

SYSTÈME DE RENFORCEMENT IN SITU DES PORTIQUES DE SIGNALISATION AÉRIENNE – DIAGONALES DE RENFORT TÉLESCOPIQUES EN ALUMINIUM

Marcel Vallières, ing. M. Sc.

Direction des structures
Ministère des Transports du Québec

Résumé : Cet article traite du développement d'un dispositif de renforcement in situ de portiques de signalisation aérienne à l'aide de diagonales de renfort à géométrie variable. Il faut donc concevoir des membrures dotées d'assemblages spéciaux permettant d'ajuster la longueur in situ selon des angles variant de 45° à près de 90°. Il faut aussi concevoir des brides robustes qui seront sollicitées sous différents angles sans pour autant glisser sur les longerons. L'article présente aussi les premiers résultats du programme expérimental permettant de mettre à rude épreuve ce nouveau système de renforcement in situ d'un portique de signalisation aérienne en aluminium.

1. INTRODUCTION

Les portiques de signalisation aérienne supportent les équipements routiers au-dessus des voies de circulation. Ces équipements sont généralement des panneaux de supersignalisation, lesquels sont caractérisés par leurs grandes dimensions. La figure 1 montre des exemples de structures triangulées d'usage courant au Québec.

Figure 1 Portique triangulé type A1



Photo : Marcel Vallières, MTQ



Photo : Marcel Vallières, MTQ

Comme le soudage au chantier est hasardeux et qu'il s'avère très coûteux de démonter un ouvrage et de le transporter en atelier afin de procéder aux réparations, des solutions plus pratiques et plus économiques doivent être mises au point afin de faciliter les travaux d'entretien et de renforcement in situ des structures de type A1.

Le présent article porte sur la conception de diagonales de renfort télescopiques et de brides d'assemblage dans le but d'apporter une solution applicable dans plusieurs situations. L'article présente aussi les premiers résultats expérimentaux réalisés à l'École Polytechnique de Montréal.

2. PROBLÉMATIQUE

Les portiques de signalisation aérienne à treillis en aluminium étaient auparavant identifiés A, B, C ou CS en fonction du type de poutre triangulée. La refonte des normes ministérielles a conduit à la normalisation de plusieurs types d'ouvrages, les portiques triangulés étant dorénavant identifiés A1. Les nouvelles poutres triangulées normalisées sont certes plus robustes, mais elles conservent tout de même le même gabarit que les poutres précédentes; les nouvelles poutres triangulées sont identifiées T1, T2, T3 et T4, tandis que les anciennes poutres triangulées conservent l'identification originale A, B, C ou CS.

Qu'il s'agisse d'anciens ou de nouveaux ouvrages, le ministère des Transports du Québec doit en assurer l'inspection et l'entretien. Lorsque des dommages sont constatés, il s'avère pratiquement impossible de procéder in situ à des réparations requérant l'exécution d'assemblages soudés. Il est alors nécessaire de démonter l'ouvrage et d'en transporter les segments défectueux jusqu'à un atelier de réparation. Comme les équipements routiers doivent être réinstallés rapidement, il faut alors trouver une autre poutre triangulée dont la portée ne correspond pas nécessairement à la portée requise, réassembler rapidement le portique et réinstaller les panneaux de signalisation.

Évidemment, faute de solution pratique, ces travaux requièrent beaucoup de temps et s'avèrent coûteux en plus d'entraver la circulation routière. De plus, il y a lieu de croire qu'au bout de quelques années de ce régime, un nombre assez important d'ouvrages spéciaux puissent se retrouver sur le réseau routier, certains d'entre eux s'avérant adéquats pour supporter les équipements requis jusqu'à ce qu'il faille ajouter des équipements supplémentaires, alors que d'autres requièrent de nouvelles interventions à brève échéance, ne serait-ce que pour supporter les surcharges lors des conditions hivernales. Bref, à chaque fois qu'une intervention de ce type est nécessaire, la solution risque d'engendrer de nouveaux problèmes à plus ou moins brève échéance.

Par ailleurs, même si une pièce diagonale se situe loin des zones d'extrémité, il arrive parfois que celle-ci doive être remplacée. C'était jadis le cas des diagonales qui pouvaient se fendre longitudinalement sous l'effet du gel de l'eau s'étant infiltrée à l'intérieur de la pièce. Les figures 2 et 3 montrent des exemples de ce type de dommage.

Parfois, ce sont les assemblages soudés qui sont endommagés. La figure 4 en montre des exemples. On constate aisément que les excentricités à certains nœuds de triangulation peuvent être relativement importantes.

Figure 2 Dommages dus au gel de l'eau dans une membrure diagonale



Note : Mauvaise position d'un trou de ventilation requis lors du soudage; le percement sur le dessus de la membrure diagonale permet à l'eau d'entrer dans la membrure. En l'absence d'un point de drainage au bas de la membrure, l'eau s'accumule; le gel causera alors la rupture de la membrure.

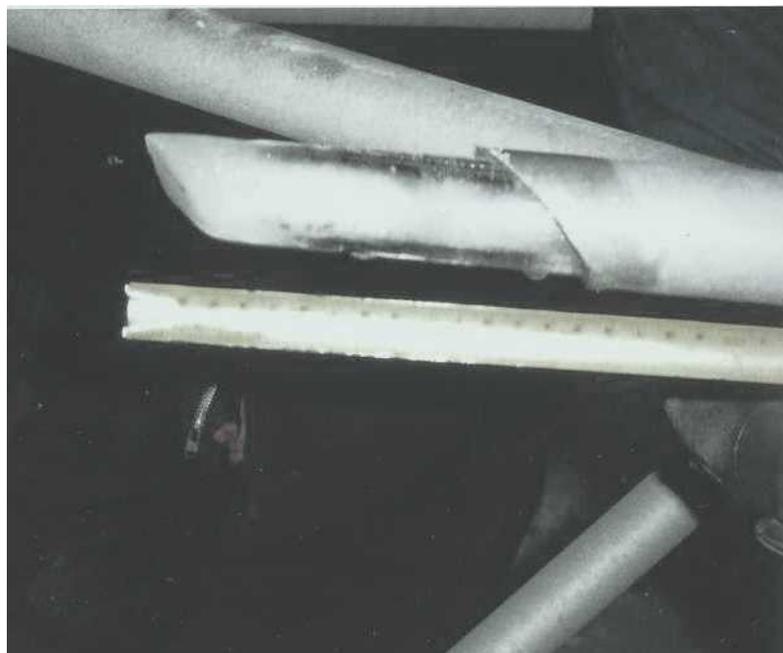
Photo : Michel Labonté, MTQ



Note : Fissure longitudinale dans une membrure diagonale; en gelant, la glace formée aura suffisamment d'expansion pour fendre la membrure.

Photo : Michel Labonté, MTQ

Figure 3 Glace dans une membrure diagonale



Note : La Direction du laboratoire des chaussées a déjà vérifié en laboratoire quelle pouvait être l'importance du gel de l'eau dans une membrure diagonale. Plusieurs cas de membrures non drainées ont été constatés à l'époque. La glace pouvait se former sur une longueur atteignant aisément 20 cm.

Photo : Michel Labonté, MTQ

Figure 4 Assemblages endommagés à l'extrémité des membrures diagonales



Note : Assemblages excentriques. Les nouvelles poutres T1 à T4 ont des joints concentriques.

Photo : Michel Labonté, MTQ



Note : Fissure se propageant dans l'assemblage soudé.

Photo : Michel Labonté, MTQ

Qu'il s'agisse de dommages à un assemblage soudé ou à une membrure, il s'avère très coûteux de démonter l'ouvrage de supersignalisation aérienne et de transporter les segments endommagés jusqu'à un atelier afin d'y exécuter les travaux de réparation.

En concevant des dispositifs de renforcement pouvant être préfabriqués et transportés aisément, la mise en œuvre est grandement facilitée par l'utilisation d'assemblages boulonnés à réaliser in situ. D'une part, les équipes d'entretien pourront réaliser les travaux de façon beaucoup plus rapide, et d'autre part, les économies réalisées permettront la mise aux normes d'un plus grand nombre d'ouvrages. De plus, les entraves à la circulation routière seront limitées, ce qui a toujours des conséquences bénéfiques sur la sécurité routière.

Une solution plus pratique et beaucoup moins onéreuse est souhaitable. Un système de renforcement in situ est donc requis afin de faciliter le travail des équipes d'entretien et de minimiser les entraves à la circulation.

L'auteur propose donc un nouveau système de renforcement in situ à l'aide de membrures diagonales à géométrie variable. Ce type de renforcement requiert le développement de brides d'attache boulonnées aux longerons de façon à éviter le glissement des pièces sur ceux-ci.

3. DONNÉES SUR LE PORTIQUE TRIANGULÉ DE TYPE A1 EN ALUMINIUM

Le portique de signalisation aérienne de type A1 normalisé par le Ministère est constitué d'une charpente métallique en aluminium. Il comporte une poutre triangulée et deux ou trois supports verticaux. La poutre comporte quatre longerons auxquels le treillis est soudé. Les supports verticaux comportent deux poteaux auxquels un treillis plan est lui aussi soudé. Toutes les membrures ont une section circulaire.

Le treillis d'une poutre triangulée est constitué de diverses membrures. Les membrures les plus sollicitées sous l'effet du vent sont les diagonales horizontales; celles qui sont surtout sujettes aux charges permanentes et aux surcharges de verglas sont les diagonales verticales.

La section d'une poutre triangulée est définie en fonction de l'entraxe des longerons en sens horizontal et en sens vertical. Ces dimensions correspondent respectivement à la largeur (D_x), et à la hauteur (D_y), de la poutre triangulée. Le tableau 1 présente les dimensions principales des poutres triangulées.

Tableau 1 Dimensions des poutres triangulées

Type de poutre triangulée		Dimensions	
Anciens portiques	Nouveaux portiques	D_x (mm)	D_y (mm)
A	T1	914	914
B	T2	1219	1219
C	T3	1524	1524
CS	T4	1829	1524

Les longerons et les membrures secondaires sont en alliage d'aluminium 6061-T6. Les longerons des poutres triangulées existantes ont 4,76 mm d'épaisseur; ceux des nouvelles poutres triangulées ont 6,35 mm d'épaisseur; leur diamètre est de 89 mm pour les poutres de type A, de 127 mm pour celles de type B et de 152 mm pour celles de types C et CS.

Les membrures diagonales des poutres triangulées de type A, B ou C sont assemblées à 45° par rapport aux longerons. Les membrures diagonales verticales des poutres triangulées de type CS sont assemblées à 45°, tandis que les diagonales horizontales sont ajustées en fonction de l'espacement horizontal plus important entre les longerons de la poutre triangulée.

On notera que la plupart des anciens ouvrages présents sur le réseau routier ont des poutres de type A, B ou C, les poutres de type CS étant exceptionnelles. La plupart des nouveaux portiques fabriqués depuis quelques années devraient être des poutres triangulées T1, T2 ou T3. Les poutres T4 sont parfois nécessaires lorsque de grandes portées sont requises. De plus, il peut aussi y avoir quelques cas spéciaux identifiés T99 pour les ouvrages ayant une portée spéciale ou pour supporter de lourds équipements routiers.

3.1 Critères de conception d'un système de renforcement in situ d'une poutre triangulée

La conception d'un dispositif de renforcement d'un portique de signalisation aérienne de type A1 requiert essentiellement que la diagonale de renfort télescopique ait une résistance égale ou supérieure à celle d'une diagonale existante.

De plus, aucune soudure in situ ne doit être exécutée. Tout assemblage soudé doit être fait en atelier. Seuls des assemblages boulonnés doivent être exécutés in situ.

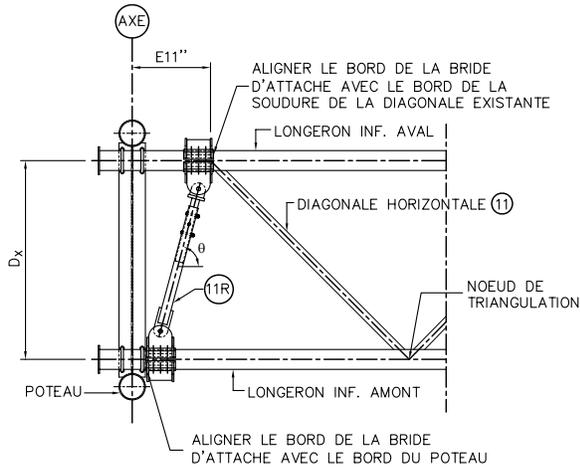
Afin d'installer une membrure de renfort, il faut concevoir un système d'attache qui pourra être préfabriqué. Si possible, il faut éviter de percer les pièces de la structure existante. Il faut donc opter pour un système dont les pièces principales épouseront la forme cylindrique du longeron. Ces pièces doivent être assemblées au moyen de quatre ou six boulons. Évidemment, une bonne résistance anti-glissement est nécessaire afin de contrer l'action de la composante horizontale de la charge transmise par la membrure diagonale de renfort. Il faut donc soigner les détails, examiner quel état de surface sera requis à l'interface entre les pièces et le longeron, examiner si un nettoyage chimique sera requis ou au contraire, un simple sablage. En tel cas, quel niveau de sablage sera requis. Il faut aussi définir la méthode de boulonnage de même que les limites de chargement à considérer.

3.2 Renforcement à l'extrémité à d'une poutre triangulée

Aux extrémités de la poutre triangulée, la triangulation est interrompue de façon à laisser un jeu suffisant pour permettre de faire l'assemblage à l'aide de boulons en U. Il est essentiel de limiter l'excentricité entre le dernier nœud de triangulation et l'axe du support vertical. Certaines discontinuités ont parfois atteint plus de 900 mm. De telles discontinuités entraînent des surcharges importantes sur les longerons et sur les deux dernières diagonales dans chaque face du treillis : une augmentation de contraintes de près de 25 % est possible dans les pires conditions. Ces discontinuités du treillis aux extrémités d'une poutre triangulée s'avèrent souvent le point le plus névralgique de la structure. D'ailleurs, plusieurs structures inspectées ont révélé des dommages importants aux extrémités des poutres. Les problèmes de discontinuité structurale sont aggravés par l'absence de cales entre les longerons et les poteaux. Des correctifs rapides peuvent être apportés en renforçant in situ les extrémités des poutres : il s'agit alors d'ajouter une diagonale sur chacune des quatre faces de la poutre triangulée dont une extrémité a une discontinuité aussi grande. Compte tenu du fait que le soudage in situ est rarement possible, la solution considérée dans le projet de recherche est le renforcement à l'aide de pièces boulonnées in situ.

Les figures 5 et 6 montrent l'installation de quatre diagonales de renfort permettant de corriger une discontinuité importante à l'extrémité d'une poutre triangulée. La figure 5 montre les pièces installées en plan horizontal alors que la figure 6 montre celles installées en plan vertical.

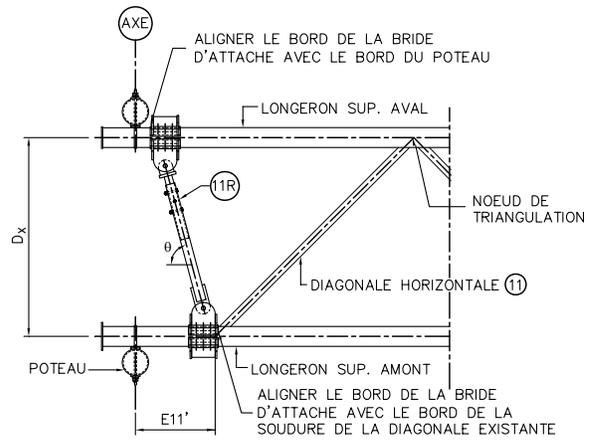
Figure 5 Installation de deux diagonales télescopiques pour le renforcement en sens horizontal à l'extrémité d'une poutre triangulée en aluminium (portique A1)



COUPE TYPE

(VUE EN PLAN INFÉRIEUR)

NOTE : LES DIAGONALES INTERNES NE SONT PAS MONTRÉES.



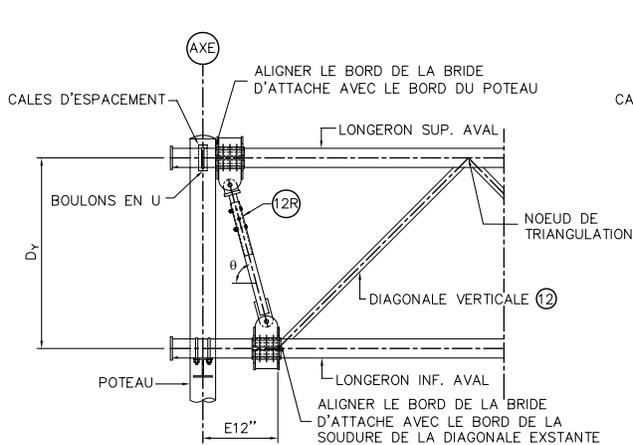
COUPE TYPE

(VUE EN PLAN SUPÉRIEUR)

NOTE : LES DIAGONALES INTERNES NE SONT PAS MONTRÉES.

Concepteur : Marcel Vallières, ing. M. Sc.

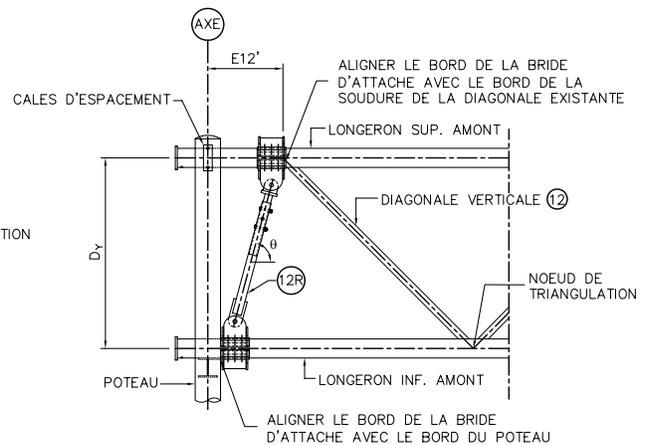
Figure 6 Installation de deux diagonales télescopiques pour le renforcement en sens vertical à l'extrémité d'une poutre triangulée en aluminium (portique A1)



COUPE TYPE

(VUE EN ÉLÉVATION AVAL)

NOTE : LES DIAGONALES INTERNES NE SONT PAS MONTRÉES.



COUPE TYPE

(VUE EN ÉLÉVATION AMONT)

NOTE : LES DIAGONALES INTERNES NE SONT PAS MONTRÉES.

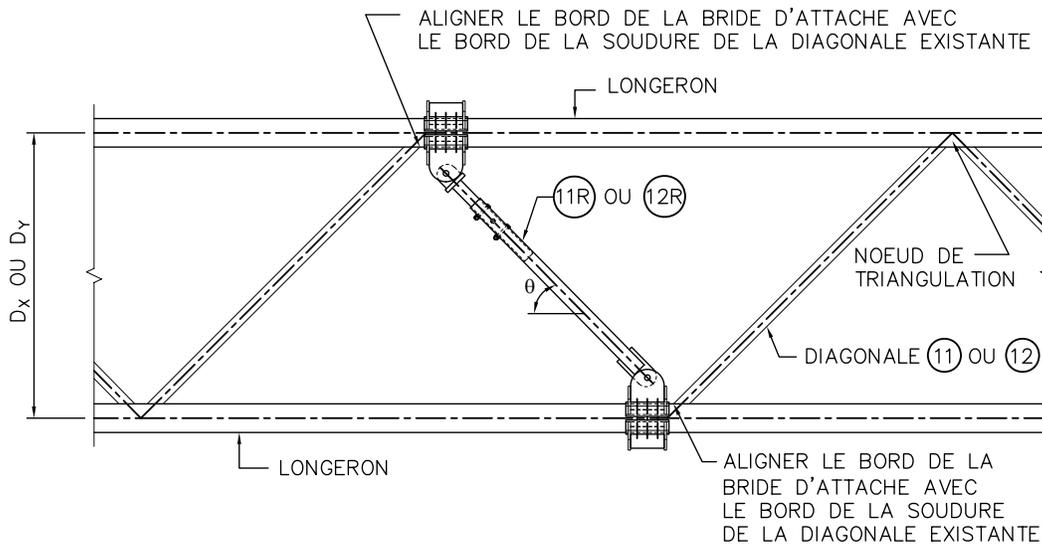
Concepteur : Marcel Vallières, ing. M. Sc.

3.3 Remplacement d'une membrure diagonale à 45°

En travée, les poutres triangulées ont normalement des membrures diagonales à 45°. Lorsqu'une pièce est endommagée, il importe de renforcer rapidement cette zone afin d'éviter de surcharger indûment les autres pièces situées dans cette zone.

La figure 7 montre l'installation d'une diagonale de renfort permettant de remplacer une membrure quelconque d'une poutre triangulée. Cette pièce peut être installée en plan horizontal ou vertical.

Figure 7 Installation d'une diagonale télescopique pour le remplacement d'une membrure diagonale en travée d'une poutre triangulée en aluminium (portique A1)



COUPE TYPE

(VUE EN ÉLÉVATION)

NOTE : LES DIAGONALES INTERNES NE SONT PAS MONTRÉES.

Concepteur : Marcel Vallières, ing. M. Sc.

3.4 Renforcement à l'aide de membrures à 90°

Les discontinuités de la triangulation dans les zones de raccord entre les segments d'une poutre sont normalement présentes dans les zones de faible cisaillement situées à mi-portée ou au tiers de portée.

Les segments de poutre sont assemblés à l'aide des brides de raccord soudées aux longerons. Le faible cisaillement présent dans ces zones de discontinuités structurales ne peut générer une flexion secondaire significative en autant que les segments du treillis soient orientés adéquatement. Pour ce, des nœuds de triangulation effectifs doivent se situer de part et d'autre de la bride de raccord. Ceci implique qu'en plan, tout autant horizontal que vertical, une diagonale acheminant un effort jusqu'à proximité d'une bride de raccord doit être suivie d'une autre diagonale ou d'une traverse qui supportera l'effort de l'autre côté de ladite bride de raccord.

Lorsque cette géométrie n'est pas respectée, il y a lieu de corriger la situation en utilisant des membrures télescopiques afin de renforcer la poutre triangulée en installant deux traverses horizontales d'un côté des brides de raccord et deux montants verticaux de l'autre côté de ceux-ci. Compte tenu du fait que ces pièces sont perpendiculaires aux longerons, les brides de ce système ne sont pas sujettes au glissement. De plus, l'espace disponible pour l'assemblage d'une bride est fort restreint. Il est donc impossible d'utiliser la même bride que dans le cas d'une diagonale de renfort télescopique. La solution déjà présentée par l'auteur pour ce type de renforcement requiert le soudage d'une bride à chaque extrémité d'une membrure télescopique. Ces pièces doivent être en aluminium afin d'éviter la corrosion à l'interface entre les pièces de renfort et les longerons.

4. DIAGONALE DE RENFORT TÉLESCOPIQUE

La diagonale de renfort télescopique (RT) est conçue de façon à renforcer in situ les poutres triangulées les plus couramment utilisées, soit les poutres A ou T1, B ou T2, C ou T3.

On notera que compte tenu des limites de capacité des assemblages, aucune solution n'a été mise au point pour le renforcement des poutres CS et T4. Toutefois, les résultats expérimentaux obtenus par la suite nous indiquent que certaines solutions pourraient être considérées ultérieurement.

4.1 Pièces RT1 et RT2

Comme il fut énoncé dans la section 3.1, la diagonale de renfort télescopique (RT) doit avoir une résistance supérieure ou égale à l'effort maximal devant être supporté par une diagonale assemblée à 45° dans une poutre existante. La figure 8 présente les détails de la diagonale de renfort télescopique comportant une longue pièce principale RT1 dans laquelle s'emboîte la pièce RT2.

Les montages possibles sont montrés aux figures 5, 6 et 7. Évidemment, l'angle de 45° ne s'applique pas à tous les montages, aussi faut-il concevoir un assemblage boulonné à chaque extrémité en considérant un seul boulon d'assemblage de façon à pouvoir pré-fabriquer toutes les pièces et à pouvoir les adapter à différentes configurations possibles, l'angle (Θ) variant de 45° à près de 90°.

Dans la figure 8, on identifie les boulons d'assemblage selon l'ordre de pose de ceux-ci. Ainsi, les boulons « A » servent à assembler les deux brides aux longerons. Ensuite, on insère la diagonale de renfort télescopique (RT) entre les goussets de chaque bride et on pose un premier boulon « B », on retire la vis de blocage et on installe le second boulon « B ».

L'assemblage final de la pièce RT est complété en utilisant les trous pré-perçés dans la pièce RT1 pour percer les derniers trous dans la pièce RT2 et, finalement, insérer les boulons « C ».

4.2 Assemblage à l'extrémité de la pièce RT1

À l'extrémité de la pièce RT1, une plaque « 1 » doit être soudée. Cela requiert un premier percement dans la pièce RT1 avant le découpage à partir du bord libre de la pièce RT1 jusqu'au centre du trou. Cette procédure est requise de façon à maximiser la résistance à la fatigue structurale.

Ensuite, les bords découpés doivent être meulés. Il s'agit là d'une préparation de surface requise de façon à obtenir une résistance élevée pour chaque soudure longitudinale.

La plaque « 1 » est insérée dans les deux fentes découpées dans la pièce RT1 et des soudures sur préparation sont exécutées sans remplissage du trou à l'extrémité de la plaque, ce qui réduirait la résistance à la fatigue. La soudure sur préparation est complétée par une soudure d'angle.

La figure 9 montre les détails de l'assemblage entre la plaque « 1 » et la pièce RT1.

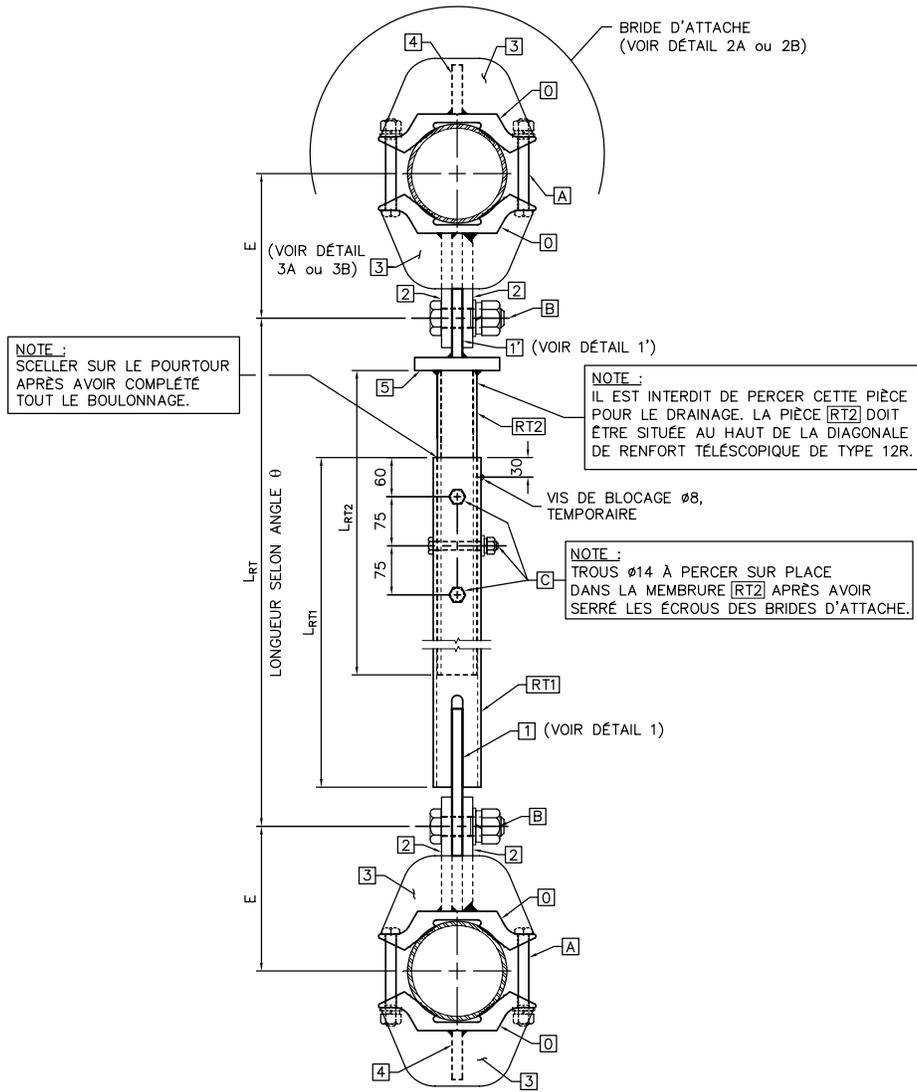
4.3 Assemblage à l'extrémité de la pièce RT2

À l'extrémité de la pièce RT2, une plaque « 1' » doit être soudée mais il est impossible de découper la pièce RT2 comme dans le cas précédent. Il faut donc souder une plaque circulaire « 5 » à l'extrémité de la pièce RT2. Une soudure sur préparation complétée par une soudure d'angle périphérique est requise à cet endroit.

Finalement, la plaque « 1' » est soudée à la plaque circulaire « 5 ». Un assemblage à pleine pénétration est requis entre ces deux plaques. Il doit être complété par une soudure d'angle périphérique.

La figure 10 montre les détails de ces assemblages entre la plaque « 1' », la plaque circulaire « 5 » et la pièce RT2.

Figure 8 Diagonale de renfort télescopique en aluminium (portique A1)

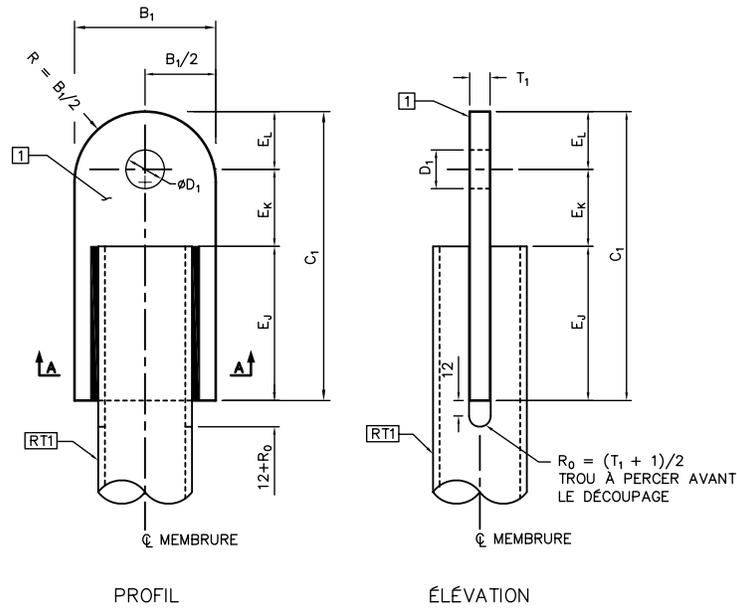


LÉGENDE

NO.	DESCRIPTION	ALLIAGE D'ALUMINIUM
[0]	EXTRUSION (DÉTAIL 2A)	6063-T6
	PLAQUE PLIÉE (DÉTAIL 2B)	6061-T6
[1 ET 1']	PLAQUE D'ANCRAGE	6061-T6
[2]	PLAQUE D'ANCRAGE	6061-T6
[3]	RAIDISSEUR TRANSVERSAL	6061-T6
[4]	RAIDISSEUR LONGITUDINAL	6061-T6
[5]	PLAQUE D'EXTRÉMITÉ	6061-T6
[6]	TIGE (DÉTAIL 2B)	6061-T6
[RT1]	MEMBRURE PRINCIPALE	6061-T6
[RT2]	MEMBRURE ENCASTRÉE	6061-T6

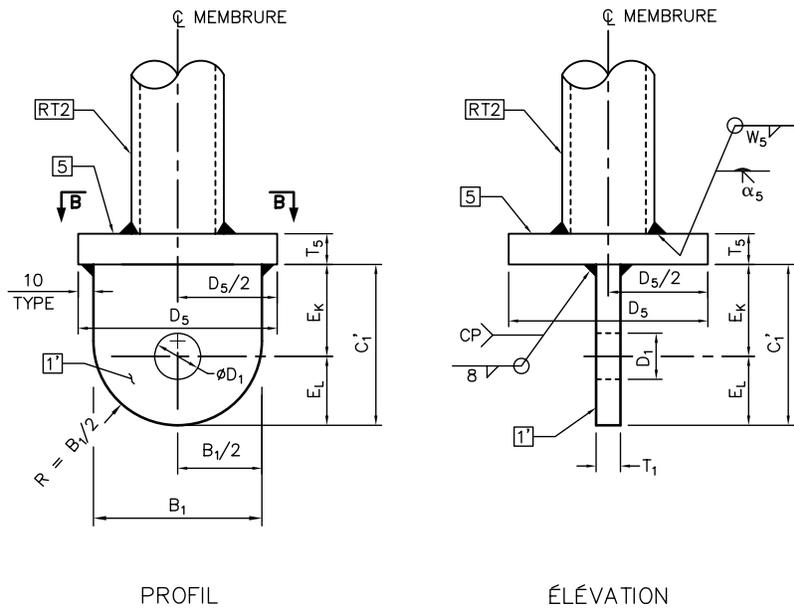
Concepteur : Marcel Vallières, ing. M. Sc.

Figure 9 Diagonale de renfort télescopique – Plaque à l’extrémité de la pièce RT1



Concepteur : Marcel Vallières, ing. M. Sc.

Figure 10 Diagonale de renfort télescopique – Plaque à l’extrémité de la pièce RT2



Concepteur : Marcel Vallières, ing. M. Sc.

4.4 Dimensions

La figure 11 présente les principales dimensions des pièces RT1 et RT2, les excentricités « E » de deux types de brides, de même que les dimensions des boulons « A », « B » et « C ».

La figure inclut aussi les dimensions choisies pour les pièces RT1 et RT2 en fonction de différents angles possibles.

De façon à minimiser les options, les regroupements possibles ont été examinés. Il en a résulté les choix suivants :

- Renforcement d'une poutre de type A ou T1
- Renforcement d'une poutre de type B ou T2
- Renforcement d'une poutre de type C
- Renforcement d'une poutre de type T3

Figure 11 Diagonale de renfort télescopique – Dimensions

DIMENSIONS												
POUTRE TRIANGULÉE			DIAGONALE TÉLESCOPIQUE		BRIDE		BOULON					
TYPE	D _x (mm)	D _y (mm)	[RT1] (mm)	[RT2] (mm)	TYPE 1	TYPE 2	[B]			[C]		
					E (mm)	E (mm)	φ _B (po.)	L _B (mm)	(po.)	φ _C (po.)	L _C (mm)	(po.)
A ou T1	914	914	60,3φ x 5,54	48,3φ x 5,08	130	119	3/4	69,9	2-3/4	1/2	88,9	3-1/2
B ou T2	1219	1219	73,0φ x 5,16	60,3φ x 5,54	181	173	1	88,9	3-1/2	1/2	101,6	4
C	1524	1524	73,0φ x 5,16	60,3φ x 5,54	221	216	1-1/8	95,3	3-3/4	1/2	101,6	4
T3	1524	1524	88,9φ x 7,62	73,0φ x 5,16	221	216					114,3	4-1/2

LONGUEURS DES MEMBRURES

θ (degrés)	A ou T1		B ou T2		C ou T3	
	L _{RT1} (mm)	L _{RT2} (mm)	L _{RT1} (mm)	L _{RT2} (mm)	L _{RT1} (mm)	L _{RT2} (mm)
65 ≤ θ ≤ 90	525	450	700	500	925	500
60 ≤ θ < 65	525	500	700	550	975	500
55 ≤ θ < 60	625	500	825	550	1050	500
50 ≤ θ < 55	625	500	825	550	1150	550
45 ≤ θ < 50	725	500	975	550	1250	550

BOULONS

- [A] BOULONS D'ASSEMBLAGE DES BRIDES (VOIR DÉTAILS 2A OU 2B).
- [B] (1) BOULON A325 TYPE 1, GALVANISÉ φ_B x L_B DE LONGUEUR, FOURNI AVEC ÉCROU, RONDELLE DE BLOCAGE ET RONDELLE RÉGULIÈRE.
- [C] (3) BOULONS A325 TYPE 1, GALVANISÉS φ_C x L_C DE LONGUEUR, FOURNIS AVEC ÉCROUS, RONDELLES DE BLOCAGE ET RONDELLES RÉGULIÈRES.

NOTE : TOUTE LA QUINCAILLERIE EST GALVANISÉE.

Concepteur : Marcel Vallières, ing. M. Sc.

5. BRIDES

L'installation d'une diagonale de renfort télescopique (RT) requiert deux brides assemblées aux longerons. Ces brides doivent être faites de pièces épousant la forme cylindrique du longeron. De plus, les assemblages boulonnés doivent être faits sans percer les longerons. Afin d'assurer le bon comportement du système, ce type d'assemblage doit être anti-glissement.

La surface d'un longeron doit être sablée au papier émeri avant l'installation de la bride. Il en va de même pour la surface intérieure de la bride.

La bride doit être munie de raidisseurs afin de bien répartir les pressions sous l'effet du serrage contrôlé des boulons.

Le Ministère utilise couramment des extrusions pour la fabrication des brides d'attache des potences en aluminium des structures d'éclairage. Comme ces extrusions ont déjà été utilisées pour les brides d'attache des pièces télescopiques constituant les traverses et les montants de part et d'autre de brides de raccord d'une poutre triangulée, ces extrusions ont été choisies pour la conception des brides de type 1. Compte tenu des dimensions de ces extrusions, seuls des boulons A325 de 16 mm de diamètre (5/8'') peuvent être utilisés dans les brides de type 1. De plus, ce type de bride n'offre que des zones de contact relativement limitées entre la bride et le longeron; il faudra en vérifier les effets sur la résistance au glissement. De plus, il faudra vérifier les procédures de boulonnage.

Compte tenu de ces limitations, un deuxième type de bride a été conçu de façon à pouvoir utiliser des boulons d'un diamètre plus important dans le but d'augmenter la résistance au glissement. Ces brides de type 2 sont faites de plaques pliées selon le diamètre extérieur du longeron. Aux bords libres, elles sont repliées de façon à pouvoir y insérer une demi-tige en aluminium, ce qui constituera une zone d'appui adéquate pour y appliquer les pressions uniformément lors du boulonnage. La bride de type 2 permet d'utiliser des boulons A325 de 19 mm de diamètre (3/4'').

Trois diamètres de longeron sont utilisés dans les portiques de signalisation aérienne. Chaque type de bride a donc été conçu de façon à ce qu'elle puisse être assemblée à des longerons ayant un diamètre de 89 mm, 127 mm ou 152 mm.

Les figures 12 et 13 montrent respectivement les détails des brides de types 1 et 2. On notera que quatre boulons sont requis dans le cas des brides assemblées aux longerons de 89 mm Ø. Dans le cas des longerons de 127 mm Ø et 152 mm Ø, les assemblages requièrent six boulons.

Figure 12 Bride de type 1 – Extrusions



Vue de profil d'une bride installée sur un longeron de 89 mm \varnothing pour poutre A/T1.



Bride de 89 mm \varnothing pour poutre A/T1
Zone d'attache où la plaque d'ancrage de la diagonale RT s'insère entre les goussets de la bride afin d'y être boulonnée.



Bride de 89 mm \varnothing pour poutre A/T1 – côté opposé aux goussets – raidisseur longitudinal avec 2 raidisseurs transversaux.



Vue d'ensemble des surfaces discontinues qui seront en contact avec le longeron : ces surfaces sont meulées de façon à épouser la forme cylindrique du longeron.

Photos : Marcel Vallières, MTQ

Figure 13 Bride de type 2 – Plaques pliées



Vue de profil d'une bride installée sur un longeron de 127 mm Ø pour poutre B/T2. Le même type de bride sera utilisé pour les poutres C et T 3.



Bride de 127 mm Ø poutre B/T2
Zone d'attache où la plaque d'ancrage de la diagonale RT s'insère entre les goussets de la bride afin d'y être boulonnée.



Bride de 127 mm Ø pour poutre B/T2 – côté opposé aux goussets – raidisseur longitudinal avec 2 raidisseurs transversaux.



Vue d'ensemble : Les plaques pliées offrent une plus grande surface de contact avec le longeron.

Photos : Marcel Vallières, MTQ

6. ESSAIS EN LABORATOIRE

Le volet expérimental de la recherche relève de l'équipe du Laboratoire de Structures de l'École Polytechnique de Montréal, sous la responsabilité de monsieur Bruno Massicotte, ing. Ph. D.

La conception et la fabrication des pièces de même que les essais supplémentaires visant à vérifier la rugosité de surface et à établir une procédure de boulonnage relèvent du Ministère.

Le projet de recherche inclut des essais de résistance en glissement, des essais de chargement en tension et en compression et quelques essais de chargements cycliques. Un dernier volet doit aussi permettre de vérifier l'efficacité de l'ensemble du système de renforcement installé dans un segment d'une poutre triangulée. Au moment de la rédaction de cet article, une partie des essais a été réalisée et les résultats feront l'objet de rapports qui seront présentés en 2006. Les premiers résultats sont résumés dans la présente section.

6.1 Vérification de la rugosité de surface des pièces et des procédures de boulonnage

Dans les essais de résistance au glissement, le frottement dépend certes de la pression appliquée sur la surface mais il dépend aussi de la rugosité de surface des pièces. Il importe donc de mesurer les principaux paramètres. Les essais requis ont été réalisés par la Direction du laboratoire des chaussées (DLC). Les résultats détaillés devraient être éventuellement présentés dans un rapport.

En ce qui a trait à la rugosité des surfaces, les mesures varient entre 7 et 10 microns.

Dans le cas de la vérification des procédures de boulonnage, on constate normalement une ovalisation de la section du longeron. Afin d'en faire l'appréciation, les déformations d'un longeron ont été vérifiées en mesurant les diamètres sur les axes principaux de la section, ceux-ci variant en fonction de l'augmentation de la tension de serrage des boulons. Le boulonnage doit se faire par étapes selon une configuration établie et en appliquant progressivement des tensions de serrage en trois niveaux prédéfinis.

Rappelons que dans le cas des brides de type 1 qui sont faites d'extrusions, des boulons A325 de 16 mm \varnothing sont utilisés tandis que les brides plus robustes de type 2 requièrent des boulons A325 de 19 mm \varnothing . Quatre boulons sont utilisés pour la bride de 89 mm \varnothing alors que six boulons sont requis pour les diamètres de 127 mm \varnothing et de 152 mm \varnothing . Évidemment, les brides requérant quatre boulons s'avèrent plus faciles à installer.

On notera que dans le cas de la bride de type 1 assemblée au longeron de 152 mm \varnothing , on excède les limites d'utilisation car il s'avère pratiquement impossible d'en assurer un boulonnage adéquat. On juge que la discontinuité des surfaces de contact est une cause probable puisque les charges croissantes appliquées lors du boulonnage sont alors plus ponctuelles. Comme elles ne sont pas uniformes lors du boulonnage progressif, cela entraîne des déformations plus importantes sur un longeron dont le diamètre atteint 152 mm. Bien sûr, la faible longueur du longeron utilisé pour l'essai accentue davantage ces effets. Compte tenu de ces constats, aucun essai de glissement n'a été requis pour les brides de type 1 assemblées au longeron de 152 mm \varnothing .

Les résultats obtenus ont permis de choisir le niveau à atteindre pour la tension de serrage des boulons. Ces résultats seront présentés dans les plans types.

6.2 Essais sur les brides – Vérification de la résistance au glissement

La première étape des essais réalisés au Laboratoire de Structures de l'École Polytechnique de Montréal vise à déterminer quelles brides seront les plus efficaces pour chaque diamètre de longeron.

La figure 14 montre les montages expérimentaux utilisés pour déterminer la résistance au glissement. Dans le cas des brides des poutres A/T1, B/T2 et C/T3, la résistance pondérée d'une diagonale existante est au maximum de 56,3 kN, 94,4 kN et 108,9 kN respectivement. La composante horizontale pour une diagonale à 45° est donc de 39,8 kN, 66,8 kN et 77,0 kN.

La figure 15 est adaptée de la figure 3 du rapport ST04-05. Cette figure rassemble tous les résultats des essais en glissement. On constate que les charges appliquées excèdent largement les composantes horizontales des efforts que peuvent transmettre les différentes membrures diagonales utilisées dans les poutres triangulées.

La figure 16 est adaptée de la figure 4 du rapport précité. Cette figure permet de comparer les résultats moyens des essais en glissement des brides de types 1 et 2.

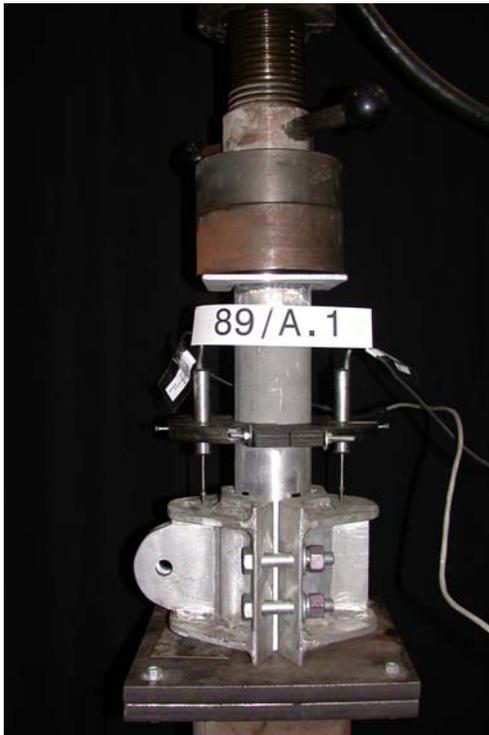
La figure 16 a) permet de constater que la bride de type 1 pourra être utilisée pour les poutres de type A ou T1 où des longerons de 89 mm \varnothing sont utilisés.

La figure 16 b) montre cette fois que c'est la bride de type 2 qui s'avère nettement plus performante. Elle pourra être utilisée pour les poutres de type B ou T2 où des longerons de 127 mm \varnothing sont utilisés.

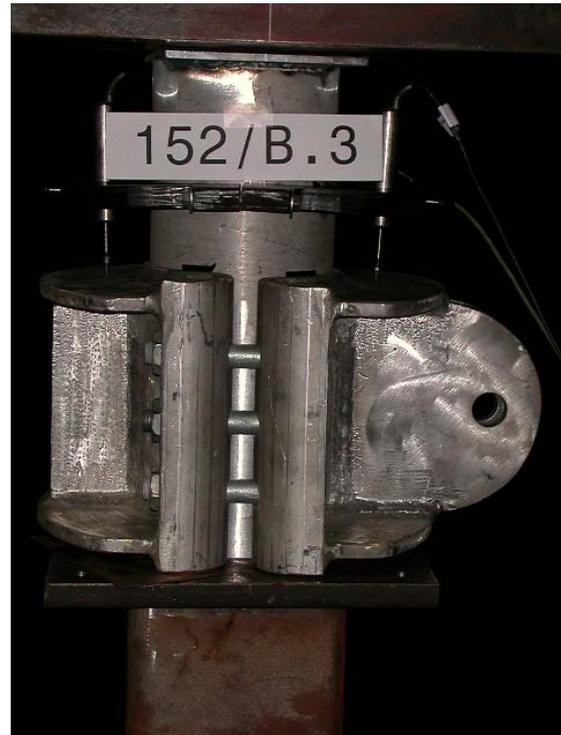
Finalement, la figure 16 c) montre que la bride de type 2 développe toute la résistance nécessaire pour résister aux efforts transmis. Elle sera utilisée pour les poutres de type C ou T3 où des longerons de 152 mm \varnothing sont utilisés.

Dans tous les cas, on constate que les charges excèdent largement les composantes horizontales des charges que peuvent transmettre les différentes membrures diagonales utilisées dans les poutres triangulées.

Figure 14 Montages expérimentaux – Essais de résistance au glissement



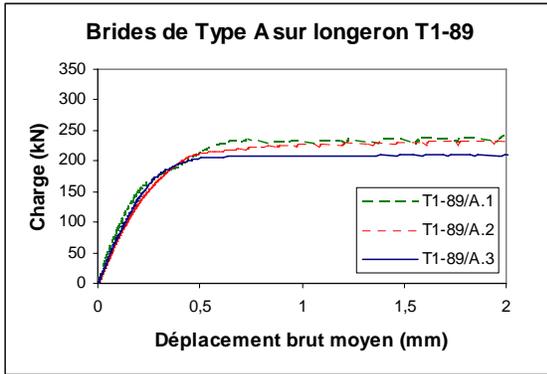
a) Montage avec vérin



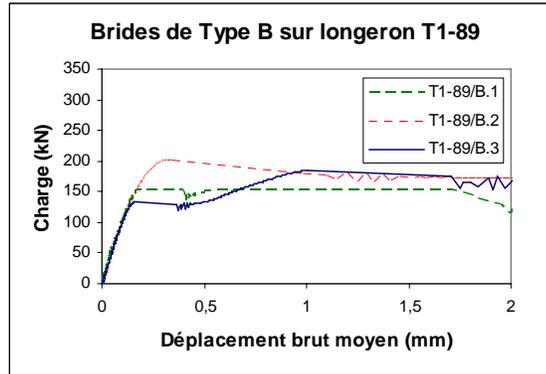
b) Montage avec presse

Adaptation : Projet CDT
Rapport ST04-05
Laboratoire de Structures
École Polytechnique de Montréal

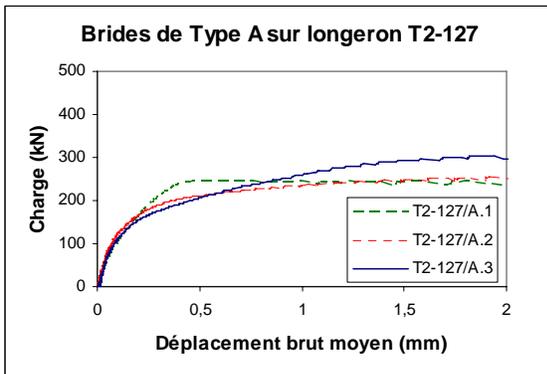
Figure 15 Résultats bruts des essais de résistance au glissement des brides



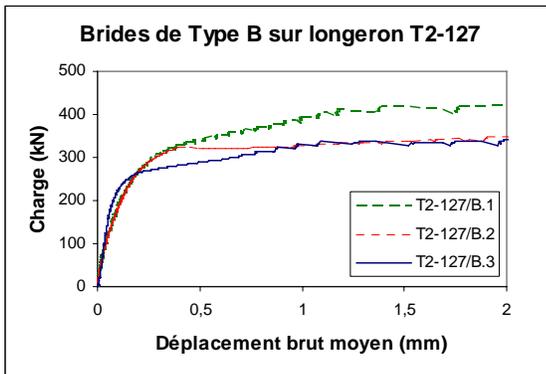
a) Longeron 89 mm Ø – Bride de type 1



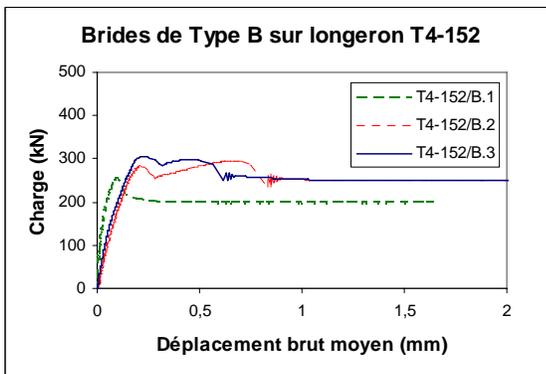
b) Longeron 89 mm Ø – Bride de type 2



c) Longeron 127 mm Ø – Bride de type 1



d) Longeron 127 mm Ø – Bride de type 2

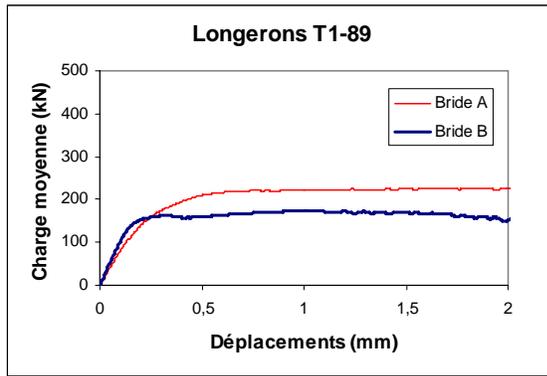


e) Longeron 152 mm Ø – Bride de type 2*

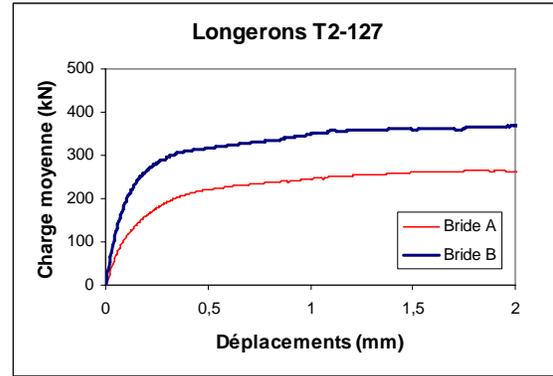
* N.B. Il s'agit en fait d'échantillons T3

Adaptation : Projet CDT
 Rapport ST04-05
 Laboratoire de Structures
 École Polytechnique de Montréal

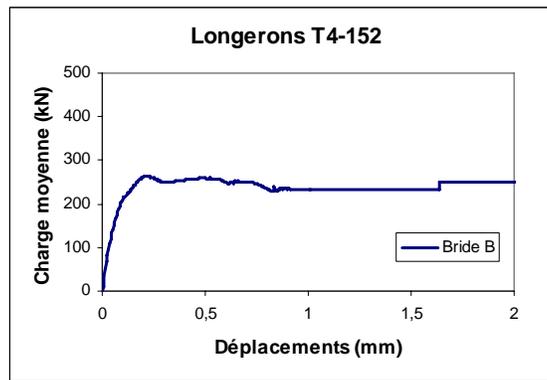
Figure 16 Courbes moyennes des trois essais de chaque série d'assemblage



a) Longeron 89 mm Ø – Brides de type 1 et 2



b) Longeron 127 mm Ø – Brides de type 1 et 2



c) Longeron 152 mm Ø – Bride de type 2*

* N.B. Il s'agit en fait d'échantillons T3

Adaptation : Projet CDT
Rapport ST04-05
Laboratoire de Structures
École Polytechnique de Montréal

- Notes :
1. La bride de type A mentionnée dans le graphique correspond à la bride de type 1 mentionnée dans le présent article. Cette bride sera choisie pour les installations sur les poutres triangulées de type A ou T1.
 2. La bride de type B mentionnée dans le graphique correspond à la bride de type 2 mentionnée dans le présent article. Cette bride sera choisie pour les installations sur les poutres triangulées de type B ou T2 de même que pour poutres triangulées de type C ou T3.

6.3 Essais sur les brides – Tension appliquée à 45°

Le projet de recherche inclut un volet visant à tester le système à l'ultime. Pour ce faire, on installe un cadre sur lequel un vérin de forte capacité exercera une poussée qui devra être transmise à la bride d'attache assemblée au longeron. Pour simuler le pire cas possible, l'ensemble est installé de façon à ce que l'effort soit transmis au longeron selon l'angle jugé le plus critique, soit 45°.

Afin d'éprouver le système, l'effort transmis à la bride est largement supérieur à la capacité axiale de la diagonale de renfort télescopique. L'essai peut être interrompu lorsque la rupture de la bride, du longeron ou de toute autre pièce est observée. Ces essais visent à établir des limites d'utilisation.

La figure 17 montre une vue d'ensemble du premier montage expérimental pour vérifier le comportement d'une bride assemblée à un longeron. Ce montage a été modifié légèrement tel que montré dans la figure 18 où on constate que le montage final incluant quelques pièces supplémentaires installées de façon à limiter les déformations locales du longeron.

La figure 19 montre une vue d'ensemble du spécimen soumis à une charge excédant largement la capacité d'une membrure diagonale existante. L'essai a été arrêté à un niveau de 200 kN, ce qui est très élevé. La figure 20 montre l'état de l'assemblage à la suite de cet essai. On observe une déformation locale assez prononcée du côté inférieur droit de la bride, ce qui est normal compte tenu de l'importante charge transmise à la bride. Évidemment, un tel chargement déforme considérablement le longeron. Les essais subséquents ont été faits à des niveaux de chargement moins élevés. Au moment de la rédaction du présent article, seuls quelques essais sur les spécimens modélisant les montages dans les poutres de type A ou T1 ont été faits. Les autres seront réalisés incessamment.

Figure 17 Premier montage expérimental



Photo : Michel Labonté, MTQ

Figure 18 Spécimen A/T1 # 1 – État initial



Photo : École Polytechnique de Montréal

Figure 19 Spécimen A/T1 # 1 – Charge de 200 kN



Photo : École Polytechnique de Montréal

Figure 20 Spécimen A/T1 # 1 – Charge de 200 kN – Détail

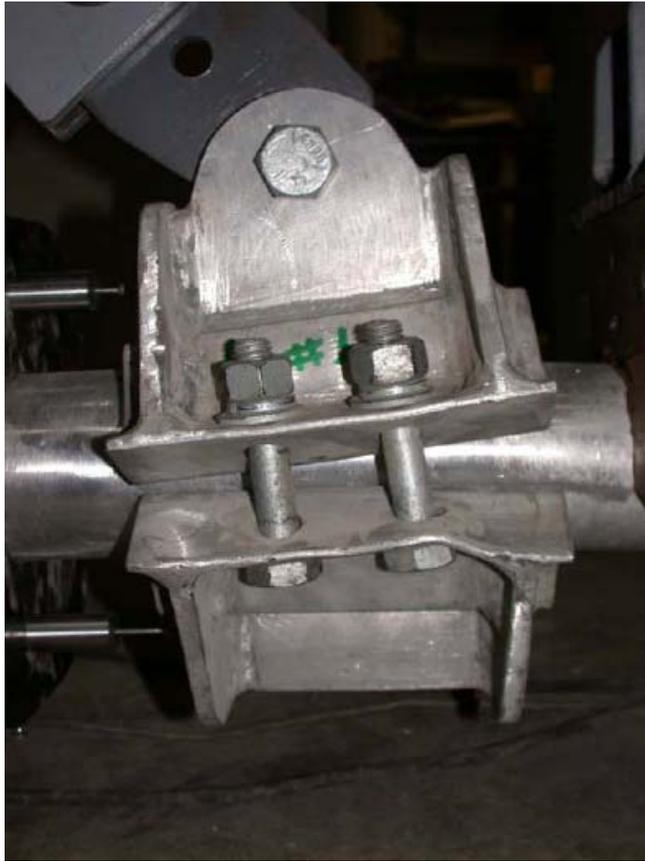


Photo : École Polytechnique de Montréal

6.4 Essais sur les diagonales de renfort télescopique – Tension et compression

Le projet de recherche inclut des essais à l'ultime en tension et en compression sur les diagonales de renfort télescopiques.

On notera que la conception des diagonales de renfort télescopiques prend en compte la capacité pondérée maximale d'une diagonale existante. Évidemment, les assemblages soudés aux extrémités d'une telle diagonale imposent une sévère limite de résistance. Toutefois, c'est l'élanement de la membrure diagonale des poutres A, B et C qui impose la limite la plus sévère compte tenu des grands élanements KL/r jadis choisis par les fabricants des anciens ouvrages. Les ouvrages plus récents comportent des pièces plus robustes dont l'élanement est réduit.

Dans le cadre du projet, les diagonales de renfort télescopiques ont été conçues en considérant les regroupements possibles, ce qui a mené à des solutions combinées A/T1 et B/T2; les cas C et T3 n'ont cependant pas pu être regroupés. Les quatre groupes de spécimens ont été soumis à divers essais.

Les essais en tension ont été faits sur les groupes A/T1, B/T2 et T3. Ceux en compression ont été faits sur les groupes B/T2, C et T3. Chaque groupe testé était constitué de trois échantillons.

L'analyse des résultats préliminaires nous conduit à rejeter l'un des neuf échantillons testés en tension, les huit autres étant tout à fait concluants malgré certains défauts de soudage parfois constatés. Dans le cas de l'échantillon rejeté, l'assemblage soudé entre la plaque d'ancrage et la membrure s'est avéré inacceptable selon les exigences de soudage de la norme W59.2. Malgré tout, les niveaux de chargement atteints excèdent nettement la résistance pondérée requise pour les brides (voir section 6.2).

On constate que dans plusieurs cas, c'est la limite de capacité en écrasement (B_r) au contact entre la plaque d'ancrage et le boulon « B » qui a pu être atteinte en tension ou en compression, ce qui est acceptable puisque les valeurs des charges ont atteint des niveaux largement supérieurs aux valeurs théoriques.

En ce qui a trait à la résistance au flambement global de la pièce, les résultats préliminaires des neuf échantillons testés en compression montrent une très grande capacité en compression, démontrant ainsi que c'est la pièce principale RT1 qui gouverne davantage la conception, un choix restrictif fondé sur les caractéristiques de la pièce RT2 s'emboîtant dans la longue pièce RT1 est donc très adéquat puisque la résistance globale dépend évidemment des caractéristiques combinées des pièces RT1 et RT2.

Figure 21 Vue d'ensemble des quatre types de diagonales de renfort télescopiques



Photo : Marcel Vallières, MTQ

Figure 22 Essais en tension et en compression



Tension – A/T1



Compression – B/T2



Tension – B/T2



Compression – C



Tension – T3



Compression – T3

Photos : Marcel Vallières, MTQ

CONCLUSION

Jusqu'à tout récemment, un renforcement ou une réparation sur un portique de signalisation aérienne requérait souvent le démontage de l'ouvrage afin d'en transporter les segments défectueux jusqu'à un atelier de réparation. En plus d'être coûteux et d'entraver la circulation, ce type d'intervention oblige souvent le Ministère à remplacer une poutre triangulée défectueuse par une autre poutre dont la géométrie ne correspond pas nécessairement à celle de la poutre existante. Conséquemment, à chaque intervention d'entretien sur un ouvrage, la correction du problème principal entraîne un autre problème de capacité portante de l'ouvrage modifié.

La conception d'un système de renforcement in situ des portiques de signalisation aérienne au moyen de diagonales de renfort télescopiques en aluminium vise à solutionner un important problème d'entretien de ces ouvrages.

Les premiers essais réalisés indiquent que le système est très performant et il y a tout lieu de croire que les essais qui seront complétés bientôt permettront de valider l'usage de ce nouveau système conçu par la Direction des structures.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à souligner l'excellente collaboration de nombreux intervenants du ministère des Transports du Québec. Il tient à remercier tout particulièrement monsieur Michel Labonté, inspecteur en métallurgie, pour sa précieuse collaboration au projet de recherche, de même que son supérieur, monsieur Donald Villeneuve, ing., (section métallurgie de la Direction du laboratoire des chaussées) pour son soutien. L'auteur remercie monsieur Pierre Royer, contremaître (Centre de services de Québec) et monsieur Yves Trudelle, contremaître (Centre de services d'Anjou et tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine), pour leur apport particulièrement important au projet, les brides étant fabriquées à Québec et les diagonales de renfort étant fabriquées à Montréal.

L'auteur tient aussi à féliciter l'équipe de l'École Polytechnique de Montréal menée par monsieur Bruno Massicotte, ing. Ph. D., assisté de madame Kathleen Moffatt, ing. M. Sc. et de monsieur Viacheslav Koval, ing. jr, l'équipe étant responsable du volet expérimental de la recherche.

Finalement, l'auteur tient à souligner l'excellence du travail accompli par mesdames Claudine Robitaille, t.t.p. et Christiane Paré, a.s. (Direction des structures), dans la préparation des documents émis dans le cadre du projet de recherche.

RÉFÉRENCES

BEAULIEU, Denis, 2003, *Calcul des charpentes d'aluminium*, Les Presses de l'aluminium PRAL.

CAN/CSA-S6-00, 2000, Association canadienne de normalisation, *Code canadien sur le calcul des ponts routiers*.

MASSICOTTE, Bruno, MOFFATT, Kathleen, nov. 2004, *Conception et réparation des structures de signalisation aérienne en aluminium – Phase 1 / Rapport d'étape, Essais de brides – Frottement*, Projet CDT / Rapport ST04-05, Département des génies civil, géologique et des mines, École Polytechnique de Montréal.