

**DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL,
GÉOLOGIQUE ET MINES**

**CONCEPTION ET RÉPARATION DES
STRUCTURES DE SIGNALISATION AÉRIENNE EN
ALUMINIUM – PHASES 2 ET 3**

Par

Bruno Massicotte

Viacheslav Koval

Guillaume Cossette

Projet CDT / Rapport ST10-06

**Juillet 2010
Révisé Mars 2011**

RAPPORT D'ESSAIS

**CONCEPTION ET RÉPARATION DES STRUCTURES DE
SIGNALISATION AÉRIENNE EN ALUMINIUM – PHASES 2 ET 3**

Rapport final

Essai de validation sur une poutre triangulée

préparé à l'attention de

M. Marcel Vallières

Ministère des Transports du Québec
Direction des Structures
930, Chemin Ste-Foy, 7^e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

par

Bruno Massicotte, ing., Ph.D.

Viacheslav Koval, ing. M.Sc.A.

Guillaume Cossette, ing. Jr.

Département des génies civil, géologique et des mines
École Polytechnique de Montréal

Juillet 2010
Révisé Mars 2011

TABLE DES MATIÈRES

1.	MANDAT.....	2
2.	DESCRIPTION DU SPECIMEN ET DU PROGRAMME D’ESSAI	2
2.1	Description du spécimen.....	2
2.2	Programme d’essai.....	4
3.	MONTAGE D’ESSAI.....	5
4.	RÉSULTATS D’ESSAI	10
5.	CONCLUSION	23
6.	RÉFÉRENCES.....	24
	ANNEXE A.....	25
	ANNEXE B.....	35
	ANNEXE C.....	40
	ANNEXE D.....	44
	ANNEXE E.....	49

1. MANDAT

Dans le cadre d'un projet de recherche conduit par la direction des Structures du ministère des Transports du Québec (MTQ), une série d'essais sur une poutre triangulée de portique de signalisation aérienne et une série d'essais sur des éléments structuraux visant à renforcer des éléments défectueux ont été réalisées au Laboratoire de Structures de l'École Polytechnique de Montréal (Laboratoire). La poutre triangulée étudiée dans le présent projet est une structure en aluminium (6061-T6) caractérisée par sa grande dimension. Due à la complexité d'effectuer la réparation d'une telle structure in situ au-dessus des voies de circulation, le MTQ a développé des membrures constituant des diagonales de renfort télescopiques avec des brides d'assemblage mécanique comme une solution pratique aux besoins de travaux d'entretien et de renforcement.

Les brides d'attache des membrures télescopiques ont été testées lors de la phase 1 du projet et un rapport a été remis en septembre 2004. Les essais des phases 2 et 3, qui comportaient plusieurs étapes expérimentales, ont été complétés dans le période entre les années 2006 et 2010. Ce rapport est principalement dédié à la dernière étape qui consistait en un essai de validation sur la poutre triangulée réparée à l'aide de deux diagonales télescopiques. Les résultats d'essais sur les diagonales télescopiques sont présentés dans les annexes du rapport. Tous les essais ont été réalisés conformément aux instructions reçues du MTQ.

Le spécimen de la poutre triangulée et la procédure d'essai sont présentés au chapitre 2 du rapport. Le chapitre 3 présente le montage expérimental tandis que les résultats et les observations des essais se trouvent au chapitre 4. Les conclusions de l'étude sont résumées au chapitre 5. Enfin, on retrouve dans les annexes les dessins du spécimen fourni par le MTQ ainsi que les résultats d'essais des étapes précédentes.

2. DESCRIPTION DU SPECIMEN ET DU PROGRAMME D'ESSAI

2.1 Description du spécimen

Le spécimen testé dans ce projet est une poutre triangulée d'un portique de supersignalisation routière d'une portée de 12 710 mm mesurée entre les axes de poteaux. La distance horizontale et verticale entre les axes des cordes de la poutre triangulée est de 1524 mm. Afin de simuler une structure réparée, les deux diagonales, une sur chacun des plans verticaux, ont été remplacées par des diagonales télescopiques. Les deux diagonales appartiennent à la section de la structure adjacente aux poteaux des supports verticaux. Cette position a été choisie pour obtenir la sollicitation la plus importante pour résister aux efforts tranchants dus à la charge verticale provenant des équipements et panneaux de signalisation routière supportés par la poutre triangulée.

La poutre triangulée était positionnée au laboratoire avec son axe longitudinal aligné selon la direction Nord-Sud. La Figure 1 montre deux vues du Sud et du Nord-Ouest du spécimen avant l'essai, tandis que la Figure 2 présente l'extrémité Sud du spécimen avec les diagonales télescopiques. On y remarque les tiges du système de retenue verticale situé au niveau du premier panneau et le système de mise en charge discutés en détails dans la section 3 (Montage) localisé à l'extrémité de la poutre triangulée.



Figure 1: Spécimen avant l'essai : a) vue du Sud; b) vue du Nord-Ouest



Figure 2 : Extrémité Sud – diagonales télescopiques

2.2 Programme d'essai

Afin d'étudier le comportement du spécimen sous différents états de sollicitation, un protocole de chargement statique monotone à plusieurs paliers a été adopté. La Figure 3 présente l'historique de chargement. La force indiquée sur le graphique correspond à la force totale appliquée et reflète la somme de réactions mesurées sur chacun des deux systèmes de retenue (indiquées sur la Figure 5 comme R1). Les paliers sur le graphique coïncident avec des pauses de chargement réalisées à chaque 50 kN où la force était maintenue constante pendant approximativement de 2 à 5 min. Une fois la charge ultime atteinte, la force d'environ 200 kN a été maintenue pendant 30 min. avant de procéder à une décharge complète.

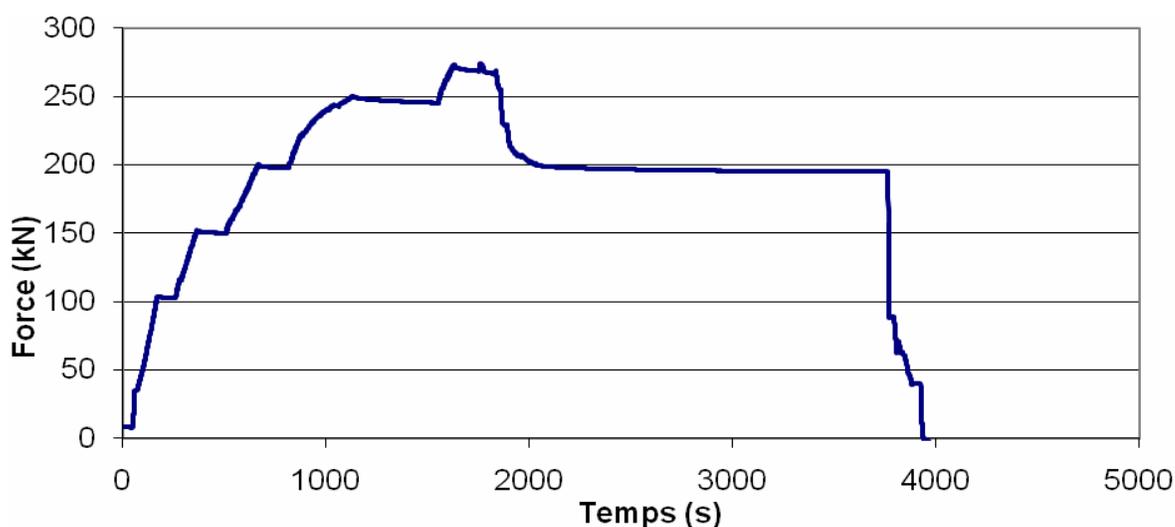


Figure 3 : Historique de chargement

3. MONTAGE D'ESSAI

Une vue schématique du montage en trois dimensions (3D) est montrée à la Figure 4 tandis que les détails d'assemblage du spécimen sont montrés par une série de dessins techniques présentés à l'annexe A. Le schéma présenté sur la figure, est une version préliminaire d'une des options d'essai proposées au MTQ au début du projet. Cette proposition a subi des modifications au cours de l'évolution du projet. Ainsi lors de réalisation de la phase expérimentale, la portée du spécimen testé était plus longue (une section triangulée de plus). Cependant la philosophie de distribution de forces présentée à la Figure 5 et la position du système de retenue verticale sont restées les mêmes.

Afin de reproduire le comportement d'une structure réparée, les diagonales adjacentes aux poteaux (supports verticaux) ont été remplacées par des membrures télescopiques positionnées approximativement à 45 degrés. Le travail de préparation du spécimen ainsi que l'installation des diagonales télescopiques ont été réalisés par le MTQ. Ce montage est caractérisé par un chargement direct sur le nœud de membrure télescopique au point de retenue verticale. Le système de retenue ne pouvait toutefois pas être positionné directement sur le nœud vu que la proximité de la bride de fixation de la membrure télescopique ainsi que la configuration complexe de jonction des membrures allaient altérer la distribution des efforts. C'est pourquoi afin d'éviter de conflit d'assemblage, un système de siège d'interface a été employé.

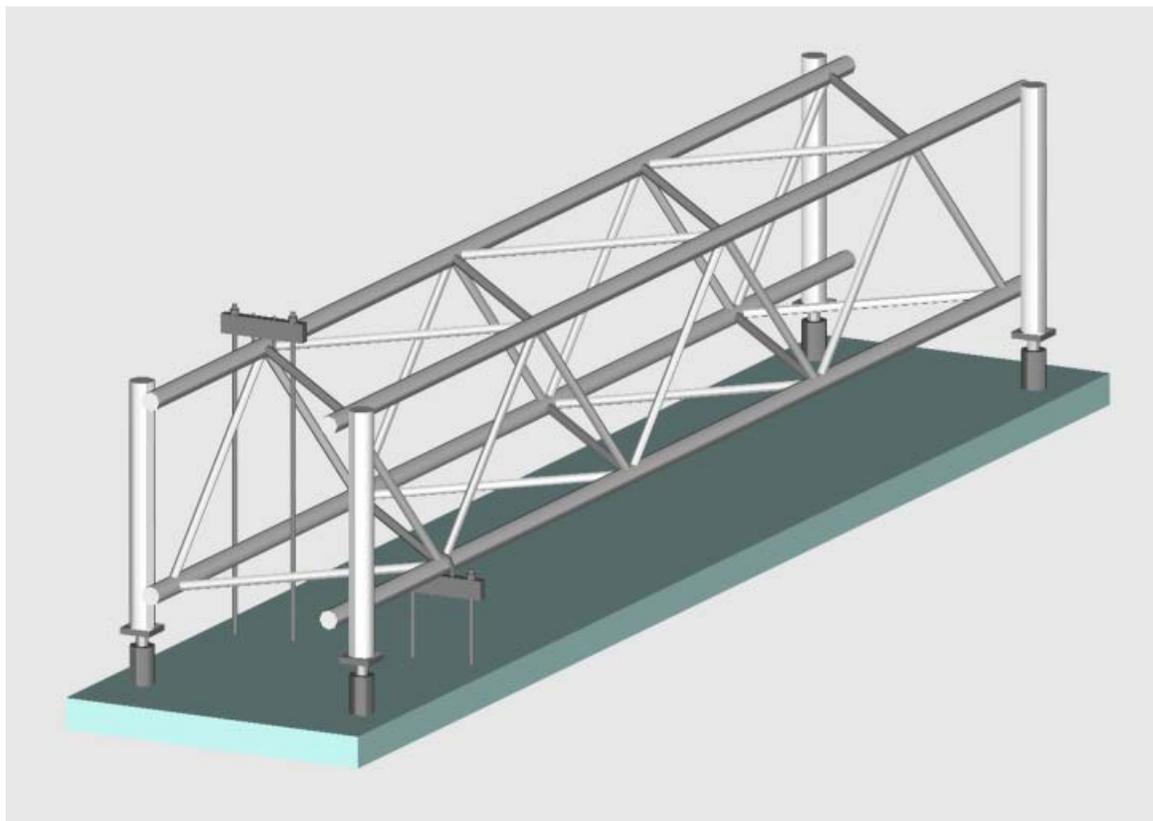


Figure 4: Schéma du montage en 3D

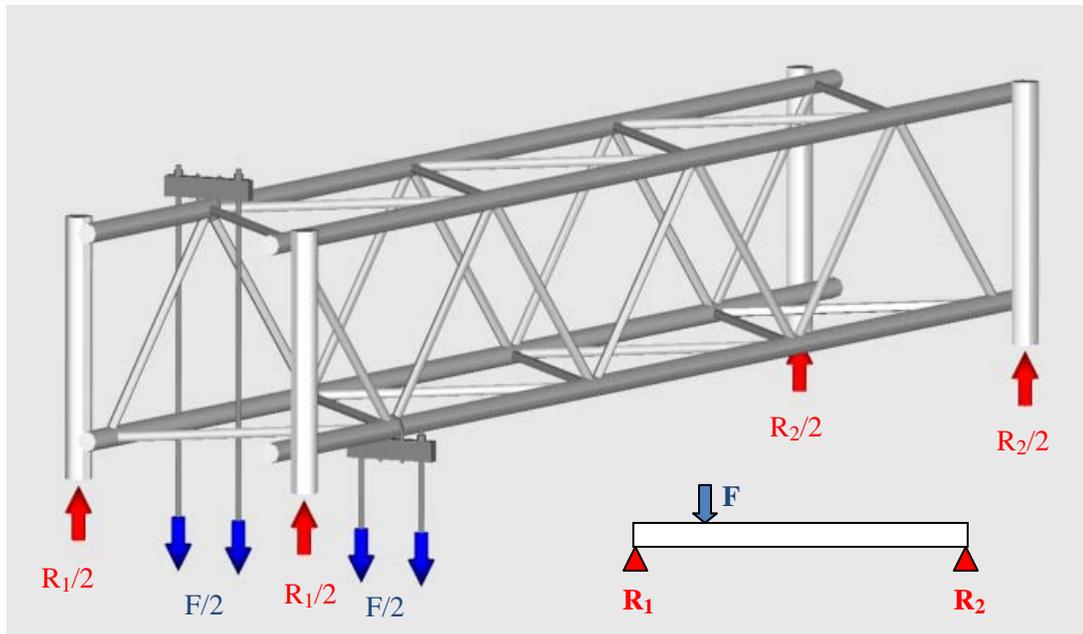


Figure 5: Modèle de distribution de forces en 3D

La charge verticale était appliquée au moyen de 4 vérins statiques d'une capacité de 980 kN chacun, disposés verticalement, et qui étaient placés entre les poteaux de la structure et le plancher du laboratoire. Chaque vérin s'appuyait au sol sur une plaque d'appui à rouleaux (mobile) afin d'assurer le mouvement horizontal sans aucune restriction. Pour permettre la rotation d'appuis, un coussin en néoprène de 25 mm d'épaisseur enchâssé dans un bâti en acier a été utilisé entre chaque vérin et le poteau. Ce dispositif est montré à la Figure 6. Le mouvement horizontal de la structure du spécimen était empêché par le système de retenue verticale installé du côté Sud.

Les deux vérins installés du côté adjacent aux membrures télescopiques (Sud) avaient une course disponible de 152 mm, alors que les deux vérins de l'extrémité opposée (Nord) avaient un déplacement disponible plus élevé de 252 mm, en prévision d'un déplacement supérieur à cette extrémité. Afin d'assurer une force de réaction équilibrée entre deux poteaux appartenant à la même extrémité du spécimen, les deux vérins de chaque paire ont été alimentés à partir de la même pompe hydraulique. Par conséquent, deux pompes étaient employées pour contrôler les forces appliquées (au Sud et au Nord). La Figure 5 montre la distribution des forces externes sous l'effet de chargement.

Les déplacements verticaux utilisés pour le contrôle de l'essai ont été mesurés par un capteur de déplacement de type LVDT à corde, positionné entre la dalle d'essai du laboratoire et la poutre transversale installée entre les poteaux à chaque extrémité au niveau des vérins. Les déplacements verticaux utilisés pour le contrôle du système de retenue ont été mesurés entre la dalle d'essai du laboratoire et les longerons vis-à-vis chacun des points de retenue. Les vérins étaient contrôlés en force à l'aide de capteurs électroniques de type pression-force installés sur chaque pompe hydraulique.

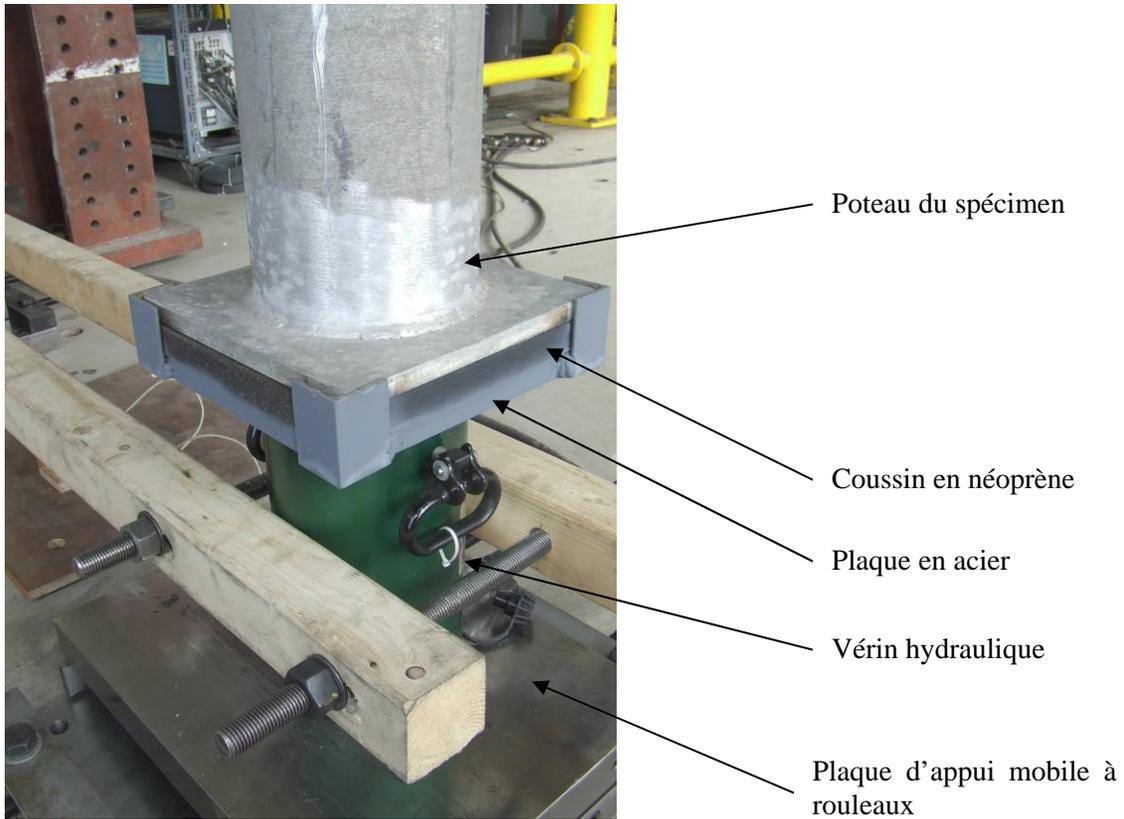


Figure 6: Système de mise en charge – poteau Nord-Ouest

La Figure 7 présente une vue générale sur le spécimen du côté Nord-Est. On y notera deux supports installés du côté Est du spécimen afin d'empêcher des déplacements non-désirés lors d'une rupture soudaine. Ce type de rupture est éventuellement possible pour ce type de structure. Les deux supports ont été ancrés au plancher du laboratoire et ont été reliés au spécimen au moyen de chaînes de limitation de mouvement. Ces chaînes ont été installées pour assurer la sécurité du personnel et des équipements se trouvant dans la zone d'essai.

Deux vues du Nord-Ouest et Sud-Ouest du système de mise en force sont présentées à la Figure 8. On notera que ces photos ont été prises juste avant de débiter le programme d'essais. Les tiges de limitation du mouvement du système d'appuis mobile sont sorties.

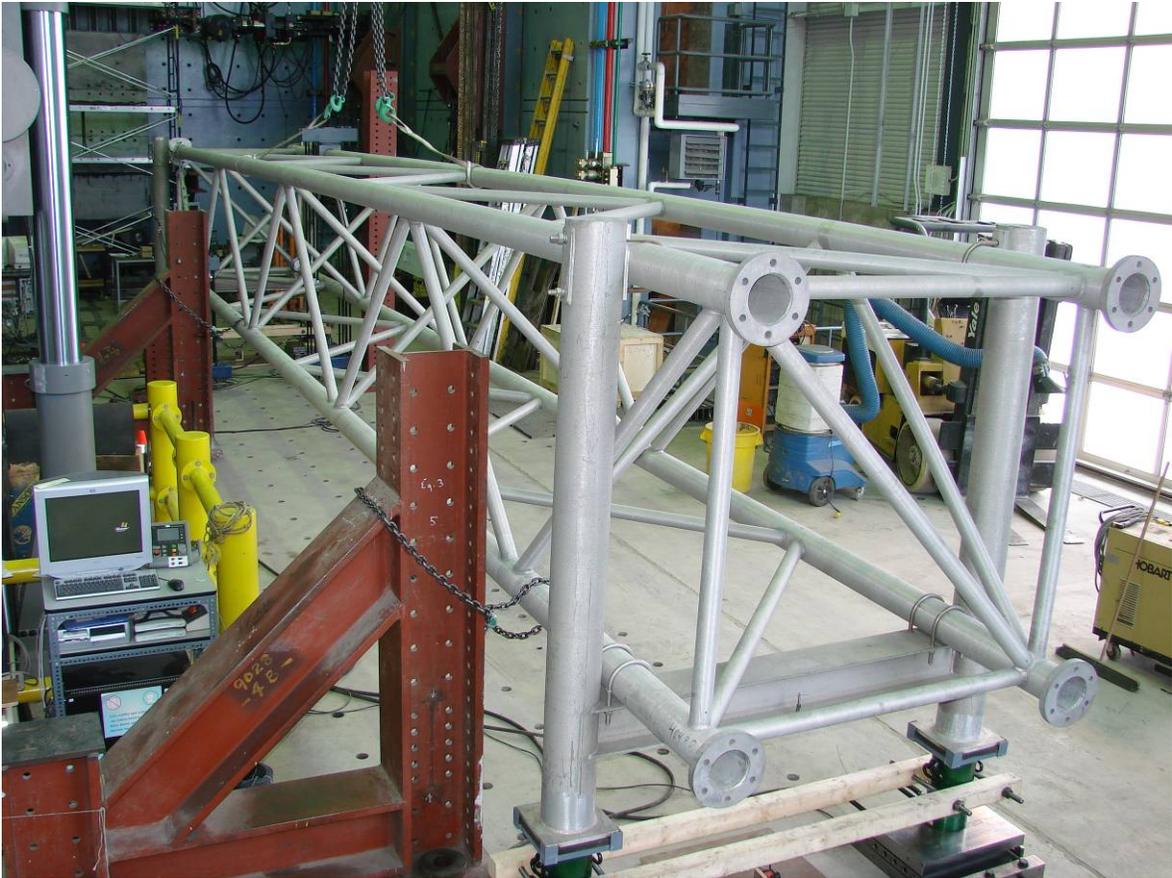
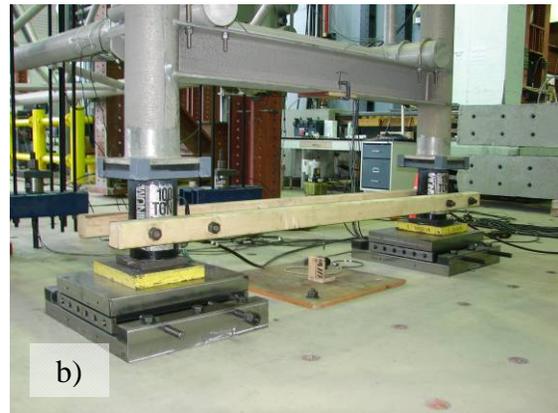


Figure 7: Vue générale du spécimen sécurisé par le système de limitation de mouvement par chaînes



a)



b)

Figure 8: Système de mise en charge sur rouleaux : a) extrémité Nord; b) extrémité Sud

Les Figures 9 et 10 présentent les détails du système de retenue installé au niveau des nœuds de triangulation de la poutre triangulée. Pour bien simuler la sollicitation de la structure sous une charge réelle, un système de retenue avec ancrage au plancher a été utilisé. Chaque système de retenue consiste en deux poutres de transfert connectées à l'aide de barres filetées de 1 po UNC et d'une barre Dywidag fixée au plancher. On y notera sur les photos que pour éviter d'endommager le spécimen localement, un siège

d'interface a été installé entre la poutre de transfert et le nœud de triangulation. Afin de s'assurer que les déplacements développés par chacune des retenues situées à des élévations différentes soient égaux, le système a été conçu afin que la même rigidité soit offerte par les différentes composantes du montage. Comme les nœuds de triangulation Est et Ouest se trouvaient à une hauteur différente, les deux poutres de transfert du système de retenue Est ont été reliées par 4 barres tandis que pour le système de retenue Ouest, 6 barres de connexion ont été employées.

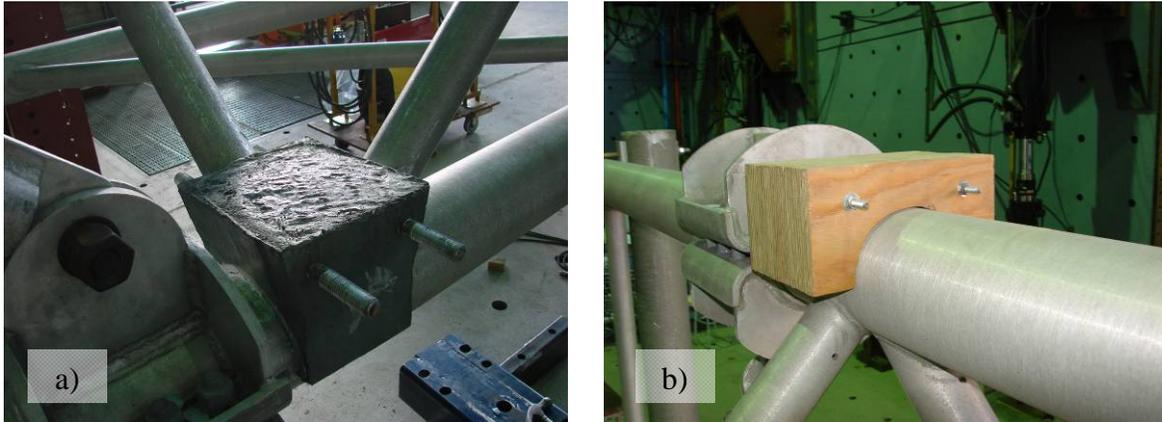


Figure 9: Siège d'interface entre système de retenue verticale et spécimen a) côté Est; b) côté Ouest

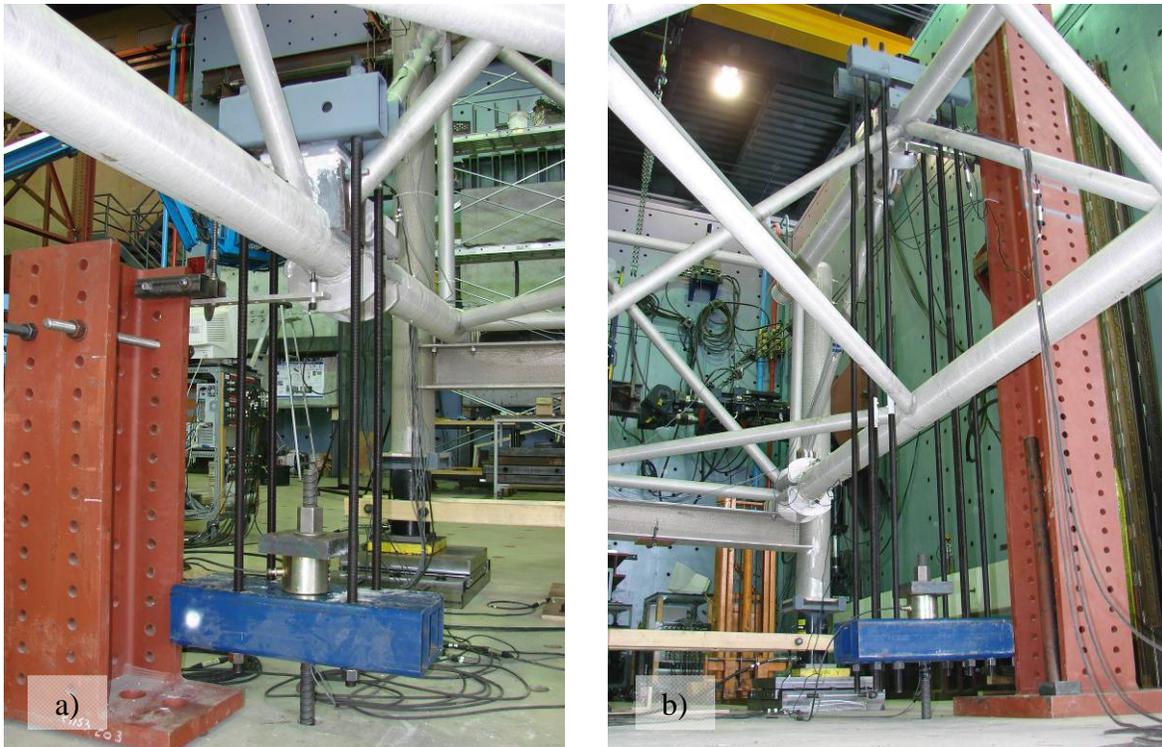


Figure 10: Système de retenue verticale a) côté Est; b) côté Ouest

4. RÉSULTATS D'ESSAI

L'essai visait à déterminer la charge ultime ainsi que le comportement du spécimen aux différents états de sollicitation. La Figure 11 présente l'historique de la force totale appliquée ainsi que la distribution de cette force entre les appuis et le système de retenue verticale. La force observée au point de retenue est exacte, celle-ci étant mesurée à l'aide de deux cellules de charge installées en série avec la barre d'ancrage. La force aux appuis était mesurée de façon indirecte à partir de la pression hydraulique dans les vérins. Due à la contribution de forces de friction statique développées dans les pistons des vérins, les lectures de cette force surestiment la force réelle d'essai. C'est pourquoi les forces mesurées dans les vérins sont utilisées à titre indicatif pour visualiser les tendances, alors que la force du système de retenue est utilisée pour quantifier la charge d'essais (force totale appliquée). C'est la force qui est utilisée sur tous les graphiques présentés dans cette section du rapport.

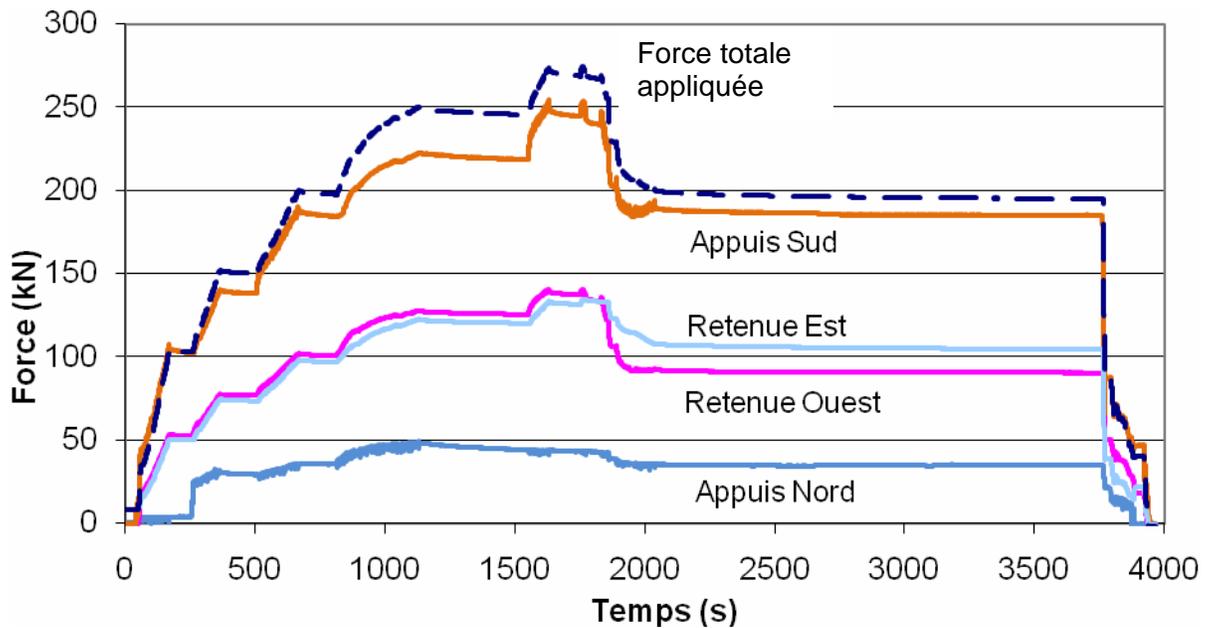


Figure 11: Historique de forces appliquées et des réactions

La Figure 12 présente l'historique des déplacements absolus mesurés à chaque extrémité du spécimen et aux nœuds du système de retenue. On y note que les déplacements aux extrémités sont décalés dans le temps, vu que les vérins ne sont pas utilisés simultanément. D'abord le spécimen était mis en charge avec les vérins situés au Sud jusqu'à 100 kN puis par les vérins situés au nord jusqu'à 150 kN. De cette façon, les vérins qui se déplaçaient ont été inter-changés à chaque palier de chargement (50 kN) afin de maximiser la course disponible. La Figure 13 montre l'évolution de la flèche du spécimen au niveau du système de retenue reflétée par les déplacements relatifs.

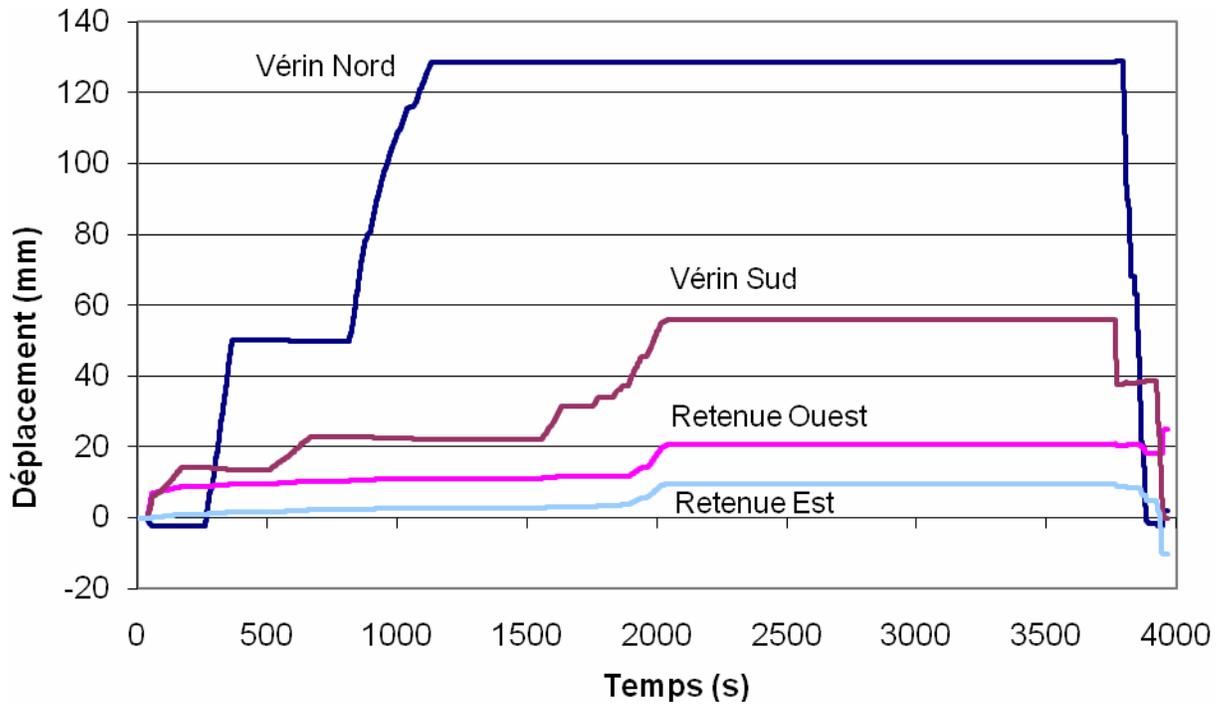


Figure 12: Historique de déplacements absolus

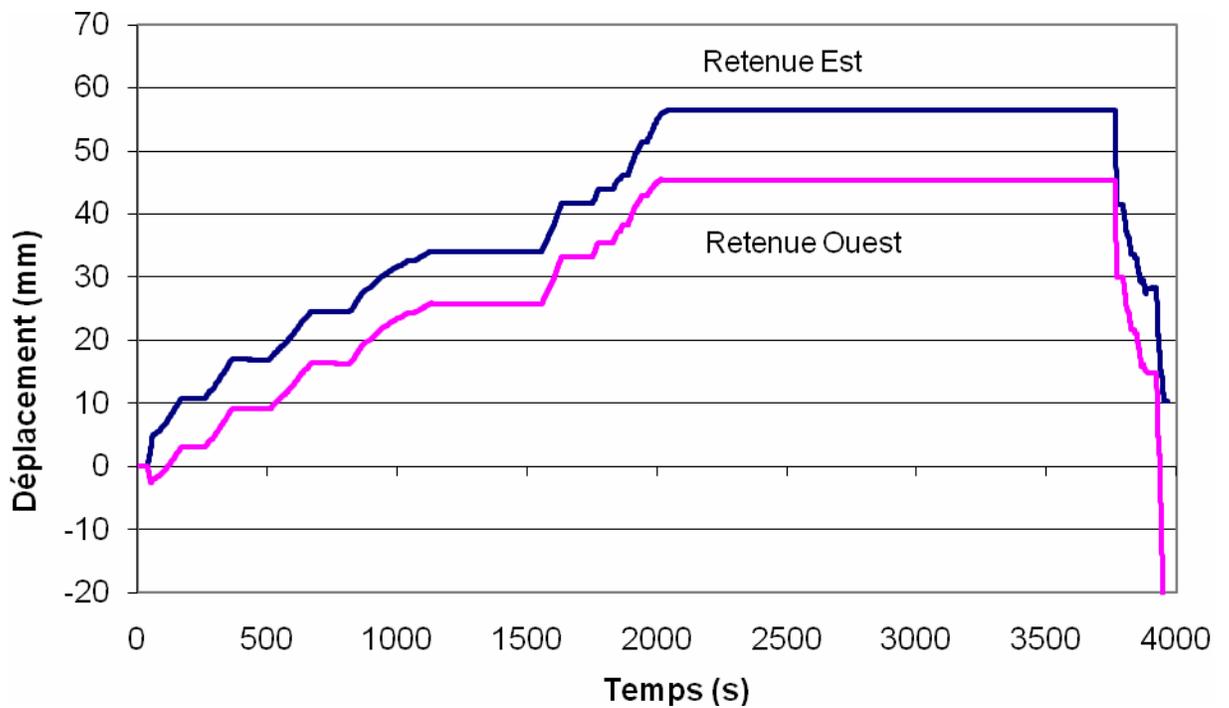


Figure 13: Historique de déplacements relatifs

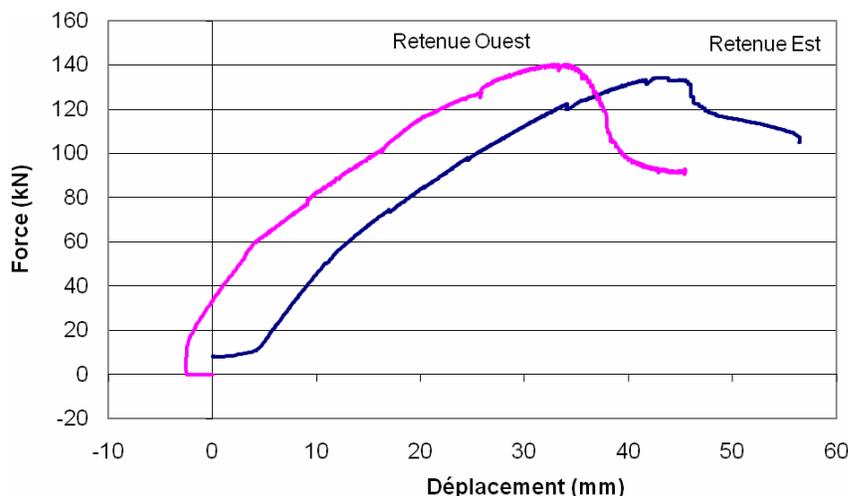


Figure 14: Réponse locale de structure

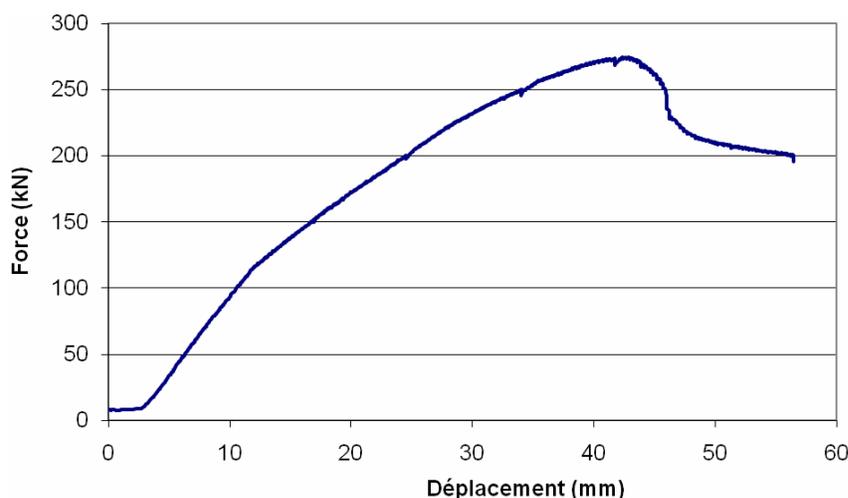


Figure 15: Réponse globale de la structure

Le comportement local pour chaque système de retenue est présenté à la Figure 14 en fonction de la flèche et de la force de réaction de chaque barre de retenue. Au début du chargement, une réponse beaucoup plus flexible est observée du côté Est par rapport au plan Ouest. Cette variation est due à la géométrie d'assemblage différente entre les diagonales télescopiques de deux plans verticaux. La réponse globale de structure du spécimen est visualisée à la Figure 15. Le comportement élastique est observé jusqu'au premier changement de la pente à une force de 115 kN, suivi par une réponse linéaire jusqu'à 230 kN. La force maximale atteinte par le spécimen est de 274 kN.

Le mécanisme de défaillance par flambement de la diagonale Ouest suivi par un voilement local (composant de la diagonale RT2) ont été observés à charge ultime (274 kN). La Figure 16 montre le début du flambement de la diagonale, alors que l'état de la diagonale lorsqu'elle a atteint sa résistance maximale est présentée aux Figures 17 et 18. On y note que flambement est survenu dans le tube de petit diamètre (RT2) alors que le tube (RT1) instrumenté avec des jauges de déformation est d'apparence droite sur la photo. Cette

observation est validée par des niveaux de déformations mesurés sur les deux diagonales en fonction de la force totale, présentées à la figure 19. La réponse élastique est observée pour les deux diagonales jusqu'à la force ultime.

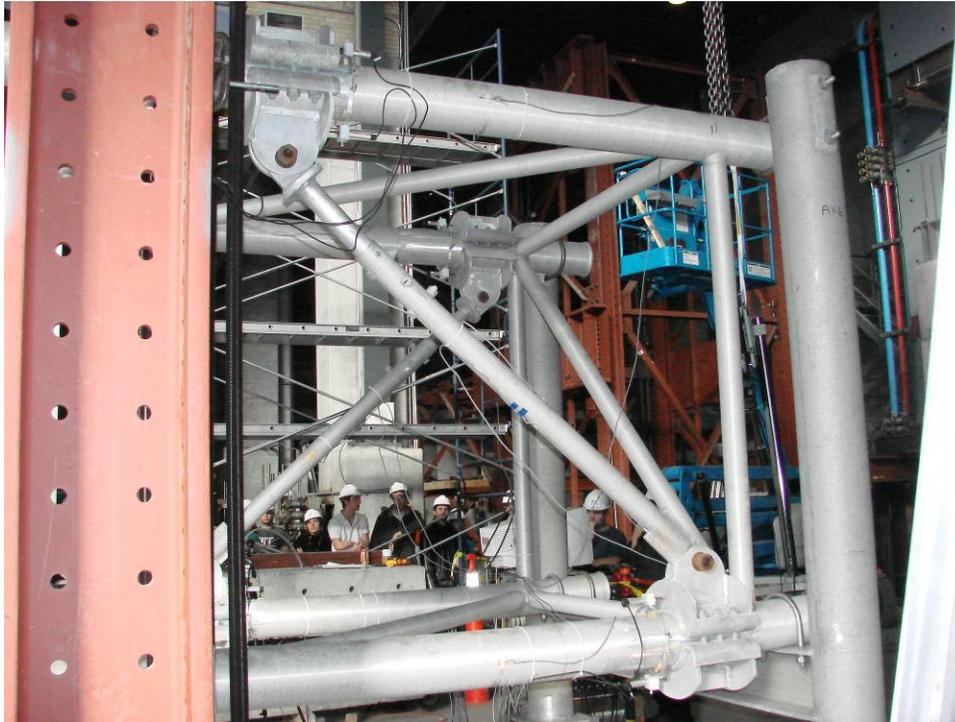


Figure 16: Début du flambement de la diagonale Ouest

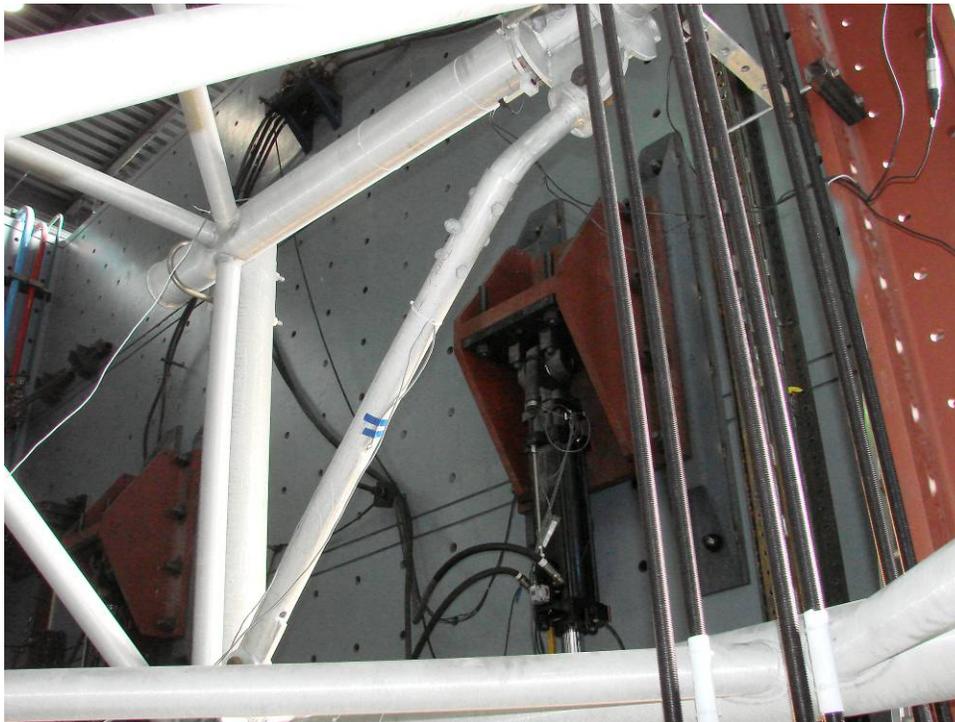


Figure 17: Perte de résistance de la diagonale Ouest

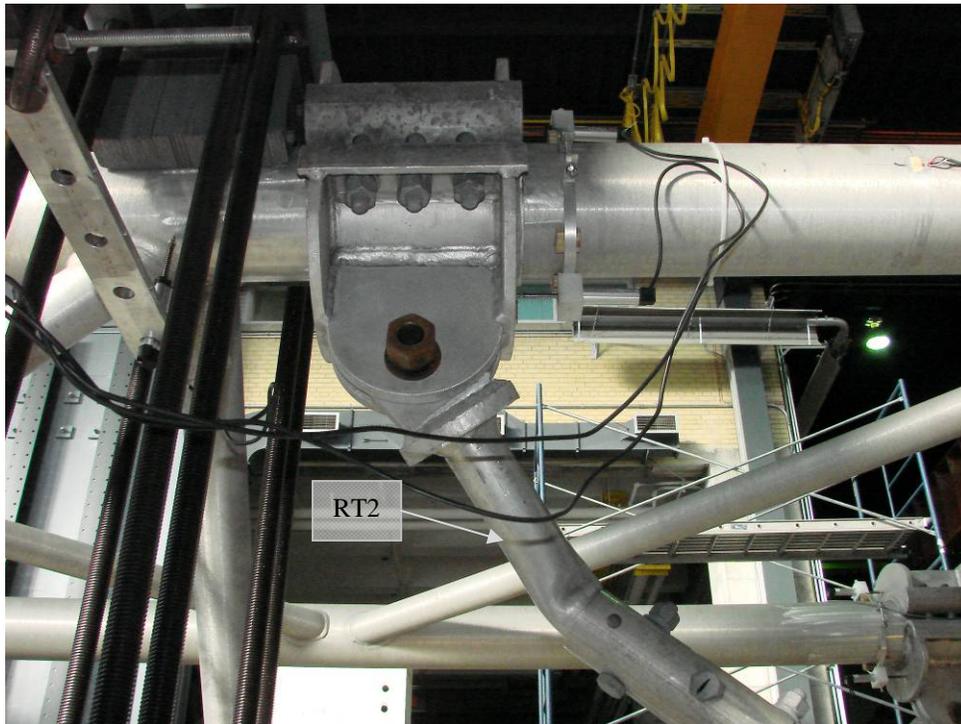


Figure 18: Voilement local du petit tube (RT2)

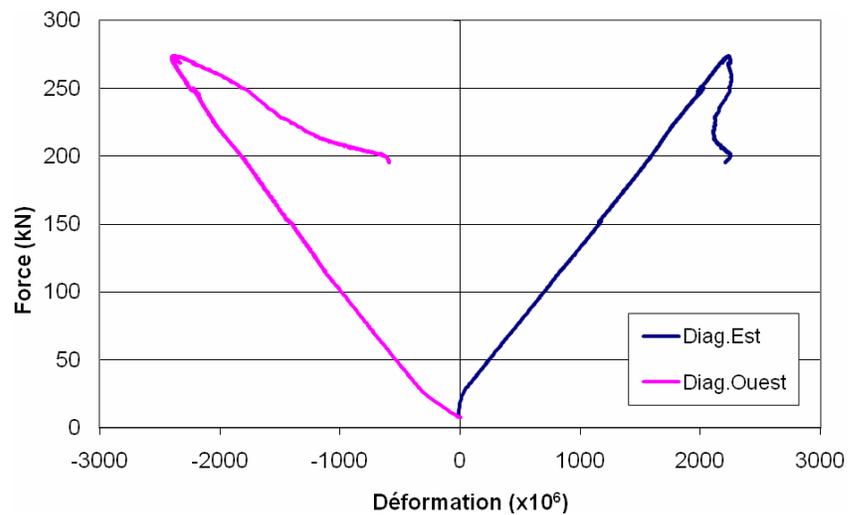


Figure 19: Déformations moyennes des diagonales télescopiques

La Figure 20 présente une rupture survenue dans la connexion soudée entre la plaque et le petit tube (RT2) de la diagonale Ouest (bride supérieure) suite au flambement excessif subi par la diagonale. Cette connexion s'est séparée complètement une fois que le spécimen a été déchargé.

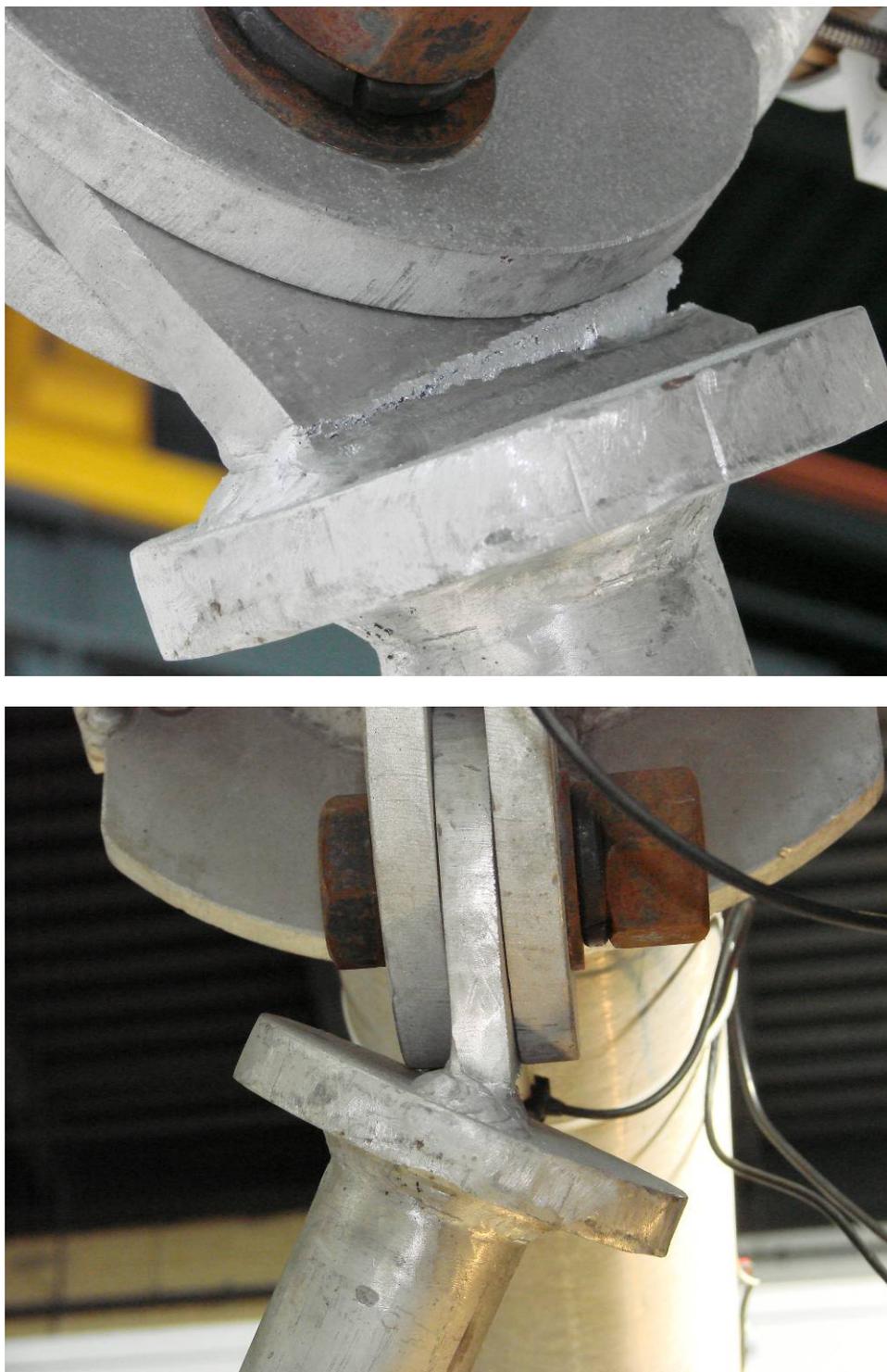


Figure 20: Rupture de la connexion soudée

Le début de fissuration a été observé dans le grand tube (RT1) de la diagonale Est dans la zone de la connexion soudée avec la plaque (Figure 21). Cette région présente un point faible dû à une section plus petite ainsi que d'un matériau affecté thermiquement par le soudage.



Figure 21: Fissuration dans le grand tube – diagonale Est



Figure 22 : Ovalisation de trous

Tel que montré à la Figure 22, une légère ovalisation sous pression diamétrale a été observée dans tous les trous de connexions boulonnées pour les deux diagonales. La Figure 23 montre la fissuration survenue dans la connexion soudée entre une membrure verticale et le longeron inférieur du côté Ouest à proximité de l'appui.

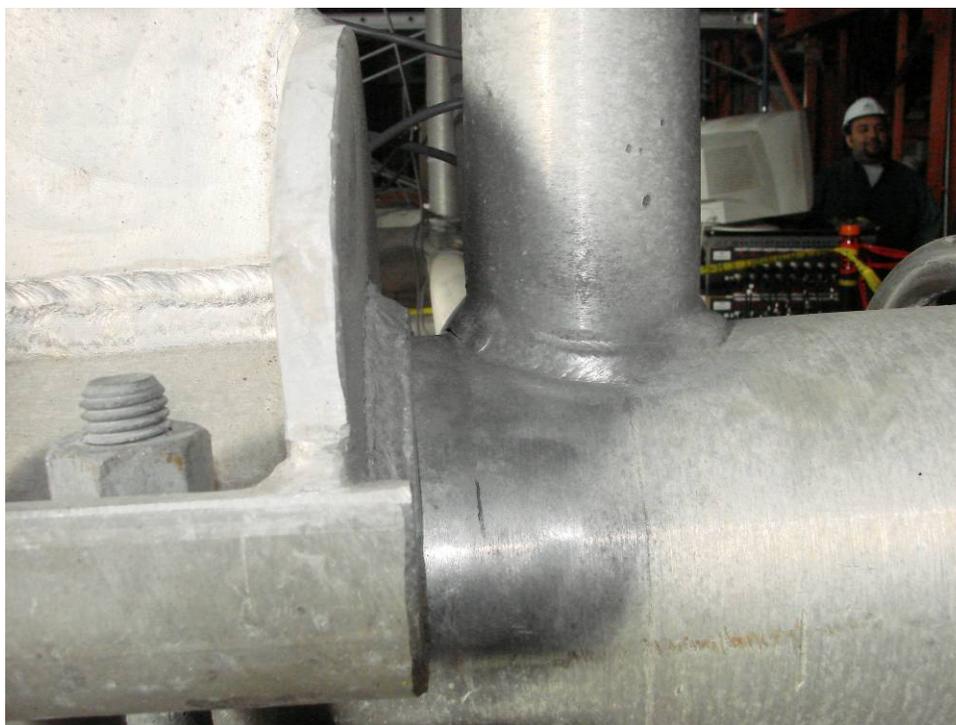


Figure 23 : Fissuration sur la connexion soudée – membrure verticale et longeron

L'ovalisation de section des deux longerons inférieurs est survenue sous l'effet de l'écrasement au niveau du contact avec la poutre d'appui de l'extrémité Sud. On note sur la photo inférieure une séparation de 8 à 10 mm entre la barre en acier inoxydable en U et le longeron. Cette connexion était serrée avant l'essai.

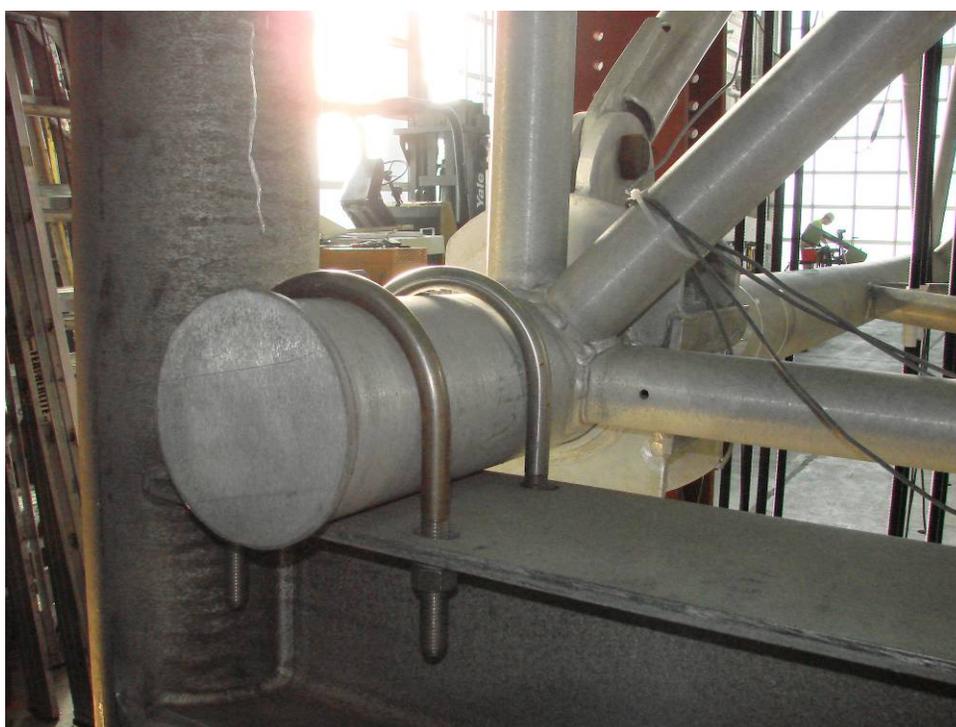
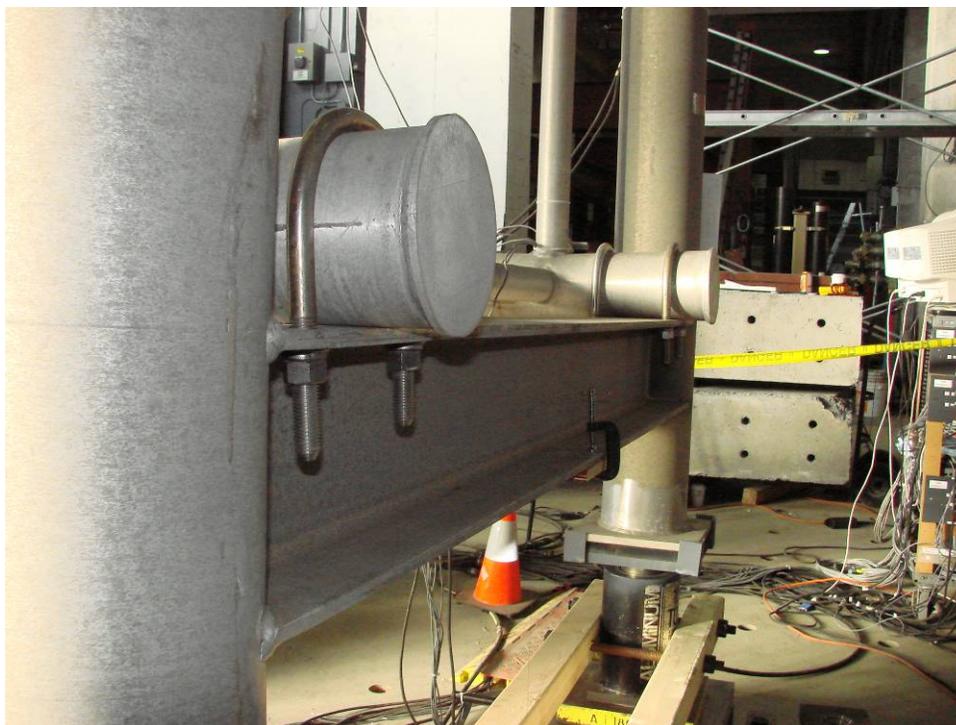


Figure 24 : Ovalisation de section du longeron inférieur

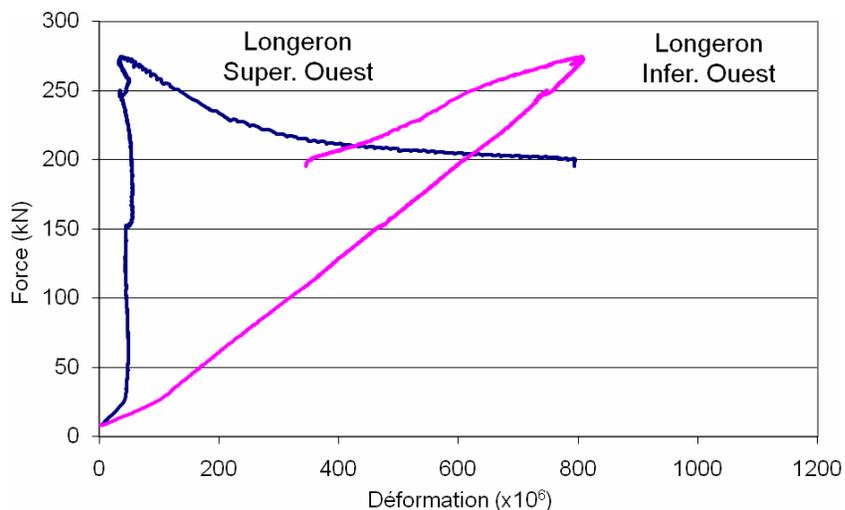


Figure 25: Déformations sur les longerons Ouest

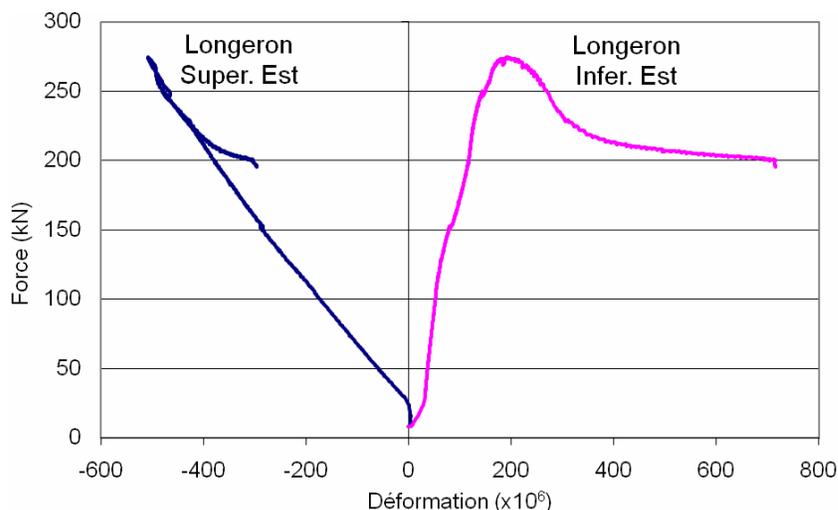


Figure 26: Déformations sur les longerons Est

Les Figures 25 et 26 illustrent les déformations mesurées sur les quatre longerons vis-à-vis les diagonales télescopiques. Pour le longeron supérieur Ouest, une déformation constante de $\pm 50 \times 10^{-6}$ a été notée jusqu'à la charge ultime tandis que les trois autres longerons ont présenté une réponse croissante linéaire jusqu'à la charge maximale. Pour la portion post-pic, une redistribution des efforts est reflétée par la réponse de tous les longerons.

Les positions des capteurs de déplacements (LVDT) destinés à mesurer les déplacements survenus aux brides de connexion mécanique entre les diagonales télescopiques et les longerons sont montrées à la Figure 27. Les mesures obtenues avec ces capteurs sont présentées aux Figures 28 à 31. Les valeurs maximales des déplacements ont été observées pour la partie intérieure de la bride (côté des diagonales). On y note également que les déplacements sont petits et ne dépassent pas la valeur de 1 mm.

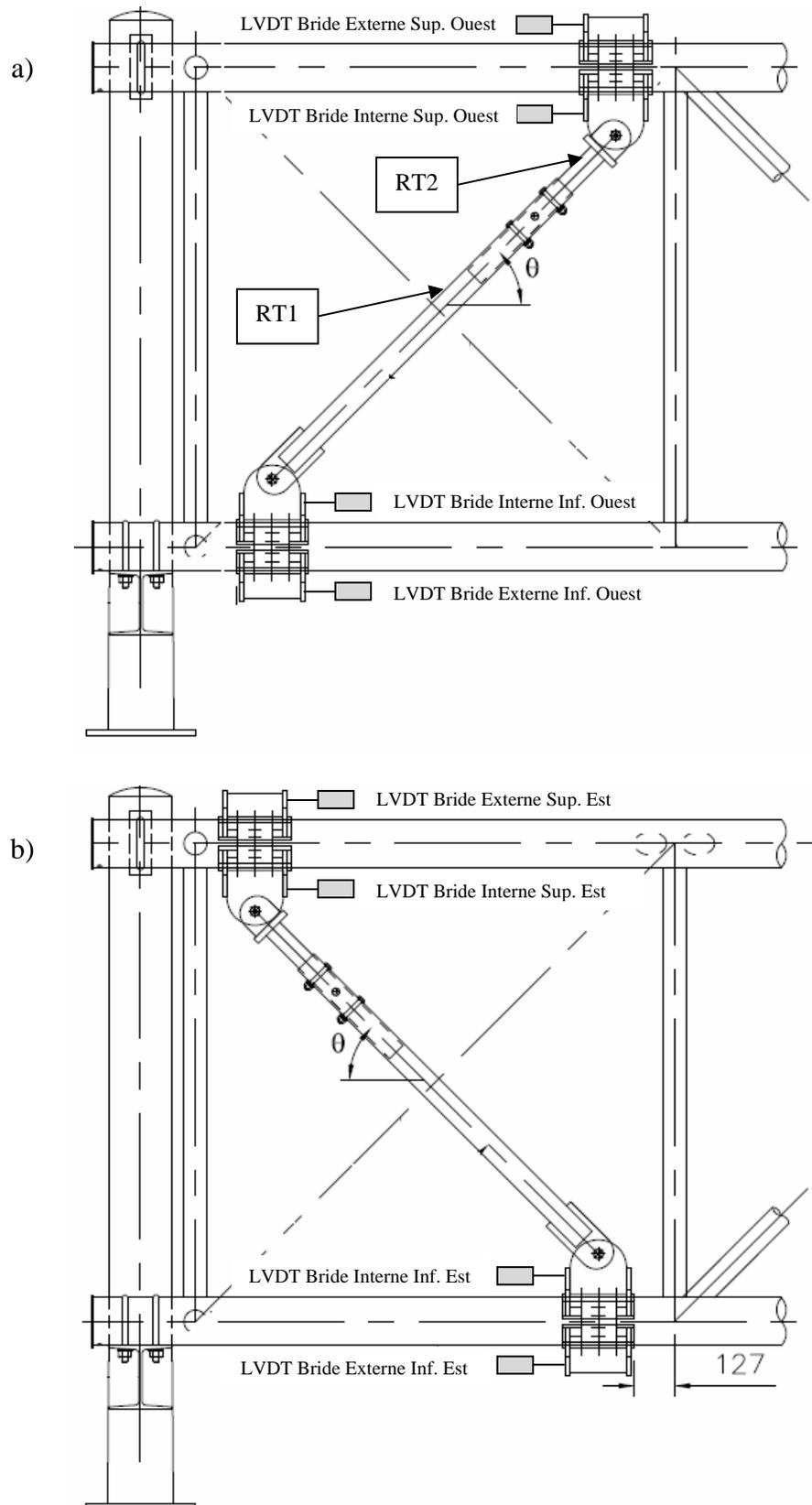


Figure 27 : Positions des LVDT mesurant le déplacement des brides : a) Ouest; b) Est

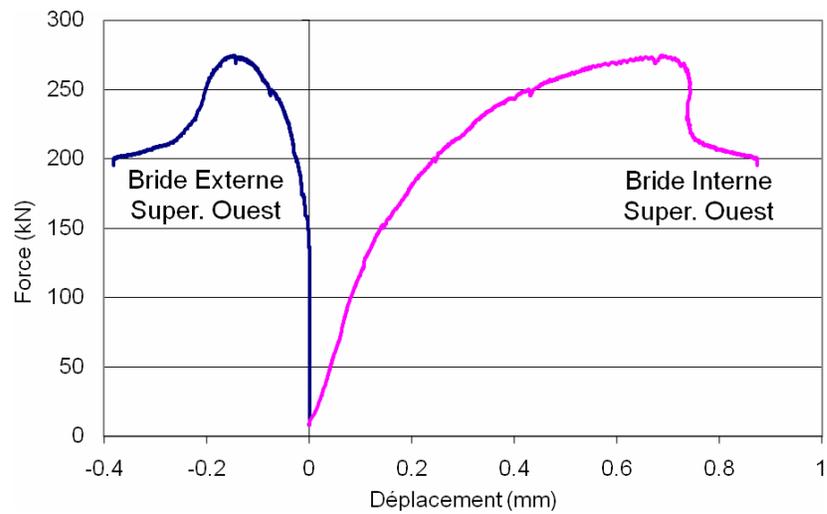


Figure 28: Déplacement de la bride supérieure Ouest

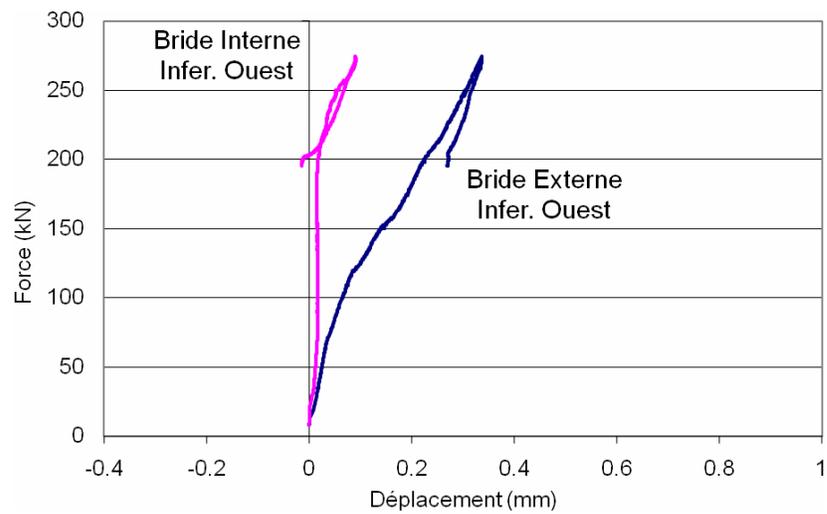


Figure 29: Déplacement de la bride inférieure Ouest

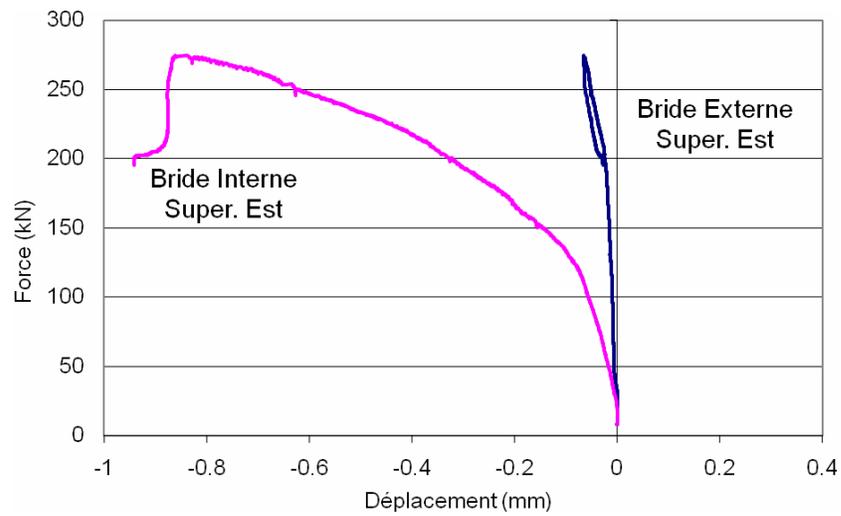


Figure 30: Déplacement de la bride supérieure Est

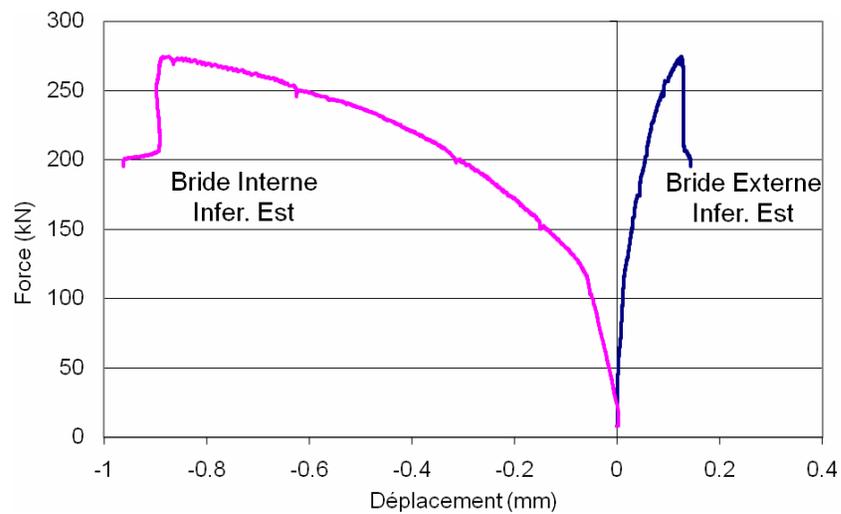


Figure 31: Déplacement de la bride inférieure Est

5. CONCLUSIONS

Dans le cadre du présent projet, un essai sur une poutre triangulée renforcée à l'aide de membrures télescopiques a été réalisé au Laboratoire de Structures de l'École Polytechnique de Montréal. Une réponse complètement élastique a été observée jusqu'à une force de 115 kN, suivi par une réponse linéaire jusqu'à 230 kN. Une force maximale de 274 kN a été atteinte. Le mécanisme principal de défaillance observé lors de l'essai a été par flambement de la diagonale télescopique Ouest suivi par le voilement local du petit tube de la diagonale.

Dans la réponse de post-pic, les dommages secondaires suivants ont également été identifiés suite au flambement de la diagonale :

- Rupture de la connexion soudée entre le tube flambé (RT2) et la plaque de connexion à la bride;
- Fissuration localisée en traction dans la section réduite (RT1) de la diagonale Est;
- Rupture de connexion soudée entre la membrure verticale et le longeron inférieur Ouest;
- Ovalisation des trous de la connexion boulonnée sous la pression diamétrale;
- Ovalisation de la section du longeron sous l'effet de l'écrasement à l'appui sur la poutre de support.

Les déplacements mesurés sur les deux parties des brides fixées aux longerons indiquent la présence d'une rotation avant le glissement. À l'exception de la bride inférieure Ouest, la partie interne des brides s'est déplacée beaucoup plus sous les efforts directs provenant de diagonales télescopiques par rapport à la partie externe.

Finalement, la rupture du spécimen testé n'est pas de caractère soudain. Le spécimen est capable de porter une charge résiduelle dans sa réponse de post-pic suite à une redistribution des efforts. La résistance de structure est contrôlée par la capacité de la diagonale télescopique de porter une charge de compression. Ce type de défaillance est identifié comme le mécanisme de rupture principal.

Également, à la lumière des essais réalisés, la présence des dommages secondaires doit être prise en compte par le MTQ ainsi que les effets de chargement cyclique doivent être vérifiés pour éviter un mécanisme de rupture autre qu'observé pendant cet essai.

Enfin on notera que la charge pondérée (P_f) établie par le ministère des Transports pour cette géométrie est de 162 kN, cette valeur ayant été déterminée en respectant la limite de capacité des diagonales soudées d'une poutre triangulée T3.

6. RÉFÉRENCES

Beaulieu, D. 2003, Calcul des charpentes d'aluminium, Les Presses de l'aluminium Pral.

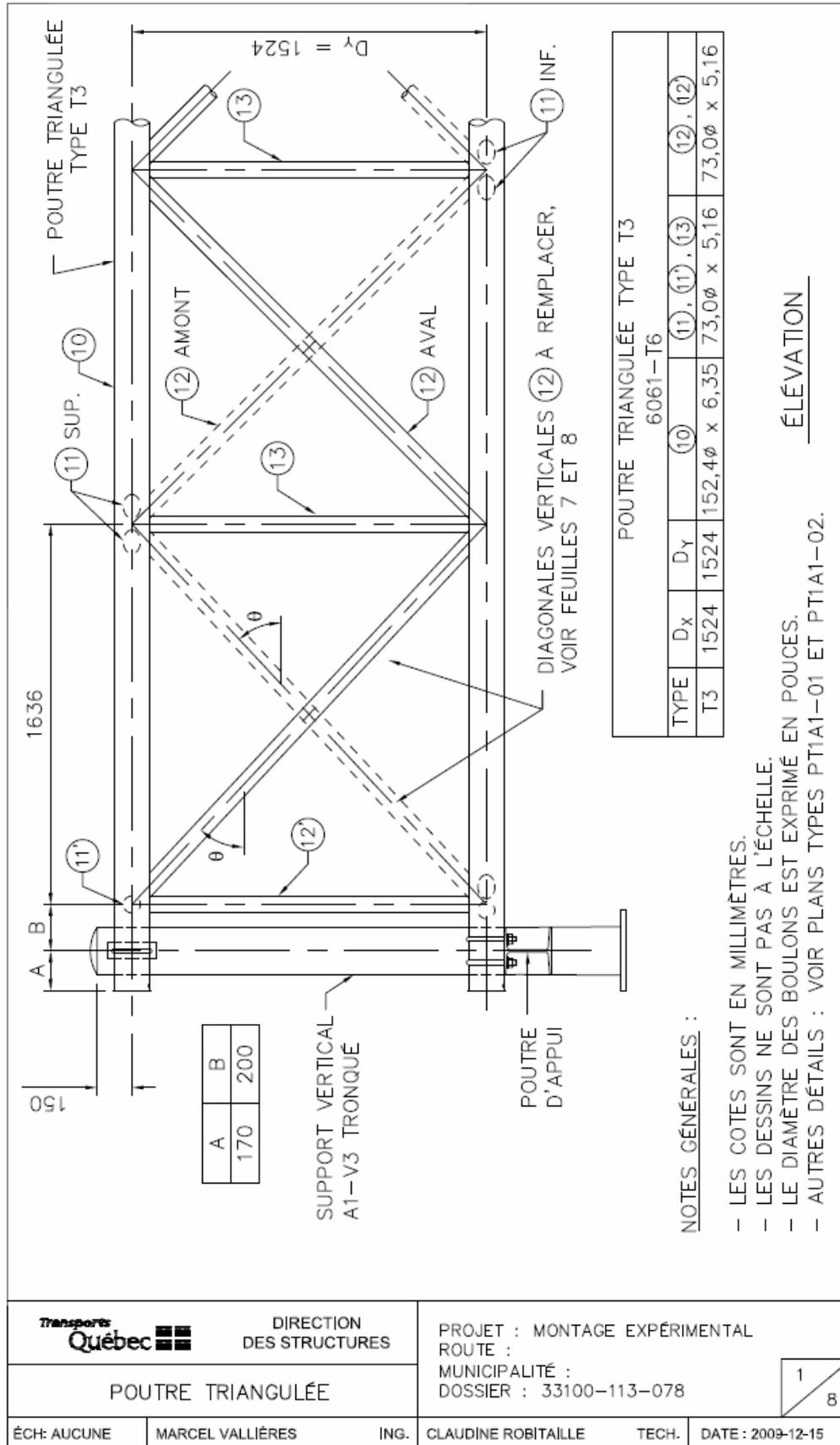
CSA. 2006, Code canadien sur le calcul des ponts routiers. CAN/CSA-S6-06. Association canadienne de normalisation, Mississauga, Ontario.

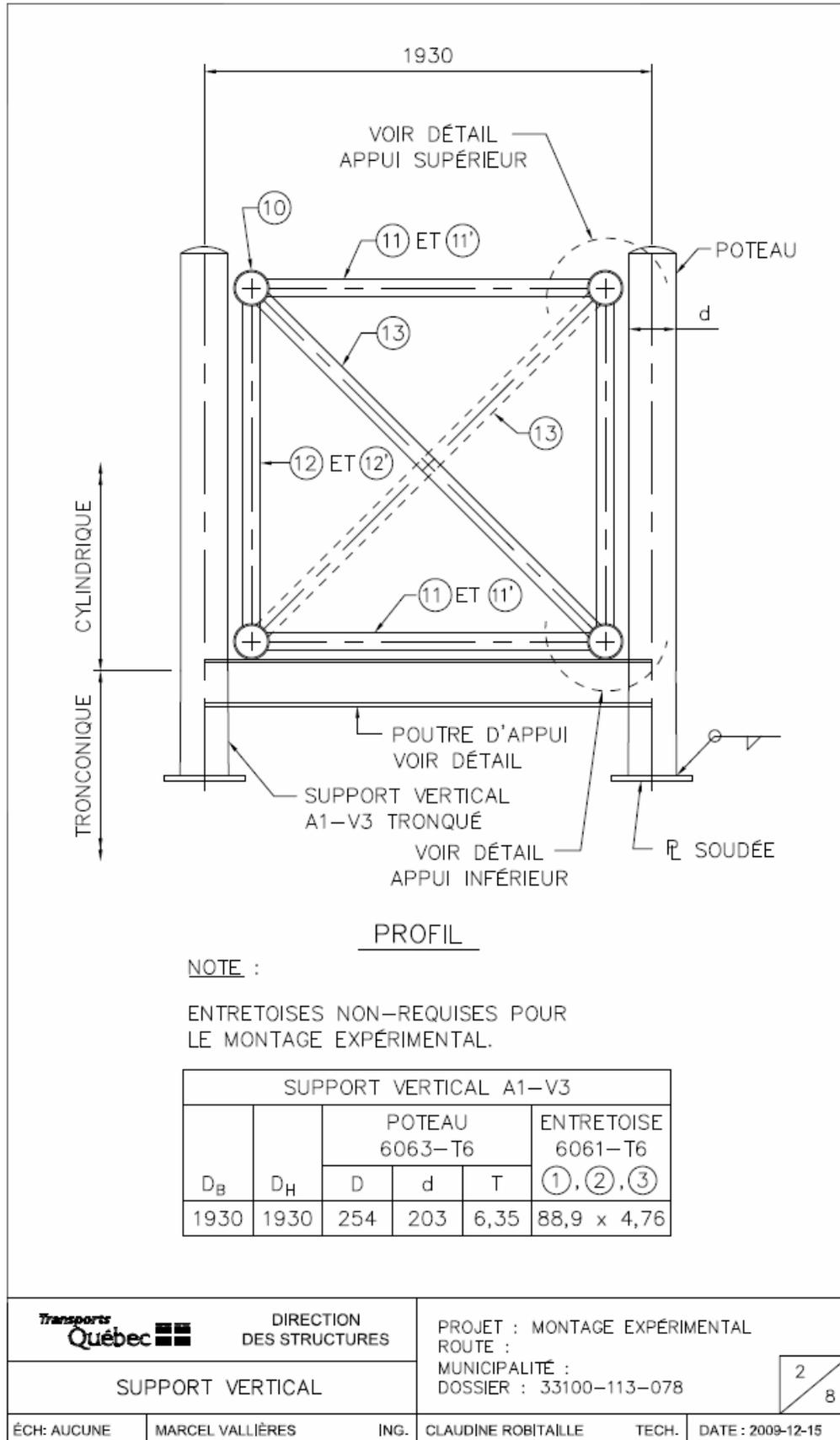
Massicotte, B. et Moffat, K. 2004, Conception et réparation des structures de signalisation aérienne en aluminium – Phase I/Rapport d'étape, Essais de brides – Frottement, Projet CDT / Rapport ST04-05, Département des génies civil, géologique et des mines, École Polytechnique de Montréal.

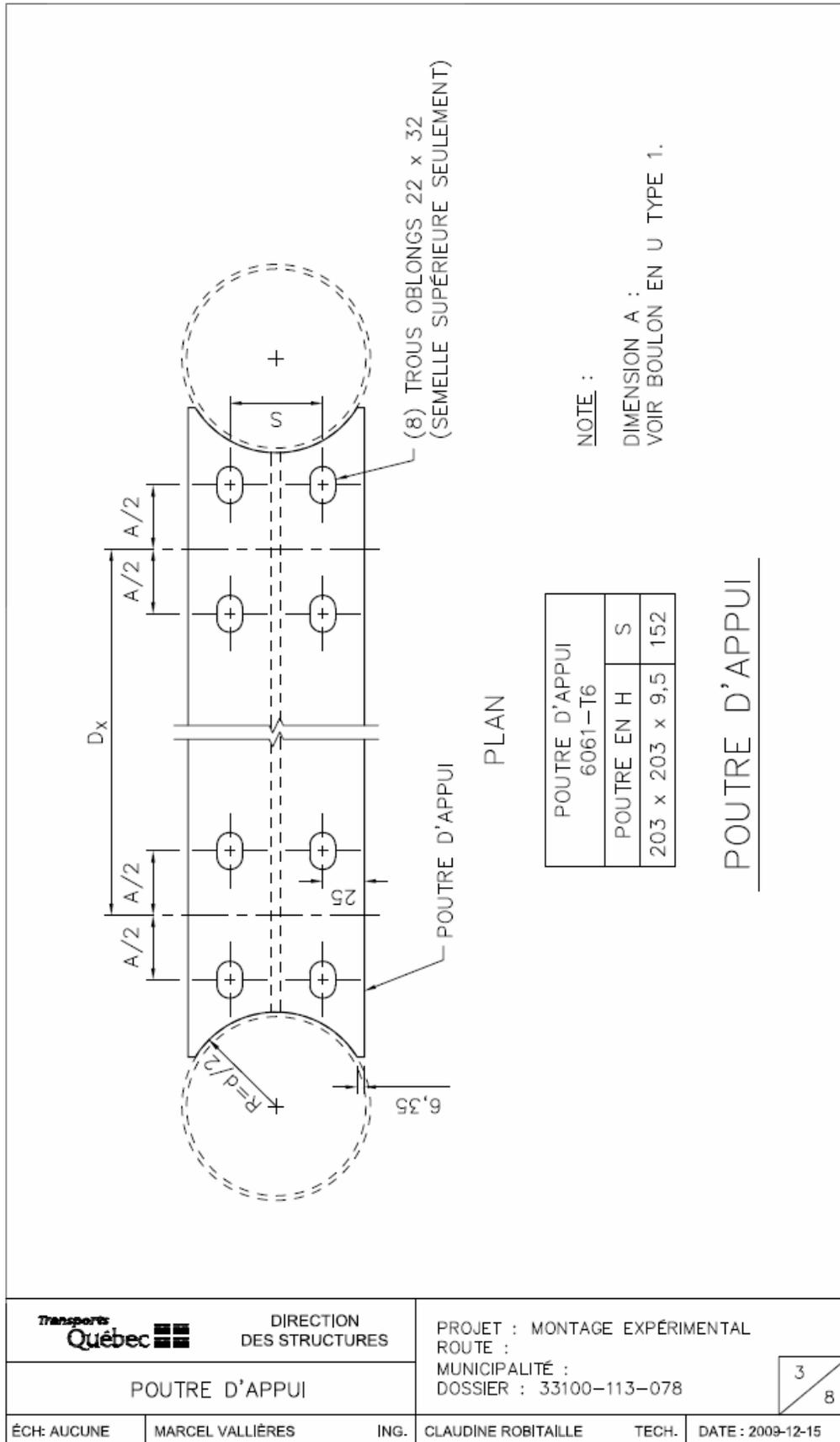
Vallières, M. 2007, Système de renforcement in situ des portiques de signalisation aérienne – diagonales de renfort télescopiques en aluminium, Direction des Structures, Ministère des Transports du Québec.

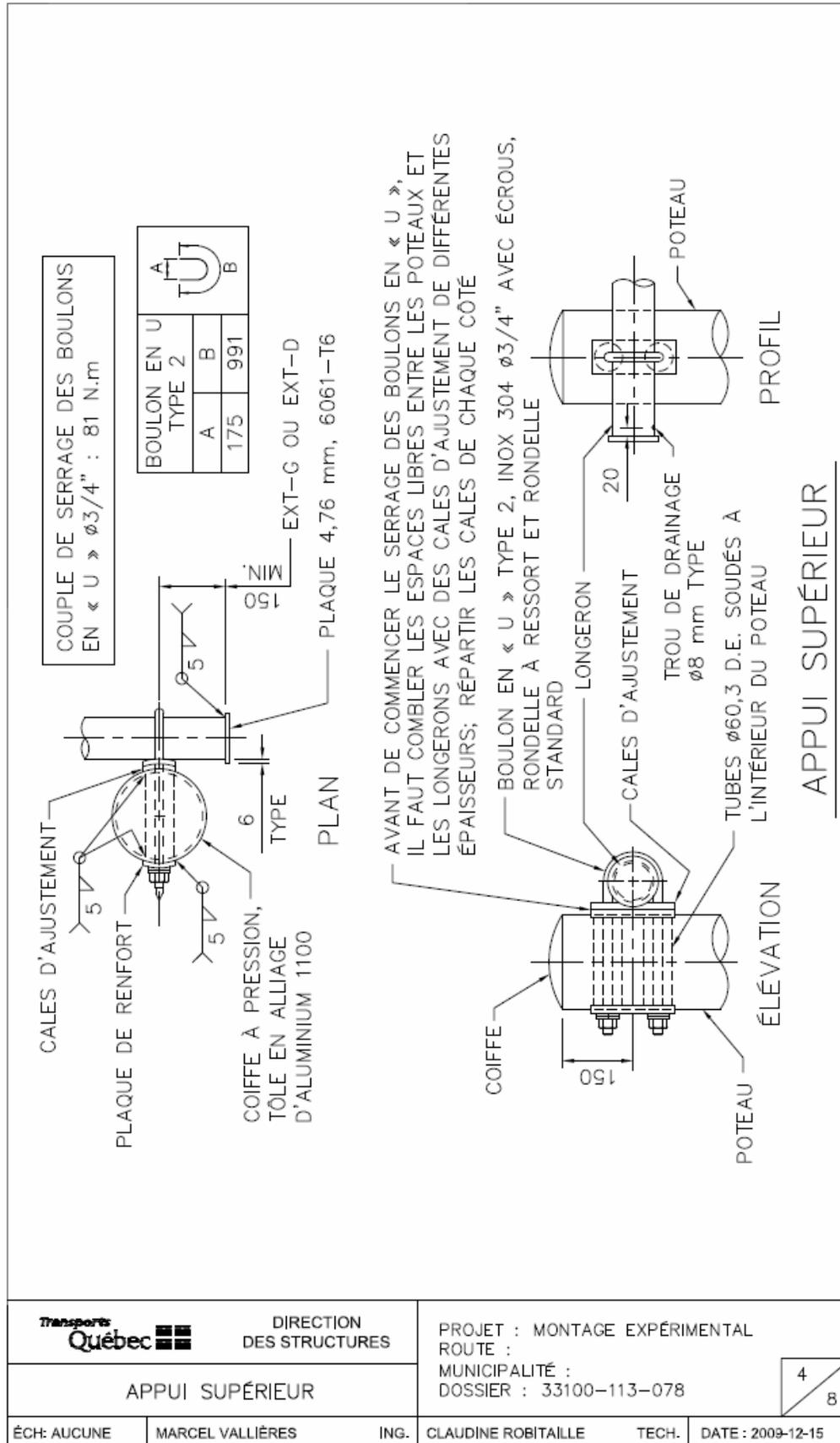
ANNEXE A

Dessins du spécimen fournis par le MTQ









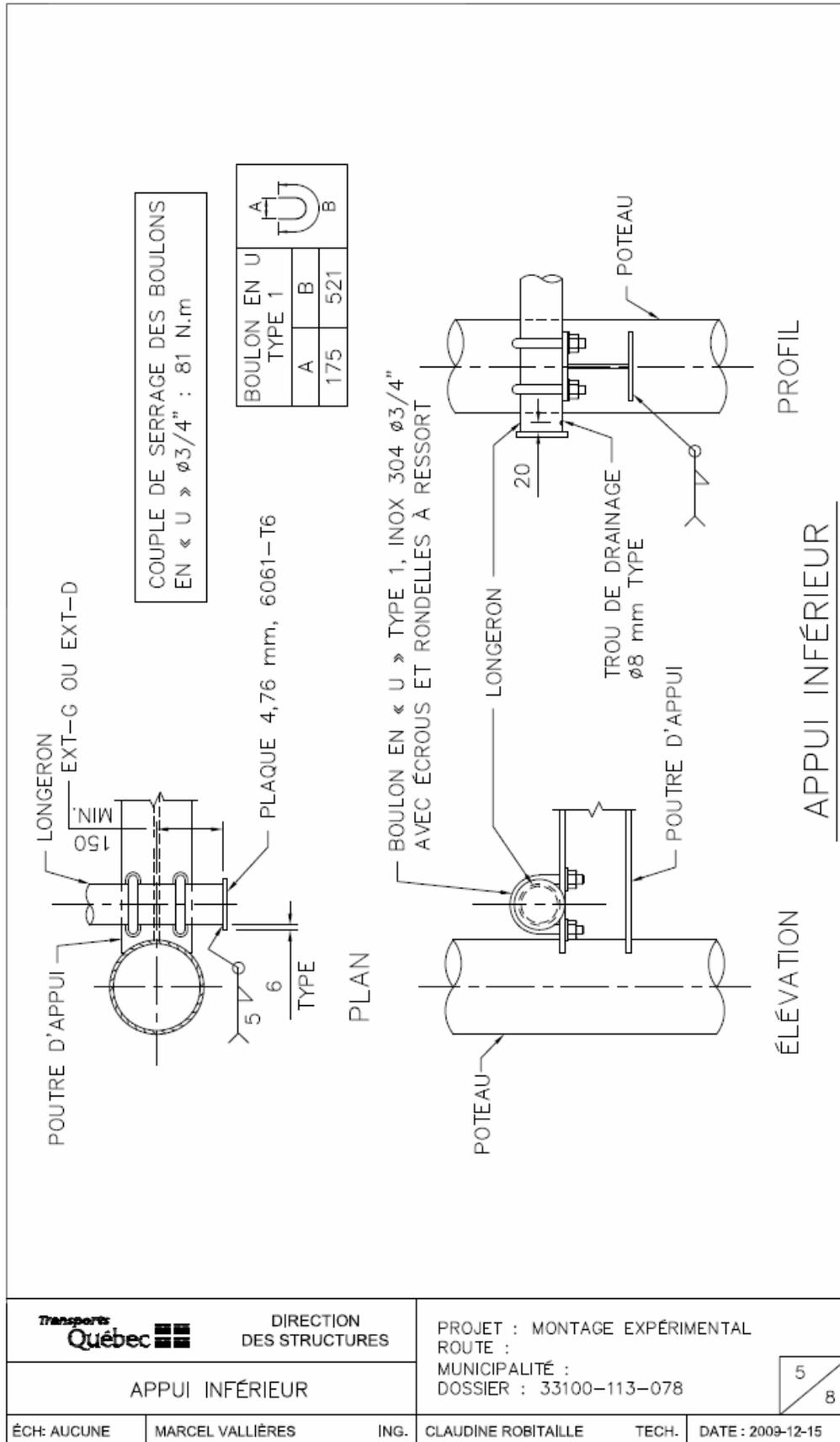
DIRECTION DES STRUCTURES

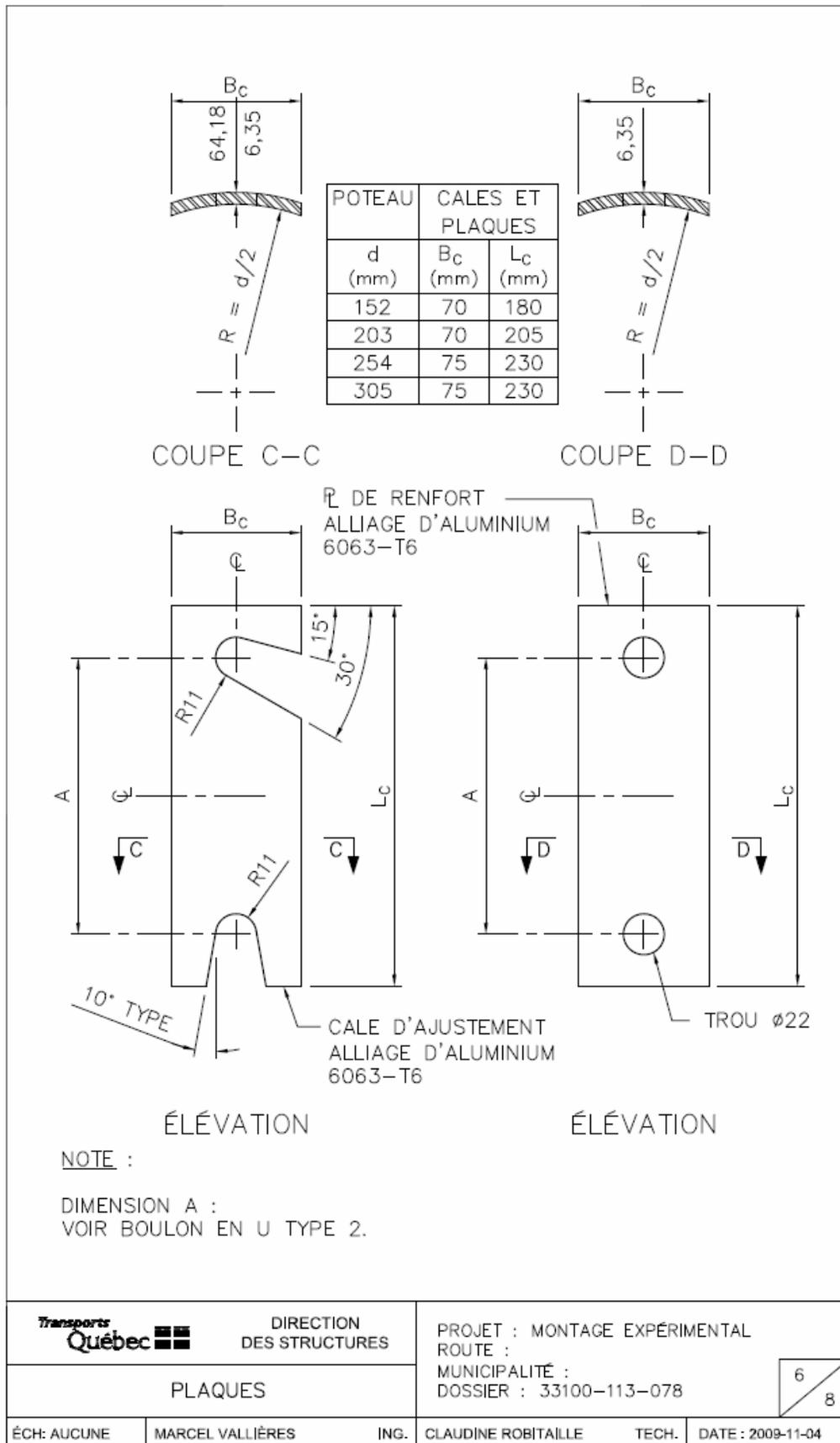
APPUI SUPÉRIEUR

PROJET : MONTAGE EXPÉRIMENTAL
ROUTE :
MUNICIPALITÉ :
DOSSIER : 33100-113-078

4
8

ÉCH: AUCUNE MARCEL VALLIÈRES ING. CLAUDINE ROBITAILLE TECH. DATE : 2009-12-15





DIRECTION
DES STRUCTURES

PROJET : MONTAGE EXPÉRIMENTAL
ROUTE :
MUNICIPALITÉ :
DOSSIER : 33100-113-078

PLAQUES

6
8

ÉCH: AUCUNE

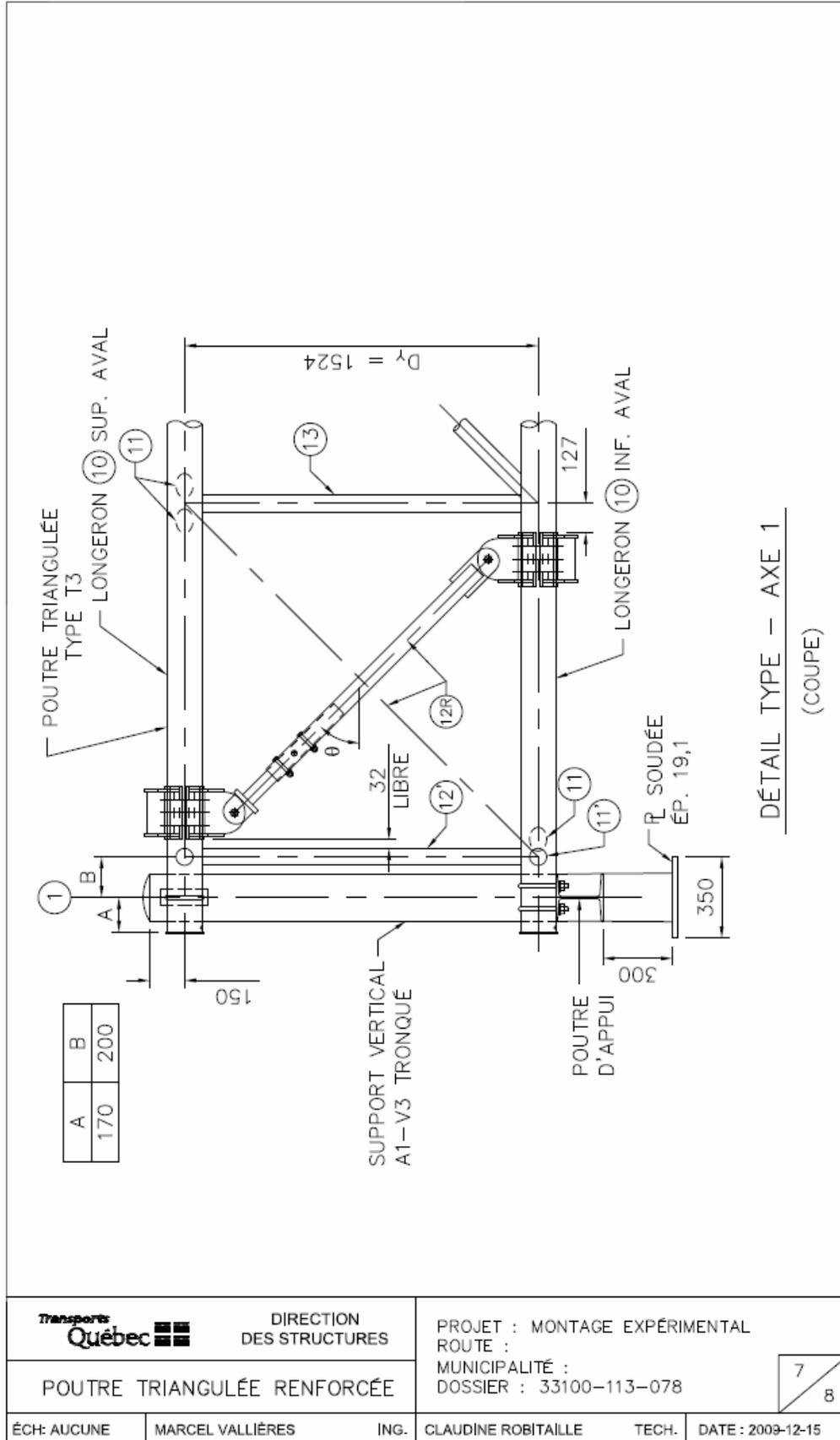
MARCEL VALLIÈRES

ING.

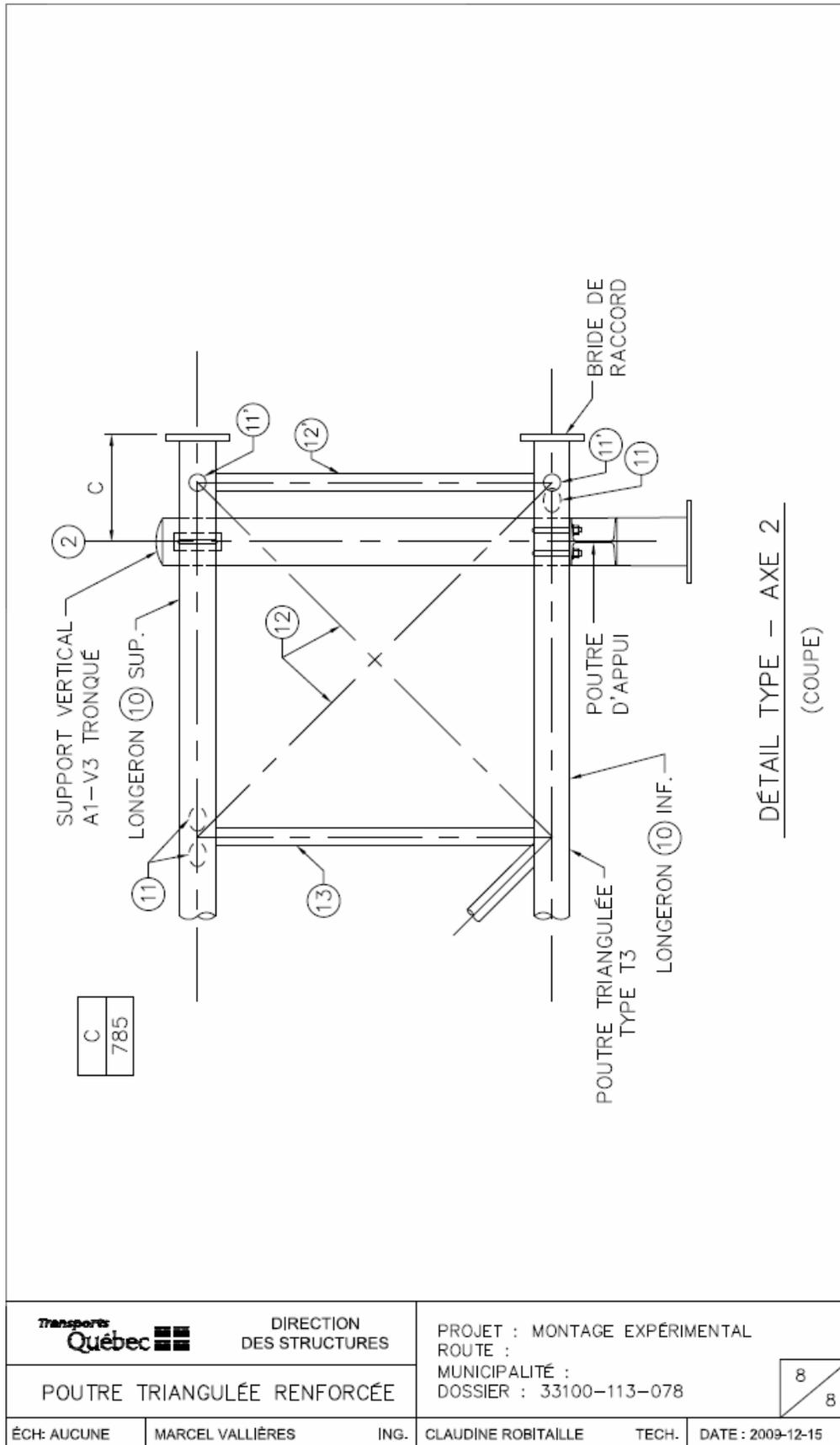
CLAUDINE ROBITAILLE

TECH.

DATE : 2009-11-04



		DIRECTION DES STRUCTURES		PROJET : MONTAGE EXPÉRIMENTAL ROUTE :			
POUTRE TRIANGULÉE RENFORCÉE		MUNICIPALITÉ : DOSSIER : 33100-113-078		<table border="1" data-bbox="1263 1801 1344 1864"> <tr> <td>7</td> <td>8</td> </tr> </table>		7	8
7	8						
ÉCH: AUCUNE	MARCEL VALLIÈRES	ING.	CLAUDINE ROBITAILLE	TECH.	DATE : 2009-12-15		



ANNEXE B

Essais de traction sur les membrures télescopiques



Figure B.1 : Spécimens testés de série A/T1



Figure B.2 : Spécimens testés de série B/T2



Figure B.3 : Spécimens testés de série T3

Tableau B.1 **Résultats des essais de traction**

Type d'essai	No d'essai	Charge de rupture (lbs)	Mode de rupture principal
Série A/T1	#1	25700	Rupture sous pression diamétrale
	#2	24990	Rupture sous pression diamétrale
	#3	24100	Rupture sous pression diamétrale
Série B/T2	#1	34900	Rupture sous pression diamétrale
	#2	38000	Rupture dans la connexion soudée
	#3	25500	Rupture dans la connexion soudée
Série T3	#1	48800	Rupture dans la connexion soudée
	#2	40000	Rupture dans la connexion soudée
	#3	43300	Rupture sous pression diamétrale

ANNEXE C

Essais de compression sur les membrures télescopiques



Figure C.1 : Spécimens testés de série B/T2



Figure C.2 : Spécimens testés de série C



Figure C.3 : Spécimens testés de série T3

Tableau C.1 *Résultats des essais de compression*

Type d'essai	No d'essai	Charge de rupture (lbs)	Mode de rupture principal
Série B/T2	#1	48050	Flambement de la pièce RT1
	#2	44800	Flambement de la pièce RT1
	#3	50400	Flambement de la pièce RT1
Série C	#1	39000	Flambement de la pièce RT1
	#2	41650	Flambement de la pièce RT1
	#3	43800	Flambement de la pièce RT1
Série T3	#1	63900	Flambement de la pièce RT2
	#2	69200	Flambement de la pièce RT2
	#3	71650	Flambement de la pièce RT2

ANNEXE D

Essais de fatigue sur les membrures télescopiques



Figure D.1 : Spécimens testés de série A/T1



Figure D.2 : Spécimens testés de série B/T2



Figure D.3 : Spécimens testés de série T3

Tableau D.1 *Résultats des essais de fatigue*

Type d'essai	No de spécimen	Écart de chargement (lbs)	Nombre de cycles et mode de rupture principal
Série A/T1	#1	6000 - 14000	74300 – Rupture dans RT1
	#2	6000 - 8000	11148800 – Sans rupture
	#2	6000 - 14000	11000 – Rupture dans RT2
	#3	6000 - 10000	576700 – Rupture de plaque RT1 et rupture des boulons
Série B/T2	#1	6000 - 16000	21400 – Rupture dans RT2
	#2	6000 - 16000	36400 - Rupture dans RT2
	#3	6000 - 16000	20000 - Rupture dans RT2
Série T3	#1	6000 - 20000	25000 - Rupture dans RT1
	#2	6000 - 20000	10700 - Rupture dans RT2
	#3	6000 - 20000	33000 - Rupture dans RT2

ANNEXE E

Essais de traction à 45° sur brides (A/T1, B/T2 et B/T3)



Figure E.1 : Montage expérimental

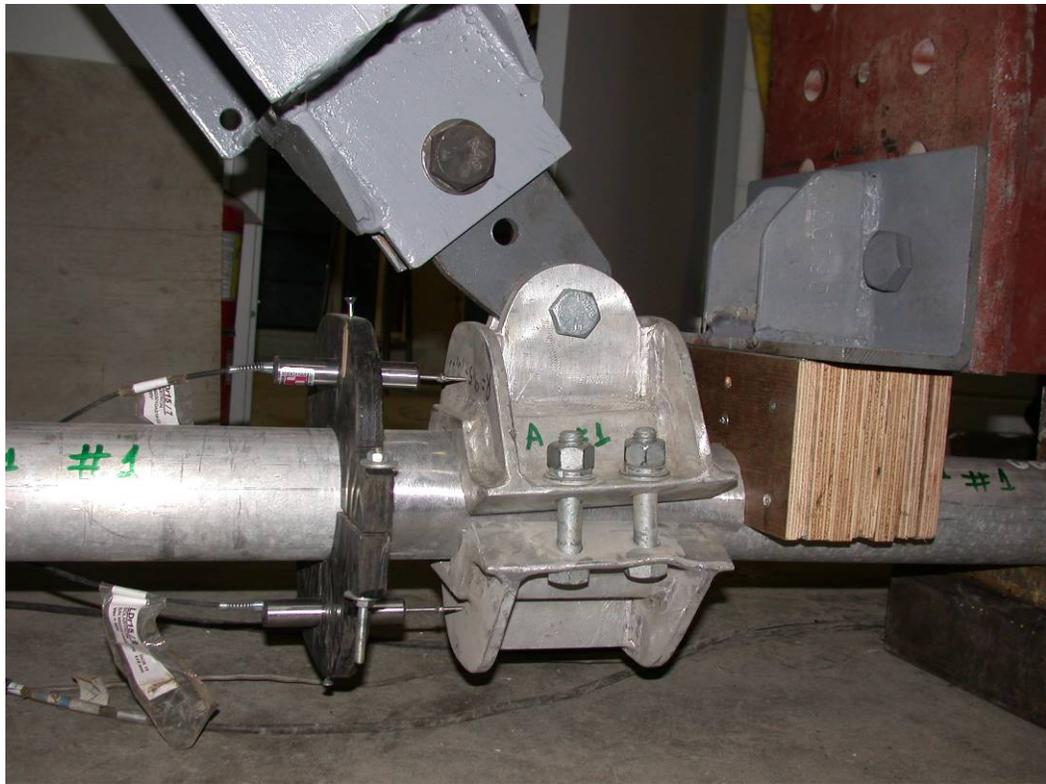


Figure E.2 : Essai sur A/T1 - #1

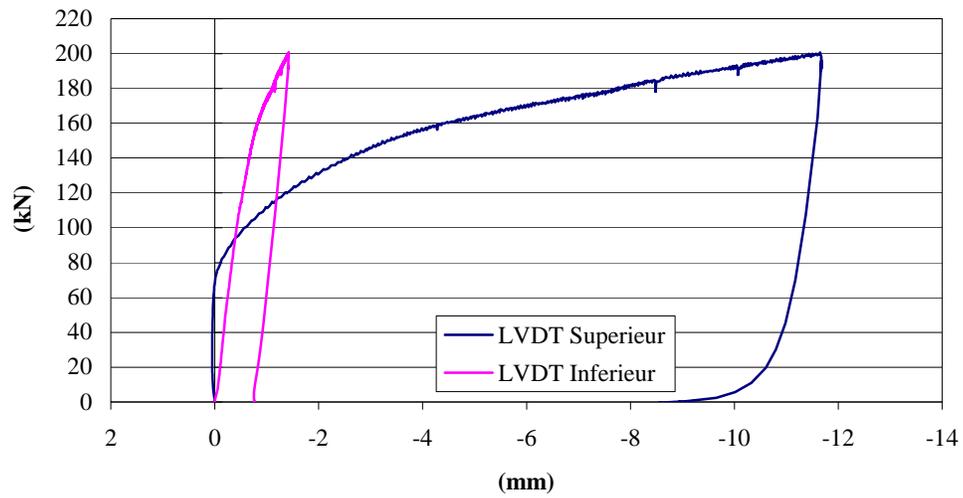


Figure E.3: Bride de type A sur longeron T1 - Spécimen #1

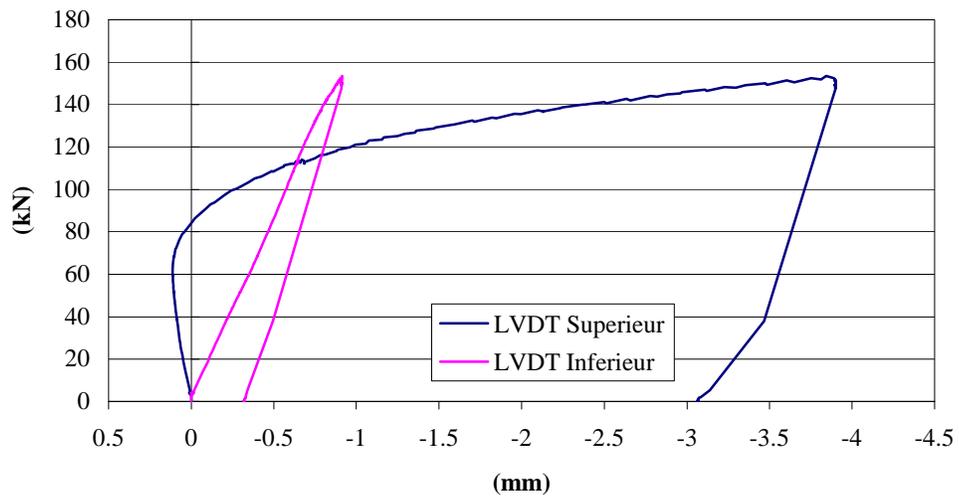


Figure E.4 : Bride de type A sur longeron T1 - Spécimen #2

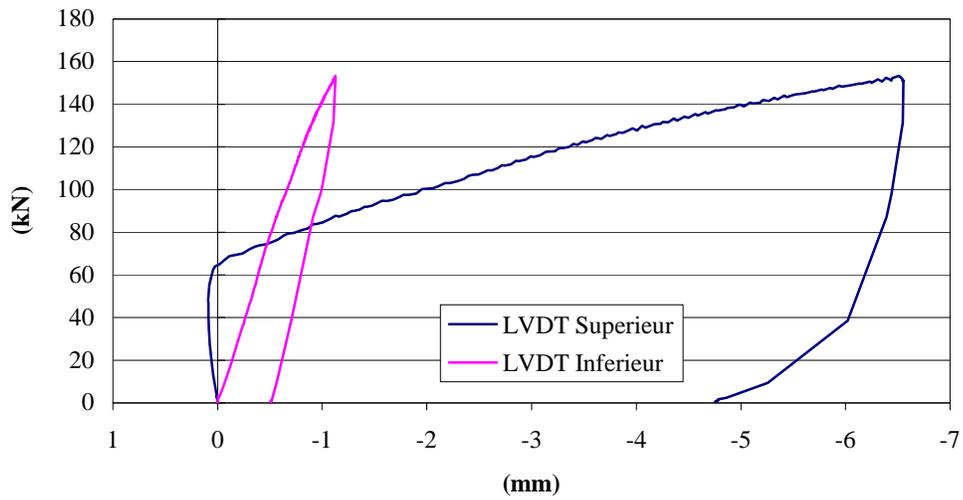


Figure E.5: Bride de type A sur longeron T1 - Spécimen #3

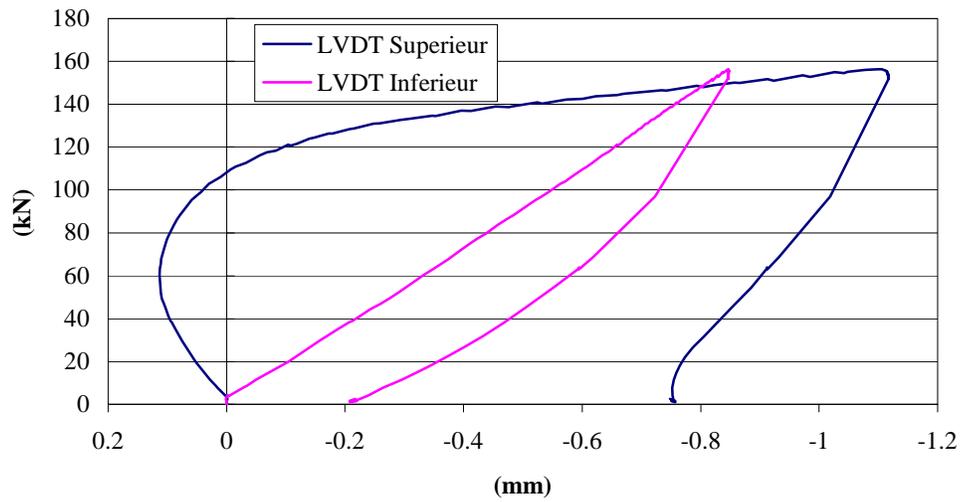


Figure E.6: Bride de type A sur longeron T1 - Spécimen #4

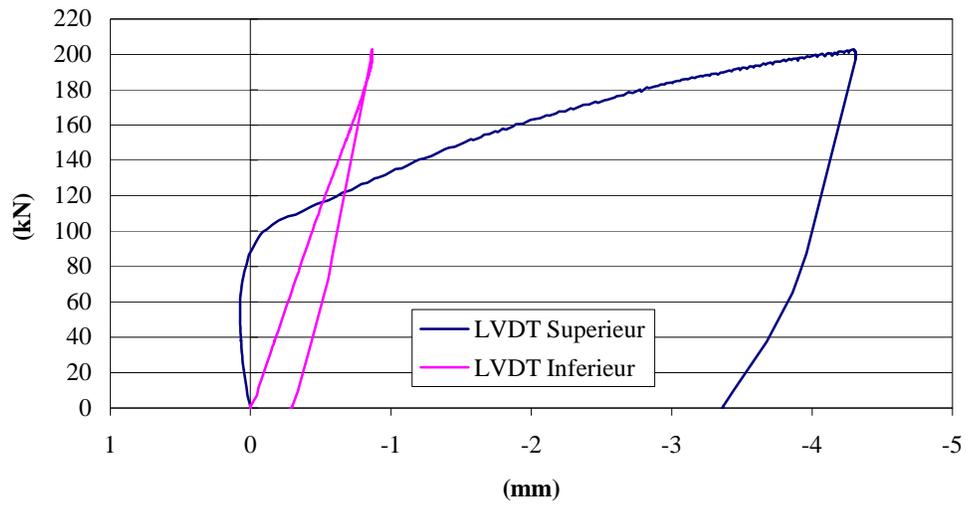


Figure E.7: Bride de type A sur longeron T1 - Spécimen #5



Figure E.8 : Essai sur B/T2 - #1

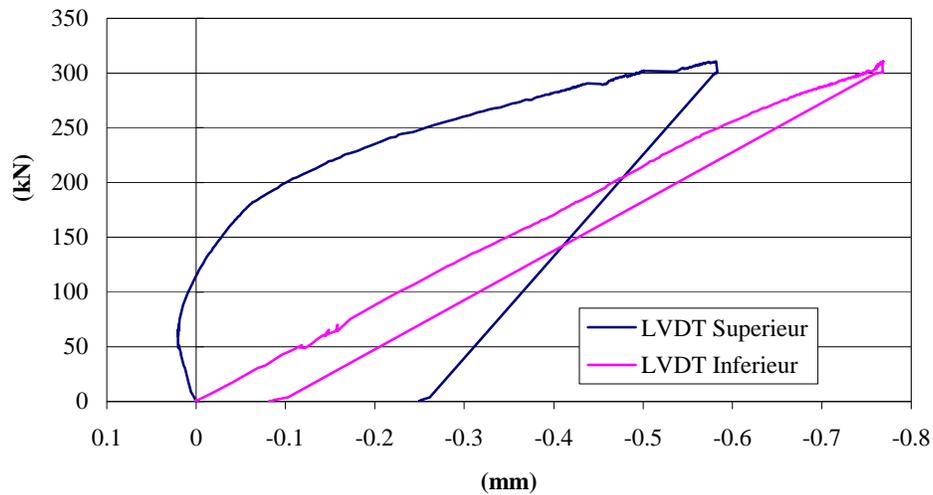


Figure E.9: Bride de type B sur longeron T2 - Spécimen #1

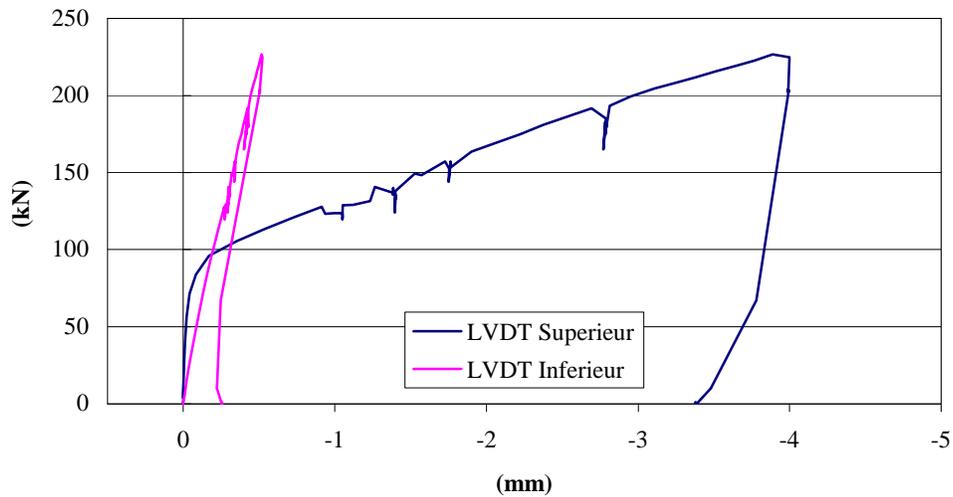


Figure E.10: Bride de type B sur longeron T2 - Spécimen #2

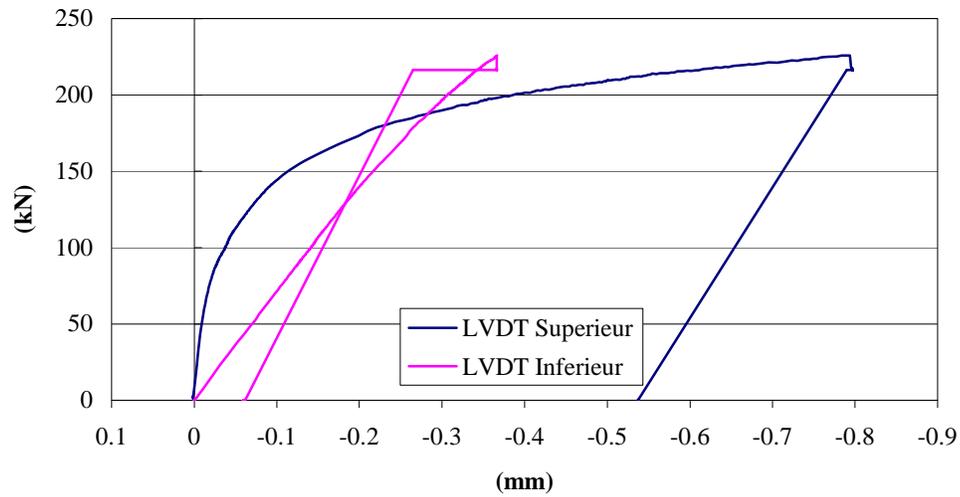


Figure E.11: Bride de type B sur longeron T2 - Spécimen #3

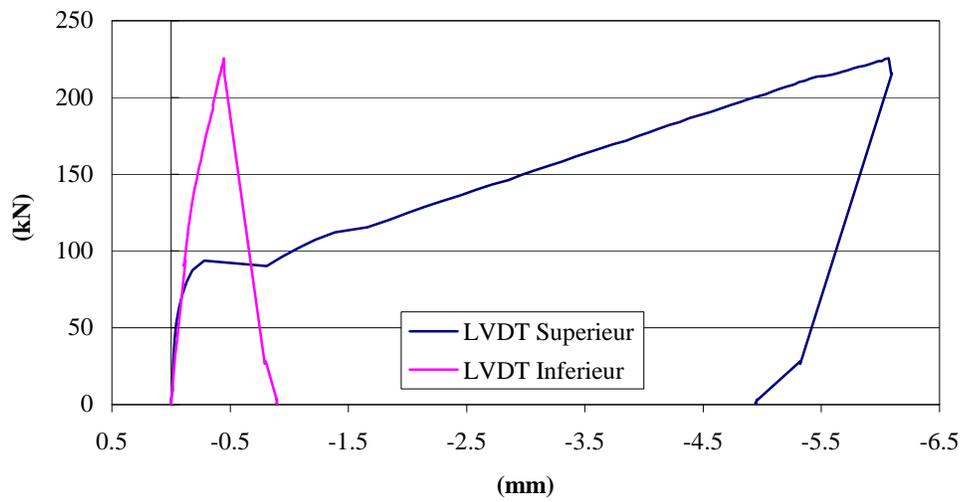


Figure E.121: Bride de type B sur longeron T2 - Spécimen #4

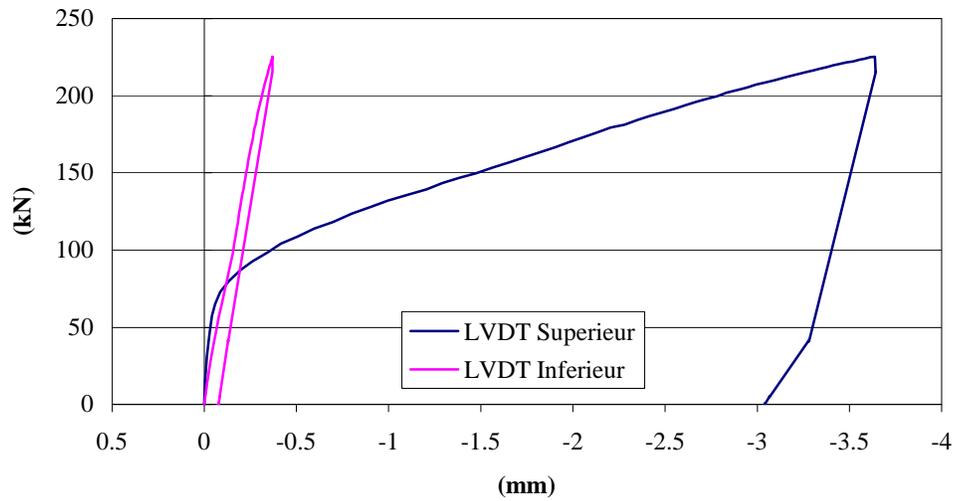


Figure E.13: Bride de type B sur longeron T2 - Spécimen #5

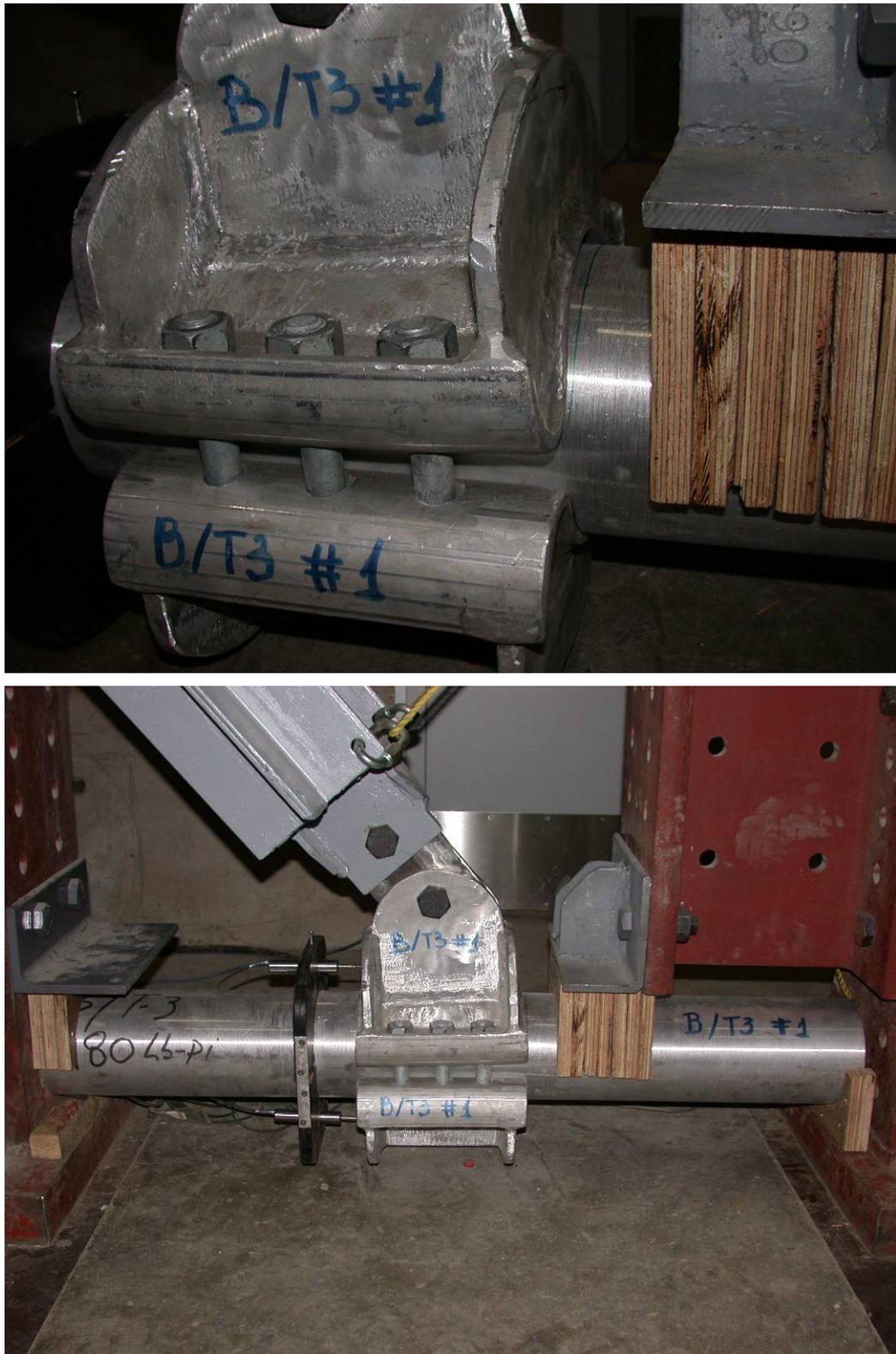


Figure E.14 : Essai sur B/T3 - #1

Tableau E.1 Résultats des essais à 45

Type d'essai	No d'essai	Charge appliquée (kN)	Mode de rupture principal
A/T1	#1	200	Rupture - Fissure sur aile de la bride
	#2	154	Sans rupture - Déformation de la bride
	#3	153	Sans rupture - Déformation de la bride
	#4	156	Sans rupture - Déformation de la bride
	#5	203	Rupture - Fissure sur aile de la bride
B/T2	#1	310	Rupture - Fissure sur aile de la bride
	#2	227	Sans rupture - Déformation de la bride
	#3	226	Sans rupture - Déformation de la bride
	#4	226	Sans rupture - Déformation de la bride
	#5	225	Sans rupture - Déformation de la bride
B/T3	#1	225	Sans rupture - Déformation de la bride
	#2	225	Sans rupture - Déformation de la bride
	#3	225	Sans rupture - Déformation de la bride
	#4	225	Sans rupture - Déformation de la bride
	#5	225	Sans rupture - Déformation de la bride