges avec charges horizontale de 900 N et verticale de 450 N.

(a) Essai avec 1 montant (GC-JPL-INSR-1m-01) ;

(b) Essai avec 1 travée (GC-JPL-INSR-2m-02) ;

(c) Essai avec 3 travées et charges au centre de la travée de rive (GC-JPL-INSR-4m-CE-01) ;

(d) Essai avec 3 travées et charges au centre de la travée centrale (GC-JPL-INSR-4m-CC-01).

Résultats – Garde-corps Alcor

- Essais de résistance in situ avec parapet parallèle aux poutrelles (INS)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
1 montant, charge verticale de 450 N, charges au sommet du montant							
GC-ALC-INS-1m-01	59.25	260			2.5	66	Aucune vis sur la plaque du pied arrière; essai à reprendre
GC-ALC-INS-1m-01B	59.25	N/A			N/A	N/A	Bris de l'attache de la cellule de charge; essai à reprendre
GC-ALC-INS-1m-01C	59.25	212			2.2	58	Plastification à la base du montant à 750 N
GC-ALC-INS-1m-02	59.25	250			2.4	62	Plastification à la base du montant à 700 N
GC-ALC-INS-1m-03	59.25	204	-7650	7400	2.3	60	Plastification à la base du montant à 750 N
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
Moyenne		222			2.3	60	
Écart-type		24.6			0.08	2.0	

Résultats – Garde-corps Alcor

■ Essais de résistance in situ avec parapet parallèle aux poutrelles (INS)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
1 travée (2 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la lisse supérieure							
GC-ALC-INS-2m-01	58.5	132	-1360	1470	1.7	44	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-ALC-INS-2m-02	58.5	159			1.9	49	Aucune plastification
GC-ALC-INS-2m-03	58.5	159			1.7	44	Aucune plastification
Moyenne		150			1.8	46	
Écart-type		15.6			0.12	3.0	
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la travée de rive							
GC-ALC-INS-4m-CE-01	58.5	127	-1320	1360	1.7	44	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-ALC-INS-4m-CE-02	58.5	136			1.6	41	Aucune plastification
GC-ALC-INS-4m-CE-03	58.5	142			1.9	49	Aucune plastification
Moyenne		135			1.7	45	
Écart-type		7.5			0.15	4.0	

Résultats – Garde-corps Alcor

- Essais de résistance in situ avec parapet parallèle aux poutrelles (INS)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la travée centrale							
GC-ALC-INS-4m-CC-01	58.5	119	-1070	1040	1.5	39	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-ALC-INS-4m-CC-02	58.5	115			1.7	44	Aucune plastification
GC-ALC-INS-4m-CC-03	58.5	119			1.7	44	Aucune plastification
Moyenne		116			1.6	42	
Écart-type		2.3			0.12	3.0	

Résultats – Garde-corps Alcor

- Essais de résistance in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (INSR)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
1 montant, charge verticale de 450 N, charges au sommet du montant							
GC-ALC-INSR-1m-01	59.25	310	-11100	9700	6.0	157	Plastification à la base du montant à 700 N
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-ALC-INSR-1m-02	59.25	285			4.8	126	Plastification à la base du montant à 800 N
GC-ALC-INSR-1m-03	59.25	345			6.2	163	Plastification à la base du montant à 700 N
Moyenne		313			5.7	149	
Écart-type		30.1			0.75	19.8	
1 travée (2 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la lisse supérieure							
GC-ALC-INSR-2m-01	58.5	192	-1350	1414	5.0	130	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-ALC-INSR-2m-02	58.5	222			5.0	130	Aucune plastification
GC-ALC-INSR-2m-03	58.5	213			5.0	130	Aucune plastification
Moyenne		209			5.0	130	
Écart-type		15.4			0.00	1.5	

Résultats – Garde-corps Alcor

- Essais de résistance in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (INSR)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la travée de rive							
GC-ALC-INSR-4m-CE-01	58.5	210	-1340	1440	5.2	135	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-ALC-INSR-4m-CE-02	58.5	183			5.1	132	Aucune plastification
GC-ALC-INSR-4m-CE-03	58.5	202			5.1	132	Aucune plastification
Moyenne		198			5.1	133	
Écart-type		13.9			0.06	1.5	
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la travée centrale							
GC-ALC-INSR-4m-CC-01	58.5	190	-1050	1090	4.6	119	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-ALC-INSR-4m-CC-02	58.5	185			5.0	130	Aucune plastification
GC-ALC-INSR-4m-CC-03	58.5	185			5.0	130	Aucune plastification
Moyenne		190			4.9	126	
Écart-type		5.0			0.23	6.0	

Résultats – Garde-corps J. P. Lemieux

▪ Essais de résistance in situ avec parapet parallèle aux poutrelles (INS)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
1 montant, charge verticale de 450 N, charges au sommet du montant							
GC-JPL-INS-1m-01	54.5	108			3.2	77	Aucune plastification
GC-JPL-INS-1m-02	54.5	122			3.3	80	Aucune plastification
GC-JPL-INS-1m-03	54.5	128			3.4	82	Aucune plastification
Moyenne		119	-1120	920	3.3	80	
Écart-type		10.3	Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm		0.10	2.4	
1 travée (2 montants), charge verticale de 450 N, charges au sommet de la lisse supérieure							
GC-JPL-INS-2m-01	53	94			1.3	31	Aucune plastification
GC-JPL-INS-2m-02	53	100			1.3	31	Aucune plastification
GC-JPL-INS-2m-03	53	85			1.2	28	Aucune plastification
Moyenne		93	-505	450	1.3	30	
Écart-type		7.5	Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm		0.08	1.4	

Résultats – Garde-corps J. P. Lemieux

▪ Essais de résistance in situ avec parapet parallèle aux poutrelles (INS)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la lisse supérieure							
GC-JPL-INS-4m-CC-01	53	90			1.3	31	Aucune plastification
GC-JPL-INS-4m-CC-02	53	98			1.4	32	Aucune plastification
GC-JPL-INS-4m-CC-03	53	90			1.2	28	Aucune plastification
Moyenne		93	-400	440	1.3	30	
Écart-type		4.6	Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm		0.08	1.8	
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la travée de rive							
GC-JPL-INS-4m-CE-01	53	93	-480	430	1.45	34	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-JPL-INS-4m-CE-02	53	90			1.2	28	Aucune plastification
GC-JPL-INS-4m-CE-03	53	86			1.15	27	Aucune plastification
Moyenne		90			1.3	30	
Écart-type		3.5			0.16	3.8	

Résultats – Garde-corps J. P. Lemieux

- Essais de résistance in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (INSR)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
1 montant, charge verticale de 450 N, charges au sommet du montant							
GC-JPL-INSR-1m-01	54.5	162	-1220	1100	6.0	145	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-JPL-INSR-1m-02	54.5	171			6.2	150	Aucune plastification
GC-JPL-INSR-1m-03	54.5	172			6.3	152	Aucune plastification
Moyenne		168			6.2	149	
Écart-type		5.5			0.15	3.7	
1 travée (2 montants), charge verticale de 450 N, charges au sommet de la lisse supérieure							
GC-JPL-INSR-2m-01	53	130	-500	430	4.2	97	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-JPL-INSR-2m-02	53	139			4.6	108	Aucune plastification
GC-JPL-INSR-2m-03	53	147			4.8	113	Aucune plastification
Moyenne		139			4.5	106	
Écart-type		8.5			0.33	7.8	

Résultats – Garde-corps J. P. Lemieux

- Essais de résistance in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (INSR)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la travée centrale							
GC-JPL-INSR-4m-CC-01	53	140	-500	420	4.5	106	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-JPL-INSR-4m-CC-02	53	134			4.3	101	Aucune plastification
GC-JPL-INSR-4m-CC-03	53	131			4.2	99	Aucune plastification
Moyenne		135			4.3	102	
Écart-type		4.6			0.15	3.6	
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au sommet de la travée de rive							
GC-JPL-INSR-4m-CE-01	53	103	-485	460	2.45	58	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-JPL-INSR-4m-CE-02	53	119			2.8	66	Aucune plastification
GC-JPL-INSR-4m-CE-03	53	112			2.8	66	Aucune plastification
Moyenne		111			2.7	63	
Écart-type		8.0			0.20	4.7	

Résultats – Garde-corps Innovation Malenfant

- Essais de résistance in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (INSR)

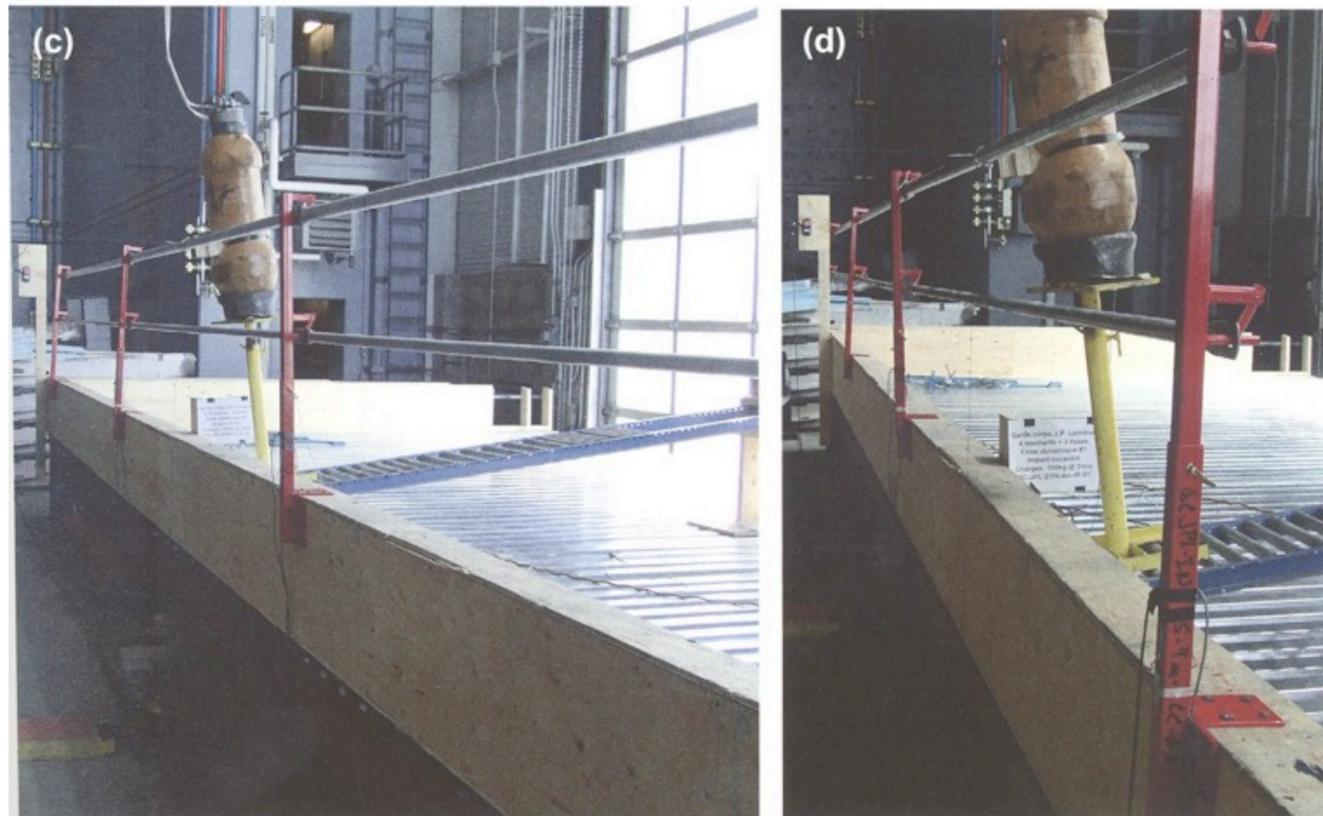
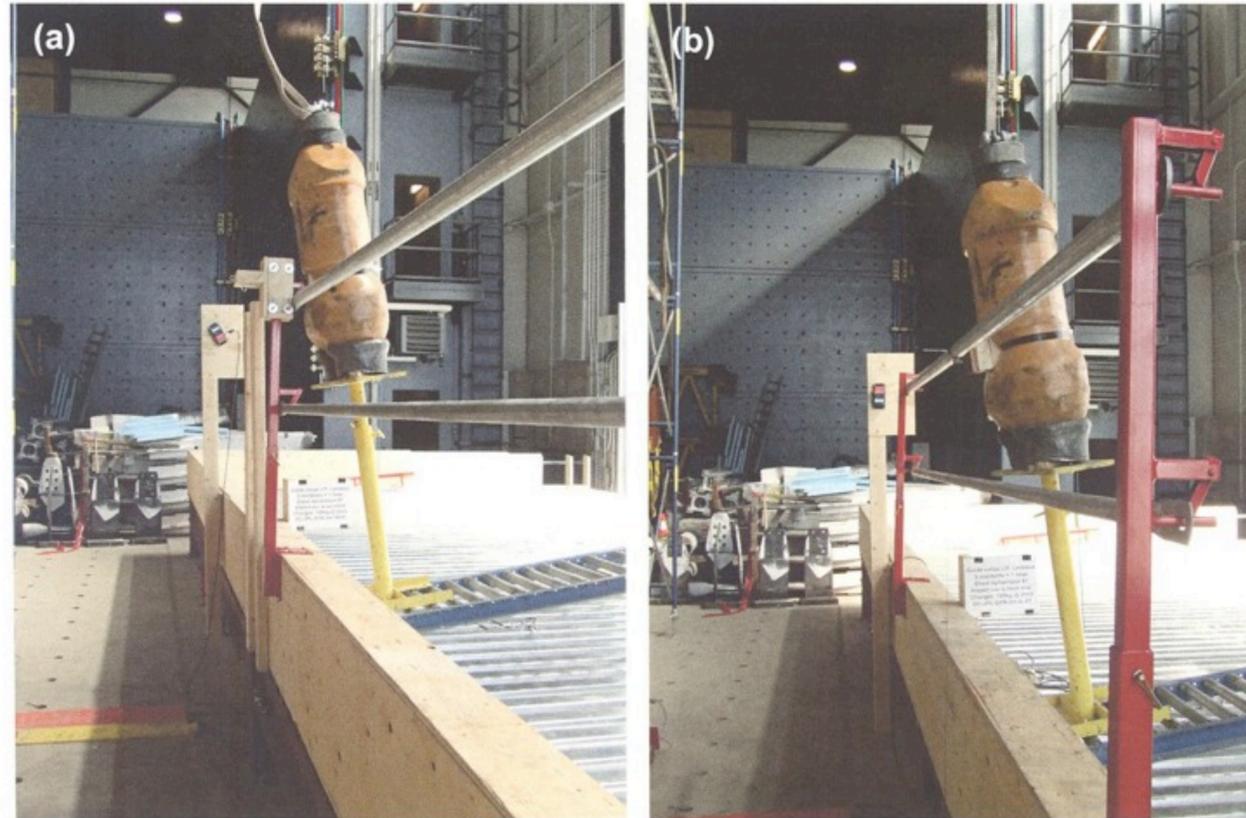
Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
1 montant, charge verticale de 450 N, charges au sommet du montant							
GC-MAL-INSR-1m-01	52	163	-1870	1950	5.0	115	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-MAL-INSR-1m-02	52	156			4.7	108	Aucune plastification
GC-MAL-INSR-1m-03	52	157			4.5	104	Aucune plastification
GC-MAL-INSR-1m-03SB (sans stabilisateur de poteau)	52	142 à 620 N			3.5 à 620 N	N/A	Arrêt de l'essai: contreplaqué de surface sur le point d'arracher. Évidence sonore
Moyenne	52	158			4.8	110	
Écart-type		5.0			0.35	5.8	
1 travée (2 montants), charge verticale de 450 N, charges au sommet de la lisse supérieure (tube)							
GC-MAL-INSR-2m-01	52	108	-775	800	3.4	78	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-MAL-INSR-2m-02	52	122			3.4	78	Aucune plastification
GC-MAL-INSR-2m-03	52	135			3.4	78	Aucune plastification
Moyenne		122			3.4	78	
Écart-type		13.5			0.00	0.0	

Résultats – Garde-corps Innovation Malenfant

- Essais de résistance in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (INSR)

Nom de l'essai	Hauteur de la charge p/r à la base du parapet (po)	Charge horizontale de 900 N				Observations	
		Flèche totale (mm)	Jauges		Parapet		
			Comprimée (10 ⁻⁶ mm/mm)	tendue	Rotation (degré)		Flèche équiv. (mm)
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au centre de la travée centrale (tube)							
GC-MAL-INSR-4m-CC-01	52	129	-725	800	3.8	88	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-MAL-INSR-4m-CC-02	52	135			3.8	88	Aucune plastification
GC-MAL-INSR-4m-CC-03	52	131			3.5	81	Aucune plastification
Moyenne		132			3.7	85	
Écart-type		3.1			0.17	4.0	
3 travées (4 montants), charge verticale de 450 N, charges au sommet de la travée de rive							
GC-MAL-INSR-4m-CE-01	52	99	-725	770	2.7	62	Aucune plastification
			Plastification de l'acier entre 1500 et 2000 x 10 ⁻⁶ mm/mm				
GC-MAL-INSR-4m-CE-02	52	112			3.0	69	Aucune plastification
GC-MAL-INSR-4m-CE-03	52	111			2.9	67	Aucune plastification
Moyenne		107			2.9	66	
Écart-type		7.2			0.15	3.5	

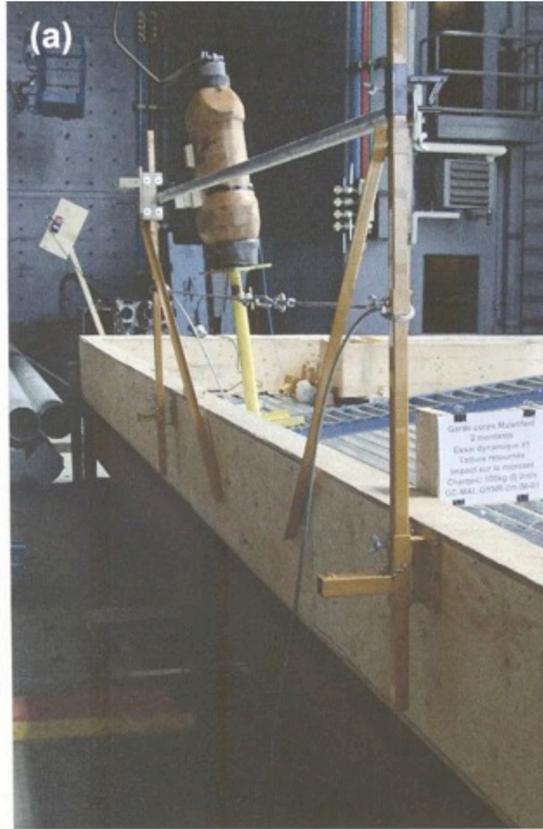
Essais dynamiques (série DYN)



Essais dynamiques d'impact (série DYN), parapet parallèle aux poutrelles:

- (a) 1 travée, impact sur un montant (GC-JPL-DYN-2m-IM-01) ;**
- (b) 1 travée, impact sur la lisse supérieure (GC-JPL-DYN-2m-IL-01) ;**
- (c) 3 travées, impact sur la lisse supérieure de la travée centrale (GC-JPL-DYN-4m-IC-01) ;**
- (d) 3 travées, impact sur la lisse supérieure de la travée de rive (GC-JPL-DYN-4m-IR-01).**

Essais dynamiques (série DYNR)



Essais dynamiques d'impact (série DYNR), parapet perpendiculaire aux poutrelles:

(a) 1 travée, impact sur un montant (GC-JPL-DYNR-2m-IM-01) ;

(b) 1 travée, impact sur la lisse supérieure (GC-JPL-DYNR-2m-IL-01) ;

(c) 3 travées, impact sur la lisse supérieure de la travée centrale (GC-JPL-DYNR-4m-IC-01) ;

(d) 3 travées, impact sur la lisse supérieure de la travée de rive (GC-JPL-DYNR-4m-IR-01).

Résultats – Garde-corps Alcor

- Essais dynamiques in situ avec parapet parallèle aux poutrelles (DYN)

Nom de l'essai	Hauteur de l'impact p/r à la base du parapet (po)	Déplacement maximaux			Vitesse à l'impact (m/s)	Observations
		Horizontal axe X (mm)	Vertical axe Y (mm)	Transversal axe Z (mm)		
1 travée (2 montants), impact sur le sommet du montant; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYN-2m-IM-01	57.25	264	45	-25	2.1	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 76 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
1 travée (2 montants), impact au centre de la lisse supérieure; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYN-2m-IL-01	57.25	203	45	-8	1.9	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 10 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact au centre de la travée de rive; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYN-4m-IR-01	57.25	201	39	7	1.8	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 8 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact dans la travée centrale; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYN-4m-IC-01	57.25	198	35	-4	2.1	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 35 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture

Résultats – Garde-corps Alcor

- Essais dynamiques in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (DYNR)

Nom de l'essai	Hauteur de l'impact p/r à la base du parapet (po)	Déplacement maximaux			Vitesse à l'impact (m/s)	Observations
		Horizontal axe X (mm)	Vertical axe Y (mm)	Transversal axe Z (mm)		
1 travée (2 montants), impact sur le sommet du montant; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYNR-2m-IM-01	57.25	286	70	10	2.1	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 52 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
1 travée (2 montants), impact au centre de la lisse supérieure; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYNR-2m-IL-01	57.25	263	71	11	2.1	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 11 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact au centre de la travée de rive; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYNR-4m-IR-01	57.25	259	49	7	2.1	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 9 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact dans la travée centrale; espacement des montants = 6 pi						
GC-ALC-DYNR-4m-IC-01	57.25	251	51	10	2.0	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 13 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture

Résultats – Garde-corps J.P. Lemieux

- Essais dynamiques in situ avec parapet parallèle aux poutrelles (DYN)

Nom de l'essai	Hauteur de l'impact p/r à la base du parapet (po)	Déplacement maximaux			Vitesse à l'impact (m/s)	Observations
		Horizontal axe X (mm)	Vertical axe Y (mm)	Transversal axe Z (mm)		
1 travée (2 montants), impact sur le sommet du montant; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYN-2m-IM-01	55	203	34	3	2.3	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 40 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
1 travée (2 montants), impact au centre de la lisse supérieure; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYN-2m-IL-01	53	183	49	1	2.2	Pas d'endommagement des montants, déplacement résiduel = 0 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact au centre de la travée de rive; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYN-4m-IR-01	53	184	50	4	2.2	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 12 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact dans la travée centrale; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYN-4m-IC-01	53	172	45	2	2.1	Pas d'endommagement des montants, déplacement résiduel = 1 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture

Résultats – Garde-corps J.P. Lemieux

- Essais dynamiques in situ avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (DYNR)

Nom de l'essai	Hauteur de l'impact p/r à la base du parapet (po)	Déplacement maximaux			Vitesse à l'impact (m/s)	Observations
		Horizontal axe X (mm)	Vertical axe Y (mm)	Transversal axe Z (mm)		
1 travée (2 montants), impact sur le sommet du montant; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYNR-2m-IM-01	54.5	266	76	4	2.1	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 29 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
1 travée (2 montants), impact au centre de la lisse supérieure; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYNR-2m-IL-01	52.5	247	50	2	2.2	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 10 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact au centre de la travée de rive; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYNR-4m-IC-01	52.5	241	51	3	2.4	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 10 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants), impact dans la travée rive; espacement des montants = 10 pi						
GC-JPL-DYNR-4m-IC-01	52.5	205	53	3	2.0	Pas d'endommagement des montants, déplacement résiduel = 1 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture

Résultats – Garde-corps Innovation Malenfant

- Essais dynamiques in situ avec un tube comme lisse supérieure avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (DYNR)

Nom de l'essai	Hauteur de l'impact p/r à la base du parapet (po)	Déplacement maximaux			Vitesse à l'impact (m/s)	Observations
		Horizontal axe X (mm)	Vertical axe Y (mm)	Transversal axe Z (mm)		
1 travée (2 montants sans stabilisateur de poteau), impact sur le sommet du montant; espacement des montants = 10 pi						
GC-MAL-DYNR-2m-IM-01	54.5	Hors limite	Hors limite	Hors limite	2.2	Rupture au niveau des ancrages du montant, le torse de bois chute à l'extérieur de la toiture
GC-MAL-DYNR-2m-IM-01	54.5	Hors limite	Hors limite	Hors limite		Rupture au niveau des ancrages du montant, le torse de bois chute à l'extérieur de la toiture
1 travée (2 montants avec stabilisateur de poteau), impact sur le sommet d'un montant; espacement des montants = 10 pi						
GC-MAL-DYNR-2m-IM-02	54.5	269	89	2	2.3	Endommagement du montant, déplacement résiduel = 60 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
1 travée (2 montants avec stabilisateur de poteau), impact au centre de la lisse supérieure; espacement des montants = 10 pi						
GC-MAL-DYNR-2m-IL-01	53	238	45	4	2.2	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 15 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture

Résultats – Garde-corps Innovation Malenfant

- Essais dynamiques in situ avec un tube comme lisse supérieure avec parapet perpendiculaire aux poutrelles (DYNR)

Nom de l'essai	Hauteur de l'impact p/r à la base du parapet (po)	Déplacement maximaux			Vitesse à l'impact (m/s)	Observations
		Horizontal axe X (mm)	Vertical axe Y (mm)	Transversal axe Z (mm)		
3 travées (4 montants avec stabilisateur de poteau), impact au centre de la travée de rive; espacement des montants = 10 pi						
GC-MAL-DYNR-4m-IC-01	53	228	51	4	2.2	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 12 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture
3 travées (4 montants avec stabilisateur de poteau), impact au centre de la travée de rive; espacement des montants = 10 pi						
GC-MAL-DYNR-4m-IR-01	53	201	50	4	2.4	Endommagement des montants, déplacement résiduel = 12 mm, le torse de bois demeure à l'intérieur de la toiture

Conclusions

- À la lumière de résultats d'essais, voici les principales conclusions de l'étude.
- Les trois garde-corps, qu'ils soient ancrés sur la bille de bois ou sur le parapet dans les deux directions, ont résisté aux charges de 900 N horizontale et 450 N verticale.
- Dans les essais à une travée ancrés à la bille de bois, tous les garde-corps ont résisté sans rupture à 1800 N, soit le double de la charge exigée.

Conclusions (suite)

- Conséquemment, les 3 garde-corps sont conformes au Code de sécurité pour les travaux de construction du Québec.
- Les garde-corps présentent une bonne ductilité qui permet d'excéder les exigences de résistance du Code de sécurité pour les travaux de construction.
- Ils sont suffisamment résistants.
- La résistance de l'ensemble garde-corps/parapet dépendra de la résistance du parapet.

Conclusions (suite)

- Les essais valident les paramètres d'ancrages utilisés lors des essais in situ.
- Essais dynamiques: tous les garde-corps ancrés au parapet ont résisté à l'impact du mannequin de 100 kg animé d'une vitesse de 2 m/s.
- Plastification des montants de garde-corps Alcor et Innovation Malenfant sous une charge horizontale inférieure à 900 N lors des essais avec un montant unique, mais le montant a une bonne ductilité qui permet d'excéder 900 N.

Conclusions (suite)

- Nous recommandons que Alcor et Innovation Malenfant utilisent un profilé légèrement plus résistant pour les nouveaux garde-corps; outre la résistance accrue, les garde-corps auront une plus longue durée d'utilisation.
- Nous recommandons que la lisse supérieure de 40x90 soit appuyée sur les montants de telle façon que la largeur de 90 mm du montant soit dans l'axe de la largeur de la lisse supérieure.
- Pour les garde-corps Alcor mettre la lisse suivant l'article 3.8.3 de S-2.1, r.6, soit couchée sur la largeur de 90 mm.

Valorisations

- Lan, André, Daigle, Renaud. 'Anchoring system for guardrails on flat roofs for roofers'. *National Occupational Injury Research Symposium 2011 (NOIRS 2011)*. October 2011. Morgantown, West-Virginia.
- Lan, André, Daigle, Renaud. 'Système d'ancrage de garde-corps sur des toits plats pour les couvreurs'. Études et recherches / Rapport R-678, Montréal, IRSST, 2011, 74 pages.
- Lan, André; Daigle, Renaud. 'Système d'ancrage de garde-corps sur des toits plats pour les couvreurs'. Études et recherches / Annexe RA-678, Montréal, IRSST, 2011, 107 pages.
- Lan A., Daigle R. «Development and validation of a method for evaluating temporary wooden guardrails built and installed on construction sites». *Safety Science*, 2009, vol. 47, no 2, p. 215-226.
- Lan A., Daigle R. Développement et validation d'une méthode d'évaluation des garde-corps en bois fabriqués et installés à pied d'œuvre sur les chantiers
in Congrès de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail / AQHSST : L'approche globale en SST... gage de réussite (29e : 16-18 mai, 2007 : Chicoutimi, Canada), 2007.
- Lan A., Daigle R. 'Development and validation of a method to evaluate wooden guardrails built and readily installed on Construction sites'. in 2006 International Fall Protection Symposium, (June 14-15, 2006 : Seattle, U.S.A.), 2006.
- Les fabricants de garde-corps Alcor, J. P. Lemieux et Innovation Malenfant utilisent les résultats de l'étude.

Valorisations

- Activité de valorisation: Fiches de prévention sur les systèmes d'ancrage de garde-corps sur toits plats pour les couvreurs en collaboration avec l'ASP Construction. (Lan, André, Ouellet, François et Louise Lessard de l'ASP Construction).
- Prévention au travail (à venir).

Remerciements

Nous tenons à remercier les organisations et les personnes suivantes:

- L'association des Maîtres couvreurs du Québec (AMCQ);
- Le Syndicat interprovincial des ferblantiers et couvreurs, section locale 2016;
- L'Association Internationale des Travailleurs de Métal en feuille, local 116;
- Les entreprises Alcor de PNR International Inc. de St-Léonard, J.P. Lemieux et fils SENC de Montréal-Nord et Innovation Malenfant Inc. de St-Jean-de-Dieu qui ont fourni l'ensemble de garde-corps pour le programme d'essais expérimentaux au Laboratoire Hydro-Québec de l'École Polytechnique de Montréal;
- L'équipe technique du Groupe de recherche en génie des structures de l'École Polytechnique pour sa contribution au programme expérimental;
- Monsieur François Morissette de l'Association des Maîtres Couvreurs du Québec (AMCQ);
- Monsieur Alain Pigeon du Syndicat interprovincial des ferblantiers et couvreurs, section locale 2016;
- Monsieur Ronald Lapierre de l'Association Internationale des Travailleurs de Métal en feuille, local 116;
- Monsieur François Lemieux de J.P. Lemieux et fils SENC de Montréal-Nord;
- Monsieur Paul Correia de Alcor de PNR International Inc ;
- Monsieur J-Claude Malenfant de Innovation Malenfant inc;
- Les chantiers de travaux de toitures qui nous ont accueillis afin de nous permettre de colliger des données sur les garde-corps et les couvreurs.

Fin

- Merci
- Questions ?