



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	1 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

AUTHENTIFICATION DU CAHIER DE CALCUL

Passerelle signature en aluminium - RDL

Note de calculs

Note de calculs préparée par : Benoit Cusson, ing., M. Sc.

Numéro de membre OIQ : 5015581

Signature :

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	2 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson 

REGISTRE DES RÉVISIONS

# Révision	Date	Nature de la révision
2	2024-04-17	Note de calcul à jour au moment de l'émission définitive de l'avant-projet Les charges correspondent aux modèle ADA v.29
1	2024-02-05	Note de calcul à jour au moment de l'émission pour commentaires Les charges correspondent aux modèle ADA v.29
0	2023-03-06	Note de calculs reflétant la conception préliminaire pour établir les plans d'ensemble.

IMAGE CLÉ DU PROJET



LIMITATION DE RESPONSABILITÉ

Bien que ce document calcul ait été préparé avec minutie et selon les meilleures connaissances techniques, WSP n'assume aucune responsabilité par rapport à son utilisation par diverses parties. L'utilisateur de ce document demeure l'ultime responsable de l'utilisation qu'il en fait et doit faire preuve de diligence dans la compréhension de celui-ci.

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

La présente note de calcul ainsi que les chiffriers de référence utilisés sont la propriété intellectuelle de WSP. Toute reproduction ou adaptation est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de WSP.



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	3 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

TABLE DES MATIÈRES RÉSUMÉE

*** L'utilisation des signets du document PDF permet d'accès rapidement aux sections désirées. ***

1	MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION	
2	CONCEPTION PARAMÉTRIQUE	
3	MATÉRIAUX	
4	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES	Ratio D/C
5	MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS FINIS	le plus
6	CHARGES	représentatif
7	COMBINAISONS DE CHARGES	
8	CONCEPTION DES CORDES PRINCIPALES DU SEGMENT DROIT	0.77
9	CONCEPTION DES JOINTS BOULONNÉS DU SEGMENT DROIT	0.97
10	CONCEPTION DU TREILLIS POUR LA FATIGUE	0.83
11	CONCEPTION PRÉLIMINAIRE	
	ANNEXES	

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	4 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>WSP</i>

TABLE DES MATIÈRES COMPLÈTE

*** L'utilisation des signets du document PDF permet d'accès rapidement aux sections désirées. ***

*** La NDC détaillée fournit les justifications pour les ratios D/C près de 1.00 ou ≥ 1.00 ***

1 MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION

- 1.1 Nature du présent mandat
- 1.2 Critères de conception Annexe A01
- 1.3 Systèmes structuraux
- 1.4 Particularités techniques
- 1.5 Limites du mandat
- 1.6 Étapes de conception
- 1.7 Objectif de conception en lien avec les niveaux de sollicitation

2 CONCEPTION PARAMÉTRIQUE

- 2.1 Segment droit
 - 2.1.1 *Général*
 - 2.1.2 *Sections du treillis*
 - 2.1.3 *Longerons*
 - 2.1.4 *Planches de bois*
 - 2.1.5 *Gabarit*
- 2.2 Segment courbe
 - 2.2.1 *Général*
 - 2.2.2 *Poutres courbes*
 - 2.2.3 *Diaphragmes*
 - 2.2.4 *Longerons et entretoises*
 - 2.2.5 *Contreventements verticaux*
 - 2.2.6 *Contreventements horizontaux*
 - 2.2.7 *Planches de bois*
 - 2.2.8 *Gabarit*

3 MATÉRIAUX

- 3.1 Aluminium S6:19 | 17.4
- 3.2 Bois débité S6:19 | 9.11

4 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

- 4.1 Approvisionnement
- 4.2 Préfabrication et transport
- 4.3 Levage et accès

5 MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS FINIS

5.1	<u>Planification de la modélisation</u>	Annexe A02
5.2	<u>Généralités du modèle d'éléments finis</u>	
5.2.1	<i>Matériaux</i>	
5.2.2	<i>Hypothèses simplificatrices</i>	
5.3	<u>Modélisation détaillée</u>	
5.3.1	<i>Description du segment droit</i>	Annexe A02
5.3.2	<i>Description du segment courbe</i>	Annexe A02
5.3.3	<i>Planches de bois</i>	
5.3.4	<i>Longerons</i>	
5.3.5	<i>Entretoises</i>	
5.3.6	<i>CV de la courbe</i>	
5.3.7	<i>Diaphragmes de la courbe</i>	
5.3.8	<i>Zone de transition</i>	
5.3.9	<i>Planchers</i>	
5.4	<u>Analyse modale</u>	
5.5	<u>Captures d'écran du modèle (v.29)</u>	
5.5.1	<i>Validation générale</i>	

6 CHARGES

6.1	<u>Résumé des charges</u>	
6.2	<u>Charge morte (D)</u>	S6:19 3.6
6.3	<u>Surcharges (L)</u>	S6:19 3.8
6.3.1	<i>Surcharge due à la circulation piétonnière</i>	S6:19 3.8.9
6.3.2	<i>Surcharge due aux véhicules d'entretien</i>	S6:19 3.8.11
6.4	<u>Déformations imposées (K)</u>	S6:19 3.9
6.4.1	<i>Dilatation thermique</i>	S6:19 3.9
6.5	<u>Charges dues au vent (W)</u>	S6:19 3.10
6.5.1	<i>Vent horizontal</i>	S6:19 3.10.2.2
6.5.2	<i>Rafale de vent naturelle</i>	S7:23 6.13.2
6.5.3	<i>Vent vertical</i>	S6:19 3.10.2.3
6.5.4	<i>Vent sur la surcharge</i>	S6:19 3.10.2.4
6.5.5	<i>Vent pour les unités de fondation</i>	S6:19 3.10.3
6.6	<u>Charges de verglas (A)</u>	S6:19 3.12.6
6.7	<u>Charges de neige (Sn)</u>	S7:23 6.11
6.8	<u>Forces horizontales longitudinales</u>	S7:23 6.15
6.9	<u>Charges de construction</u>	S6:19 3.16
6.10	<u>Validation qualitative des charges</u>	
6.10.1	<i>Validation des types de charges principales</i>	

7 COMBINAISONS DE CHARGES

7.1	<u>Combinaisons de charge pour la structure</u>	S6:19 3.5
-----	---	-------------

8 CONCEPTION DES CORDES PRINCIPALES DU SEGMENT DROIT

8.1	<u>Résistance des tubes</u>	S6:19 chap. 17	
8.1.1	<i>Positionnement des joints soudés</i>	S6:19 chap. 17	
8.1.2	<i>Résistance à la compression J.S.1 sup.</i>	S6:19 17.11.3	0.12
8.1.3	<i>Résistance à la traction J.S.1 sup.</i>	S6:19 17.10.3	0.15
8.1.4	<i>Résistance à la compression J.S.1 inf.</i>	S6:19 17.11.3	0.23
8.1.5	<i>Résistance à la traction J.S.1 inf.</i>	S6:19 17.10.3	0.13
8.1.6	<i>Résistance à la compression J.S.2 sup.</i>	S6:19 17.11.3	0.17
8.1.7	<i>Résistance à la traction J.S.2 sup.</i>	S6:19 17.10.3	0.47
8.1.8	<i>Résistance à la compression J.S.2 inf.</i>	S6:19 17.11.3	0.65
8.1.9	<i>Résistance à la traction J.S.2 inf.</i>	S6:19 17.10.3	0.77
8.1.10	<i>Résistance à la compression J.S.3 sup.</i>	S6:19 17.11.3	0.56
8.1.11	<i>Résistance à la traction J.S.3 sup.</i>	S6:19 17.10.3	0.35
8.1.12	<i>Résistance à la compression J.S.3 inf.</i>	S6:19 17.11.3	0.52
8.1.13	<i>Résistance à la traction J.S.3 inf.</i>	S6:19 17.10.3	0.74

9 CONCEPTION DES JOINTS BOULONNÉS DU SEGMENT DROIT

9.1	<u>Approche pour la conception</u>	S6:19 17.22	
9.1.1	<i>Forces calculées aux joints</i>	S6:19 17.22.1.1a)	
9.1.2	<i>75% pour la résistance pondérée</i>	S6:19 17.22.1.1b)	
9.1.3	<i>Efforts retenus pour la conception</i>	S6:19 17.22.1.1	
9.1.4	<i>Rigidité axiale</i>	S6:19 17.22.1.1	0.80
9.1.5	<i>Rigidité flexionnelle</i>	S6.1:19 C10.18.1.1	
9.1.6	<i>Comportement structural</i>	S6:19 17.22.2.10.2	
9.1.7	<i>Géométrie</i>		
9.2	<u>États limites ultimes</u>	S6:19 17.22	
9.2.1	<i>Cisaillement états limites ultimes</i>	S6:19 17.22.2.3	0.66
9.2.2	<i>Boulons en écrasement</i>	S6:19 17.22.2.6	0.88
9.2.3	<i>Résistance en portance de la zone d'appui</i>	S6:19 17.24.1	0.48
9.2.4	<i>Résistance axiale à la traction du tube</i>	S6:19 17.10.3b)	0.94
9.2.5	<i>Résistance axiale à la traction du manchon</i>	S6:19 17.10.3b)	0.78
9.2.6	<i>Résistance au cisaillement du manchon</i>	S6:19 17.12.4.1.2	0.33
9.3	<u>États limites de service</u>	S6:19 17.22.4	
9.3.1	<i>Glissement en service</i>	S6:19 17.22.2.4.2	0.97
9.4	<u>Discussion au sujet du serrage des boulons</u>	S6:19 17.25.5	

10 CONCEPTION DU TREILLIS POUR LA FATIGUE

10.1	<u>États limites de fatigue</u>	S7:23 9.3.5	
10.1.1	<i>Résistance à la fatigue</i>	S7:23 9.3.5.4	
10.1.2	<i>Variations de contraintes : Analyse simplifiée</i>	S7:23 9.3.5.2	*expliqué* 1.40
10.1.3	<i>Variations de contraintes : ÉLF1a</i>	S7:23 9.3.5.2	0.75
10.1.4	<i>Variations de contraintes : ÉLF1b</i>	S7:23 9.3.5.2	0.83
10.1.5	<i>Variations de contraintes : ÉLF2</i>	S7:23 9.3.5.2	*expliqué* 1.08

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	7 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson 

11 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

11.1	<u>Segment courbe en poutres (calculs manuels)</u>		
11.1.1	<i>Référence avant-projet concept Aluminium - Bois</i>		
11.1.2	<i>Calcul des charges non-pondérées</i>		
11.1.3	<i>Calcul des efforts préliminaires</i>		
11.1.4	<i>Optimisation des semelles des poutres</i>	S6:19 fig. 17.7	
11.1.5	<i>Mr poutres</i>	S6:19 17.12	0.95
11.1.6	<i>Vr âme raidie</i>	S6:19 17.12.4.1.3	0.12
11.2	<u>Segment courbe en poutres (modèle ÉF)</u>	S6:19 10.13.6	
11.2.1	<i>Rapport fw / fb</i>	S6:19 10.13.6.1.1a)	0.90
11.2.2	<i>Résistance de chaque semelle</i>	S6:19 10.13.6.1.2a)	0.71
11.2.3	<i>Stabilité de la semelle comprimée</i>	S6:19 10.13.6.1.2b)	0.36
11.2.4	<i>Variantes de CV</i>		
11.3	<u>Zone de transition</u>		
11.3.1	<i>Modélisation éléments finis préliminaire</i>		
11.3.2	<i>Ouverture dans le treillis</i>		
11.3.3	<i>Validation Mr corde inférieure renforcie</i>	S6:19 17.12.2	0.32
11.3.4	<i>Rigidité de chaque segment</i>		

ANNEXES

- A01 Critères de conception
- A02 Planification de la modélisation par éléments finis
- A03 Calcul des quantités
- A04 Combinaisons piétons
- A05 Combinaisons de charges
- A06 L vs S
- A07 Chiffrier de résistance des cordes du segment droit
- A08 Chiffrier de résistance des poutres

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	8 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson 

RÉFÉRENCES

<u>Auteur</u>	<u>Titre</u>	<u>Abréviation</u>
CSA S6:19	Code canadien sur le calcul des ponts routiers 2019	S6:19
CSA S6.1:19	Commentary on CSA S6:19, Canadian Highway Bridge Design Code 2019	S6.1:19
CSA S7:23	Pedestrian, Cycling and Multiuse Bridge Design Guideline 2023	S7:23
CSA A23.3-19	Design of concrete structures 2019	A23.3-19
CSA S16-19	Design of steel structures 2019	S16-19
CSA S157-17	Strength design in aluminum + Commentary 2017	S157-17
CSA O86-19	Règles de calcul des charpentes de bois 2019	O86-19
CSA G30.18-21	Barres d'acier au carbone pour l'armature du béton 2021	G30.18-21
CSA G40.21-13	Acier de construction 2013	G40.21-13
CSA O80-21	Préervation du bois 2015	O80-21
CSA W59-18	Constructions soudées en acier (soudage à l'arc) 2018	W59-18
CSA W59.2-18	Construction soudée en aluminium 2018	W59.2-18
MTQ	Manuel de conception des structures Décembre 2021	MCS
MTQ	Manuel d'évaluation de la capacité portante des structures Février 2015	MÉCPS



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	9 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson 

MTQ	Manuel de conception des structures de signalisation Août 2013	MCSS
MTQ	Manuel de construction et de réparation des structures Mars 2021	MCRS
MTQ	Normes – Ouvrages routiers (Tomes I à VIII) 20 février 2023	T3
MTQ	CCDG - Construction et réparation Édition 2023	CCDG
MTQ	Annexe hydraulique - Guide de préparation des projets routiers Édition 2018	HYD
MTQ	Manuel de conception des ponceaux Décembre 2020	MCP
MFFP	Norme sur les ponts dans les forêts du domaine de l'État Édition 2020	MFFP
AASHTO	LRFD Bridge Design Specifications 9th Edition	LRFD BDS
AASHTO	LRFD Guide Specifications for the Design of Pedestrian Bridges 2009 including 2015 Interim Revisions	GSDPB
CNRC	Code national du bâtiment 2020	CNB
Canadian Geotechnical Society	Canadian Foundation Engineering Manual 4th Edition 2006	CFEM
Association Canadienne du ciment	Concrete Design Handbook Fourth Edition	CDH
Beaulieu, Picard, Tremblay, Grondin Massicotte	Calcul des charpentes d'acier Tome 1 2008	Acier1
Beaulieu, Picard, Tremblay, Grondin Massicotte	Calcul des charpentes d'acier Tome 2 2010	Acier2



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	10 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

Denis Beaulieu	Les caractéristiques de l'aluminium structural 2e édition 2013	Alum1
Denis Beaulieu	Design of Aluminum Structures 2006	Alum2
Patrick Paultre	Structures en béton armé 2011	Béton
Bruno Massicotte	Notes de cours de conception en béton 2008	Massicotte
Roy R. Craig, Jr	Mechanics of Materials 2000	Craig
E.C. Hambly	Bridge Deck Behavior 2nd edition	Hambly
ICCA	Handbook of Steel Construction 2011	HBSC
ICCA	Torsional section properties of steel shapes 2002	ICCA1
ICCA	Formation ponts en acier - Calculs, fabrication, construction 2013	ICCA2
NSBA	Steel Bridge Design Handbook Appendix Design Example 1 2022	NSBA

NOTE DE CALCULS

1 MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION

1.1 Nature du présent mandat

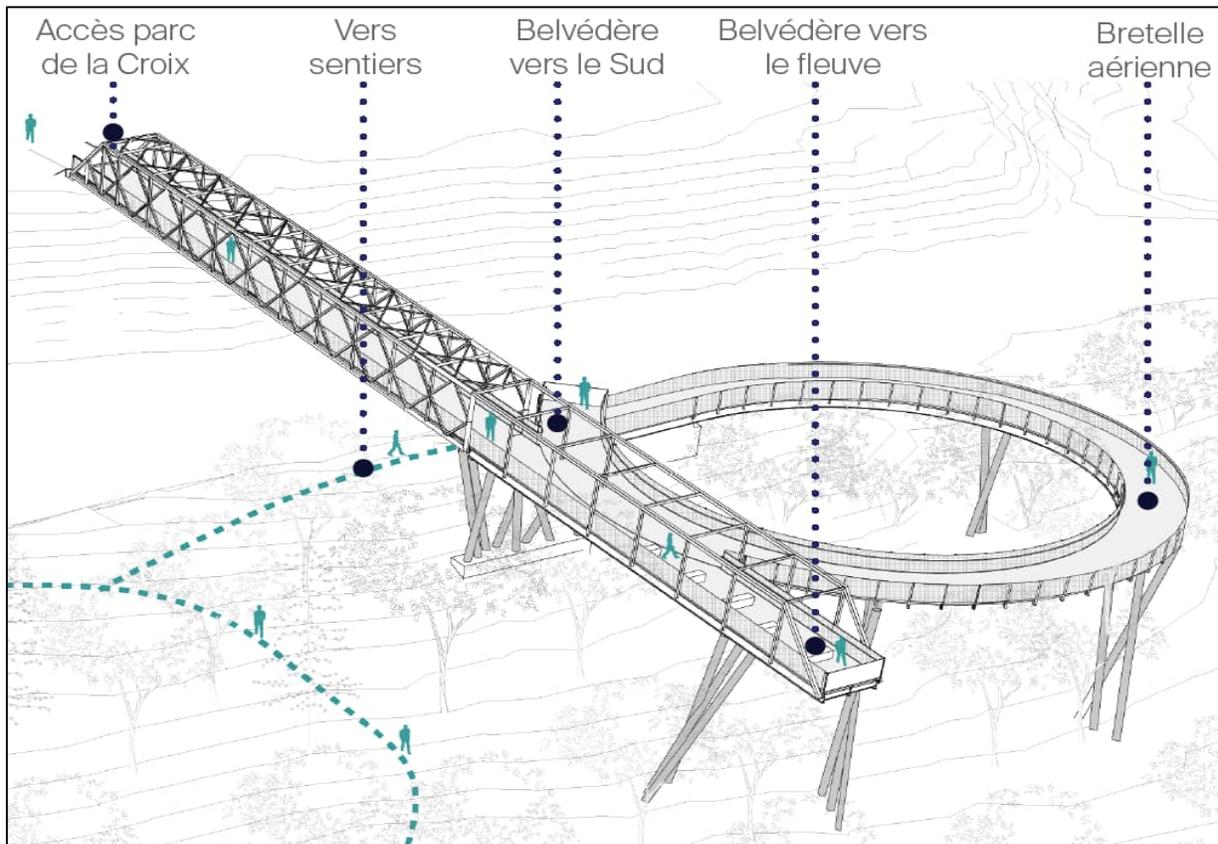
En juin 2021, la ville de Rivière-du-Loup a mandaté un bureau de génie-conseil pour réaliser la conception d'une passerelle reliant les parcs de la Croix et des Chutes en surplomb de la voie ferrée du CN (# de référence SEAO 1478160). Les plans et devis pour soumission ont été préparés pour une passerelle complexe en acier avec un segment droit et une portion courbe présentée à l'image suivante.

En mai 2022, ces documents ont été publiés dans l'appel d'offre pour le projet de construction (# de référence SEAO 1607026). Trois soumissions ont été reçues, mais le projet a été annulé en septembre 2022.

En octobre 2022, Alu-Québec a mandaté WSP pour reprendre la conception de la passerelle proposée en acier pour la ville de Rivière-du-Loup pour une alternative en version aluminium. Le présent mandat a donc deux objectifs principaux :

- 1) Démontrer qu'il est possible de réaliser des ouvrages d'art complexes en aluminium (et non pas seulement en acier).
- 2) Fournir du matériel de référence pour aider les ingénieurs en structure à concevoir des ouvrages d'art complexes en aluminium.

La lecture du présent document devrait être accompagnée de la consultation des plans de conception qui ont été produits pour la passerelle signature en aluminium.



1.2 Critères de conception

Annexe A01

Il est souhaité que la version aluminium soit au minimum équivalente à celle en acier pour assurer la crédibilité de cet exercice.

Les plans et devis de la version acier ont été étudiés en détail. Le document en annexe présente les critères géométriques et de conception pour la version acier et ceux correspondant proposés pour la version aluminium. Certaines différences sont proposées en lien avec la nature des différents matériaux. D'autres part, le système structural en aluminium diverge de celui en acier pour être avantageusement plus simple, résistant et constructible. Certains critères de conception sont établis dans la version aluminium pour rendre celle-ci versatile en vue d'autres applications.

Nous sommes d'avis que de façon globale, la version aluminium proposée est définitivement comparable et même supérieure d'un point de vue de sécurité, de fonctionnalité, d'esthétisme et de constructibilité.

1.3 Systèmes structuraux

La passerelle signature en aluminium proposée comporte deux systèmes structuraux principaux.

Un segment droit d'environ 80 mètres de longueur composé d'un treillis tridimensionnel permet de survoler la voie ferrée du CN. Contrairement aux treillis en aluminium à portées simples généralement rencontrés au Québec, celui-ci est constitué de trois travées continues. Les cordes principales résistent à la flexion verticale par des couples de forces de compression et de traction. Ces cordes sont stabilisées latéralement par des systèmes de contreventement verticaux et horizontaux. Les charges gravitaires sont transférées du platelage de bois transversal aux longerons puis aux entretoises qui sont reliées aux cordes inférieures.

Le segment courbe est constitué de trois poutres assemblées en aluminium avec un rayon de 17 mètres. D'un point de vue normatif, les poutres courbes en aluminium ne sont pas explicitement couvertes par les codes de conception principaux (CSA S6, AASHTO, Eurocode). Nous sommes d'avis que les exigences de CSA S6:19 | 10.13 pour les poutres courbes en acier sont adéquates pour l'aluminium si elles sont adaptées avec diligence. Les poutres en aluminium sont rigoureusement contreventées par des panneaux de CV verticaux très rapprochés en accord avec les exigences de CSA S6:19 | 10.13. L'analyse démontre que des contreventement horizontaux sont également requis. Les charges gravitaires sont transférées du platelage de bois transversal aux longerons puis aux entretoises qui sont reliées aux semelles supérieures des poutres.

Les segments droit et courbe sont conçus pour être entièrement préfabriqués et prémontés en usine. Des joints boulonnés assurent la continuité des segments lors de l'érection au chantier. Les dimensions de chaque segment préfabriqué sont maximisées pour limiter la quantité d'éléments à assembler au chantier tout en respectant les gabarits de transport terrestre.

Une zone de transition relie les deux segments de la passerelle. Celle-ci constitue un défi technique important du projet. Du côté du treillis, trois membrures de contreventement verticales sont retirées pour permettre le passage des usagers. Cette altération du treillis constitue donc une ouverture de type Vierendeel où les membrures périmétriques sont fortement sollicitées en flexion. La localisation de cette ouverture étant prêt d'un point d'inflexion, les efforts de compression et de traction des cordes sont faibles.

Deux rotules sphériques fixes dans les trois degrés de libertés en translation et libres dans les trois degrés de liberté en rotation transfèrent les efforts entre le segment droit et celui courbe. Cette approche a pour but de simplifier l'analyse structurale de chaque segment en contrôlant le transfert des efforts. Elle a également l'avantage de rendre l'érection au chantier plus intuitive tout en concrétisant les tolérances requises à spécifier pour l'entrepreneur.

Le pont incluant le segment droit, le segment courbe et la zone de transition est modélisé par éléments finis à l'aide du logiciel Advanced Design America.

1.4 Particularités techniques

Voici quelques défis techniques propres à ce projet :

- Tangence de la pente longitudinale dans la zone de transition.
- Transportabilité des segments préfabriqués.
- Analyse de la résistance des planches de bois en fonction du véhicule d'entretien.
- Ouverture Vierendeel dans le treillis.
- Joints boulonnés des cordes dans le treillis.
- Géométrie des deux points de transfert dans la zone de transition.
- Stabilité latérale des poutres courbes en aluminium.
- Vérification de la nécessité des contreventements horizontaux dans le segment courbe
- Système de longerons préfabriqués dans la portion courbe.
- Détermination du guidage des appareils d'appui vs point fixe thermique et séisme.

1.5 Limites du mandat

Les aspects suivants sont exclus du présent mandat.

- La conception des fondations
- La conception des appareils d'appui
- L'analyse sismique
- L'analyse de la vibration induite par les piétons

Le mandat se concentre sur la conception de la superstructure. Il est assumé que des culées et piliers en béton armé seraient prêts à accueillir les charges provenant des ancrages et appareils d'appui sous la superstructure. Des réactions rigides sont donc prévues dans le modèle d'éléments finis. Ces simplifications visent donc à concentrer les efforts de conception aux éléments en aluminium. Elles n'excluent en rien la possibilité de compléter la conception dans un mandat subséquent pour en arriver à un niveau de plans et devis.

1.6 Étapes de conception

Concevoir une telle passerelle signature nécessite une approche organisée et réfléchie. Voici les grandes étapes qui sont préconisées par l'équipe de conception.

1) Conception préliminaire. Cette phase a pour but de fixer la géométrie principale de l'ouvrage et s'assurer que le concept structural est réaliste. Cette première phase est cruciale pour la réussite du projet de conception.

- Compréhension du système structural proposé dans sa version acier.
- Plan d'ensemble général pour la passerelle signature en aluminium.
- Conception préliminaire du segment droit. Cette étape a pour but de valider les dimensions principales du treillis et valider l'ordre de grandeur des efforts dans les divers éléments. On se réfère à des projets précédents ou des notes de calculs existantes.
- Revue de littérature pour le segment courbe. Conception préliminaire de la courbe. À cette étape, on valide que le logiciel d'ÉF permet de modéliser adéquatement les poutres courbes. Validation préliminaire des dimensions des poutres en fonction du rayon de courbure, des charges et des options de contreventements.
- Validation de l'ouverture Vierendeel.

- Elaboration détaillée des plans d'ensemble de chaque segment.
- Élaboration détaillée du plan d'ensemble de la zone de transition.

2) Modélisation par éléments finis et chargements. Dans cette seconde phase, la géométrie est gelée et on établit un modèle d'ÉF qui servira de référence pour le reste du projet. On fait l'hypothèse que la géométrie et les sections préliminaires sont adéquates. Les charges et combinaisons sont intégrées au modèle. Une validation rigoureuse du comportement et des résultats du modèle sont effectuées.

3) Conception détaillée des éléments. Dans cette phase, la résistance de chaque éléments est comparée aux efforts obtenus dans la modèle d'ÉF. Une revue des normes en vigueur est effectuée. Les plans de détail de chaque éléments sont élaborés. On obtient ici des ratios demande/capacité pour chaque éléments.

4) Optimisation. Les éléments sous-dimensionnés ou surdimensionnés sont ajustés. Le modèle d'ÉF ainsi que les charges sont mises à jour conséquemment. Les étapes 3 et 4 sont répétées jusqu'à satisfaction.

1.7 Objectif de conception en lien avec les niveaux de sollicitation

Toute sollicitation (ratio Demande/Capacité) $\leq 1,00$ est acceptable d'un point de vue normatif

On établit ici des objectifs de sollicitation à viser pendant la conception pour se prémunir de :

- Dégradation avec le temps des matériaux
- Imprécisions de calculs (force, résistance)
- Inexactitude des codes et normes
- Risque (coût d'optimisation des matériaux vs sécurité obtenue)
- Caractère innovateur du projet
- Dégradation éventuelle vs évaluation de capacité portante à venir

	ÉLUT	ÉLF	ÉLUL
Tablier de bois			0.90
Longerons			0.85
Entretoises			0.80
Contreventements			0.80
Cordes du treillis	0.90	0.95	0.75
Poutres courbes	0.90	0.95	0.75
Ouverture Vierendeel			0.60
Zone de transition			0.60

2 CONCEPTION PARAMÉTRIQUE

La conception paramétrique est une tendance qui gagne en popularité pour la conception de structures. Un effort sommaire est effectué dans cette direction pour ce projet. Une première étape consiste à regrouper les différents paramètres géométriques et de matériaux du projet en début de cette note de calculs. Ces informations sont considérées comme les données maîtres.

Par la suite, les divers outils, logiciels, calculs et estimations du projet feront référence à ces données maîtres. Le niveau de raffinement sur ce point dépend des bénéfices envisageables découlant de l'automatisation. Pour le présent mandat, on se limitera à identifier en vert dans la NDC les cellules faisant référence aux données maîtres.

2.1 Segment droit

2.1.1 Général

Longueur du pont axe R1 à axe R5	79000 mm
Portée de la travée principale	46800 mm
c/c cordes vertical	3600 mm
c/c cordes transversal	3900 mm
Largeur carrossable	3400 mm
Largeur des panneaux de CV verticaux	3900 mm

2.1.2 Sections du treillis

Corde principales : profondeur	254 mm
Corde principales : épaisseur	12.7 mm
Diagonales : profondeur	203 mm
Diagonales : épaisseur	12.7 mm
CV : profondeur	203 mm
CV : épaisseur	6.4 mm
Entretoises : profondeur	254 mm
Entretoises : épaisseur	12.7 mm
Verticales joints : profondeur	152 mm
Verticales joints : épaisseur	6.4 mm
Entretoises joints : profondeur	254 mm
Entretoises joints : largeur	152 mm
Entretoises joints : épaisseur	12.7 mm

2.1.3 Longerons

Profondeur poutre	203 mm	d
Épaisseur aile supérieure	11.0 mm	ttf
Largeur aile supérieure	203 mm	btf
Épaisseur aile inférieure	11.0 mm	tbf
Largeur aile inférieure	203 mm	bbf
Épaisseur âme	7.3 mm	w
Longueur non-supportée	3900 mm	L
Espacement des longerons intérieurs	600 mm	



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	16 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>isp</i>

2.1.4 Planches de bois

Épaisseur des planches	89 mm
Longueur hors-tout incluant cornière	3550 mm
Espacement des planches	300 mm

2.1.5 Gabarit

Hauteur hors-tout	3854 mm
Largeur hors-tout	4154 mm
Gabarti vertical libre	3080 mm

2.2 Segment courbe

2.2.1 Général

Nombre de poutres	3 unités
Rayon poutre centrale (CL)	17000 mm
Rayon poutre extérieure	18600 mm
Rayon poutre intérieure	15400 mm
Espacement des poutres	1600 mm
Angle total du pont	315.0 deg
Angle de la travée principale	60.0 deg
Angle des contreventements	5.0 deg
Angle des entretoises	5.0 deg
Portée courbe au CL de la travée principale	17802 mm
Longueur du pont au CL	93462 mm

2.2.2 Poutres courbes

Profondeur poutre	1000 mm	d
Épaisseur aile supérieure	30 mm	ttf
Largeur aile supérieure	300 mm	btf
Épaisseur aile inférieure	30 mm	tbf
Largeur aile inférieure	300 mm	bbf
Épaisseur âme	12 mm	w
Espacement des entretoises au CL	1484 mm	L
Espacement des CV au CL	1484 mm	a
Dimension soudure d'angle	8 mm	



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	17 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>isp</i>

2.2.3 Diaphragmes

Profondeur poutre	750 mm	d
Épaisseur aile supérieure	15 mm	ttf
Largeur aile supérieure	200 mm	btf
Épaisseur aile inférieure	15 mm	tbf
Largeur aile inférieure	200 mm	bbf
Épaisseur âme	15 mm	w
Dimension soudure d'angle	8 mm	

2.2.4 Longérons et entretoises

Profondeur poutre	203 mm	d
Épaisseur aile supérieure	7.8 mm	ttf
Largeur aile supérieure	133 mm	btf
Épaisseur aile inférieure	7.8 mm	tbf
Largeur aile inférieure	133 mm	bbf
Épaisseur âme	5.8 mm	w
Longueur non-supportée	1623 mm	L
Espacement des longérons	600 mm	

2.2.5 Contreventements verticaux

Profondeur	102 mm
Épaisseur	9.5 mm

2.2.6 Contreventements horizontaux

Profondeur poutre	152 mm	d
Épaisseur aile supérieure	12.7 mm	ttf
Largeur aile supérieure	152 mm	btf
Épaisseur aile inférieure	12.7 mm	tbf
Largeur aile inférieure	152 mm	bbf
Épaisseur âme	9.5 mm	w
Longueur non-supportée	2134 mm	L

2.2.7 Planches de bois

Épaisseur des planches	89 mm
Longueur hors-tout incluant cornière	3550 mm
Angle tributaire d'une planche	1 deg
Espacement des planches côté intérieur	266 mm
Espacement des planches côté extérieur	328 mm

2.2.8 Gabarit

Hauteur hors-tout	2875 mm
Largeur hors-tout	3950 mm

3 MATÉRIAUX

Cette section décrit les propriétés des divers matériaux qui sont utilisés dans ce projet.
Ces propriétés font également partie de l'approche de conception paramétrique.

3.1 Aluminium

S6:19 | 17.4

Extrusions : Aluminium 6061-T6

S6:19 | tab. 17.2

Fu	260 MPa	S6:19 tab. 17.2
Fy	240 MPa	S6:19 tab. 17.2
Fwu	165 MPa	S6:19 tab. 17.2
Fwy	105 MPa	S6:19 tab. 17.2

Plaques : Aluminium 6061-T651

S6:19 | tab. 17.2

Fu	290 MPa	S6:19 tab. 17.2
Fy	240 MPa	S6:19 tab. 17.2
Fwu	165 MPa	S6:19 tab. 17.2
Fwy	105 MPa	S6:19 tab. 17.2

Métal d'apport 5356

S6:19 | tab. 17.4

Fwu	240 MPa	S6:19 tab. 17.4
Fwy	95 MPa	S6:19 tab. 17.4

Coef. dilatation therm.	α	2.40E-05 m/m/°C	S6:19 17.4.1
Densité	ρ	2700 kg/m ³	S6:19 17.4.1
Poids volumique	γ	27.0 kN/m ³	S6:19 tab. 3.4
Module élastique	E	70000 MPa	S6:19 17.4.1
Module de cisail.	G	26000 MPa	S6:19 17.4.1
Coef. de Poisson	ν	0.33 0.35	S6:19 17.4.1

3.2 Bois débité

S6:19 | 9.11

Poids volumique	γ	6.0 kN/m ³	S6:19 tab. 3.4 et Goodfellow 2023-03-22
Sapin de Douglas-Mélèze qualité SS : D.FIR-L(N)			S6:19 tab. 9.15
Bois non-plané			S7:23 9.5.3.4.3
Catégorie : Solives et madriers			O86-19 tab. 6.3

Propriétés de base

fb	16.5 MPa	S6:19 tab. 9.16
fv	1.9 MPa	S6:19 tab. 9.16
E50*	12500 MPa	S6:19 tab. 9.16
G	813 MPa	S6:19 9.7.4

On retient E50* pour l'analyse par éléments finis

Conditions d'utilisation humide sont considérées

Ksb	0.84	S6-16 tab. 9.2 et S6.1 C9.5.5
Ksv	0.96	S6-16 tab. 9.2 et S6.1 C9.5.5
Kse	0.94	S6-16 tab. 9.2 et S6.1 C9.5.5



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	19 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

Traitement de préservation avec incisions

Ktb	0.85	S6-16 tab. 9.6
Ktv	0.85	S6-16 tab. 9.6
Kte	0.95	S6-16 tab. 9.6

Propriétés effectives

fb	11.8 MPa
E50eff	11163 MPa
Geff	726 MPa

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	20 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>WSP</i>

4 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

4.1 Approvisionnement

La fabrication de cette passerelle est basée sur un approvisionnement en extrusions et plaques d'aluminium. Il est essentiel que le concepteur se familiarise avec le marché des matériaux de construction en aluminium pour bien orienter ses choix. Contrairement à l'acier, les profilés et les plaques de grandes dimensions en aluminium sont moins courants. La nature même du principe d'extrusion ouvre la porte vers des sections personnalisées, dont il faut comprendre les limites de faisabilité.

Les plans présentent des feuillets d'extrusions et de plaques qui sont destinés aux fournisseurs de matériaux en aluminium. Voici quelques recommandations en lien avec le contenu à prévoir pour ces feuillets.

- Feuillets bilingues en unités SI et impériales
- Cercles circonscrits pour les extrusions
- Propriétés géométriques sous forme de tableaux
- Tenter de proposer des extrusions du Handbook d'AluQc
- Utiliser des épaisseurs impériales pour les plaques

L'approvisionnement en plaques d'aluminium doit être validée en continu dans ce type de projet puisqu'il s'agit de commandes non-standard. Le mandat a toutefois permis de confirmer la faisabilité des plaques proposées. Voici des contacts potentiels pour aider les concepteurs dans l'approvisionnement en plaques d'aluminium.

Constellium	didier.albert@constellium.com
Magna Stainless	rlemelin@magnastainless.com
Thyssenkrupp	sarah.kettenbeil@thyssenkrupp-materials.com
Samuel	karl-olivier.leblanc@samuel.com

4.2 Préfabrication et transport

Au tout début du projet, nous nous sommes attardé sur la possibilité de préfabriquer les segments de la structure pour un assemblage rapide au chantier. Dans ce type de projet complexe, il est recommandé de prémonter l'ensemble de la structure en usine pendant que toutes les ressources sont à proximité.

Une entreprise spécialisée dans le transport hors-norme nous a fourni les gabarits et capacités en termes de masse de leurs différents équipements de levage. Les plans montrent un feuillet où on démontre que les segments droits et courbes sont compatibles avec les contraintes de transport.

Bellemare	mobescos@groupebellemare.com
-----------	------------------------------

4.3 Levage et accès

L'aluminium étant léger, il est envisagé de mettre à profit cette caractéristique en utilisant des grues pour déplacer les segments préfabriqués aux endroits désirés en conservant le maximum de forêt intacte.

Les unités de fondations sont prévues avec des ancrages au roc également pour limiter l'empiettement en conservant un maximum d'arbres matures.

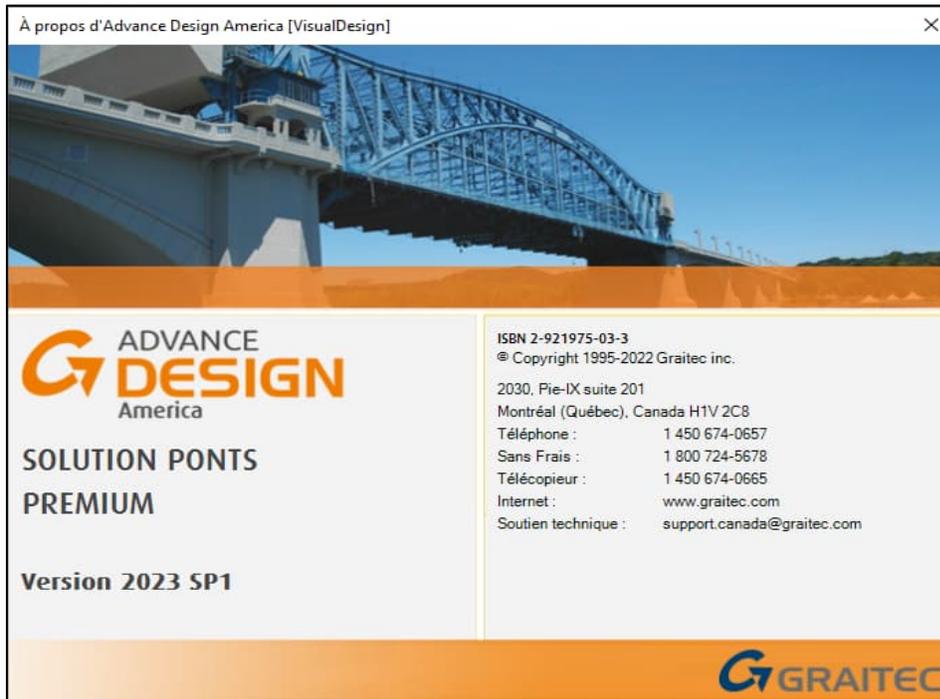
PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	21 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson 

5 MODÉLISATION PAR ÉLÉMENTS FINIS

En accord avec ces différents articles, une méthode d'analyse raffinée est retenue pour ce projet.

S6:19 | 5.9.1
MCS | 5.4

Cette section décrit les paramètres du modèle d'éléments finis (ÉF) utilisé pour ce projet. La modélisation est réalisée avec la version 2023 SP1 du logiciel Advanced Design America de Graitec.



5.1 Planification de la modélisation

Annexe A02

Une planification de la modélisation par éléments finis est effectuée avant de se lancer dans le logiciel. Cette planification est présentée en annexe. Elle permet de réfléchir à la géométrie du modèle et anticiper les intrants requis pour le logiciel. Ultiment, elle s'avère être un outil de vérification très efficace.

Des plans d'ensemble avancés sont requis pour que cette étape soit efficace.

5.2 Généralités du modèle d'éléments finis

Les propriétés de section brutes sont utilisées dans le modèle en accord avec ces articles.

S6:19 | 17.8.3.2.3
S6:19 | 17.8.4.3.3

Les membrures sont excentrées en vertical pour correspondre à leur empilement réel (ex : bois sur longerons sur entroises = 3 étages).

Tous les éléments sont continus entre eux à l'exception des conditions limites libérées décrites plus bas.

5.2.1 Matériaux

	E MPa	G MPa	Densité kN/m ³	α /°C	
RDL Alu	70000	26000	27.0	2.40E-05	S6:19 17.4
RDL Bois	11163	726	6.0	0.00E+00	S6:19 9.11

5.2.2 Hypothèses simplificatrices

On liste les simplifications considérées pour le modèle. Ces éléments pourraient être détaillés pour une conception en vue de livrer des documents pour soumissions.

Tel qu'expliqué précédemment, la modélisation est limitée à la superstructure.

Des réactions rigides guidées sont prévues au lieu de modéliser les appareils d'appui et les ancrages. Celles-ci sont localisées verticalement au centre des cordes et au bas de l'âme des poutres. Pour pivoter appui, vecteur d'orientation correspond à l'axe Z. (donc par défaut x,y,z = 0,0,1).

La pente longitudinale est négligée pour les deux segments. On suppose que les dimensions du treillis sont valides pour l'horizontale (exemple : longueur de 79000 mm entre R1 et R5).

L'excentricité des contreventements par rapport aux axes des panneaux du treillis est négligée. S6:19 | 17.17.1.1

Les diagonales et verticales n'ont pas une extension rigide entre la face libre et le point de travail de la corde.

Les cornières reliant les planches de bois ne sont pas modélisées. Celles-ci contribueraient au partage des charges de roues entre les planches de bois.

Le décalage vertical des CV de la courbe par rapport aux nœuds des plaques cause de la flexion selon l'axe fort des panneaux des CV. Ceci est dû au transfert de l'effort latéral entre les CV et les semelles des poutres. Pour palier à cet effet, il serait nécessaire de modéliser les raidisseurs verticaux des âmes permettant de répartir les efforts dans les panneaux de CV.

Dans la zone de transition, l'espacement des contreventements de la courbe est simplifié à 5 degrés au lieu de considérer l'espacement variable. La pièce de raccordement n'a donc pas la même position.

Le platelage (bois et longerons) dans cette zone n'est donc pas raffiné.

5.3 Modélisation détaillée

5.3.1 Description du segment droit

Annexe A02

Le segment droit est essentiellement représenté par des éléments de type poutre.

La planification de modélisation en annexe décrit les stratégies utilisées pour modéliser les joints boulonnés ainsi que l'empilement des membrures du platelage.

5.3.2 Description du segment courbe

Annexe A02

Le niveau de complexité de modélisation est plus important pour le segment courbe.

Le segment courbe est représenté par des éléments de type poutre pour les semelles qui sont reliés verticalement par des éléments plaques. Cette approche permet d'obtenir les contraintes de gauchissement dans les semelles. ADA permet de débiter par des éléments poutres et de les mailler pour obtenir les semelles et les âmes séparément.

La planification de modélisation en annexe décrit les stratégies utilisées pour modéliser les contreventements ainsi que l'empilement des membrures du platelage.

Le platelage est dessiné sur Autocad pour obtenir les intersections géométriques des entretoises, des longerons et des planches de bois. Le tout est importé sous format DXF dans ADA.

Pour les deux segments, il est choisis de modéliser le platelage composé de planches et bois et de longerons de façon détaillée. Cette approche génère un nombre important de membrures dans le modèle et allourdit l'analyse. Toutefois, c'est la seule façon d'obtenir avec précision les efforts dans ces éléments sous la charge vive du véhicule d'entretien. Il serait possible de limiter cette modélisation raffinée à seulement certaines portions du modèle globale.

5.3.3 Planches de bois

Certaines rigidités des planches de bois sont libérées pour tenir compte de la fixité réelle de ces éléments. Des valeurs plus basses nuiraient à l'analyse modale.

$A/A = 0.0001$ pour ne pas que le bois travaille axialement dans le modèle

$I_y/I_y = 0.0001$ pour ne pas que le bois résiste à la flexion dans le plan du platelage

$J/J = 0.01$ pour ne pas que le bois entre en torsion

Recommandations espacement grillage

MÉCPS | p. 5-28

S6:19 | 5.9.4.3

5.3.4 Longerons

Pour les longerons du segment droit, $A/A = 1.0$ car ceux-ci sont soudés. Les longerons participent donc à la rigidité. Ceci est en accord avec cet article. S7:23 | 8.6.1.2

Les longerons du segment droit sont rotulés en X et Y aux joints de longerons et extrémités du tablier mais demeurent tout de même continus axialement. S7:23 | 8.6.1.2c)

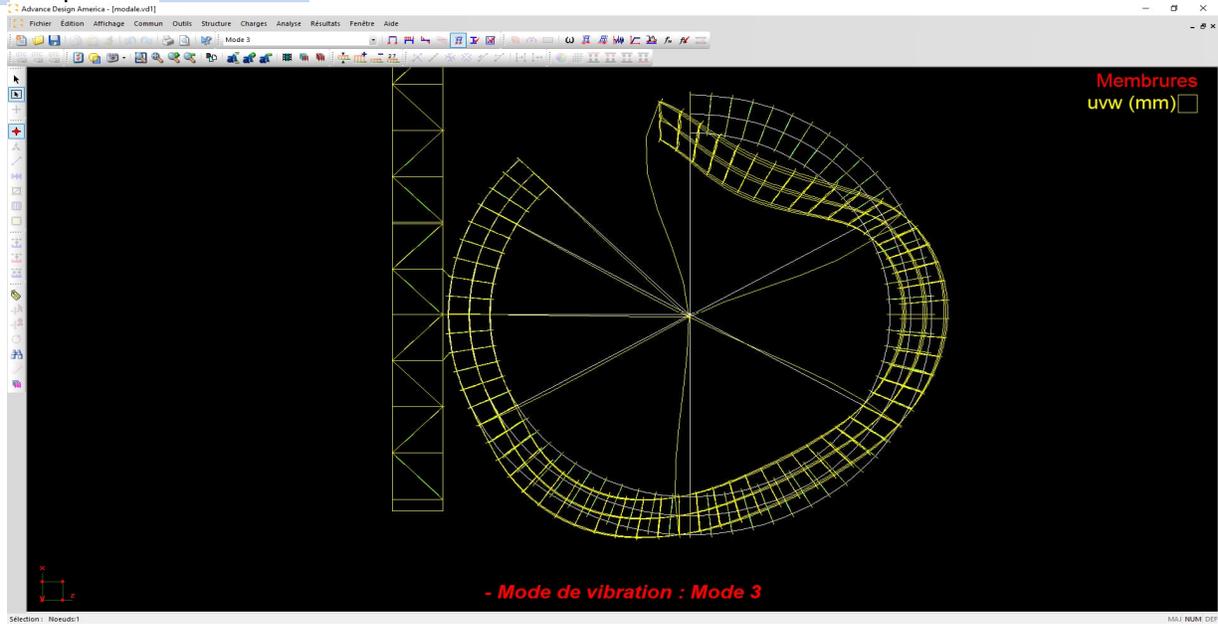
Pour les longerons de la courbe, $A/A = 0.01$ car ceux-ci sont boulonnés et on ne veut pas compter sur un effet mixte entre les poutres courbes et les longerons. La connexion n'est pas conçue comme anti-glissement. S7:23 | 8.6.1.2c)

Les longerons de la courbe sont rotulés en X et Y aux joints de longerons et aux extrémités du tablier.

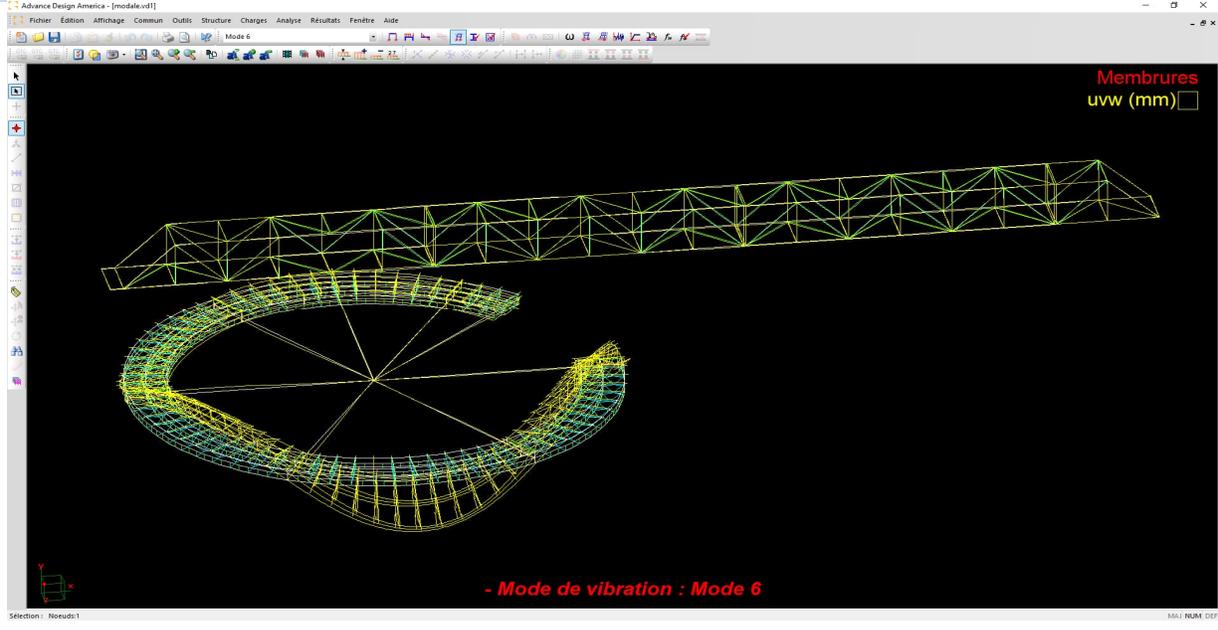
5.3.5 Entretoises

Les entretoises sont continues avec les poutres et avec le treillis car elles y sont soudées.

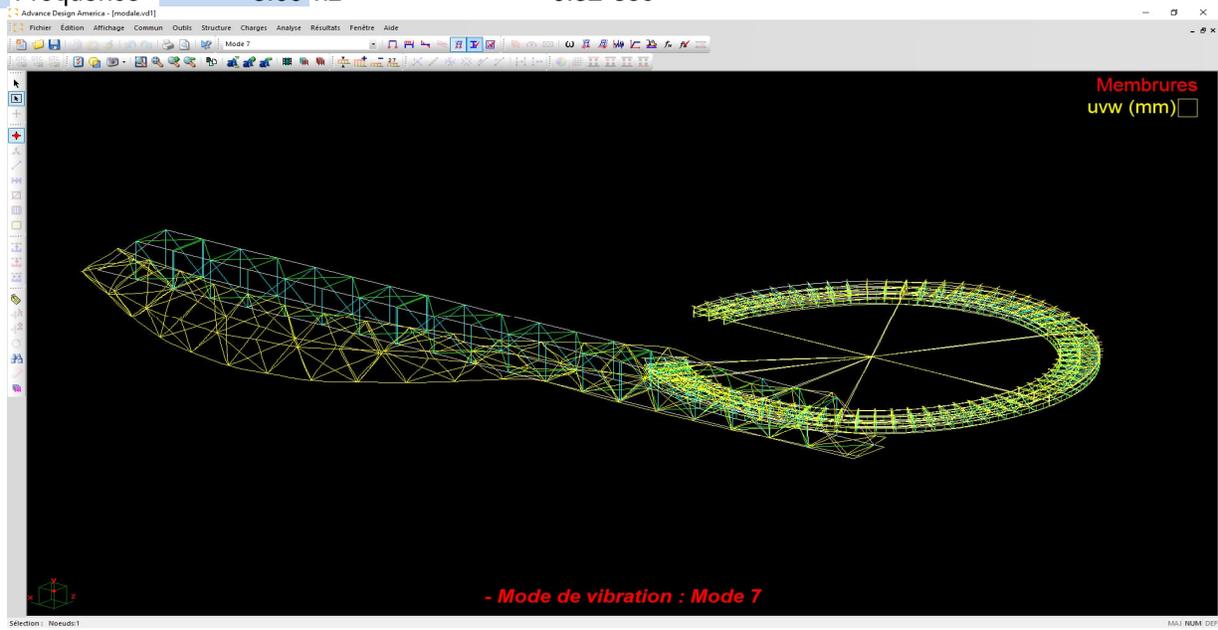
Mode 3 Latéral Segment courbe
 ADA v.29 Fréquence 2.04 hz 0.49 sec



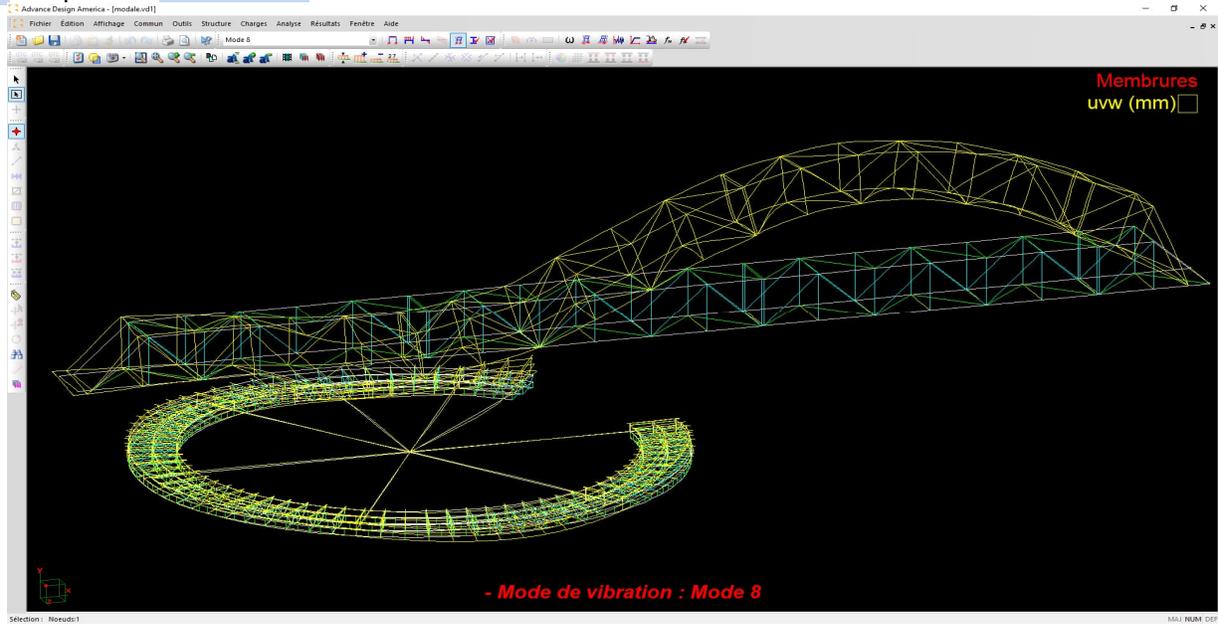
Mode 6 Vertical Segment courbe
 ADA v.29 Fréquence 2.79 hz 0.36 sec



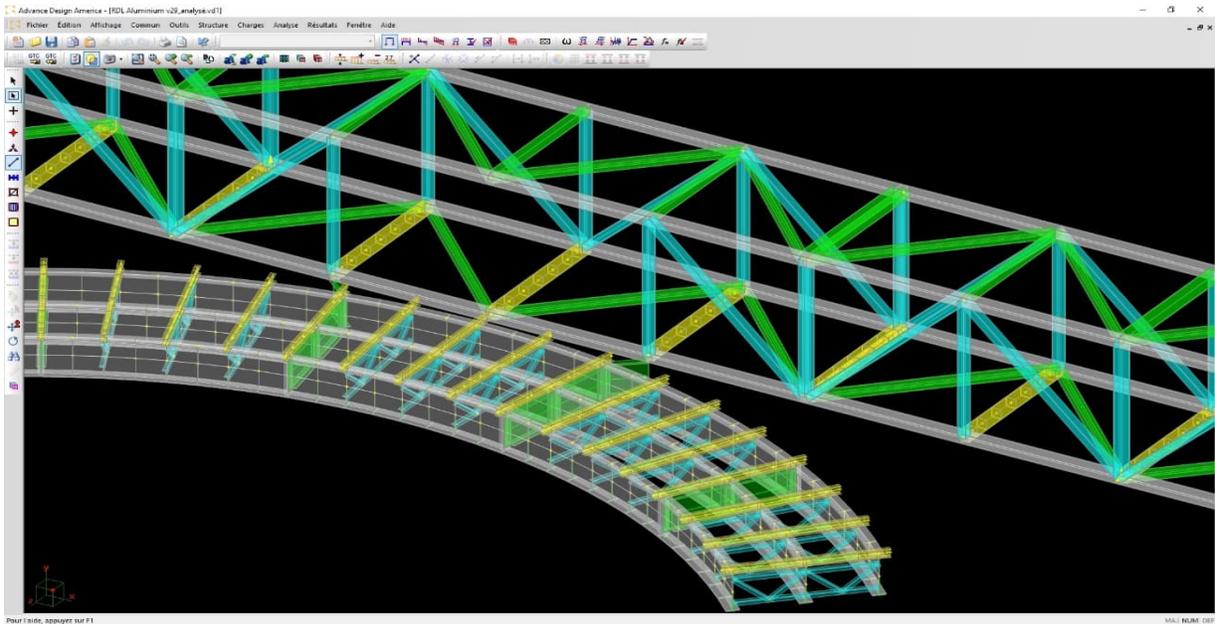
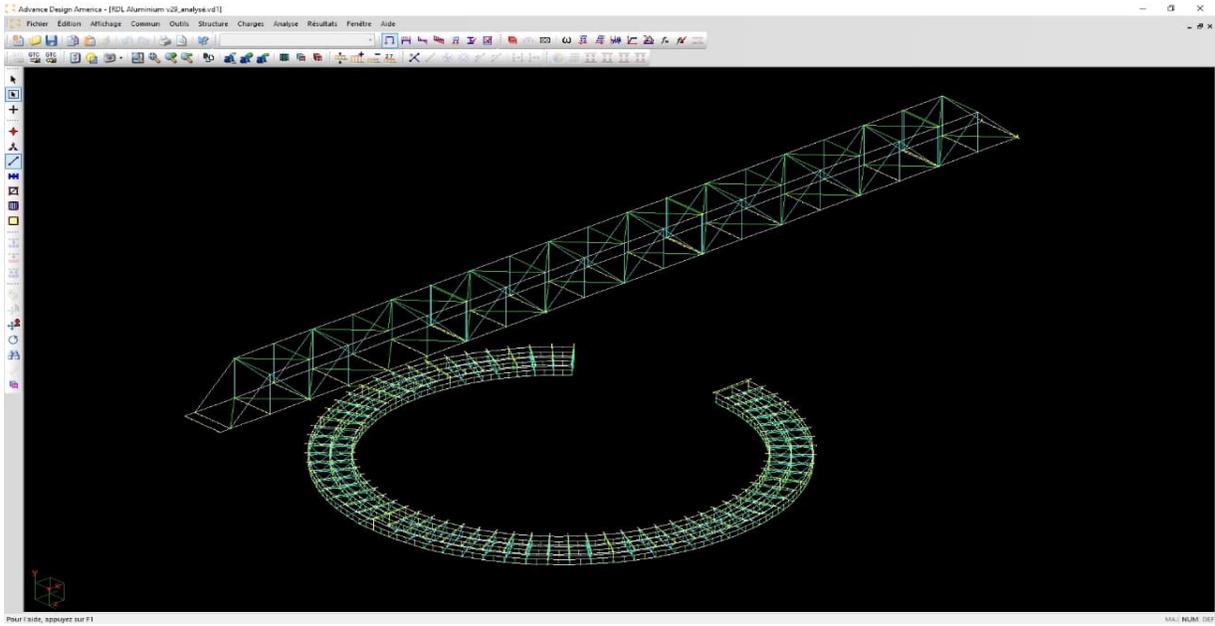
Mode 7 Latéral Segment droit
 ADA v.29 Fréquence 3.09 hz 0.32 sec

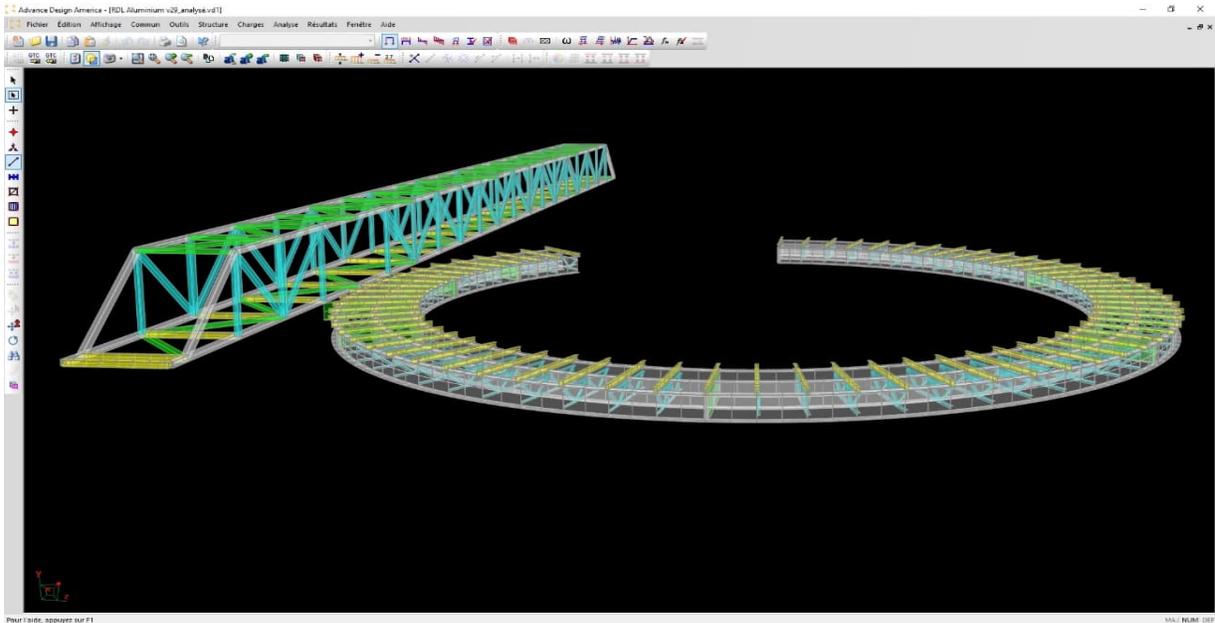
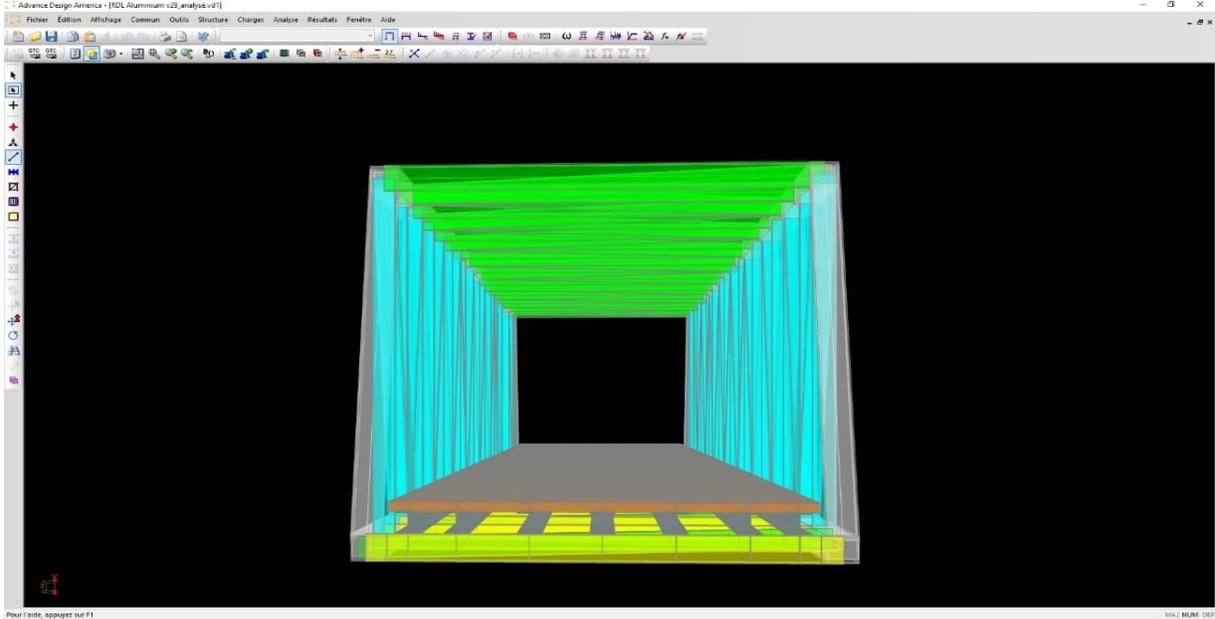


Mode 8 Vertical Segment droit
 ADA v.29 Fréquence 3.28 hz 0.30 sec

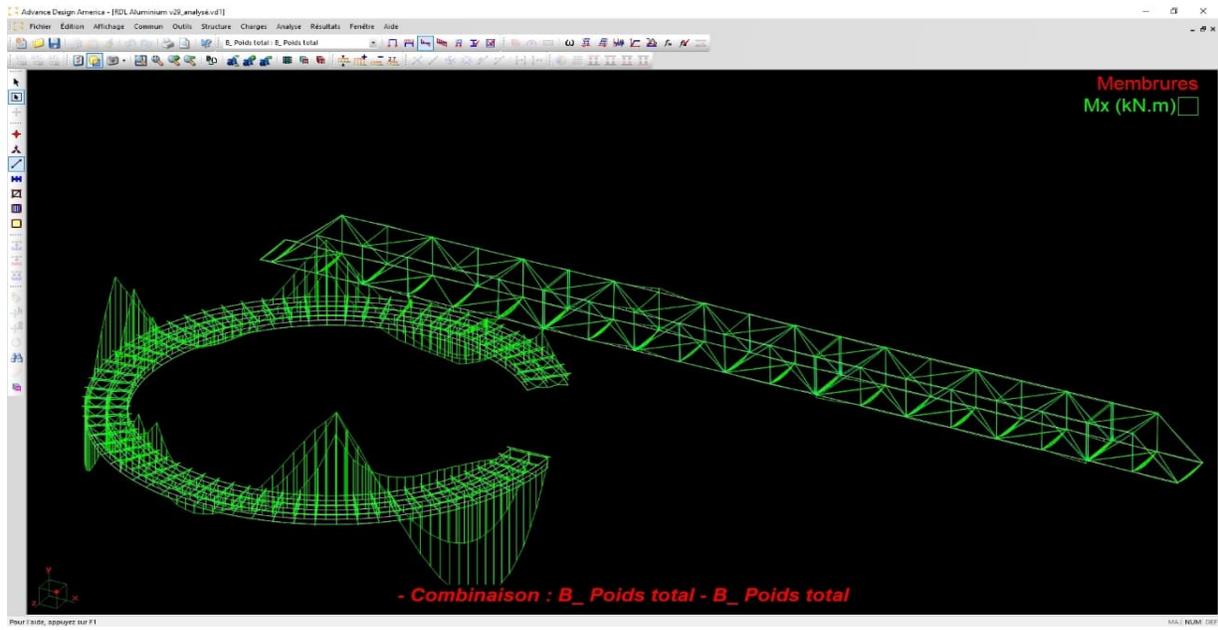
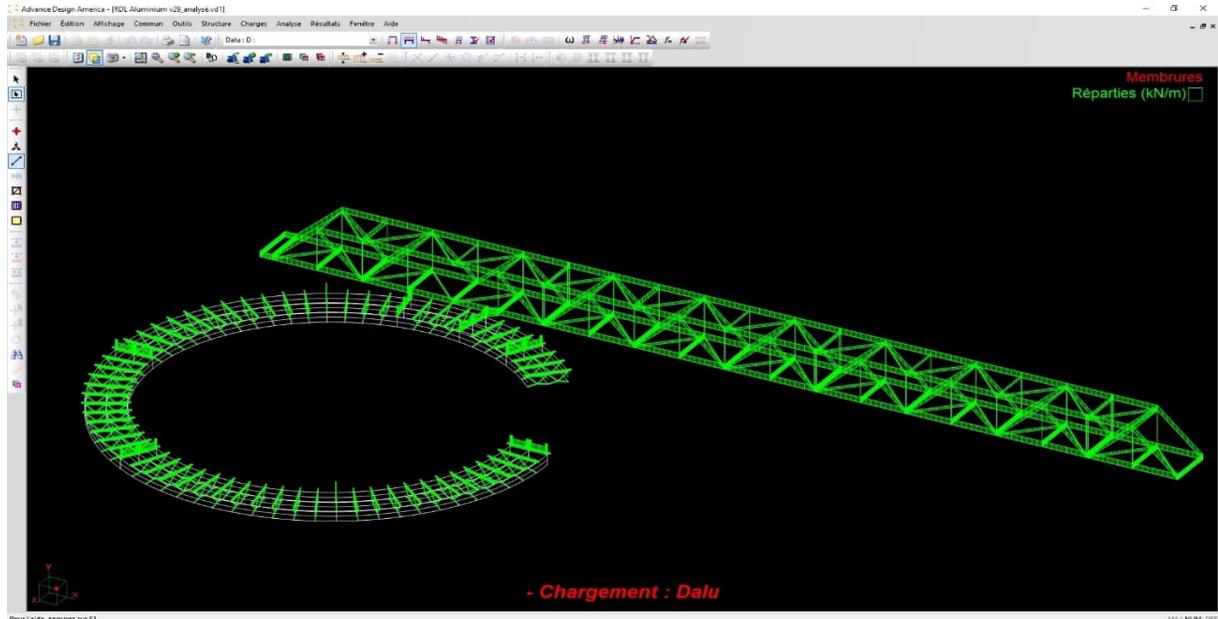


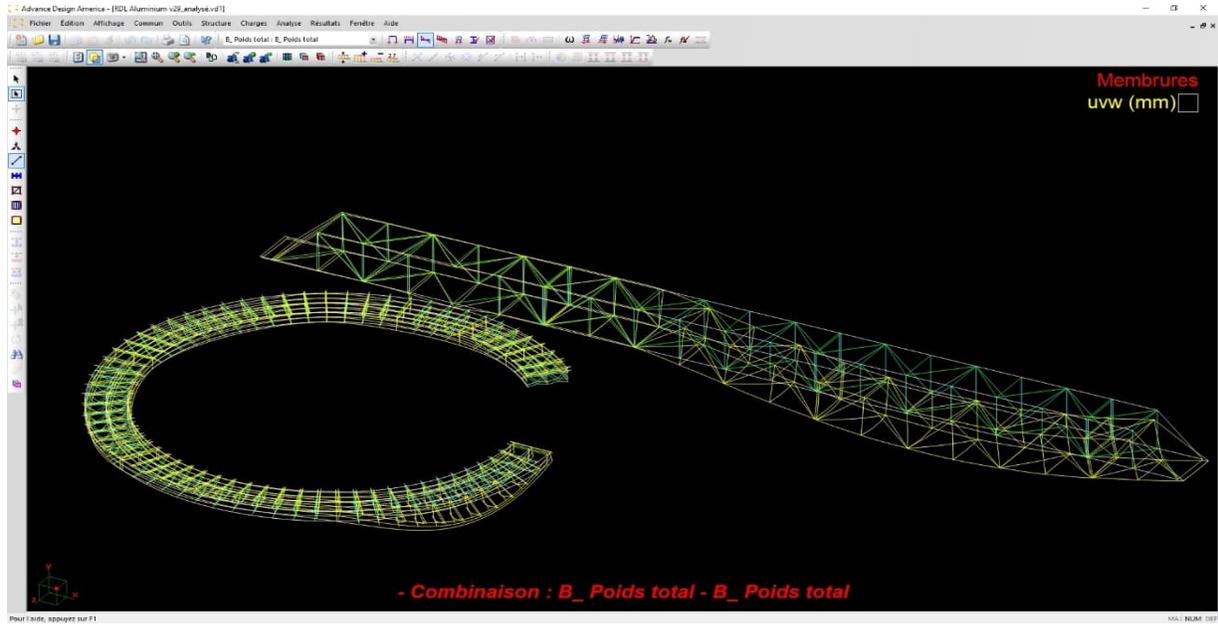
5.5 Captures d'écran du modèle (v.29)





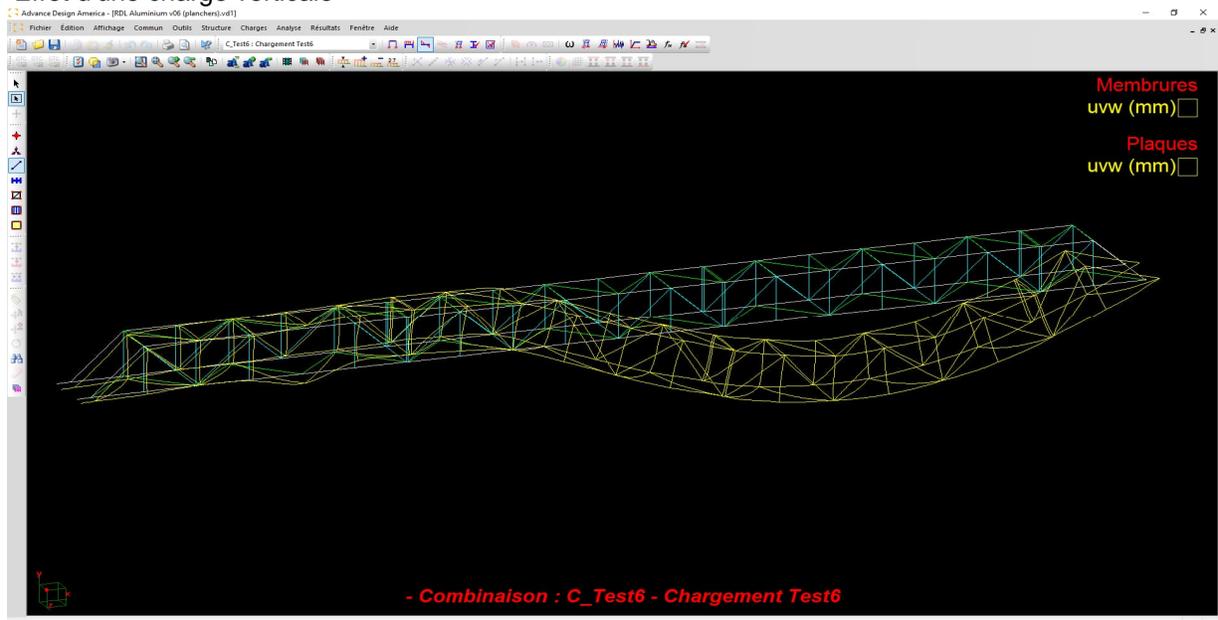
PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	29 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

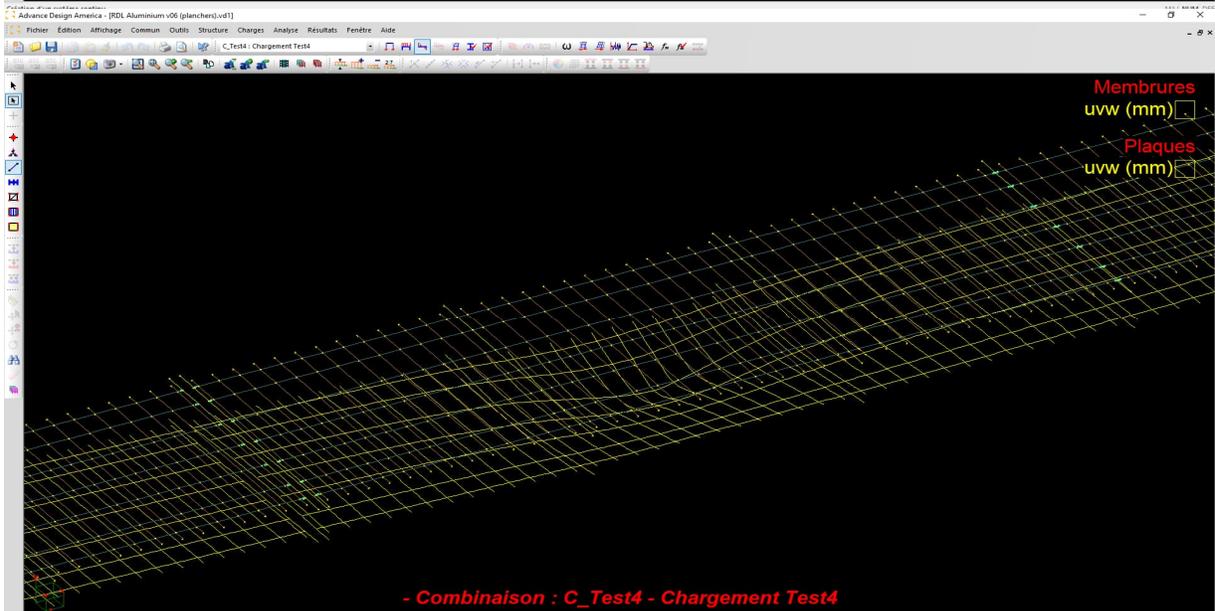
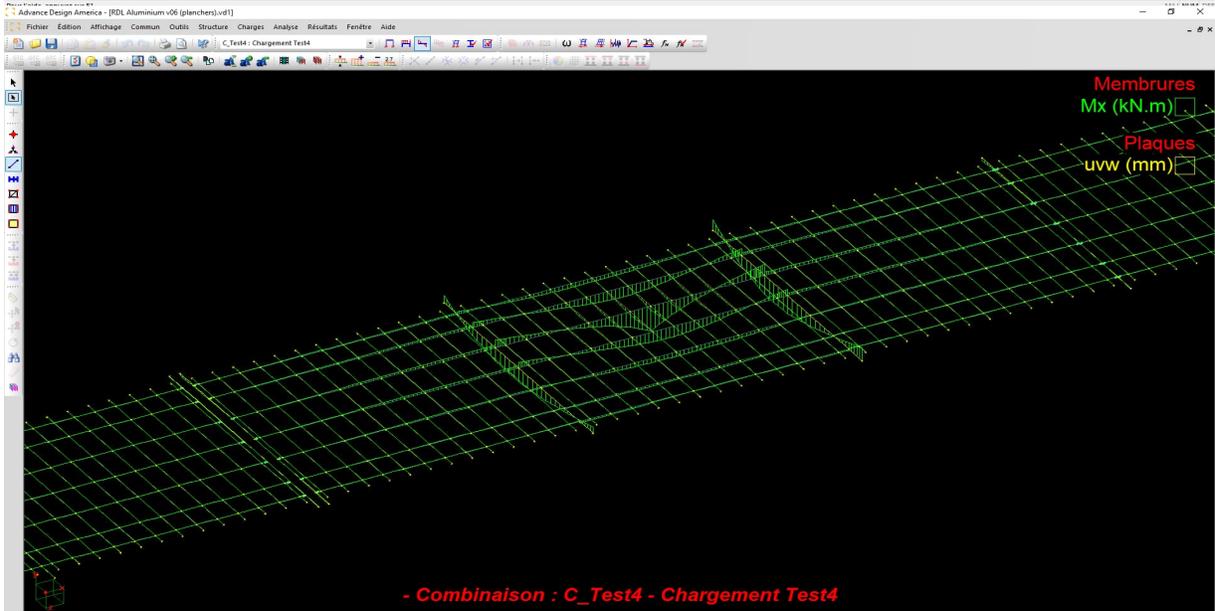
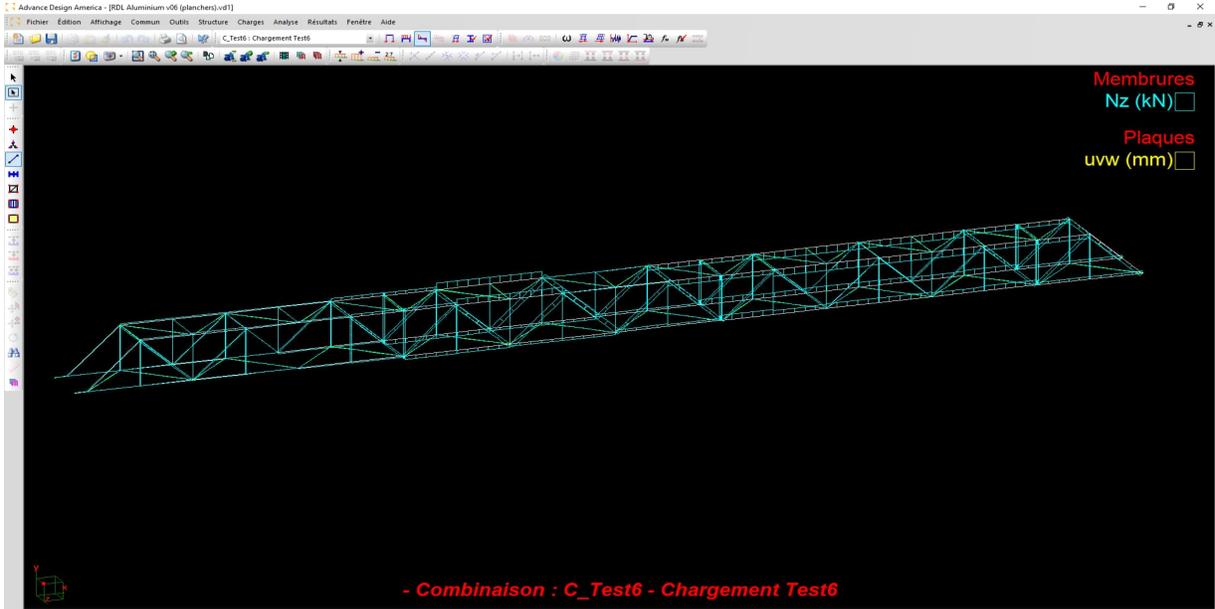




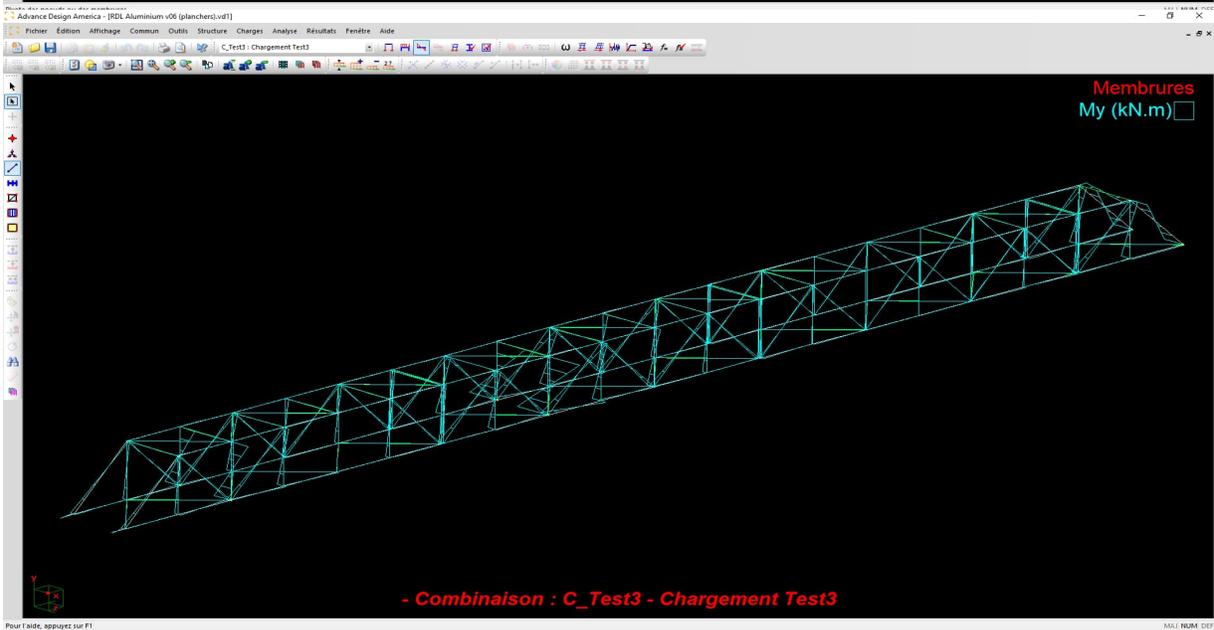
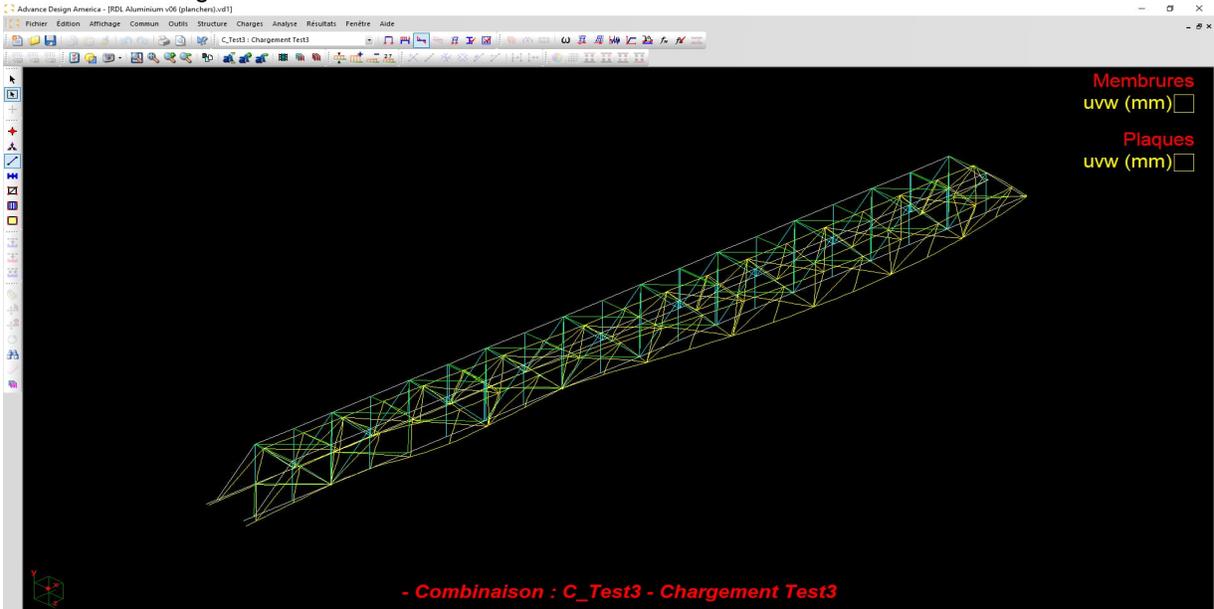
5.5.1 Validation générale

Effet d'une charge verticale





Effet d'une charge transversale



6 CHARGES

Les charges sont détaillées subséquemment dans l'ordre du chapitre 3 de la norme S6
 Pour les charges locales non-analysées par ADA (ex : charge sur glissières) voir sections pertinentes de la note de calculs.

6.1 Résumé des charges

		ΣF (kN)		% tablier	Notes pour combinaisons
Dalu	Charpente d'aluminium ADA	454	1264	72%	voir S6 3.5.2.1
Dalu corr	Correctif pour poids d'aluminium	168			
Dalu pout	Poutres courbes en aluminium	282			
Dbois	Platelage en bois	352		28%	
Dacier	Cornières en acier	7		1%	
Ld12	Surcharge piétonnière	127	1670		voir S7 6.5
Ld2t	Surcharge piétonnière	113			Pondération selon zones chargées
Ldt3	Surcharge piétonnière	225			
Ld34	Surcharge piétonnière	676			
Lc12	Surcharge piétonnière	64			
Lc2T	Surcharge piétonnière	129			
Lct3	Surcharge piétonnière	129			
Lc34	Surcharge piétonnière	257			
Lc45	Surcharge piétonnière	257			
Lc56	Surcharge piétonnière	257			
Lc67	Surcharge piétonnière	257			
Lhd	Force horizontale seg. droit	86			voir S7 6.15
Lhc	Force horizontale seg. courbe	99			
Lm01	ÉLUT1 et ÉLUL (enveloppe)	25	Scénarios		voir S7 6.7
Lm02	ÉLF et ÉLUT2 (enveloppe)	3	Scénarios		
Kdilpos	Dilatation thermique positive	-			
Kdilneg	Dilatation thermique négative	-			
Wh	Vent horizontal	2114			voir S6 3.10.2.1
Wvudn	Vent vertical vers le bas	1530			voir S6 3.10.2.3
Wv1/4dn	Vent vertical vers le bas	-			voir S7 6.13.2
A	Verglas	708			voir S6 A3.2.3
Sn	Neige	2859			voir annexe L vs Sn

6.2 Charge morte (D)

S6:19 | 3.6

Le poids propre de la structure a été calculé en détail

Voir annexe A03

ADA calcule le poids propre des éléments principaux. Cette fonctionnalité a comme avantage de positionner le poids propre sur les bons éléments avec précision. Dans une deuxième étape, on compare ce poids à celui de l'estimation. Des charges de correction sont ajoutées pour que le poids estimé soit le même que celui considéré dans l'analyse par éléments finis.

Charpente d'aluminium segment droit

Dans l'estimation, le poids a été calculé en détail 387 kN

ADA v.20

ADA donne un total qui s'approche du calcul théorique 334 kN

Correctif pour poids d'aluminium segment droit

Différence manquante 53 kN

Dans l'estimation, le poids des manchons a été calculé en détail 13 kN

Charges ponctuelles pour les manchons (12x) 1.08 kN

Différence manquante qui correspond essentiellement au garde-corps 40 kN

ADA v.20

On applique cette charge sur verticales et diagonales 355.80 m

Charge linéaire équivalente 0.112 kN/m

Charpente d'aluminium segment courbe (excluant poutres)

Dans l'estimation, le poids a été calculé en détail 235 kN

ADA v.20

ADA donne un total qui s'approche du calcul théorique 120 kN

Correctif pour poids d'aluminium segment courbe

Différence manquante 115 kN

Dans l'estimation, le poids des poteaux des g-c a été calculé en détail 20 kN

Charges ponctuelles pour les poteaux (125x) 0.16 kN

Dans l'estimation, le poids de la zone de transition a été calculé en détail 10 kN

ADA v.20

On applique cette charge sur les diaphragmes 1.66 m

Charge linéaire pour la zone de transition 5.86 kN/m

Différence manquante qui correspond essentiellement au garde-corps 86 kN

Charges ponctuelles pour les poteaux extérieur (61x) 47% 0.67 kN

Charges ponctuelles pour les poteaux intérieurs (64x) 53% 0.71 kN

Charpente d'aluminium poutres courbes

Pour ne pas charger la membrure fictive ni les semelles, on charge la plaque de l'âme

Dans l'estimation, le poids a été calculé en détail 282 kN

ADA v.20

On applique cette charge sur les plaques 263.54 m²

Charge surfacique 1.07 kPa

Platelage en bois

Selon S7, le poids volumique du Wood Design Manual doit être considéré. Nous retenons 6 kN/m³ suite à la confirmation reçue par GoodFellow.

S7:23 | 6.4

S6:19 | tab. 3.4



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	35 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

ADA v.20

Dans l'estimation, le poids a été calculé en détail 352 kN
 On applique cette charge sur les planchers 616.54 m²
 Charge surfacique 0.57 kPa

Cornières en acier sous le platelage

ADA v.20

Dans l'estimation, le poids a été calculé en détail 7 kN
 On applique cette charge sur les planchers 616.54 m²
 Charge surfacique 0.012 kPa

On termine cette section en calculant l'équivalent de poids surfacique que représente le poids propre de la structure pour fins de référence et de comparaison avec les autres types de chargements.

ADA v.20

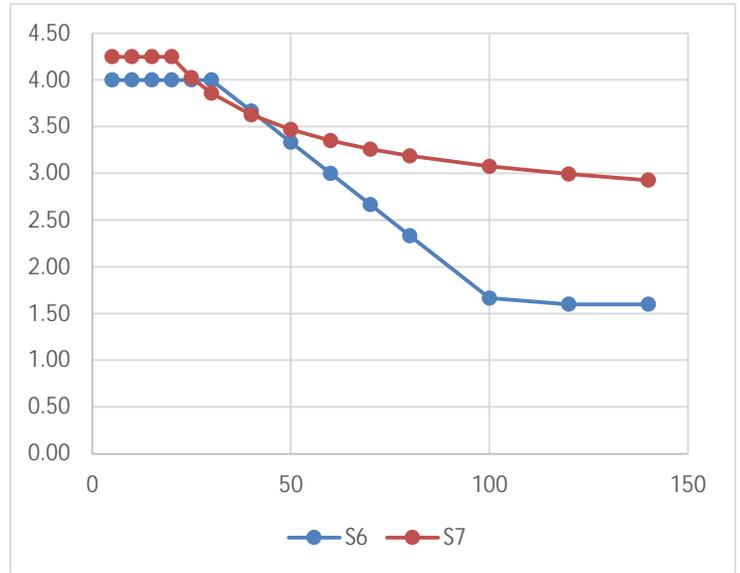
Poids propre total 1264 kN
 Surface de planchers 616.54 m²
 Charge surfacique équivalente 2.0 kPa

6.3 Surcharges (L) S6:19 | 3.8

6.3.1 *Surcharge due à la circulation piétonnière* S6:19 | 3.8.9
S7:23 | 6.5

$p = 1.6 \leq 5.0 - s/30 \leq 4.0$ S6:19 | 3.8.9
 $p = 4.25 (0.5 + \sqrt{s/5}) \leq 4.25$ kPa S7:23 | 6.5

s (m)	S6	S7
5	4.00	4.25
10	4.00	4.25
15	4.00	4.25
20	4.00	4.25
25	4.00	4.03
30	4.00	3.86
40	3.67	3.63
50	3.33	3.47
60	3.00	3.35
70	2.67	3.26
80	2.33	3.19
100	1.67	3.08
120	1.60	2.99
140	1.60	2.93



AASTHO demande 90 psf
 4,25 kPa = 89 psf
 4,25 kPa x 1,7 = 151 psf

GSDPB | 3.1



Figure C3.1-3—Live Load of 150 pnf

Réf : GSDPB | 3.1

Les exigences de S7 sont retenues.

De multiples situations de chargements sont possibles et doivent être étudiées.

Travées chargées partiellement longitudinalement (travées continues, effets locaux)

Travées chargées partiellement transversalement (renversement). Ce volet ne sera pas considéré dans le présent mandat.

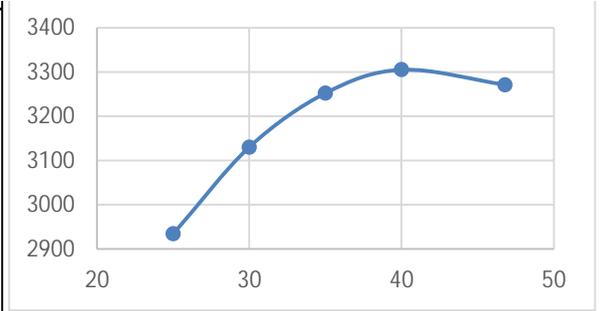
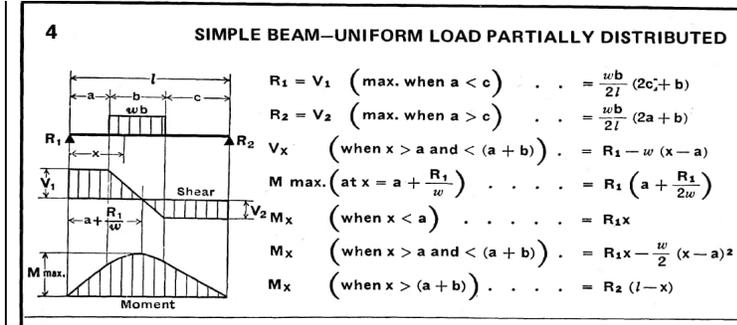
La stratégie retenue consiste à intégrer une charge surfacique uniforme par zone dans ADA et d'ajuster l'intensité en majorant le coefficient de pondération. Les différentes situations sont présentées en annexe.

Voir annexe A04

Charge surfacique souhaitée	4.25 kPa
Largeur carrossable	3400 mm
Largeur planchers ADA	3550 mm
Charge surfacique entrée dans ADA	4.07 kPa

Pour la travée principale du segment droit, on vérifie la longueur chargée qui cause le moment maximal en supposant une portée simple. En chargeant 40 m, on obtient le moment maximal. Comme le résultat est seulement quelques % plus élevé que pour la travée chargée complètement, on néglige ce scénario.

L	Portée	46.8 m	S7:23 6.5			
L	Largeur carrossable	3.4 m	HBSC 5-147			
s	Longueur chargée	25	30	35	40	46.8 m
k	Pression	4.0	3.9	3.7	3.6	3.5 kPa
w	Charge linéaire	13.7	13.1	12.7	12.3	11.9 kN/m
R1	Réaction	171	197	222	247	280 kN
M	Moment au centre	2934	3130	3253	3305	3271 kN-m



Réf : HBSC | 5-147

6.3.2 *Surcharge due aux véhicules d'entretien*

S6:19 | 3.8.11

S7:23 | 6.7

ÉLUT et ÉLUL, ne pas combiner aux piétons

Pas de CMD requis

Poids véhicule d'entretien 80 kN

c/c roue transversal 1.6 m

Gabarit transversal 2.2 m

Distance entre les essieux 2.0 m

Les charges de roue ont un impact important sur la conception des planches de bois et des longerons. Celles-ci sont discrétisées transversalement pour répartir la charge. Il est assumé que la pression est uniforme respectivement sous chaque roue. Chaque roue est représentée par 5 charges ponctuelles. Aucune discrétisation longitudinale n'est requise car la dimension de la roue est < la largeur des planches de bois. La roue embarque donc complètement sur une planche.

La roue P2 est celle dont le chargement est le plus intense. La roue P1 ne contrôle donc pas.

ADA exige que chaque essieu ait le même nombre de charge ponctuelle.

ADA exige que la distance entre les charges ponctuelles soit la même à chaque essieu.

Il n'est donc pas possible la configuration dans la colonne "souhaité".

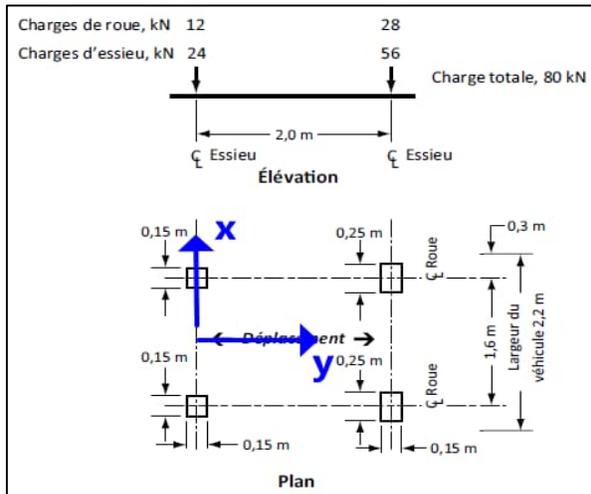
On répartit donc P1 sur plus large, mais comme cette roue ne contrôle pas, c'est acceptable.

Empreinte de roue

P1	12 kN
Transversal	150 mm
	80 kN/m
P2	28 kN
Transversal	250 mm
	112 kN/m

Charge mobile ADA

Charges	Coord. X	Coord. Y	% Poids	% Poids
	Transversal	Longitudinal	Souhaité	imitation ADA
1	0.700	0.000	0.00	0.03
2	0.750	0.000	0.05	0.03
3	0.800	0.000	0.05	0.03
4	0.850	0.000	0.05	0.03
5	0.900	0.000	0.00	0.03
6	-0.700	0.000	0.00	0.03
7	-0.750	0.000	0.05	0.03
8	-0.800	0.000	0.05	0.03
9	-0.850	0.000	0.05	0.03
10	-0.900	0.000	0.00	0.03
11	0.700	2.000	0.07	0.07
12	0.750	2.000	0.07	0.07
13	0.800	2.000	0.07	0.07
14	0.850	2.000	0.07	0.07
15	0.900	2.000	0.07	0.07
16	-0.700	2.000	0.07	0.07
17	-0.750	2.000	0.07	0.07
18	-0.800	2.000	0.07	0.07
19	-0.850	2.000	0.07	0.07
20	-0.900	2.000	0.07	0.07



Réf : S6:19 | 3.8.11

Scénarios de charge mobile ADA

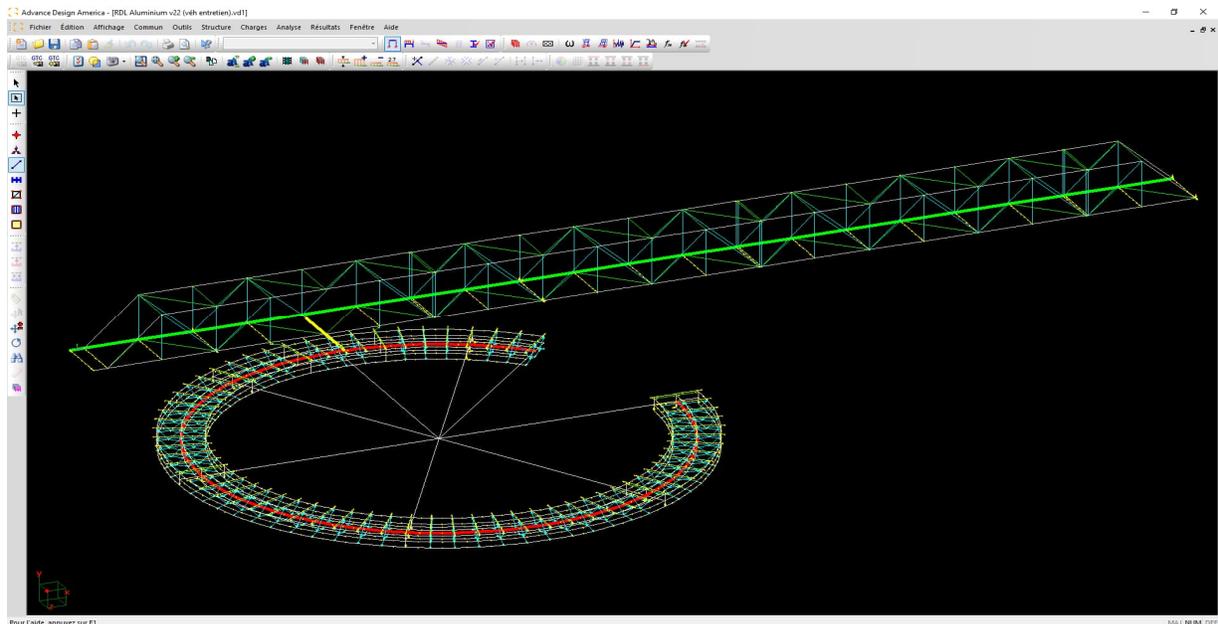
On définit les 3 axes mobiles suivants :

Axe 1 (vert) : Segment droit : Corde inférieure Nord

Axe 2 (rouge) : Segment courbe : Poutre centrale

Axe 3 (jaune) : Zone de transition : Entretoises (droit et courbe) alignés avec l'axe T

On limite l'axe 3 jusqu'à l'avant-dernier longeron de chaque segment pour que les charges soient appliquées réalistement sans sursolliciter les PAF du platelage en bois.



	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Largeur carrossable	3.400	3.400	7.301
Position de l'axe mobile si non-centré	1.950		
Position gauche dans la voie	-2.550	0.600	2.551
Position centre dans la voie	0.000	0.000	0.000
Position droite dans la voie	-1.350	-0.600	-2.551
Nombre de scénarios transversaux	7	7	11

Scénarios	Enveloppe	Circulation	RL			
1	LM01	>>	1.0	-2.550		
2	LM01	>>	1.0	-2.350		
3	LM01	>>	1.0	-2.150		
4	LM01	>>	1.0	-1.950		
5	LM01	>>	1.0	-1.750		
6	LM01	>>	1.0	-1.550		
7	LM01	>>	1.0	-1.350		
8	LM01	>>	1.0		0.600	
9	LM01	>>	1.0		0.400	
10	LM01	>>	1.0		0.200	
11	LM01	>>	1.0		0.000	
12	LM01	>>	1.0		-0.200	
13	LM01	>>	1.0		-0.400	
14	LM01	>>	1.0		-0.600	
15	LM01	>> et <<	1.0			2.551
16	LM01	>> et <<	1.0			2.040
17	LM01	>> et <<	1.0			1.530
18	LM01	>> et <<	1.0			1.020
19	LM01	>> et <<	1.0			0.510
20	LM01	>> et <<	1.0			0.000
21	LM01	>> et <<	1.0			-0.510
22	LM01	>> et <<	1.0			-1.020
23	LM01	>> et <<	1.0			-1.530
24	LM01	>> et <<	1.0			-2.040
25	LM01	>> et <<	1.0			-2.551
26	LM02	>>	1.0	0.000		
27	LM02	>>	1.0		0.000	
28	LM02	>> et <<	1.0			0.000

LM01 : ÉLUT1 et ÉLUL S6:19 | 3.8.4.1 d)

Partout transversalement

LM02 : ÉLF et ÉLUT2 S6:19 | 3.8.4.1 c)

Au centre de la largeur carrossable

L'espacement des planches de bois est de 300 mm. Il est important que le pas du camion ne soit pas un multiple de 300 pour maximiser les efforts dans le bois. Comme pour H&W on choisit un minimum de 25 mm de décalage.

6.4 Déformations imposées (K) S6:19 | 3.9

6.4.1 *Dilatation thermique* S6:19 | 3.9
MCS | 11.1.3

Type d'ossature	A	S6:19 3.9.3
Température moyenne quotidienne maximale	28	S6:19 fig. A3.1.1
Température moyenne quotidienne minimale	-32	S6:19 fig. A3.1.2
Delta max	25	S6:19 tab. 3.8
Delta min	-15	S6:19 tab. 3.8
Température effective maximale	53	S6:19 tab. 3.8
Température effective minimale	-47	S6:19 tab. 3.8

Segment	Droit	Courbe	
Hauteur ossature (environ)	3854	1406	mm
Réduction temp. eff. max	-7	-4	S6:19 fig. 3.5
Augmentation temp. eff. min	10	6	S6:19 fig. 3.5
Température effective maximale corrigée	46	49	S6:19 3.9.4.1
Température effective minimale corrigée	-37	-41	S6:19 3.9.4.1
On retient dilatation max(S6;MCS)			MCS 11.1.3
Température effective travaux	15	15	S6:19 3.9.4.2
Delta température positif Kdil+	31	34	S6:19 3.9.4.2 et MCS 11.1.3
Delta température négatif Kdil-	-52	-56	S6:19 3.9.4.2 et MCS 11.1.3
Delta	83	90	

On applique ces dilatations à :

Toutes les membrures en aluminium

Pour les poutres courbes, on charge les semelles et les plaques d'âme

On ne charge pas la membrure fictive pour la poutre courbe

Le bois a A/A très faible donc ne devrait pas être engagé par les mouvements de l'aluminium.

6.5 Charges dues au vent (W) S6:19 | 3.10

La passerelle n'est pas considérée comme sensible au vent	S7:23 6.10
Pas de câbles	S7:23 A.6.10
Pas de travée > 50 m	S6:19 3.10.4
Élancement des travée < 30	S6:19 3.10.5

Pression de référence 1/50 ans		S6:19 3.10.1.2
q (Rivière-du-Loup)	585 Pa	S6:19 tab. A3.1.1
Cg	2.5	S6:19 3.10.1.3
Ce	1.5	S6:19 3.10.1.4 et tab. 3.9
H	60 m	Google Earth

La détermination de Ce est très importante pour ce pont. Le terrain est très inégal.

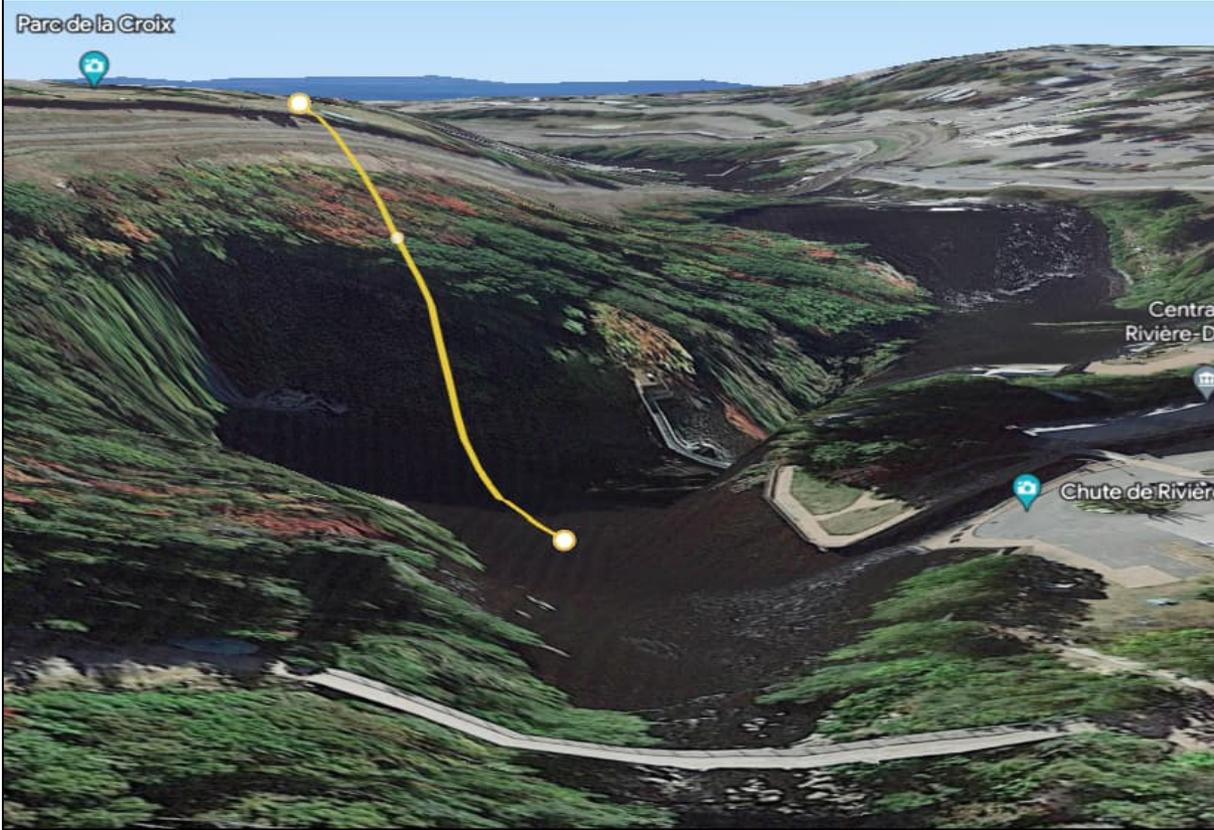
On retient le niveau au pied de la chute comme niveau inférieur (près de la centrale hydroélectrique)

Selon Google Earth, il y a environ 50 m de dénivelée entre le pied de la chute et le parc de la Croix

On ajoute 10 m pour le dessus du treillis et une certaine marge de sécurité.

3.10.1.4 Coefficient d'exposition au vent
 Le coefficient d'exposition au vent C_e ne doit pas être inférieur à 1,0 et doit être tiré du tableau 3.9 ou calculé avec la formule $(0,10H)^{0,2}$, où H est la hauteur du sommet de la superstructure par rapport au sol. Dans le cas des lampadaires, des structures de signalisation, des structures qui supportent des feux de circulation et des dispositifs de retenue, H doit correspondre au sommet du support ou de la structure considérée. La hauteur au-dessus du sol doit être mesurée à partir du pied de la falaise, de la colline ou de l'escarpement lorsque la structure est située sur un terrain inégal ou à partir du niveau des basses eaux dans le cas de structures au-dessus de l'eau.

Réf : S6:19 | 3.10.1.4



Réf : Google Earth

Chargement non uniformes négligés S6:19 | 3.10.1.5
 75% du vent sur une portion aura un effet restreint pour cette structure

6.5.1 Vent horizontal S6:19 | 3.10.2.2

Ch 2.0 CCDG | 15.7.1

Fh = q Ce Cg Ch 4.39 kPa

Aucune réduction pour le treillis sous le vent car tablier inf. S6:19 | 3.10.2.2

Dans le contexte de ce mandat, on étudiera une seule direction de vent, soit celle perpendiculaire à l'axe longitudinal du segment droit. Le vent soufflera vers le Sud.

On considère que le treillis ne masque pas le segment courbe.

Segment droit

Le garde-corps du projet de référence a 56% d'ouverture.
On considère seulement 15% d'ouverture dans un caillebotis pour un pont mobile.

Projet de référence
S6:19 | 13.6.4.6

On retiendra la moyenne entre ces deux réductions parce que le grillage est plus mince qu'un caillebotis.

Réduction pour treillis sous le vent

S6.1:19 | C3.10.2.2

Kx	0.73
X/h	1.01
As/A	0.24
X	3.900 m
h	3.854 m
As	3.616 m ²
A	15.031 m ²

S6.1:19 | tab. C3.6

S6.1:19 | tab. C3.6

S6.1:19 | tab. C3.6

Autocad

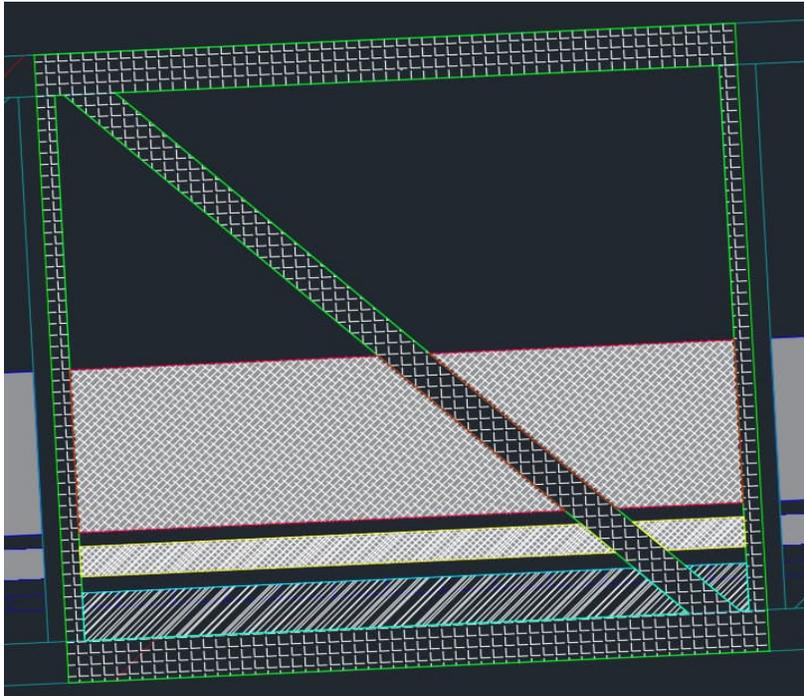
Autocad

Autocad

	Poutre triangulée (vert)	Platelage (cyan)	Coup-de -pied (jaune)	Garde -corps (rouge)	Total pont	
Surface calculée dans Autocad	3.616	0.996	0.628	3.411	8.651	m ²
Treillis exposé au vent						
Réduction pour ouvertures	1.00	1.00	1.00	0.65		
Surface Nord	3.6	1.0	0.6	2.2		m ²
Treillis sous le vent						
Réduction pour ouvertures	0.73	0.00	1.00	0.65		
Surface Sud	2.6	0.0	0.6	2.2		m ²
Surface totale Nord + Sud	6.26	1.00	1.26	4.40	12.91	m ²
Force pour un panneau	27	4	6	19	57	kN
	42%	7%	8%	29%		
Longueur d'un panneau	3.9		m			
Longueur du segment droit	79.0		m			
Force pour le segment droit complet	556	89	112	391	1147	kN
À appliquer sur	Vert+Diag Cordes	Longeron exposé	Vert+Diag 1/2 inf.	idem		
Longueur d'application	654	79	178			m
Charge linéaire	0.85	1.13	2.83			kN/m

Long. ADA

ADA v.25	Verticales et diagonales	355.8	m
ADA v.25	Cordes	298.4	m
ADA v.25	Longeron exposé	78.5	m



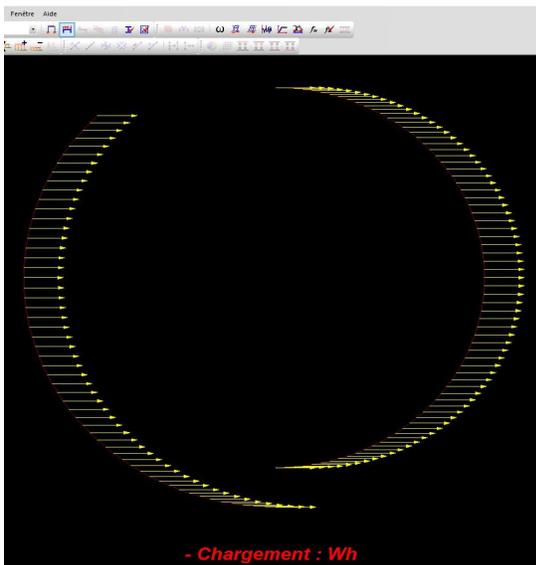
Segment courbe

Un défi pour ce segment est de considérer la réduction de l'exposition des éléments qui ne sont pas perpendiculaires au vent. Chaque élément de la courbe a donc une exposition différente.

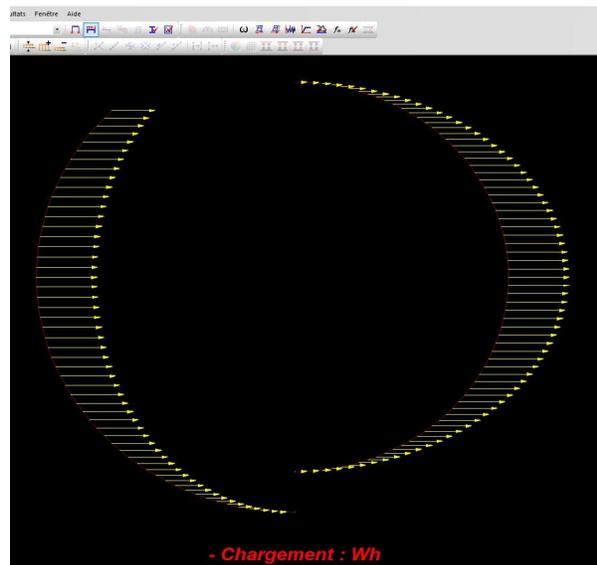
On entrera donc des charges ponctuelles dans la direction Z et c'est l'intensité qui sera variable en fonction de la position dans la courbe. La méthode de modulation en fonction de l'angle d'exposition est présentée en annexes

Voir annexe

Avant modulation

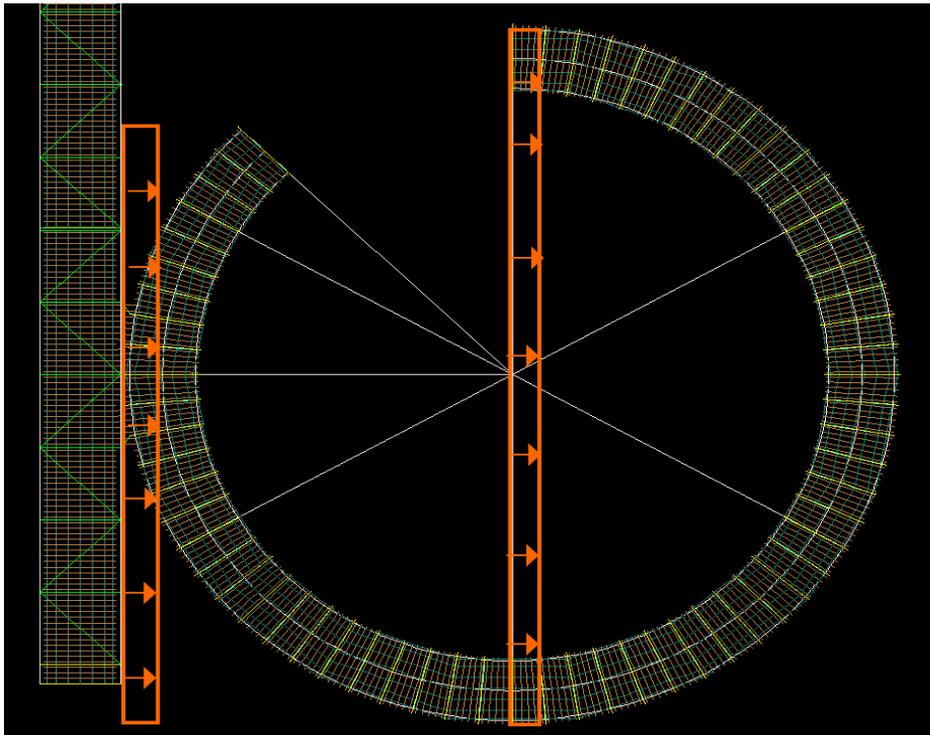


Après modulation



On calcule deux longueurs d'application de charges de vent horizontal tel que présenté dans la figure suivante car ces différentes parties peuvent être exposées simultanément.

Distance côté Nord	32.176 m	ADA
Distance côté Nord	37.696 m	ADA
Distance totale	69.872 m	ADA



	Poutre	Entretoise +long+bois	Coup-de -pied	Garde -corps	Total pont	
Hauteur exposée	1.000	0.495	0.184	1.000		m
Centre de gravité p/r entretoise	n/a	n/a	0.596	1.264		m
Côté exposé au vent						
Réduction pour ouvertures	1.00	1.00	1.00	0.65		
Surface Nord	69.9	34.6	12.9	45.1		m ²
Côté sous le vent						
Réduction pour ouvertures	0.00	0.00	1.00	0.65		
Surface Sud	0.0	0.0	12.9	45.1		m ²
Surface totale Nord + Sud	69.87	34.59	25.71	90.13	220.31	m ²
Force pour le segment courbe	307	152	113	395	967	kN
À appliquer sur	Nd plaques	Nd ent+bois	Nd ext.	idem		
		+ long	entretoises			
Nombre de nœuds d'application	256	3631	125			m
Charges ponctuelles	1.20	0.0418	4.0663			kN/m
Modulées vs la courbe ?	Oui	Non	Oui			

ADA v.25	Nœuds des plaques ext et int	256	nœuds
ADA v.25	Entretoises + bois + longerons	3631	nœuds
ADA v.25	Nœuds entretoises extérieurs	125	nœuds

6.5.2 *Rafale de vent naturelle* S7:23 | 6.13.2

S7 prescrit une pression de vent pour la conception à l'ÉLF.

$$P_{nw} = 350 \text{ Ch} \quad 0.70 \text{ kPa}$$

$$\text{Ch} \quad 2.0$$

Cette charge sera appliquée comme un ratio de la charge W_h .

W_h	4.39 kPa	Voir section vent précédente
P_{nw}	0.70 kPa	
Ratio	0.160	

6.5.3 *Vent vertical* S6:19 | 3.10.2.3

$$C_v \quad 1.0$$

$$F_v = q C_e C_g C_v \quad 2.19 \text{ kPa}$$

2 cas : vers le haut, vers le bas

2 cas : au centre ou au 1/4 du côté exposé au vent

Dans ce mandat, on appliquera le vent seulement dans une direction transversale

On doit appliquer ces charges vers le bas et vers le haut

	Droit	Courbe	
Surface exposée au vent seg. droit	328.2	369.2	m ²
Force totale	720	810	kN
ADA v.25 Répartition sur tous les planchers	280	332	m ² ADA planchers
Pression équivalente	2.57	2.44	kPa
ADA v.25 Répartition pour 1/4 transversal	314	394	m ADA longerons
Charge équivalente	2.29	2.06	kN/m

6.5.4 *Vent sur la surcharge* S6:19 | 3.10.2.4

On comprend ici qu'il s'agit du vent qui souffle sur les piétons qui transmettent l'effort par leurs pieds.

$$\text{Ch} \quad 1.2$$

$$F_h = q C_e C_g \text{Ch} \quad 2.63 \text{ kPa}$$

Pour ce mandat, cette charge est négligée

1370 mm déjà masqué par les garde-corps

Pour la petite partie exposée, Ch de 1,2 demeure plus faible que 2,0 pour la charge W_h pour le même coefficient de pondération à l'ÉLUL #3

6.5.5 *Vent pour les unités de fondation* S6:19 | 3.10.3

Cette section n'est pas considérée dans ce mandat.

6.6 Charges de verglas (A) S6:19 | 3.12.6

Verglas S6:19 | 3.12.6.1

Appliquer sur toutes les surfaces exposées

Épaisseur	31 mm	S6:19 fig. A3.1.4	0.30 kPa
Poids	9.8 kN/m ³	S6:19 3.12.6.2	

		Droit	Courbe	
ADA v.25	Treillis, CV, entretoises	926	10	m ² ADA
	Bois	280	93	m ²
	Garde-corps	216		m ²
	Surface totale	1423	907	m ²
	Force totale	432	275	
ADA v.25	Répartition sur membrures	1980	656	m
	Charge équivalente	0.22	0.42	kN/m

Pour le vent sur verglas horizontal, coef pond x $([203 + 2*31] / 203) = 1.3$

Pour le vent sur verglas vertical, aucun changement S6:19 | A3.2.3

6.7 Charges de neige (Sn) S7:23 | 6.11
CNB | 4.1.6

$S = I_s (S_s (C_b C_w C_s C_a) + S_r)$ pages 76, 469 et 708 du pdf

S	4.1	kPa	
I _s	1		
S _s	3.5	1/50 ans	CNB Tableau C-2
C _b	1		Québec
C _w	1		
C _s	1		
C _a	1		
S _r	0.6		CNB Tableau C-2

Rien de spécifique au niveau des changements climatiques S7:23 | 6.11
S7:23 | 4.3.7

		Droit	Courbe	
	Surface exposée au vent seg. droit	328.2	369.2	m ²
	Force totale	1345	1514	kN
ADA v.25	Répartition sur tous les planchers	280	332	m ² ADA planchers
	Pression équivalente	4.81	4.56	kPa

6.8 Forces horizontales longitudinales S7:23 | 6.15

Il faut déterminer la charge horizontale maximale des deux cas suivants.
La charge de piéton gouverne.

30% du poids du véhicule d'entretien			24 kN
Véhicule	80 kN	voir section précédente	
10% de la surcharge uniforme de piétons			
Piétons segment droit	858 kN	voir annexe	86 kN
Piétons segment courbe	988 kN	voir annexe	99 kN
Piétons total	1670 kN	voir annexe	167 kN

Répartition sur les planches de bois

ADA v.25	Piétons segment droit	933 m ADA bois	0.89	0.0920 kN/m
	Piétons segment courbe	237 m ADA entretoises pour éviter longerc	0.92	0.4167 kN/m

6.9 Charges de construction S6:19 | 3.16

Ce type de charges n'est pas considéré. La structure préfabriquée a déjà sa pleine résistance structurale au moment de son installation. Aucune charge particulière n'est attendue pendant l'érection puisqu'un levage par grue est prévu.

Le phasage d'érection de la structure est sous la responsabilité de l'entrepreneur.

6.10 Validation qualitative des charges

6.10.1 *Validation des types de charges principales*

Il est essentiel que le concepteur valide et apprécie les résultats de chaque charge du modèle numérique.
Les cas de chargements suivants sont vérifiés en détail pour s'assurer que le modèle se comporte bien.

Dalu	Charge gravitaire
Ldt3	Charge gravitaire
Lc45	Charge gravitaire
Lm01	Charge gravitaire mobile
Kdilpos	Dilatation thermique
Wh	Force transversale
Lhd	Force longitudinale
Lhc	Force longitudinale
Enveloppe ÉLUT	
Enveloppe ÉLUL	

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	48 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

On vérifie en détail

Application charge
Sommaire combinaison de charge
Réactions
Déformation
Mx/My
Vx/Vy
Axial
Torsion

Groupes à vérifier

Bois/longerons droit
Autres membrures droit
Bois/longerons courbe
CV, diaph, entretoises courbe
Maillage poutres courbes
Poutre courbes
Rigides/repères courbe
Plaques

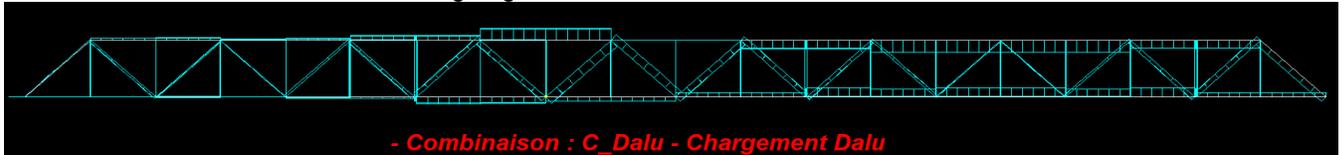
Si le modèle se comporte bien pour ces cas, une vérification sommaire de l'application des charges, de la déformation et de la somme des réactions pour les autres charge est suffisante.

Les images suivantes montrent des constatations intéressantes

Flexion dans les cordes sous charges gravitaires



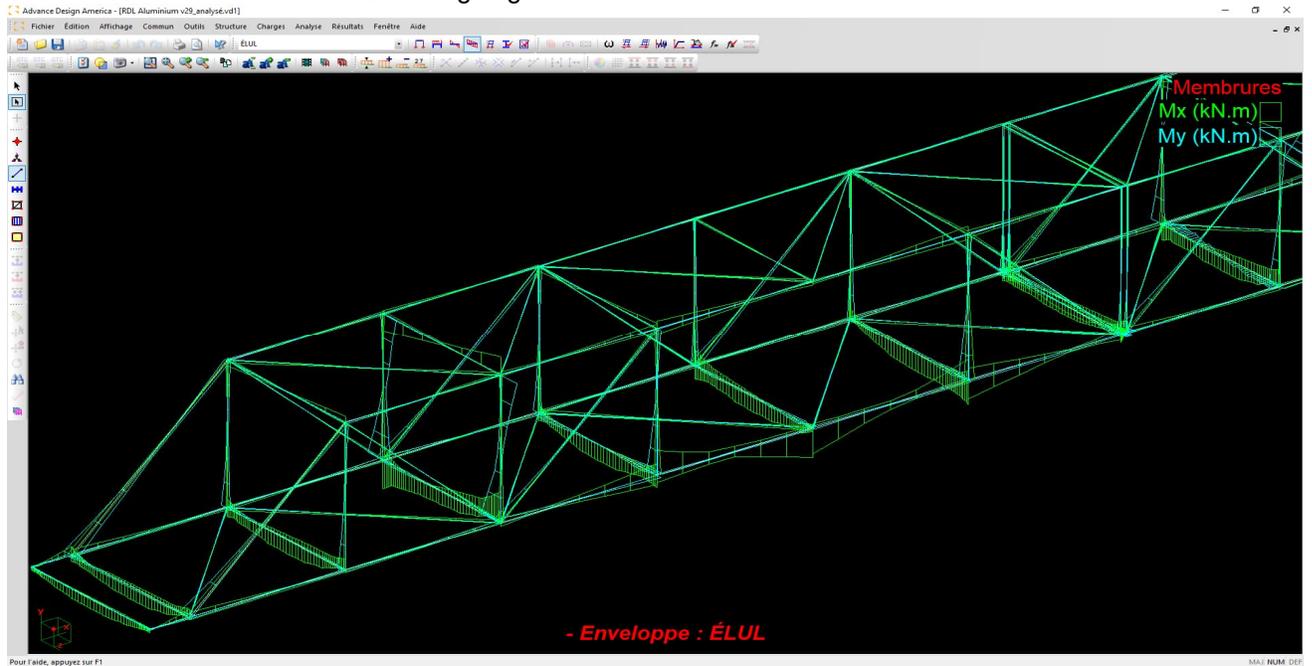
Effort axial dans les cordes sous charges gravitaires



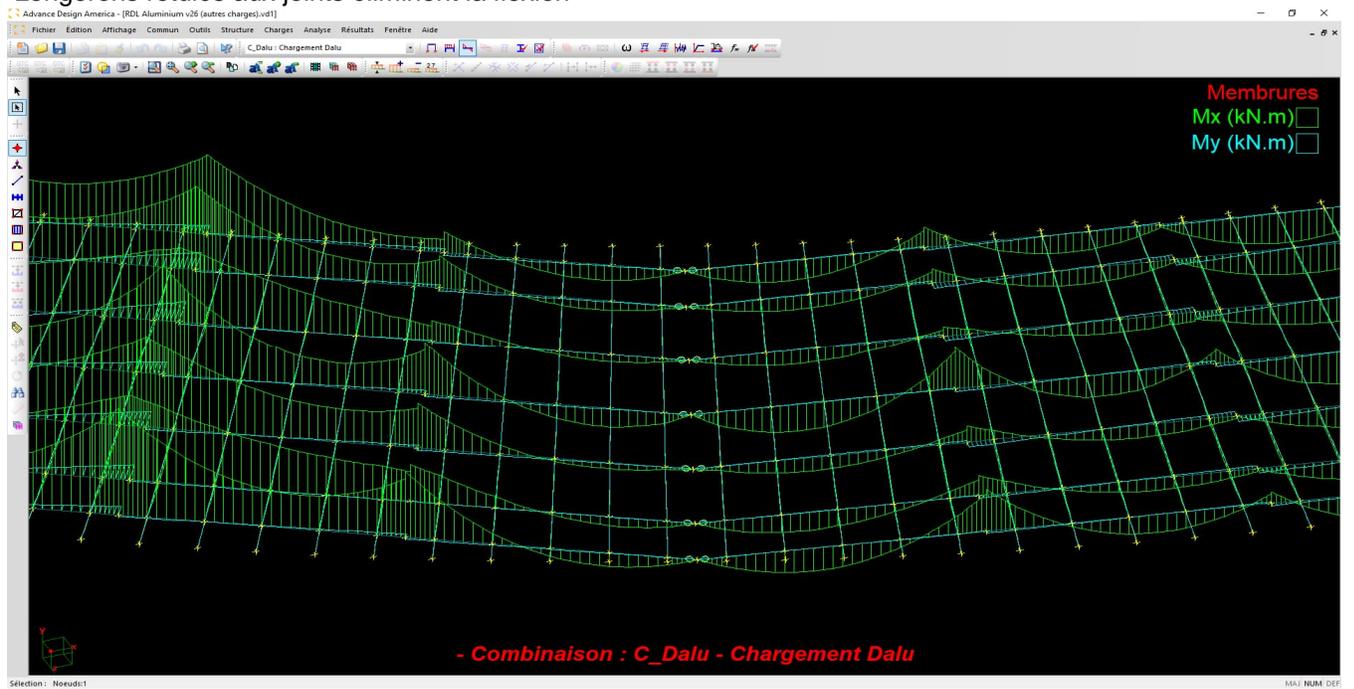
Participation des entretoises car les longerons sont actifs axialement



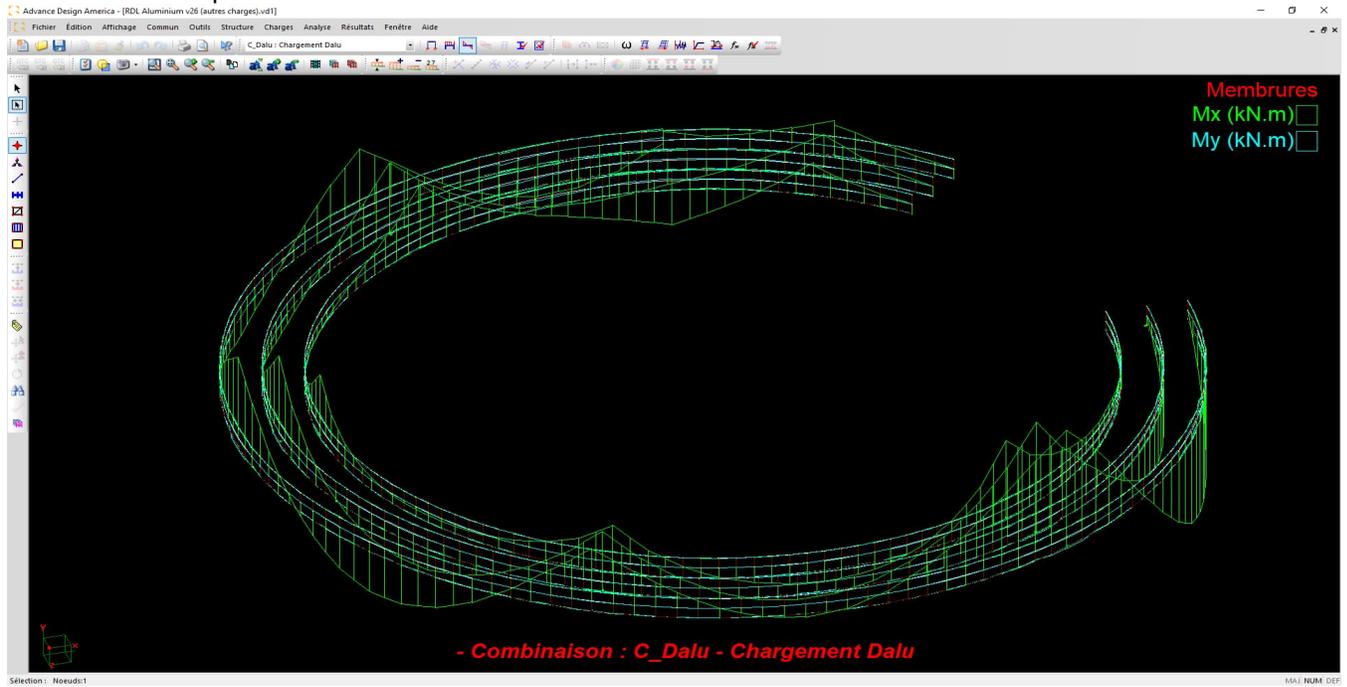
Flexion dans les cordes à l'ÉLUL charges gravitaires



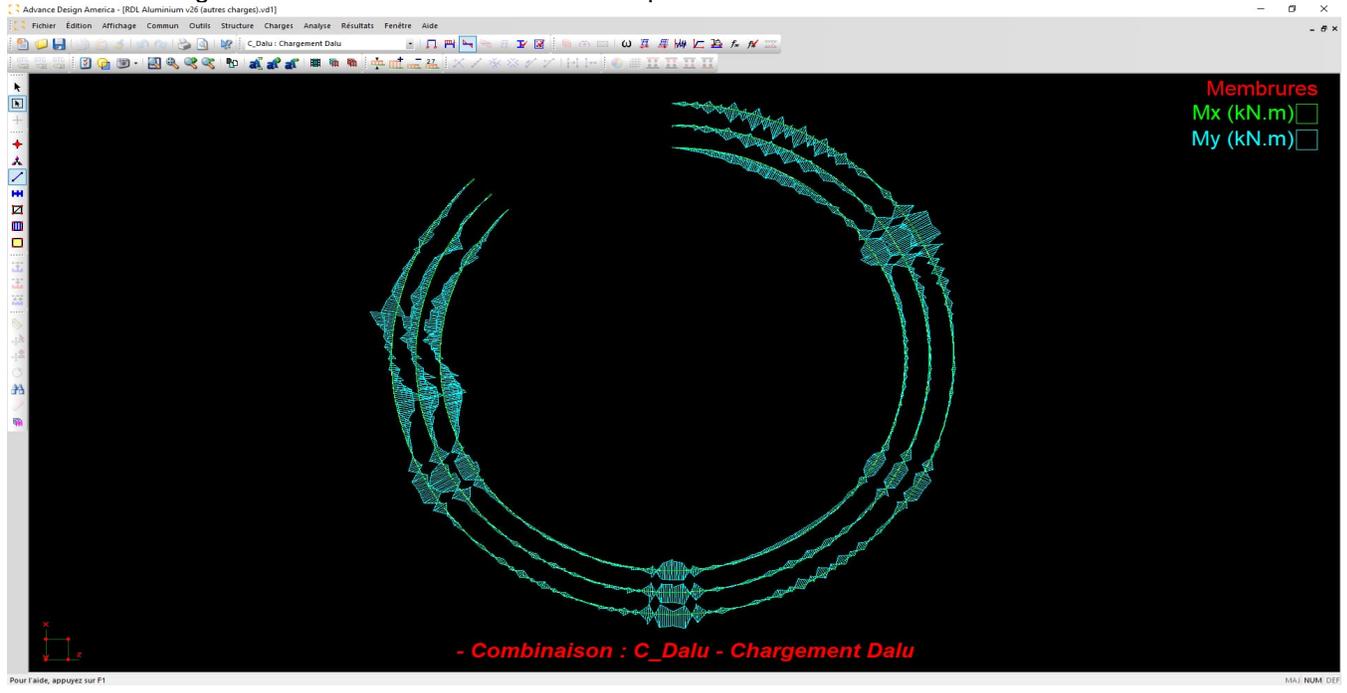
Longerons rotulés aux joints éliminent la flexion



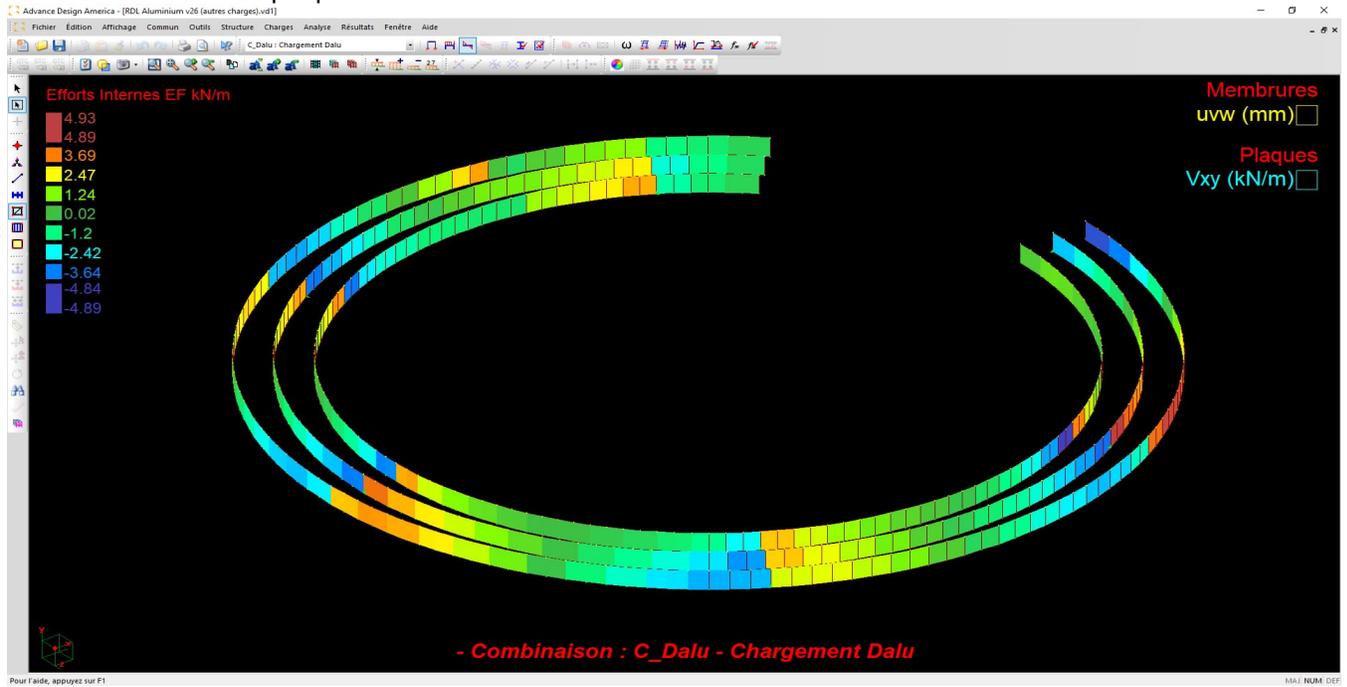
Flexion dans les poutres courbes



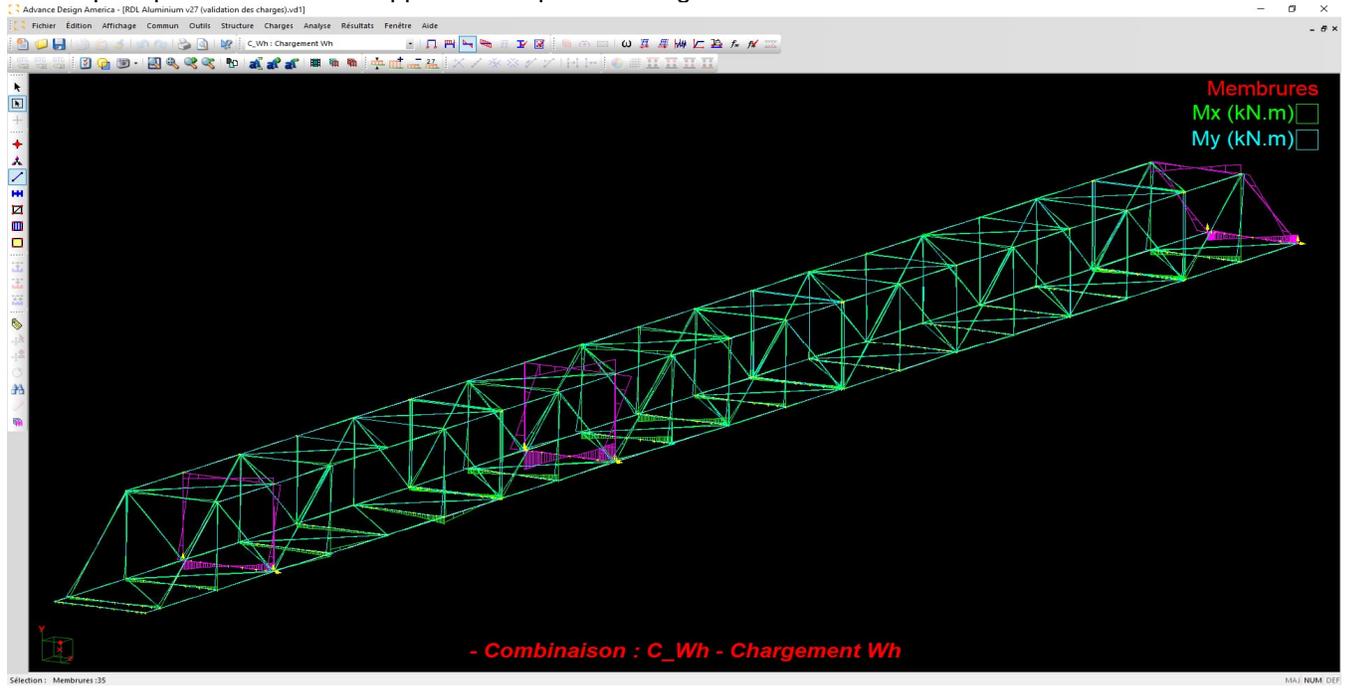
Flexion due au gauchissement dans les semelles des poutres courbes



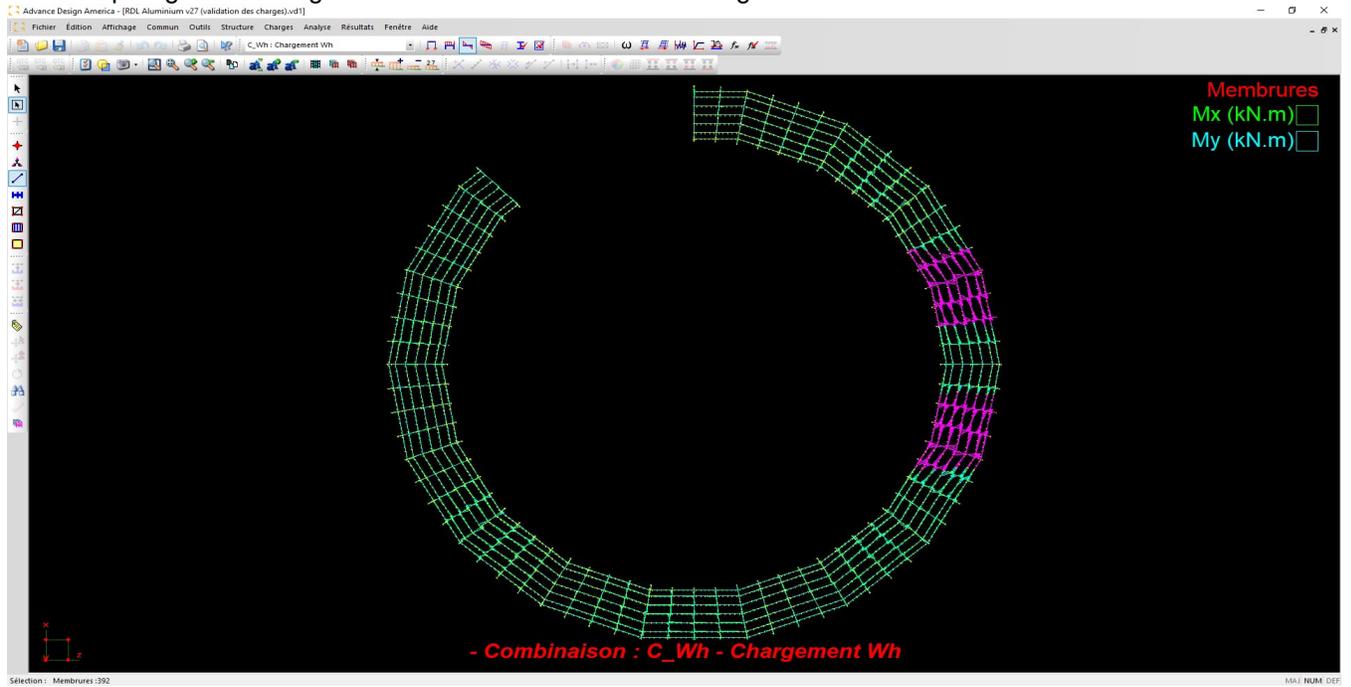
Cisaillement dans les plaques



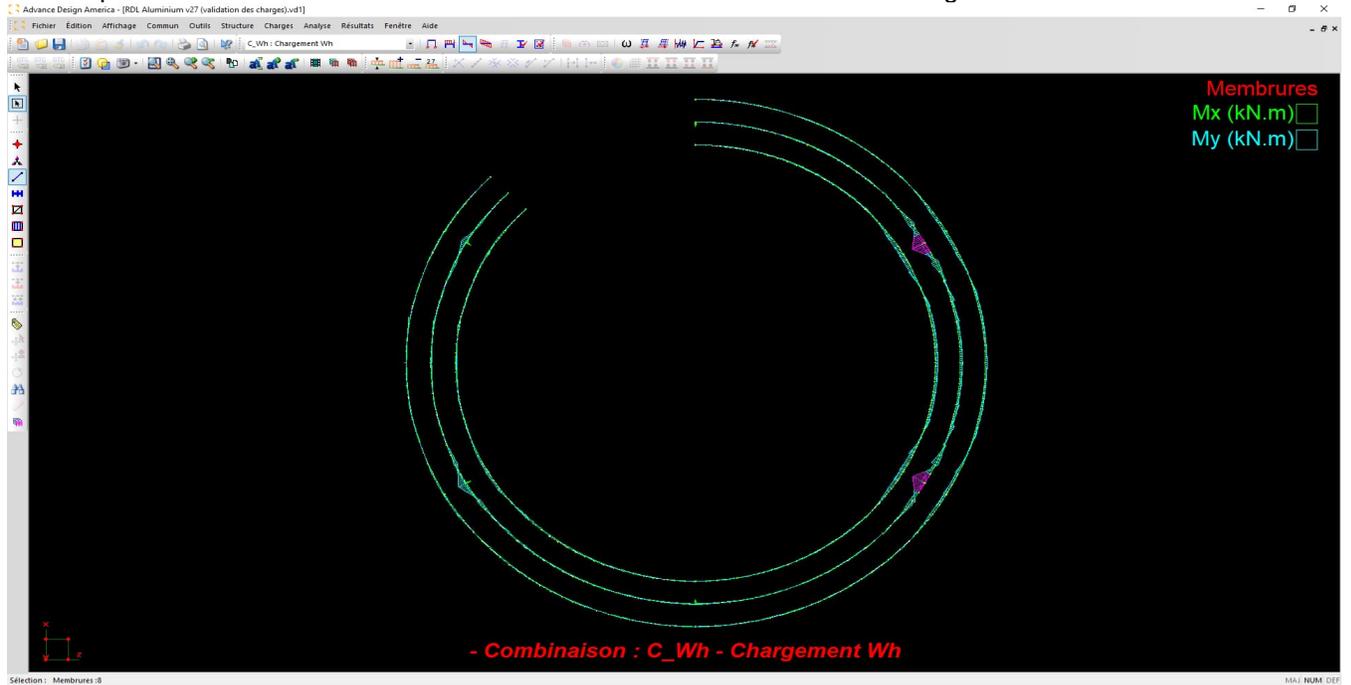
L'effet portique au-dessus des appuis causé par les charges de vent



Effet diaphragme des longerons et entretoises contre les charges de vent



Pics importants de flexion axe faible dans les semelles inférieures dus aux charges de vent



Voici les combinaisons de charge présentant le maximum de charges verticales. On constate que la neige et le vent sont très pénalisants pour ce projet.

Sommaire des combinaisons

Combinaisons Résumé

542	ID	Numéro	ΣF_x	$\Sigma F_y \downarrow$	ΣF_z
			kN	kN	kN
1	1837	H_ÉLUL05 001	-0	-5677	-0
2	1838	H_ÉLUL05 002	-0	-5677	-0
3	1840	H_ÉLUL05 004	-0	-5441	-0
4	1839	H_ÉLUL05 003	-0	-5441	-0
5	1610	H_ÉLUL03 094	-101	-4465	963
6	1629	H_ÉLUL03 113	-101	-4465	963
7	1553	H_ÉLUL03 037	-101	-4465	963
8	1534	H_ÉLUL03 018	-101	-4465	963
9	1420	H_ÉLUL01 018	-123	-4288	16
10	1762	H_ÉLUL03 246	-101	-4228	963
11	1781	H_ÉLUL03 265	-101	-4228	963
12	1686	H_ÉLUL03 170	-101	-4228	963
13	1705	H_ÉLUL03 189	-101	-4228	963

OK Annuler



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	54 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

7 COMBINAISONS DE CHARGES

7.1 Combinaisons de charge pour la structure

S6:19 | 3.5

S6:19 | tab. 3.1

S7:23 | 6.3

S7:23 | tab. 6.1

Les combinaisons de charge sont présentées en annexe.

Voir annexe A05

Dans cette annexe, on constate que chaque groupe de charge (ex: D, L, K, W et A) peuvent être combinées différemment. Il s'agit de permuter chacune de ces combinaisons en fonction des tableaux 3.1 et 6.1. Ceci génère évidemment beaucoup de combinaisons, mais ce n'est que du temps machine.

Voir le résumé des charges à la section 6.1 de cette NDC pour des particularités liés aux combinaisons

Les enveloppes sont également définies dans cette annexe

L'annexe L vs Sn explique pourquoi les charges de piétons ne sont pas combinées à celles de neige.

Voir annexe A06

Les combinaisons ÉLUT2 et ÉLUL11 ne sont pas traitées dans le présent mandat.

8 CONCEPTION DES CORDES PRINCIPALES DU SEGMENT DROIT

Le présent mandat ne couvre évidemment pas la conception de toute la structure. En accord avec notre mandataire, l'emphase est mise sur la conception des cordes du segment droit.

Les cordes du segment droit doivent répondre aux exigences de résistances à ÉLUT, ÉLF et ÉLUL. De plus, les joints boulonnés et soudés doivent être conformes à CSA S6 et S7.

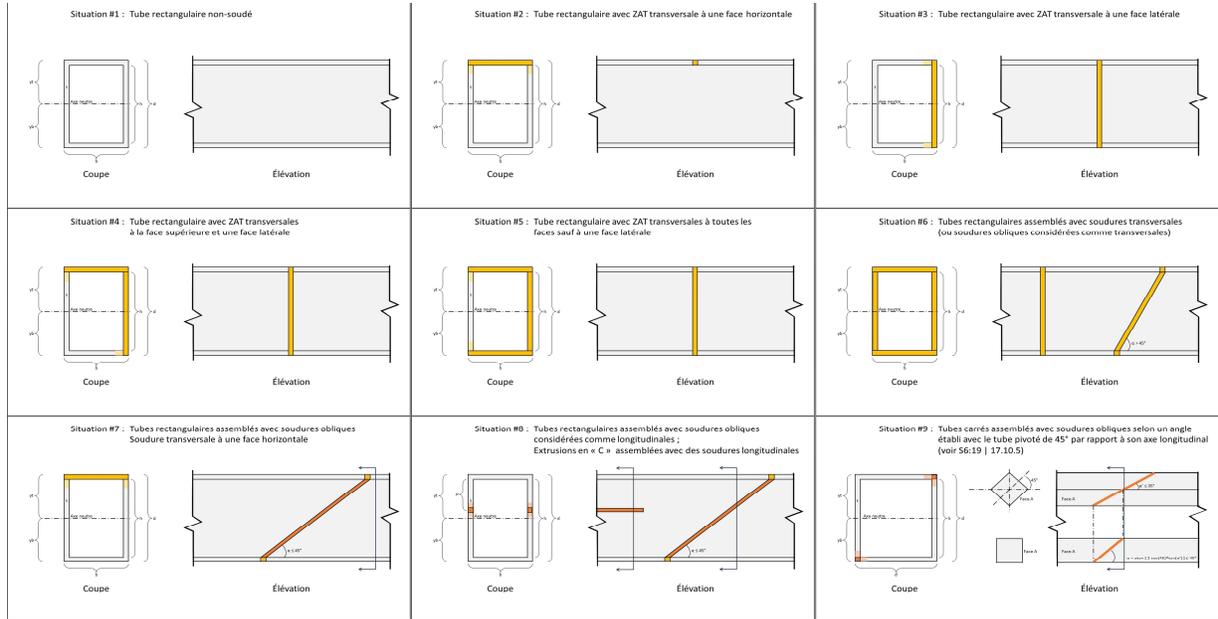
8.1 Résistance des tubes

S6:19 | chap. 17
Annexe A07

Un outil de calcul pour les tubes rectangulaires a été développé dans le cadre de ce mandat. Celui-ci est utilisé en annexe pour calculer la résistance du tube sous diverses situations de soudage. Voici donc les résistances calculées. Les résultats applicables sont en surbrillance.

Situation	#1	#2	#3	#4	Unités	Référence
Classe	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
Classe sem.	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
Classe âme	1	1	1	1		S6:19 17.12.1
λ_{semelle}	0.58	0.58	0.58	0.58		S6:19 17.9
$\lambda_{\text{âme}}$	0.00	0.00	0.00	0.00		S6:19 17.9
Tr	2648	2187	2187	1815	kN	S6:19 17.10.3
Cr (ext)	2253	2002	2002	2002	kN	S6:19 17.11.3
Cr (int)	2253	1774	1774	1536	kN	S6:19 17.11.3
Mrclasse	183	118	166	116	kN	S6:19 17.12.2
Vr	753	753	753	753	kN	S6:19 17.12.4.1.2

Situation	#5	#6	#7	#8	Unités	Référence
Classe	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
Classe sem.	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
Classe âme	1	1	1	1		S6:19 17.12.1
λ_{semelle}	0.58	0.58	0.58	0.58		S6:19 17.9
$\lambda_{\text{âme}}$	0.00	0.00	0.00	0.00		S6:19 17.9
Tr	1442	1517	2103	2342	kN	S6:19 17.10.3
Cr (ext)	2002	1517	1517	1517	kN	S6:19 17.11.3
Cr (int)	1274	1057	1057	1057	kN	S6:19 17.11.3
Mrclasse	92	92	109	183	kN	S6:19 17.12.2
Vr	753	753	753	753	kN	S6:19 17.12.4.1.2



8.1.1 Positionnement des joints soudés

S6:19 | chap. 17

La localisation et la géométrie des joints soudés des cordes en aluminium a une influence majeure sur la conception.

S6:19 | 17.10.5

Comme l'enveloppe des efforts des cordes montre régulièrement de la compression et de la traction, il est jugé préférable de systématiquement prévoir les joints à 45° pour bénéficier de l'allègement en traction pour les soudures longitudinales.

S6:19 | 17.11.2.2 d) et e)

L'analyse des résistances en compression montre que si les soudures sont localisées à distance des extrémités, ceci implique une importante perte de résistance.

Selon la future norme S6:25, pour être considérées comme aux extrémités, les soudures transversales doivent être à $\leq 0,05L$ des appuis. $0,05 \times 3900 = 195 \text{ mm}$.

Après multiples itérations, l'approche suivante est retenue pour ce projet et permet d'optimiser les ratios demande/capacité de chaque joint. Les joints soudés sont séparés en deux catégories :

1) Joints principalement en traction à l'ÉLUL (faible efforts de compression)

Le joint est éloigné du nœud (le minimum requis pour espacer les ZAT, choix 100 mm).

Le joint est à 45° pour optimiser la résistance à la traction (+20% situation #4 vs #6).

En compression, la soudure est à distance des extrémité, donc $\downarrow Cr$

Cr 1057 kN Situation #7 et #8 avec soudures à distance des ext.

En traction, les ZAT du joint n'interfèrent pas avec les soudures au nœud, donc $\uparrow Tr$.

Tr 1815 kN Situation #4 < Situations #7 et #8

2) Joints principalement en compression à l'ÉLUL (grands efforts de compression)

Le joint est proche du nœud. Un segment transversal est centré sur le nœud. L'autre segment est à moins de 0,05L de la face de la membrure d'appui.

En compression, la soudure est aux extrémités, donc \uparrow Cr.

Cr 1517 kN Situation #6, #7 et #8 avec soudures aux extrémités

En traction, deux approches sont possibles. On retient la première

A) Joint à 45°. En théorie, les ZAT transversales sont décalées ce qui \uparrow Tr.

Par conservatisme et pour simplifier la conception, on retient la situation #6

B) Joint à 90°. Tr est donné par la situation #6. Approche plus économique, mais peu rencontrée dans les passerelles construites.

Tr 1517 kN Situation #6

Les efforts de chaque joint soudé sont présentés ici :

			Cf	Tf	Type	
ADA v.29	J.S.1	sup.	181	233	Comp.	Ces efforts proviennent du modèle où les longerons ne participent pas On retient le plus grand effort de part et d'autre du nœud par conservatisme
ADA v.29	J.S.1	inf.	349	192	Comp.	
ADA v.29	J.S.2	sup.	183	860	Traction	
ADA v.29	J.S.2	inf.	986	1162	Comp.	
ADA v.29	J.S.3	sup.	853	534	Comp.	
ADA v.29	J.S.3	inf.	795	1115	Comp.	

8.1.2	Résistance à la compression J.S.1 sup.	S6:19 17.11.3	0.12
8.1.3	Résistance à la traction J.S.1 sup.	S6:19 17.10.3	0.15
8.1.4	Résistance à la compression J.S.1 inf.	S6:19 17.11.3	0.23
8.1.5	Résistance à la traction J.S.1 inf.	S6:19 17.10.3	0.13
8.1.6	Résistance à la compression J.S.2 sup.	S6:19 17.11.3	0.17
8.1.7	Résistance à la traction J.S.2 sup.	S6:19 17.10.3	0.47
8.1.8	Résistance à la compression J.S.2 inf.	S6:19 17.11.3	0.65
8.1.9	Résistance à la traction J.S.2 inf.	S6:19 17.10.3	0.77
8.1.10	Résistance à la compression J.S.3 sup.	S6:19 17.11.3	0.56
8.1.11	Résistance à la traction J.S.3 sup.	S6:19 17.10.3	0.35
8.1.12	Résistance à la compression J.S.3 inf.	S6:19 17.11.3	0.52
8.1.13	Résistance à la traction J.S.3 inf.	S6:19 17.10.3	0.74

9 CONCEPTION DES JOINTS BOULONNÉS DU SEGMENT DROIT

9.1 Approche pour la conception S6:19 | 17.22

Plusieurs configurations de joints boulonnés ont été étudiées pour ce mandat.
Un livrable est dédié à la comparaison de ces types de joints.

La norme S7 demande d'effectuer la vérification à la fatigue des passerelles.

Il est visé d'obtenir des assemblages antiglisement pour : S6.1:19 | C17.22.2.4.1

- Augmenter la performance en fatigue
- Réduire les déformations
- Augmenter la résistance aux impacts et au desserrement
- Augmenter l'étanchéité

Les joints et assemblages doivent être calculés à l'ÉLUL en fonction de la plus grande des valeurs suivantes :

- a) les forces calculées au joint ou à l'assemblage; ou
- b) 75 % de la résistance pondérée de la membrure, cette résistance étant fonction des efforts de traction, de compression, de flexion ou de cisaillement ayant servi à sélectionner la membrure.

9.1.1 *Forces calculées aux joints* S6:19 | 17.22.1.1a)

Voici les efforts appliqués aux joints boulonnés provenant de la modélisation par ÉF.

ÉLUL

ADA v.29	Tf	1046 kN	H_ ÉLUL04 001
ADA v.29	Cf	698 kN	H_ ÉLUL04 012
ADA v.29	Mxf	18 kN-m	H_ ÉLUL04 014
ADA v.29	Myf	16 kN-m	H_ ÉLUL04 012
ADA v.29	Vxf	192 kN	H_ ÉLUL04 007
ADA v.29	Vyf	191 kN	H_ ÉLUL05 001

ÉLUT

ADA v.29	Cs	338 kN	F_ ÉLUT1 023
ADA v.29	Ts	363 kN	F_ ÉLUT1 023
ADA v.29	Vxs	20 kN	F_ ÉLUT1 025
ADA v.29	Vys	100 kN	F_ ÉLUT1 023

On valide que les efforts à l'ÉLUT sont inférieurs que l'ÉLF S6:19 | 10.18.2.3.1

ÉLF

ADA v.29	Cs	247 kN
ADA v.29	Ts	237 kN
ADA v.29	Vxs	19 kN
ADA v.29	Vys	53 kN

S7:23 | 8.6.1.2

Les efforts à l'ÉLUL proviennent du modèle où les longerons ne participent pas à la rigidité.
 Les efforts à l'ÉLUT et l'ÉLF proviennent du modèle où les longerons participent pas à la rigidité.

Les efforts présentés ne sont pas nécessairement concomittants ni présents pour les mêmes joints boulonnés. La conception est basée sur le pire cas pour fins de simplification des calculs.

Les nombreuses références suivantes expliquent la philosophie quant au choix des charges pour le calcul de l'assemblage antiglisement

Il faut utiliser les charges à l'ÉLUT et à l'ÉLF S6:19 | 10.18.2.3.1

Antiglisement requis si inversions d'efforts

Il faut déterminer la différence nette entre la charge S6.1:19 | C10.18.2.3.1

permanente et les charges totales provoquant l'inversion des contraintes.

Les notions du commentaires viennent alléger la charge à considérer

On pourrait retenir la différence entre Mdead et MÉlut#1 MCS | 10.6.1

opposé au poids propre, mais le MTQ ne l'autorise pas

Il faut utiliser les charges à l'ÉLUT et à l'ÉLF

On note toutefois que l'antiglisement n'est pas requis s'il n'y a pas d'inversion d'efforts

On donne ici une autre équation pour Vs MCS | 17.4

Ces articles répètent ceux de l'acier S6:19 | 17.22.2.4.1

assemblages antiglisement à moins d'une approbation par S6.1:19 | C17.22.2.4

le propriétaire. La notion d'inversion des efforts n'est pas mentionnée.

9.1.2 *75% pour la résistance pondérée* S6:19 | 17.22.1.1b)

Le commentaire pour l'acier est utile pour comprendre b) S6.1:19 | C10.18.1.1

S7 ajoute cette notion S7:23 | 9.3.6

The minimum factored resistance of welded connections, as specified in S6:19 | 17.22.1.1 b) should not be taken higher than the factored resistance of the base metal in the heat affected zone.

Cette clarification s'applique plutôt aux assemblages soudés.

La notion de 75% de la résistance a pour intention première de conserver la rigidité de la membrure tout au long de l'épaisseur. On retient donc la résistance du métal de base. L'assemblage boulonné sera ainsi suffisamment rigide et en accord avec la modélisation ÉF.

Les tubes ont été choisis en fonction de leur résistance axiales Tr et Cr décrites précédemment.

Tr	2648 kN
Cr	2253 kN
75% Tr	1986 kN
75% Cr	1690 kN

9.1.3 Efforts retenus pour la conception

S6:19 | 17.22.1.1

ÉLUL

Tf Choix	1986 kN	
Cf Choix	1690 kN	
Mxf	18 kN-m	Vertical
Myf	16 kN-m	
Vxf	192 kN	
Vyf	191 kN	Vertical

9.1.4 Rigidité axiale

S6:19 | 17.22.1.1

0.80

On vérifie que le manchon interne a une rigidité axiale \geq celle du tube pour que la modélisation ÉF demeure valide. Il s'agit de comparer les aires puisque E est le même.

Atube	12258 mm ²
Amanchon	15250 mm ²

9.1.5 Rigidité flexionnelle

S6.1:19 | C10.18.1.1

L'article du commentaire indique que la membrure soumise à plusieurs types d'effort doit être dimensionnée à 75% de la résistance principale pour laquelle la membrure a été choisie. La flexion étant secondaire, on vise une inertie raisonnable sans devoir atteindre celle du tube.

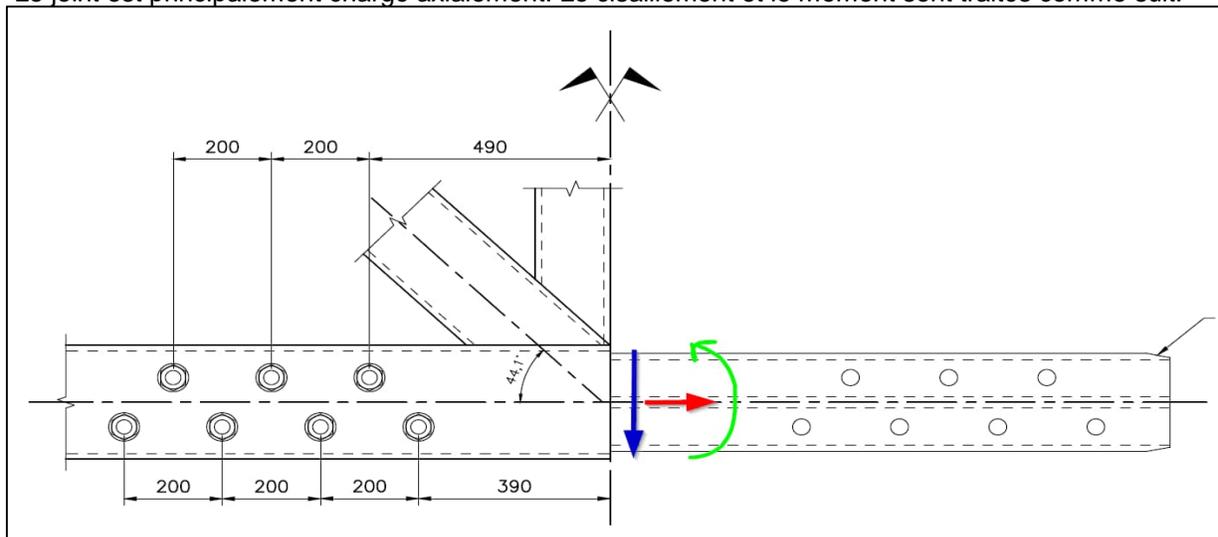
Itube	1.19E+08 mm ⁴		
Imanchon	8.36E+07 mm ⁴	70%	Autocad

9.1.6 Comportement structural

S6:19 | 17.22.2.10.2

Le trou de boulon le plus près de l'extrémité de la sous-structure est positionné à 400 mm de l'interface. Ceci permet d'assurer que la section nette n'entre pas en conflit avec la ZAT provenant de la soudure des contreventements et entretoises.

Le joint est principalement chargé axialement. Le cisaillement et le moment sont traités comme suit.



À l'ÉLUL, on considère que les boulons glissent et que le manchon interne pivote et prend appui à la frontière des deux sous-structures ainsi qu'à l'extrémité du manchon (flèches bleu).

La géométrie du jeu vertical et des trous de boulons est ajustée pour éviter le contact des boulons pendant cette rotation.

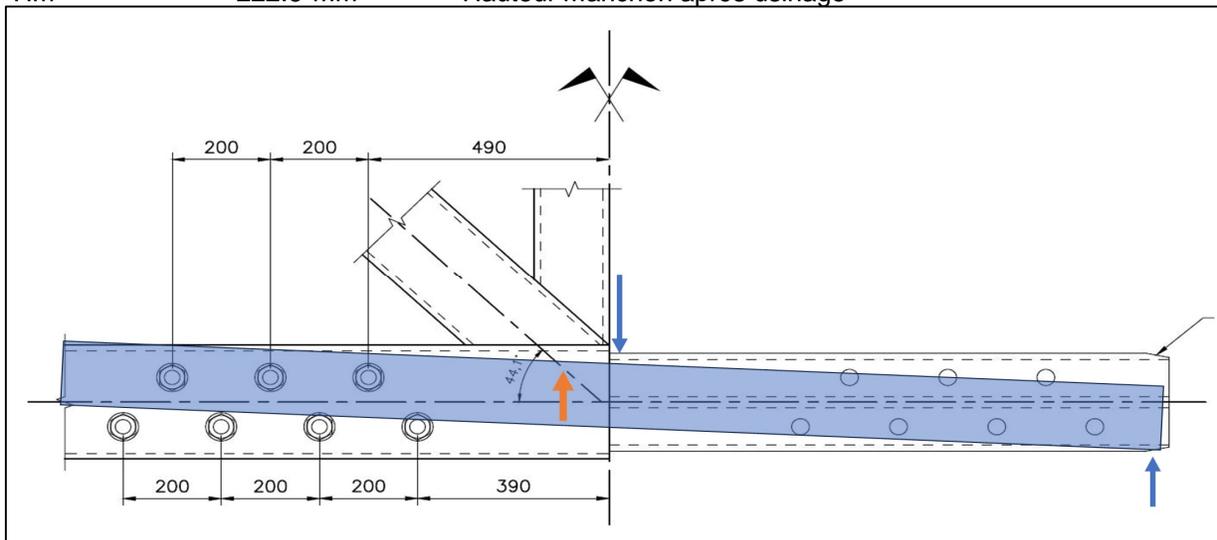
Jeu vertical : 3 mm haut et 3 mm bas

Boulons : 1,125 pouces = 28.58 mm

Trous de boulons pour le manchon : 6 mm (choix) > diamètre des boulons = 33.58 => 35 mm.

Trous de boulons pour le tube : 1,5 mm > diamètre des boulons = 30.08 mm => 30 mm.

dt	30 mm	Diamètre trou dans le tube
dm	35 mm	Diamètre trou dans le manchon
Hm	222.6 mm	Hauteur manchon après usinage



S6:19 | 10.18.4.2

En acier, le diamètre des trous est 2 mm > diamètre boulon

On fournit aussi les indications pour les trous surdimensionnés

S6:19 | 17.22.2.10.2

S6.1:19 | C17.22.2.10.2

En aluminium, le diamètre des trous est 1,5 mm > diamètre boulon

Le commentaire de S6 ouvre la porte vers les trous surdimensionnés :

If enlarged or slotted holes are ever required, hardened washers at least 8 mm thick with standard hole should be used to cover oversize and slotted holes.

S157 et Beaulieu ne donnent pas d'indications supplémentaires sur les trous surdimensionnés.

On conclut donc que les spécification de l'acier pour les trous surdimensionnés peuvent s'appliquer à l'alu.

My et Vx Repris par le manchon qui a un ajustement très étroit, donc répartitions large et effet négligeable.

Résumé des efforts sur les boulons

Vbf	124 kN
Faf	215 kN

Boulons A325 1" 1/8

d	28.58 mm	
Ab	641 mm ²	HBSC tab. 3.4
Fub	725 MPa	HBSC tab. 3.3
n	1	
m	1	
e	75 mm	pire cas
t	12.7 mm	pire cas
Fup	260 MPa	
ks	0.35	MCS 17.4
φf	0.67	S6:19 15.5.7
φu	0.75	S6:19 15.5.7

9.2.1	<i>Cisaillement états limites ultimes</i>	S6:19 17.22.2.3	0.66
	$V_r = 0.60 \phi_f n m A_b F_{ub}$	S6:19 17.22.2.3	187 kN
9.2.2	<i>Boulons en écrasement</i>	S6:19 17.22.2.6	0.88
	$Br = \phi_u e t F_u$	S6:19 17.22.2.6.1a)	186 kN
	$Br = \phi_u 2d t F_u$	S6:19 17.22.2.6.1b)	142 kN

Zones d'appui direct du manchon

9.2.3	<i>Résistance en portance de la zone d'appui</i>	S6:19 17.24.1	0.48
	$Br = 1.5 \phi_y F_y A$	S6:19 17.24.1a)	447 kN
	φy	S6:19 15.5.7	0.90
	Fy		240 MPa
	A = Lb		1380 mm ²
	L		138 mm
	b		10 mm
		Hypothèse. La membrure verticale agit comme retenue.	
		Hypothèse	

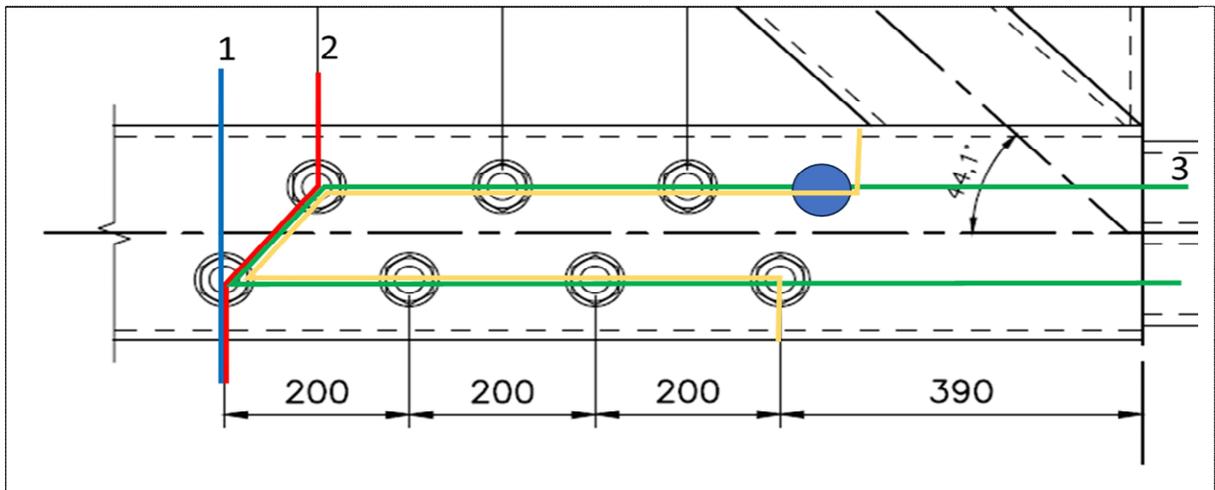
Résistance du tube

Ag	12258 mm ²	Annexes
d	32.0 mm	
s	110 mm	
g	130 mm	
t	12.7 mm	
b	254 mm	

Différents scénarios d'aire nette effective

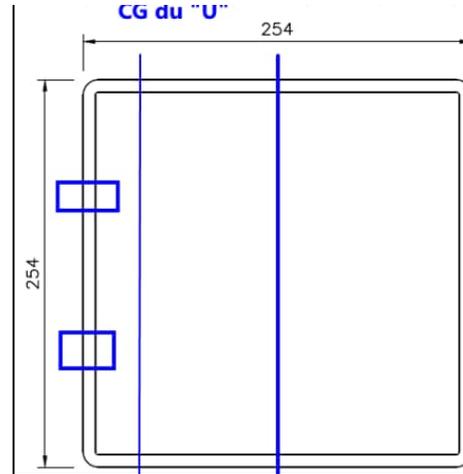
S6:19 | 17.8.2.2

Ane = min(Ane1, Ane2, Ane3, Ane4)	S6:19 17.8.2.2	11223 mm ²
Ane1 = Ag - 2 d t	S6:19 17.8.2.2	11445 mm ²
Ane2 = Ag - 4 dt + 2 s ² /4g	S6:19 17.8.2.2	11223 mm ²
Ane3 = 2*0.6*t (L1 - 3.5d + L2 - 3.5d) + 2t * (s ² /4g - 1d)	S6:19 17.8.2.2	29435 mm ²
Ane4 = bt (sup) + bt fwy/Fy (inf) +2*0.6*t (L1 - 3d + L2 - 3d) + 2t * (s ² /4g - 1d) +2 t * (b - 2t - g - d)	S6:19 17.8.2.2 Interprétation de la méthode à suivre si une section nette contient une ZAT transv.	23298 mm ²



Pour la réduction de l'aire nette effective, on considère que le tube est l'équivalent de deux profilés en U. Chaque face de l'assemblage transfère les efforts des boulons correspondants.

A'ne = Ane * %redmax	S6:19 17.10.2.4	10874 mm ²
% red1 = Formule directe	S6:19 17.10.2.4c)i)	0.90
% red2 = 1 - X_/L	S6:19 17.10.2.4	0.97
X_	24 mm	Autocad
L	770 mm	



9.2.4 Résistance axiale à la traction du tube

S6:19 | 17.10.3b)

0.94

$Tr = \varphi_u A'_{ne} F_u$

S6:19 | 17.10.3b)

2120 kN

φ_u	0.75
A'_{ne}	10874 mm ²
F_u	260 MPa

Résistance du manchon

Le manchon en compression est considéré comme retenu latéralement. On conçoit donc pour la traction.

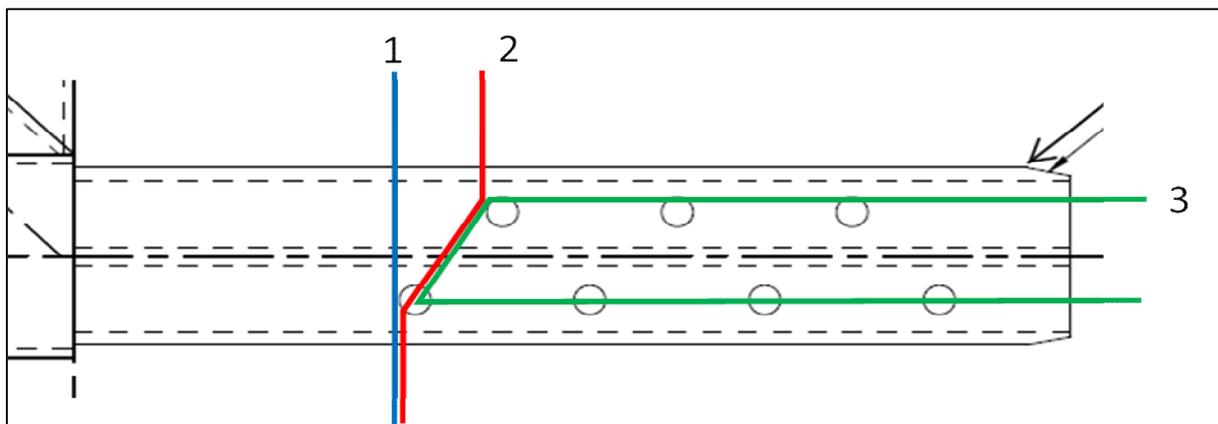
A_g	15250 mm ²
d	37.0 mm
s	110 mm
g	130 mm
t	15 mm

Extrusions

Différents scénarios d'aire nette effective

S6:19 | 17.8.2.2

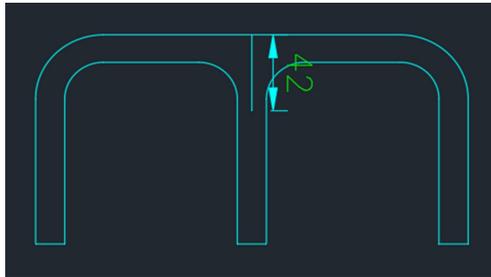
$A_{ne} = \min(A_{ne1}, A_{ne2}, A_{ne3})$	S6:19 17.8.2.2	13728 mm ²
$A_{ne1} = A_g - 2 d t$	S6:19 17.8.2.2	14140 mm ²
$A_{ne2} = A_g - 4 d t + 2 s^2/4g$	S6:19 17.8.2.2	13728 mm ²
$A_{ne3} = 2 \cdot 0.6 \cdot t (L_1 - 3.5d + L_2 - 3.5d) + 2t \cdot (s^2/4g - 1d)$ (âme du manchon négligée!)	S6:19 17.8.2.2	23366 mm ²



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	66 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

Pour la réduction de l'aire nette effective, on considère que le manchon est l'équivalent d'une section en I.
Chaque face de l'assemblage transfère les efforts des boulons correspondants.

$A'_{ne} = A_{ne} * \%red_{max}$	S6:19 17.10.2.4	12979 mm ²
$\% red1 = \text{Formule directe}$	S6:19 17.10.2.4b)i)	0.90
$\% red2 = 1 - X_/L$	S6:19 17.10.2.4	0.95
$X_$	42 mm	Autocad
L	770 mm	



9.2.5 *Résistance axiale à la traction du manchon* S6:19 | 17.10.3b) **0.78**

$Tr = \varphi_u A'_{ne} F_u$	S6:19 17.10.3b)	2531 kN
φ_u	0.75	
A'_{ne}	12979 mm ²	
F_u	260 MPa	

9.2.6 *Résistance au cisaillement du manchon* S6:19 | 17.12.4.1.2 **0.33**

$V_r = \varphi_y h w F_{sc} \times 2 \text{ âmes}$	S6:19 17.12.4.1.2	583 kN
$F_{sc} = F_0 F_-$	S6:19 17.12.4.1.2	144 MPa
$F_- = \beta - \sqrt{(\beta^2 - 1/\lambda_-^2)}$ (contrainte de flambement normalisée)	S6:19 17.11.2.3	1.00
$\beta = [1 + \alpha (\lambda_- - \lambda_{-0}) + \lambda_-^2] / 2\lambda_-^2$	S6:19 17.11.2.3	12.01
$\lambda_- = \lambda_s / \pi \sqrt{F_0/E}$ (élancement normalisé)	S6:19 17.12.4.1.2	0.20
$\lambda_s = 1,4 h/w$	S6:19 17.12.4.1.2 et S1:	14
α_w	0.2	S6:19 17.11.2.3
λ_{-0}	0.5	S6:19 17.11.2.3
$F_0 = 0,6 F_y$	144 MPa	S6:19 17.11.2.2
E	70000 MPa	S6:19 17.4.1
φ_y	0.9	S6:19 17.5.7a)
h	150 mm	conservateur
w	15 mm	conservateur

9.3 États limites de service

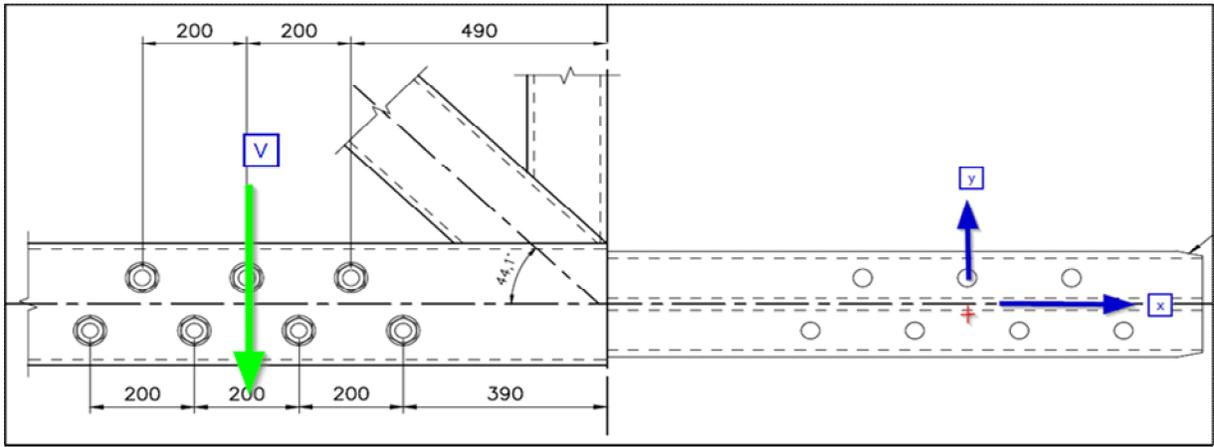
S6:19 | 17.22.4

Les différentes forces définies précédemment causent des efforts de cisaillement dans les boulons

Axial Répartition identique pour chaque boulon
 $V_{bf} = \max(T_s; C_s) / N / 2 \text{ côtés}$ 23 kN
 $\max(T_s; C_s)$ 363 kN
 N 8 boulons

Vx Repris par le manchon qui a un ajustement très étroit, donc répartition large et effet négligeable.

Vy Repris par l'inertie polaire des boulons Beaulieu | 7.7.1
 On suppose que le levier de l'effort de cisaillement est la distance entre chaque groupe de boulons.



yo 0.0 mm Centre de gravité vertical

	y	y ²	x	x ²
1	-65	4225	-385	148225
2	65	4225	-275	75625
3	-65	4225	-165	27225
4	65	4225	-55	3025
5	-65	4225	55	3025
6	65	4225	165	27225
7	-65	4225	275	75625
8	65	4225	385	148225
somme		33800		508200
nd ²	2	67600	2	1016400

lx 67600 mm²
 ly 1016400 mm²
 Ip = lx + ly 1084000 mm²

Dist. boul. extrême x	385 mm	
Dist. boul. extrême y	65 mm	
Dist. boul. extrême	390 mm	
Levier entre 2 groupes de boulons	1510 mm	Cette distance est pénalisante

$M = V_{ys} \cdot \text{levier}$	151 kN-m
$P = M \cdot \text{dist} / l_p$	54 kN
$P_v = P \cdot x/r$	54 kN
$P_h = P \cdot y/r$	9 kN
Axial horizontal	23 kN
$V_b = V_{ys}/N/2$	6 kN

$P_s = \text{racine } (V_b + P_v)^2 + (A + P_h)^2$ 68 kN

Résumé des efforts sur les boulons

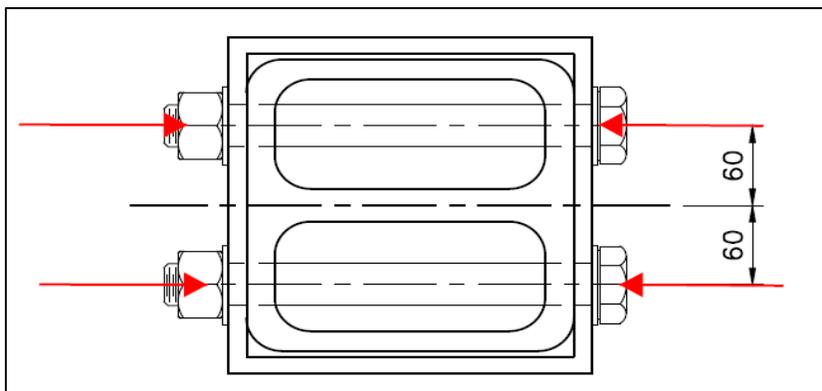
V_b	68 kN
-------	-------

9.3.1	<i>Glissement en service</i>	S6:19 17.22.2.4.2 MCS 17.4	0.97
	On retient la valeur minimale		
	$V_s = 0,15 \text{ m n Ab Fu}$	S6:19 17.22.2.4.2	70 kN
	$V_s = 0,525 \text{ ks m n Ab Fu}$	MCS 17.4	85 kN

9.4 Discussion au sujet du serrage des boulons S6:19 | 17.25.5

Pour obtenir un assemblage antiglissement, la méthode du tour de l'écrou est exigée par la norme. Suite au serrage à bloc, le boulon et l'écrou subissent une rotation relative donnée qui permet d'étirer le boulon et fournir la force de précontrainte. Celle-ci génère le frottement requis pour l'assemblage antiglissement.

Si les parois de la corde se déforment vers l'intérieur, le boulon aura perdu de l'étirement ainsi que de la force de précontrainte. Le manchon interne a pour rôle de prévenir l'écrasement des parois du tube lors du serrage des boulons avec la méthode du tour de l'écrou. Il faut donc valider que la rigidité du manchon est suffisante.



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	69 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson 

S6:19 | tab. 17.12
 S6:19 | tab. A10.1.3
 Acier1 | éq. 4.2
 Alum2 | 7.4.1 sous tableau 7.5

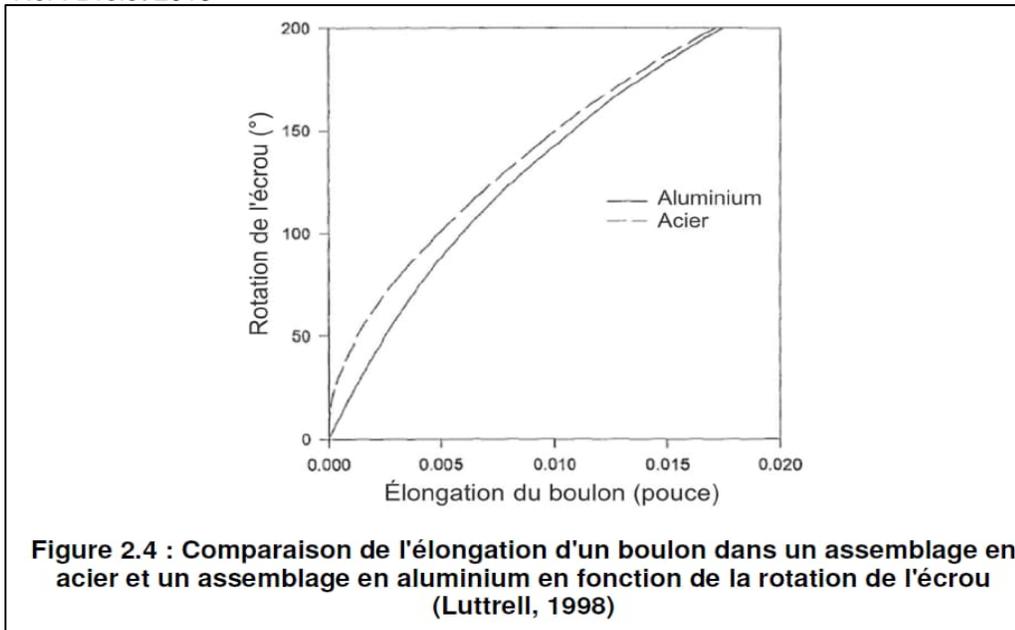
Un premier point à clarifier concerne le fait que l'acier et l'aluminium demandent la même rotation relative de l'écrou pour obtenir 70% de la charge ultime du boulon, et ce, malgré le fait que les plaques assemblées sont plus flexibles en aluminium qu'en acier. Beaulieu réfère à l'article suivant qui explique cette situation.

Luttrell 1999 Turn-of-the-nut method for aluminum joints.pdf

Extrait de Drolet 2018 :

ASTM F3125 grade A325. Selon Luttrell (1998), l'explication de ce résultat réside dans l'étape du serrage à bloc. Il semblerait que cette étape du serrage se débarrasse plus aisément des non-linéarités initiales d'un assemblage en aluminium que celles d'un assemblage en acier. De ce fait, le boulon est plus rapidement sollicité par la rotation de l'écrou dans un assemblage en aluminium que dans un assemblage en acier, comme démontré par les courbes de la figure 2.4.

Réf : Drolet 2018



Réf : Luttrell 1999

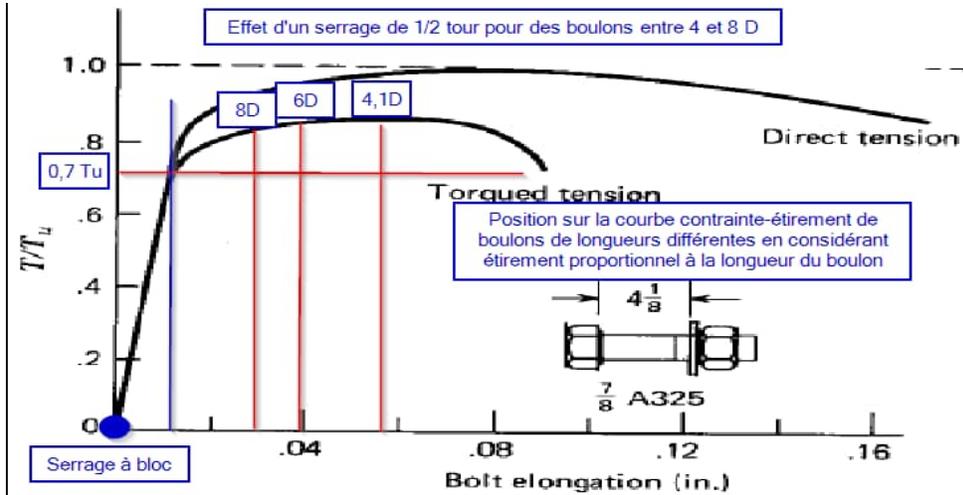
Donc, le tour d'écrou garanti la force de précontrainte malgré la flexibilité de l'aluminium.

Par ailleurs, l'étude de la littérature sur les assemblages antiglisement explique que l'atteinte du plateau plastique du boulon fait en sorte que la précision sur le serrage initial et sur la fraction de tour à appliquer pour le serrage final a peu d'impact sur l'effort final obtenu. Cela permet justement de regrouper plusieurs longueurs de boulon sous la même catégorie de tour d'écrou.

S6.1:19 | C10.1.6.7
 S6.1:19 | C17.25.5.3

"Because the bolt as a whole is tightened into the inelastic range (the flat portion of the the load-deformation curve), the exaction location of "snug-tight" is not critical."

On constate avec le graphique suivant la tension dans un boulon en fonction de son étirement.



<https://www.researchgate.net/figure/load-versus-elongation-relationship-of-A325-equivalent-to-G88-bolts-tested-in-t>

Pour l'assemblage à l'étude, voici l'étirement prévu par la norme

Boulon	1.125 po	
Pas	7 thread/in	HBSC p. 6-158
		https://www.portlandbolt.com/technical/faqs/a325-and-a490-with-fine-thread/#:~:text=Can
Grip	262 mm	HBSC p. 6-158
Longueur B	300 mm	HBSC p. 6-159
Longueur B	10.5 D	S6:19 tab. 17.12
Tour	0.67	S6:19 tab. 17.12
Étirement	0.10 po	
Étirement	2.42 mm	
Déformation	0.0092 m/m	

Cet étirement aurait été le même pour un boulon de 8D. S6:19 | tab. 17.12

Longueur B	228.6 mm	
Grip	190.6 mm	
Étirement	2.42 mm	
Déformation	0.0127 m/m	Cette déformation plastique serait donc acceptable

Si on reporte cette déformation sur le boulon initial

Étirement	3.33 mm
Delta	0.91 mm
Delta	0.25 tour
Delta	90 degrés

Donc en théorie, on pourrait pivoter l'écrou de 90 degrés de plus que spécifié par la norme et obtenir l'étirement pour la configuration 8 diamètres. La tolérance de +30° serait encore applicable.

Le boulon serait ainsi étiré de 0,91 mm supplémentaires.

Rappelons qu'étirer davantage le boulon n'engendre pas nécessairement davantage de précontrainte vu l'atteinte du plateau plastique.

La dernière étape consiste à évaluer la déformation élastique de l'assemblage tube-manchon qui résultera de l'application de la force de précontrainte du boulon.

Une option intéressante sera de tester physiquement le montage à l'aide de LVDT précis.

Le manchon est inséré dans le tube.

L'axe des trous est vertical

8 disques d'acier sont placées comme appuis à la face inférieure

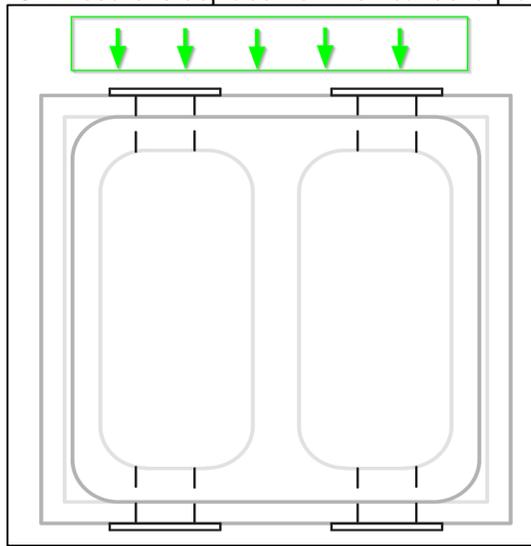
À la face supérieure, on usine une plaque de transfert ayant elle aussi 8 disques

Les disques représentent l'empreinte des rondelles (washers)

On applique la somme des charges des 8 boulons sur la plaque de transfert supérieure.

Cette force est calculée plus bas 2075 kN

On mesure le déplacement vertical de la plaque de transfert avec plusieurs LVDT.



Au final, le déplacement obtenu / pas du filetage doit être ajouté comme rotation de l'écrou lors du serrage.

Force de serrage dans les boulons

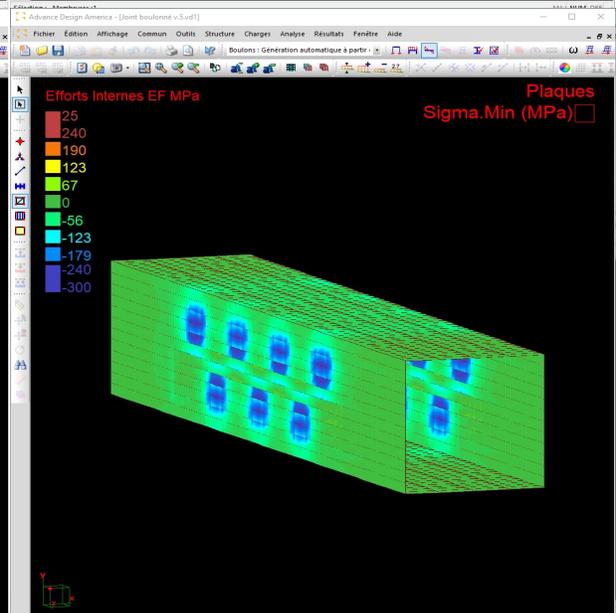
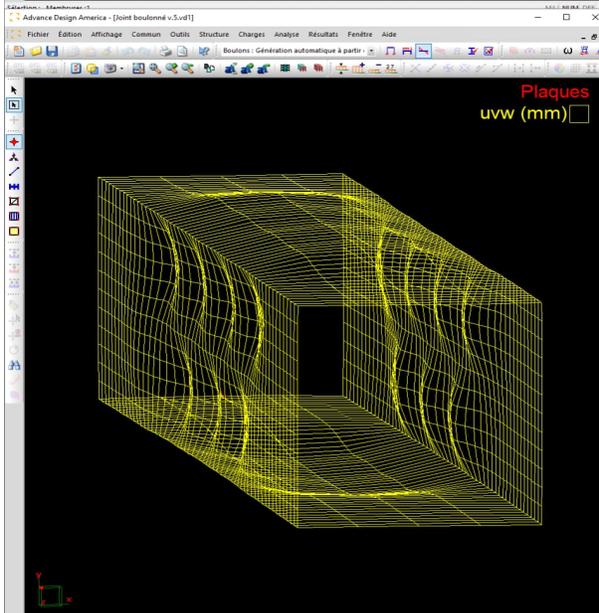
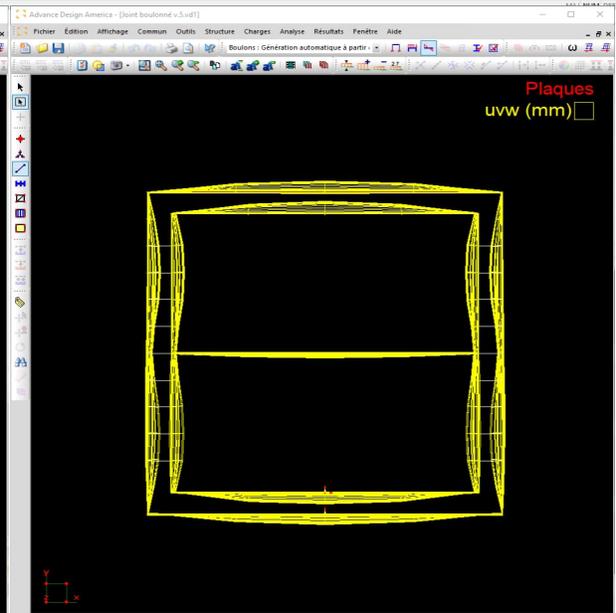
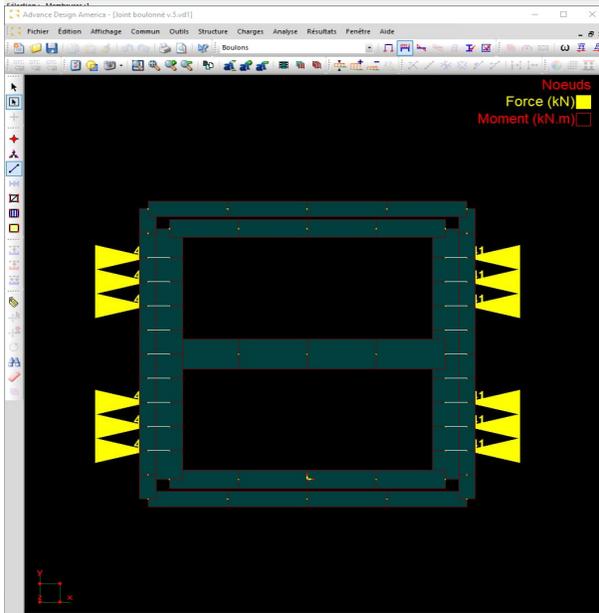
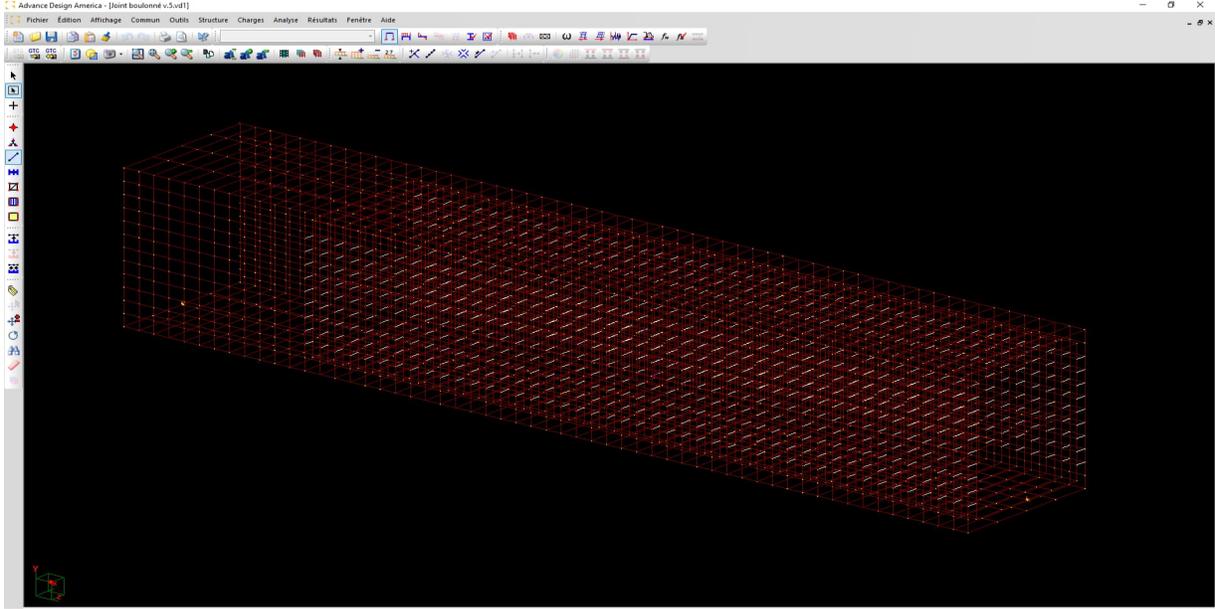
$$T_0 = 0.7 T_u = 0.7 * 0.75 A_b F_u \quad \text{Acier1 | éq. 4.2} \quad 244 \text{ kN}$$

Tel que montré dans les graphiques précédent, on choisit 0,85 Tu comme force réelle attendue

$$T_0^* = 0.85 T_u = \quad 296 \text{ kN}$$

$$\text{Répartie sur 9 nœuds ADA} \quad 33 \text{ kN}$$

En attente des résultats d'essais physiques, un modèle ADA est préparé pour évaluer les déformations anticipées. Le modèle est décrit sommairement en annexe.



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	73 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>WSP</i>

On obtient la déformation totale suivante (soit 2x la déformation de chaque côté du modèle)

Delta	0.80 mm
Delta	0.22 tour
Delta	79 degrés

Une brève vérification est effectuée pour la résistance à la compression des parois internes du manchon

	Tube	Man. cent	Man. ext		
Fo	240	240	240	MPa	S6:19 17.11.2.2
L	254	210	210	mm	Autocad
t	12.7	15	15	mm	Autocad
K	0.65	0.65	0.65		S16-19 fig F.1
$I = 1/12 bh^3$	170699	281250	281250	mm ⁴	
A = 1000 h	12700	15000	15000	mm ²	
$r = \sqrt{I/A}$	3.7	4.3	4.3	mm	
$\lambda = KL/r$	45	32	32		S6:19 17.11.3.2
λ_*	0.84	0.59	0.59		S6:19 17.11.2.1
Classe	Classe 3	Classe 3	Classe 3		S6:19 17.11.2.1
α	0.2	0.2	0.2		S6:19 17.11.2.3
λ_{o*}	0.3	0.3	0.3		S6:19 17.11.2.3
β	1.29	2.03	2.03		S6:19 17.11.2.3
F _*	0.80	0.92	0.92		S6:19 17.11.2.3
F _c =F _* Fo	192	221	221	MPa	S6:19 17.11.2.3
$\sigma_r = \phi_y F_c$	173	199	199	MPa	S6:19 17.12.2b)i)
wf	208	1430	1160	kN/m	ADA
σ_f	16	95	77	MPa	ADA
D/C	0.09	0.48	0.39		

10 CONCEPTION DU TREILLIS POUR LA FATIGUE

10.1 États limites de fatigue S7:23 | 9.3.5

Avec l'arrivée de la norme CSA S7, les concepteurs doivent considérer l'effet de la fatigue pour les passerelles piétonnières.

S6:19 17.20.2.5

À la base, cet article de S6 interdit entre autres les soudures à pénétration partielles (qu'on retrouve aux joints soudés à $< 60^\circ$ pour les contreventement) ainsi que pour les support envers permanent transversaux (qu'on retrouve pour les épissures des cordes).

Cette interdiction est en vigueur si des charges cycliques sont présentes. Il est donc essentiel de démontrer que le treillis n'est pas soumis à des charges cycliques.

S7:23 | 9.3.5.3

La norme CSA S7 fournit les indications pour évaluer l'effet de la fatigue dans les passerelles piétonnières.

Critère de conception : $F_{sr} \geq f_{sr}$

S7:23 | 9.3.5.4

Dans cet article, on considèrera que $F_{sr} = F_{srt}$. Des détails de catégorie spécifiques sont donnés pour vérifier les détails qui sont interdits par S6 comme ceux cités précédemment.

S7:23 | 9.3.5.7

Si 9.3.5.4 est rencontré, la norme CSA S7 permet de considérer que la structure est chargée de façon statique aux yeux de W59.2. Les détails précédents seraient alors acceptables.

Il est donc essentiel de rencontrer le critère de durée de vie infinie pour la résistance à la fatigue.

10.1.1 *Résistance à la fatigue* S7:23 | 9.3.5.4

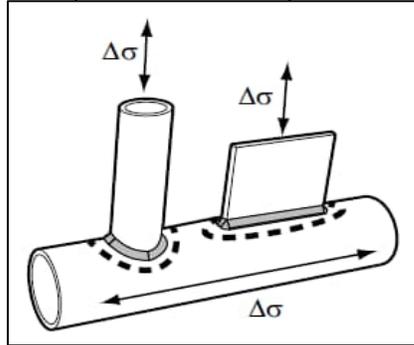
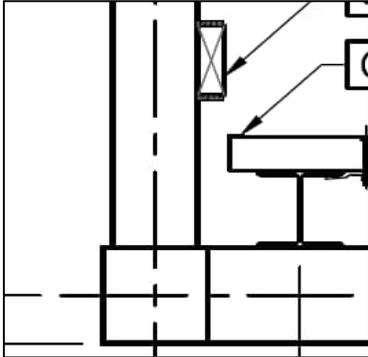
Il s'agit dans un premier temps de déterminer les types de détails de fatigue qui sont applicables pour les cordes du treillis.

On conclut qu'on doit considérer un détail E pour les cordes du treillis avec des contraintes calculées selon la section brute des cordes.

Détail	$F_{sr} = F_{srt}$	S7:23 9.3.5.4	12.6 MPa
A	70	S6:19 tab. 17.6	
B	37.2		
C	27.7		
D	17.3		
E	12.6		

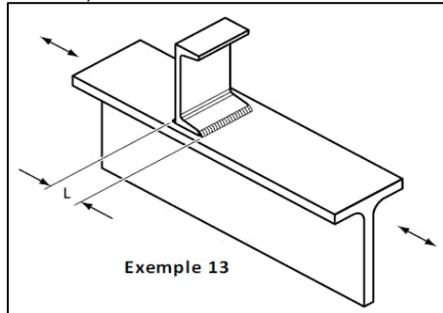
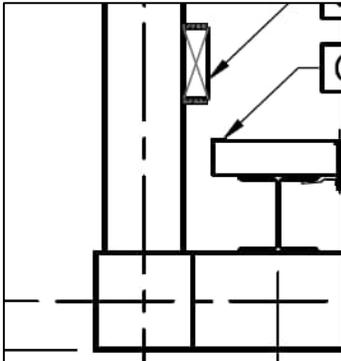
Intersection des diagonales, verticales et entretoises S7:23 | 9.3.5.4 + S6:19 | 12.5.5.4.3
 Catégorie de détail E S6:19 | tab. 12.9 Note 1
 Exemple correspond. 5.5 S6:19 | tab. 12.9
 Justification Assemblages dans une poutre triangulée -> Note 1

La note 1 indique $F_{sr} = 31 \text{ MPa}$ pour la membrure principale (corde)
 F_{sr} acier doit être divisé par 2.6 = 12 MPa pour l'aluminium
 On conclut donc que ce détail est équivalent au détail E



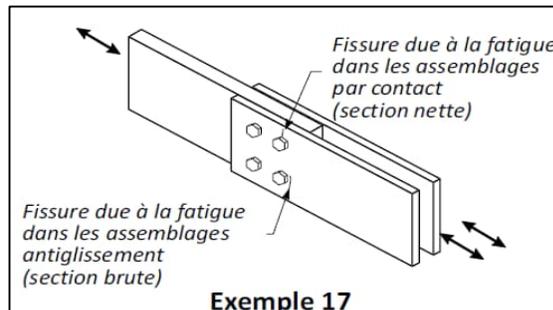
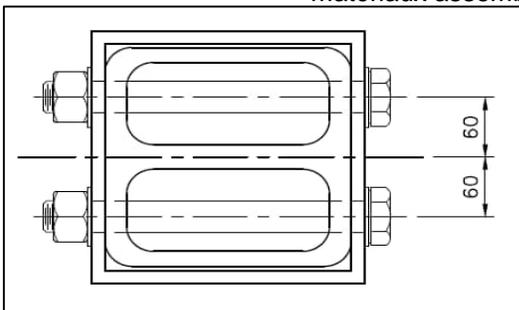
Intersection des diagonales, verticales et entretoises
 Catégorie de détail E S6:19 | tab. 17.9
 Exemple correspond. 13 S6:19 | fig. 17.5
 Justification Pas clair si on doit considérer la largeur comme de la paroi d'une membrure secondaire ou considérer la dimension total de la pièce transversale.

Par conservatisme, on considère la dimension de la pièce > 100 mm



Jointes boulonnés
 Catégorie de détail D ou E selon ratio σ S6:19 | tab. 17.9
 Exemple correspond. 17a S6:19 | fig. 17.5
 Justification Assemblage antiglisement donc section brute

On considère l'aire du tube car l'aire du manchon est >.
 On considère que la configuration du joint n'entraîne pas la courbure hors plan des matériaux assemblés.

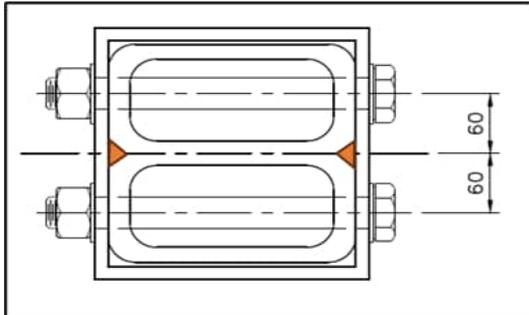


Soudure longitudinale du manchon

Catégorie de détail E S7:23 | 9.3.5.4

Exemple correspond. -

Justification Ce détail n'est pas explicitement mentionné comme longitudinal mais c'est une hypothèse très conservatrice considérant que l'acier donne B1 pour PP longi. L'aire efficace du manchon soudée demeure > que celle du tube

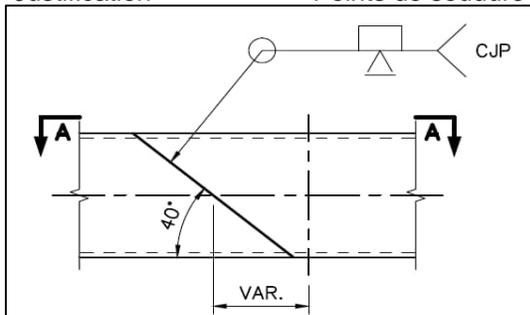


Soudures PC des cordes

Catégorie de détail D S7:23 | 9.3.5.4

Exemple correspond. -

Justification Points de soudure à l'intérieur du joint



10.1.2 Variations de contraintes : Analyse simplifiée

S7:23 | 9.3.5.2

expliqué

1.40

ADA calcule les variations de contraintes dans les cordes. Il faut bien comprendre les notions suivantes.

Les $\Delta\sigma$ sont calculées à partir des propriétés de section brutes - ok

Les $\Delta\sigma$ incluent l'axial et la flexion selon deux directions qui pourraient ne pas être concomitantes

Les $\Delta\sigma$ sont basés sur l'enveloppe des combinaisons ÉLF, ce qui est très conservateur car les efforts ne sont pas concomitants. C'est toutefois simple à analyser

Le calcul en annexe montre que la variation de contraintes est inférieure à la résistance pour la majorité des membres. Quelques exceptions voient des variations de contraintes plus élevées

Il est probable que ces zones soient renforcées pour le design final.

Joint boulonnés

Zone en moment négatif près de la pile

Zone de transition

Portique d'entrée

fsr simplifié

17.7 MPa

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	77 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>wsp</i>

Donc, en deuxième niveau de raffinement, on sépare les cas de chargement en trois sous-enveloppes

ÉLF1a	Cas avec piétons
ÉLF1b	Cas avec véhicule d'entretien
ÉLF2	Cas avec le vent

10.1.3	<i>Variations de contraintes : ÉLF1a</i>	S7:23 9.3.5.2	0.75
	fsr	9.5 MPa	
10.1.4	<i>Variations de contraintes : ÉLF1b</i>	S7:23 9.3.5.2	0.83
	fsr	10.5 MPa	
10.1.5	<i>Variations de contraintes : ÉLF2</i>	S7:23 9.3.5.2	*expliqué* 1.08
	fsr	13.6 MPa	

Une seule membrure montre une sollicitation > 100%. Il s'agit de la corde inférieure près de l'appui central. La modélisation des unités de fondations qui ne seront pas infiniment rigides pourrait alléger ces efforts. Le tout est à raffiner à la conception détaillée en fonction de la portée finale.

Il n'est donc pas requis de faire une analyse de durée de vie en fatigue S7:23 | 9.3.5.6

On conclut donc que le treillis peut être considéré comme chargé statiquement, ce qui a des implications importantes au niveau de CSA W59.2 ainsi que des détails de soudage acceptés dans S6. S7:23 | 9.3.5.7

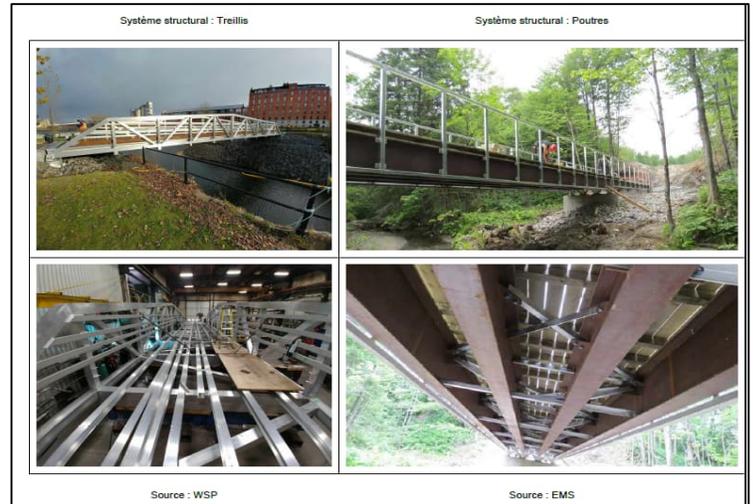
11 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE

Cette section présente les calculs préliminaires de début de projet ayant servi à définir la géométrie. Seul le scénario retenu est détaillé dans les sections précédentes de cette NDC.

11.1 Segment courbe en poutres (calculs manuels)

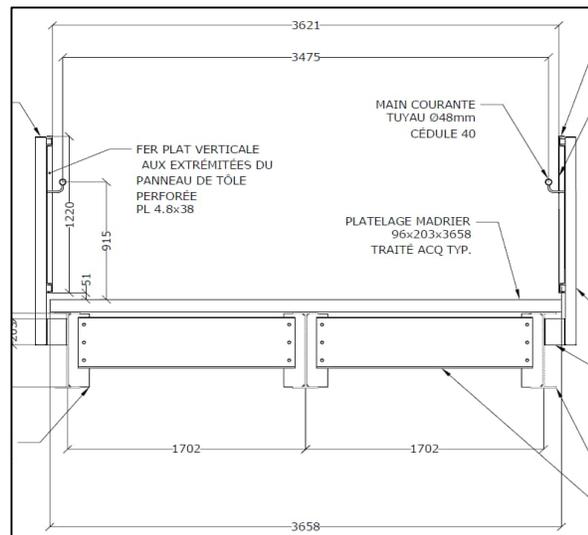
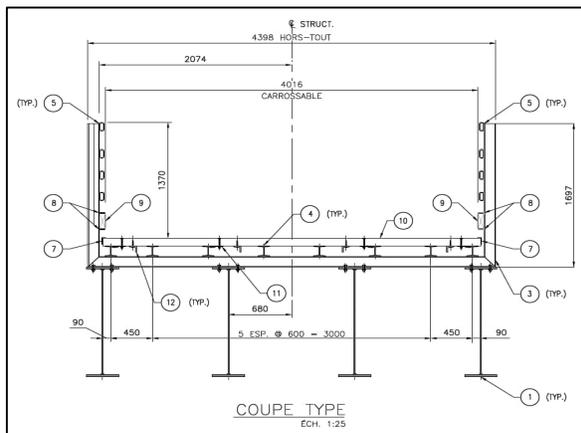
11.1.1 *Référence avant-projet concept Aluminium - Bois*

Portée	27000 mm
Largeur carrossable	4000 mm
Prof poutres	1300 mm
Largeur hors-tout	4398 mm
Longueur hors-tout	27250 mm
Hauteur hors-tout	2997 mm
Poids total	229 kN
Poids charpente alu	153 kN
Poids platelage bois	76 kN



Réf : Alu-Québec

11.1.2 *Calcul des charges non-pondérées*



Portée au CL de la travée principale **17802** mm

Pour amplifier la portée par un facteur de 1,4 pour considérer l'effet de la courbe prononcée.

	H&W	RDL	Ratio	
Portée	27000	24923	0.9	mm
Largeur carrossable	4000	3400	0.9	mm
Piétons	4.0	4.8	1.2	kPa

On estime la charge linéaire d'aluminium comme proportionnelle à la largeur carrossable et à la portée.

Aluminium	5.7	4.4	kN/m
-----------	-----	-----	------

On estime la charge linéaire de bois et celle des piétons comme proportionnelles à la largeur carrossable.

Bois	2.8	2.4	kN/m
------	-----	-----	------

Piétons	16.0	16.3	kN/m
---------	------	------	------

11.1.3 Calcul des efforts préliminaires

On considère une charge uniformément répartie pour une portée simple pour débiter.

Un système continu réduira les efforts de flexion.

La charge de piéton de 4,8 kPa est également conservatrice.

L'effet de la courbe est tenu en compte en augmentant la portée.

Le résultat préliminaire devrait donc constituer une borne supérieure.

L'effort de flexion dans les poutres est obtenu en divisant le moment par le nombre de poutres.

Nombre de poutres	3	poutres
-------------------	---	---------

	αf	w	wf	Poids np	Poids np	Mf/poutre	Vf/poutre
		kN/m	kN/m	kN	lbs	kN-m	kN
Aluminium	1.1	4.4	4.9	79	17751	127	20
Bois	1.2	2.4	2.9	43	9552	74	12
Piétons	1.7	16.3	27.7	291	65156	718	115
Total		23	36	412	92459	919	147

11.1.4 Optimisation des semelles des poutres

S6:19 | fig. 17.7

On considère des poutres assemblées composées de trois plaques (semelle, âme, semelle).

Cette approche a pour avantage d'être plus simple pour les cambrures de fabrication.

La situation #4 du chiffrer Alu-Compétence sera retenue pour la MNRL.

La situation #8 du chiffrer Alu-Compétence sera retenue pour la MRL.

Pour optimiser la résistance, il est important de ne pas étendre la ZAT à la pleine largeur du prolongement (voir astérisque sous cette figure).

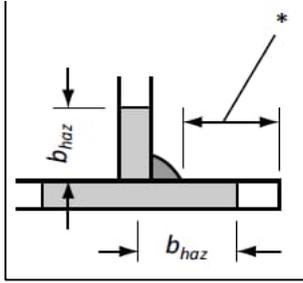
S6:19 | fig. 17.7

De plus, on vise une classe 2 pour la semelle, i.e. $\lambda_< 0,5$

S6:19 | 17.12.1

On vérifie ici diverses combinaisons de bf et tf et on identifie lesquelles rencontrent ces deux critères.

Dimension soudure d'angle	8 mm
Épaisseur âme	12 mm
Hauteur âme (dimensions a)	970 mm



Références

bhaz	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
b	S6:19 17.9.1.1
m	S6:19 17.9.1.3.2
λ	S6:19 17.9.1.1
$\lambda_$	S6:19 17.9.2.1
*	S6:19 fig. 17.7

bf	tf	bhaz	b	m	λ	$\lambda_$	*	* / bhaz
mm	mm	mm	mm					
250	20	35	125	5.0	31	0.58	111	3.17
250	25	35	125	5.0	25	0.47	111	3.17
250	30	40	125	5.0	21	0.39	111	2.78
250	35	40	125	5.0	18	0.33	111	2.78
250	40	40	125	5.0	16	0.29	111	2.78
250	45	40	125	5.0	14	0.26	111	2.78
250	50	40	125	5.0	13	0.23	111	2.78
300	20	35	150	5.0	38	0.70	136	3.89
300	25	35	150	5.0	30	0.56	136	3.89
300	30	40	150	5.0	25	0.47	136	3.40
300	35	40	150	5.0	21	0.40	136	3.40
300	40	40	150	5.0	19	0.35	136	3.40
300	45	40	150	5.0	17	0.31	136	3.40
300	50	40	150	5.0	15	0.28	136	3.40
350	20	35	175	5.0	44	0.82	161	4.60
350	25	35	175	5.0	35	0.65	161	4.60
350	30	40	175	5.0	29	0.54	161	4.03
350	35	40	175	5.0	25	0.47	161	4.03
350	40	40	175	5.0	22	0.41	161	4.03
350	45	40	175	5.0	19	0.36	161	4.03
350	50	40	175	5.0	18	0.33	161	4.03
400	20	35	200	5.0	50	0.93	186	5.31
400	25	35	200	5.0	40	0.75	186	5.31
400	30	40	200	5.0	33	0.62	186	4.65
400	35	40	200	5.0	29	0.53	186	4.65
400	40	40	200	5.0	25	0.47	186	4.65
400	45	40	200	5.0	22	0.41	186	4.65
400	50	40	200	5.0	20	0.37	186	4.65

11.1.5 M_r poutres

S6:19 | 17.12

0.95

M_r MNRL	Situation #4
M_r MRL	Situation #8

Voir annexe A08
Voir annexe A08

1724 kN-m
966 kN-m

11.1.6 V_r âme raidie

S6:19 | 17.12.4.1.3

0.12

V_r

Voir annexe A08

1262 kN

11.2 Segment courbe en poutres (modèle ÉF)

S6:19 | 10.13.6

La présente section approfondi le dimensionnement de la section courbe à l'aide d'un modèle d'éléments finis préliminaire permettant de prendre en compte les contraintes de gauchissement dans les semelles.

Le modèle ADA est décrit dans la section de validation du modèle d'éléments finis.

On modélise trois travées de 60 degrés avec CV transversaux aux 5 degrés.

On fait l'hypothèse que les méthodes de calcul pour l'acier s'appliquent à l'aluminium.

La charge répartie correspondant à l'ÉLUL est appliquée dans le modèle.

11.2.1 *Rapport fw / fb*

S6:19 | 10.13.6.1.1a)

0.90

Limite maximale 0.5

Valeur représentative 0.45

Les contraintes dans chaque semelles sont extraites dans Excel.

Les ratios fw/fb s'étendent de 0 à 1000 %.

Certaines semelles sont très faiblement chargées dans les zones de point d'inflexion par exemple.

Dès qu'une contrainte de gauchissement est présente, le ratio dépassera la valeur de 0,5

Un autre point à considérer est que la charge entrée est sévère (4,8 kPa).

Jusqu'à 63% de fb max, on obtient un ratio fw/fb < 0,5

La norme mentionne "dans la mesure du possible".

On retient qu'il y a donc beaucoup de gauchissement en comparaison à la flexion verticale.

11.2.2 *Résistance de chaque semelle*

S6:19 | 10.13.6.1.2a)

0.71

$$M_{fx} / M_{rx} + M_{fw} / M_{rw} < 1$$

En acier

$M_{fx} = f_b$ Moment selon l'axe fort

$M_{rx} = \phi_s F_y S_x$

On compare donc fb à $\phi_s F_y$.

$M_{fw} = f_w$ Moment selon l'axe faible dans la semelle

$M_{ry} = \phi_s F_y S_y$

On compare donc fw à $\phi_s F_y$.

Ultimement, c'est de comparer σ_{max} aux extrémités des semelles à $\phi_s F_y$.

Signification pour l'aluminium

Ce premier calcul concerne donc les contraintes dans la section retenue latéralement

En aluminium avec des semelles de classe 3,

$M_{rx} = \phi_y S_m F_y$ pour la fibre comprimée

$M_{rx} = \phi_u S_n F_u$ pour la fibre tendue

S_m et S_n dépendent du soudage, voilement et trous

Le modèle EF est basé sur des propriétés de section brutes.

f_b et f_w de du modèle ÉF devront être amplifiées par un ratio du type S_x/S_m et ce, pour chaque axe (fort et faible). Donc S_y réduit à calculer

On pourra ensuite les comparer à F_y et F_u comme c'est fait en acier

PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	82 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>WSP</i>

Aux sections soudées transversalement, la résistance diminue environ de moitié.
Ce sera le cas à chaque raidisseur.

$$\sigma = \phi_y F_y \quad 216 \text{ MPa}$$

ϕ_y	0.90	S6:19 17.5.7a)
F_y	240 MPa	

$$\sigma = \sigma_{\max} * \text{amplification} \quad 154 \text{ MPa}$$

σ_{\max}	77 MPa	provenant du modèle ADA
amplification	2	pour soudage

11.2.3 *Stabilité de la semelle comprimée* S6:19 | 10.13.6.1.2b) **0.36**

$$M_{fx} / M_r + U_c M_{fw} / M_{ry} < 1$$

En acier

$M_{fx} = f_b$ Moment selon l'axe fort

M_r MNRL classe 3

On compare donc f_b ajusté selon S_x vs déversement à $\phi_s F_y$.

U_c On considère 1, car ADA fait analyse P-Delta

$M_{fw} = f_w$ Moment selon l'axe faible dans la semelle

M_{ry} $\phi_s F_y S_y$

On compare donc f_w à $\phi_s F_y$.

Signification pour l'aluminium

Ce second calcul concerne donc les contraintes dans la MNRL

Le seul élément qui change avec la section précédente est M_{rx} -> M_r

Les mêmes principes que la section précédente s'appliquent donc.

En aluminium

$$M_r = \phi_y S_x F_{F_0}$$

S_x est directement isolé ce qui est un avantage p/r calcul acier.

F_{F_0} et F_0 dépendent du soudage, voilement et trous

Le modèle EF est basé sur des propriétés de section brutes.

f_b et f_w de du modèle ÉF devront être amplifiées par ratio du type F_y / F_{F_0}

On pourra ensuite les comparer à F_y

On constate que dans les zones non-retenues latéralement, M_r MNRL est environ 2x plus élevé que M_r MRL aux raidisseurs pour CV. F_y / F_{F_0} est proche de 1,0.

$$\sigma = \phi_y F_y \quad 216 \text{ MPa}$$

ϕ_y	0.90	S6:19 17.5.7a)
F_y	240 MPa	

$$\sigma = \sigma_{\max} * \text{amplification} \quad 77 \text{ MPa}$$

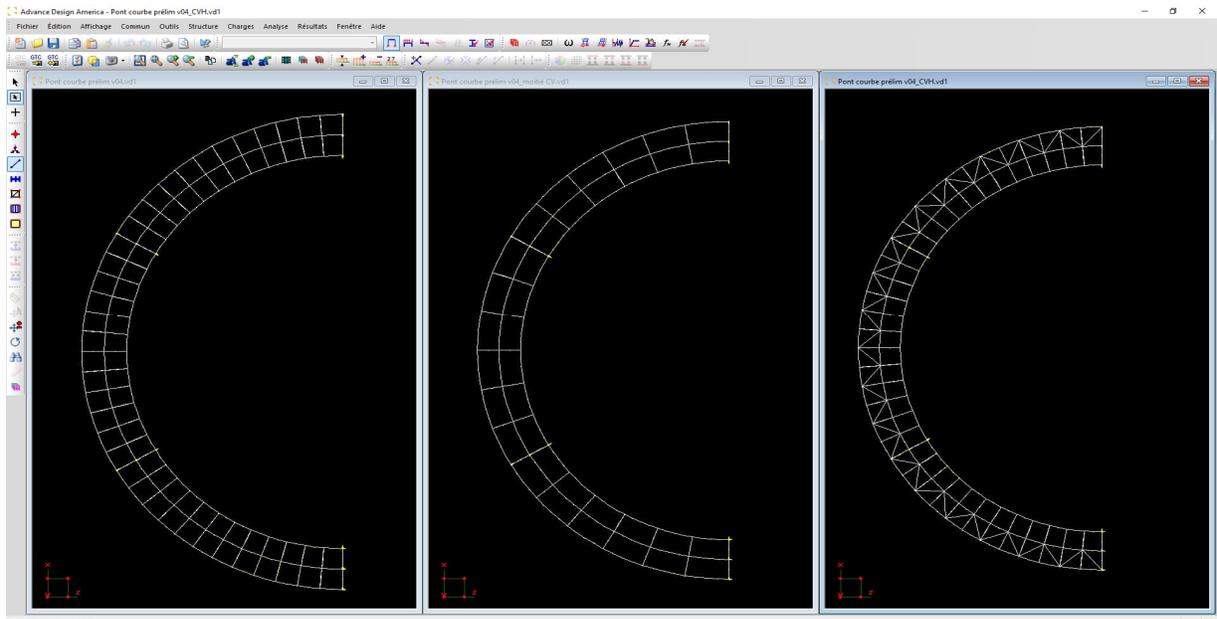
σ_{\max}	77 MPa	provenant du modèle ADA
amplification	1	pour soudage

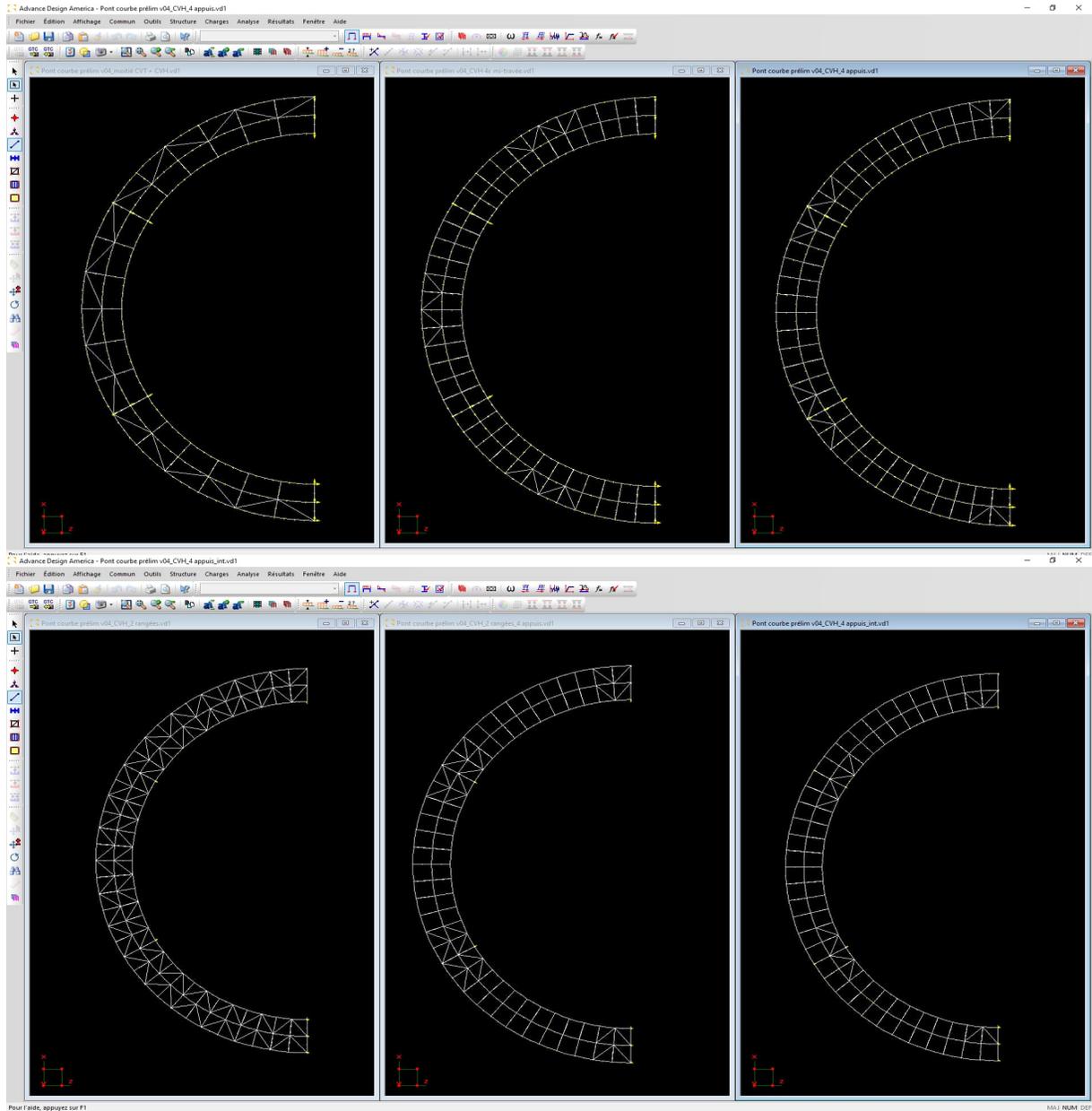
On comprend que le déversement ne gouverne pas la conception puisque la longueur libre non-supportée est petite en raison des CV à R/10.

11.2.4 Variantes de CV

On étudie l'influence de l'espacement des CV par rapport au scénario de base

	Nz	My	σ_z	flèche test	flèche 10kN	
Scénario de base	542	14	77	108	9	
Supprime 1/2 CV transversaux	554	31	132	124	10	trop σ_z
Ajout de CV horizontaux	389	7	55	58	5	↓ fl et σ_z
CV horizontaux et 1/2 CVT	449	20	97	73	6	
CVH 4 panneaux mi-travée	525	13	77	99	8	inefficace
CVH 4 panneaux appuis	438	8	62	73	6	efficace !
Ajout de CV horizontaux 2 rangs	349	5	48	45	3	
	90%	71%	87%	78%	60%	
CVH 4 panneaux appuis 2 rangs	391	7	55	59	5	
	89%	88%	89%	81%	83%	
CVH 4 panneaux appuis int.	414	8	58	67	6	
	95%	100%	94%	92%	100%	





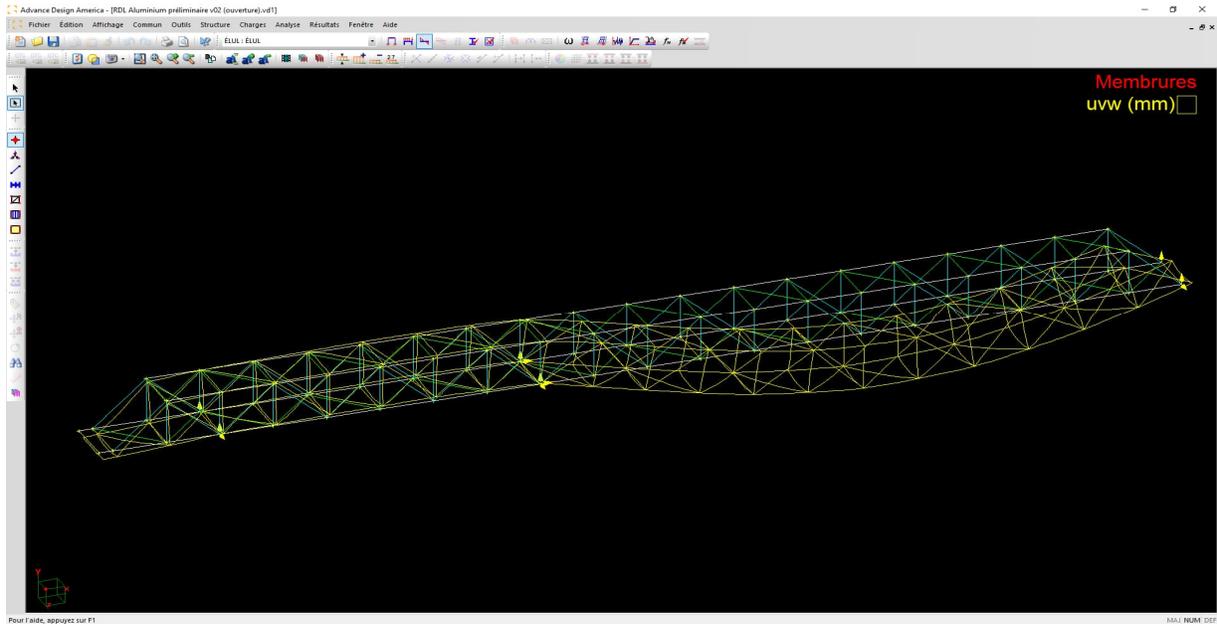
11.3 Zone de transition

11.3.1 *Modélisation éléments finis préliminaire*

Un modèle 3D ADA est monté pour étudier l'effet d'une ouverture dans le treillis.
 On modélise les membrures du treillis selon leur géométrie préliminaire.
 Des appuis simples sont positionnés selon les plans préliminaires.
 Les charges seront réparties uniformément sur les entretoises.

Longueur du pont	79000 mm
c/c cordes transversal	3900 mm
Largeur des panneaux	3900 mm
Nombre d'entretoises	21

	af	w longi	w entre	Poids np	Poids pond
		kN/m	kN/m	kN	kN
Aluminium	1.1	5.00	5.0	414	456
Bois	1.2	2.54	2.5	211	253
Piétons	1.7	16.32	16.3	1353	2300
Total		24	24	1978	3009



11.3.2 Ouverture dans le treillis

On supprime la verticale et les deux diagonales pour créer l'ouverture dans le modèle ADA.

Les effets notés les suivants :

- Déformée locale (25 mm en Y et 10 mm en Z)
- Pas de différence majeure dans l'effort axial des cordes et diagonales
- Flexion et cisaillement dans la corde inférieure (effet Vierendeel)
- Entretoise simplement appuyée vs encastrement initial
- Davantage d'efforts axiaux dans les CV dans la zone de l'ouverture

Des variantes sont ensuite étudiées

Déplacer ouverture un panneau vers le PAF

Avantageux

- Flexion dans la corde réduite de 30% et plus symétrique
- Moins de déplacement en Z
- Moins d'efforts axiaux dans les CV
- L'explication : C'est une zone avec moins d'efforts dans le treillis

Rotule dans la corde inférieure au centre de l'ouverture

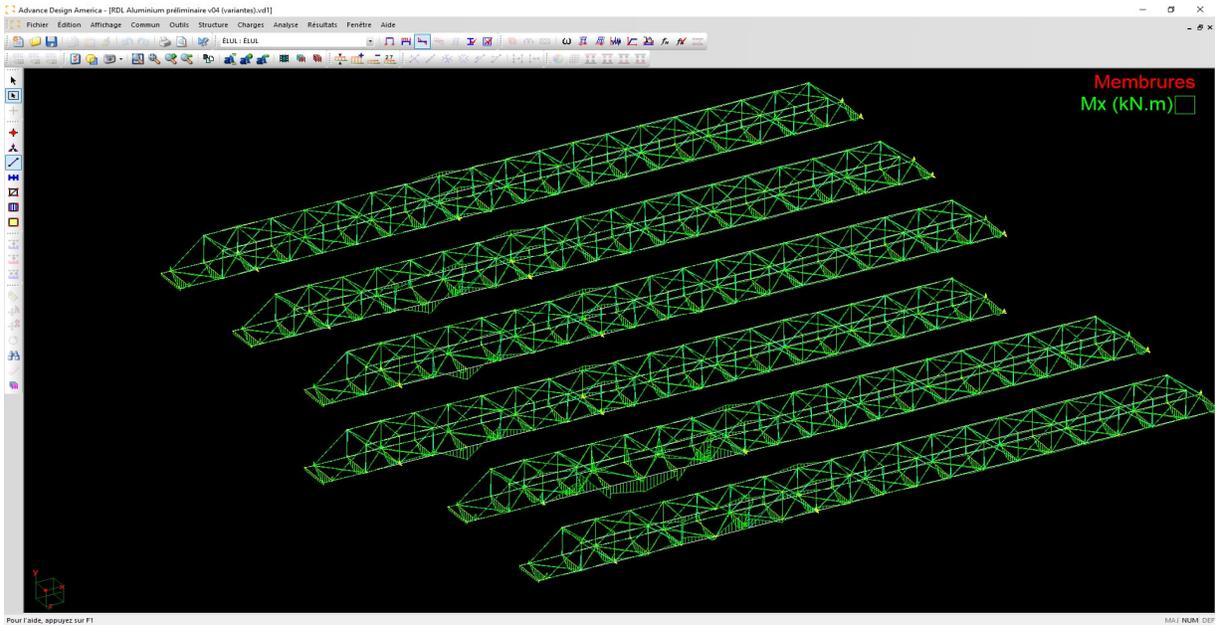
Non-retenu

- Déformations trop importantes
- Augmentation de la flexion

Ouverture plus grande sur 4 panneaux au total Non-retenu
 Déformations trop importantes
 Flexion excessive dans les entretoises et verticales

Membrure plus rigide corde inf Avantageux
 Augmente la rigidité de l'ouverture
 Attire un peu plus de flexion

1 tube 10x10x1/2 : Inertie	1.19E+08 mm ⁴	
2 tubes 10x5x1/2 : Inertie	8.22E+08 mm ⁴	6.9
1 tubes + 2 pl 1" : Inertie	3.61E+08 mm ⁴	3.0



11.3.3 Validation M_r corde inférieure renforcie

S6:19 | 17.12.2

0.32

On vérifie l'ordre de grandeur de M_f/M_r pour la corde inférieure fléchie dans l'ouverture.
 On suppose une plaque de 1" de part et d'autre. On approxime M_r en classe 2 avec F_{wy} .
 À cette étape du projet, il est préférable d'avoir une bonne réserve de capacité pour ce détail complexe.

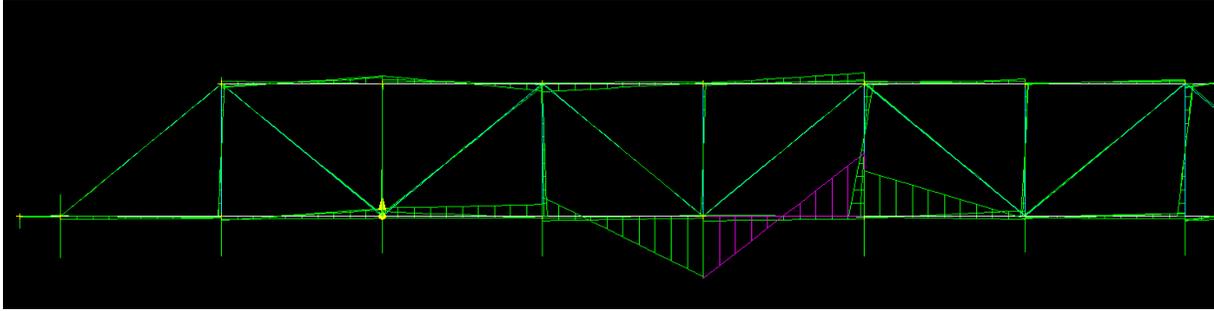
M_f selon modèle ADA 71 kN-m

$M_r = \phi_y S F_{wy}$ S6:19 | 17.12.2 224 kN-m

ϕ_y 0.90 S6:19 | 17.5.7a)

S 2370090 mm³

F_{wy} 105 MPa



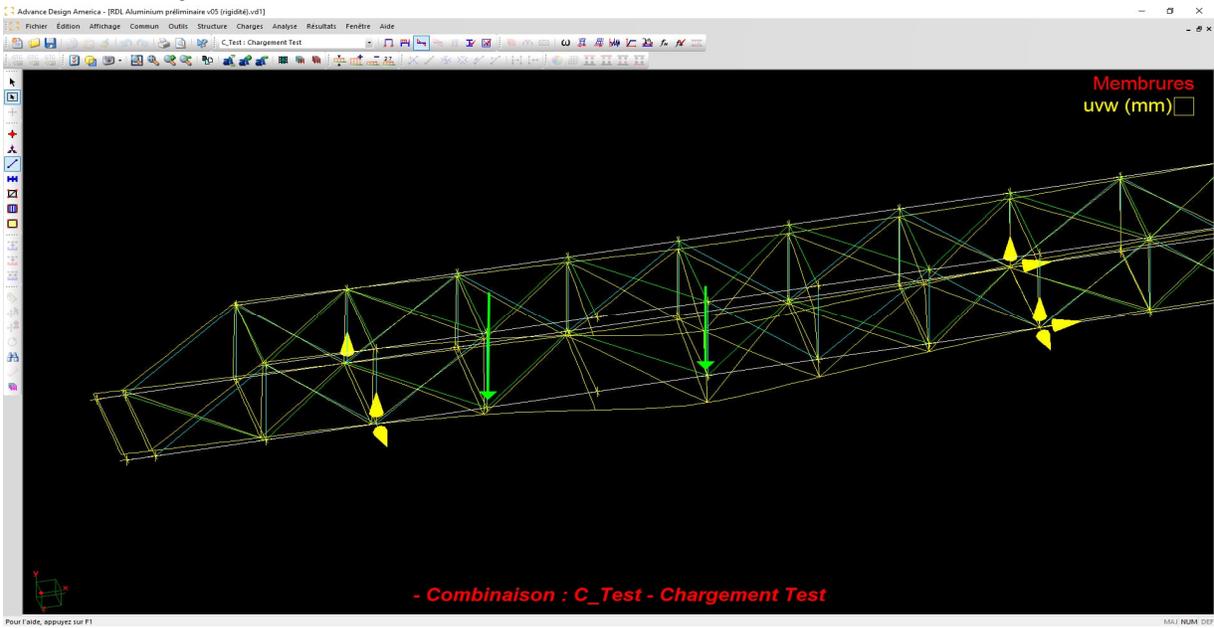
11.3.4 *Rigidité de chaque segment*

On compare ici la rigidité de chaque segment du pont.

On applique 10 kN à deux nœuds correspondant aux extrémités des ouvertures Vierendeel dans le modèle ÉF du treillis et on répète la même chose pour le modèle de la courbe.

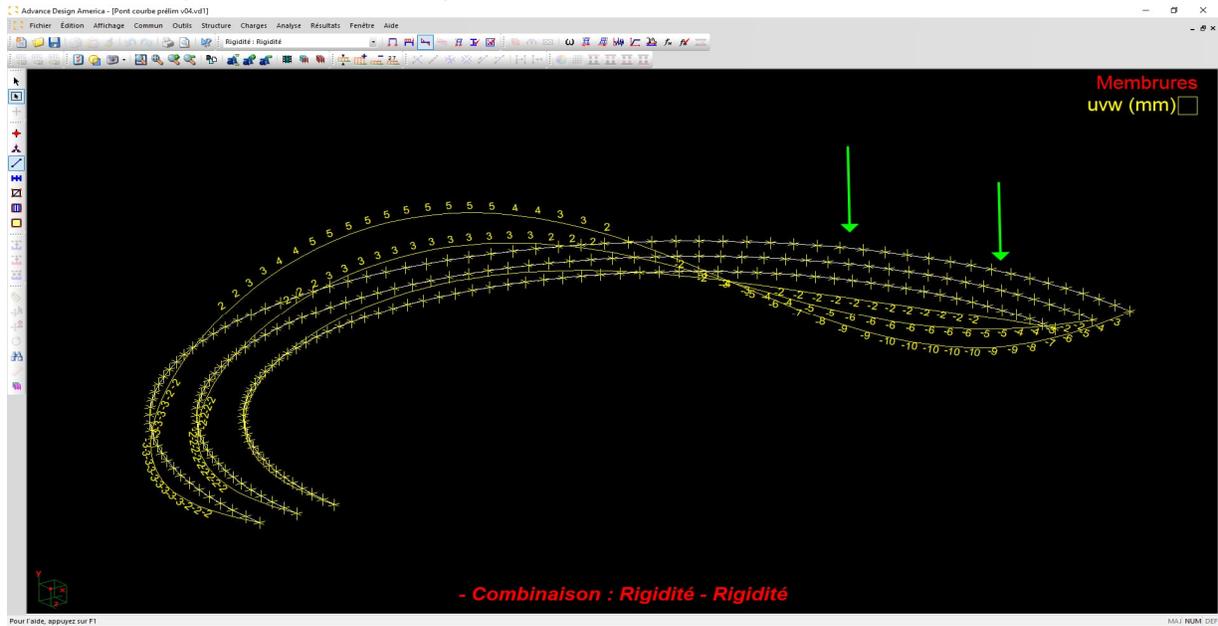
Treillis

10 kN -> 0 mm
 10 kN -> 1 mm



Courbe

10 kN -> 8 mm
 10 kN -> 9 mm



Il semble donc que le treillis soit beaucoup plus rigide que le segment courbe.
 La courbe va donc s'appuyer sur le treillis dès qu'elle sera chargée.



PROJET	Passerelle signature en aluminium - RDL	FEUILLE	89 de 89
NUMÉRO	221-11593-00	DATE	17 avril 2024
OBJET	Note de calculs	PAR	Benoit Cusson <i>BC</i>

**DERNIÈRE PAGE DU CAHIER DE CALCUL
AVANT LES ANNEXES**

PASSERELLE RDL EN ALUMINIUM

OBJET : Critères de conception

DATE : 5 février 2024

Le présent mandat consiste à reprendre la conception de la passerelle proposée en acier pour la ville de Rivière-du-Loup pour une alternative en version aluminium. Il est souhaité que la version aluminium soit au minimum équivalente à celle en acier pour assurer la crédibilité de cet exercice.

Les plans et devis de la version acier ont été étudiés en détail. Ce document présente les critères géométriques et de conception pour la version acier et ceux correspondant proposés pour la version aluminium. Certaines différences sont proposées en lien avec la nature des différents matériaux. D'autres part, le système structural en aluminium diverge de celui en acier pour être avantageusement plus simple, résistant et constructible. Certains critères de conception sont établis dans la version aluminium pour rendre celle-ci versatile en vue d'autres applications.

Nous sommes d'avis que de façon globale, la version aluminium proposée est définitivement comparable et même supérieure d'un point de vue de sécurité, de fonctionnalité, d'esthétisme et de constructibilité.

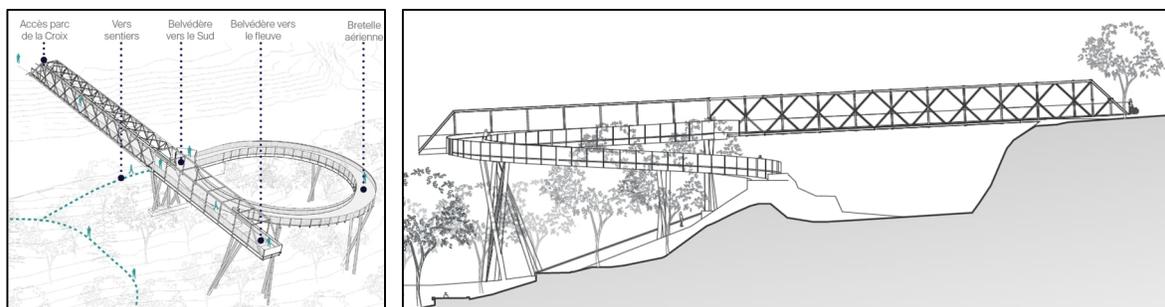


Figure 1 : Concept de référence en acier

Benoit Cusson, ing., M.Sc.

Concepteur – Ponts et structures de génie civil

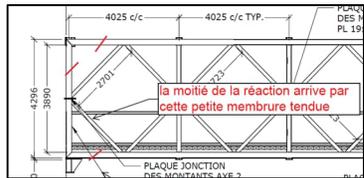
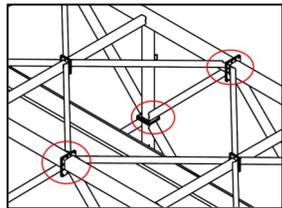
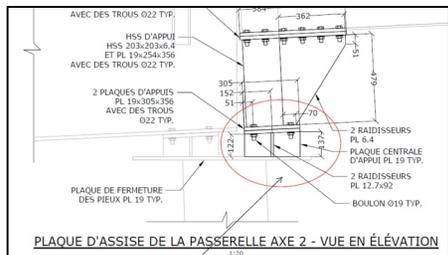


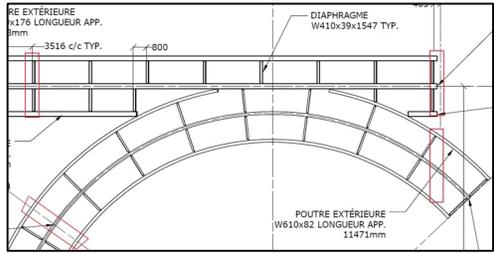
9160, boulevard Leduc
Suite 210
Brossard (Québec) J4Y 0E3
Canada

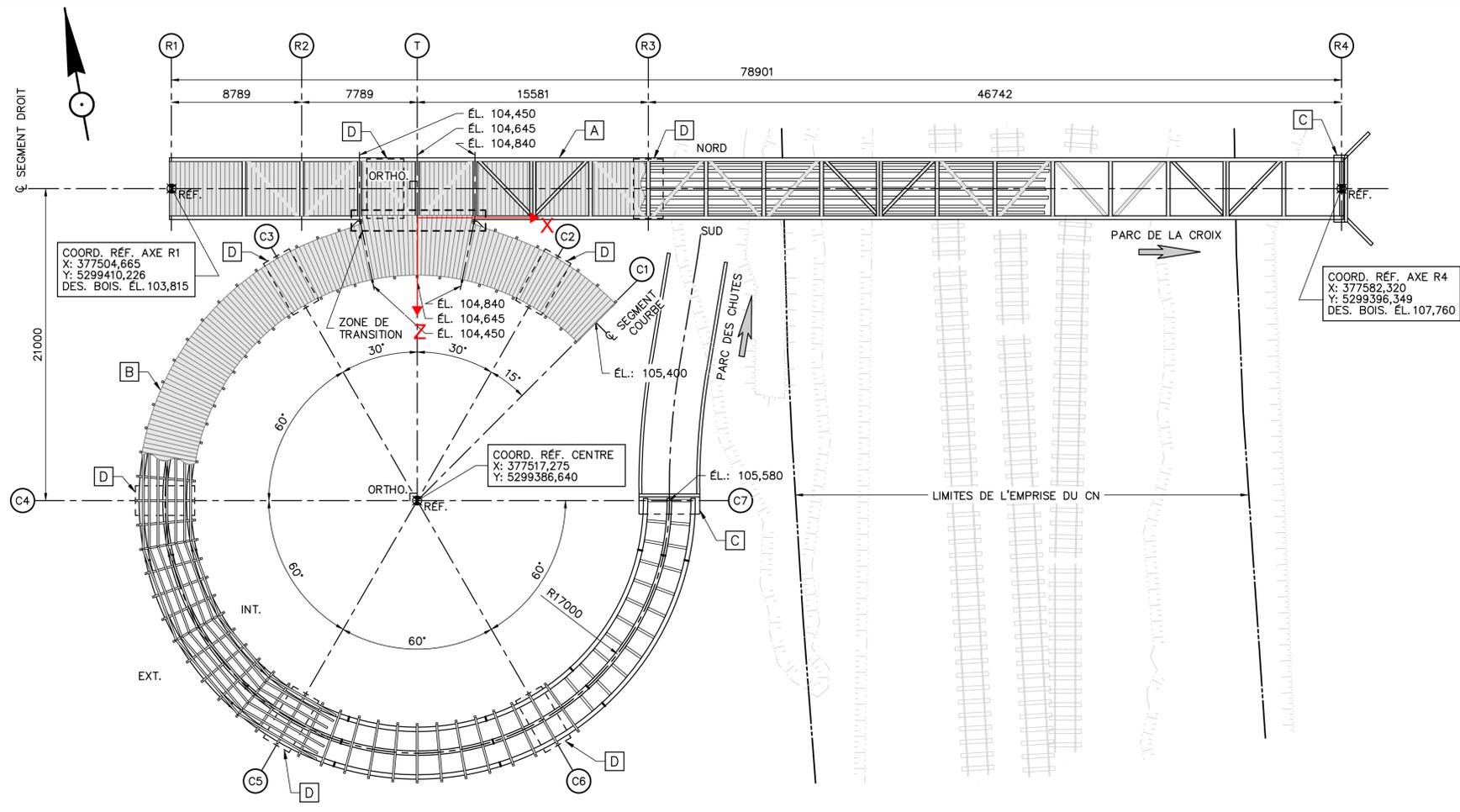
T: +1 450 679-7220
F: +1 450 670-9076
wsp.com

Catégories	Critère	Version Acier	Version Aluminium	Description
Gabarit	Pente longitudinale	5%	5%	Il manquerait des paliers de repos aux 10 m pour accessibilité universelle.
	Largeur carrossable	3428 mm entre les mains courantes	3400 mm entre les planches coup-de-pied.	La main courante sera à l'intérieur de cette largeur et on considèrera que le véhicule d'entretien a une <u>lame</u> de déneigement plus basse que la main courante.
	Dégagement vertical	3638 mm	3054 mm	<p>La version acier présente de nombreux joints boulonnés avec effet de levier. Elle serait assemblée au chantier.</p> <p>Pour la version aluminium, nous réduisons la profondeur du treillis pour prendre avantage d'une préfabrication à 100% et d'une longueur de transport jusqu'à 24 m. La passerelle serait livrée en segments de pleine profondeur.</p> <p>Quelques dégagements verticaux de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colibri : 2500 mm exigé, 2900 mm conçu • Radisson Brossard : 3100 mm • Normandie Longueuil : 3300 mm • Camion <u>Massey Ferguson</u> (ville de Montréal) : 2750 mm • Appareil de déneigement moderne <u>Bobcat</u> : 2057 mm
Segment rectiligne	Concept structural	1) Treillis simplement appuyé 2) Système à poutre avec fausse charpente supérieure	Treillis continu sur toute la longueur. Longerons. Ouverture de type Vierendeel pour transition	Dans la version acier, la connexion proposée entre les poutres rectilignes et courbes est fort complexe. L'approche pour la version aluminium consiste à simplifier le cheminement des efforts dans le système structural. Les longerons diminuent la portée des planches de bois.
	Longueur totale	78427 mm	79000 mm	
	Portée principale	46391 mm	46800 mm	
	Porte-à-faux Ouest	8572 mm	8800 mm	

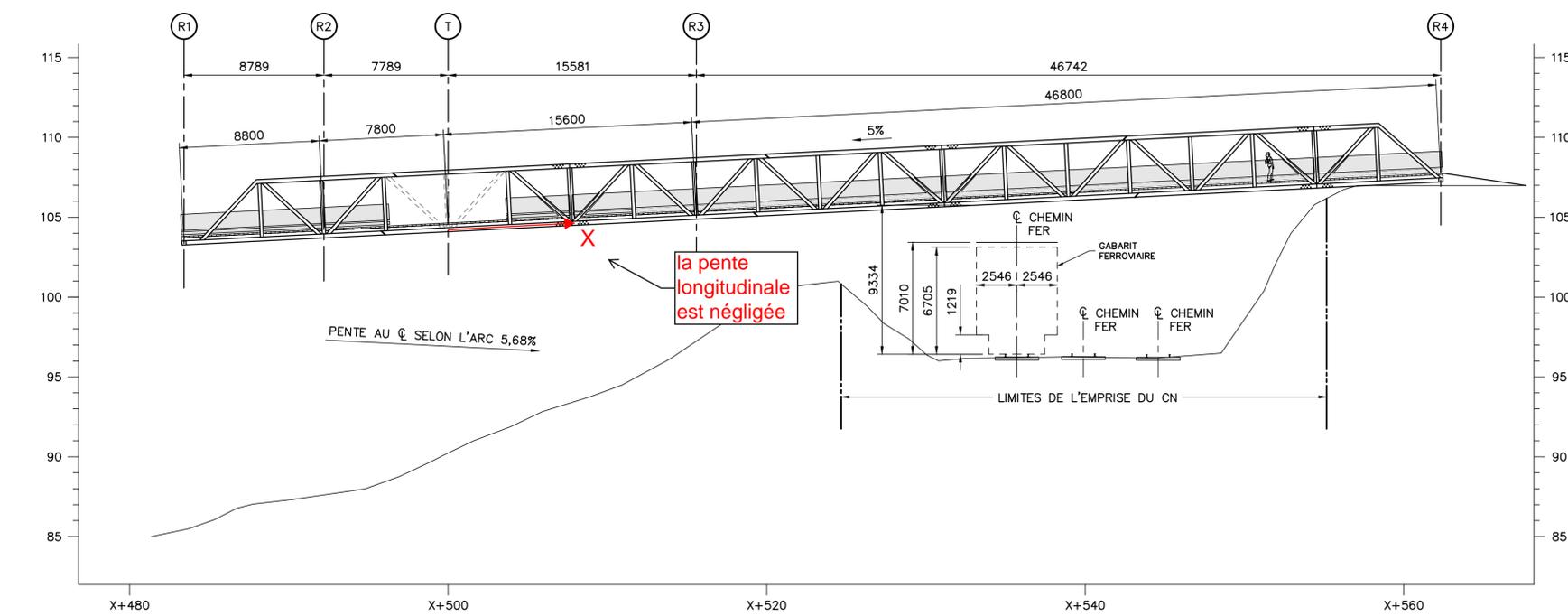
Catégories	Critère	Version Acier	Version Aluminium	Description
Segment courbe	Concept structural	Trois poutres courbes avec diaphragmes	Trois poutres courbes avec CV et entretoises	La version aluminium présente davantage de contreventements correspondant à la nature fortement courbée de la structure. Ces points pourraient être à revoir dans la conception de la version acier.
	Rayon au CL	16625 mm	17000 mm	
	Distance entre le centre du cercle et l'axe du segment rectiligne	18270 mm	21000 mm	Cette translation permet d'éviter la superposition des poutres proposée dans la version acier. La connexion entre les deux segments sera ainsi structurellement plus intuitive et résistante.
	Rotation totale	317 deg	315 deg	
	Retour dans la partie haute de la courbe	47 deg	45 deg	
Transition	Concept structural	Connexions soudées ou boulonnées de poutres courbes et rectilignes	Points de transfert par tourillons (pins) de cisaillement	L'approche pour la version aluminium est de connecter des tourillons une fois la déformation pour le poids propre effectuée. Les tourillons assureront la compatibilité des déformations pour les charges transitoires.
	Ouverture libre	± 17700 mm	7800 mm c/c des verticales ± 7400 libre	L'ouverture Vierendeel dans le treillis en aluminium est structurale et complexe. Elle est localisée judicieusement dans une zone d'efforts moindres. Une ouverture supérieure génèrerait trop de déformation. L'ouverture proposée nous apparait suffisante pour rencontrer la fonctionnalité recherchée.
Charges	Véhicule d'entretien	Présumé aucun	CSA S6 et S7	La grande portée des planches de bois pour la version acier nous laisse présumer qu'un véhicule d'entretien n'est pas prévu. Pour rendre la version aluminium applicable pour d'autres contextes, il est choisi de considérer le véhicule d'entretien comme critère de conception.

Catégories	Critère	Version Acier	Version Aluminium	Description
	Piétons	4,8 kPa	CSA S6 et S7	Les plans de la version acier indiquent 4,8 kPa qui est typiquement réduite selon la portée chargée dans la CNB. Cette réduction est aussi prévue dans S6 et S7.
	Charge de vent	500 Pa 1/50 ans	CSA S6	La norme S6 sera utilisée pour la version aluminium. Elle indique entre autres 585 Pa pour 1/50 ans. Par ailleurs, un coefficient d'exposition de 1,5 est considéré dans la version aluminium en lien avec la hauteur par rapport au pied de la falaise.
	Vibration induite par les piétons	Non-mentionné	CSA S7	À définir en fonction de l'avancement du mandat.
	Analyse sismique	Non-mentionné	CSA S6	À définir en fonction de l'avancement du mandat et l'étude des fondations.
Autres différences structurales	Treillis			La version acier présent un patron de diagonales verticales faisant en sortes que la réaction Ouest passe par une petite diagonale tendue (membres à effort nul). Les diagonales d'appui pour la version aluminium seront plus robustes.
	Joints boulonnés			Les joints boulonnés pour la version acier sont fait sur des plaques de base perpendiculaires aux membrures. Ces joints sont fortement pénalisés par l'effet de levier. Des connections antiglisement conformes à la norme CSA S6 seront conçues pour la version aluminium.
	Zones d'appui			Les zones d'appui entre la superstructure et les colonnes sont ambiguës dans la version acier (particulièrement pour l'axe 2 de la passerelle). Ces zones seront clarifiées dans la version aluminium.

Catégories	Critère	Version Acier	Version Aluminium	Description
	Zone de transition			Tel que mentionné plus haut, la version aluminium aura recourt à de tourillons pour transférer le cisaillement entre les deux segments par opposition aux connexions des poutres droites et courbes proposées pour la version acier.
	Contreventements dans la courbe			La norme CSA S6 requiert des contreventements transversaux espacés à R/10 pour les ponts courbes sans dalle de béton. L'espacement de R/4,2 pour la version acier est 2,3x trop élevé. La version aluminium respectera l'exigence de la norme. D'autre part, on démontre que des contreventements horizontaux sont nécessaires que ce soit pour la version acier ou aluminium. Autrement, les déformations de torsion globale du segment courbe et les efforts qu'ils génèrent ont une amplitude trop élevée.
	Appareils d'appui			Les points de fixité pour les déplacement thermiques ne semble pas définis pour la version acier. Des degrés de libertés clairs seront présentés pour les appareils d'appui des différents axes de la version aluminium.



VUE EN PLAN
ÉCH. 1:200



VUE EN ÉLEVATION SUD
ÉCH. 1:200

LÉGENDE

- A SEGMENT DROIT EN ALUMINIUM
- B SEGMENT COURBE EN ALUMINIUM
- C CULÉE EN BÉTON
- D PILIER EN BÉTON
- E DISPOSITIF DE RETENUE
- F PLATELAGE EN BOIS
- G
- H
- J
- F1 = SONDRAGE (POSITION APPROX.)
- PROJETÉ VU
- - - PROJETÉ CACHÉ
- PIÉTON PRÉSENTÉ POUR FACILITER LA COMPRÉHENSION DES DIMENSIONS

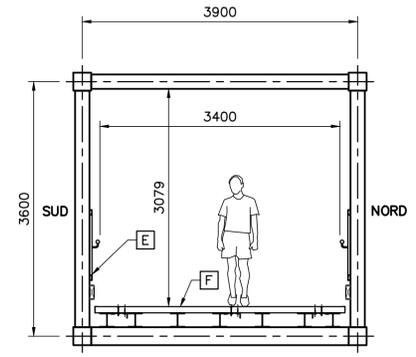
NOTES

- LES DIMENSIONS SONT PRÉSENTÉES À 15°C EN MILLIMÈTRES.
- LES CHAÎNAGES, LES COORDONNÉES ET LES ÉLÉVATIONS SONT EN MÈTRES.
- LES DIMENSIONS ET LES ÉLÉVATIONS INDIQUÉES SUR CHACUN DES FEUILLETS DE PLANS DOIVENT ÊTRE CORRIGÉES SI LES DIMENSIONS DES OUVRAGES EXISTANTS L'EXIGENT.
- L'ENTREPRENEUR EST RESPONSABLE DE LA VÉRIFICATION DES DIMENSIONS RÉELLES AVANT FABRICATION.
- À MOINS D'AVIS CONTRAIRE, LES PLANS ET DEVIS RENVOIENT À L'ÉDITION LA PLUS RÉCENTE DES DOCUMENTS CITÉS AU MOMENT DE LA PUBLICATION DE L'APPEL D'OFFRE.
- LES SERVICES D'UTILITÉS PUBLIQUES SONT MONTRÉS À TITRE INDICATIF. L'ENTREPRENEUR DOIT CONFIRMER LA PRÉSENCE DE TOUS LES SERVICES SUR LE SITE.
- SYSTÈME DE COORDONNÉES : PLANIMÉTRIE (X ET Y) : SCOPQ NAD 83 SCRS MTM FUSEAU 7 ALTIMÉTRIE (ÉLÉVATIONS) : CGVD28 GÉOÏDE HT-2

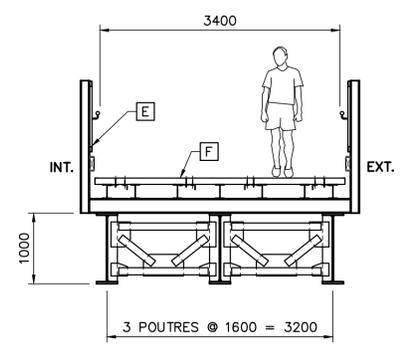
CRITÈRES DE CONCEPTION

- NORMES : CSA S6-19 et CSA S7-23
- DURÉE DE VIE NOMINALE : 75 ANS
- SURCHARGE DUE À LA CIRCULATION PIÉTONNIÈRE : 4,25 kPa APPLIQUÉ SELON S7-23 | 3.5
- SURCHARGE DUE AUX VÉHICULES D'ENTRETIEN : 80 kN APPLIQUÉ SELON S7-23 | 3.7
- CHARGE DE VENT (S7-23 | 3.10) PÉRIODE DE RETOUR : 1/50 ANS PRESSION MOYENNE HORAIRE DE VENT : 400 Pa
- CHARGE DE NEIGE : 4,2 kPa (S7-23 | 3.11)
- CHARGE DE VERGLAS : 31 mm (S6-19 | 3.12.6)
- CATÉGORIE D'IMPORTANCE SISMIQUE : AUTRES PONTS (S6-19 | 4.4.2)
- VIBRATION INDUITE PAR LA CIRCULATION PIÉTONNIÈRE (S7-23 | 4.3) CLASSE DE CONFORT CL1 POUR UNE DENSITÉ DE 0,5 P/m² CLASSE DE CONFORT CL2 POUR UNE DENSITÉ DE 0,2 P/m²

No	DESCRIPTION	DATE/PAR
1	DESCRIPTION 1	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX
2	DESCRIPTION 2	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX
3	DESCRIPTION 3	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX
4	DESCRIPTION 4	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX
5	DESCRIPTION 5	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX
6	DESCRIPTION 6	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX
7	DESCRIPTION 7	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX
8	DESCRIPTION 8	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. OIG: XXXXXXX



SEGMENT DROIT



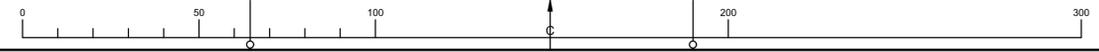
SEGMENT COURBE

COUPES TRANSVERSALES
ÉCH. 1:50

2023-02-XX POUR COMMENTAIRES		Benoît Cusson, ing. OIG: 5015581
AAAA-MM-JJ	Statut	Par
Mandatitaire	211-11593-00	
Sceau		
Benoît Cusson, ing., M.Sc.		
Équipe technique Jonathan Roy, techn.		
Titre PLAN D'ENSEMBLE CONDITIONS PROJETÉES EN ALUMINIUM		
Numéro de plan PO-2023-1-ALUQC		2

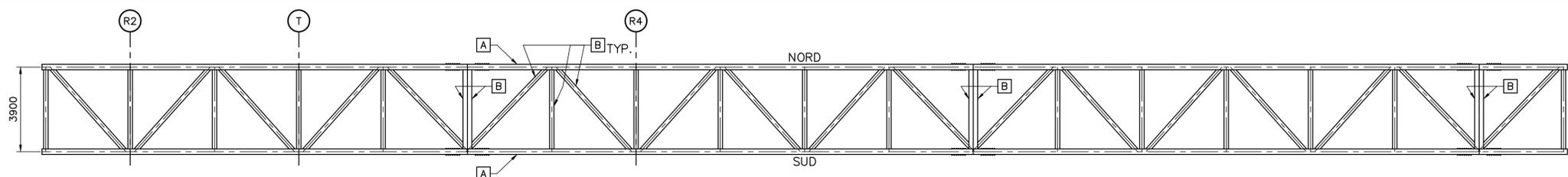
CE DOCUMENT NE DOIT PAS ÊTRE UTILISÉ À DES FINS DE CONSTRUCTION, DE FABRICATION OU D'INSTALLATION

21 Feb, 2023 - 2:13pm, LAYOUT: 02 \\corp\co\véhic\CA080100\Projets2\2022\1\221-11593-00\Transport\3.0 Technique\3.7 DAO\02-Feuilles\PO-2023-1-ALUQC(FP)_02.dwg



NOTES

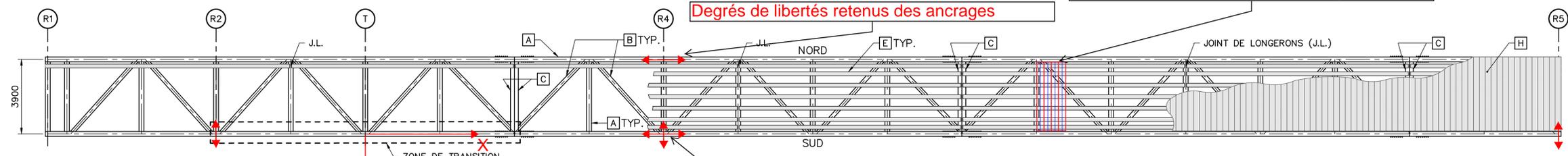
- ACIER DE CONSTRUCTION :
MEMBRURES À RÉSISTANCE CRITIQUE À LA RUPTURE
MEMBRURES PRINCIPALES TENDUES:
POUTRES PRINCIPALES ET PLAQUES SOUDÉES À CES
POUTRES: NUANCE 350AT.
RÉSILIENCE CHARPY: XXX
TEMPÉRATURE D'ESSAI T_i = XX °C
- DIAPHRAGMES ET CONTREVENTEMENTS: NUANCE
350A OU 350W GALVANISÉ.
- RAIDISSEUR INTERMÉDIAIRE: LES RAIDISSEURS
INTERMÉDIAIRES DOIVENT ÊTRE INSTALLÉS
PERPENDICULAIREMENT AUX SEMELLES
- BOULONS : NORME ASTM F3125 GRADE A325
TYPE 3 POUR DIAPHRAGMES ET CONTREVENTEMENTS
DE NUANCE 350A.
TYPE 1 GALVANISÉ POUR DIAPHRAGMES ET
CONTREVENTEMENTS DE NUANCE 350W GALVANISÉ.
DIAMÈTRE X"/X".
TROUS ØXX mm SAUF INDICATION CONTRAIRE.
- ASSEMBLAGES BOULONNÉS :
FILETS NON INTERCEPTÉS.
- GOUJONS : NORME CSA S6
- ANCRAGES : NUANCE 350W, GALVANISÉ.
- NOTE 1 : LA RÉSISTANCE DE LA SOUDURE DOIT ÊTRE
ÉQUIVALENTE À UNE SOUDURE D'ANGLE DE
8 mm OU DE 6 mm SELON LE CAS.
- NOTE 2 : DES RONDELLES EN ACIER TREMPÉ SONT
REQUISES AUX DEUX EXTRÉMITÉS DES BOULONS.



VUE EN PLAN CHARPENTE SUPÉRIEURE
ÉCH. 1:125

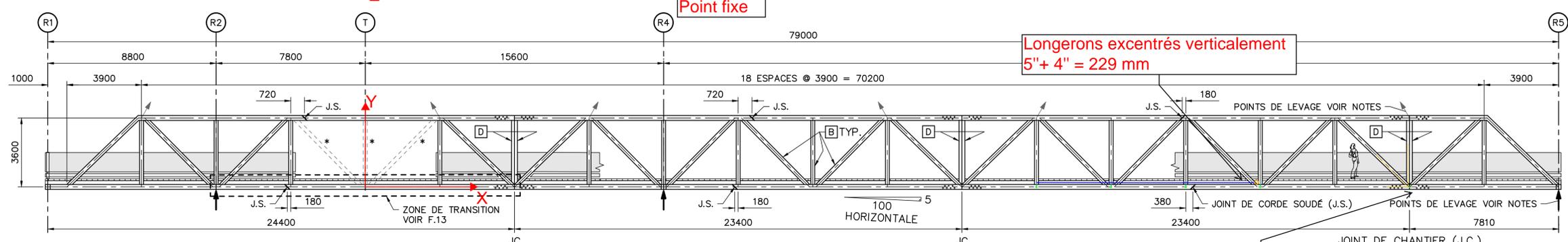
Bois en bleu 300 c/c et 3550 de longueur

Degrés de libertés retenus des ancrages



VUE EN PLAN CHARPENTE INFÉRIEURE
ÉCH. 1:125

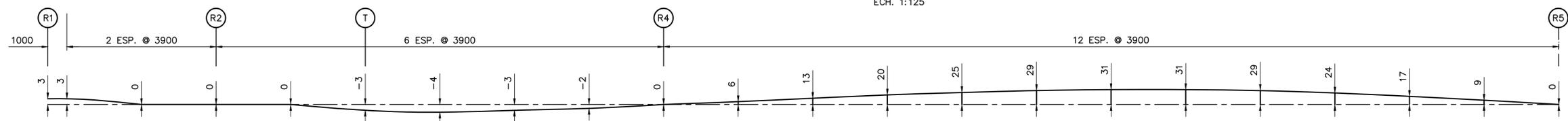
Point fixe



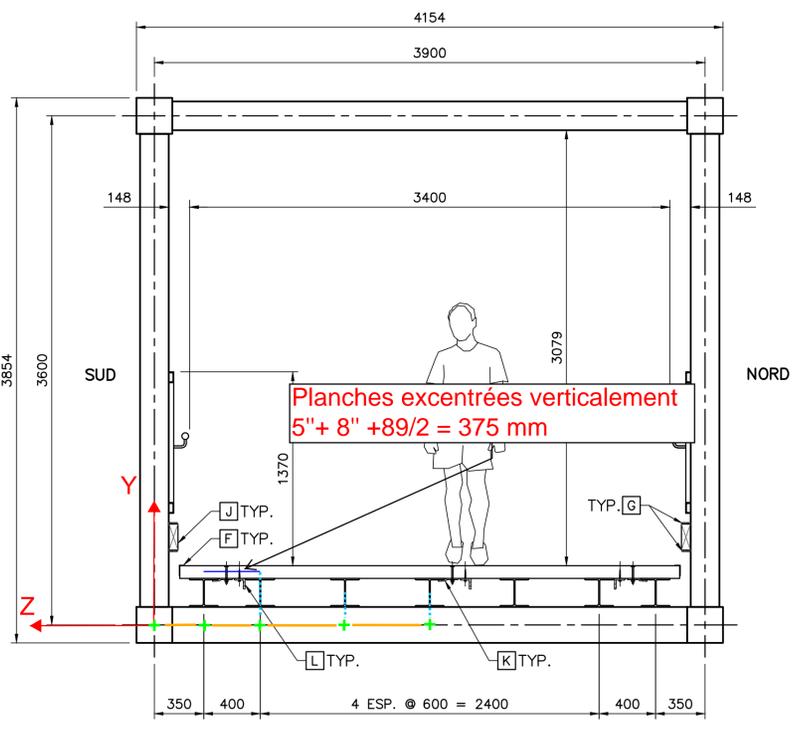
VUE EN ÉLEVATION SUD
ÉCH. 1:125

Longerons excentrés verticalement
5" + 4" = 229 mm

Joint boulonné voir page suivante



CAMBRURE DE FABRICATION POUTRES TRIANGULÉES
NON À L'ÉCHELLE



COUPE TRANSVERSALE
ÉCH. 1:25

Planches excentrées verticalement
5" + 8" + 89/2 = 375 mm

ALUMINIUM (VOIR DÉTAILS AU F.14)

- [A] TUBE CARRÉ 254 H.T.
- [B] TUBE CARRÉ 203 H.T.
- [C] TUBE RECT. 254 H.T. X 203
- [D] TUBE CARRÉ 152 H.T.
- [E] POUTRE EN "I"
- [F] PLAQUE PLIÉE 75 x 40
- [G] PLAQUE 125 x 60

BOIS

- [H] PLATelage 89 x XX
- [J] COUP PIED 64 x 84

ACIER

- [K] PL. 10 EN ACIER INOX À CONCEVOIR PAR LE FABRICANT
- [L] L 76 x 76 x 12,7 350W GALVANISÉ
- [M] PLAQUE COUVRE-JOINT GALVANISÉ
- [N]
- [P]

REGISTRE DES MODIFICATIONS		
No	DESCRIPTION	DATE/PAR
1	DESCRIPTION 1	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX
2	DESCRIPTION 2	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX
3	DESCRIPTION 3	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX
4	DESCRIPTION 4	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX
5	DESCRIPTION 5	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX
6	DESCRIPTION 6	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX
7	DESCRIPTION 7	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX
8	DESCRIPTION 8	XXXX-XX-XX Prénom Nom ing. Dir: XXXXXXX

2023-02-XX	POUR COMMENTAIRES	Benoît Cousson, ing. (dir - 501558)
AAAA-MM-JJ	Statut	Par
Mandataire		211-11593-00



Sceau

Benoît Cousson, ing., M.Sc.

Équipe technique
Jonathan Roy, techn.

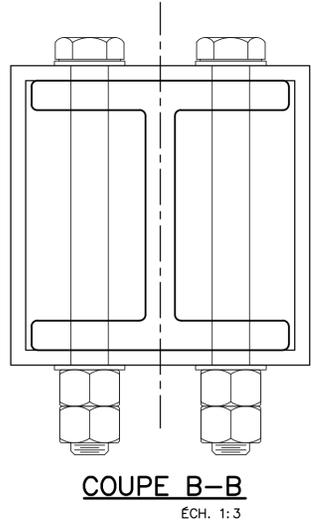
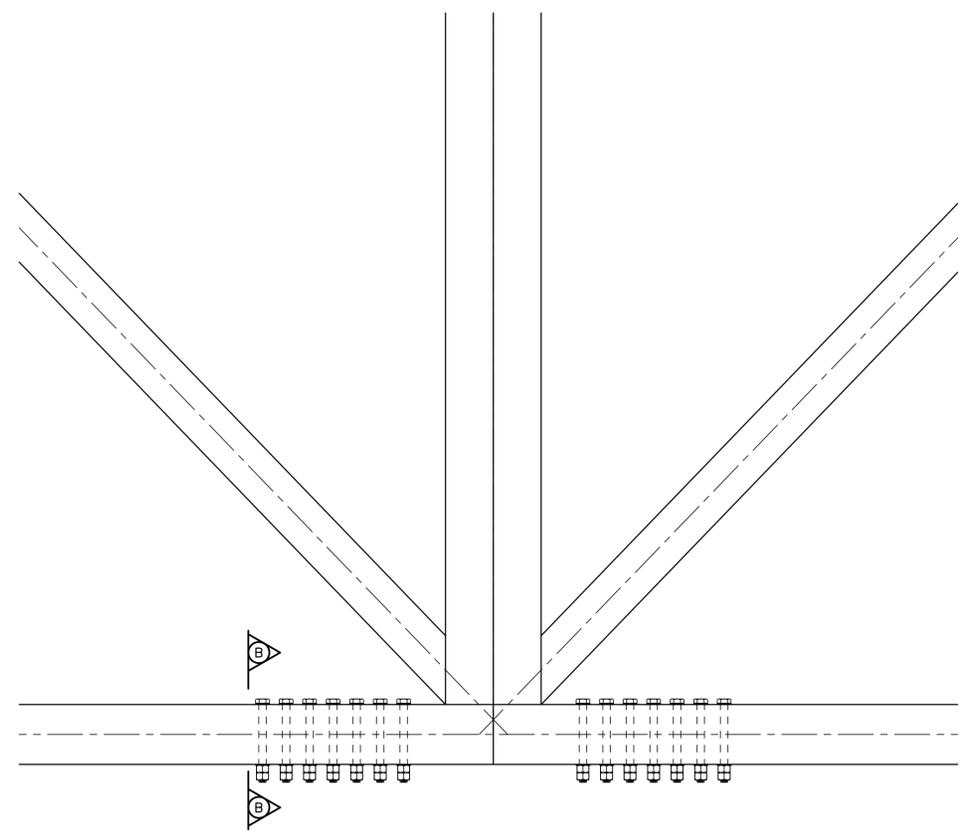
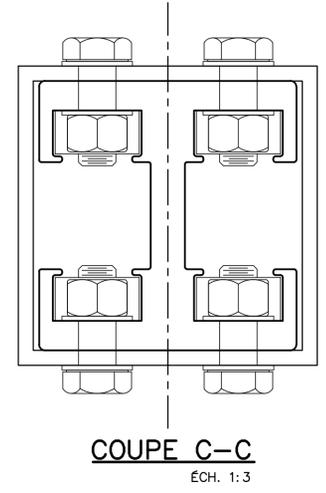
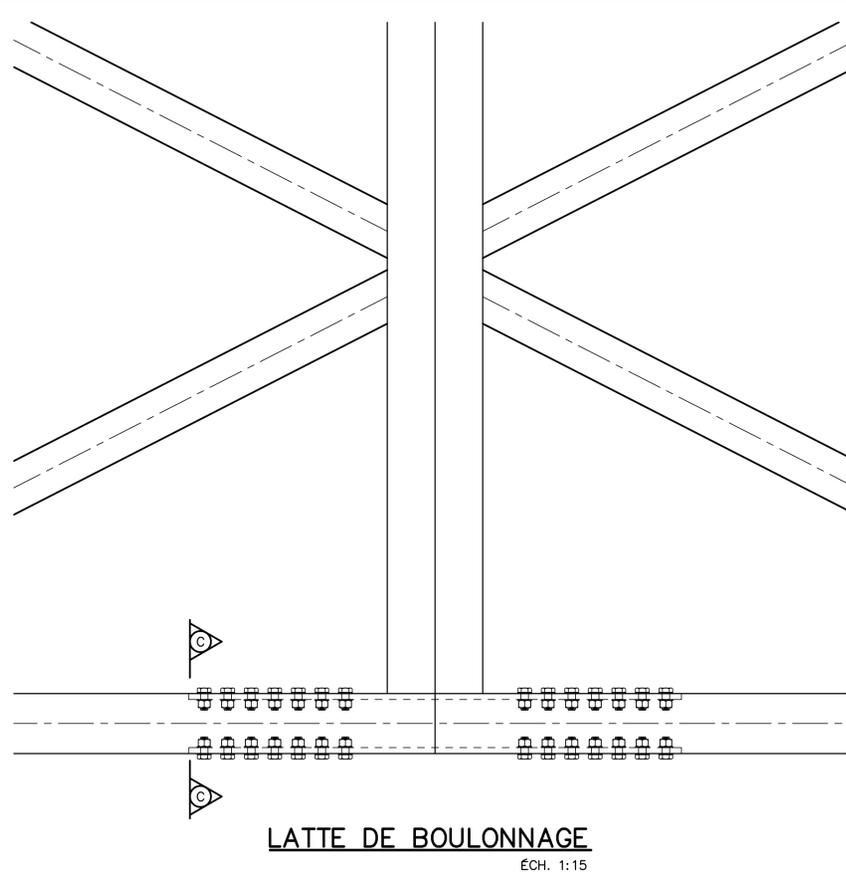
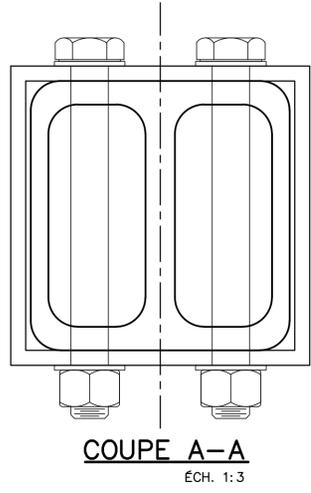
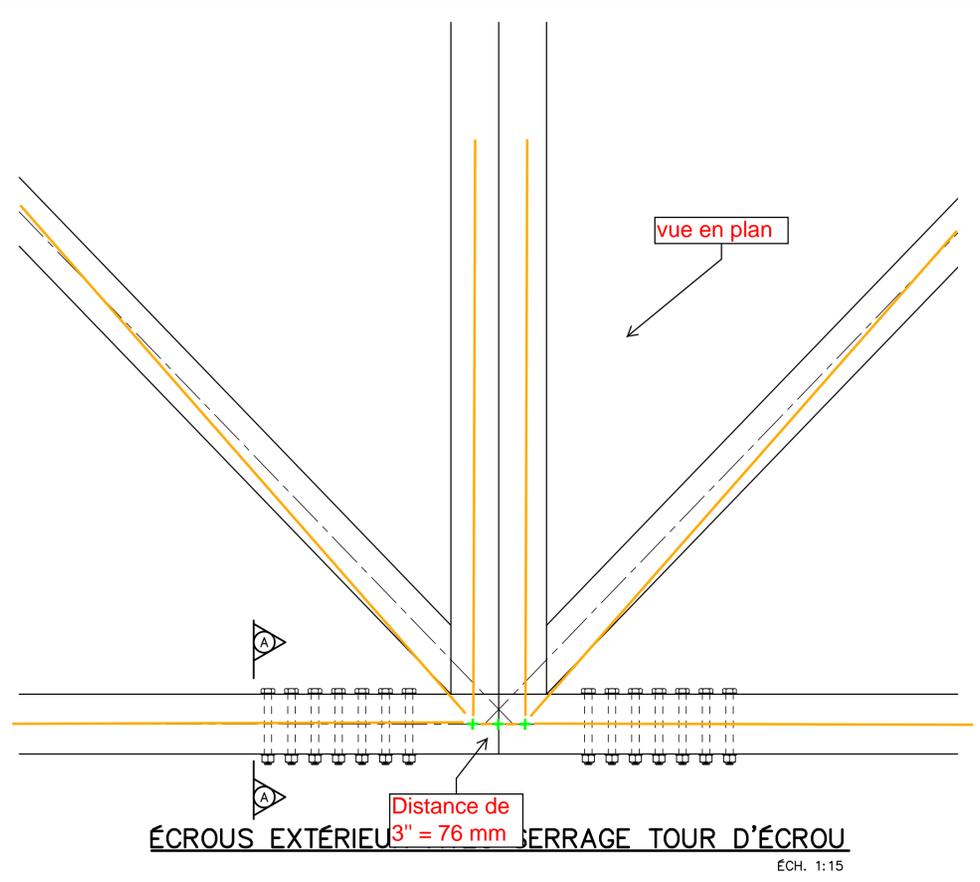
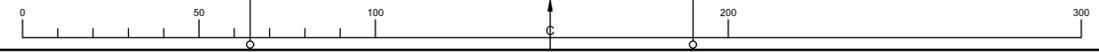


Titre
SEGMENT DROIT GÉNÉRAL

Numéro de plan PO-2023-1-ALUQC	3
--	----------

CE DOCUMENT NE DOIT PAS ÊTRE UTILISÉ À DES FINS DE CONSTRUCTION, DE FABRICATION OU D'INSTALLATION

21 Feb, 2023 - 4:31pm, LAYOUT_03
\\corp-co\véhic\projets\2022\1221-11593-00\Transport\3.0 Technique\3.7 DAO\02-Feuilles\PO-2023-1-ALUQC_(FP)_03.dwg



REGISTRE DES MODIFICATIONS		
No	DESCRIPTION	DATE/PAR
1	DESCRIPTION 1	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX
2	DESCRIPTION 2	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX
3	DESCRIPTION 3	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX
4	DESCRIPTION 4	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX
5	DESCRIPTION 5	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX
6	DESCRIPTION 6	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX
7	DESCRIPTION 7	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX
8	DESCRIPTION 8	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir: XXXXXXX

2023-02-XX	POUR COMMENTAIRES	Benoit Cusson, ing. Dir: 5015581
AAAA-MM-JJ	Statut	Par
Mandataire		211-11593-00



Benoit Cusson, ing., M.Sc.

Équipe technique
Jonathan Roy, techn.

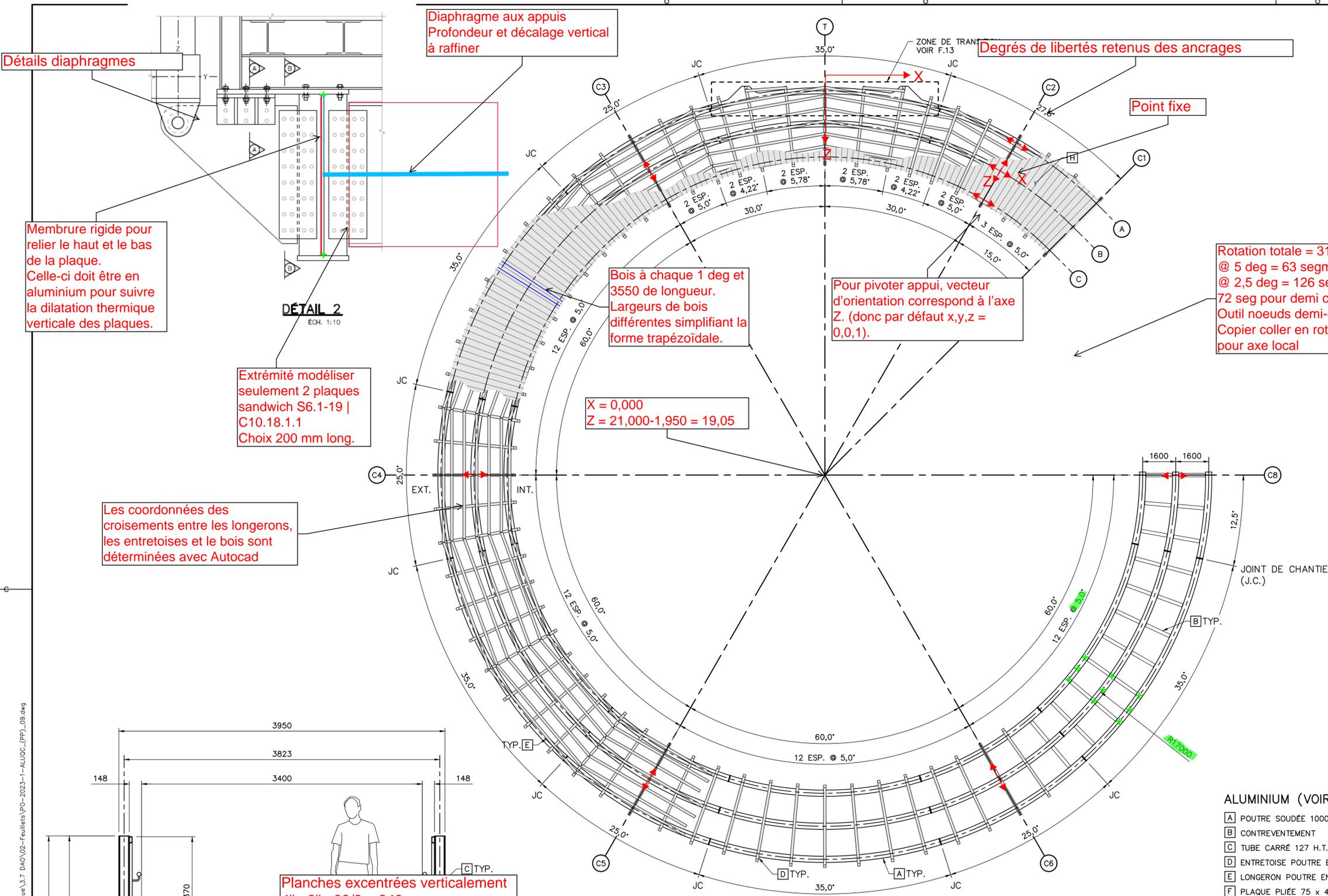


Titre
JOINT BOULONNÉ

Numéro de plan
PO-2023-1-ALUQC XX

CE DOCUMENT NE DOIT PAS ÊTRE UTILISÉ À DES FINS DE CONSTRUCTION, DE FABRICATION OU D'INSTALLATION

16 Feb, 2023 - 3:57pm, LAYOUT: xx \\corp\co\véhic\projets\2022\1221-11593-00\Transport\3.0 Technique\3.7 DAC\02-Feuilles\PO-2023-1-ALUQC_(FP)_JOINT.dwg



NOTES

- ACIER DE CONSTRUCTION :
- MEMBRURES À RÉSISTANCE CRITIQUE À LA RUPTURE
- MEMBRURES PRINCIPALES ET PLAQUES TENDUES:
- POUTRES PRINCIPALES ET PLAQUES SOUDÉES À CES
- POUTRES: NUANCE 350AT.
- RÉSILIENCE CHARPY: XXX
- TEMPÉRATURE D'ESSAI T_t = XX °C
- DIAPHRAGMES ET CONTREVENTEMENTS: NUANCE 350A OU 350W GALVANISÉ.
- RAIDISSEUR INTERMÉDIAIRE: LES RAIDISSEURS INTERMÉDIAIRES DOIVENT ÊTRE INSTALLÉS PERPENDICULAIREMENT AUX SEMELLES
- BOULONS : NORME ASTM F3125 GRADE A325
- TYPE 3 POUR DIAPHRAGMES ET CONTREVENTEMENTS DE NUANCE 350A.
- TYPE 1 GALVANISÉ POUR DIAPHRAGMES ET CONTREVENTEMENTS DE NUANCE 350W GALVANISÉ.
- DIAMÈTRE X/X".
- TROUS ØXX mm SAUF INDICATION CONTRAIRE.
- ASSEMBLAGES BOULONNÉS :
- FILETS NON INTERCEPTÉS.
- GOUJONS : NORME CSA S6
- ANCRAGES : NUANCE 350W, GALVANISÉ.
- NOTE 1 : LA RÉSISTANCE DE LA SOUDURE DOIT ÊTRE ÉQUIVALENTE À UNE SOUDURE D'ANGLE DE 8 mm OU DE 6 mm SELON LE CAS.
- NOTE 2 : DES RONDELLES EN ACIER TREMPÉ SONT REQUISES AUX DEUX EXTRÉMITÉS DES BOULONS.

REGISTRE DES MODIFICATIONS		
No	DESCRIPTION	DATE/PAR
1	DESCRIPTION 1	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
2	DESCRIPTION 2	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
3	DESCRIPTION 3	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
4	DESCRIPTION 4	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
5	DESCRIPTION 5	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
6	DESCRIPTION 6	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
7	DESCRIPTION 7	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
8	DESCRIPTION 8	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX

2023-02-XX	POUR COMMENTAIRES	Benoît Cusson, ing. D.G. - 5015981
AAAA-MM-JJ	Statut	Par
Mandataire		211-11593-00

WSP

Benoît Cusson, ing., M.Sc.

Équipe technique Jonathan Roy, techn.

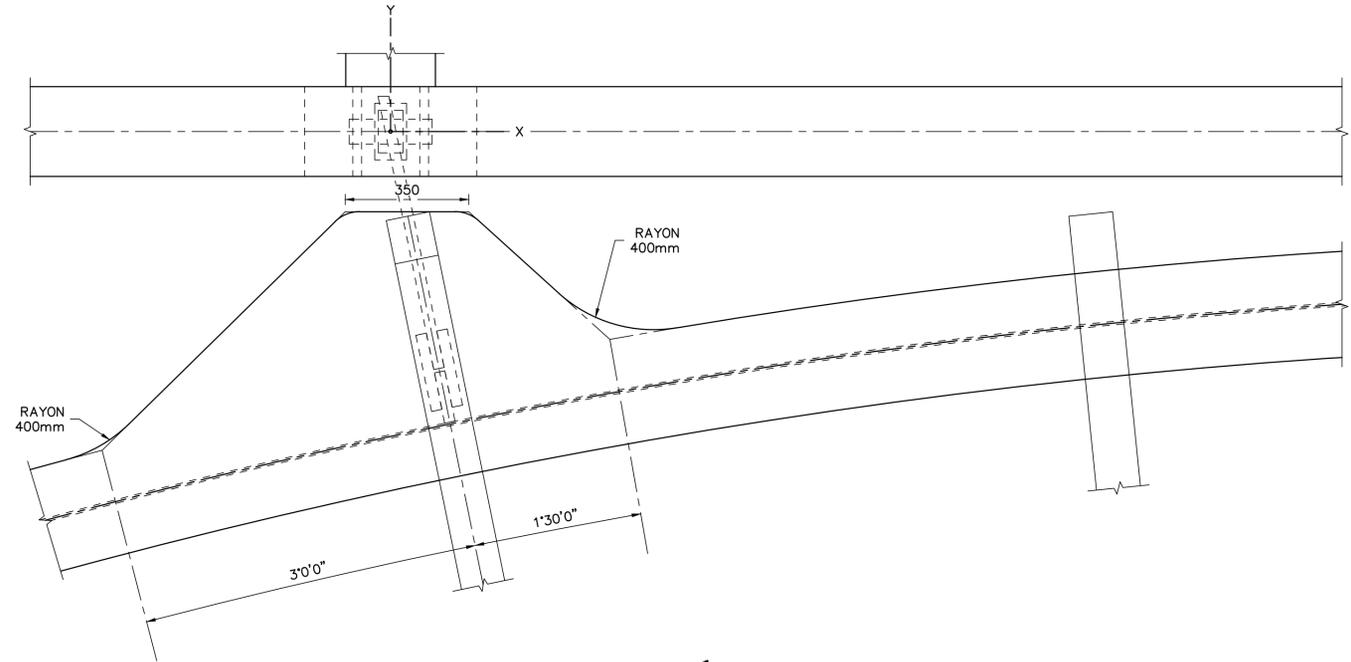
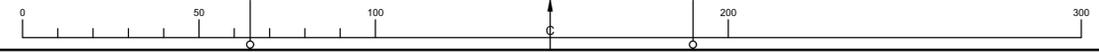
alu Québec
Grappe de l'aluminium

Titre **SEGMENT COURBE GÉNÉRAL**

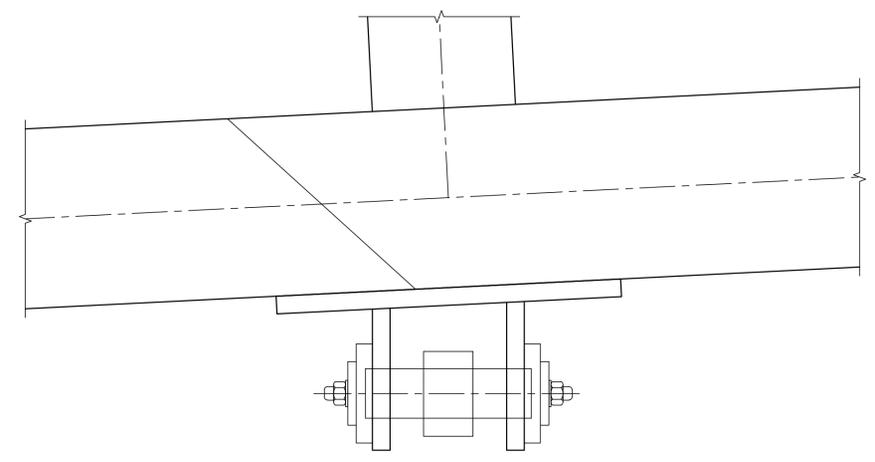
Numéro de plan **PO-2023-1-ALUQC**

9

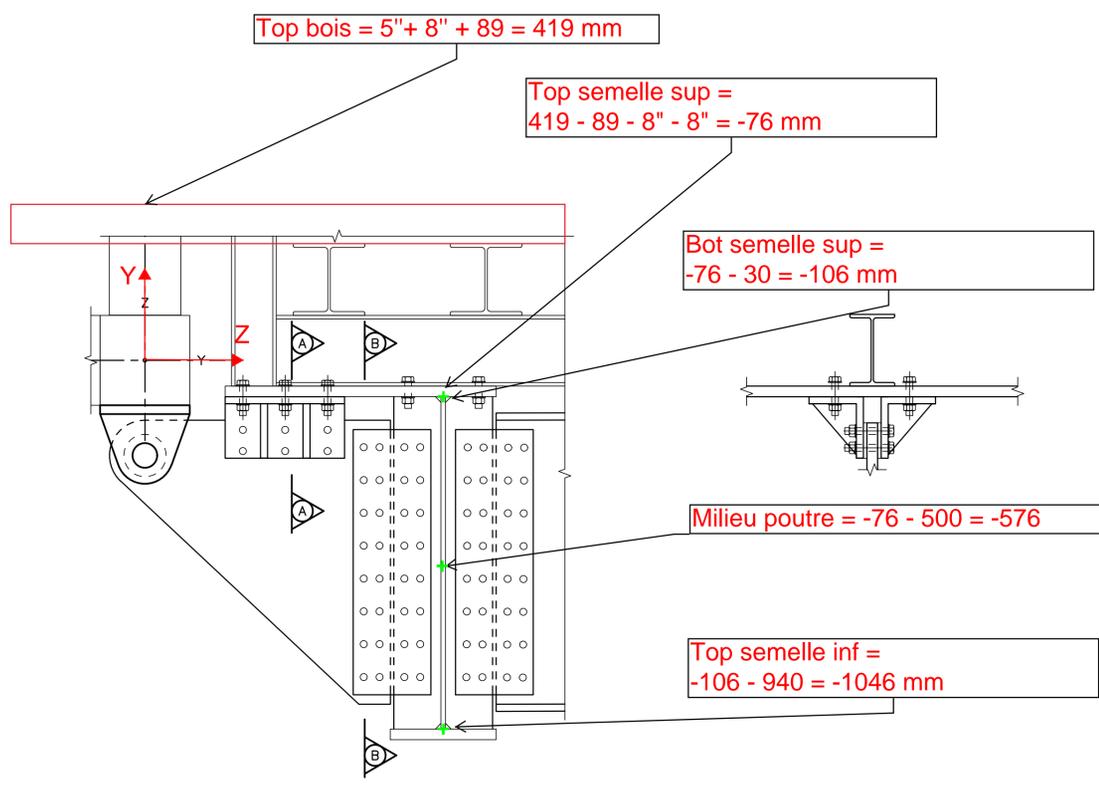
22.03.2023 - 4:33pm, LAYOUT: 09 \\corp\co\véhic\3\0\Transport\3.0\Technique\3.0\Transport\3.0\Technique\3.7\DAO\02-Feuilles\02-2023-1-ALUQC_(FP)_09.dwg



DÉTAIL1
ÉCH. 1:10

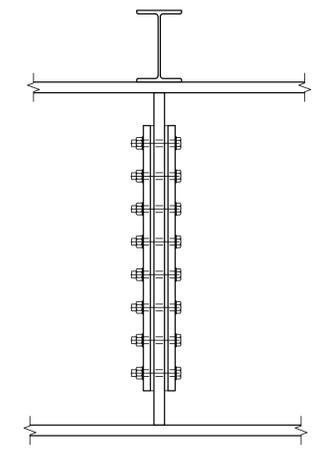


DÉTAIL3
ÉCH. 1:5



DÉTAIL 2
ÉCH. 1:10

COUPE A-A
ÉCH. 1:10



COUPE B-B
ÉCH. 1:10

REGISTRE DES MODIFICATIONS		
No	DESCRIPTION	DATE/PAR
1	DESCRIPTION 1	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
2	DESCRIPTION 2	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
3	DESCRIPTION 3	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
4	DESCRIPTION 4	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
5	DESCRIPTION 5	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
6	DESCRIPTION 6	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
7	DESCRIPTION 7	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX
8	DESCRIPTION 8	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. D.G. XXXXXXX

2023-02-XX	POUR COMMENTAIRES	Benoit Cusson, ing. D.G. - 5015581
AAAA-MM-JJ	Statut	Par
Mandataire		211-11593-00



Sceau

Benoit Cusson, ing., M.Sc.

Équipe technique
Jonathan Roy, techn.

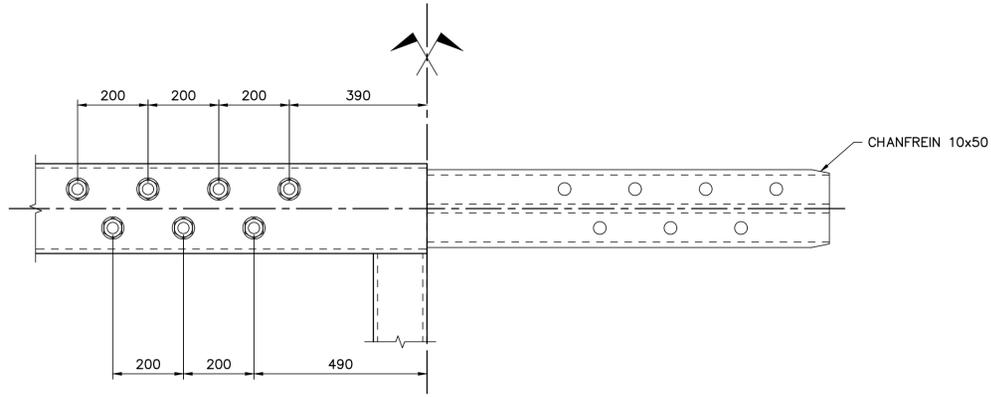


Titre
**ZONE DE TRANSITION
DÉTAIL 1/2**

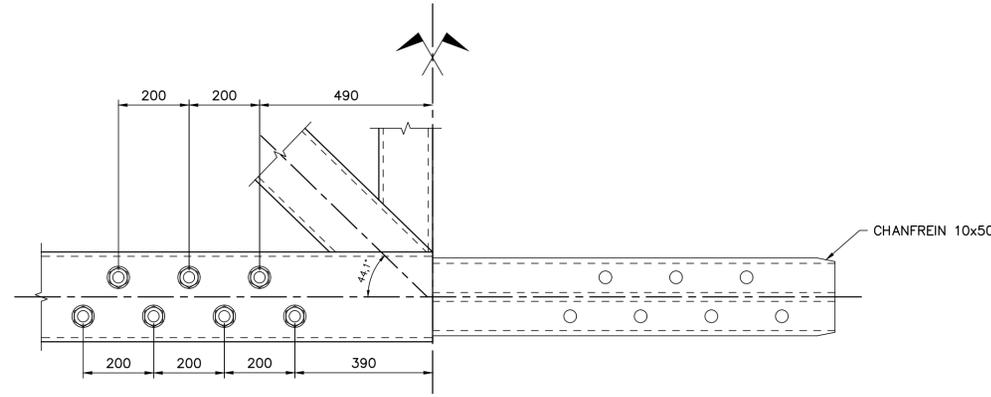
Numéro de plan	15
PO-2023-1-ALUQC	

CE DOCUMENT NE DOIT PAS ÊTRE UTILISÉ À DES FINS DE CONSTRUCTION, DE FABRICATION OU D'INSTALLATION

22.03.2023 - 4:38pm - LAYOUT: 15
\\corp-coo-01\projets\2022\1221-11593-00\Transport\3.0 Technique\3.7 DAO\02-Feuillet\3.7-ALUQC_(FP)_15.dwg

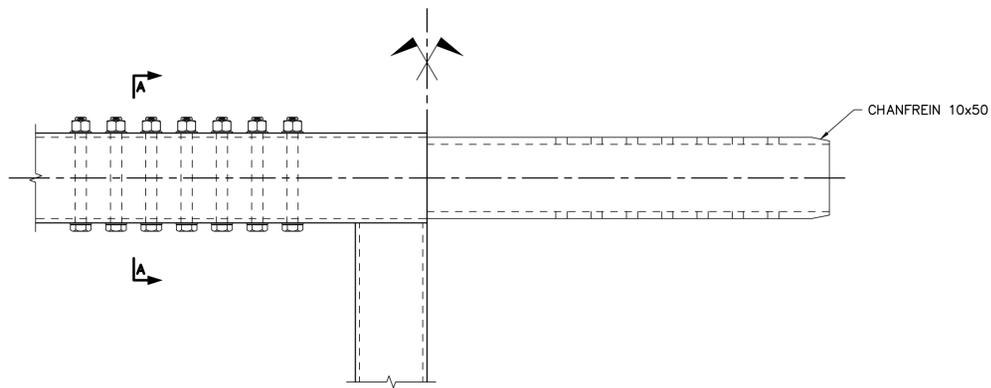


ÉLEVATION 11
ECH. 1:10

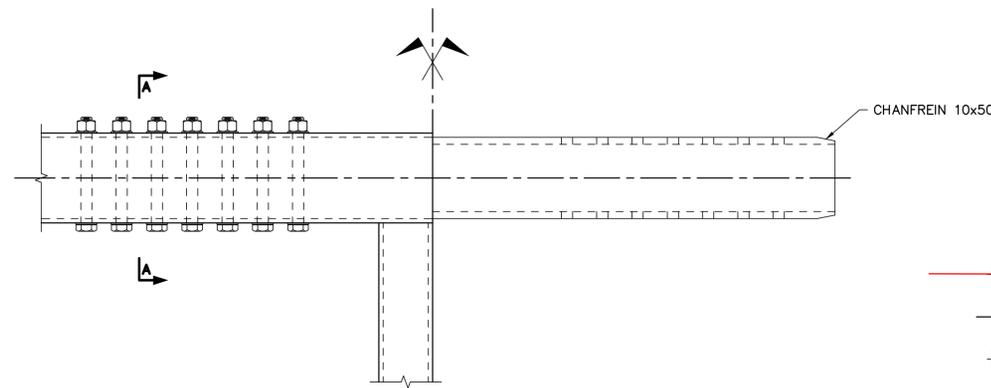


ÉLEVATION 12
ECH. 1:10

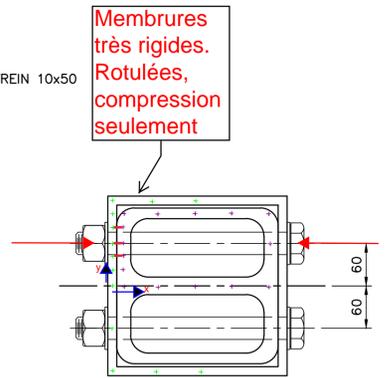
modélisation
du joint
boulonné
pour
déformations



PLAN 13
ECH. 1:10

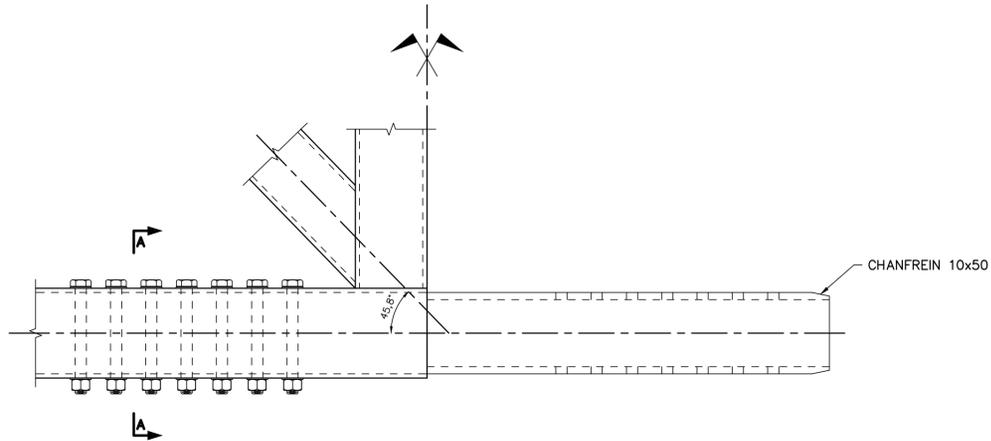


PLAN 15
ECH. 1:10

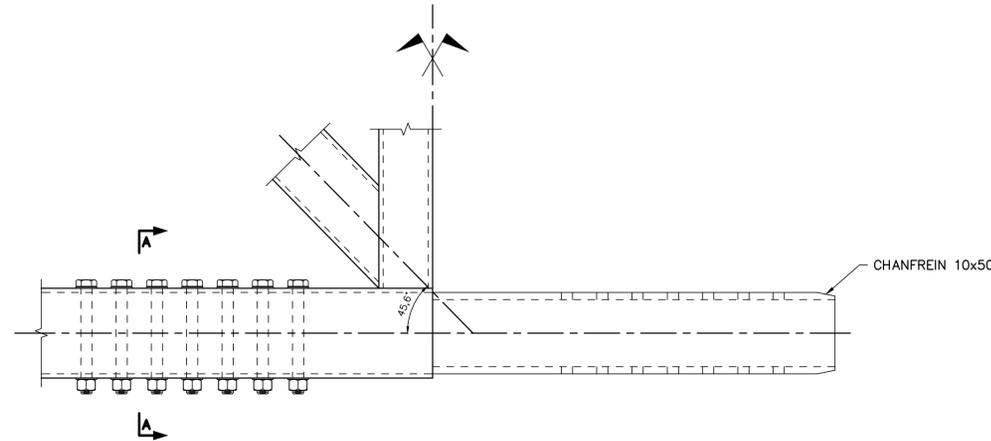


Membrures
très rigides.
Rotulées,
compression
seulement

COUPE A-A
ECH. 1:5



PLAN 14
ECH. 1:10



PLAN 16
ECH. 1:10

REGISTRE DES MODIFICATIONS		
No	DESCRIPTION	DATE/PAR
1	DESCRIPTION 1	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX
2	DESCRIPTION 2	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX
3	DESCRIPTION 3	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX
4	DESCRIPTION 4	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX
5	DESCRIPTION 5	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX
6	DESCRIPTION 6	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX
7	DESCRIPTION 7	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX
8	DESCRIPTION 8	XXXX-XX-XX Prénom Nom, ing. Dir. XXXXXXX

2023-08-04	POUR COMMENTAIRES	Benoît Cusson, ing. Dir. - S015581
AAAA-MM-JJ	Statut	Par
Mandataire		211-11593-00



Sceau

Benoît Cusson, ing., M.Sc.

Équipe technique
Jonathan Roy, techn.



Titre
SEGMENT DROIT
CHARPENTE DÉTAIL 3/4

Numéro de plan	7
PO-2023-1-ALUQC	

CE DOCUMENT NE DOIT
PAS ÊTRE UTILISÉ À DES
FINS DE CONSTRUCTION,
DE FABRICATION OU
D'INSTALLATION

03_Aug_2023 - 10:58am, LAYOUT: 07
\\corp-co\clients\CABR0100\Projets\2022\1221-11593-00\Transport\3.0 Technique\3.0 Technique\3.7 DAO\02-Feuillet\PO-2023-1-ALUQC_(FP)_07.dwg

Annexe A03 Calcul des quantités	Passerelle RDL										
	Par élément							Total			
	Qté	Épaisseur	Dimension	Aire	Masse lin.	Longueur	Volume	Poids	Poids	Masse	Longueur
	mm	mm	mm²	kg/m	mm	m³	kN	kN	kg	m	
ALUMINIUM SEGMENT DROIT									27	2752	
<u>Type A : Tube carré 254x254x12,7</u>											
Cordes supérieures	2	12.7	254	12258	33.7	70606	1.731	47	137	13941	413
Cordes inférieures	2	12.7	254	12258	33.7	79254	1.943	52			
Diagonales extrémité	4	12.7	254	12258	33.7	4977	0.244	7			
Entretoises	19	12.7	254	12258	33.7	3646	0.849	23			
Verticales aux appuis	4	12.7	254	12258	33.7	3346	0.164	4			
Transversales sup. aux appuis	3	12.7	254	12258	33.7	3646	0.134	4			
<u>Type B : Tube carré 203x203x12,7</u>											
Diagonales verticales	34	12.7	203	9667	26.6	4690	1.542	42	42	4243	159
<u>Type C : Tube carré 203x203x6,4</u>											
CV inf.	20	6.4	203	5033	13.9	4900	0.493	13	47	4798	346
CV sup.	18	6.4	203	5033	13.9	4932	0.447	12			
Transversales sup.	19	6.4	203	5033	13.9	3646	0.349	9			
Verticales	27	6.4	203	5033	13.9	3346	0.455	12			
<u>Type D : Tube carré 152x152x6,4</u>											
Verticales	12	6.4	152	3727	10.3	3346	0.150	4	5	481	47
Poteaux	4	6.4	152	3727	10.3	1687	0.025	1			
<u>Type E : Tube rectangulaire 254x152x12,7</u>											
Entretoises	6	12.7	variable	9667	26.6	3646	0.211	6	6	582	22
<u>Type F : Poutre en I 203x203</u>											
Longerons	7	variable	variable	5787	15.9	12777	0.518	14	86	8770	551
Longerons	35	variable	variable	5787	15.9	11600	2.350	63			
Longerons	7	variable	variable	5787	15.9	7877	0.319	9			
<u>Type XA : Manchon 229x220</u>											
Manchon boulonné	12	variable	variable	16398	45.1	2430	0.478	13	13	1316	29
<u>Divers</u>											
Garde-corps	1	variable	variable	10000	27.5	150200	1.502	41	41	4151	
Plaques pour coup-de-pieds	84	10	60	600	1.7	125	0.006	0			

Annexe A03 Calcul des quantités	Passerelle RDL										
	Par élément							Total			
	Qté	Épaisseur	Dimension	Aire	Masse lin.	Longueur	Volume	Poids	Poids	Masse	Longueur
	mm	mm	mm²	kg/m	mm	m³	kN	kN	kg	m	
ALUMINIUM SEGMENT COURBE											
<u>Type I : Tube carré 127x127x6,4</u>											
Cadres en U	125	6.4	127	3087	8.5	1875	0.724	20	20	1992	234
<u>Type J : Poutre en I 203x133</u>											
Entretoises	64	variable	variable	3162	8.7	3696	0.748	20	20	2058	237
<u>Type K : Poutre en I 203x133</u>											
Longerons	105	variable	variable	3162	8.7	5929	1.968	53	56	5710	656
Longerons	7	variable	variable	3162	8.7	3214	0.071	2			
Longerons	7	variable	variable	3162	8.7	1589	0.035	1			
<u>Type L : Cornière 102x102</u>											
CV sup.	112	variable	variable	1848	5.1	1267	0.262	7	21	2121	417
CV inf.	112	variable	variable	1848	5.1	1267	0.262	7			
CV diag.	224	variable	variable	1848	5.1	595	0.246	7			
<u>Type M : Poutre en I 152x152</u>											
CVH haut.	63	variable	variable	5067	13.9	2134	0.681	18	37	3749	269
CVH bas	63	variable	variable	5067	13.9	2134	0.681	18			
<u>Poutres principales</u>											
Semelle supérieure	3	30	300	9000	24.8	93762	2.532	68	274	27930	
Semelle inférieure	3	30	300	9000	24.8	93762	2.532	68			
Âme	3	12	940	11280	31.0	93762	3.173	86			
Raidisseurs verticaux travée	224	12	140	1680	4.6	940	0.354	10			
Raidisseurs verticaux appuis	48	15	140	2100	5.8	940	0.095	3			
Plaques appareils d'appui	18	25	250	6250	17.2	500	0.056	2			
Épissure plaque 1	60	20	300	6000	16.5	800	0.288	8			
Épissure plaque 2	120	20	120	2400	6.6	800	0.230	6			
Épissure plaque 3	60	12	900	10800	29.7	600	0.389	10			
Goussets pour CV	224	variable	variable	223145	614.2	10	0.500	13			
<u>Diaphragmes</u>											
Semelle supérieure	16	15	200	3000	8.3	1287	0.062	2	27	2800	
Semelle inférieure	16	15	200	3000	8.3	1287	0.062	2			
Âme	16	15	720	10800	29.7	1287	0.222	6			
Raidisseurs verticaux appuis	64	15	80	1200	3.3	720	0.055	1			
Épissure plaque 1	64	25	250	6250	17.2	640	0.256	7			
Zone de transition (approx)	6	50	750	37500	103.2	1600	0.360	10			

Annexe A03 Calcul des quantités	Passerelle RDL										
	Par élément								Total		
	Qté	Épaisseur	Dimension	Aire	Masse lin.	Longueur	Volume	Poids	Poids	Masse	Longueur
	mm	mm	mm²	kg/m	mm	m³	kN	kN	kg	m	
<u>Divers</u>											
Garde-corps intérieur	1	variable	variable	10000	27.5	83302	0.833	22	48	4854	
Garde-corps extérieur	1	variable	variable	10000	27.5	92109	0.921	25			
Plaques pour coup-de-pieds	125	10	60	600	1.7	125	0.009	0			
<u>Total</u>							32.517	878	878	89496	3381
Avec 3% de plus pour boulons, soudure et fabrication plus lourde								904	904	92181	
										20 \$	
										1 843 625 \$	
BOIS									6	612	
<u>Segment droit</u>											
Platelage	1	89	3550	315950	193.2	79254	25.040	150	161	16397	
Coup de pied	1	64	184	11776	7.2	150200	1.769	11			
<u>Segment courbe</u>											
Platelage	1	89	3550	315950	193.2	93762	29.624	178	191	19510	
Zone de transition	1	89	300	26700	16.3	7800	0.208	1			
Coup de pied	1	64	184	11776	7.2	175411	2.066	12			
<u>Total</u>							58.707	352	352	35907	
										1 600 \$	
										93 931 \$	
ACIER									6	612	
Cornières droit (inclut attaches)	4	variable	variable	1770	1.1	79254	0.561	3	7	749	
Cornières courbe (inclut attaches)	4	variable	variable	1770	1.1	93762	0.664	4			
<u>Total</u>							1.225	7	7	749	

Annexe A04																															
Charges de piétons																															
	Zones	Ld12	Ld2t	Ldt3	Ld34	Lc12	Lc2T	Lct3	Lc34	Lc45	Lc56	Lc67																			
	angle (deg)					15	30	30	60	60	60	60																			
	s (mm)	8800	7800	15600	46800	4451	8901	8901	17802	17802	17802	17802																			
	Charge (kN)	127	113	225	676	64	129	129	257	257	257	257																			
	Scénarios	Zones chargées											Longueur totale chargée (m)	Charge vive (kPa)	Ratio p/r 4,25 kPa	Charge totale (kN)															
Droit seulement	1	1	1	1	1								79	3.19	0.75	858															
	2	1	1	1									32	3.80	0.89	416															
	3		1	1									23	4.09	0.96	325															
	4				1								47	3.51	0.83	559															
	5	1			1								56	3.40	0.80	643															
Courbe seulement	6					1	1	1	1	1	1	1	93	3.11	0.73	988															
	7					1	1	1					22	4.14	0.97	313															
	8						1	1					18	4.25	1.00	257															
	9								1				18	4.25	1.00	257															
	10								1		1		36	3.72	0.87	450															
	11									1		1	36	3.72	0.87	450															
Mixte	12											1	18	4.25	1.00	257															
	13		1					1					17	4.25	1.00	241															
	14			1			1						25	4.04	0.95	337															
	15		1	1			1	1					41	3.61	0.85	505															
	16	1	1	1		1	1	1	1				72	3.24	0.76	797															
	17	1	1	1	1	1	1	1	1	1			137	2.94	0.69	1367															
	18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	172	2.85	0.67	1670																

Annexe A05

Combinaisons de chargements

Enveloppes

Combinaisons	Dalu	Dalu corr	Dalu pout	Dbois	Dacier	Ld12	Ld2t	Ldt3	Ld34	Lc12	Lc2T	Lct3	Lc34	Lc45	Lc56	Lc67	Lhd	Lhc	Lm01	Lm02	Kdilpos	Kdilneg	Wh	Wvudn	Wv1/4 dn	Sn	A	ÉLF	ÉLUT1	ÉLUL
H_ÉLUL03 058	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4					1	0.45	-0.45					1	
H_ÉLUL03 059	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3															1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 060	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.3	1.3															1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 061	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1				1.2														1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 062	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1			1.1														1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 063	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 064	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.4	1.4	1.4											1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 065	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1						1.4	1.4											1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 066	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.4										1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 067	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.2		1.2								1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 068	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1									1.2		1.2							1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 069	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1											1.4							1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 070	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.4					1.4											1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 071	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1			1.3			1.3												1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 072	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.2	1.2			1.2	1.2											1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 073	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 074	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 075	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 076	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1														1.4				1	0.45	-0.45					1
H_ÉLUL03 077	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4					1		0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 078	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3															1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 079	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.3	1.3															1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 080	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1				1.2														1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 081	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1			1.1														1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 082	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 083	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.4	1.4	1.4											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 084	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1						1.4	1.4											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 085	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.4										1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 086	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.2		1.2								1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 087	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1									1.2		1.2							1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 088	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1											1.4							1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 089	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.4					1.4											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 090	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1			1.3				1.3											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 091	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.2	1.2				1.2	1.2										1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 092	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 093	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 094	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 095	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1														1.4				1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 096	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 097	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3															1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 098	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.3	1.3															1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 099	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1				1.2														1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 100	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1			1.1														1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 101	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 102	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.4	1.4	1.4											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 103	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1						1.4	1.4											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 104	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.4										1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 105	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.2		1.2								1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 106	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1									1.2		1.2							1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 107	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1											1.4							1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 108	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.4					1.4											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 109	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1			1.3				1.3											1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 110	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.2	1.2				1.2	1.2										1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 111	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 112	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 113	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 114	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1														1.4				1	0.45		0.45				1
H_ÉLUL03 115	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1	0.45		-0.45				1
H_ÉLUL03 116	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3															1	0.45		-0.45				1

Annexe A05

Combinaisons de chargements

Enveloppes

Combinaisons	Dalu	Dalu corr	Dalu pout	Dbois	Dacier	Ld12	Ld2t	Ldt3	Ld34	Lc12	Lc2T	Lct3	Lc34	Lc45	Lc56	Lc67	Lhd	Lhc	Lm01	Lm02	Kdilpos	Kdilneg	Wh	Wvudn	Wv1/4 dn	Sn	A	ÉLF	ÉLUT1	ÉLUL
H_ÉLUL03 117	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.3	1.3														1		0.45		-0.45			1	
H_ÉLUL03 118	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1				1.2														1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 119	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1			1.1														1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 120	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 121	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.4	1.4	1.4											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 122	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1						1.4	1.4											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 123	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.4										1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 124	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.2		1.2								1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 125	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1									1.2		1.2							1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 126	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1											1.4							1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 127	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.4					1.4											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 128	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1			1.3				1.3											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 129	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1			1.2	1.2			1.2	1.2										1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 130	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 131	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 132	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 133	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1														1.4				1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 134	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 135	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3															1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 136	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1			1.3	1.3														1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 137	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1				1.2														1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 138	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1			1.1														1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 139	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 140	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1					1.4	1.4	1.4											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 141	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1						1.4	1.4											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 142	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.4										1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 143	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1								1.2		1.2								1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 144	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1									1.2		1.2							1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 145	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1											1.4							1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 146	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.4					1.4											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 147	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1			1.3				1.3											1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 148	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1		1.2	1.2				1.2	1.2										1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 149	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 150	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 151	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 152	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1														1.4				1		0.45		-0.45			1
H_ÉLUL03 153	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 154	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.3	1.3	1.3															1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 155	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.3	1.3															1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 156	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95				1.2														1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 157	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1			1.1														1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 158	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 159	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.4	1.4	1.4											1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 160	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95						1.4	1.4											1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 161	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.4										1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 162	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.2		1.2								1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 163	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95									1.2		1.2							1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 164	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95										1.4								1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 165	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.4					1.4											1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 166	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95			1.3				1.3											1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 167	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.2	1.2				1.2	1.2										1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 168	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 169	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 170	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 171	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95														1.4				1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 172	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 173	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.3	1.3	1.3															1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 174	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.3	1.3															1		0.45	0.45				1
H_ÉLUL03 175	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95				1.2														1		0.45	0.45				1

Annexe A05

Combinaisons de chargements

Enveloppes

Combinaisons	Dalu	Dalu corr	Dalu pout	Dbois	Dacier	Ld12	Ld2t	Ldt3	Ld34	Lc12	Lc2T	Lct3	Lc34	Lc45	Lc56	Lc67	Lhd	Lhc	Lm01	Lm02	Kdilpos	Kdilneg	Wh	Wvudn	Wv1/4 dn	Sn	A	ÉLF	ÉLUT1	ÉLUL	
H_ÉLUL03 235	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.4	1.4	1.4										1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 236	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95						1.4	1.4										1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 237	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.4									1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 238	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.2		1.2							1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 239	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95									1.2		1.2						1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 240	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95											1.4						1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 241	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.4					1.4										1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 242	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95			1.3			1.3											1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 243	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.2	1.2			1.2	1.2										1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 244	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1									1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 245	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0								1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 246	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3				1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 247	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95														1.4			1		0.45	0.45				1		
H_ÉLUL03 248	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 249	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.3	1.3	1.3															1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 250	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.3	1.3															1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 251	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95				1.2														1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 252	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1			1.1														1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 253	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 254	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.4	1.4	1.4											1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 255	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95						1.4	1.4											1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 256	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.4										1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 257	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.2		1.2								1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 258	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95									1.2		1.2							1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 259	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95											1.4							1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 260	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.4					1.4											1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 261	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95			1.3			1.3												1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 262	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.2	1.2			1.2	1.2											1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 263	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 264	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 265	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 266	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95														1.4				1		0.45	0.45				1	
H_ÉLUL03 267	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 268	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.3	1.3	1.3															1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 269	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.3	1.3															1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 270	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95				1.2														1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 271	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1			1.1														1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 272	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 273	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.4	1.4	1.4											1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 274	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95						1.4	1.4											1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 275	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.4										1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 276	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95								1.2		1.2								1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 277	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95									1.2		1.2							1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 278	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95											1.4							1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 279	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.4					1.4											1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 280	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95			1.3			1.3												1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 281	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.2	1.2			1.2	1.2											1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 282	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1		1.1	1.1	1.1	1.1										1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 283	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0									1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 284	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.2	1.3					1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 285	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95														1.4				1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 286	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1	1.1	1.1	1.1								1.4						1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 287	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.3	1.3	1.3																1		0.45	-0.45				1
H_ÉLUL03 288	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95		1.3	1.3															1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 289	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95				1.2															1		0.45	-0.45				1
H_ÉLUL03 290	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95	1.1			1.1														1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 291	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.4					1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 292	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95					1.4	1.4	1.4											1		0.45	-0.45				1	
H_ÉLUL03 293	0.95	0.95	0.95	0.9	0.95						1.4	1.4											1		0.45	-0.45				1	

Annexe A06 : Combinaisons de charge L vs Sn

Selon CSA S7-23 | 3.3, Engineering judgment shall be used when combining snow accumulation with other loads.

Selon CSA S7-23 | tab. 3.1 ***, Pedestrian live load to be considered if the bridge is open for service with snow on deck.

Cette annexe présentes différentes combinaisons de charge impliquant les piétons et la neige.

On conclut qu'en considérant 1,7xL ou 1,5xSn, on couvre les cas intermédiaires qui sont d'ailleurs fort improbables.

Il n'est donc pas requis d'avoir des combinaisons impliquant L et Sn.

L	4.25 kPa	Travée courte															
Sn	4.1 kPa	Rivière-du-Loup															
	α Sn	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	kPa	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.3	5.7	6.2
	mm	0	82	164	246	328	410	492	574	656	738	820	902	984	1066	1148	1230
α L	0	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.3	5.7	6.2
	0.1	0.4	0.8	1.2	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.3	5.8	6.2	6.6
	0.2	0.9	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0
	0.3	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4
	0.4	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.9
	0.5	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.5	7.9	8.3
	0.6	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7
	0.7	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1
	0.8	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1	9.6
	0.9	3.8	4.2	4.6	5.1	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.2	9.6	10.0
	1	4.3	4.7	5.1	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4
	1.1	4.7	5.1	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8
	1.2	5.1	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.3
	1.3	5.5	5.9	6.3	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.9	11.3	11.7
	1.4	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1
	1.5	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5
	1.6	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	13.0
	1.7	7.2	7.6	8.0	8.5	8.9	9.3	9.7	10.1	10.5	10.9	11.3	11.7	12.1	12.6	13.0	13.4

Toutes les combinaisons de L et Sn dans cette zone du tableau seront inférieures à 1,7 L

L	2.125 kPa	Très grande longueur de chargement															
Sn	4.1 kPa	Rivière-du-Loup															
	α Sn	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
	kPa	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.3	5.7	6.2
	mm	0	82	164	246	328	410	492	574	656	738	820	902	984	1066	1148	1230
α L	0	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.3	5.7	6.2
	0.1	0.2	0.6	1.0	1.4	1.9	2.3	2.7	3.1	3.5	3.9	4.3	4.7	5.1	5.5	6.0	6.4
	0.2	0.4	0.8	1.2	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1	4.5	4.9	5.3	5.8	6.2	6.6
	0.3	0.6	1.0	1.5	1.9	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.3	4.7	5.1	5.6	6.0	6.4	6.8
	0.4	0.9	1.3	1.7	2.1	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.5	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0
	0.5	1.1	1.5	1.9	2.3	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2
	0.6	1.3	1.7	2.1	2.5	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4
	0.7	1.5	1.9	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6
	0.8	1.7	2.1	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.4	7.9
	0.9	1.9	2.3	2.7	3.1	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	7.7	8.1
	1	2.1	2.5	2.9	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.6	7.0	7.5	7.9	8.3
	1.1	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.3	7.7	8.1	8.5
	1.2	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.2	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7
	1.3	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.0	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9
	1.4	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.8	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1
	1.5	3.2	3.6	4.0	4.4	4.8	5.2	5.6	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3
	1.6	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0	5.5	5.9	6.3	6.7	7.1	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1	9.6
	1.7	3.6	4.0	4.4	4.8	5.3	5.7	6.1	6.5	6.9	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.4	9.8

Toutes les combinaisons de L et Sn dans cette zone du tableau seront inférieures à 1,5 S

Annexe A07 Calcul de résistance des tubes en aluminium

		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9										Unités	Référence
Situation		-	-	-	-	-	-	2x âme	2x âme	tf, bf, w											
Soudures longitudinales		-	-	-	-	-	-	-	-	-											
Soudures transversales		-	tf	wd	tf, wd	tf, bf, wd	tf, bf, w	tf	-	-											
1) RÉSUMÉ DES RÉSISTANCES																					
Classe	Classe de la section en flexion	3	3	3	3	3	3	3	3	3											S6:19 17.12.1
Classe sem.	Classe de la semelle en compression	3	3	3	3	3	3	3	3	3											S6:19 17.12.1
Classe âme	Classe de l'âme en flexion	1	1	1	1	1	1	1	1	1											S6:19 17.12.1
λ semelle	Élancement normalisé de la semelle comprimée	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58											S6:19 17.9
λ âme	Élancement normalisé de l'âme en flexion	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00											S6:19 17.9
Tr	Traction	2648	2187	2187	1815	1442	1517	2103	2342	2303										kN	S6:19 17.10.3
Cr	Compression	2253	2002	2002	2002	2002	1517	1517	1517	1517										kN	S6:19 17.11.3
Mrclasse	MRL - Selon la classe	183	118	166	116	92	92	109	183	154										kN-m	S6:19 17.12.2
Mrdévers	MNRL - Toutes classes	200	198	198	198	198	198	198	176	173										kN-m	S6:19 17.12.3.2
Vr	Âme non-raïdie	753	753	753	753	753	753	753	753	753										kN	S6:19 17.12.4.1.2
2) RATIOS DEMANDE/CAPACITÉ																					
KL/r T	Élancement en traction	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%	16%											S6:19 17.10.1
KL/r C	Élancement en compression	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.11.1
Tf / Tr	Tension	44%	53%	53%	64%	81%	77%	55%	50%	50%											S6:19 17.10.3
Cf / Cr	Compression	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.11.1
Mf / Mr	Flexion MRL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.12.2
Mf / Mr	Flexion MNRL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.12.3.2
Vf / Vr	Cisaillage	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.12.4.1.2
Int. T-M (1)	Traction et flexion (fibre comprimée)	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%	44%											S6:19 17.14.1.1a)
Int. T-M (2)	Traction et flexion (fibre tendue)	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%	49%											S6:19 17.14.1.1b)
Int. T-M (3)	Traction et flexion (fibre stabilité)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.14.1.3
Int. T-C (1)	Compression et flexion sans flambement (f. comp.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.14.2.1a)
Int. T-C (2)	Compression et flexion sans flambement (f. tend.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.14.2.1b)
Int. T-C (3)	Compression et flexion sans flambement (appui f.c.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.14.2.1c))
Int. T-C (4)	Compression et flexion sans flambement (appui f.l.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.14.2.1c)ii)
Int. T-C (5)	Compression et flexion avec flambement	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%											S6:19 17.14.2.2
3) ENTRÉE DE DONNÉES																					
Matériaux																					
Fy	Limite élastique	240	240	240	240	240	240	240	240	240										MPa	S6:19 17.4.2
Fu	Limite ultime	260	260	260	260	260	260	260	260	260										MPa	S6:19 17.4.2
Fwy	Limite élastique dans la ZAT	105	105	105	105	105	105	105	105	105										MPa	S6:19 17.4.2
Fwu	Limite ultime dans la ZAT	165	165	165	165	165	165	165	165	165										MPa	S6:19 17.4.2
E	Module élastique	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000										MPa	S6:19 17.4.1
G	Module élastique en cisaillement	26000	26000	26000	26000	26000	26000	26000	26000	26000										MPa	S6:19 17.4.1
Dimensions du tube																					
d	Profondeur du tube	254	254	254	254	254	254	254	254	254										mm	
b	Largeur du tube	254	254	254	254	254	254	254	254	254										mm	
t	Épaisseur du tube	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7										mm	
h	Hauteur de l'âme	229	229	229	229	229	229	229	229	229										mm	
L	Longueur libre non-retenue	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900										mm	S6:19 17.3.2
Kx	Coefficient de longueur effective	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00											S6:19 17.5.9.2
Ky	Coefficient de longueur effective	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00											S6:19 17.5.9.2
Efforts appliqués																					
Td	Effort de traction permanent minimum (+ = tension)	0	0	0	0	0	0	0	0	0										kN	S6:19 17.10.1
Pf	Effort axial pondéré (+ = tension)	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162	1162										kN	
Mf	Flexion pondérée (+ = fibre supérieure comprimée)	0	0	0	0	0	0	0	0	0										kN-m	
Vf	Cisaillage pondéré	0	0	0	0	0	0	0	0	0										kN	
Ω	Coefficient d'application de la charge	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0											S6:19 17.12.3.2
w	Coefficient de gradient de moment	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0											S6:19 17.12.3.2
Soudage																					
bhazf	Largeur de la ZAT dans les semelles	-	-	22	22	-	-	-	-	49										mm	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
bhazw	Largeur de la ZAT dans les âmes	-	22	-	22	-	-	49	49	49										mm	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
p	Décalage des soudures longi. de la situation #8	-	-	-	-	-	-	-	114	-										mm	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
dff	Sem. sup. (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4											S6:19 17.11.2.3
cbf	Sem. inf. (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.4											S6:19 17.11.2.3
aw	Âmes (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4											S6:19 17.11.2.3
asection	Section (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4											S6:19 17.11.2.3
k	Présence soudures longitudinales ? (oui ou non)	non	non	non	non	non	non	non	oui	oui											S6:19 17.11.2.4
Soud. transv.	Soud. transv. aux extrémités (ext) ou à distance (int) ?	-	ext	ext	ext	ext	ext	ext	ext	int											S6:19 17.11.2.2 d) et e)
Itération pour âme classe 3																					
hc entrée	Hauteur comprimée de l'âme entrée	127	127	127	127	127	127	127	127	127										mm	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet
At entrée	Aire totale entrée	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258										mm²	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet
Ix entrée	Moment d'inertie entrée	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08										mm⁴	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet
hc calculée	Hauteur comprimée de l'âme calculée = yt - ttf	115	139	115	136	114	114	143	115	115										mm	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet
At calculée	Aire totale calculée	12218	10125	11167	9510	7786	7581	9736	12218	10604										mm²	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet
Ix calculée	Moment d'inertie calculée	1.19E+08	8.32E+07	1.08E+08	7.98E+07	5.97E+07	5.98E+07	7.88E+07	1.19E+08	9.97E+07										mm⁴	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet

Annexe A07 Calcul de résistance des tubes en aluminium																					
Situation																					
Soudures longitudinales																					
Soudures transversales																					
Convergence																					
hc entrée / hc calculée																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
89%																					
111%																					
110%																					
111%																					
91%																					
110%																					
93%																					
111%																					
111%																					
8																					

Annexe A07 Calcul de résistance des tubes en aluminium																							
Situation																							
Soudures longitudinales																							
Soudures transversales																							
E																							
λ = m b / t (élancement local)																							
m = choix selon f2/f1 (retenue deux rives, flexion propre plan)																							
m = 1.15 + f2/f1 / 2 lorsque -1 < f2/f1 < 1																							
m = 1.3 / (1 - f2/f1) lorsque f2/f1 < -1																							
b = d - t																							
t = t																							
f2/f1 Chargement axial vs flexion																							
f1 Pf / At - Mf hc / Ix (où hc, At et Ix = entrée)																							
f2 Pf / At + Mf (h-hc) / Ix (où hc, At et Ix = entrée)																							
Cas où l'âme est séparée en 2 sous-segments																							
réd. tf1	min (soudage:élancement)	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S6:19 17.8.3
réd. tf2	min (soudage:élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. tf3	min (soudage:élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w1	min (soudage:élancement)	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w2	min (soudage:élancement)	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w3	min (soudage:élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w4	min (soudage:élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w5	min (soudage:élancement)	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w6	min (soudage:élancement)	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w7	min (soudage:élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
réd. w8	min (soudage:élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
h1	variable en fonction de la situation	127	-	-	-	-	-	-	-	-	127	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
h2	variable en fonction de la situation	102	-	-	-	-	-	-	-	-	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
h3	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
h4	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
h5	variable en fonction de la situation	127	-	-	-	-	-	-	-	-	127	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
h6	variable en fonction de la situation	102	-	-	-	-	-	-	-	-	102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
h7	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
h8	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	mm
Cas où l'âme est séparée en 4 sous-segments																							
réd. tf1	min (soudage:élancement)	-	0.44	0.98	0.44	0.44	0.44	0.44	0.99	0.98	-	0.44	0.98	0.44	0.44	0.44	0.44	0.99	0.98	-	-	-	S6:19 17.8.3
réd. tf2	min (soudage:élancement)	-	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	-	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.44	-	-	-	
réd. tf3	min (soudage:élancement)	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	
réd. w1	min (soudage:élancement)	-	0.44	1.00	0.44	0.44	0.73	0.44	1.00	1.00	-	0.44	1.00	0.44	0.73	0.44	1.00	1.00	1.00	-	-	-	
réd. w2	min (soudage:élancement)	-	0.44	1.00	0.44	1.00	1.00	0.44	1.00	1.00	-	0.44	1.00	0.44	1.00	1.00	0.44	1.00	1.00	-	-	-	
réd. w3	min (soudage:élancement)	-	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	
réd. w4	min (soudage:élancement)	-	1.00	0.00	1.00	0.44	0.73	1.00	1.00	0.44	-	1.00	0.00	1.00	0.44	0.73	1.00	1.00	0.44	-	-	-	
réd. w5	min (soudage:élancement)	-	0.44	0.73	0.73	0.73	0.73	0.44	1.00	0.44	-	0.44	0.73	0.73	0.73	0.44	1.00	0.44	0.44	-	-	-	
réd. w6	min (soudage:élancement)	-	0.44	1.00	1.00	1.00	1.00	0.44	1.00	0.44	-	0.44	1.00	1.00	1.00	0.44	1.00	0.44	0.44	-	-	-	
réd. w7	min (soudage:élancement)	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	
réd. w8	min (soudage:élancement)	-	1.00	0.73	0.73	0.73	0.73	1.00	1.00	1.00	-	1.00	0.73	0.73	0.73	1.00	1.00	1.00	1.00	-	-	-	
h1	variable en fonction de la situation	-	0	127	0	22	76	0	65	0	-	0	127	0	22	76	0	65	0	-	-	-	mm
h2	variable en fonction de la situation	-	22	102	22	105	51	49	62	127	-	22	102	22	105	51	49	62	127	-	-	-	mm
h3	variable en fonction de la situation	-	105	0	105	79	25	78	37	52	-	105	0	105	79	25	78	37	52	-	-	-	mm
h4	variable en fonction de la situation	-	102	0	102	22	76	102	65	49	-	102	0	102	22	76	102	65	49	-	-	-	mm
h5	variable en fonction de la situation	-	0	76	76	76	76	0	65	0	-	0	76	76	76	76	0	65	0	-	-	-	mm
h6	variable en fonction de la situation	-	22	51	51	51	51	49	62	49	-	22	51	51	51	49	62	49	62	-	-	-	mm
h7	variable en fonction de la situation	-	105	25	25	25	25	78	37	78	-	105	25	25	25	78	37	78	78	-	-	-	mm
h8	variable en fonction de la situation	-	102	76	76	76	76	102	65	102	-	102	76	76	76	76	102	65	102	-	-	-	mm
B) FLAMBEMENT LOCAL (SECTION BRUTE)																							
Élancement local de la semelle comprimée selon la section brute																							
Fm = √F Fy (résistance post-voilement)		237	234	234	234	234	234	234	237	234	237	234	234	234	234	234	234	237	234				S6:19 17.9.1
Fc = F Fy (contrainte de flambement local)		234	229	229	229	229	229	229	234	229	234	229	229	229	229	229	229	234	229				MPa S6:19 17.11.2.2c)
F = β - √(β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)		0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.98	0.95	0.98	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.98	0.95				S6:19 17.11.2.3
β = [1 + α (λ - λ₀) + λ²] / 2λ²		1.99	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	1.99	2.01	1.99	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	1.99	2.01				S6:19 17.11.2.3
α		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4				S6:19 17.11.2.3
λ₀		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5				S6:19 17.11.2.3
λ = λ/π √F0/E (élancement normalisé)		0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58				S6:19 17.11.2.1
F0 = Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240				MPa S6:19 17.9.1.1
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000				MPa S6:19 17.4.1
λ = m b / t (élancement local)		31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31				S6:19 17.9.1.1
m = 1.25 + int (at / bw) < 1.65 (retenue deux rives, comp. unif.)		1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65				S6:19 17.9.1.2.3
b = b - t		241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241				mm S6:19 17.9.1.1
t = t		12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7				mm S6:19 17.3.2
a = d - t		241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241	241				mm S6:19 fig. 17.1 b)
w = t		12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7				mm S6:19 fig. 17.1 b)
int = 0.2 + 0.1 (f2/f1 + 1) où -1 ≤ f2/f1 ≤ 1		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4				mm S6:19 17.9.1.2.3 + CPF 2025-17-042
Élancement local de l'âme comprimée selon la section brute																							
Fm = √F Fy (résistance post-voilement)		240	240	240	240	240	240	240	240	240	237	240	240	240	240	240	240	240	240				MPa S6:19 17.9.1
																							S6:19 17.11.2.2c)

Annexe A07 Calcul de résistance des tubes en aluminium																					
Situation																					
Soudures longitudinales																					
Soudures transversales																					
F _c = F _y (contrainte de flambement local)																					
F = β √ (β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)																					
β = [1 + α (λ - λ₀) + λ² / 2λ₀²]																					
λ = N/π √(F₀/E) (élancement normalisé)																					
λ = m b / l (élancement local)																					
m = choix selon f2/f1 (retenue deux rives, flexion propre plan)																					
m = 1.15 + f2/f1 / 2 lorsque -1 < f2/f1 < 1																					
m = 1.3 / (1 - f2/f1) lorsque f2/f1 < -1																					
b = d - t																					
l = t																					
f2/f1 Chargeement axial vs flexion																					
f1 Pf / At - Mf (yt-t) / lx (+ = tension) section brute																					
f2 Pf / At + Mf (yb-t) / lx (+ = tension) section brute																					
9) MEMBRURES EN TRACTION																					
Élancement limite en traction (en x)																					
D/C																					
Limite = 250 v (1+ f/Fe)																					
f = Pd / A																					
Td																					
At																					
Fe = π² E / λ²																					
E																					
λx = KxL/rx																					
Élancement limite en traction (en y)																					
D/C																					
Limite = 250 v (1+ f/Fe)																					
f = Pd / A																					
Td																					
At																					
Fe = π² E / λ²																					
E																					
λy = KyL/ry																					
Résistance axiale à la traction																					
Tr = min (Tr1 ; Tr3 ; Tr4)																					
Tr1 = φy Ag Fy																					
φy																					
Ag																					
Fy																					
Tr2 = φu Ag Fu																					
φu																					
Ag																					
Fu																					
Tr3 = φu Ag Fwu																					
φu																					
Ag																					
Fwu																					
Tr4 = φy Ag Fm																					
φy																					
Ag																					
Fm																					
10) MEMBRURES COMPRIMÉES																					
Élancement limite en compression																					
D/C																					
Limite = 100																					
λmax = max (KxL/rx ; KyL/ry)																					
Résistance à la compression																					
Cr = min [Cr1 ; Cr2 ; Cr3]																					
Résistance à la compression (flambement en flexion)																					
Cr1 = min [cas a) à f)]																					
Résistance à la compression cas a) à e)																					
Cr = φy Ag F₀																					
φy																					

Annexe A07 Calcul de résistance des tubes en aluminium		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	Unités	Référence
Situation		-	-	-	-	-	-	2x âme	2x âme	tf, bf, w	-	-	-	-	-	-	2x âme	2x âme	tf, bf, w		
Soudures longitudinales		-	-	-	-	-	-	2x âme	2x âme	tf, bf, w	-	-	-	-	-	-	2x âme	2x âme	tf, bf, w		
Soudures transversales		-	tf	wd	tf, wd	tf, bf, wd	tf, bf, w	tf	-	-	-	tf	wd	tf, wd	tf, bf, wd	tf, bf, w	tf	-	-		
Cr3 = qu Ag Fwu		91935291	91935291	91935291	91935291	91935291	1517	1517	1517	1517	91935291	91935291	91935291	91935291	91935291	91935291	91935291	91935291	91935291	kN	S6:19 17.11.2.2d)
qu		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Ag		12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	12258	mm²	
Fwu		9999999	9999999	9999999	9999999	9999999	165	165	165	165	9999999	9999999	9999999	9999999	9999999	9999999	9999999	9999999	9999999	MPa	S6:19 17.4.2
11) MEMBRURES FLÉCHIES RETENUES CONTRE FLAMBEMENT LATÉRAL																					
Classification des membrures en flexion																					
Section complète																					
Classe		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
Semelle comprimée																					
Classe		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
λ (élancement normalisé)		0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58		S6:19 17.9
Âme comprimée																					
Classe		1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1		S6:19 17.12.1
λ (élancement normalisé)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		S6:19 17.9
Résistance à la flexion section classe 1																					
Mr1 = min (Mrc ; Mrt)		216	159	187	139	107	95	149	210	183	216	159	187	139	107	95	149	210	183	kN-m	S6:19 17.12.2a)
Mrc = φy Z Fy		240	176	207	154	118	105	165	232	203	240	176	207	154	118	105	165	232	203	kN-m	S6:19 17.12.2a))
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Z		1.11E+06	8.14E+05	9.57E+05	7.11E+05	5.46E+05	4.86E+05	7.65E+05	1.08E+06	9.40E+05	1.11E+06	8.14E+05	9.57E+05	7.11E+05	5.46E+05	4.86E+05	7.65E+05	1.08E+06	9.40E+05	mm³	
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Mrt = φu Zn Fu		216	159	187	139	107	95	149	210	183	216	159	187	139	107	95	149	210	183	kN-m	S6:19 17.12.2a)ii)
qu		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Zn		1.11E+06	8.14E+05	9.57E+05	7.11E+05	5.46E+05	4.86E+05	7.65E+05	1.08E+06	9.40E+05	1.11E+06	8.14E+05	9.57E+05	7.11E+05	5.46E+05	4.86E+05	7.65E+05	1.08E+06	9.40E+05	mm³	
Fu		260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
Résistance à la flexion section classe 2																					
Mr2 = min (Mrc ; Mrt)		183	118	166	116	92	92	109	183	154	183	118	166	116	92	92	109	183	154	kN-m	S6:19 17.12.2b)
Mrc = φy St Fy		201	118	182	116	102	102	109	201	169	201	118	182	116	102	102	109	201	169	kN-m	S6:19 17.12.2b)ii)
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
St		9.32E+05	5.48E+05	8.43E+05	5.37E+05	4.70E+05	4.71E+05	5.05E+05	9.32E+05	7.81E+05	9.29E+05	5.48E+05	8.43E+05	5.37E+05	4.70E+05	4.71E+05	5.05E+05	9.32E+05	7.81E+05	mm³	
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Mrt = φu Sbn Fu		183	159	166	148	92	92	157	183	154	183	159	166	148	92	92	157	183	154	kN-m	S6:19 17.12.2b)iii)
qu		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Sbn		9.38E+05	8.14E+05	8.53E+05	7.57E+05	4.70E+05	4.71E+05	8.04E+05	9.38E+05	7.89E+05	9.38E+05	8.14E+05	8.53E+05	7.57E+05	4.70E+05	4.71E+05	8.04E+05	9.38E+05	7.89E+05	mm³	
Fu		260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
Résistance à la flexion section classe 3																					
Mr3 = min (Mrc ; Mrt)		183	118	166	116	92	92	109	183	154	183	118	166	116	92	92	109	183	154	kN-m	S6:19 17.12.2c)
Mrc = φy Sm Fy		201	118	182	116	102	102	109	201	169	201	118	182	116	102	102	109	201	169	kN-m	S6:19 17.12.2c)ii)
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Sm		9.32E+05	5.48E+05	8.43E+05	5.37E+05	4.70E+05	4.71E+05	5.05E+05	9.32E+05	7.81E+05	9.29E+05	5.48E+05	8.43E+05	5.37E+05	4.70E+05	4.71E+05	5.05E+05	9.32E+05	7.81E+05	mm³	
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Mrt = φu Sbn Fu		183	159	166	148	92	92	157	183	154	183	159	166	148	92	92	157	183	154	kN-m	S6:19 17.12.2b)iii)
qu		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Sbn		9.38E+05	8.14E+05	8.53E+05	7.57E+05	4.70E+05	4.71E+05	8.04E+05	9.38E+05	7.89E+05	9.38E+05	8.14E+05	8.53E+05	7.57E+05	4.70E+05	4.71E+05	8.04E+05	9.38E+05	7.89E+05	mm³	
Fu		260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
12) MEMBRURES FLÉCHIES NON RETENUES CONTRE FLAMBEMENT LATÉRAL																					
Résistance à la flexion																					
Mrdévrs = min [cas a) à f)]		200	198	198	198	198	198	198	176	173	200	168	168	139	111	89	89	89	89	kN-m	S6:19 17.12.3.2
Résistance à la flexion cas a) à e)																					S6:19 17.12.3.2
Mr = φy Sx F F0		200	198	198	198	198	198	198	200	198	200	198	198	198	198	198	198	198	198	kN-m	S6:19 17.12.3.2
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Sx		9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	mm³	
F		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
F0		237	234	234	234	234	234	234	237	234	237	234	234	234	234	105	105	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2
Résistance à la flexion cas f)																					S6:19 17.12.3.2
Mr = φy Sx k F F0		203	203	203	203	203	203	203	176	173	203	168	168	139	111	89	161	176	173	kN-m	S6:19 17.12.3.2
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Sx		9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	mm³	
k		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98		S6:19 17.11.2.4
F		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
F0		240	240	240	240	240	240	240	212	209	240	198	198	164	131	105	191	212	209	MPa	S6:19 17.11.2.2
Contrainte de flambement normalisée F _{cr} cas a) à e)																					
F _{cr} = β · √(β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
β = [1 + α (λ - λ₀) + λ²] / 2λ²		11.89	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.68	11.81	11.89	11.81	11.81	11.81	11.81	25.01	25.01	25.01	25.01		S6:19 17.11.2.3
osection		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ₀		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		S6:19 17.11.2.3
λ = Ntr/F0/E (élancement normalisé)		0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.14	0.14	0.14	0.14		S6:19 17.11.2.1

Annexe A07 Calcul de résistance des tubes en aluminium																					
Situation																					
Soudures longitudinales																					
Soudures transversales																					
F0 = plus petit des cas a) à e) applicables																					
E																					
a) Fy																					
b) Fc																					
c) Fm (semelle et âme)																					
d) Fy																					
e) Fwy																					
Contrainte de flambement normalisée F _{cas f})																					
k = 0,9 + 0,1 1-λ ≤ 1 (influence soudures longitudinales)																					
F = β - √(β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)																					
β = [1 + α(λ - λ₀) + λ²/2λ²]																					
osection																					
λ₀																					
λ = √(π² F0/E) (élancement normalisé)																					
F0 = cas f) si applicable																					
E																					
f) Fm																					
Élancement global du tube fléchi																					
λ = √(Q/ω) * √(SxL / 4√(Iy (0,04J + Cw/L³))) (élancement global)																					
Q																					
ω																					
Sx																					
L																					
Iy																					
J																					
Cw																					
13) CISAILLEMENT - MEMBRURES EN FLEXION À DEUX SEMELLES																					
Âmes plates sans raidisseurs																					
Vr = qy h w Fsc x 2 âmes																					
qy																					
Fsc = F0 F																					
F = β - √(β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)																					
β = [1 + α(λ - λ₀) + λ²/2λ²]																					
gw																					
λ₀																					
λ = λs/π√F0/E (élancement normalisé)																					
F0 = 0,6 Fy																					
E																					
λs = 1,4 h/w																					
h																					
w																					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	Unités	Référence
Soudures longitudinales	-	-	-	-	-	-	2x âme	2x âme	tf, bf, w		-	-	-	-	-	-	2x âme	2x âme	tf, bf, w		
Soudures transversales	-	tf	wd	tf, wd	tf, bf, wd	tf, bf, w	tf	-	-		-	tf	wd	tf, wd	tf, bf, wd	tf, bf, w	tf	-	-		
F0 = plus petit des cas a) à e) applicables	237	234	234	234	234	234	234	237	234		237	234	234	234	234	105	105	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2
E	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
a) Fy	240	240	240	240	240	240	240	240	240		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.11.2.2a)
b) Fc	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	MPa	S6:19 17.11.2.2b)
c) Fm (semelle et âme)	237	234	234	234	234	234	234	237	234		237	234	234	234	234	105	105	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2c)
d) Fy	-	240	240	240	240	240	240	240	240		-	-	-	-	-	-	-	-	-	MPa	S6:19 17.11.2.2d)
e) Fwy	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	105	105	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2e)
Contrainte de flambement normalisée F _{cas f})																					S6:19 17.11.2.3
k = 0,9 + 0,1 1-λ ≤ 1 (influence soudures longitudinales)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98		S6:19 17.11.2.4
F = β - √(β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
β = [1 + α(λ - λ₀) + λ²/2λ²]	11.76	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	12.92	13.13		11.76	13.77	13.77	16.38	20.32	25.01	14.28	12.92	13.13		S6:19 17.11.2.3
osection	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ₀	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		S6:19 17.11.2.3
λ = √(π² F0/E) (élancement normalisé)	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.19		0.21	0.19	0.19	0.17	0.15	0.14	0.19	0.20	0.19		S6:19 17.11.2.1
F0 = cas f) si applicable	240	240	240	240	240	240	240	212	209		240	198	198	164	131	105	191	212	209	MPa	S6:19 17.11.2.2
E	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
f) Fm	240	240	240	240	240	240	240	212	209		240	198	198	164	131	105	191	212	209	MPa	S6:19 17.11.2.2f)
Élancement global du tube fléchi																					S6:19 17.12.3.2
λ = √(Q/ω) * √(SxL / 4√(Iy (0,04J + Cw/L³))) (élancement global)	11	11	11	11	11	11	11	11	11		11	11	11	11	11	11	11	11	11		S6:19 17.12.3.2a)
Q	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		S6:19 17.12.3.2
ω	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		S6:19 17.12.3.2
Sx	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05		9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	9.39E+05	mm³	
L	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900		3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	mm	S6:19 17.3.2
Iy	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08		1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	1.19E+08	mm⁴	
J	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08		1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	1.78E+08	mm⁴	Beaulieu éq. 5.95
Cw	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	mm⁵	Beaulieu fig. 6.23
13) CISAILLEMENT - MEMBRURES EN FLEXION À DEUX SEMELLES																					S6:19 17.12.4.1
Âmes plates sans raidisseurs																					S6:19 17.12.4.1.2
Vr = qy h w Fsc x 2 âmes	753	753	753	753	753	753	753	753	753		753	753	753	753	753	753	753	753	753	kN	S6:19 17.12.4.1.2
qy	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Fsc = F0 F	144	144	144	144	144	144	144	144	144		144	144	144	144	144	144	144	144	144	MPa	S6:19 17.12.4.1.2
F = β - √(β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
β = [1 + α(λ - λ₀) + λ²/2λ²]	4.17	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07		4.17	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07	4.07		S6:19 17.11.2.3
gw	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ₀	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		S6:19 17.11.2.3
λ = λs/π√F0/E (élancement normalisé)	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36		0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36		S6:19 17.12.4.1.2
F0 = 0,6 Fy	144	144	144	144	144	144	144	144	144		144	144	144	144	144	144	144	144	144	MPa	S6:19 17.11.2.2
E	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
λs = 1,4 h/w	25	25	25	25	25	25	25	25	25		25	25	25	25	25	25	25	25	25		S6:19 17.12.4.1.2 et S157-17 12.1.2
h	229	229	229	229	229	229	229	229	229		229	229	229	229	229	229	229	229	229	mm	S6:19 17.12.4.1.2
w	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7		12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	12.7	mm	S6:19 17.12.4.1.2

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
1) RÉSUMÉ DES RÉSISTANCES												
Classe	Classe de la section en flexion	3	3	3	3	3	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
Classe sem.	Classe de la semelle en compression	2	2	2	2	2	2	2	2	2		S6:19 17.12.1
Classe âme	Classe de l'âme en flexion	3	3	3	3	3	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
$\lambda_{semelle}$	Élancement normalisé de la semelle comprimée	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47		S6:19 17.9
$\lambda_{âme}$	Élancement normalisé de l'âme en flexion	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98		S6:19 17.9
Mrclasse	MRL - Selon la classe	1978	1980	1949	1669	1138	1128	1604	966	966	kN-m	S6:19 17.12.3.2
Mrdévers	MNRL - Toutes classes	1859	1724	1724	1724	1558	1558	1412	932	957	kN-m	S6:19 17.12.3.2
Vr	Âme non-raïdie	515	465	465	465	465	465	465	465	465	kN	S6:19 17.12.4.1.2
Vr	Âme raidie	1300	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	kN	S6:19 17.12.4.1.2
2) ENTRÉE DE DONNÉES												
Matériaux												
Fy	Limite élastique	240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Fu	Limite ultime	260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
Fwy	Limite élastique dans la ZAT	105	105	105	105	105	105	105	105	105	MPa	S6:19 17.4.2
E	Module élastique	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
G	Module élastique en cisaillement	26000	26000	26000	26000	26000	26000	26000	26000	26000	MPa	S6:19 17.4.1
Dimensions de la poutre												
d	Profondeur poutre	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	mm	
t _{tf}	Épaisseur aile supérieure	30	30	30	30	30	30	30	30	30	mm	
t _{bf}	Largeur aile supérieure	300	300	300	300	300	300	300	300	300	mm	
t _{bf}	Épaisseur aile inférieure	30	30	30	30	30	30	30	30	30	mm	
b _{bf}	Largeur aile inférieure	300	300	300	300	300	300	300	300	300	mm	
w	Épaisseur âme	12	12	12	12	12	12	12	12	12	mm	
h	Hauteur âme	940	940	940	940	940	940	940	940	940	mm	
L	Longueur libre non-retendue	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	mm	S6:19 17.3.2
a	Espacement des raidisseurs transversaux	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	mm	S6:19 17.3.2
Ω	Coefficient d'application de la charge	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4		S6:19 17.12.3.2
ω	Coefficient de gradient de moment	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		S6:19 17.12.3.2
Soudage												
b _{hazt}	Largeur de la ZAT dans la semelle supérieure	0	0	0	40	144	40	40	144	144	mm	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
b _{hazb}	Largeur de la ZAT dans la semelle inférieure	0	0	0	40	40	144	40	144	144	mm	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
b _{hazw}	Largeur de la ZAT dans l'âme	0	30	30	40	40	40	470	470	470	mm	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
p	Décalage des soudures longi. de la situation #3	-	-	100	-	-	-	-	-	-	mm	S6:19 fig. 17.7 + 17.22.3.4.3
α_{tf}	Sem. sup. (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
α_{bf}	Sem. inf. (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
α_w	Âme (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
$\alpha_{section}$	Section (traité therm ou non, soudé ou non)	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
k	Présence soudures longitudinales ? (oui ou non)	non	oui	non		S6:19 17.11.2.4						
Itération pour âme classe 3												
h _{c entrée}	Hauteur comprimée de l'âme entrée	476	479	477	479	570	396	474	475	475	mm	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet
h _{c calculée}	Hauteur comprimée de l'âme calculée = y _t - t _{tf}	477	480	478	479	569	399	474	476	476	mm	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet
Convergence	h _{c entrée} / h _{c calculée}	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	mm	S6:19 17.8.3.3.1 + voir premier onglet

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Situation		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures longitudinales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
Soudures transversales		-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3) PROPRIÉTÉS DE SECTION BRUTE												
Calculs intermédiaires												
Atf	Aire semelle supérieure	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	mm ²	
y	CG aile supérieure	985	985	985	985	985	985	985	985	985	mm	
Itf	Inertie aile supérieure	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	mm ⁴	
Abf	Aire semelle inférieure	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	9000	mm ²	
y	CG aile inférieure	15	15	15	15	15	15	15	15	15	mm	
lbf	Inertie aile inférieure	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	mm ⁴	
Aw	Aire âme	11280	11280	11280	11280	11280	11280	11280	11280	11280	mm ²	
y	CG âme	500	500	500	500	500	500	500	500	500	mm	
lw	Inertie âme	8.31E+08	8.31E+08	8.31E+08	8.31E+08	8.31E+08	8.31E+08	8.31E+08	8.31E+08	8.31E+08	mm ⁴	
Propriétés de section												
At	Aire totale (ΣAi)	29280	29280	29280	29280	29280	29280	29280	29280	29280	mm ²	
Ms	Moment statique (Σ Ai yi)	1.46E+07	1.46E+07	1.46E+07	1.46E+07	1.46E+07	1.46E+07	1.46E+07	1.46E+07	1.46E+07	mm ³	
ye	ANE = Ms / At	500	500	500	500	500	500	500	500	500	mm	
yt	Fibre supérieure (comp.)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	mm	
yb	Fibre inférieure (tend.)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	mm	
Ix	Moment d'inertie (ΣIxi)	5.07E+09	5.07E+09	5.07E+09	5.07E+09	5.07E+09	5.07E+09	5.07E+09	5.07E+09	5.07E+09	mm ⁴	
Sb	Module de section inf.	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	mm ³	
St	Module de section sup.	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	mm ³	
ly	Moment d'inertie faible	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	mm ⁴	
ry	Rayon de giration axe faible = √(Iy/A)	68	68	68	68	68	68	68	68	68	mm	
yp	ANP = (Atf-Abf)/2w + h/2 + tbf	500	500	500	500	500	500	500	500	500	mm	Beaulieu fig. 6.5
Zx	Module sect plast. = Σ Ai (yi-yp)	1.14E+07	1.14E+07	1.14E+07	1.14E+07	1.14E+07	1.14E+07	1.14E+07	1.14E+07	1.14E+07	mm ³	Beaulieu fig. 6.5
J	Const. St-Venant = 1/3 Σ b t ³	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	mm ⁴	Beaulieu éq. 5.95
I1	I1 = btf ³ ttf / 12 (comprimée)	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	mm ⁴	Beaulieu fig. 6.23
I2	I2 = bbf ³ tbf / 12 (tendue)	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	6.75E+07	mm ⁴	Beaulieu fig. 6.23
y1	y1 = yt - ttf / 2 (comprimée)	485	485	485	485	485	485	485	485	485	mm	Beaulieu fig. 6.23
y2	y2 = yb - tbf / 2 (tendue)	485	485	485	485	485	485	485	485	485	mm	Beaulieu fig. 6.23
Cw	Cw = (y1+y2) ² I1 I2 / (I1 + I2)	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	mm ⁶	Beaulieu fig. 6.23
γ	γ=0.45 (y1+y2) [2I1/(I1+I2)-1] [1-(Iy/Ix) ²]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	mm	Beaulieu éq. 6.47
4) PROPRIÉTÉS SECTION PLASTIQUE RÉDUITES (SOUDAGE)												
Réduction des épaisseurs liée au soudage												
réd. tf2	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44		S6:19 17.8.3.2.1
réd. bf2	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44		
réd. w1	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44		
réd. w2	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	0.00	0.44	0.44	1.00	1.00	1.00	0.44	0.44	0.44		
réd. w3	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	0.00	1.00	1.00	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44		
réd. w4	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.44	0.44	0.44		
réd. w5	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.44	0.44	0.44		
réd. w6	Fwy / Fy ≤ 1 ou 1 selon la situation	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Dimensions effectives de la poutre												
tff1	tff	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	mm	Le quatrième onglet du chiffrier permet de visualiser la section efficace

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
tff2	tff * réd. tff2	30.0	30.0	30.0	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	mm	
btf1	(btf - btf2) / 2	144	144	144	104	0	104	104	0	0	mm	
btf2	w + 2 bhaztf	12	12	12	92	300	92	92	300	300	mm	
tbf1	tbf	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	mm	
tbf2	tbf * réd. btf2	30.0	30.0	30.0	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	13.1	mm	
bbf1	(bbf - bbf2) / 2	144	144	144	104	104	0	104	0	0	mm	
bbf2	w + 2 bhazbf	12	12	12	92	92	300	92	300	300	mm	
w1	w * réd. w1	12.0	12.0	12.0	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	mm	
w2	w * réd. w2	0.0	5.3	5.3	12.0	12.0	12.0	5.3	5.3	5.3	mm	
w3	w * réd. w3	0.0	12.0	12.0	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	mm	
w4	w * réd. w4	0.0	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	5.3	5.3	5.3	mm	
w5	w * réd. w5	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	5.3	5.3	5.3	mm	
w6	w * réd. w6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	mm	
h1	variable en fonction de la situation	940	440	70	40	40	40	188	188	188	mm	
h2	variable en fonction de la situation	0	60	60	860	860	860	188	188	188	mm	
h3	variable en fonction de la situation	0	440	680	40	40	40	188	188	188	mm	
h4	variable en fonction de la situation	0	0	60	0	0	0	188	188	188	mm	
h5	variable en fonction de la situation	0	0	70	0	0	0	188	188	188	mm	
h6	variable en fonction de la situation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	mm	
Calculs intermédiaires												
Atf	Aire semelle supérieure	9000	9000	9000	7448	3938	7448	7448	3938	3938	mm ²	
ytf	CG aile supérieure	985	985	985	985	985	985	985	985	985	mm	
ltf	Inertie aile supérieure	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	1.75E+09	1.24E+09	1.24E+09	1.75E+09	9.26E+08	9.26E+08	mm ⁴	
Abf	Aire semelle inférieure	9000	9000	9000	7448	7448	3938	7448	3938	3938	mm ²	
ybf	CG aile inférieure	15	15	15	15	15	15	15	15	15	mm	
lbf	Inertie aile inférieure	2.12E+09	2.12E+09	2.12E+09	1.75E+09	1.24E+09	1.24E+09	1.75E+09	9.26E+08	9.26E+08	mm ⁴	
Aw	Aire âme	11280	10875	10470	10740	10740	10740	4935	4935	4935	mm ²	
yw	CG âme	500	500	500	500	500	500	500	500	500	mm	
lw	Inertie âme	8.31E+08	8.30E+08	7.19E+08	7.21E+08	7.85E+08	7.85E+08	3.63E+08	3.63E+08	3.63E+08	mm ⁴	
Sous-calculs pour l'âme												
Aw1	Aire âme 1	11280	5280	840	210	210	210	987	987	987	mm ²	
y1	CG âme 1	500	750	935	950	950	950	876	876	876	mm	
lw1	Inertie âme 1	8.31E+08	4.15E+08	1.59E+08	4.26E+07	5.83E+07	2.93E+07	1.42E+08	1.42E+08	1.42E+08	mm ⁴	
Aw2	Aire âme 2	0	315	315	10320	10320	10320	987	987	987	mm ²	
y2	CG âme 2	30	500	870	500	500	500	688	688	688	mm	
lw2	Inertie âme 2	0.00E+00	9.45E+04	4.32E+07	6.36E+08	6.97E+08	6.97E+08	3.78E+07	3.78E+07	3.78E+07	mm ⁴	
Aw3	Aire âme 3	0	5280	8160	210	210	210	987	987	987	mm ²	
y3	CG âme 3	30	250	500	50	50	50	500	500	500	mm	
lw3	Inertie âme 3	0.00E+00	4.15E+08	3.14E+08	4.26E+07	2.93E+07	5.83E+07	2.91E+06	2.91E+06	2.91E+06	mm ⁴	
Aw4	Aire âme 4	0	0	315	0	0	0	987	987	987	mm ²	
y4	CG âme 4	30	30	130	30	30	30	312	312	312	mm	
lw4	Inertie âme 4	0.00E+00	0.00E+00	4.32E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.78E+07	3.78E+07	3.78E+07	mm ⁴	
Aw5	Aire âme 5	0	0	840	0	0	0	987	987	987	mm ²	
y5	CG âme 5	30	30	65	30	30	30	124	124	124	mm	
lw5	Inertie âme 5	0.00E+00	0.00E+00	1.59E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.42E+08	1.42E+08	1.42E+08	mm ⁴	
Aw6	Aire âme 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	mm ²	
y6	CG âme 6	30	30	30	30	30	30	30	30	30	mm	
lw6	Inertie âme 6	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	mm ⁴	

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
Propriétés de section												
At	Aire totale (ΣAi)	29280	28875	28470	25635	22125	22125	19830	12810	12810	mm²	
Ms	Moment statique (Σ Ai yi)	1.46E+07	1.44E+07	1.42E+07	1.28E+07	9.36E+06	1.28E+07	9.92E+06	6.41E+06	6.41E+06	mm³	
ye	ANE = Ms / At	500	500	500	500	423	577	500	500	500	mm	
yt	Fibre supérieure (comp.)	500	500	500	500	577	423	500	500	500	mm	
yb	Fibre inférieure (tend.)	500	500	500	500	423	577	500	500	500	mm	
Ix	Moment d'inertie (ΣIxi)	5.07E+09	5.07E+09	4.95E+09	4.23E+09	3.27E+09	3.27E+09	3.87E+09	2.22E+09	2.22E+09	mm⁴	
Sb	Module de section inf.	1.01E+07	1.01E+07	9.91E+06	8.45E+06	7.73E+06	5.67E+06	7.74E+06	4.43E+06	4.43E+06	mm³	
St	Module de section sup.	1.01E+07	1.01E+07	9.91E+06	8.45E+06	5.67E+06	7.73E+06	7.74E+06	4.43E+06	4.43E+06	mm³	
position yp	Position de l'axe neutre plastique dans l'âme	1	2	3	2	2	2	3	3	3		
yp	ANP = (Atf-Abf±Ai) / 2wi + yi	500	500	500	500	354	646	500	500	500	mm	Beaulieu fig. 6.5
Zx	Module sect plast. = Σ Ai (yi-yp)	1.14E+07	1.14E+07	1.11E+07	9.63E+06	7.67E+06	7.67E+06	8.38E+06	4.98E+06	4.98E+06	mm³	Beaulieu fig. 6.5
5) PROPRIÉTÉS SECTION ÉLASTIQUE RÉDUITES (SOUDAGE ET VOILEMENT)												
Dimensions de base en considérant le soudage seulement												S6:19 17.8.3.2.2
réd. tf2	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.47	0.45	0.47	0.47	0.45	0.45		
réd. bf2	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.47	0.47	0.45	0.47	0.45	0.45		
réd. w1	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.47	0.47	0.47	0.58	0.58	0.58		
réd. w2	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	1.00	0.59	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
réd. w3	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	1.00	1.00	0.47	0.47	0.47	1.00	1.00	1.00		
réd. w4	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00		
réd. w5	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.58	0.58		
h1	variable en fonction de la situation	940	440	70	40	40	40	188	188	188	mm	
h2	variable en fonction de la situation	0	60	60	860	860	860	188	188	188	mm	
h3	variable en fonction de la situation	0	440	680	40	40	40	188	188	188	mm	
h4	variable en fonction de la situation	0	0	60	0	0	0	188	188	188	mm	
h5	variable en fonction de la situation	0	0	70	0	0	0	188	188	188	mm	
Réduction des épaisseurs liée au soudage et au voilement												S6:19 17.8.3.2.2
réd. tf2	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.47	0.45	0.47	0.47	0.45	0.45		
réd. bf2	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	1.00	1.00	1.00	0.47	0.47	0.45	0.47	0.45	0.45		
réd. w1	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.85	0.80	0.80	0.47	0.47	0.47	0.58	0.58	0.58		
réd. w2	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	1.00	0.80	0.59	0.80	0.69	0.88	0.81	0.80	0.80		
réd. w3	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	0.81	0.80	0.80		
réd. w4	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	1.00	1.00	0.47	0.47	0.47	1.00	1.00	1.00		
réd. w5	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	0.00	0.59	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00		
réd. w6	Fwy / Fy * c / y ≤ 1 où c/y est selon la situation	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.58	0.58		
Dimensions effectives de la poutre												Le quatrième onglet du chiffrier permet de visualiser la section efficace
tff1	tff	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	mm	
tff2	tff * réd. tf2	30.0	30.0	30.0	14.0	13.5	14.0	14.0	13.5	13.5	mm	
btf1	(btf - btf2) / 2	144	144	144	104	0	104	104	0	0	mm	
btf2	w + 2 bhaztf	12	12	12	92	300	92	92	300	300	mm	
tbf1	tbf	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	mm	
tbf2	tbf * réd. bf2	30.0	30.0	30.0	14.0	14.0	13.5	14.0	13.5	13.5	mm	
bbf1	(bbf - bbf2) / 2	144	144	144	104	104	0	104	0	0	mm	
bbf2	w + 2 bhazbf	12	12	12	92	92	300	92	300	300	mm	

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
w1	w * réd. w1	10.3	9.6	9.6	5.6	5.6	5.6	7.0	7.0	7.0	mm	
w2	w * réd. w2	12.0	9.6	7.1	9.6	8.3	10.6	9.7	9.6	9.6	mm	
w3	w * réd. w3	0.0	12.0	9.6	12.0	12.0	12.0	9.7	9.6	9.6	mm	
w4	w * réd. w4	0.0	12.0	12.0	5.6	5.6	5.6	12.0	12.0	12.0	mm	
w5	w * réd. w5	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	12.0	12.0	12.0	mm	
w6	w * réd. w6	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	7.0	7.0	7.0	mm	
h1	variable en fonction de la situation	476	440	70	40	40	40	188	188	188	mm	
h2	variable en fonction de la situation	464	39	60	439	530	356	188	188	188	mm	
h3	variable en fonction de la situation	0	21	347	421	330	504	98	99	99	mm	
h4	variable en fonction de la situation	0	440	333	40	40	40	90	89	89	mm	
h5	variable en fonction de la situation	0	0	60	0	0	0	188	188	188	mm	
h6	variable en fonction de la situation	0	0	70	0	0	0	188	188	188	mm	
Calculs intermédiaires												
Atf	Aire semelle supérieure	9000	9000	9000	7525	4059	7525	7525	4059	4059	mm ²	
ytf	CG aile supérieure	985	985	985	985	985	985	985	985	985	mm	
Itf	Inertie aile supérieure	2.18E+09	2.20E+09	2.18E+09	1.84E+09	1.38E+09	1.29E+09	1.80E+09	9.77E+08	9.77E+08	mm ⁴	
Abf	Aire semelle inférieure	9000	9000	9000	7525	4059	7525	4059	4059	4059	mm ²	
ybf	CG aile inférieure	15	15	15	15	15	15	15	15	15	mm	
Ibf	Inertie aile inférieure	2.06E+09	2.04E+09	2.05E+09	1.71E+09	1.12E+09	1.26E+09	1.74E+09	9.33E+08	9.33E+08	mm ⁴	
Aw	Aire âme	10449	10117	9693	9705	8784	10273	8726	8714	8714	mm ²	
yw	CG âme	482	473	478	477	463	488	489	489	489	mm	
Iw	Inertie âme	7.68E+08	7.42E+08	6.84E+08	6.59E+08	6.47E+08	7.60E+08	5.40E+08	5.40E+08	5.40E+08	mm ⁴	
Sous-calculs pour l'âme												
Aw1	Aire âme 1	4885	4211	672	223	223	223	1313	1313	1313	mm ²	
y1	CG âme 1	732	750	935	950	950	950	876	876	876	mm	
Iw1	Inertie âme 1	3.71E+08	3.52E+08	1.32E+08	4.71E+07	6.73E+07	3.21E+07	1.93E+08	1.95E+08	1.95E+08	mm ⁴	
Aw2	Aire âme 2	5564	372	426	4200	4377	3778	1817	1811	1811	mm ²	
y2	CG âme 2	262	511	870	711	665	752	688	688	688	mm	
Iw2	Inertie âme 2	3.98E+08	1.97E+05	6.08E+07	2.70E+08	4.07E+08	1.63E+08	7.23E+07	7.32E+07	7.32E+07	mm ⁴	
Aw3	Aire âme 3	0	254	3333	5058	3961	6048	945	957	957	mm ²	
y3	CG âme 3	30	481	667	281	235	322	545	544	544	mm	
Iw3	Inertie âme 3	0.00E+00	3.43E+04	1.35E+08	2.98E+08	1.46E+08	5.04E+08	3.02E+06	3.17E+06	3.17E+06	mm ⁴	
Aw4	Aire âme 4	0	5280	3997	223	223	223	1083	1064	1064	mm ²	
y4	CG âme 4	30	250	327	50	50	50	451	450	450	mm	
Iw4	Inertie âme 4	0.00E+00	3.90E+08	1.47E+08	4.35E+07	2.76E+07	6.07E+07	2.93E+06	2.76E+06	2.76E+06	mm ⁴	
Aw5	Aire âme 5	0	0	426	0	0	0	2256	2256	2256	mm ²	
y5	CG âme 5	30	30	130	30	30	30	312	312	312	mm	
Iw5	Inertie âme 5	0.00E+00	0.00E+00	5.60E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.31E+07	8.17E+07	8.17E+07	mm ⁴	
Aw6	Aire âme 6	0	0	840	0	0	0	1313	1313	1313	mm ²	
y6	CG âme 6	30	30	65	30	30	30	124	124	124	mm	
Iw6	Inertie âme 6	0.00E+00	0.00E+00	1.54E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.86E+08	1.84E+08	1.84E+08	mm ⁴	
Propriétés de section												
At	Aire totale (ΣAi)	28449	28117	27693	24754	20368	21857	23775	16832	16832	mm ²	
Ms	Moment statique (Σ Ai yi)	1.40E+07	1.38E+07	1.36E+07	1.22E+07	8.18E+06	1.25E+07	1.18E+07	8.32E+06	8.32E+06	mm ³	
ye	ANE = Ms / At	493	490	492	491	401	571	496	494	494	mm	
yt	Fibre supérieure (comp.)	507	510	508	509	599	429	504	506	506	mm	
yb	Fibre inférieure (tend.)	493	490	492	491	401	571	496	494	494	mm	

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
Ix	Moment d'inertie (ΣIxi)	5.00E+09	4.98E+09	4.92E+09	4.20E+09	3.15E+09	3.30E+09	4.08E+09	2.45E+09	2.45E+09	mm ⁴	
Sb	Module de section inf.	1.01E+07	1.02E+07	9.99E+06	8.56E+06	7.86E+06	5.79E+06	8.23E+06	4.96E+06	4.96E+06	mm ³	
St	Module de section sup.	9.87E+06	9.77E+06	9.69E+06	8.25E+06	5.27E+06	7.71E+06	8.10E+06	4.85E+06	4.85E+06	mm ³	
position yp	Position de l'axe neutre plastique dans l'âme	2	4	4	3	3	2	4	4	4		
yp	ANP = (Atf-Abf±Ai) / 2wi + yi	465	452	458	456	273	630	472	472	472	mm	Beaulieu fig. 6.5
Zx	Module sect plast. = Σ Ai (yi-yp)	1.12E+07	1.11E+07	1.09E+07	9.47E+06	7.09E+06	7.73E+06	9.14E+06	5.78E+06	5.78E+06	mm ³	Beaulieu fig. 6.5
6) PARAMÈTRES SPÉCIFIQUES POUR L'ÂME DE CLASSE 3												
Réduction de l'épaisseur de l'âme en fonction du voilement local												
vF_		0.85	0.80	0.80	0.80	0.69	0.88	0.81	0.80	0.80		S6:19 17.8.3
Élancement local de l'âme comprimée selon la section effective												
F_ = β - √(β² - 1/λ²)	(contrainte de flambement normalisée)	0.73	0.64	0.64	0.64	0.47	0.78	0.65	0.64	0.64		S6:19 17.9.1
β = [1 + α(λ - λ₀) + λ²] / 2λ²		1.05	1.09	1.10	1.09	0.92	1.33	1.11	1.10	1.10		S6:19 17.11.2.3
αw		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ₀		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		S6:19 17.11.2.3
λ = λπ √F₀/E	(élancement normalisé)	1.00	1.01	1.00	1.01	1.24	0.83	0.99	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.1
F₀ = Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.9.1.1
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
λ = m b / t	(élancement local)	54	54	54	54	67	44	53	53	53		S6:19 17.9.1.1
m = choix selon f₂/f₁	(retenue deux rives, flexion propre plan)	0.66	0.67	0.66	0.67	0.83	0.55	0.66	0.66	0.66		S6:19 17.9.1.2.2
m = 1.15 + f₂/f₁ / 2	lorsque -1 < f₂/f₂ < 1	0.66	0.67	0.66	0.67	0.83	0.46	0.66	0.66	0.66		S6:19 17.9.1.2.2
m = 1.3 / (1 - f₂/f₁)	lorsque f₂/f₂ < -1	0.66	0.66	0.66	0.66	0.79	0.55	0.66	0.66	0.66		S6:19 17.9.1.2.2
b = d - ttf/2 - tbf/2		970	970	970	970	970	970	970	970	970	mm	S6:19 17.9.1.1
t = w		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	mm	S6:19 17.9.1.1
f₂/f₁ = - (h - hc entrée) / (hc entrée)		-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.6	-1.4	-1.0	-1.0	-1.0		S6:19 17.3.2 + voir premier onglet pour âme classe 3
Cas où l'âme est séparée en 2 sous-segments												
réd. w1	min (soudage;élancement)	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-		S6:19 17.8.3
réd. w2	min (soudage;élancement)	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
réd. w3	min (soudage;élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
réd. w4	min (soudage;élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
réd. w5	min (soudage;élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
réd. w6	min (soudage;élancement)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-		
h1	variable en fonction de la situation	476	-	-	-	-	-	-	-	-	mm	
h2	variable en fonction de la situation	464	-	-	-	-	-	-	-	-	mm	
h3	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	mm	
h4	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	mm	
h5	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	mm	
h6	variable en fonction de la situation	0	-	-	-	-	-	-	-	-	mm	
Cas où l'âme est séparée en 4 sous-segments												
réd. w1	min (soudage;élancement)	-	0.80	-	0.47	0.47	0.47	-	-	-		S6:19 17.8.3
réd. w2	min (soudage;élancement)	-	0.80	-	0.80	0.69	0.88	-	-	-		
réd. w3	min (soudage;élancement)	-	1.00	-	1.00	1.00	1.00	-	-	-		
réd. w4	min (soudage;élancement)	-	1.00	-	0.47	0.47	0.47	-	-	-		
réd. w5	min (soudage;élancement)	-	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-		
réd. w6	min (soudage;élancement)	-	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-	-	-		

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
h1	variable en fonction de la situation	-	440	-	40	40	40	-	-	-	mm	
h2	variable en fonction de la situation	-	39	-	439	530	356	-	-	-	mm	
h3	variable en fonction de la situation	-	21	-	421	330	504	-	-	-	mm	
h4	variable en fonction de la situation	-	440	-	40	40	40	-	-	-	mm	
h5	variable en fonction de la situation	-	0	-	0	0	0	-	-	-	mm	
h6	variable en fonction de la situation	-	0	-	0	0	0	-	-	-	mm	
Cas où l'âme est séparée en 6 sous-segments												S6:19 17.8.3
réd. w1	min (soudage;élancement)	-	-	0.80	-	-	-	0.58	0.58	0.58		
réd. w2	min (soudage;élancement)	-	-	0.59	-	-	-	0.81	0.80	0.80		
réd. w3	min (soudage;élancement)	-	-	0.80	-	-	-	0.81	0.80	0.80		
réd. w4	min (soudage;élancement)	-	-	1.00	-	-	-	1.00	1.00	1.00		
réd. w5	min (soudage;élancement)	-	-	0.59	-	-	-	1.00	1.00	1.00		
réd. w6	min (soudage;élancement)	-	-	1.00	-	-	-	0.58	0.58	0.58		
h1	variable en fonction de la situation	-	-	70	-	-	-	188	188	188	mm	
h2	variable en fonction de la situation	-	-	60	-	-	-	188	188	188	mm	
h3	variable en fonction de la situation	-	-	347	-	-	-	98	99	99	mm	
h4	variable en fonction de la situation	-	-	333	-	-	-	90	89	89	mm	
h5	variable en fonction de la situation	-	-	60	-	-	-	188	188	188	mm	
h6	variable en fonction de la situation	-	-	70	-	-	-	188	188	188	mm	
7) MEMBRURES RETENUES CONTRE FLAMBEMENT LATÉRAL												S6:19 17.12.2
Classification des membrures en flexion												S6:19 17.12.1
Section complète												
Classe		3	3	3	3	3	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
Semelle comprimée												
Classe		2	2	2	2	2	2	2	2	2		S6:19 17.12.1
λ (élancement normalisé)		0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47		S6:19 17.9
Âme comprimée												
Classe		3	3	3	3	3	3	3	3	3		S6:19 17.12.1
λ (élancement normalisé)		0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98		S6:19 17.9
Résistance à la flexion section classe 1												S6:19 17.12.2a)
Mr1 = min (Mrc ; Mrt)		2219	2218	2161	1878	1496	1496	1635	971	971	kN-m	S6:19 17.12.2a)
Mrc = $\phi_y Z F_y$		2458	2457	2394	2080	1657	1657	1811	1075	1075	kN-m	S6:19 17.12.2a)j)
ϕ_y		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Z		1.14E+07	1.14E+07	1.11E+07	9.63E+06	7.67E+06	7.67E+06	8.38E+06	4.98E+06	4.98E+06	mm ³	
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Mrt = $\phi_u Z_n F_u$		2219	2218	2161	1878	1496	1496	1635	971	971	kN-m	S6:19 17.12.2a)ii)
ϕ_u		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Zn		1.14E+07	1.14E+07	1.11E+07	9.63E+06	7.67E+06	7.67E+06	8.38E+06	4.98E+06	4.98E+06	mm ³	
Fu		260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
Résistance à la flexion section classe 2												S6:19 17.12.2b)
Mr2 = min (Mrc ; Mrt)		1978	1980	1949	1669	1138	1128	1604	966	966	kN-m	S6:19 17.12.2b)
Mrc = $\phi_y S_t F_y$		2133	2111	2094	1783	1138	1665	1749	1047	1047	kN-m	S6:19 17.12.2b)j)
ϕ_y		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
St		9.87E+06	9.77E+06	9.69E+06	8.25E+06	5.27E+06	7.71E+06	8.10E+06	4.85E+06	4.85E+06	mm ³	

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Mrt = φu Sbn Fu		1978	1980	1949	1669	1532	1128	1604	966	966	kN-m	S6:19 17.12.2b)ii)
φu		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Sbn		1.01E+07	1.02E+07	9.99E+06	8.56E+06	7.86E+06	5.79E+06	8.23E+06	4.96E+06	4.96E+06	mm³	
Fu		260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
Résistance à la flexion semelle classe 3 (âme classe 1 ou 2)												
Mr3a = min (Mrc ; Mrt)		1978	1980	1949	1669	1138	1128	1604	966	966	kN-m	S6:19 17.12.2c)
Mrc = φy St Fy		2133	2111	2094	1783	1138	1665	1749	1047	1047	kN-m	S6:19 17.12.2c)ii)
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
St		9.87E+06	9.77E+06	9.69E+06	8.25E+06	5.27E+06	7.71E+06	8.10E+06	4.85E+06	4.85E+06	mm³	
F semelle comprimée		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		S6:19 17.12.2c)
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Mrt = φu Sbn Fu		1978	1980	1949	1669	1532	1128	1604	966	966	kN-m	S6:19 17.12.2b)ii)
φu		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Sbn		1.01E+07	1.02E+07	9.99E+06	8.56E+06	7.86E+06	5.79E+06	8.23E+06	4.96E+06	4.96E+06	mm³	
Fu		260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
Résistance à la flexion âme classe 3 (semelle classe 1 ou 2)												
Mr3b = min (Mrc ; Mrt)		1978	1980	1949	1669	1138	1128	1604	966	966	kN-m	S6:19 17.12.2c)
Mrc = φy Sm Fy		2133	2111	2094	1783	1138	1665	1749	1047	1047	kN-m	S6:19 17.12.2c)ii)
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
St		9.87E+06	9.77E+06	9.69E+06	8.25E+06	5.27E+06	7.71E+06	8.10E+06	4.85E+06	4.85E+06	mm³	
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Mrt = φu Sbn Fu		1978	1980	1949	1669	1532	1128	1604	966	966	kN-m	S6:19 17.12.2b)ii)
φu		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75		S6:19 17.5.7b)
Sbn		1.01E+07	1.02E+07	9.99E+06	8.56E+06	7.86E+06	5.79E+06	8.23E+06	4.96E+06	4.96E+06	mm³	
Fu		260	260	260	260	260	260	260	260	260	MPa	S6:19 17.4.2
8) MEMBRURES NON RETENUES CONTRE FLAMBEMENT LATÉRAL												
Résistance à la flexion												
Mrdévers = min [cas a) à f)]		1859	1724	1724	1724	1558	1558	1412	932	957	kN-m	S6:19 17.12.3.2
Résistance à la flexion cas a) à e)												S6:19 17.12.3.2
Mr = φy Sx F F0		1859	1724	1724	1724	1724	1724	1724	957	957	kN-m	S6:19 17.12.3.2
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Sx		1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	mm³	
F		0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
F0		207	195	195	195	195	195	195	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2
Résistance à la flexion cas f)												S6:19 17.12.3.2
Mr = φy Sx k F F0		2135	1976	1951	1778	1558	1558	1412	932	957	kN-m	S6:19 17.12.3.2
φy		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
Sx		1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	mm³	
k		1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	1.00		S6:19 17.11.2.4
F		0.98	0.95	0.96	0.96	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
F0		240	237	233	210	181	181	163	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2
Contrainte de flambement normalisée F cas a) à e)												
F = β - √(β² - 1/λ²) (contrainte de flambement normalisée)		0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
$\beta = [1 + \alpha (\lambda_{0} - \lambda_{0}) + \lambda_{0}^2] / 2\lambda_{0}^2$		4.08	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35	7.37	7.37		S6:19 17.11.2.3
a) section		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ_{0}		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		S6:19 17.11.2.3
$\lambda_{0} = \lambda / \pi \sqrt{F_0/E}$ (élancement normalisé)		0.38	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.27	0.27		S6:19 17.11.2.1
F0 = plus petit des cas a) à e) applicables		207	195	195	195	195	195	195	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
a) Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.11.2.2a)
b) Fc		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.11.2.2b)
c) Fm		207	195	195	195	195	195	195	195	195	MPa	S6:19 17.11.2.2c)
d) Fy		-	-	-	-	-	-	-	-	-	MPa	S6:19 17.11.2.2d)
e) Fwy		-	-	-	-	-	-	-	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2e)
Contrainte de flambement normalisée F_{cas f})												S6:19 17.11.2.3
k = 0,9 + 0,1 1-λ ₀ ≤ 1 (influence soudures longitudinales)		1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	1.00		S6:19 17.11.2.4
F ₀ = β - √(β ² - 1/λ ₀ ²) (contrainte de flambement normalisée)		0.98	0.95	0.96	0.96	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
$\beta = [1 + \alpha (\lambda_{0} - \lambda_{0}) + \lambda_{0}^2] / 2\lambda_{0}^2$		3.61	3.71	3.76	4.09	4.61	4.61	5.06	7.37	7.37		S6:19 17.11.2.3
a) section		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ_{0}		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		S6:19 17.11.2.3
$\lambda_{0} = \lambda / \pi \sqrt{F_0/E}$ (élancement normalisé)		0.41	0.40	0.40	0.38	0.35	0.35	0.33	0.27	0.27		S6:19 17.11.2.1
F0 = cas f) si applicable		240	237	233	210	181	181	163	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
f) Fm		240	237	233	210	181	181	163	105	105	MPa	S6:19 17.11.2.2f)
Fm = Fy - (Fy-Fwy) (Aw/Ag)		240	237	233	210	181	181	163	105	105	MPa	S6:19 17.8.4.2
Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.4.2
Fwy		105	105	105	105	105	105	105	105	105	MPa	S6:19 17.4.2
Aw		0	720	1440	6480	12720	12720	16800	29280	29280	mm ²	S6:19 17.3.2
Ag		29280	29280	29280	29280	29280	29280	29280	29280	29280	mm ²	S6:19 17.3.2
Élancement global de la poutre fléchie												S6:19 17.12.3.2
$\lambda = \sqrt{\Omega/\omega} * \sqrt{SxL / 4 \sqrt{(0,04J + Cw/L^2)}}$ (élancement global)		22	22	22	22	22	22	22	22	22		S6:19 17.12.3.2a)
Ω		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4		S6:19 17.12.3.2
ω		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		S6:19 17.12.3.2
Sx		1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	1.01E+07	mm ³	
L		1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	mm	S6:19 17.3.2
Iy		1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	1.35E+08	mm ⁴	
J		5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	5.94E+06	mm ⁴	Beaulieu éq. 5.95
Cw		3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	3.18E+13	mm ⁶	Beaulieu fig. 6.23
9) FLAMBEMENT LOCAL												S6:19 17.9
Élancement local de la semelle comprimée selon la section brute												S6:19 17.9.1
Fc = F ₀ - Fy (contrainte de flambement local)		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.11.2.2b)
F ₀ = β - √(β ² - 1/λ ₀ ²) (contrainte de flambement normalisée)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		S6:19 17.11.2.3
$\beta = [1 + \alpha (\lambda_{0} - \lambda_{0}) + \lambda_{0}^2] / 2\lambda_{0}^2$		2.79	2.79	2.79	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77	2.77		S6:19 17.11.2.3
a) tf		0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ_{0}		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		S6:19 17.11.2.3
$\lambda_{0} = \lambda / \pi \sqrt{F_0/E}$ (élancement normalisé)		0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47		S6:19 17.11.2.1
F0 = Fy		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.9.1.1
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
$\lambda = m b / t$ (élancement local)		25	25	25	25	25	25	25	25	25		S6:19 17.9.1.1
$m = 3 + 0.6 (at / bw) < 5$ (retenue une rive, comp. unif.)		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00		S6:19 17.9.1.3.2
$b = btf / 2$		150	150	150	150	150	150	150	150	150	mm	S6:19 17.9.1.1
$t = ttf$		30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	mm	S6:19 17.3.2
$a = d - ttf/2 - tbf/2$		970	970	970	970	970	970	970	970	970	mm	S6:19 fig. 17.1 c)
$w = w$		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	mm	S6:19 fig. 17.1 c)
Élancement local de l'âme comprimée selon la section brute												
$F_m = \sqrt{F_y}$ (résistance post-voilement)		207	195	195	195	195	195	195	195	195	MPa	S6:19 17.11.2.2c)
$F_c = F_y$ (contrainte de flambement local)		179	158	158	158	158	158	158	158	158	MPa	S6:19 17.11.2.2b)
$F_y = \beta - \sqrt{(\beta^2 - 1/\lambda^2)}$ (contrainte de flambement normalisée)		0.75	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66		S6:19 17.11.2.3
$\beta = [1 + \alpha (\lambda - \lambda_0) + \lambda^2] / 2\lambda^2$		1.07	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12		S6:19 17.11.2.3
αw		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ_0		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		S6:19 17.11.2.3
$\lambda_n = \lambda / \pi \sqrt{F_0/E}$ (élancement normalisé)		0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98		S6:19 17.11.2.1
$F_0 = F_y$		240	240	240	240	240	240	240	240	240	MPa	S6:19 17.9.1.1
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
$\lambda = m b / t$ (élancement local)		53	53	53	53	53	53	53	53	53		S6:19 17.9.1.1
$m = \text{choix selon } f_2/f_1$ (retenue deux rives, flexion propre plan)		0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65		S6:19 17.9.1.2.2
$m = 1.15 + f_2/f_1 / 2$ lorsque $-1 < f_2/f_2 < 1$		0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65		S6:19 17.9.1.2.2
$m = 1.3 / (1 - f_2/f_1)$ lorsque $f_2/f_2 < -1$		0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65		S6:19 17.9.1.2.2
$b = d - ttf/2 - tbf/2$		970	970	970	970	970	970	970	970	970	mm	S6:19 17.9.1.1
$t = w$		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	mm	S6:19 17.9.1.1
$f_2/f_1 = - (yb - tbf) / (yt - ttf)$		-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0		S6:19 17.3.2
10) CISAILEMENT - MEMBRURES EN FLEXION À DEUX SEMELLES												
Âmes plates sans raidisseurs												
$V_r = \phi_y h w F_{sc}$		515	465	465	465	465	465	465	465	465	kN	S6:19 17.12.4.1.2
ϕ_y		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.5.7a)
$F_{sc} = F_0 F_y$		51	46	46	46	46	46	46	46	46	MPa	S6:19 17.12.4.1.2
$F_y = \beta - \sqrt{(\beta^2 - 1/\lambda^2)}$ (contrainte de flambement normalisée)		0.35	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32		S6:19 17.11.2.3
$\beta = [1 + \alpha (\lambda - \lambda_0) + \lambda^2] / 2\lambda^2$		0.74	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79		S6:19 17.11.2.3
αw		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ_0		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		S6:19 17.11.2.3
$\lambda_n = \lambda_s / \pi \sqrt{F_0/E}$ (élancement normalisé)		1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58	1.58		S6:19 17.12.4.1.2
$F_0 = 0,6 F_y$		144	144	144	144	144	144	144	144	144	MPa	S6:19 17.11.2.2
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
$\lambda_s = 1,4 h/w$		110	110	110	110	110	110	110	110	110		S6:19 17.12.4.1.2 et S157-17 12.1.2
h		940	940	940	940	940	940	940	940	940	mm	S6:19 17.12.4.1.2
w		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	mm	S6:19 17.12.4.1.2
Âmes plates avec raidisseurs												
$V_r = \min (V_{r1} ; V_{r2})$		1300	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	kN	S6:19 17.12.4.1.3
$V_{r1} = \phi_k [2 \sqrt{F_{sc} vs / w} - F_{sc}] h w$		1300	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	1262	kN	S6:19 17.12.4.1.3a)
$V_{r2} = v_r * h$		1462	1462	1462	1462	1462	1462	1462	1462	1462	kN	S6:19 17.12.4.1.3b)
$v_r = \phi_y v_s$		1555	1555	1555	1555	1555	1555	1555	1555	1555	N/mm	S6:19 17.12.4.1.4a)
$v_s = 0,6 F_y w$		1728	1728	1728	1728	1728	1728	1728	1728	1728	N/mm	S6:19 17.12.4.1.4a)
$\phi_k = \phi_y$		0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		S6:19 17.12.4.1.4

Annexe A08 Calcul de Mr et Vr pour les poutres en aluminium

Situation		Poutres de la section courbe									Unités	Référence
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9		
Soudures longitudinales		-	1x âme	2x âme	4x âme	-						
Soudures transversales		-	-	-	-	tf	bf	âme	tf, bf, w	tf, bf, w		
Fsc = F0 F _{sc}		64	57	57	57	57	57	57	57	57	MPa	S6:19 17.12.4.1.3
F _{sc} = β - √(β² - 1/λ _s ²) (contrainte de flambement normalisée)		0.45	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40		S6:19 17.11.2.3
β = [1 + α(λ _{s0} - λ _s) + λ _s ²] / 2λ _s ²		0.81	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85		S6:19 17.11.2.3
αw		0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		S6:19 17.11.2.3
λ _{s0}		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		S6:19 17.11.2.3
λ _s = λs/π√F0/E (élancement normalisé)		1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39		S6:19 17.12.4.1.3
F0 = 0,6 Fy		144	144	144	144	144	144	144	144	144	MPa	S6:19 17.11.2.2
E		70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	70000	MPa	S6:19 17.4.1
λs = 1,4 b/w / [1 + 1.75 (b/a)²]¹/²		96	96	96	96	96	96	96	96	96		S6:19 17.12.4.1.3
b = h		940	940	940	940	940	940	940	940	940	mm	S6:19 17.12.4.1.3
a		1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	1484	mm	S6:19 17.12.4.1.3
w		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	mm	S6:19 17.12.4.1.3