

# ÉVALUATION DES STRUCTURES DE SIGNALISATION AÉRIENNE (Notes de cours)



Génération automatique des structures



---

# Évaluation des structures de signalisation aérienne

Notes de cours

---

**Génération automatique des structures**

**Mars 2024**

Ce document est remis lors du cours *Évaluation des structures de signalisation aérienne*, diffusé par la Direction générale des structures du ministère des Transports et de la mobilité durable. Il couvre essentiellement la partie du cours traitant de la génération automatique des structures de signalisation aérienne de type A1 en 3D avec le module de calcul d'aluminium du logiciel SAFI. Une quantité importante des figures de ce document ont été obtenues par saisie d'écran afin de présenter les menus d'édition du logiciel SAFI.

La reproduction par quelque procédé que ce soit et la traduction, même partielles, sont interdites sans l'autorisation du ministère des Transports et de la Mobilité durable. De plus, à moins d'une autorisation écrite par la Direction générale des structures l'utilisation de ce document à des fins d'enseignement est interdite.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>STRUCTURES DE TYPE A1</b>	<b>3</b>
2.1	Supports verticaux	3
2.2	Supports horizontaux (ou poutres triangulées)	5
2.3	Piédestaux	7
<b>3.</b>	<b>MATÉRIAUX ET PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DES STRUCTURES DE SIGNALISATION</b>	<b>8</b>
4.1	Étapes de modélisation	8
4.2	Calcul des ancrages de structures de signalisation	20
4.3	Ajout des panneaux de signalisation	21
4.4	Application des charges de vent et de glace	24
<b>5.</b>	<b>VISUALISATION DES CHARGES</b>	<b>27</b>
5.1	Charges permanentes	27
5.2	Charges de vent	28
5.3	Verglas	30
<b>6.</b>	<b>COMBINAISONS DE CHARGEMENT</b>	<b>32</b>
<b>7.</b>	<b>MODIFICATION DES SECTIONS</b>	<b>34</b>
7.1	Modification lors de la génération automatique	34
7.2	Modification après la génération automatique	36
<b>8.</b>	<b>AJOUT OU ENLÈVEMENT DE MEMBRURES</b>	<b>38</b>
<b>9.</b>	<b>MODÉLISATION DES DÉFAUTS</b>	<b>42</b>
9.1	Défauts à modéliser lors de la génération automatique	42
9.2	Défauts à modéliser après la génération automatique	42
<b>10.</b>	<b>STRUCTURE COMPLEXE AVEC PIÉDESTAUX</b>	<b>44</b>
10.1	Modélisation de la structure	45

<b>11.</b>	<b>ANALYSE P-DELTA</b>	<b>70</b>
<b>12.</b>	<b>STRUCTURE DE SIGNALISATION AÉRIENNE À TROIS SUPPORTS VERTICAUX</b>	<b>70</b>
<b>13.</b>	<b>FORMULAIRES</b>	<b>74</b>

## FIGURES

Figure 1-1	Structure de type A1 générée par le module Super-Signalisation de SAFI	2
Figure 1-2	Structure de type A2 générée par le module Super-Signalisation de SAFI	2
Figure 2-1	Supports verticaux	3
Figure 2-2	Détails de soudure à la base des poteaux	4
Figure 2-3	Supports horizontaux	5
Figure 2-4	Types de piédestaux	7
Figure 4-1	Excentricité de la première et dernière diagonale interne	12
Figure 4-2	Excentricité des diagonales aux nœuds	13
Figure 4-3	Hauteur de l'exposition de la structure	19
Figure 5-1	Application de la charge de vent d'un panneau sur la structure	30
Figure 5-2	Surface verglacée d'un panneau	31
Figure 8-1	Exemple de membrures à enlever	38
Figure 8-2	Modèle avec diagonales ajoutées	39
Figure 10-1	Structure de type A1 avec piédestaux	62
Figure 9-2	Structure de type A1 avec piédestaux – Modèle final	69
Figure 12-1	Structure de signalisation aérienne à trois supports verticaux	73
Figure 13-1	Formulaire F807.1 « Relevé dimensionnel et inspection d'évaluation – Structure de signalisation aérienne de type A1 »	75
Figure 13-2	Exemple de formulaire F807.1 rempli	80
Figure 13-3	Formulaire F808.1 « Fiche d'évaluation de la capacité portante des structures de signalisation aérienne »	85

## **TABLEAUX**

Tableau 1-1	Version du Code canadien sur le calcul des ponts routiers selon la date de construction	1
Tableau 2-1	Dimensions des éléments des différents types de supports verticaux	4
Tableau 2-2	Dimensions des éléments des différents types de supports horizontaux	6
Tableau 2-3	Correspondance des types de supports horizontaux avec les types de supports verticaux	6
Tableau 3-1	Alliage d'aluminium utilisé pour la fabrication des éléments de la structure	7
Tableau 3-2	Propriétés mécaniques des différents alliages d'aluminium utilisés pour la fabrication des éléments de la structure	8
Tableau 4-1	Exemple de calcul de la hauteur des panneaux Sv	16
Tableau 4-2	Pression de vent de référence et épaisseur de glace selon la DGT	25
Tableau 5-1	Coefficient de traînée des éléments de la structure	29
Tableau 6-1	Combinaisons de chargement appliquées sur la structure	33





## 1. INTRODUCTION

Un module de calcul élaboré par SAFI pour la Direction générale des structures (DGS) est disponible pour la conception et l'évaluation des structures de signalisation aérienne en aluminium de type A1.

Ce module est divisé en deux parties : la génération automatique des structures de signalisation et l'analyse des structures selon la norme CSA S6-14 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers ».

Une nouvelle norme nationale CSA S6:19 est disponible et elle a été adoptée par le Ministère depuis le 1<sup>er</sup> mai 2021. Lorsque les plans de construction de la structure ne sont pas disponibles ou la norme de conception n'y est pas indiquée, il faut utiliser la version de la norme « Code canadien sur le calcul des ponts routiers » indiquée dans le tableau suivant.

Tableau 1-1 Version du Code canadien sur le calcul des ponts routiers selon la date de construction

Date de construction	Norme de vérification
Avant le 31 décembre 2007	CSA S6-00
Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 2008 et le 31 décembre 2016	CSA S6-06
Entre le 1 <sup>er</sup> janvier 2017 et le 31 décembre 2021	CSA S6-14
À partir du 1 <sup>er</sup> janvier 2022	CSA S6:19

En principe, il est toujours requis de vérifier la capacité structurale d'un ouvrage en utilisant la version en vigueur au moment de sa construction. Exceptionnellement, la date de référence qui remplace la date de construction dans le tableau 1-1 est la date de la signature du contrat. Ainsi, une structure peut avoir été construite en 2023 et conçue en respectant la version 2014 de la norme, car le contrat a été signé avant le 1<sup>er</sup> mai 2021.

SAFI permet de modéliser les deux types de structures montrés à la figure 1-1, soit les types A1 et A2. Cependant, aucune vérification pour les structures de type A2 n'a été faite par la DGS. Conséquemment, l'utilisation du module « Supersignalisation » de SAFI pour la conception et l'évaluation est recommandée pour les structures de type A1 uniquement.

Les présentes notes de cours portent seulement sur l'évaluation des structures des signalisations aériennes standardisées de type A1 du MTQ en aluminium. Pour l'évaluation de structures non standards, qui incluent entre autres les structures A1 en aluminium avec PMV et les structures A1 en acier, il est recommandé de vous référer à la Direction de l'électrotechnique et des structures de signalisation.

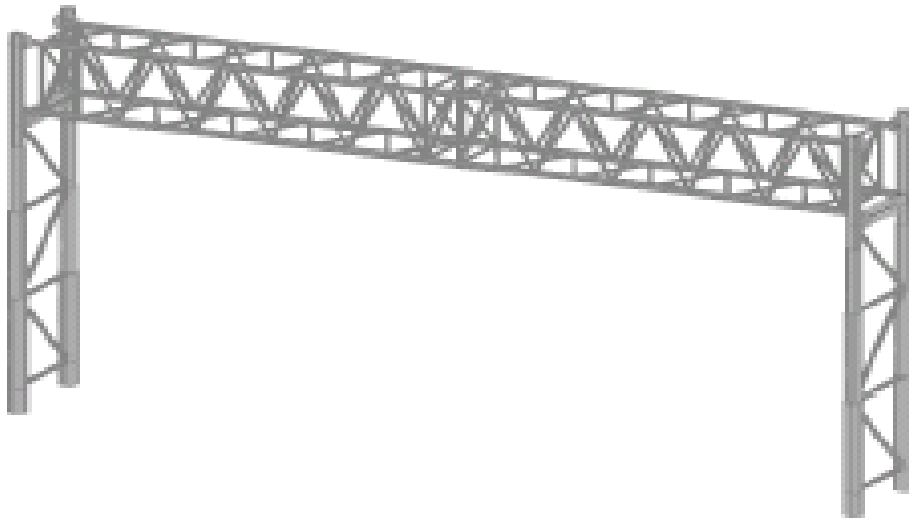


Figure 1-1 Structure de type A1 générée par le module Super-Signalisation de SAFI

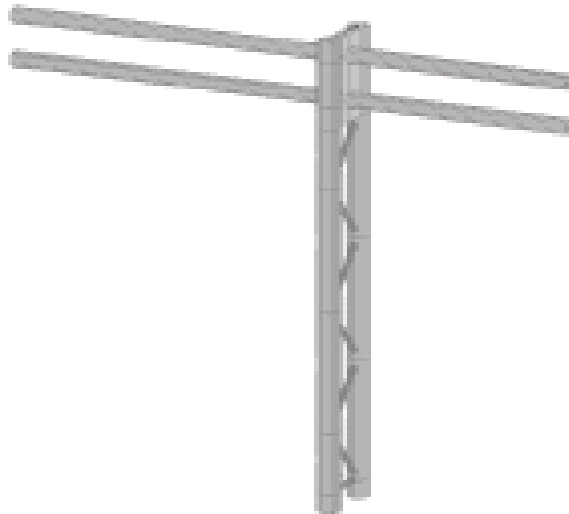


Figure 1-2 Structure de type A2 générée par le module Super-Signalisation de SAFI

## 2. STRUCTURES DE TYPE A1

Les structures de type A1 peuvent être de différentes dimensions, comme le présentent les tableaux 2-1 et 2-2. Le tableau 2-3 présente la correspondance entre les différents types de supports.

### 2.1 Supports verticaux

Les supports verticaux sont constitués de deux ou de trois poteaux verticaux espacés d'une distance  $D$  et reliés par des membrures horizontales et diagonales appelées « entretoises ».

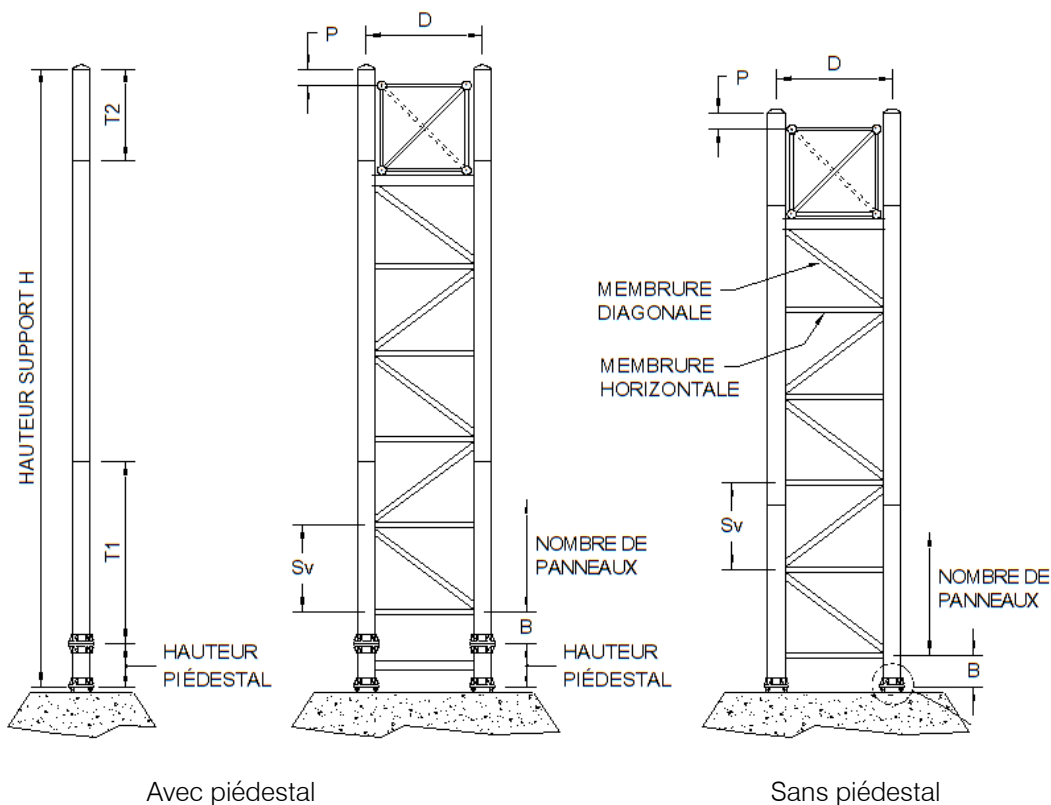


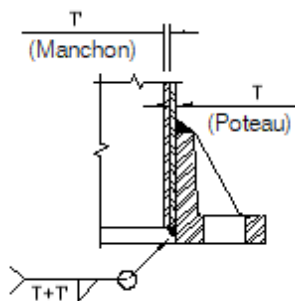
Figure 2-1 Supports verticaux

Tableau 2-1 Dimensions des éléments des différents types de supports verticaux

Type	Diamètre (mm)	Diamètre base (mm)	Diamètre haut (mm)	Épaisseur (mm)	Entretoises (mm)	Poutre d'appui hauteur (mm)
V1	1 219	203	152	6,35	60,3 × 5,54	152
V2	1 600	254	203	6,35	89,1 × 4,76	203
V3	1 930	254	203	6,35	89,1 × 4,76	203
V4	2 235	254	203	6,35	89,1 × 4,76	203
V11	1 283	254	203	6,35	60,3 × 5,54	152
V12	1 676	305	254	6,35	89,1 × 4,76	203
V13	2 007	305	254	6,35	89,1 × 4,76	203
V14	2 311	305	254	6,35	89,1 × 4,76	203
V22	1 676	305	254	7,93*	89,1 × 4,76	203
V23	2 007	305	254	7,93*	89,1 × 4,76	203
V24	2 311	305	254	7,93*	89,1 × 4,76	203
A	1 219	203	152	6,35	48,3 × 5,08	152
B	1 600	254	203	6,35	88,9 × 4,76	203
C	1 930	254	203	6,35	88,9 × 4,76	203
CS	2 235	254	203	6,35	88,9 × 4,76	203
V99	Non normalisé (conception spéciale)					

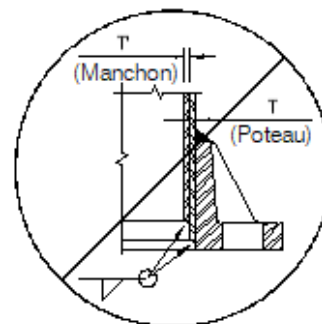
\* Normalement, la semelle d'ancrage doit être renforcée lorsqu'il s'agit de poteaux d'une épaisseur de 7,93 mm.

Il est important de s'assurer de la présence du manchon de renfort à la base des poteaux. Cette information est inscrite sur la plaque signalétique du fabricant du support vertical. Si elle n'y est pas, il est nécessaire de repérer le manchon visuellement. De plus, il faut vérifier si la soudure du manchon de renfort et du fût à la semelle a été construite avec la bonne technique de soudage (unique).



**Soudure unique**

Les extrémités du fût et du manchon sont alignées.



**Deux soudures**

Anomalie

Figure 2-2 Détails de soudure à la base des poteaux

## 2.2 Supports horizontaux (ou poutres triangulées)

Les supports horizontaux des structures A1 sont constitués de segments de poutres reliés par des brides de raccord. Chaque segment est formé de quatre longerons reliés par des membrures diagonales, verticales, horizontales et internes. Il peut également y avoir des cadres de renfort et des diagonales aux extrémités des supports. Lors de la génération de la structure, SAFI suppose qu'il y a des cadres et des diagonales par défaut. Si tel n'est pas le cas, il suffit de les enlever. L'orientation des diagonales doit être vérifiée et modifiée au besoin. Le modèle doit correspondre à la structure existante.

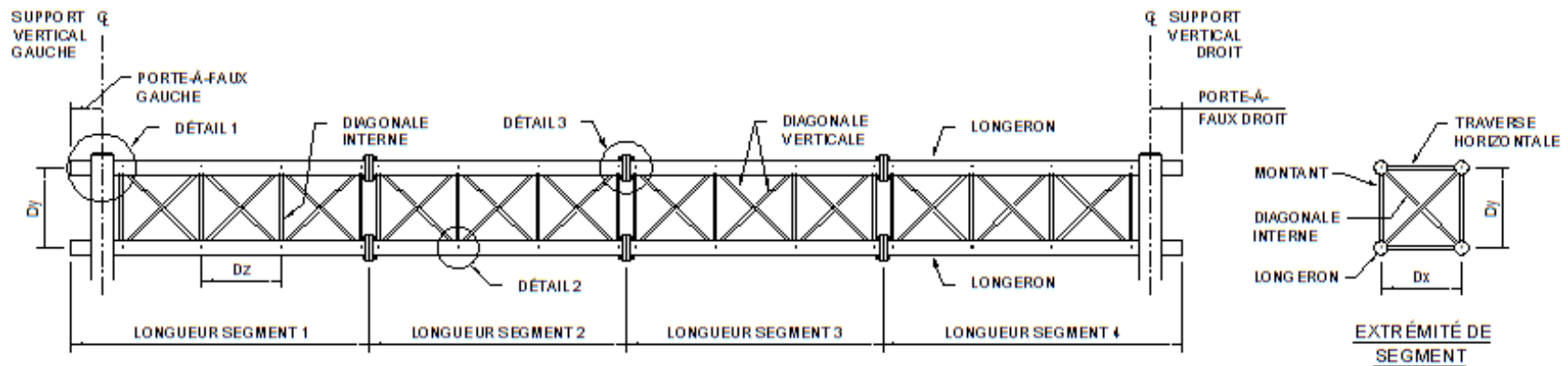


Figure 2-3 Supports horizontaux

Tableau 2-2 Dimensions des éléments des différents types de supports horizontaux

Type	Hauteur Dy (mm)	Largeur Dx (mm)	Longerons (mm)	Diagonale (mm)
A	914	914	88,9 × 4,76	42,2 × 3,56
B	1 219	1219	127,0 × 4,76	48,3 × 5,08
C	1 524	1524	152,4 × 4,76	60,3 × 5,54
CS	1 524	1829	152,4 × 4,76	60,3 × 5,54
T1	914	914	89,0 × 6,35	42,2 × 4,85
T2	1 219	1 219	127,0 × 6,35	60,3 × 5,54
T3	1 524	1 524	152,4 × 6,35	73,0 × 5,16
T4	1 524	1 829	152,4 × 6,35	73,0 × 7,01
T99	Non normalisé (conception spéciale)			

Tableau 2-3 Correspondance des types de supports horizontaux avec les types de supports verticaux

Support horizontaux		Supports verticaux				
Normalisé	Non normalisé	Normalisé				Non normalisé
		Hors série	Série 1	Série 2	Série 3	
A	–	A				–
B	–	B				–
C	–	C				–
CS	–	CS				–
T1	–		V1	V11	–	V99
T2	–		V2	V12	V22	V99
T3	–		V3	V13	V23	V99
T4	–		V4	V14	V24	V99
–	T99		De V1 à V4	De V11 à V14	De V22 à V24	V99

## 2.3 Piédestaux

Plusieurs structures existantes sont munies de piédestaux qui doivent être considérés lors de l'évaluation. Bien que leurs dimensions varient, les piédestaux peuvent être regroupés selon leur configuration de la façon suivante :

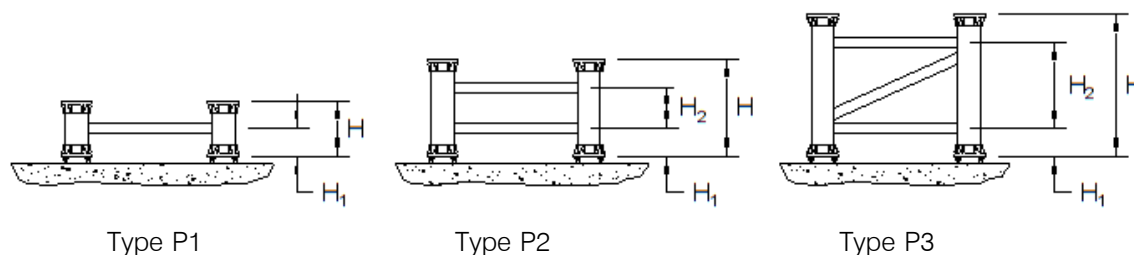


Figure 2-4 Types de piédestaux

À noter qu'il n'y a pas de manchon de renfort à la base des poteaux des piédestaux.

Il est possible de générer automatiquement les piédestaux lors de la modélisation de la structure avec SAFI. La marche à suivre est présentée à la section 4 du présent document.

## 3. MATÉRIAUX ET PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Les structures sont en aluminium, mais les alliages utilisés diffèrent selon les éléments.

Tableau 3-1 Alliage d'aluminium utilisé pour la fabrication des éléments de la structure

Support horizontal	Support Vertical	Piédestaux	Conception et évaluation (S6)
Tous les éléments	Diagonales	Diagonales	CSA-6061-T6
	Poteaux et manchons	Poteaux	CSA-6063-T6

Les propriétés mécaniques de chaque alliage selon la norme CSA S6-14 sont présentées au tableau 3-2. Lors des opérations de soudage, la résistance du matériau ( $F_{wy}$  et  $F_{wu}$ ) est grandement réduite dans la zone soudée appelée « ZAT » pour « zone affectée thermiquement ».

Lors de la fabrication des supports verticaux, un traitement thermique est réalisé sur les poteaux après le soudage du manchon de renfort et du fût à la semelle d'ancrage. Ce traitement permet d'augmenter la limite élastique du métal dans la ZAT à un niveau plus acceptable ( $F_{wy}$  à  $0,85F_y$ ).

Par contre, lors du traitement thermique, les deux poteaux du support vertical ne sont pas encore reliés ensemble par les entretoises. Les soudures des entretoises n'ont donc pas été traitées thermiquement. Leur résistance est alors contrôlée par la ZAT, soit  $F_{wy} = 55 \text{ MPa}$  et  $F_{wu} = 115 \text{ MPa}$ , selon la norme S6.

Dans le cas des piédestaux, même si certains poteaux ont peut-être été traités thermiquement après le soudage, il n'est pas possible de le vérifier lors de l'inspection. À moins d'indication contraire, il est donc préférable de considérer que les piédestaux n'ont pas subi de traitement thermique à l'évaluation.

Tableau 3-2 Propriétés mécaniques des différents alliages d'aluminium utilisés pour la fabrication des éléments de la structure

Matériau (Dénomination SAFI)	Résistance du métal de base		Résistance du métal soudé	
	$F_y$ (MPa)	$F_u$ (MPa)	$F_{wy}$ (MPa)	$F_{wu}$ (MPa)
CSA-6061-T6	240	260	105	165
CSA-6063-T6	170	205	55	115
CSA-6063-T6*	170	205	144,5*	173,4**

(Source : CSA S6-14)

\*  $F_{wy} = 0,85f_y = 144,5 \text{ MPa}$  à la base des poteaux des supports verticaux, mais pas à la base des poteaux des piédestaux.

\*\* Valeur minimum, car elle ne peut pas être inférieure à  $\phi_y/\phi_u F_{wy} = 173,4 \text{ MPa}$ .

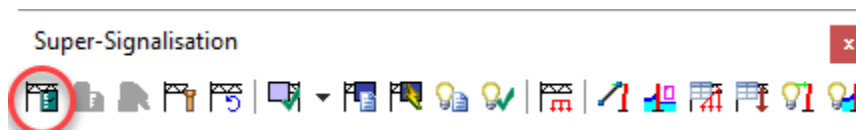
## 4. GÉNÉRATION AUTOMATIQUE DES STRUCTURES DE SIGNALISATION

### 4.1 Étapes de modélisation

La génération automatique des structures de signalisation doit être réalisée à partir de la barre d'outils suivante :



Pour générer une structure de signalisation, cliquer sur l'icône « Assistant de structures de signalisation » montrée ci-dessous et suivre les huit étapes de génération proposées.





## Étape 1 – Paramètres

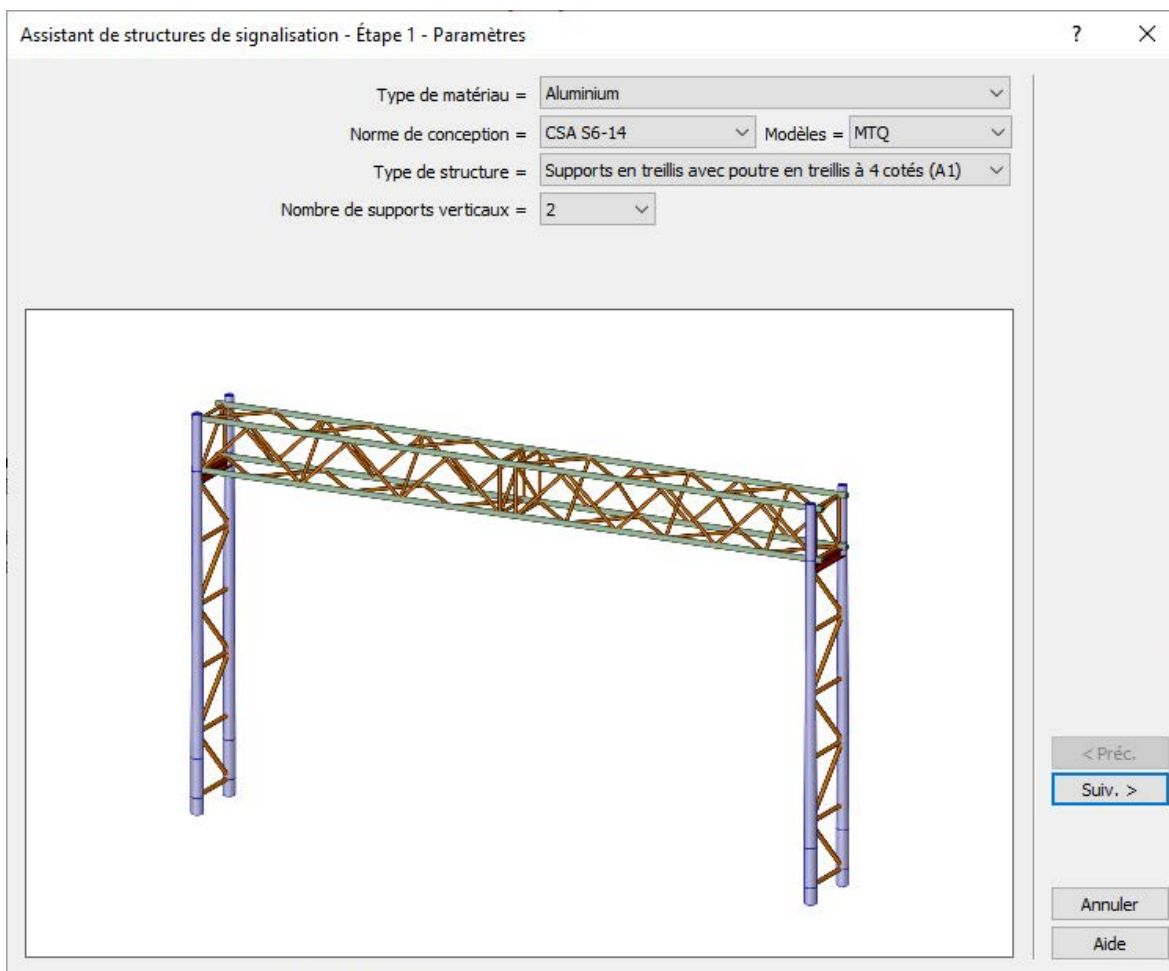
Choisir le type de structure de signalisation, soit « supports en treillis avec poutre en treillis à 4 côtés (A1) ». Il est également requis de sélectionner le modèle MTQ.

La norme à sélectionner dans le champ « norme de conception » est généralement la norme CSA S6-14. Il s'agit de la norme retenue pour procéder à l'évaluation de la capacité portante de la structure mentionnée à la section 1 des présentes notes de cours. Il est également requis de sélectionner le modèle MTQ.

Trois types de structures sont disponibles en mode MTQ :

- le modèle construit manuellement;
- les supports en treillis avec poutre en treillis à 4 cotés (A1);
- le support en treillis avec bras en porte-à-faux tubulaire(s) (A2).

Bien que ces trois types de structures puissent être générées, le seul type qui a fait l'objet d'une validation par la DGS est le type A1.



## Étape 2 – Définition des poutres

Le type de support horizontal doit être choisi comme défini à la section 2.2. À partir de cette information, SAFI détermine la hauteur et la profondeur de la poutre triangulée, respectivement notées  $D_y$  et  $D_x$ .

À partir du type de support horizontal choisi, SAFI attribue également les sections correspondantes aux longerons et aux diagonales. Il se peut que les dimensions mesurées sur le terrain lors de l'inspection diffèrent des dimensions théoriques.

Dans ce cas, il est possible de modifier les données d'entrée pour qu'elles correspondent aux valeurs mesurées en sélectionnant le modèle « Personnalisé(e) ». La marche à suivre est présentée à la section 7 du présent document.

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: T3

Nb. Panneaux =	0
Panneaux verticaux	
Modèle de panneaux =	Warren - W W W
Inverser face opposée =	<input checked="" type="checkbox"/>
Diag. discontinues =	<input type="checkbox"/>
Panneaux horizontaux	
Modèle de panneaux =	Identiques aux verticaux
Diagonales intérieures	
Inverser les diagonales =	<input type="checkbox"/>
Aux extrémités seulement =	<input type="checkbox"/>
Excentricité =	0 mm
Dimensions	
L =	0 mm
Ei =	0 mm
Ej =	0 mm
Dz1 =	Dz (0) mm
Dz2 =	Dz (0) mm
Dz =	0 mm
Excentricités aux connexions	
Méthode =	gt
gt =	0 mm
Sections	
Longerons (Sm) =	3 - HSS 152.4x6.35
Diagonales (Sd) =	4 - HSS 73x5.16

Dx = 1524 mm  
Dy = 1524 mm

Panneaux verticaux

Panneaux horizontaux

gt

gc

< Préc.

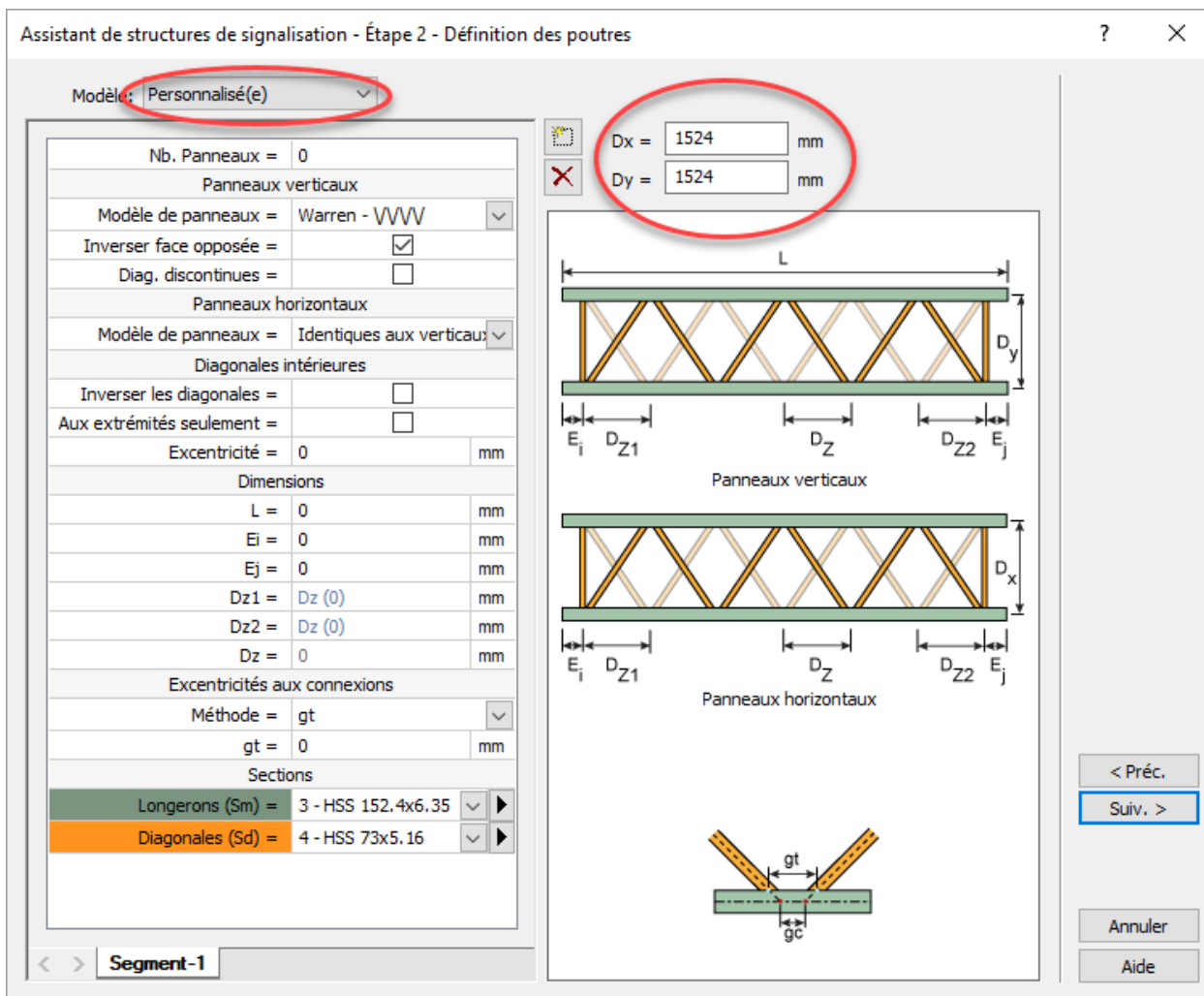
Suiv. >

Annuler

Aide

Segment-1

Les valeurs grisées Dx et Dy sont utilisées par défaut par SAFI en fonction du modèle de la structure. Il est toujours possible de modifier ces valeurs en choisissant, une fois de plus, le modèle « Personnalisé(e) » comme montré ci-dessous.



Il faut également fournir les informations concernant la configuration géométrique pour chaque segment de poutre.

Un segment de poutre est constitué de plusieurs panneaux dont la longueur correspond à la valeur Dz. Indiquer le nombre de panneaux contenus dans chaque segment de poutre ainsi que leur configuration. Le modèle de panneau du support horizontal standardisé au MTQ est celui de type Warren pour les panneaux verticaux et les panneaux horizontaux.

Par défaut la disposition des diagonales est la même pour les panneaux verticaux et horizontaux de la poutre. Les deux autres modèles, Pony Warren et Pratt, sont disponibles pour la vérification d'une structure spéciale, mais seulement le modèle Warren est validé par le MTQ.

Il est possible d'inverser la disposition des diagonales verticales et horizontales des faces extérieures du segment, si la disposition générée par défaut ne correspond pas à celle de la structure. Les diagonales du modèle Warren forment ainsi des « V » dont chacune des pointes n'en rencontrent une autre qu'une seule fois sur le longeron. Cela est possible en cochant l'option « Inverser face opposée ».

Par défaut, pour le modèle Warren et Pony Warren, les diagonales des faces opposées sont inversées. Également, lorsque le support horizontal présente une triangulation discontinue, l'option « Diag. discontinues » permet de renverser les diagonales par rapport au segment précédent de poutre ou renverser la forme en « V » du premier panneau si cette option est cochée pour le segment 1. Par défaut, les diagonales sont en continuité par rapport au segment précédent.

L'option d'inversion de la disposition des diagonales internes est aussi disponible pour chacun des segments. Lorsque cette option est cochée pour le segment 1, elle permet d'obtenir la configuration réelle du support horizontal. Pour les segments suivants, SAFI modélise par défaut les diagonales en alternance l'une par rapport à la suivante d'un segment à l'autre en maintenant le rythme donné dès le premier panneau.

Pour modéliser une discontinuité de triangulation par rapport au segment précédent de la poutre, il faut sélectionner « Inverser les diagonales ». Il est également possible de générer les diagonales internes aux extrémités du segment seulement avec l'option « Aux extrémités seulement ». Par contre, cette dernière option ne devrait pas être utilisée, car les supports horizontaux standards des structures A1 MTQ présentent toujours des diagonales internes à l'intérieur du segment.

Il peut arriver que la première et la dernière diagonale intérieure d'un segment soient excentrées vers l'intérieur du panneau. Pour générer ce type de détail, il faut indiquer la valeur  $\Delta_D$  telle qu'illustrée dans la figure ci-dessous dans le champ nommé « Excentricité ».

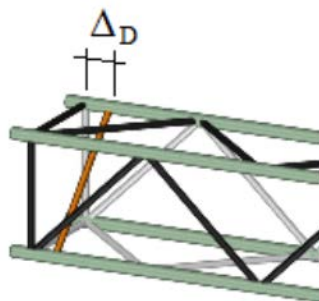


Figure 4-1 Excentricité de la première et dernière diagonale interne

(Source : Société Informatique SAFI Inc., Références : Structures de signalisation SAFI 13.0 pour Windows)

Par la suite, compléter les informations concernant les dimensions du support horizontal. L est la longueur totale du segment ou, s'il n'y a pas de bride de raccord, la longueur totale du support horizontal.  $E_i$  et  $E_j$  correspondent aux distances entre les premiers nœuds de triangulation et les extrémités gauche et droite du segment, respectivement.

De manière optionnelle, le premier et le dernier panneau du segment peuvent avoir une dimension personnalisée  $D_{z1}$  et  $D_{z2}$ . Si ces deux valeurs ne sont pas spécifiées, elles seront égales à  $D_z$ . En fonction des données saisies précédemment, SAFI calcule une valeur pour la dimension d'un panneau régulier soit  $D_z$ . Cette valeur apparaît en gris pâle vis-à-vis le champ en question permettant ainsi de vérifier si les données du relevé dimensionnel concordent.

Finalement, il faut indiquer les excentricités aux connexions en sélectionnant tout d'abord la méthode de mesure. Le terme «  $g_c$  » représente la distance entre les diagonales mesurée au centre ligne du longeron tandis que «  $g_t$  » correspond à la distance centre à centre des diagonales mesurée sur le dessus du longeron. Le schéma ci-dessous montre ces deux distances.

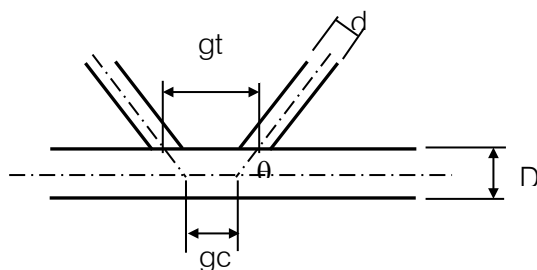


Figure 4-2 Excentricité des diagonales aux nœuds

Lors de l'inspection, c'est la distance «  $g_t$  » qui est la plupart du temps mesurée.

Dans SAFI, il est possible de spécifier l'une ou l'autre de ces deux valeurs. Lorsque la valeur de «  $g_t$  » est entrée, SAFI applique l'équation ci-dessous pour calculer «  $g_c$  », car c'est cette dernière valeur qui est utilisée pour générer la structure.

$$g_c = g_t - D \tan (90 - \vartheta)$$

### Étape 3 – Définition des poteaux

Choisir le type de support vertical tel que défini à la section 2.1. SAFI attribue alors les sections correspondantes aux poteaux et aux diagonales. Les dimensions des sections peuvent également être modifiées en sélectionnant le modèle « personnalisé ». La marche à suivre est présentée à la section 7.

Il faut également fournir les informations concernant la configuration géométrique des panneaux pour chacun des deux ou trois supports verticaux.

Assistant de structures de signalisation - Étape 3 - Définition des poteaux

Modèle = V3

Panneaux	
Modèle de panneaux =	Pony Warren - [N/W/I]
Inverser diagonales =	<input type="checkbox"/>
Dimensions	
H =	8000 mm
T1 =	900 mm
T2 =	1800 mm
B =	300 mm
BT =	0 mm
Sv =	1462 mm
Manchon (t') =	6,35 mm
Manchon (L') =	300 mm
Porte-à-faux (C) =	0 mm
Excentricités aux connexions	
Méthode =	gc
gc =	0 mm
Sections	
Longerons (Smt) =	5 - HSS 203x6.35
Longerons (Smb) =	9 - HSS 254x6.35
Diagonales (Sd) =	11 - HSS 89.1x4.76
Poutre d'appui (Sb) =	10 - W 203x203x9.5

Buttons: < Préc., Suiv. >, Annuler, Aide

D = 1930 mm

Un support vertical est constitué de panneaux dont la longueur est définie par Sv. La limite inférieure du panneau du bas se situe au centre de la diagonale du bas du support vertical. La limite supérieure du panneau du haut se situe à la mi-hauteur de la poutre supportant le support horizontal ou, dans le cas où le support horizontal est appuyé sur des consoles, au centre de la membrure horizontale du bas du support horizontal.

Tout d'abord, il faut indiquer le modèle d'agencement des diagonales des panneaux. Le modèle standardisé au MTQ est celui de type Pony-Warren pour les panneaux des supports verticaux en aluminium. L'autre modèle Warren est disponible pour la vérification d'une structure spéciale, mais seulement le modèle Pony-Warren est validé par le MTQ.

L'option d'inversion de la disposition des diagonales internes est aussi disponible pour chacun des supports verticaux. Si la disposition générée par défaut ne correspond pas à celle de la structure, l'option « Inverser diagonales » peut être utilisée pour corriger le modèle.

Par la suite, on complète les informations concernant les dimensions du support vertical. La valeur H correspond à la hauteur totale du support vertical, excluant les piédestaux. Les valeurs de T1 et T2 représentent les longueurs des parties cylindriques des poteaux. S'il n'y a pas de partie cylindrique, il faut alors mettre T1 et/ou T2 = 1 mm pour que la structure puisse être générée.

Assistant de structures de signalisation - Étape 3 - Définition des poteaux

Modèle = V3

Panneaux

Modèle de panneaux = Pony Warren - [W/W/]

Inverser diagonales =

Dimensions

H =	8000	mm
T1 =	900	mm
T2 =	1800	mm
B =	300	mm
B <sub>T</sub> =	0	mm
S <sub>v</sub> =	1462	mm
Manchon (L') =	6,35	mm
Manchon (L) =	300	mm
Porte-à-faux (C) =	0	mm

Excentricités aux connexions

Méthode = gc

gc = 0 mm

Sections

Longerons (Smt) =	5 - HSS 203x6,35
Longerons (Smb) =	9 - HSS 254x6,35
Diagonales (Sd) =	11 - HSS 89,1x4,76
Poutre d'appui (Sb) =	10 - W 203x203x9,5

Diagramme de la structure de signalisation montrant les dimensions H, T1, T2, B, B<sub>T</sub>, S<sub>v</sub>, L', L, C, et Δ.

Diagramme de la section de la structure montrant les dimensions gt et gc.

Diagramme de la section de la structure montrant les dimensions C et Δ.

Buttons: < Préc., Suiv. >, Annuler, Aide

D = 1930 mm

Un support vertical est constitué de panneaux dont la longueur correspond à la valeur Sv. La limite inférieure du panneau du bas se situe au centre de la diagonale du bas du support vertical. La limite supérieure du panneau du haut se situe à la mi-hauteur de la poutre d'appui ou, si le support horizontal est appuyé sur des consoles, au centre des longerons inférieurs du support horizontal.

L'assistant SAFI propose une donnée Sv calculée en fonction de la hauteur du support vertical et du type de support horizontal. En saisissant une valeur nulle (0), SAFI calcule la valeur de Sv en considérant la valeur de B telle qu'elle a été saisie et en considérant que le poteau dépasse le dessus de la poutre triangulée de 150 mm. Ainsi :

$$Sv = \left( \frac{H_{total} - 150 \text{ mm} - D_y - 1/2 H_{poutre \text{ d'appui}} - 1/2 \text{ diamètre du longeron} - B}{\text{nombre de panneaux}} \right)$$

Lorsque SAFI calcule la valeur de Sv, celle-ci elle est limitée à 1,0 D. Par contre, lorsque la valeur de Sv est saisie, SAFI calcule le nombre de panneaux et modifie la hauteur du support qui dépasse le dessus de la poutre triangulée (les 150 mm ne sont plus respectés et cette valeur peut varier). En imposant la valeur de Sv, SAFI ne vérifie pas l'angle d'inclinaison des diagonales.

Exemple : Support vertical type V1 (D = 1 219 mm) et Support horizontal type T1

$$D_y = 914 \text{ mm}, 1/2 D_{\text{longeron}} = 46 \text{ mm et } 1/2 H_{\text{poutre d'appui}} = 76 \text{ mm}$$

Tableau 4-1 Exemple de calcul de la hauteur des panneaux Sv

$H_{total}$	Sv imposé	B	Sv calculé par SAFI	Dépassement haut
7 575	0	300	1 218	150
7 430	0	300	1 189	150
7 430	1 219	300	–	0
7 500	0	300	1 203	150
7 500	1 219	300	–	70

Lors de la génération automatique, SAFI considère qu'il y a par défaut un manchon de renfort d'une épaisseur égale à  $t' = 6,35$  mm à la base du support. Pour modifier cette épaisseur, choisir le modèle « personnalisé ». S'il n'y a pas de manchon, attribuer la valeur  $t' = 0$  mm. La valeur L' représente la longueur efficace du manchon. La valeur par défaut de ce champ soit 300 mm ne doit pas être modifiée pour une évaluation de la capacité portante.

Finalement, la définition de « gc » et « gt » correspond aux mêmes valeurs que dans le cas des supports horizontaux. Pour l'évaluation, puisqu'il n'y a normalement pas d'excentricité aux joints des diagonales d'un support vertical, il faut attribuer la valeur de 0 à « gc ».



En utilisant cette option, l'excentricité est appliquée à toutes les connexions. Si une excentricité est relevée à un seul nœud, apporter la modification manuellement dans le modèle. Pour les structures qui ont été construites après 2016, la hauteur des panneaux peut avoir été limitée à une valeur près de 1524 mm afin de faciliter la progression par escalade des inspecteurs. Une telle modification aura possiblement entraîné des excentricités aux assemblages.

## Étape 4 – Piédestaux

Cette étape permet de générer des piédestaux si la structure en comporte. Pour chaque support, il suffit de choisir le modèle de piédestal et d'inscrire les dimensions demandées.

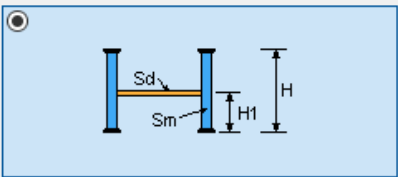
Lorsqu'il y a plusieurs piédestaux à la base d'un même support, le piédestal qui est ancré sur le massif de béton porte le numéro 1. Les autres, situés au-dessus du premier, sont numérotés 2, 3 et ainsi de suite. Les piédestaux sont modélisés sans manchons de renfort à leur base.

Assistant de structures de signalisation - Étape 4 - Piédestaux

Axes-1 Axes-2

Si vous voulez créer des piédestaux, faites le ici pour chacun des poteaux. Autrement, cliquez sur "Suiv." pour continuer.

L'identificateur de chaque piédestal déterminera l'ordre selon lequel les piédestaux seront insérés dans le modèle. Le piédestal ayant l'identificateur le plus petit sera inséré à la base du poteau.



ID = 1

H = 600 mm

H1 = 300 mm

Sections

Principales (Sm): 9 - HSS 254x6.35

Diagonales (Sd): 11 - HSS 89.1x4.76

< Préc.

Suiv. >

Annuler

Aide

< > Piédestal-1

**Attention** : Il est important de s'assurer que les sections choisies soient associées au bon matériau de base.

## Étape 5 – Fatigue

Les états limites de fatigue ne sont pas évalués. Les valeurs  $(\Delta F)_{TH} = 0$  ne doivent donc pas être modifiées. Passer à l'étape suivante.

Assistant de structures de signalisation - Étape 5 - Fatigue

Contraintes limites $(\Delta F)_{TH}$ aux assemblages		Défaut
Métal sain/zones éloignées des assemblages =	0	MPa ▶
Éléments des poutres		
Diagonales attachées aux principales =	0	MPa ▶
Principales aux assemblages des diagonales =	0	MPa ▶
Principales aux brides de raccord =	0	MPa ▶
Poutres de soutiens =	0	MPa ▶
Éléments des poteaux		
Diagonales attachées aux principales =	0	MPa ▶
Principales aux assemblages des diagonales =	0	MPa ▶
Principales aux plaques d'assise =	0	MPa ▶
Principales aux jonctions des piédestaux =	0	MPa ▶

< Préc.    Suiv. >

Annuler    Aide

## Étape 6 – Terminé

Indiquer la position de la base de la structure par rapport au sol. Cette information est calculée à partir de la hauteur d'exposition de la structure et de la hauteur des supports verticaux, y compris la hauteur des piédestaux. Elle sert au calcul des charges de vent.

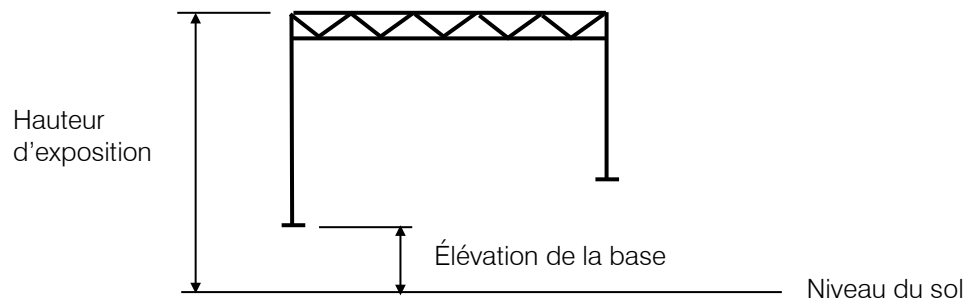


Figure 4-3 Hauteur de l'exposition de la structure

Assistant de structures de signalisation - Étape 6 - Terminé

L'élévation de la base par rapport au sol permet de créer une structure de signalisation localisée sur une structure aérienne comme un pont. Cette élévation a une influence sur la pression de vent sollicitant la structure de signalisation.

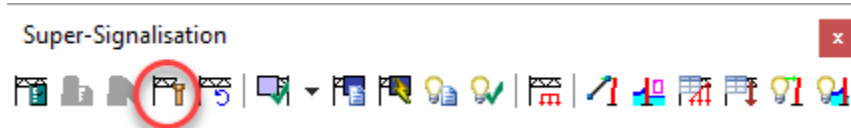
Élévation de la base =  mm

Les données requises sont définies, le modèle peut maintenant être généré. Cliquez sur le bouton "Terminer" pour compléter l'opération.

< Préc.  
**Terminer**  
Annuler  
Aide

## 4.2 Calcul des ancrages de structures de signalisation

Pour calculer les ancrages d'une structure de signalisation, cliquer sur l'icône « Ancrages et plaque d'assise de structures de signalisation », montrée ci-dessous, et compléter les informations requises.



Dans cet écran, les caractéristiques sont définies pour les quatre tiges d'ancrage de chaque joint d'appui de la structure. Ces tiges sont supposées identiques.

Tiges d'ancrage et plaques d'assise

Type =	<input type="radio"/> En contact avec le béton
	<input checked="" type="radio"/> Avec écrous de nivellement
Nombre de tiges =	4
Cercle de boulonnage (CB) =	0 mm
Propriétés des tiges d'ancrage	
Diamètre des tiges (d) =	0 mm
Pas des filets (p) =	0 mm
Distance à l'écrou (h) =	0 mm
Limite élastique des tiges (Fy) =	350 MPa
Contrainte ultime des tiges (Fu) =	450 MPa
Contraintes limites de fatigue ( $\Delta F$ ) <sub>TH</sub> =	0 MPa
Paramètres de la plaque d'assise	
Méthode de calcul =	<input checked="" type="radio"/> Aucune
	<input type="radio"/> Largeur effective sans raidisseurs
Propriétés du béton	
Résistance du béton (f <sub>c</sub> ) =	35 MPa

OK  
Annuler  
Aide

Le moment fléchissant critique dans la tige d'ancrage est calculé seulement pour les ancrages avec écrous de nivellement pour lesquels la distance h à la fondation est supérieure à d (1 fois le diamètre de la tige)<sup>1</sup>.

L'état limite combiné calculé par SAFI ne doit pas être utilisé. Il faut plutôt vérifier les états limites ultimes en traction et cisaillement combinés, selon l'article 10.19.2.3 de la norme CSA S6-14, et en traction et flexion combinées, selon les articles 10.19.2.4 et 10.8.3 de la norme CSA S6-14<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Modifications à apporter à SAFI.

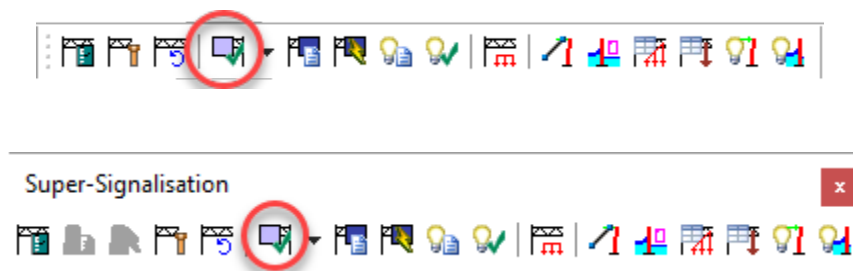
La méthode de calcul pour la plaque d'assise par défaut est « aucune ». Pour les structures standardisées de type A1, cette option doit demeurer sélectionnée. La méthode de calcul « Largeur effective sans raidisseurs » est décrite dans la norme ASCE 48-11 « Design of Steel Transmission Pole Structures » et s'applique uniquement pour les plaques d'assise en acier.

La semelle d'ancrage en aluminium doit être vérifiée dans une note de calcul à part lorsque l'indice ICS à la base du poteau est supérieur à 1,05. La méthode retenue peut être un modèle par élément fini ou un calcul numérique appuyé sur des modèles d'analyse mathématique reconnus pour la vérification de plaque de base de structures formées d'éléments cylindriques.

Lorsque l'indice ICS à la base du poteau est inférieur à 1.05, seule la vérification de la résistance structurale de l'assemblage soudé semelle-poteau est requise. En effet, sur la base d'essais et de calculs, la résistance des soudures est critique en comparaison avec la résistance en flexion de la semelle d'ancrage.

### 4.3 Ajout des panneaux de signalisation

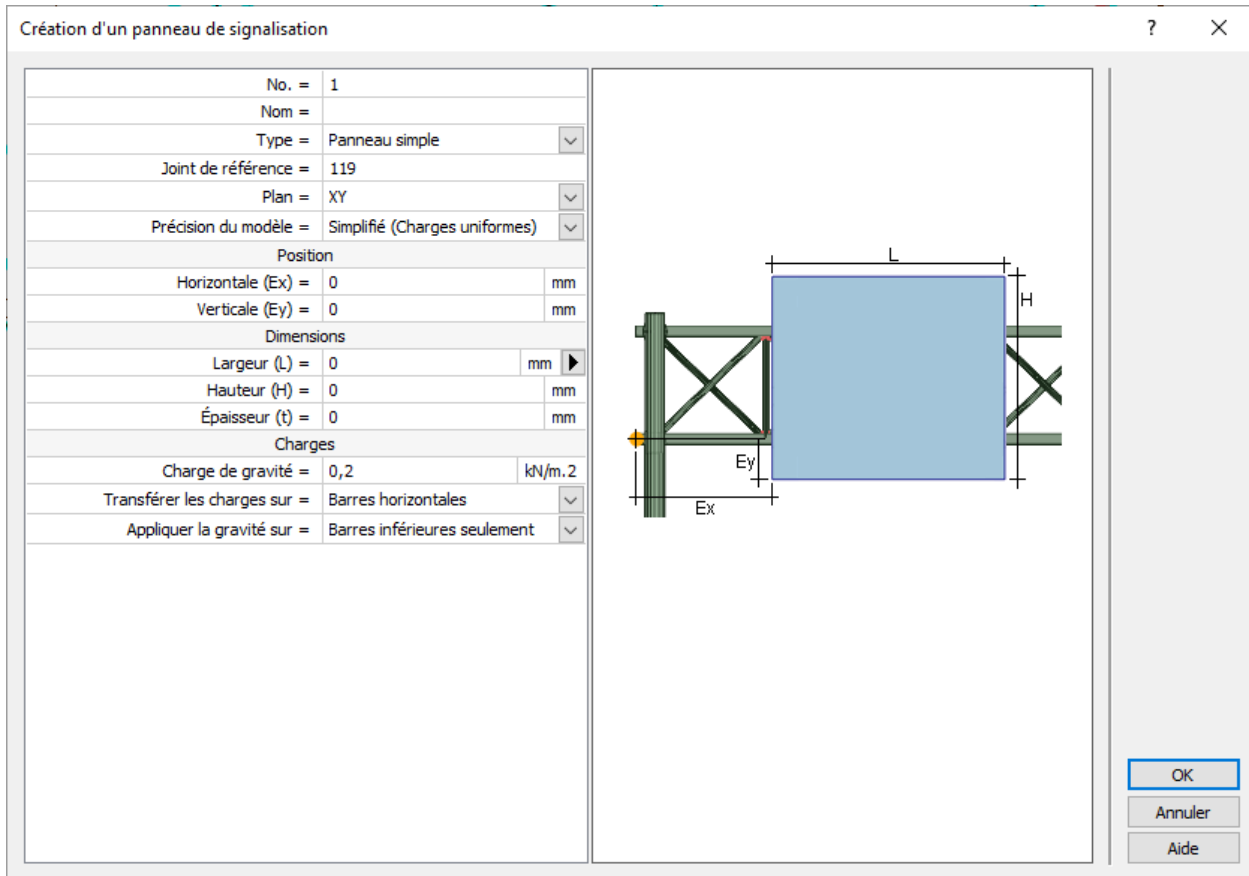
Pour ajouter les panneaux de signalisation sur la structure, cliquer d'abord sur l'icône encerclée dans l'image ci-dessous et choisir un nœud de référence à partir duquel le panneau de signalisation sera positionné. La méthode la plus simple consiste à choisir le nœud de référence sur le longeron inférieur avant vis-à-vis le centre du support vertical.



Dans la majorité des cas, le poids des panneaux est de 0,2 kPa. Cette valeur est attribuée par défaut par SAFI, mais il est possible de la modifier au besoin. Cette charge est appliquée sur les membrures du longeron inférieur.

Choisir d'abord l'option « Simplifié (Charges uniformes) » dans le menu déroulant indiquant la précision du modèle. Sélectionner ensuite l'option « Barres horizontales » dans le menu déroulant qui commande sur quels éléments transférer les charges et indiquer d'appliquer les charges sur les barres inférieures seulement ».

Lors de l'évaluation d'une structure de signalisation aérienne, il n'est pas requis de vérifier les éléments structuraux composant le panneau de supersignalisation. L'option « Détaillé (Charges concentrées) » est utile dans ce cas, ou pour obtenir précisément les efforts à la connexion du panneau avec les longerons.



## Attention

Le menu « création d'un panneau de signalisation » représente la valeur « Ex » en prenant le joint de référence à l'extrémité du longeron. Comme déjà mentionné, la méthode la plus simple est de sélectionner le joint de référence à l'axe central du support vertical 1 afin de travailler directement avec les valeurs indiquées dans le relevé dimensionnel..

L'épaisseur du panneau  $t$  est utilisée dans le calcul de la charge de vent latéral. Cette valeur est requise pour le calcul de la force verticale de fatigue causée par les rafales dues aux camions. Pour l'évaluation, cette valeur reste donc égale à 0. Même si l'épaisseur du panneau est de 0, SAFI utilise par défaut le poids propre du panneau.

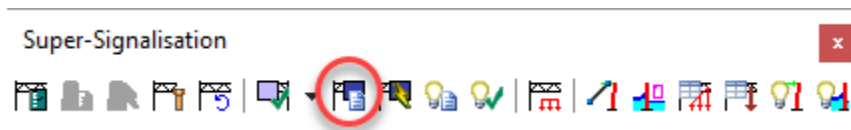
Puisque l'option « Simplifié (Charges uniformes) » a été retenue, la commande « Générer les panneaux de signalisation » n'a pas à être exécutée.



Cette commande recalcule automatiquement les élancements, les soudures et les charges. Elle doit être exécutée seulement lorsqu'un panneau doit être créé en mode « Détaillé (Charges concentrées) ».

Il est possible de générer automatiquement les types de panneaux et équipements suivants : un panneau simple en extrusions d'aluminium ou muni de renforts, s'il est très haut, un panneau à message variable (PMV) ainsi que la passerelle pour en permettre l'entretien et un panneau secondaire.

Il est également possible de visualiser la liste des panneaux créés sous forme d'une table en cliquant sur l'icône suivante :



Pour visualiser les panneaux sur la structure, cocher « Panneaux », dans le menu « Signalisation » du dossier « Modèle » des « Options d'affichage ». Cela permet de voir la surface et le contour des panneaux et de vérifier si une erreur de saisie cause un chevauchement des panneaux de signalisation.

Liste des panneaux de signalisation													
Table Commandes Affichage Sélection													
0	No.	Nom	Type	Joint de référence	Précision du modèle	Ex mm	Ey mm	L mm	H mm	t mm	Gravité kN/m.2	Transférer les charges sur	Appliquer la gravité sur
2	1	numéro 1	Panneau simple	119	Simplifié (Charges uniformes)	13600,000	-780,000	3720,000	2745,000	0,000	0,200	Barres horizontales	Barres inférieures seulement
	2	numéro 2	Panneau simple	119	Simplifié (Charges uniformes)	3800,000	-1080,000	7130,000	3050,000	0,000	0,200	Barres horizontales	Barres inférieures seulement

## 4.4 Application des charges de vent et de glace

Les structures de signalisation aérienne doivent être conçues pour résister à un vent dont la période de retour est de 50 ans. Lors de l'évaluation de la capacité portante de celles-ci, il est raisonnable d'utiliser une période de retour moindre, soit une période de retour de 25 ans. Il peut cependant y avoir des exceptions à cette règle. Dans certains cas, il y a lieu de porter un jugement sur la période de récurrence du vent à utiliser pour l'évaluation de capacité portante en fonction de la durée de vie désirée après l'intervention sur la structure, en considérant son âge, son état, l'objet de l'intervention (entretien ou projet), son intégration en tant que partie d'un secteur entier de la route, son importance sur la stratégie de signalisation, etc.

Avant la publication de la norme CSA S6:19, la DGS avait retenu des pressions de vent spécifiques pour les périodes de retour de 25 ans et de 50 ans. Ces pressions de vent sont présentées au tableau 4-2. Ce sont des pressions de vent maximales sur le territoire, ce qui peut être prudent comme hypothèse pour certaines agglomérations urbaines. Ce choix était basé sur les pressions de vent des deux éditions précédentes, soit 2006 et 2014, ainsi que sur la division administrative des directions générales territoriales en vigueur à ce moment. Ce sont ces valeurs qui sont reprises dans le logiciel SAFI.

Les valeurs de pression de vent présentées au tableau 4-2 peuvent généralement être utilisées pour une évaluation de la capacité portante de structures de signalisation aérienne. Au besoin, il est possible d'utiliser les pressions de vent de la norme CSA S6 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers » pour la municipalité dans laquelle la structure se situe. Si les résultats démontrent une surcharge, il est requis de préciser l'évaluation avec un vent local avant de conclure que la structure ne présente pas une capacité structurale suffisante.

Lors de la conception d'une structure de signalisation aérienne, il est requis de consulter le *Manuel de conception des structures de signalisation, d'éclairage et de signaux lumineux* et ses mises à jour par le biais des Info-structures d'actualité afin de sélectionner la pression de vent répondant aux normes et exigences en vigueur au Ministère.

Mentionnons qu'avec la publication de la norme CSA S6:19, l'épaisseur de glace à considérer lors de la conception est considérablement augmentée pour plusieurs municipalités du Québec. Ces changements ont été apportés dans un objectif de résilience des infrastructures aux changements climatiques. Pour l'évaluation des structures existantes, la qualité de notre système d'inspection et les observations réalisées sur notre réseau nous permettent de vérifier nos structures avec l'épaisseur de glace pour lesquelles elles ont été conçues à l'époque de leur construction. Ainsi, la majorité des ouvrages demeurent à évaluer structuralement à l'aide de la norme CSA S6-14 ou une version antérieure.



Tableau 4-2 Pression de vent de référence et épaisseur de glace selon la DGT

N° DGT	Nom DGT	Q <sub>1/25</sub> (KPa)	Q <sub>1/50</sub> (Kpa)	T <sub>glace</sub> (mm)
63	Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine	0,950	1,06	31
64	Centre-du-Québec	0,310	0,350	31
65	Bas-Saint-Laurent	0,675	0,785	31
66	Chaudière-Appalaches	0,480	0,555	31
67	Côte-Nord	0,895	1,015	31*
68	Saguenay-Lac-Saint-Jean-Chibougamau	0,325	0,380	31
70	Mauricie	0,390	0,435	31
71	Capitale-Nationale	0,480	0,555	31
84	Laval-Mille-Îles	0,365	0,400	31
85	Île de Montréal	0,365	0,400	31
86	Est de la Montérégie	0,365	0,405	31
87	Ouest de la Montérégie	0,365	0,405	31
88	Laurentides-Lanaudière	0,365	0,400	31
89	Outaouais	0,360	0,410	31
90	Estrie	0,360 **	0,410 **	31
91-92	Abitibi-Témiscamingue-Nord-du-Québec	0,360	0,410	31
	Inconnue/Autre/Personnalisée	Au choix	Au choix	Au choix

\* Selon la norme CSA S6-14, une partie de la Côte-Nord pourrait recevoir 66 mm d'épaisseur de glace constante.

\*\* La pression de vent est celle de la ville de Rock Island (Stanstead). La pression maximale de vent de la DT serait à Lac-Mégantic, où aucune structure de signalisation aérienne n'est installée.

Afin d'appliquer les charges de vent et de glace sur la structure, cliquer sur l'icône présentée ci-dessous et sélectionner « Évaluation » ou « Conception » et la région concernée.

Il est possible d'indiquer une épaisseur de glace différente en modifiant cette valeur dans le menu ou en utilisant l'option « Inconnue/Autre/Personnalisée » pour la région.



Assistant des charges des structures de signalisation ? X

Paramètres des charges pour CSA S6-14	
Type d'analyse =	Évaluation <input type="button" value="v"/>
Région =	Inconnue/Autre/Personnalisée <input type="button" value="v"/>
Pression de vent =	0.36 kN/m.2
Épaisseur de glace =	31 mm
Génération des charges de base et des combinaisons	
Générer les charges et les combinaisons =	<input checked="" type="checkbox"/>
Direction du vent =	Défaut ( $\pm Wz \pm 0.2Wx$ ou $\pm 0.6Wz \pm 0.3Wx$ ) <input type="button" value="v"/>
Générer les combinaisons thermiques =	<input type="checkbox"/>
Générer les combinaisons de fatigue =	<input type="checkbox"/>

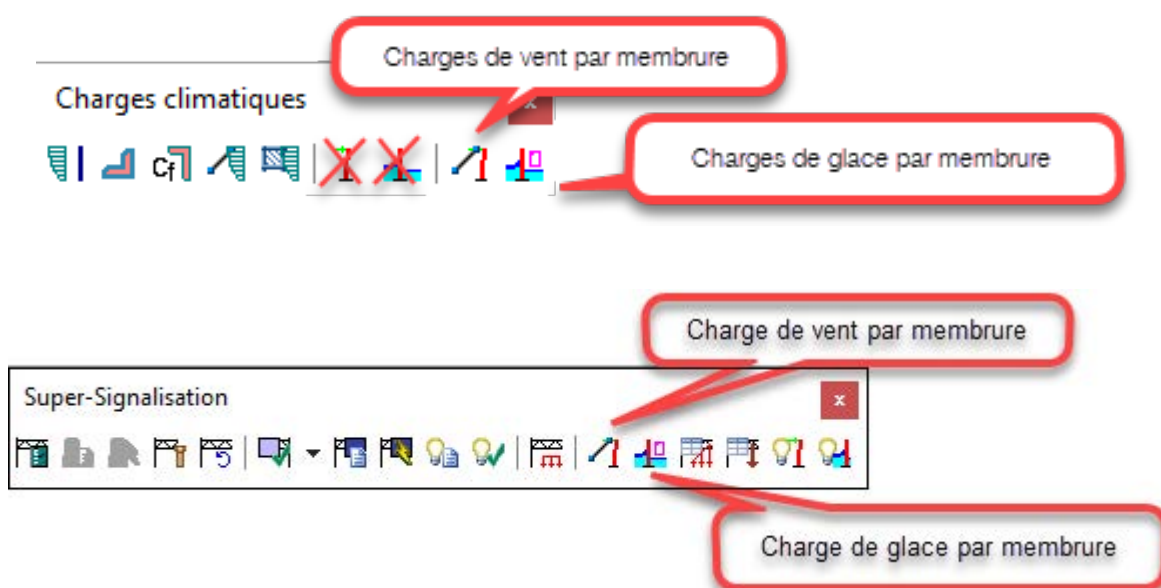
OK  
Annuler  
Aide

## 5. VISUALISATION DES CHARGES

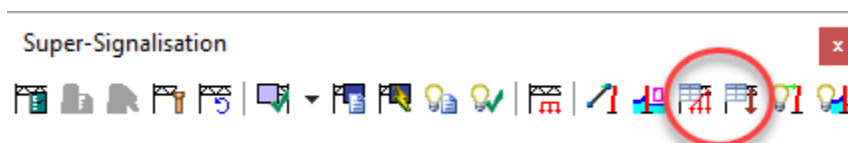
À partir des informations fournies à la section 4, SAFI calcule les charges qui s'appliquent sur la structure et sur les panneaux de signalisation.

Les charges de vent et de glace générées sur la structure se trouvent dans les tables présentées ci-dessous. Elles sont accessibles à partir de la barre d'outils « Charges climatiques » ainsi qu'à partir de la barre « Super-Signalisation ».

À noter que les icônes marquées d'un × dans l'image ci-dessous ne doivent pas être utilisées pour générer les charges de vent puisqu'elles font partie d'une barre d'outils standard qui n'est pas liée à l'assistant de génération automatique des structures.



En ce qui concerne les charges générées sur les panneaux de signalisation, elles se trouvent dans la table « Données des charges de panneaux » de la barre d'outils « Super-Signalisation ».



### 5.1 Charges permanentes

#### 5.1.1 Structure

SAFI calcule le poids propre de chaque membrure en fonction de la masse volumique de l'aluminium. Le poids propre est modélisé comme une charge uniforme appliquée sur les membrures.

$$Poids_{propre} = Y_{alu} \cdot Aire \cdot longueur$$

## 5.1.2 Panneaux de signalisation

En général, le poids des panneaux de signalisation est de 0,2 kPa. Compte tenu du mode de fixation des panneaux sur la structure, on considère que ce poids est seulement repris par le longeron inférieur du côté du panneau. Le poids propre des panneaux est modélisé comme une charge uniforme appliquée sur les membrures.

$$Poids_{panneau} = 0,2 \text{ kPa} \cdot \text{Hauteur en kN/m de longueur de panneau}$$

## 5.2 Charges de vent

SAFI utilise la norme CSA S6-14 pour le calcul des charges de vent. Ainsi :

$$F_{vent} = q C_e C_h C_g \quad (\text{art. 3.10.2.2})$$

où  $q$  = pression de référence, comme indiquée au tableau 4-2  
 $C_e$  = coefficient d'exposition  
 $C_h$  = coefficient de traînée  
 $C_g$  = coefficient de rafale

$$C_g = 2,5 \quad (\text{art. 3.10.1.2})$$

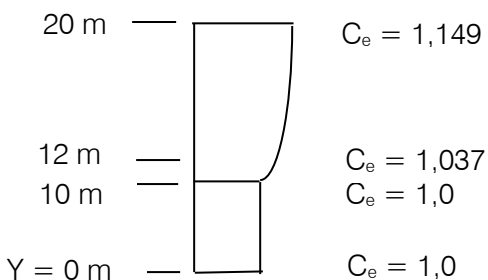
Selon la norme CSA S6-14, le coefficient d'exposition devrait être constant sur toute la hauteur de la structure. Il devrait être calculé à partir de la hauteur d'exposition de la façon suivante :

$$C_e = (0,10H)^{0,2} \geq 1,0 \quad \text{où } H = \text{hauteur d'exposition} \quad (\text{art. 3.10.1.3})$$

Par contre, dans SAFI, une valeur de  $C_e$  est calculée pour chaque élément en fonction de sa position sur la structure. Le coefficient d'exposition peut donc varier sur la hauteur de la structure. Cette méthode est plus précise que l'équation proposée par la norme CSA S6-14.

$$C_e = (0,10y)^{0,2} \geq 1,0$$

Prenons par exemple une structure qui mesure 10 mètres de haut et dont la hauteur d'exposition est de 20 mètres. La structure est donc située aux coordonnées « y » comprises entre 10 et 20 mètres. À partir de l'équation ci-dessus, le coefficient d'exposition  $C_e$  varie de 1,0 à 1,149.



D'après cette équation, tant que la coordonnée « y » est inférieure ou égale à 10 mètres,  $C_e = 1,0$ .

La hauteur d'exposition de la structure est déduite à partir de la hauteur de la structure (hauteur des supports verticaux et des piédestaux) et de la position de la base des supports par rapport au niveau du sol. Voir à ce sujet l'étape 8 de la génération automatique de la structure.

Les coefficients de traînée,  $C_h$ , utilisés par SAFI sont basés sur l'article A3.2.2 de la norme CSA S6-14.

Tableau 5-1 Coefficient de traînée des éléments de la structure

Éléments	$C_h$
<b>Support horizontal</b>	
Longerons faces avant et arrière	0,95
Diagonales verticales	1,20
Diagonales internes	1,20
Diagonales horizontales	0,00
<b>Supports verticaux</b>	
Poteaux	0,95
Entretoises	0,00
Panneau de signalisation	1,20

Pour les diagonales internes du support horizontal, SAFI utilise un  $C_h$  de 1,2 même si, d'après la norme, le coefficient devrait être calculé en fonction du diamètre. Cette façon de faire est jugée conservatrice.

SAFI calcule les charges de vent sur les membrures et les applique ensuite à leurs joints d'extrémité.

$$F_{vent\ struct} = qC_e C_g C_h \cdot \text{diamètre} \cdot \text{longueur}$$

Lorsqu'il y a des panneaux de signalisation, ceux-ci masquent en tout ou en partie certaines membrures de la structure. Aucune charge de vent n'est donc calculée pour les membrures masquées.

La pression de vent qui sollicite les panneaux de signalisation est transmise aux longerons sous forme d'une charge uniformément répartie (si la précision du modèle spécifiée est simplifiée) et distribuée sur les longerons en fonction des aires tributaires de la façon suivante :

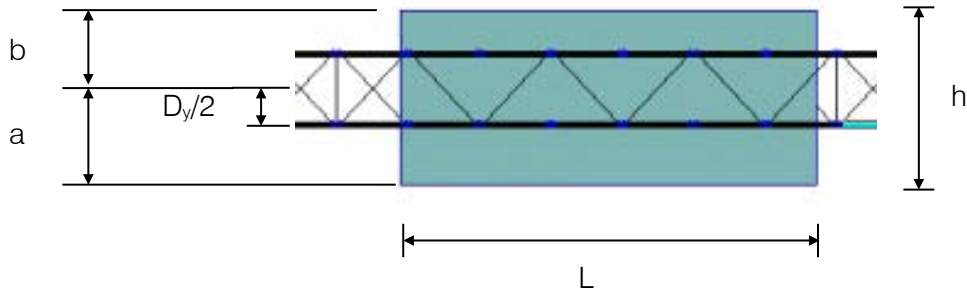


Figure 5-1 Application de la charge de vent d'un panneau sur la structure

### Longeron inférieur

$$F_{vent\ panninf} = qC_e C_g C_h \cdot a \quad \text{en kN/m de longueur de panneau}$$

### Longeron supérieur

$$F_{vent\ pannsup} = qC_e C_g C_h \cdot b \quad \text{en kN/m de longueur de panneau}$$

## 5.3 Verglas

### 5.3.1 Structure

Pour le calcul du poids de la glace sur la structure, il faut considérer une épaisseur de glace uniforme sur tout le pourtour des profilés tubulaires.

$$Glance_{struct} = 9,81 \frac{\pi [(d_{ext} + 2t_{glace})^2 - d_{ext}^2]}{4} \cdot longueur$$

### 5.3.2 Panneaux de signalisation

SAFI suppose que le verglas s'accumule d'un seul côté des panneaux de signalisation, comme spécifié à l'article 3.12.6.1 de la norme CSA S6-14.

Comme c'est le cas pour le poids propre, SAFI considère que le poids de la glace est repris par le longeron inférieur avant seulement.

$$Glacé_{pann} = 9,81 \cdot (l + 2t_{glace}) \cdot (h + 2t_{glace}) \cdot \frac{t_{glace}}{l} \quad \text{en kN/m de longueur de panneau}$$

### 5.3.3 Charges de vent sur les surfaces verglacées

D'après l'article A3.2.3 de la norme CSA S6-14, il faut considérer l'augmentation des surfaces exposées au vent lorsque la structure est verglacée.

Par exemple, pour un longeron qui a un diamètre égal à  $d$ , le diamètre de calcul pour la charge de vent sur les surfaces verglacées sera égal à  $d + 2 \cdot t_{glace}$ .

$$F_{vent\ verglas} = qC_e C_g C_h \cdot (\text{diamètre} + 2t_{glace}) \cdot \text{longueur}$$

SAFI augmente également la surface exposée au vent des panneaux de signalisation lorsque les surfaces sont verglacées (norme CSA S6-14 article A3.2.3).

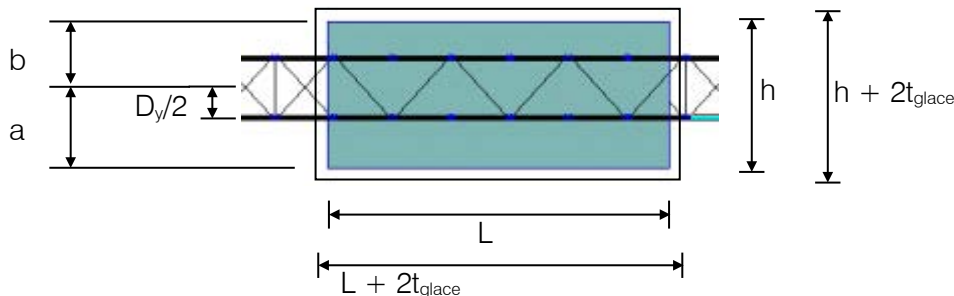


Figure 5-2 Surface verglacée d'un panneau

#### Longeron inférieur

$$F_{vent\ verglas.\ inf} = qC_e C_g C_h \cdot \frac{(L + 2t_{glace})(h + 2t_{glace})}{L} \cdot \frac{a}{h} \quad \text{en } \frac{kN}{m} \text{ de longueur de panneau}$$

#### Longeron supérieur

$$F_{vent\ verglas.\ sup} = qC_e C_g C_h \cdot \frac{(L + 2t_{glace})(h + 2t_{glace})}{L} \cdot \frac{b}{h} \quad \text{en } \frac{kN}{m} \text{ de longueur de panneau}$$

## 6. COMBINAISONS DE CHARGEMENT

Les combinaisons de chargement proviennent des tableaux A3.2.1 et A3.2.3 de la norme CSA S6-14 en considérant les états limites ultimes. Les états limites d'utilisation et de fatigue ne sont pas vérifiés.

Pour les états limites ultimes, il y a donc :

$$\text{ÉLUL A1} : \alpha_D D + 1,3W$$

$$\text{ÉLUL A3} : \alpha_D D + 0,7W + 1,3 \text{ Verglas}$$

où  $\alpha_D$  est défini à l'article 3.5.2

$$\alpha_D \text{ min} = 0,95$$

$$\alpha_D \text{ max} = 1,10$$

### Note

La combinaison ÉLUL A2 ( $\alpha_D D + 0,7W + 1,0EQ$ ) n'est pas critique, car le séisme est négligé. C'est pourquoi cette combinaison n'est pas vérifiée.

De plus, les combinaisons de charge de la norme pour le vent selon les lignes normales et transversales doivent être prises en compte :

$$\text{Cas 1} : 1,0BL + 0,2BL$$

$$\text{Cas 2} : 0,6BL + 0,3BL$$

où BL correspond à la charge de base qui doit être équivalente aux charges de vent dans les deux directions (x et z).

À partir de ceci, 24 combinaisons de chargement sont créées.



Tableau 6-1      Combinaisons de chargement appliquées sur la structure

N° (SAFI)	Description	Permanente $\alpha_D$	Vent Z	Vent X	Vent Z (verglas)	Vent X (verglas)	Verglas
<b>Cas 1 ÉLUL A1 avec 1,0BL + 0,2BL</b>							
1	$\alpha_D + 1,3W$	0,95	1,30	0,26			
3	$\alpha_D + 1,3W$	1,10	1,30	0,26			
7	$\alpha_D - 1,3W$	0,95	1,30	-0,26			
9	$\alpha_D - 1,3W$	1,10	1,30	-0,26			
13	$\alpha_D - 1,3W$	0,95	-1,30	0,26			
15	$\alpha_D - 1,3W$	1,10	-1,30	0,26			
19	$\alpha_D - 1,3W$	0,95	-1,30	-0,26			
21	$\alpha_D - 1,3W$	1,10	-1,30	-0,26			
<b>Cas 1 ÉLUL A3 avec 1,0BL + 0,2BL</b>							
5	$\alpha_D + 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			0,70	0,14	1,30
11	$\alpha_D - 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			0,70	-0,14	1,30
17	$\alpha_D - 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			-0,70	0,14	1,30
23	$\alpha_D - 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			-0,70	-0,14	1,30
<b>Cas 2 ÉLUL A1 avec 0,6BL + 0,3BL</b>							
2	$\alpha_D + 1,3W$	0,95	0,78	0,39			
4	$\alpha_D + 1,3W$	1,10	0,78	0,39			
8	$\alpha_D - 1,3W$	0,95	0,78	-0,39			
10	$\alpha_D - 1,3W$	1,10	0,78	-0,39			
14	$\alpha_D - 1,3W$	0,95	-0,78	0,39			
16	$\alpha_D - 1,3W$	1,10	-0,78	0,39			
20	$\alpha_D - 1,3W$	0,95	-0,78	-0,39			
22	$\alpha_D - 1,3W$	1,10	-0,78	-0,39			
<b>Cas 2 ÉLUL A3 avec 0,6BL + 0,3BL</b>							
6	$\alpha_D + 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			0,42	0,21	1,30
12	$\alpha_D - 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			0,42	-0,21	1,30
18	$\alpha_D - 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			-0,42	0,21	1,30
24	$\alpha_D - 0,7W + 1,3$ Verglas	1,10			-0,42	-0,21	1,30

À noter que les combinaisons de chargement sont les mêmes, qu'il s'agisse d'une évaluation ou d'une conception. C'est la période de retour des charges de vent, soit 25 ans pour évaluation et 50 ans pour la conception, qui est la principale différence entre les deux types d'analyse.

## 7. MODIFICATION DES SECTIONS

Lorsque les dimensions des sections des supports verticaux ou de la poutre triangulée sont différentes des dimensions standards inscrites dans la base de données de SAFI, il est possible de les modifier afin de modéliser les sections réelles.

Il faut tenir compte des tolérances au niveau de la fabrication des profilés creux en aluminium dans le choix de créer ou non des membrures avec les valeurs indiquées au relevé dimensionnel.

### 7.1 Modification lors de la génération automatique

Lors de la génération automatique, il est possible de modifier le diamètre ou l'épaisseur de la paroi d'une section. La modification s'appliquera alors à toutes les membrures qui composent l'élément en question. Cette modification n'est possible que si le modèle personnalisé des supports horizontaux et verticaux a été sélectionné.

Par exemple, supposons que l'épaisseur de tous les longerons de la structure doive être réduite.

La marche à suivre est la suivante :

À l'**étape 2** de l'assistant de génération automatique, appuyer sur l'icône des sections non standards disponibles dans le menu déroulant en cliquant sur la flèche noire à droite de la section à modifier. Ensuite, modifier la valeur du rayon de la section des longerons (section n° 3) afin d'obtenir l'épaisseur de la paroi désirée.

#### Note

---

Il est très important d'appuyer sur le bouton « Recalculer les propriétés » pour que le changement d'épaisseur prenne effet. Ensuite, changer le nom de la section afin qu'il soit représentatif des nouvelles dimensions.

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: **Personnalisé(e)**

Nb. Panneaux =	6
Panneaux verticaux	
Modèle de panneaux =	Warren - WWW
Inverser face opposée =	<input checked="" type="checkbox"/>
Diag. discontinues =	<input type="checkbox"/>
Panneaux horizontaux	
Modèle de panneaux =	Identiques aux verticaux
Diagonales intérieures	
Inverser les diagonales =	<input checked="" type="checkbox"/>
Aux extrémités seulement =	<input type="checkbox"/>
Excentricité =	0 mm
Dimensions	
L =	10000 mm
Ei =	325 mm
Ej =	325 mm
Dz1 =	Dz (1558,33) mm
Dz2 =	Dz (1558,33) mm
Dz =	1558,33 mm
Excentricités aux connexions	
Méthode =	gt
gt =	0 mm
Sections	
Longerons (Sm) =	3 - HSS 152.4x6.35
Diagonales (Sd) =	4 - HSS 73x5.16

Dx = 1524 mm  
Dy = 1524 mm

Panneaux verticaux

Panneaux horizontaux

Sections standards...  
Sections non standards...  
Personnalisées...

Segment-1 Segment-2

< Préc. Suiv. > Annuler Aide

Sections non standards

Numéro de la section: 16

Matériau: 20 - CSA-6061-T6

Méthode de fabrication: Laminée

Ne pas oublier de faire recalculer les propriétés

Dimensions

Propriétés

Changer le mode d'affichage

Recalculer les propriétés

Propriétés additionnelles

	0 20	Calculées	Personnalisées	
Aire de la section (A)		1545,6636		mm.2
Aire pour poids propre (Agw)		1545,6636		mm.2
Moment d'inertie - Axe fort (Ix)		2,9261E+06		mm.4
Moment d'inertie - Axe faible (Iy)		2,9261E+06		mm.4
Module de torsion (J)		5,8523E+06		mm.4
Constante de gauchissement (Cw)		0,0000		mm.6
Constante de contrainte de torsion (Ct)		63,5000		mm
Centre de cisailment p/r au c.g. (Xo)		0,0000		mm
Centre de cisailment p/r au c.g. (Yo)		0,0000		mm
Angle Alpha (Alpha)		0,0000		deg
Module de section élastique (Sx,min)		46080,8594		mm.3
Module de section élastique (Sy,min)		46080,8594		mm.3
Module de section plastique (Zx)		60537,3359		mm.3
Module de section plastique (Zy)		60537,3359		mm.3
Constante de contrainte de cisailment (Cs,x)		3783,5833		mm.2
Constante de contrainte de cisailment (Cs,y)		3783,5833		mm.2
Coefficient d'asymétrie en M+ (Bx)		0,0000		mm
Rayon de giration des composantes (rs)		0,0000		mm
Constante de déformée de cisailment (ks,x)		0,5000		
Constante de déformée de cisailment (ks,y)		0,5000		

Rayon extérieur (R0) 63,500 mm

Rayon intérieur (R1) 59,500 mm

HSS 127x4.0

Modifier le nom de la section

HSS 254x6.35 W 203x203x9.5 HSS 89.1x4.76 \*\*HSS 254x6.35 \*Extension HSS 127x4.0

Table

OK

Annuler

Aide

Ce changement n'affecte pas le calcul des charges de vent ni le calcul des charges de glace. Il influence seulement le poids propre de la structure et les propriétés de la section pour le calcul des résistances.

## 7.2 Modification après la génération automatique

Supposons maintenant qu'une modification doit être faite après la génération automatique de la structure. Par exemple, l'épaisseur d'une partie d'un longeron de 4,76 mm doit être réduite à 3,75 mm, et le diamètre d'une diagonale de 48,3 doit être augmenté à 88,9 mm.

## 7.2.1 Modification de la section d'une membrure

Voici la marche à suivre afin de modifier la section d'une membrure :

Tout d'abord, éditer la membrure en question en cliquant sur l'icône suivante :



Si la nouvelle section fait partie de la liste des sections prédéfinies dans SAFI, choisir la bonne section et l'attribuer à la membrure. Sinon, créer d'abord une nouvelle section.

Attributs des membrures

Général Excentricités Flèches Acier Aluminium

Numéro: M327 Phys: 117  Changer la couleur des solides

Nom:  Défait

Changer la section: **3 - HSS 152.4x6.35 - [CSA-6061-T6]**

Changer le type: Poutre

Changer la validation des memb. phys: Selon le matériau

Propriétés

**HSS 152.4x6.35**

Modification des propriétés (analyse)

Aire pour poids propre: 1

Aire pour rigidité: 1

Inertie selon l'axe fort: 1

Inertie selon l'axe faible: 1

Module de torsion: 1

Rotules

Relâchement en Fx: Aucun

Relâchement en Fy: Aucun

Relâchement en Fz: Aucun

Relâchement en Mx: Aucun

My (I): Rigide

Mz (I): Rigide

My (J): Rigide

Mz (J): Rigide

Conditions de gauchissement

Géométrie

Longueur (Memb.-Phys.): (1558,33) - (10000) mm

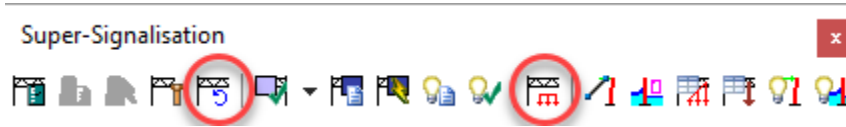
Poids (Memb.-Phys.): (12,2588) - (78,6663) kg

Changer rotation sect.: 0 deg  $\beta = 0.0$  deg

Inverser la connectivité

OK Annuler Aide

Finalement, faire recalculer les attributs des membrures et les charges appliquées sur la structure en appuyant successivement sur les icônes encadrées dans l'image ci-dessous.



Ces changements affectent le calcul de poids propre de la structure, le calcul des charges de vent et de glace ainsi que les propriétés des sections pour le calcul des résistances.

## 8. AJOUT OU ENLÈVEMENT DE MEMBRURES

Une fois la structure générée, il est possible d'enlever ou d'ajouter des membrures manuellement.

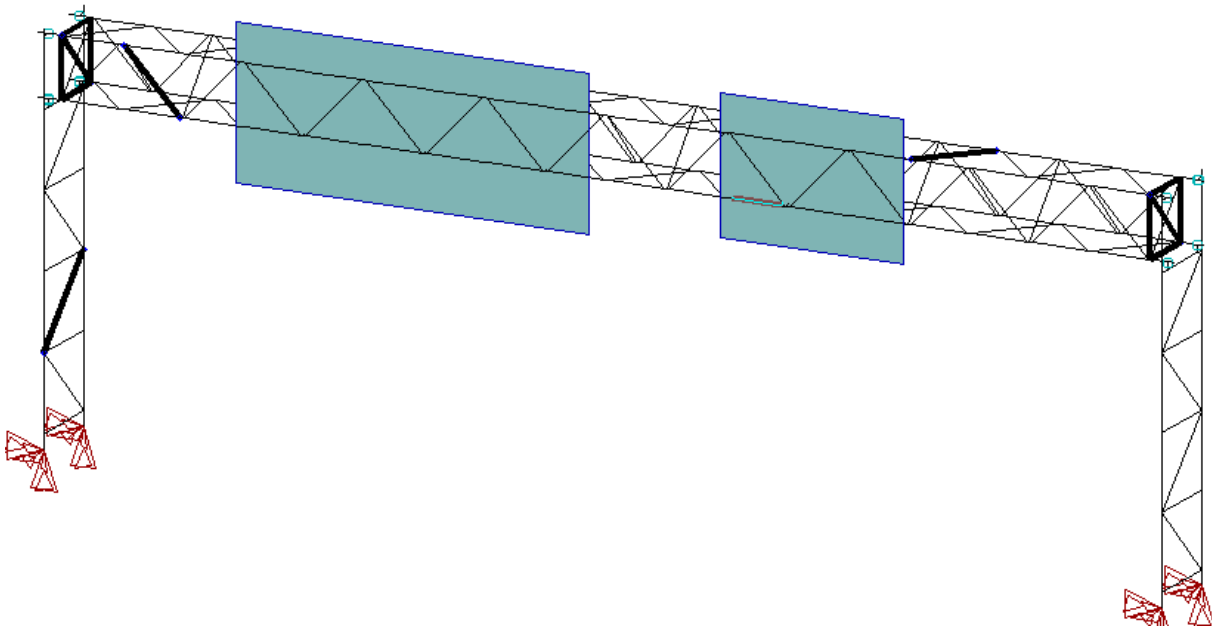


Figure 8-1 Exemple de membrures à enlever

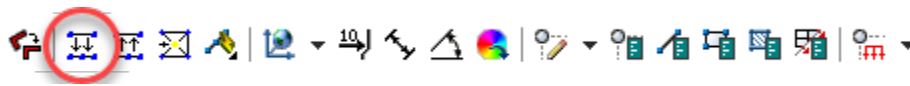
### Enlèvement de membrures

Pour détruire des membrures, utiliser l'icône encadrée dans l'image ci-dessous et cliquer sur les membrures à enlever.



## Ajout de membrures

La figure 8-2 montre la face avant de la structure avec la membrure diagonale qui a été ajoutée. Pour ajouter une membrure, scinder d'abord la membrure diagonale sur laquelle la nouvelle diagonale doit être fixée afin de créer un nœud. Appuyer sur l'icône encerclée dans l'image suivante :



Par la suite, il est possible de créer la nouvelle membrure en sélectionnant l'icône suivante :

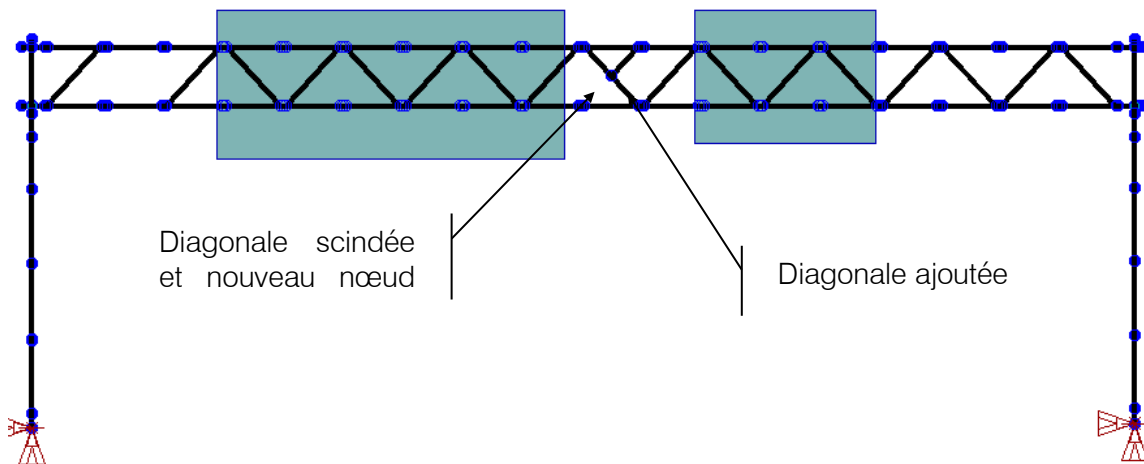


Figure 8-2 Modèle avec diagonales ajoutées

Une fois la membrure créée, lui attribuer une section, déterminer le type de la membrure et fixer les conditions de retenue aux extrémités.

Attributs des membrures

Général Excentricités Flèches Acier Aluminium

Numéro: M363 Phys: 96  Changer la couleur des solides

Nom:  Défaut

Changer la section: **4 - HSS 73x5.16 - [CSA-6061-T6]**

Changer le type: Diagonale

Changer la validation des memb. phys: Selon le matériau

Propriétés

**HSS 73x5.16**

Modification des propriétés (analyse)

Aire pour poids propre: 1

Aire pour rigidité: 1

Inertie selon l'axe fort: 1

Inertie selon l'axe faible: 1

Module de torsion: 1

Rotules

Relâchement en Fx: Aucun

Relâchement en Fy: Aucun

Relâchement en Fz: Aucun

Relâchement en Mx: Aucun

My (I): Rotule

Mz (I): Rotule

My (J): Rotule

Mz (J): Rotule

Conditions de gauchissement

Géométrie

Longueur (Memb.-Phys.): (2179.67) - (2179,67) mm

Poids (Memb.-Phys.): (6.47203) - (6,47203) kg

Changer rotation sect.: 0 deg  $\beta = 0.0$  deg

Inverser la connectivité

OK

Annuler

Aide



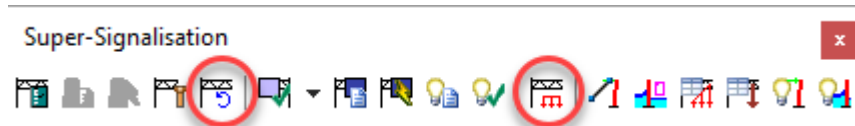
Établir les coefficients de longueur effective K et choisir le type de soudure. Les longueurs ainsi que les coefficients de réduction associés à la présence de soudures sont calculés automatiquement lors de l'activation de l'icône « recalculer les élancements et les soudures ».

The image shows a software dialog box titled "Attributs des membrures" (Member Attributes) with tabs for "Général", "Excentricités", "Flèches", "Acier", and "Aluminium". The "Aluminium" tab is active. The dialog contains several sections for configuring member properties:

- General:** "Numéro:" is set to "M363". "L<sub>memb</sub>" and "L<sub>phys</sub>" are both set to "2179,67 mm". A cross-section diagram of an I-beam is shown with Y and X axes.
- Flexion:** "Paramètres de la fatigue" is checked. Under "Long. non supportée", "Aile sup." and "Aile inf." are checked, both set to "Membrure" with "w2=" set to "0".
- Compression:** "Ignorer le multiplicateur U1 dans les analyses du second ordre (membrures subdivisées)" is checked. Under "Long. non supportée", "Axe X" and "Axe Y" are checked, both set to "Membrure" with "Kx=" and "Ky=" set to "0,9". "Torsion" is checked, set to "Min. axes fort et fait" with "Kt=" set to "1". "Sections assemblées" is checked, with "Ks=" set to "0" and "Ls=" set to "0 mm". "Change Limit Slenderness in Compression" is checked, set to "0".
- Tension:** "Change l'aire nette en tension (ratio aire brute)" is checked, set to "1". "Changer la limite d'élancement en tension" is checked, set to "0".
- Soudures:** "Changer les soudures" is checked, set to "Soudure pleine d'extrémité".

Red arrows point to the "Kx=" and "Ky=" input fields in the Compression section, and the "Soudure pleine d'extrémité" dropdown menu in the Soudures section. The dialog has "OK", "Annuler", and "Aide" buttons at the bottom right.

Pour ce qui est des charges qui sollicitent la structure, le fait d'ajouter et d'enlever des membrures a un impact sur le poids propre de la structure et sur les charges de vent et de glace. Une fois que les modifications à la structure sont terminées, faire recalculer les attributs des membrures et les charges appliquées sur la structure en appuyant successivement sur les icônes encerclées dans l'image ci-dessous :



## 9. MODÉLISATION DES DÉFAUTS

### 9.1 Défauts à modéliser lors de la génération automatique

La présence de piédestaux et de discontinuité dans les diagonales sont des défauts qui sont notés comme des anomalies dans la fiche d'inspection des structures de signalisation aérienne.

Les piédestaux peuvent être générés automatiquement tels que présentés dans l'étape 4 de la section 4.1 « Étapes de modélisation ».

Lorsqu'une discontinuité des diagonales est présente, elle peut habituellement être générée automatiquement par les options « Diag. discontinues » des panneaux verticaux pour les diagonales des faces verticales et horizontales ou « Inverser les diagonales » pour les diagonales internes. Autrement, il faut effectuer une modification manuelle dans le modèle. Pour de plus amples informations, la section concernant l'étape 2 « Définition des poutres » peut être consultée.

D'autres défauts, tels que la distance entre l'axe central du support vertical et le premier nœud de triangulation supérieure à 175 mm ou des longueurs de panneaux différents aux extrémités des segments de support horizontal, peuvent influencer de manière importante la valeur des indices de sollicitation aux sections critiques. Il est important d'inclure ceux-ci dans la saisie des différentes valeurs, encore une fois, à l'étape 2 « Définition des poutres ».

### 9.2 Défauts à modéliser après la génération automatique

L'absence de cadres de renfort, les défauts dans les soudures aux assemblages, la présence de soudures sur les éléments structuraux en dehors des assemblages ainsi que les bosses ou les perforations locales sont des défauts qui doivent être modélisés manuellement.

Les membrures verticales et horizontales aux extrémités des segments doivent être supprimées lorsque le rapport d'inspection et les photos indiquent une absence de cadre de renfort. Il faut suivre la procédure indiquée à la section 8. « Ajout et enlèvement de membrures ».

Par la suite, il est requis de faire recalculer les élancements et les soudures afin que les longueurs non supportées et les paramètres de soudure aux assemblages soient représentatifs.

Lorsque des fissures ont été détectées dans les assemblages soudés, l'assemblage est considéré comme entièrement inadéquat pour transférer les efforts de la membrure et celle-ci doit être retirée. Il est possible de le faire à l'aide des outils présentés à la section 8 « Ajout et enlèvement de membrures ». Dans ce cas-ci, il ne faut pas faire recalculer les attributs de soudure des membrures.

En effet, il faut conserver le vent qui s'applique encore sur la membrure retirée ainsi que les paramètres de soudure afin que la zone affectée thermiquement demeure considérée dans l'évaluation de la résistance de la membrure de réception. Il est finalement requis de modifier manuellement l'élanement de la membrure qui n'est plus adéquatement retenu contre le flambement.

Les supports horizontaux ainsi que les supports verticaux peuvent parfois présenter des soudures pleines qui témoignent de réparations ou modifications antérieures. Dans le menu « Propriétés des membrures » à l'intérieur de l'onglet « Aluminium », il est possible de modifier le type de soudure d'une membrure. L'option « Soudure pleine en travée » est celle requise pour simuler ce type de défaut.

Les bosses ou les perforations locales sont des défauts qui, dépendamment de leur ampleur et de leur localisation, peuvent influencer les valeurs des indices de sollicitation. Il est requis de modifier localement les paramètres de résistance de la membrure atteinte en utilisant les facteurs de réduction  $R_{A_g}$ ,  $R_{I_x}$  et/ou  $R_{I_y}$ . Ces facteurs de réduction doivent être calculés en considérant que la bosse tout comme la perforation créent un trou dans la section. Les équations suivantes peuvent être utilisées :

$$R \cdot A_g = \frac{A \text{ avec défaut}}{A_g}$$

$$R \cdot I_x = \frac{I_x \text{ avec défaut}}{I_x}$$

$$R \cdot I_y = \frac{I_y \text{ avec défaut}}{I_y}$$

Les facteurs de réduction  $R_{A_g}$ ,  $R_{I_x}$  et/ou  $R_{I_y}$  deviennent disponibles pour modification lorsque l'option « Soudure partielle en travée » est sélectionnée dans le menu « Propriétés des membrures » à l'intérieur de l'onglet « Aluminium ».

Lorsque l'option « Soudure partielle en travée » est sélectionnée afin de modéliser des bosses, perforations ou portes d'accès, il peut être nécessaire de comparer la réduction des propriétés des membrures entraînée par le défaut en travée ou, lorsque c'est le cas, celle qui est entraînée par la présence de soudures partielles aux extrémités. En effet, en sélectionnant l'option « Soudure partielle en travée » pour une membrure, le logiciel ne considère plus la soudure partielle ni la soudure pleine, selon le cas, à l'extrémité. Ainsi, il faut comparer la réduction des deux options par calcul manuel ou par procédé itératif dans le logiciel d'analyse. Le choix non retenu devrait être indiqué sur la fiche d'évaluation de la capacité portante des structures de signalisation aérienne.

Les structures A1 standards en aluminium ne sont pas fabriquées avec des portes d'accès. Cependant, certaines structures particulières, et rares, en contiennent. L'ouverture dans la section créée par la porte d'accès doit être considérée comme un trou et entraîner une réduction des propriétés de la membrure. Ainsi, la méthodologie indiquée pour les bosses ou perforations doit être utilisée.

## 10. STRUCTURE COMPLEXE AVEC PIÉDESTAUX

Il s'agit maintenant de modéliser une structure plus complexe. Cette structure est du type A1, c'est-à-dire une poutre triangulée qui s'appuie sur deux supports verticaux :

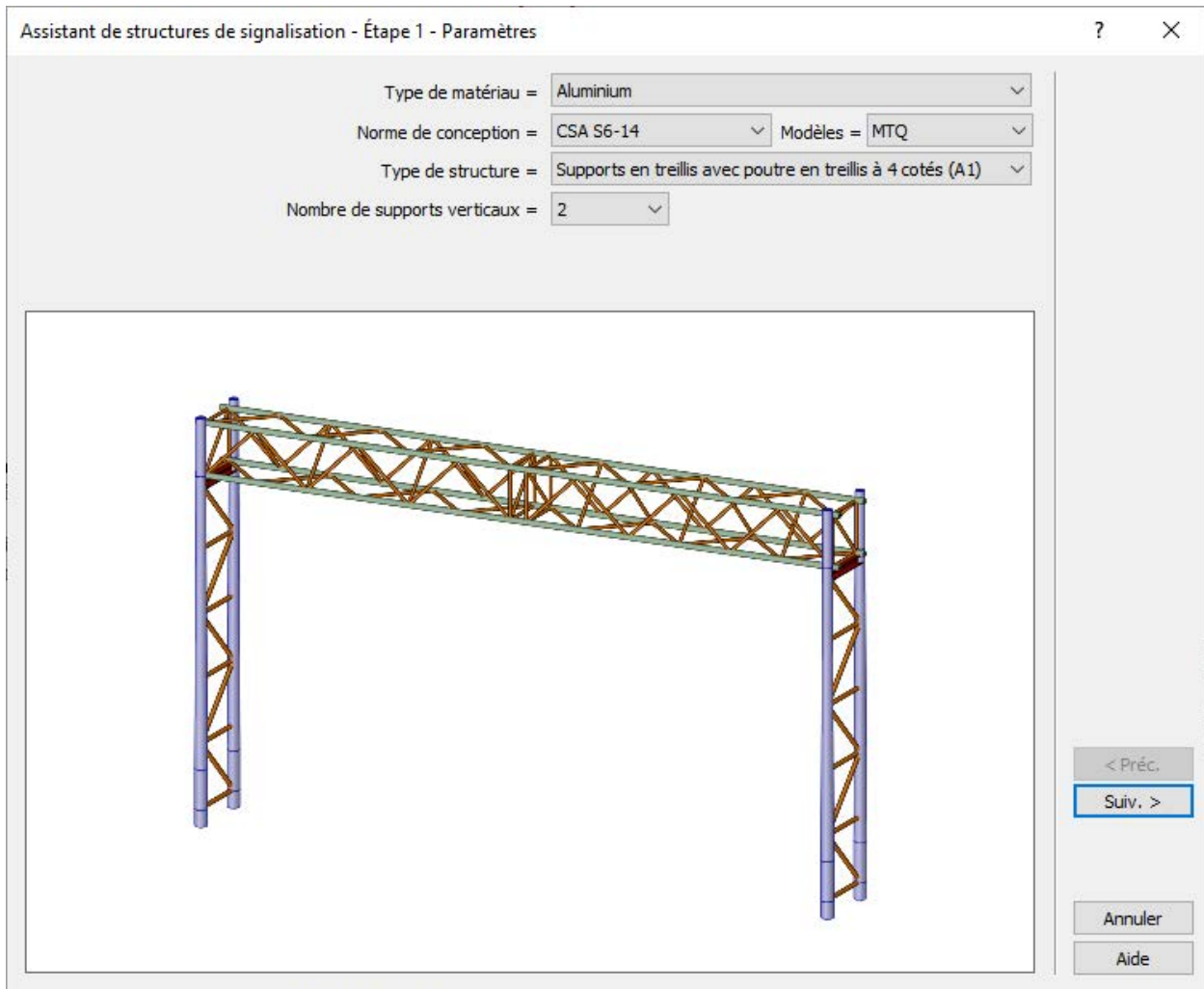
- le support horizontal est constitué de deux segments reliés par des brides de raccord;
- l'écartement des diagonales du support horizontal est différent d'un segment à l'autre;
- les dimensions des longerons et des diagonales du support horizontal sont différentes des dimensions théoriques;
- les dimensions de l'une des diagonales du support vertical gauche sont différentes des autres diagonales;
- les supports verticaux sont munis de piédestaux de types différents;
- il y a un manchon de renfort à la base du support vertical gauche, mais il n'y en a pas à la base de l'autre support (support droit).

Les sections suivantes présenteront les différentes possibilités pour la génération des structures.

## 10.1 Modélisation de la structure

### Étape 1 – Paramètres

La structure est de type A1.



## Étape 2 – Définition des poutres

Le support horizontal, dont la configuration se rapproche d'un type C, est constitué de deux segments reliés par une bride de raccord. Sélectionner d'abord le modèle C. SAFI crée alors automatiquement les sections des longerons et des diagonales correspondantes. Ensuite, sélectionner le modèle personnalisé afin de pouvoir modifier, lors d'une étape ultérieure, l'épaisseur de tous les longerons et de toutes les diagonales.

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: C

Nb. Panneaux = 8

Panneaux verticaux

Modèle de panneaux = Warren - WWWW

Inverser face opposée =

Diag. discontinues =

Panneaux horizontaux

Modèle de panneaux = Identiques aux verticaux

Diagonales intérieures

Inverser les diagonales =

Aux extrémités seulement =

Excentricité = 0 mm

Dimensions

L	=	12250	mm
Ei	=	125	mm
Ej	=	100	mm
Dz1	=	Dz (1503,12)	mm
Dz2	=	Dz (1503,12)	mm
Dz	=	1503,12	mm

Excentricités aux connexions

Méthode = gt

gt = 0 mm

Sections

Longerons (Sm)	=	3 - HSS 152.4x4.76
Diagonales (Sd)	=	4 - HSS 60.3x5.54

Dx = 1524 mm

Dy = 1524 mm

Panneaux verticaux

Panneaux horizontaux

gt

gc

< Préc.


Suiv. >

Annuler

Aide

Choisir également le modèle et la disposition des diagonales de la poutre horizontale. Les valeurs par défaut doivent être laissées ainsi le modèle « Warren » avec les faces opposées doivent être sélectionnées.

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: **Personnalisé(e)** 

**Nb. Panneaux = 4**

**Panneaux verticaux**

Modèle de panneaux = **Warren - WWWW**

Inverser face opposée =

Diag. discontinues =

**Panneaux horizontaux**

Modèle de panneaux = Identiques aux verticaux

Diagonales intérieures

Inverser les diagonales =

Aux extrémités seulement =

Excentricité = 0 mm

**Dimensions**

L =	6645	mm
Ei =	125	mm
Ej =	400	mm
Dz1 =	Dz (1530)	mm
Dz2 =	Dz (1530)	mm
Dz =	1530	mm

**Excentricités aux connexions**

Méthode = gt

gt = 0 mm

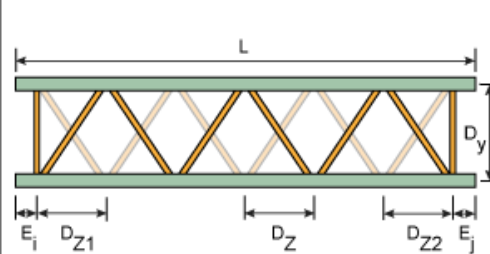
**Sections**

Longerons (Sm) =	3 - HSS 152.4x4.76
Diagonales (Sd) =	4 - HSS 60.3x5.54

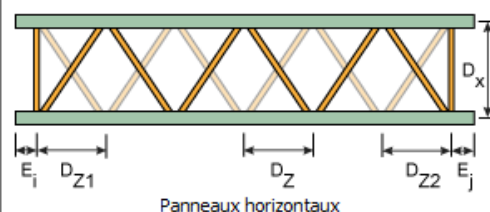
Dx = 1524 mm

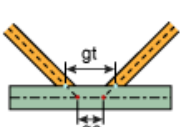
Dy = 1524 mm

**Panneaux verticaux**



**Panneaux horizontaux**





< Préc. **Suiv. >**

Annuler Aide

Segment-1 **Segment-2**

L'excentricité des diagonales du premier segment du support horizontal est mesurée à l'axe central des longerons et est égale à  $g_c = 150$  mm.

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: Personnalisé(e)

Nb. Panneaux =	8
Panneaux verticaux	
Modèle de panneaux =	Warren - W W W
Inverser face opposée =	<input checked="" type="checkbox"/>
Diag. discontinues =	<input type="checkbox"/>
Panneaux horizontaux	
Modèle de panneaux =	Identiques aux verticaux
Diagonales intérieures	
Inverser les diagonales =	<input type="checkbox"/>
Aux extrémités seulement =	<input type="checkbox"/>
Excentricité =	0 mm
Dimensions	
L =	12250 mm
Ei =	125 mm
Ej =	100 mm
Dz1 =	Dz (1503,12) mm
Dz2 =	Dz (1503,12) mm
Dz =	1503,12 mm
Excentricités aux connexions	
Méthode =	gc
gc =	150 mm
Sections	
Longerons (Sm) =	3 - HSS 152.4x4.76
Diagonales (Sd) =	4 - HSS 60.3x5.54

Dx = 1524 mm  
Dy = 1524 mm

< Préc. Suiv. > Annuler Aide



Pour le deuxième segment, l'excentricité est mesurée sur le dessus du longeron et elle est égale à  $g_t = 200$  mm.

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: **Personnalisé(e)**

Nb. Panneaux = 4	
Panneaux verticaux	
Modèle de panneaux =	Warren - W W W
Inverser face opposée =	<input checked="" type="checkbox"/>
Diag. discontinues =	<input type="checkbox"/>
Panneaux horizontaux	
Modèle de panneaux =	Identiques aux verticaux
Diagonales intérieures	
Inverser les diagonales =	<input type="checkbox"/>
Aux extrémités seulement =	<input type="checkbox"/>
Excentricité =	0 mm
Dimensions	
L =	6645 mm
Ei =	125 mm
Ej =	400 mm
Dz1 =	Dz (1530) mm
Dz2 =	Dz (1530) mm
Dz =	1530 mm
Excentricités aux connexions	
Méthode =	gt
gt =	200 mm
Sections	
Longerons (Sm) =	3 - HSS 152.4x4.76
Diagonales (Sd) =	4 - HSS 60.3x5.54


Dx = 1524 mm  
Dy = 1524 mm

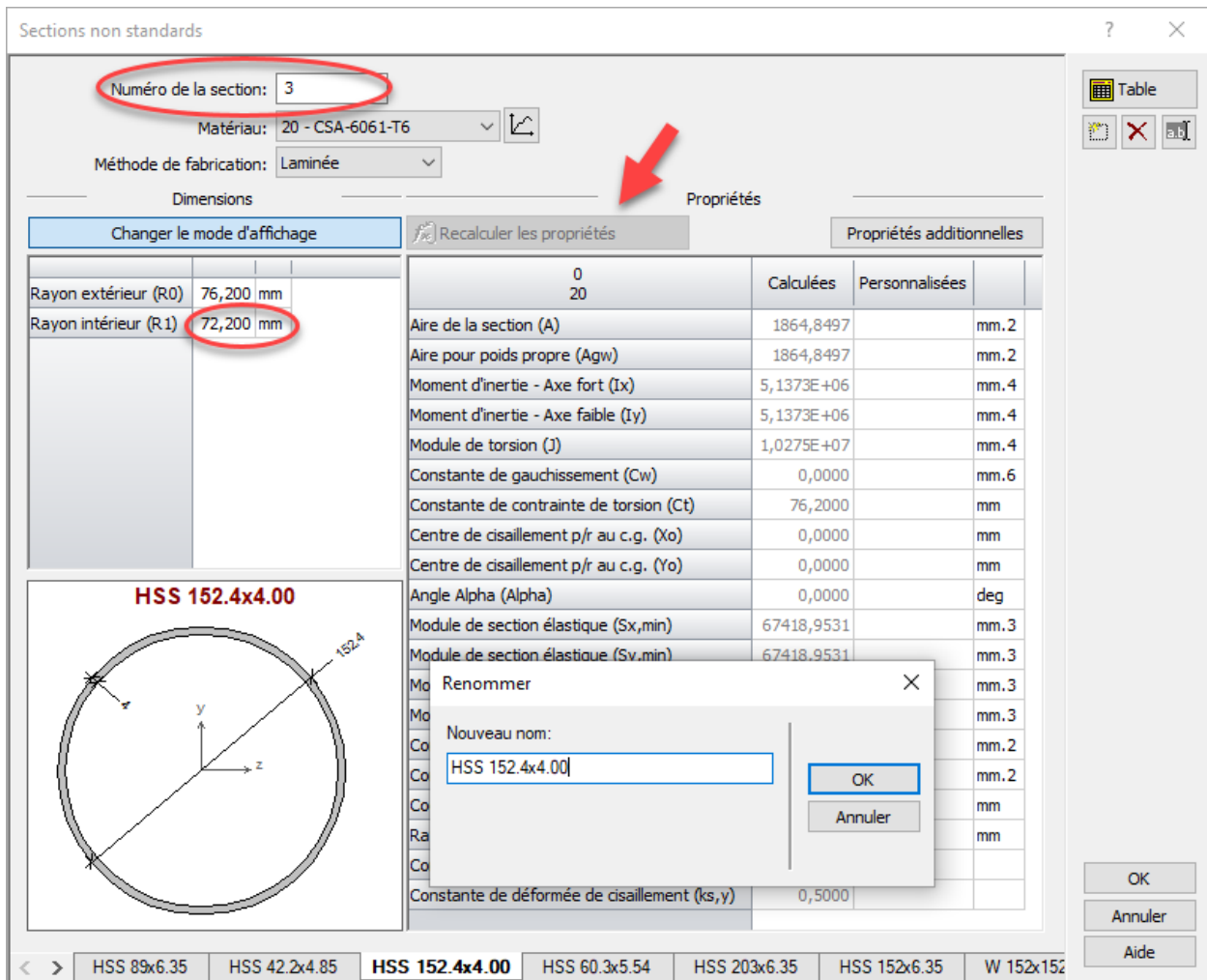
Panneaux verticaux

Panneaux horizontaux

< Préc. **Suiv. >**

Annuler Aide

Maintenant, modifier l'épaisseur des longerons à 4,0 mm. Pour ce faire, cliquer sur l'icône des sections non standards , puis modifier le rayon intérieur de la section portant le numéro 3. Ensuite, appuyer sur le bouton « Recalculer les propriétés » pour que le changement d'épaisseur prenne effet. Finalement, changer le nom de la section pour qu'il soit représentatif des nouvelles dimensions.



Sections non standards

Numéro de la section: 3

Matériau: 20 - CSA-6061-T6

Méthode de fabrication: Laminée

Dimensions

Propriétés

Changer le mode d'affichage

Recalculer les propriétés

Propriétés additionnelles

	0	20	Calculées	Personnalisées
Aire de la section (A)			1864,8497	mm.2
Aire pour poids propre (Agw)			1864,8497	mm.2
Moment d'inertie - Axe fort (Ix)			5,1373E+06	mm.4
Moment d'inertie - Axe faible (Iy)			5,1373E+06	mm.4
Module de torsion (J)			1,0275E+07	mm.4
Constante de gauchissement (Cw)			0,0000	mm.6
Constante de contrainte de torsion (Ct)			76,2000	mm
Centre de cisaillement p/r au c.g. (Xo)			0,0000	mm
Centre de cisaillement p/r au c.g. (Yo)			0,0000	mm
Angle Alpha (Alpha)			0,0000	deg
Module de section élastique (Sx,min)			67418,9531	mm.3
Module de section élastique (Sv,min)			67418,9531	mm.3
Mo			Renommer	mm.3
Mo			Nouveau nom:	mm.3
Co			HSS 152.4x4.00	mm.2
Co			OK	mm.2
Co			Annuler	mm
Ra				mm
Co				mm
Constante de déformée de cisaillement (ks,y)			0,5000	

HSS 152.4x4.00

Rayon extérieur (R0) 76,200 mm

Rayon intérieur (R1) 72,200 mm

Renommer

Nouveau nom: HSS 152.4x4.00

OK

Annuler

OK

Annuler

Aide

HSS 89x6.35 HSS 42.2x4.85 **HSS 152.4x4.00** HSS 60.3x5.54 HSS 203x6.35 HSS 152x6.35 W 152x152

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: **Personnalisé(e)**

Nb. Panneaux =	8
Panneaux verticaux	
Modèle de panneaux =	Warren - WWW
Inverser face opposée =	<input checked="" type="checkbox"/>
Diag. discontinues =	<input type="checkbox"/>
Panneaux horizontaux	
Modèle de panneaux =	Identiques aux verticaux
Diagonales intérieures	
Inverser les diagonales =	<input type="checkbox"/>
Aux extrémités seulement =	<input type="checkbox"/>
Excentricité =	0 mm
Dimensions	
L =	12250 mm
Ei =	125 mm
Ej =	100 mm
Dz1 =	Dz (1503,12) mm
Dz2 =	Dz (1503,12) mm
Dz =	1503,12 mm
Excentricités aux connexions	
Méthode =	gc
gc =	150 mm
Sections	
Longerons (Sm) =	3 - HSS 152.4x4.00
Diagonales (Sd) =	4 - HSS 60.3x5.54

Dx = 1524 mm  
Dy = 1524 mm

Panneaux verticaux

Panneaux horizontaux

gt  
gc

< Préc.  
Suiv. >

Annuler  
Aide

Segment-1 Segment-2

Pour sa part, l'épaisseur des diagonales doit également être modifiée selon la même méthode.

Sections non standards

Numéro de la section: 4

Matériau: 20 - CSA-6061-T6

Méthode de fabrication: Laminée

Dimensions

Rayon extérieur (R0) 30,163 mm

Rayon intérieur (R1) 25,163 mm

Propriétés

Recalculer les propriétés

	0	20	Calculées	Personnalisées
Aire de la section (A)			953,5016	mm.2
Aire pour poids propre (Agw)			953,5016	mm.2
Moment d'inertie - Axe fort (Ix)			3,6139E+05	mm.4
Moment d'inertie - Axe faible (Iy)			3,6139E+05	mm.4
Module de torsion (J)			7,2278E+05	mm.4
Constante de gauchissement (Cw)			0,0000	mm.6
Constante de contrainte de torsion (Ct)			30,1625	mm
Centre de cisaillement p/r au c.g. (Xo)			0,0000	mm
Centre de cisaillement p/r au c.g. (Yo)			0,0000	mm
Angle Alpha (Alpha)			0,0000	deg
Module de section élastique (Sx,min)			11981,3516	mm.3
Module de section élastique (Sy,min)			11981,3516	mm.3
Module de section élastique (Sz)			16684,4180	mm.3
				mm.3
				mm.2
				mm.2
				mm
				mm

HSS 60.3x5.00

Renommer

Nouveau nom: HSS 60.3x5.00

OK

Annuler

HSS 89x6.35 HSS 42.2x4.85 HSS 152.4x4.00 **HSS 60.3x5.00** HSS 203x6.35 HSS 152x6.35 W 152x152

Vérifier que les sections des autres segments sont bien sélectionnées.

Assistant de structures de signalisation - Étape 2 - Définition des poutres

Modèle: **Personnalisé(e)**

Nb. Panneaux =	8
Panneaux verticaux	
Modèle de panneaux =	Warren - WWW
Inverser face opposée =	<input checked="" type="checkbox"/>
Diag. discontinues =	<input type="checkbox"/>
Panneaux horizontaux	
Modèle de panneaux =	Identiques aux verticaux
Diagonales intérieures	
Inverser les diagonales =	<input type="checkbox"/>
Aux extrémités seulement =	<input type="checkbox"/>
Excentricité =	0 mm
Dimensions	
L =	12250 mm
Ei =	125 mm
Ej =	100 mm
Dz1 =	Dz (1503,12) mm
Dz2 =	Dz (1503,12) mm
Dz =	1503,12 mm
Excentricités aux connexions	
Méthode =	gc
gc =	150 mm
Sections	
Longerons (Sm) =	3 - HSS 152.4x4.00
Diagonales (Sd) =	4 - HSS 60.3x5.00

Dx = 1524 mm  
Dy = 1524 mm

Panneaux verticaux

Panneaux horizontaux

< Préc. | Suiv. >

Annuler | Aide

Ensuite, vérifier que les bonnes sections sont sélectionnées pour le segment 2.

### Étape 3 – Définition des poteaux

Les supports verticaux sont de type C.

Choisir le modèle et la configuration des diagonales des supports verticaux. Les valeurs par défaut doivent être laissées ainsi le modèle « Pony Warren » doit être sélectionné et l'inversion des diagonales décochée.

Assistant de structures de signalisation - Étape 3 - Définition des poteaux

Modèle = C

Panneaux

Modèle de panneaux = Pony Warren - I\|/I\|/I

Inverser diagonales =

Dimensions

H =	7980	mm
T1 =	1800	mm
T2 =	2000	mm
B =	300	mm
BT =	0	mm
Sv =	1942	mm
Manchon (t') =	6,35	mm
Manchon (L') =	300	mm
Porte-à-faux (C) =	300	mm

Excentricités aux connexions

Méthode = gc

gc = 0 mm

Sections

Longerons (Smt) =	5 - HSS 203x6.35
Longerons (Smb) =	8 - HSS 254x6.35
Diagonales (Sd) =	10 - HSS 88.9x4.76
Poutre d'appui (Sb) =	9 - W 203x203x9.5

Diagramme de la structure de signalisation montrant les dimensions H, D, T1, T2, B, BT, Sv, L', t', et C. Le diagramme illustre un poteau à double section avec des longerons et des diagonales.

Diagramme de la section transversale montrant les dimensions gt et gc.

Diagramme de la section transversale montrant les dimensions C et Δ.

Navigation: < Préc. | Suiv. > | Annuler | Aide

D = 1930 mm

À gauche, il y a un manchon de renfort, tandis qu'à droite, il n'y en a pas. Par défaut, SAFI considère qu'il y a un manchon de renfort à la base de tous les poteaux. Il faut donc enlever celui de droite. Pour y arriver, choisir le modèle « Personnalisé » et changer l'épaisseur  $t'$  pour y inscrire la valeur 0.

Assistant de structures de signalisation - Étape 3 - Définition des poteaux

Modèle = **Personnalisé(e)**

Panneaux

Modèle de panneaux = Pony Warren - [\\|\\|\\|]

Inverser diagonales =

Dimensions

H =	7980	mm
T1 =	1800	mm
T2 =	2000	mm
B =	300	mm
BT =	0	mm
Sv =	1942	mm
Manchon ( $t'$ ) =	0	mm
Manchon ( $L'$ ) =	300	mm
Porte-à-faux (C) =	150	mm

Excentricités aux connexions

Méthode = gc

gc = 0 mm

Sections

Longerons (Smt) =	5 - HSS 203x6.35	▼ ▶
Longerons (Smb) =	8 - HSS 254x6.35	▼ ▶
Diagonales (Sd) =	10 - HSS 88.9x4.76	▼ ▶
Poutre d'appui (Sb) =	9 - W 203x203x9.5	▼ ▶

Axis: Axes-1 | **Axes-2**

D = 1930 mm

< Préc. | **Suiv. >**

Annuler | Aide

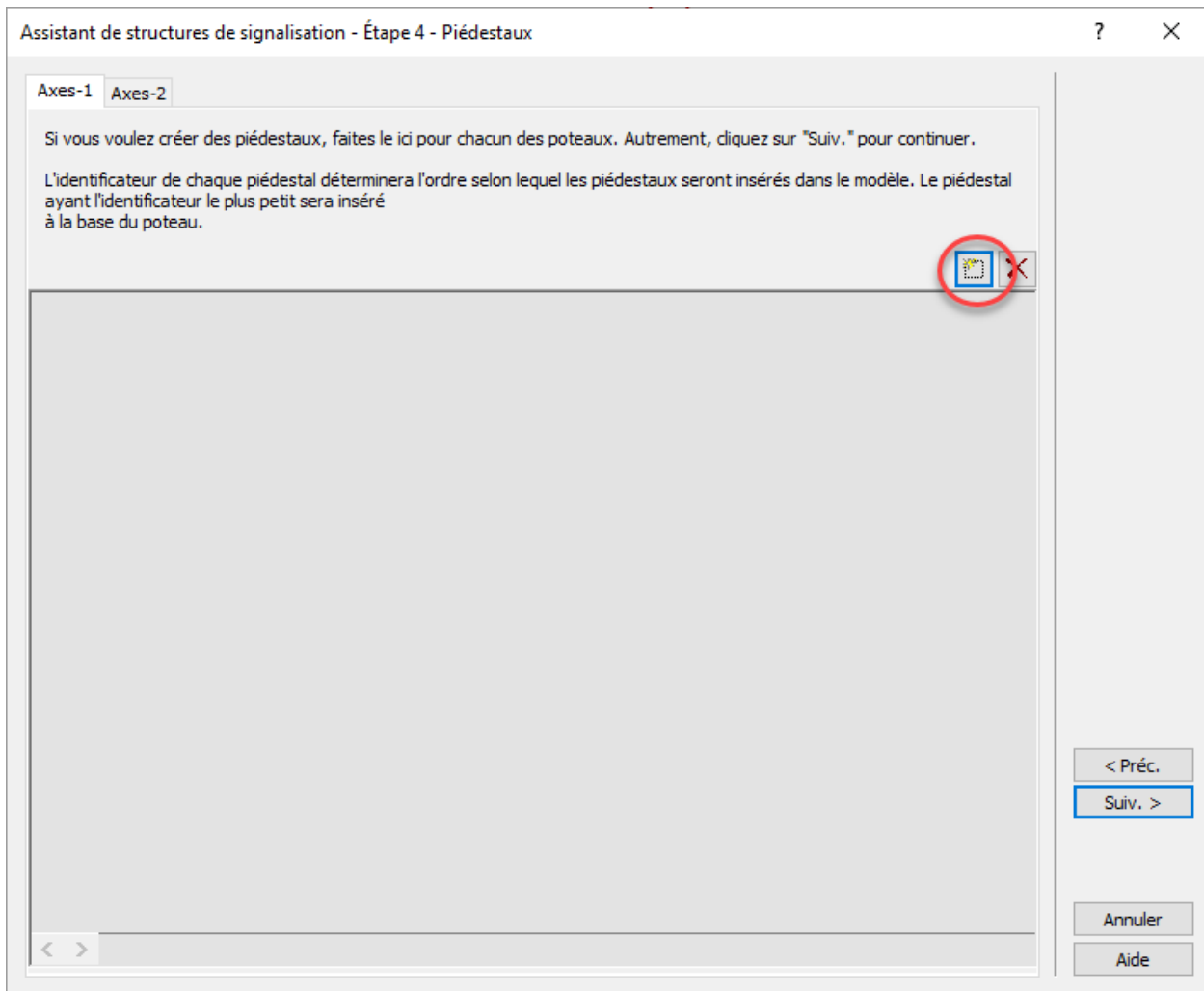
### Attention

Lorsque le modèle « personnalisé » est choisi, SAFI revient à l'onglet du support vertical de l'axe n° 1.

Dans le cas étudié, aucune modification ne doit être apportée aux sections des poteaux.

## Étape 4 – Piédestaux

Il s'agit maintenant de modéliser les piédestaux. Chacun des piédestaux doit être créé pour chacun des axes respectifs en cliquant sur l'icône « Ajoute un nouvel onglet ».





Au support de gauche (poteau 1), le premier piédestal est de type P1 et le deuxième est de type P3. Pour chacun des piédestaux, choisir le modèle puis saisir les dimensions et sélectionner les sections.

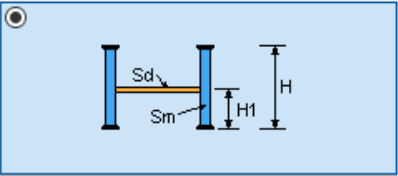
Sélectionner

Assistant de structures de signalisation - Étape 4 - Piédestaux

Axes-1 Axes-2

Si vous voulez créer des piédestaux, faites le ici pour chacun des poteaux. Autrement, cliquez sur "Suiv." pour continuer.

L'identificateur de chaque piédestal déterminera l'ordre selon lequel les piédestaux seront insérés dans le modèle. Le piédestal ayant l'identificateur le plus petit sera inséré à la base du poteau.



ID = 1  
H = 300 mm  
H1 = 150 mm

Sections

Principales (Sm): 8 - HSS 254x6.35  
Diagonales (Sd): 10 - HSS 88.9x4.76

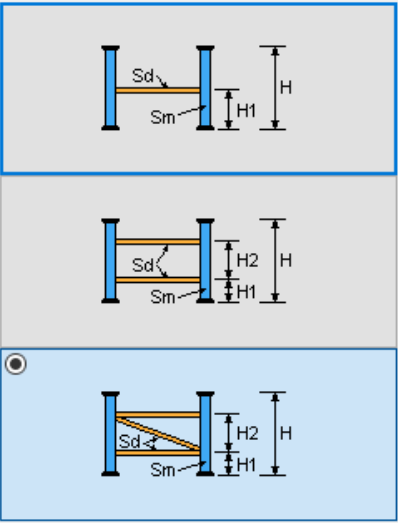
< Préc. Suiv. > Annuler Aide

< > Piédestal-1

Assistant de structures de signalisation - Étape 4 - Piédestaux

Si vous voulez créer des piédestaux, faites le ici pour chacun des poteaux. Autrement, cliquez sur "Suiv." pour continuer.

L'identificateur de chaque piédestal déterminera l'ordre selon lequel les piédestaux seront insérés dans le modèle. Le piédestal ayant l'identificateur le plus petit sera inséré à la base du poteau.



ID = 2  
H = 700 mm  
H1 = 200 mm  
H2 = 300 mm  
Diagonale discontinue p/r à la diagonale au-dessus

Sections

Principales (Sm): 8 - HSS 254x6.35  
Diagonales (Sd): 10 - HSS 88.9x4.76

< Préc.  
Suiv. >  
Annuler  
Aide

Piédestal-1 **Piédestal-2**

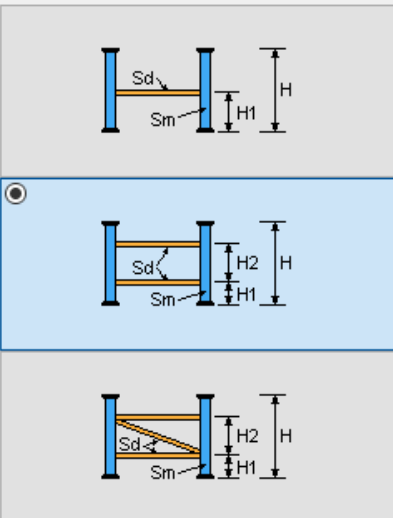
Pour le support de droite (poteau 2), il n'y a qu'un seul piédestal de type P2. Encore une fois, choisir le modèle puis saisir les dimensions et sélectionner les sections.

Assistant de structures de signalisation - Étape 4 - Piédestaux

Axes-1 **Axes-2**

Si vous voulez créer des piédestaux, faites le ici pour chacun des poteaux. Autrement, cliquez sur "Suiv." pour continuer.

L'identificateur de chaque piédestal déterminera l'ordre selon lequel les piédestaux seront insérés dans le modèle. Le piédestal ayant l'identificateur le plus petit sera inséré à la base du poteau.



ID = 1  
H = 550 mm  
H1 = 125 mm  
H2 = 300 mm

Sections

Principales (Sm): 8 - HSS 254x6.35  
Diagonales (Sd): 10 - HSS 88.9x4.76

< Préc. **Suiv. >**

Annuler  
Aide

< > Piédestal-1

## Étape 5 – Fatigue

Passer à l'étape suivante.

Assistant de structures de signalisation - Étape 5 - Fatigue

Contraintes limites $(\Delta F)_{TH}$ aux assemblages		Défaut
Métal sain/zones éloignées des assemblages =	0	MPa ▶
Éléments des poutres		
Diagonales attachées aux principales =	0	MPa ▶
Principales aux assemblages des diagonales =	0	MPa ▶
Principales aux brides de raccord =	0	MPa ▶
Poutres de soutiens =	0	MPa ▶
Éléments des poteaux		
Diagonales attachées aux principales =	0	MPa ▶
Principales aux assemblages des diagonales =	0	MPa ▶
Principales aux plaques d'assise =	0	MPa ▶
Principales aux jonctions des piédestaux =	0	MPa ▶

< Préc.

Suiv. >

Annuler

Aide

## Étape 6 – Terminé

La dernière information qui doit être saisie est l'élévation de la base de la structure par rapport au niveau du sol.

$$8\,980\text{ mm} - (7\,980\text{ mm} + 700\text{ mm} + 300\text{ mm}) = 0\text{ mm}$$

Assistant de structures de signalisation - Étape 6 - Terminé

L'élévation de la base par rapport au sol permet de créer une structure de signalisation localisée sur une structure aérienne comme un pont. Cette élévation a une influence sur la pression de vent sollicitant la structure de signalisation.

Élévation de la base =  mm

Les données requises sont définies, le modèle peut maintenant être généré. Cliquez sur le bouton "Terminer" pour compléter l'opération.

< Préc.  
**Terminer**  
Annuler  
Aide

La structure générée est illustrée à la figure 10-1.

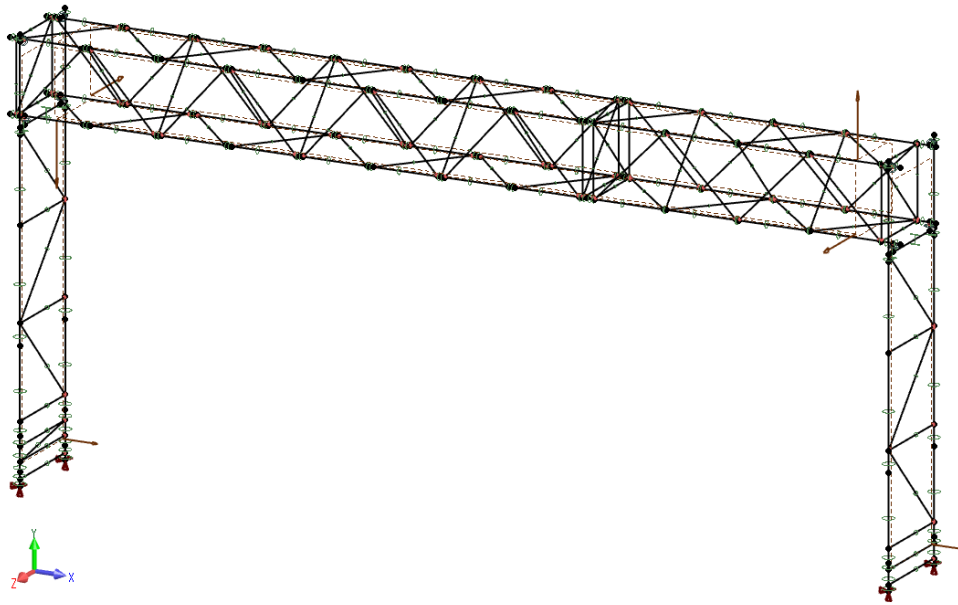


Figure 10-1 Structure de type A1 avec piédestaux

Lorsque le support horizontal est constitué de plusieurs segments, ces derniers sont reliés par des brides soudées aux longerons. SAFI génère alors la structure en plaçant un cadre de renfort et des diagonales à l'extrémité de chaque segment, comme montré ci-dessous. Si la structure à analyser n'est pas munie de ce type de diagonales, il suffit de les détruire.


Une seule information n'a pas été prise en compte lors de la génération automatique. Il s'agit des dimensions de la deuxième diagonale du support gauche, qui sont différentes des dimensions des autres diagonales. Sélectionner la membrure et ouvrir le menu « attributs des membrures ». Ensuite, créer une nouvelle section et l'assigner à la membrure.

Attributs des membrures

Général Excentricités Flèches Acier Aluminium

Numéro: M135 Phys: 11  Changer la couleur des solides

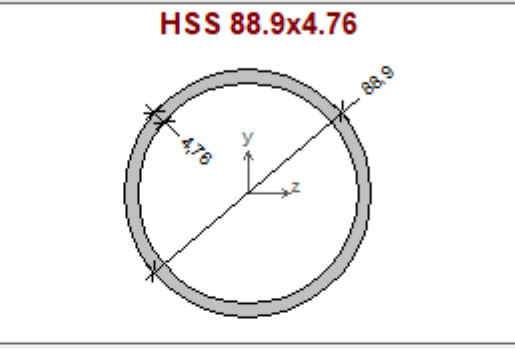
Nom:  Défait

Changer la section:  10 - HSS 88.9x4.76 - [CSA-6061-T6]

Changer le type: Diagonale

Changer la validation des memb. phys: Selon le matériau

Propriétés



Modification des propriétés (analyse)

Aire pour poids propre 1

Aire pour rigidité 1

Inertie selon l'axe fort 1

Inertie selon l'axe faible 1

Module de torsion 1

Rotules

Relâchement en Fx Aucun

Relâchement en Fy Aucun

Relâchement en Fz Aucun


Relâchement en Mx Aucun

My (I) Rotule

Mz (I) Rotule

My (J) Rotule

Mz (J) Rotule

 Conditions de gauchissement

Géométrie

Longueur (Memb.-Phys.) (2737.93) - (2737,93) mm

Poids (Memb.-Phys.) (9.30135) - (9,30135) kg

Changer rotation sect.: 0 deg  $\beta = 0.0$  deg

Sections non standards

Numéro de la section: 10  
 Matériau: 20 - CSA-6061-T6  
 Méthode de fabrication: Laminée

Dimensions

Rayon extérieur (R0)	44,450 mm
Rayon intérieur (R1)	39,690 mm

Propriétés

	0	Calculées	Personnalisées
Aire de la section (A)	20	1258,2286	mm.2
Aire pour poids propre (Agw)		1258,2286	mm.2
Moment d'inertie - Axe fort (Ix)		1,1170E+06	mm.4
Moment d'inertie - Axe faible (Iy)		1,1170E+06	mm.4
Module de torsion (J)		2,2340E+06	mm.4
Constante de gauchissement (Cw)		0,0000	mm.6
Constante de contrainte de torsion (Ct)		44,4500	mm
Centre de cisaillement p/r au c.g. (Xo)		0,0000	mm
Centre de cisaillement p/r au c.g. (Yo)		0,0000	mm
Angle Alpha (Alpha)		0,0000	deg
Module de section élastique (Sx,min)		25129,8848	mm.3
Module de section élastique (Sy,min)		25129,8848	mm.3
Module de section plastique (Zx)		33734,5703	mm.3
Module de section plastique (Zy)		33734,5703	mm.3
Constante de contrainte de cisaillement (Cs,x)		1771,7728	mm.2
Constante de contrainte de cisaillement (Cs,y)		1771,7728	mm.2
Coefficient d'asymétrie en M+ (Bx)		0,0000	mm
Rayon de giration des composantes (rs)		0,0000	mm
Constante de déformée de cisaillement (ks,x)		0,5000	
Constante de déformée de cisaillement (ks,y)		0,5000	

**HSS 88.9x4.76**

Table

Dupliquer courante  
Créer une nouvelle section

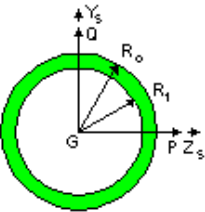
OK  
Annuler  
Aide

< > HSS 203x6.35 HSS 152x6.35 W 152x152x7.9 HSS 254x6.35 W 203x203x9.5 **HSS 88.9x4.76** \*\*HSS 25



Définition des sections non standards

**HSS 73.0x5.0**



Numéro de la section: 26

Nom de la section: HSS 73.0x5.0

Matériau: 20 - CSA-6061-T6

Type de section: Section circulaire creuse

Méthode de fabrication: Laminée

Création en lot

0		
2		
Rayon extérieur (R0)	36,500	mm
Rayon intérieur (R1)	31,500	mm

Ajouter

Fermer

Aide

Attributs des membrures

Général Excentricités Flèches Acier Aluminium

Numéro: M119 Phys: 10  Changer la couleur des solides

Nom:  Défaut

Changer la section: **26 - HSS 73.0x5.0 - [CSA-6061-T6]**

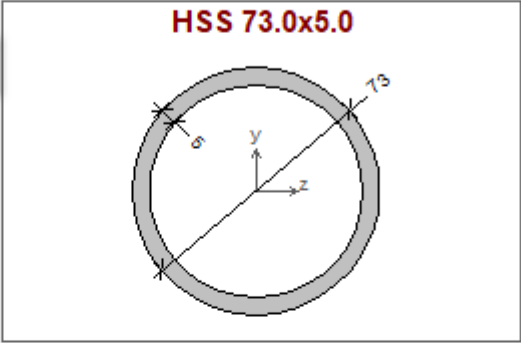
Paramètres d'analyse

Changer le type: Diagonale

Changer la validation des memb. phys: Selon le matériau

Propriétés

**HSS 73.0x5.0**



Modification des propriétés (analyse)

Aire pour poids propre 1

Aire pour rigidité 1

Inertie selon l'axe fort 1

Inertie selon l'axe faible 1

Module de torsion 1

Rotules

Relâchement en Fx Aucun

Relâchement en Fy Aucun

Relâchement en Fz Aucun

Relâchement en Mx Aucun

My (I) Rotule

Mz (I) Rotule

My (J) Rotule

Mz (J) Rotule

Conditions de gauchissement

Géométrie

Longueur (Memb.-Phys.) (2737.93) - (2737,93) mm

Poids (Memb.-Phys.) (9.30135) - (9,30135) kg

Changer rotation sect.: 0 deg  $\beta = 0.0$  deg

Inverser la connectivité

OK Annuler Aide

Quand toutes les modifications à la structure ont été apportées, recalculer les attributs des membrures en cliquant sur l'icône suivante :



Dans cet exemple, il y a un seul panneau de signalisation et l'analyse est une évaluation pour une structure située dans la région de Québec.

Liste des panneaux de signalisation

No. =	1
Type =	Panneau simple
Joint de référence =	127
Plan =	XY
Précision du modèle =	Simplifié (Charges uniformes)
Position	
Horizontale (Ex) =	2906 mm
Verticale (Ey) =	-600 mm
Dimensions	
Largeur (L) =	5938 mm
Hauteur (H) =	3500 mm
Épaisseur (t) =	0 mm
Charges	
Charge de gravité =	0,2 kN/m.2
Transférer les charges sur =	Barres horizontales
Appliquer la gravité sur =	Barres inférieures seulement

Table

OK

Annuler

Aide

Panneau 1

Assistant des charges des structures de signalisation

Paramètres des charges pour CSA S6-14	
Type d'analyse =	Évaluation
Région =	(DT-71) Capitale-Nationale
Pression de vent =	0,48 kN/m.2
Épaisseur de glace =	31 mm
Génération des charges de base et des combinaisons	
Générer les charges et les combinaisons =	<input checked="" type="checkbox"/>
Direction du vent =	Défaut ( $\pm Wz \pm 0.2Wx$ ou $\pm 0.6Wz \pm 0.3Wx$ )
Générer les combinaisons thermiques =	<input type="checkbox"/>
Générer les combinaisons de fatigue =	<input type="checkbox"/>

OK  
Annuler  
Aide

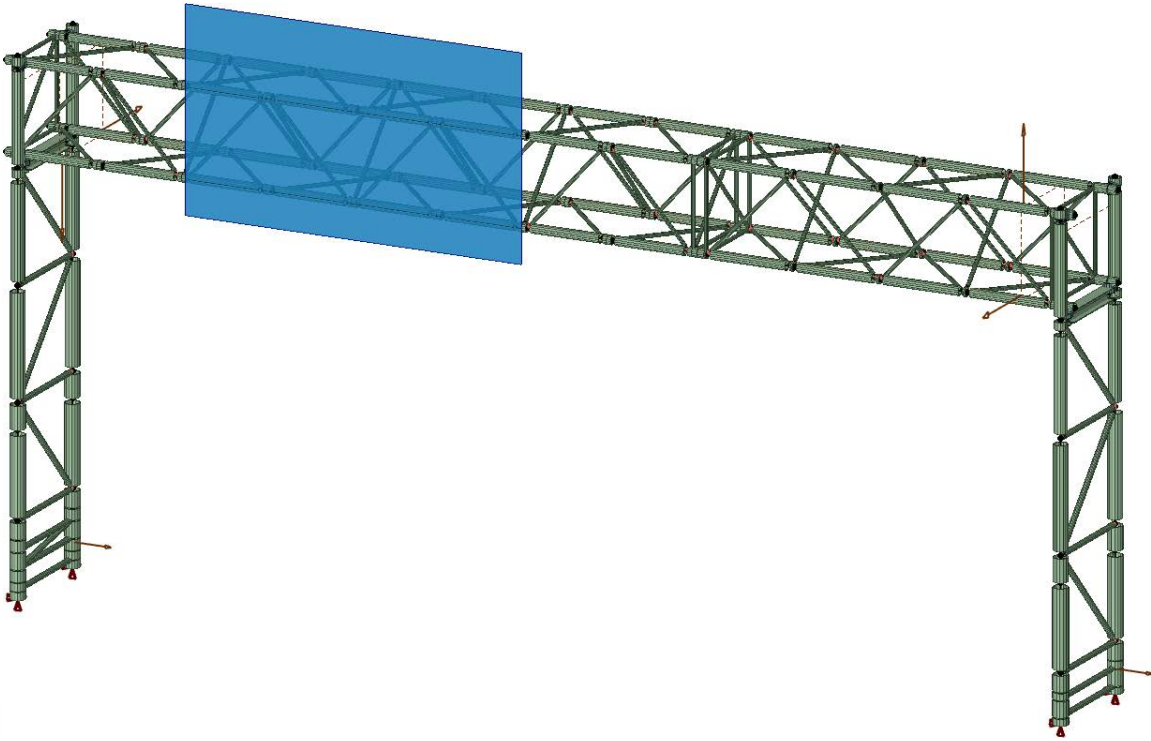


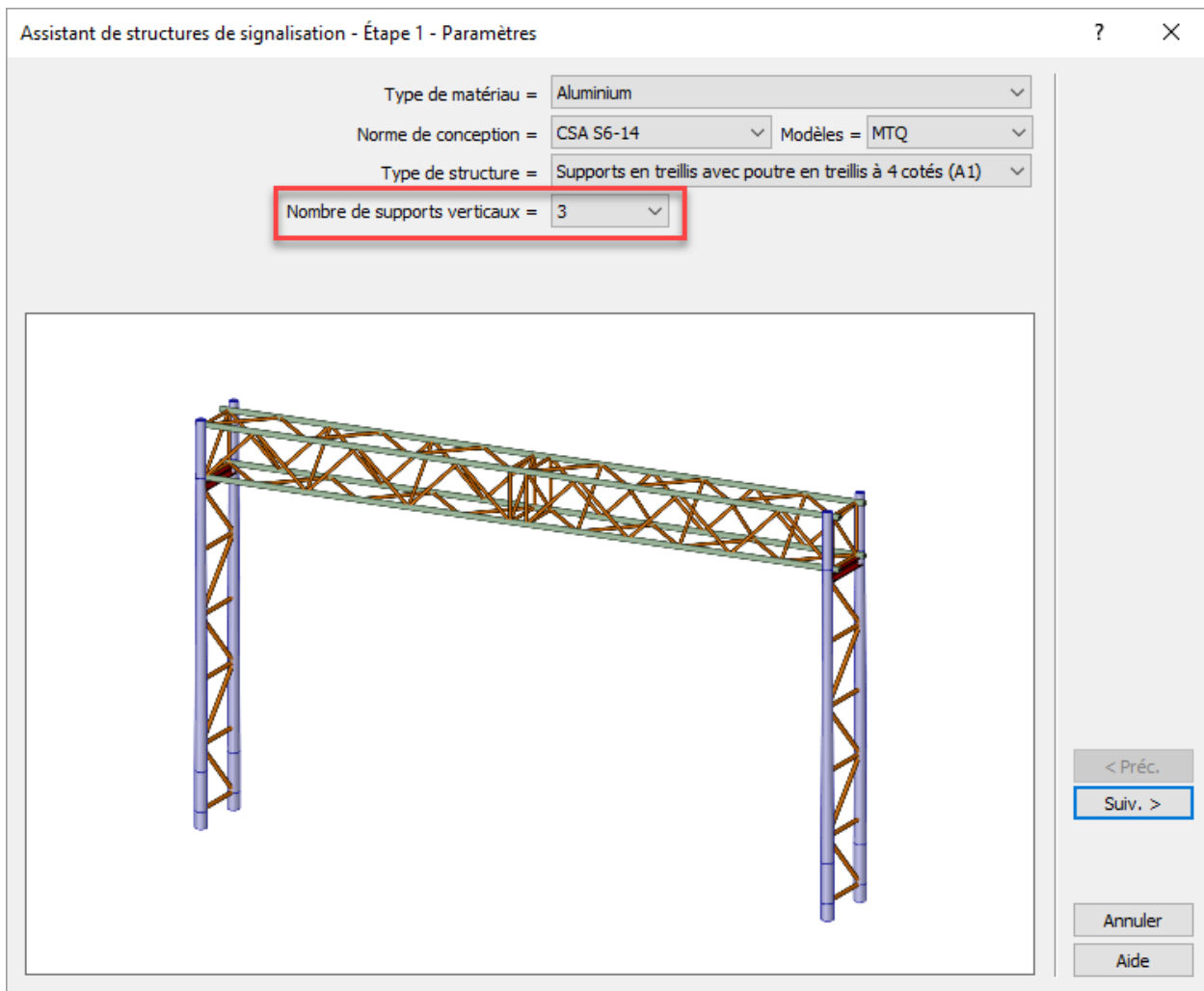
Figure 9-2 Structure de type A1 avec piédestaux – Modèle final

## 11. ANALYSE P-DELTA

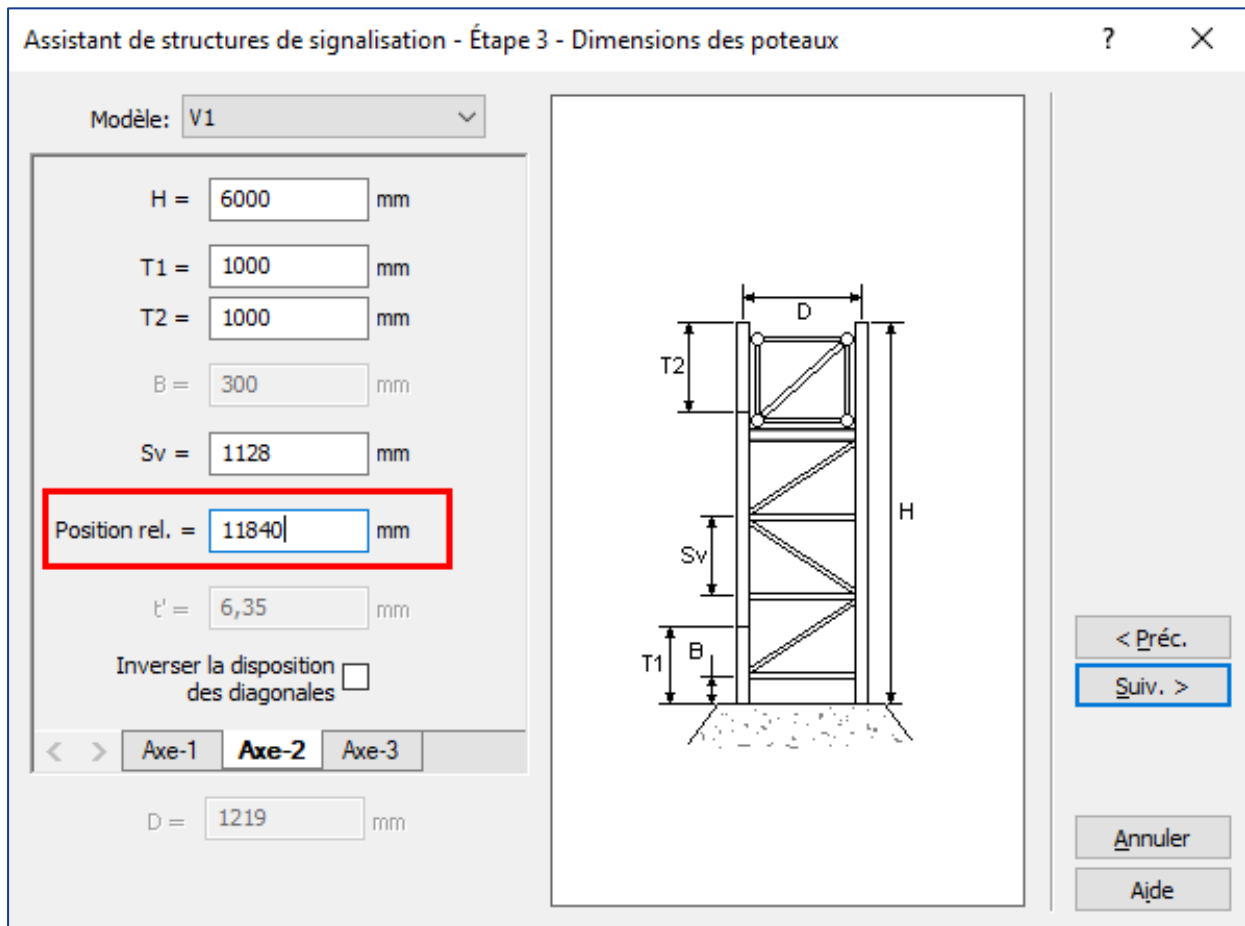
Afin de tenir compte des effets de deuxième ordre (déformation latérale du portique), il est suggéré de faire une analyse statique P-delta.

## 12. STRUCTURE DE SIGNALISATION AÉRIENNE À TROIS SUPPORTS VERTICAUX

Il est possible de générer automatiquement une structure de signalisation aérienne à trois supports verticaux.



La position du support central est déterminée par la distance du centre de l'axe 2 au centre de l'axe 1.



Assistant de structures de signalisation - Étape 3 - Définition des poteaux

Modèle = V1

**Panneaux**

Modèle de panneaux = Pony Warren - [N/N/]

Inverser diagonales =

**Dimensions**

H	=	6000	mm
T1	=	1000	mm
T2	=	1000	mm
B	=	300	mm
BT	=	0	mm
Sv	=	1128	mm
Manchon (t')	=	6,35	mm
Manchon (L')	=	300	mm
Position rel. ( $\Delta$ )	=	11840	mm

**Excentricités aux connexions**

Méthode = gc

gc = 0 mm

**Sections**

Longerons (Smt)	=	4 - HSS 152x6.35
Longerons (Smb)	=	3 - HSS 203x6.35
Diagonales (Sd)	=	6 - HSS 60.3x5.54
Poutre d'appui (Sb)	=	5 - W 152x152x7.9

Axis: Axes-1 | **Axes-2** | Axes-3

D = 1219 mm

Navigation: < Préc. | **Suiv. >** | Annuler | Aide



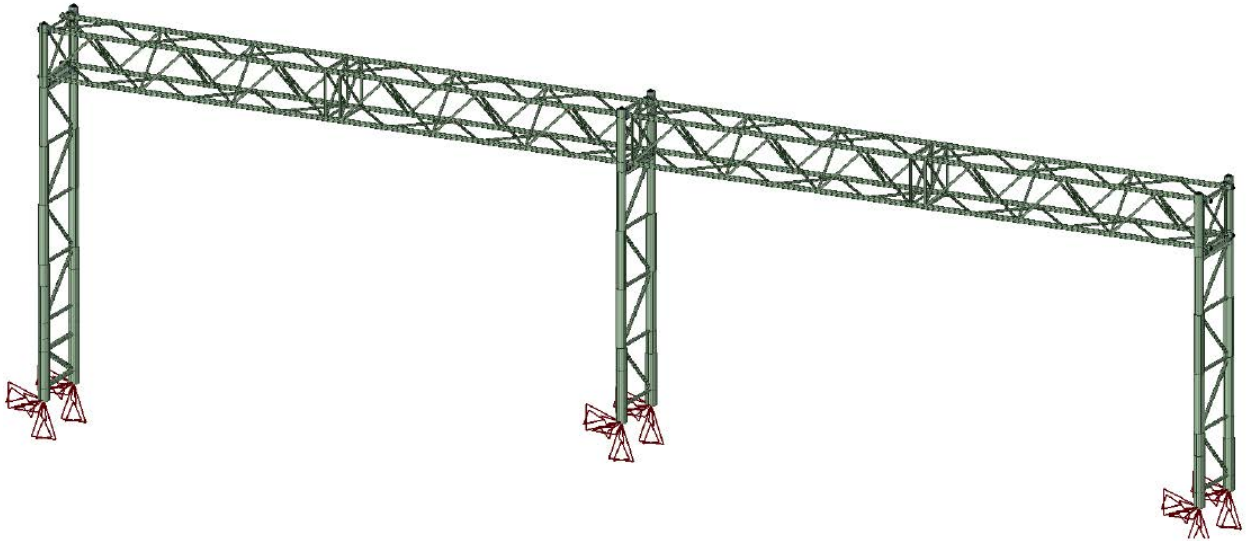


Figure 12-1 Structure de signalisation aérienne à trois supports verticaux

### 13. FORMULAIRES

La figure 13-1 présente le formulaire standardisé F807.1 « Relevé dimensionnel et inspection d'évaluation – Structures de signalisation aérienne de type A1 ». Ce formulaire contient toutes les informations requises pour procéder à l'évaluation de la capacité portante à l'aide du module de génération automatique des structures.

Les sections « support horizontal », « supports verticaux » et « panneaux de signalisation » présentent les caractéristiques géométriques de ces éléments relevés lors de l'inspection d'évaluation correspondant aux paramètres illustrés aux pages 4 et 5 de ce même formulaire.

La section « Relevé des dommages » doit être utilisée pour indiquer avec précision la localisation et les dimensions des défauts constatés. Des photographies peuvent y être insérées ou ajoutées en annexe. Au besoin, le formulaire FOR-031 peut être utilisé si le nombre de défauts ou le nombre de photographies est important. Il peut arriver également que les inspecteurs mentionnent les défauts dans les sections de commentaires respectives pour les supports horizontaux et les supports verticaux.

La figure 13-2 présente un exemple de formulaire rempli.


Les autres documents disponibles, les fiches d'inspection et d'inventaire du système GSS-6029 ainsi que, dans certains cas, les plans de construction et/ou les dessins d'atelier, doivent également être consultés en complément du formulaire F807.1. L'ingénieur responsable de l'évaluation doit s'assurer que toutes les informations concordent. Sinon, il doit questionner les inspecteurs lorsqu'un doute raisonnable est soulevé sur l'exactitude du relevé.

La figure 13-3 présente le formulaire F808.1 « Fiche d'évaluation de la capacité portante des structures de signalisation aérienne ». Ce formulaire sert à consigner les résultats de l'évaluation de la capacité portante, les informations de base sur la structure, les charges utilisées ainsi que toutes les remarques pertinentes concernant les hypothèses utilisées ou l'interprétation des résultats. Il doit être rempli, signé et consigné ou remis pour toute évaluation de structure de signalisation aérienne.

Les différents formulaires mentionnés dans cette section sont disponibles sur le [site Web du Ministère<sup>2</sup>](#).

---

<sup>2</sup> www.transports.gouv.qc.ca

  
 Direction générale des structures

### RELEVÉ DIMENSIONNEL ET INSPECTION D'ÉVALUATION STRUCTURE DE SIGNALISATION AÉRIENNE DE TYPE A1

**RELEVÉ DIMENSIONNEL**

**LOCALISATION**

Numéro S- \_\_\_\_\_ Municipalité \_\_\_\_\_  
 DGT \_\_\_\_\_ Route \_\_\_\_\_  
 CS \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_  

Route
Tronçon
Section
Sous-route
Châlinage

**SUPPORT HORIZONTAL**

Nombre de segments constituant la poutre \_\_\_\_\_  
 Hauteur **Dy** \_\_\_\_\_ mm      Largeur **Dx** \_\_\_\_\_ mm  
 Porte-à-faux gauche \_\_\_\_\_ mm      Porte-à-faux droit \_\_\_\_\_ mm

		Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
<b>Segment</b>	Longueur totale	mm	mm	mm	mm
	Nombre de panneaux				
	Longueur d'un panneau <b>Dz</b>	mm	mm	mm	mm
	Position du 1 <sup>er</sup> nœud de triangulation à gauche <b>Ei</b>	mm	mm	mm	mm
	Position du 1 <sup>er</sup> nœud de triangulation à droite <b>Ej</b>	mm	mm	mm	mm
	Extrémité gauche du segment – Cadre	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>
	Extrémité gauche – Diagonale interne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Extrémité droite du segment – Cadre	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>
Extrémité droite – Diagonale interne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Longeron</b>	Diamètre	mm	mm	mm	mm
	Épaisseur	mm	mm	mm	mm
	Excentricité <b>gt</b>	mm	mm	mm	mm
<b>Diagonale verticale</b>	Diamètre	mm	mm	mm	mm
	Épaisseur	mm	mm	mm	mm
<b>Diagonale interne</b>	Diamètre	mm	mm	mm	mm
	Épaisseur	mm	mm	mm	mm
<b>Diagonale horizontale</b>	Diamètre	mm	mm	mm	mm
	Épaisseur	mm	mm	mm	mm

**COMMENTAIRES**

F807.1 (2020-03)
Page 1 de 5

Figure 13-1 Formulaire F807.1 « Relevé dimensionnel et inspection d'évaluation – Structure de signalisation aérienne de type A1 »

SUPPORTS VERTICAUX					
Nombre de supports verticaux		_____			
Distance de centre à centre $L_{12}$		_____ mm			
Distance de centre à centre $L_{23}$		_____ mm			
Hauteur d'exposition		_____ mm			
		Axe 1	Axe 2	Axe 3	
Hauteur totale du support $H^{(1)}$		_____ mm	_____ mm	_____ mm	
Extrémité libre du poteau $P$		_____ mm	_____ mm	_____ mm	
Distance de centre à centre des poteaux $D$		_____ mm	_____ mm	_____ mm	
Position de la 1 <sup>re</sup> membrure horizontale $B^{(1)}$		_____ mm	_____ mm	_____ mm	
Nombre de panneaux <sup>(2)</sup>					
Hauteur des panneaux $S_v$		_____ mm	_____ mm	_____ mm	
<b>Section cylindrique du bas</b>	Hauteur $T1$	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Diamètre	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
<b>Section cylindrique du haut</b>	Hauteur $T2$	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Diamètre	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
<b>Membrane diagonale</b>	Diamètre	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
<b>Membrane horizontale</b>	Diamètre	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
<b>Manchon de renfort</b>	Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Soudure à la base	<input type="checkbox"/> Unique <input type="checkbox"/> Deux soudures	<input type="checkbox"/> Unique <input type="checkbox"/> Deux soudures	<input type="checkbox"/> Unique <input type="checkbox"/> Deux soudures	
<b>Appui du support horizontal</b>	Poutre <input type="checkbox"/> Hauteur du profilé	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Console <input type="checkbox"/>				
<b>Piédestal</b>	Type				
	Hauteur $H^{(1)}$	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Position des horizontales	$H_1^{(1)}$	_____ mm	_____ mm	_____ mm
		$H_2$	_____ mm	_____ mm	_____ mm
	Poteau	Diamètre	_____ mm	_____ mm	_____ mm
		Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm
	Diagonale	Diamètre	_____ mm	_____ mm	_____ mm
		Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm
Horizontale	Diamètre	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
	Épaisseur	_____ mm	_____ mm	_____ mm	
<b>Tiges d'ancrage</b>	Hauteur libre $h^{(3)}$	_____ mm	_____ mm	_____ mm	

### COMMENTAIRES


<sup>(1)</sup> Mesures prises en dessous de la semelle.

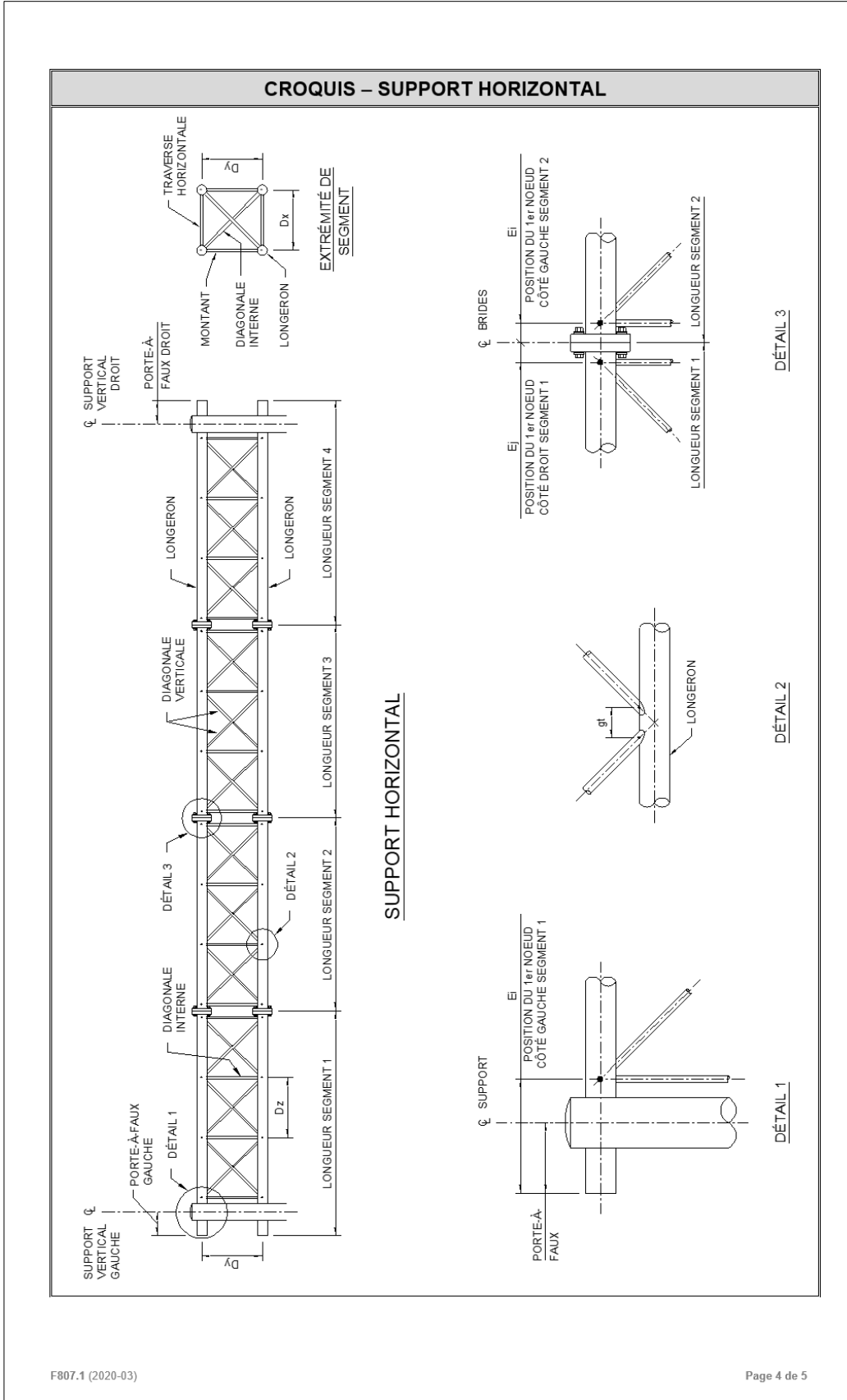
<sup>(2)</sup> Nombre de panneaux calculé à partir de la première membrure horizontale située à une distance  $B$  du dessous de la semelle.

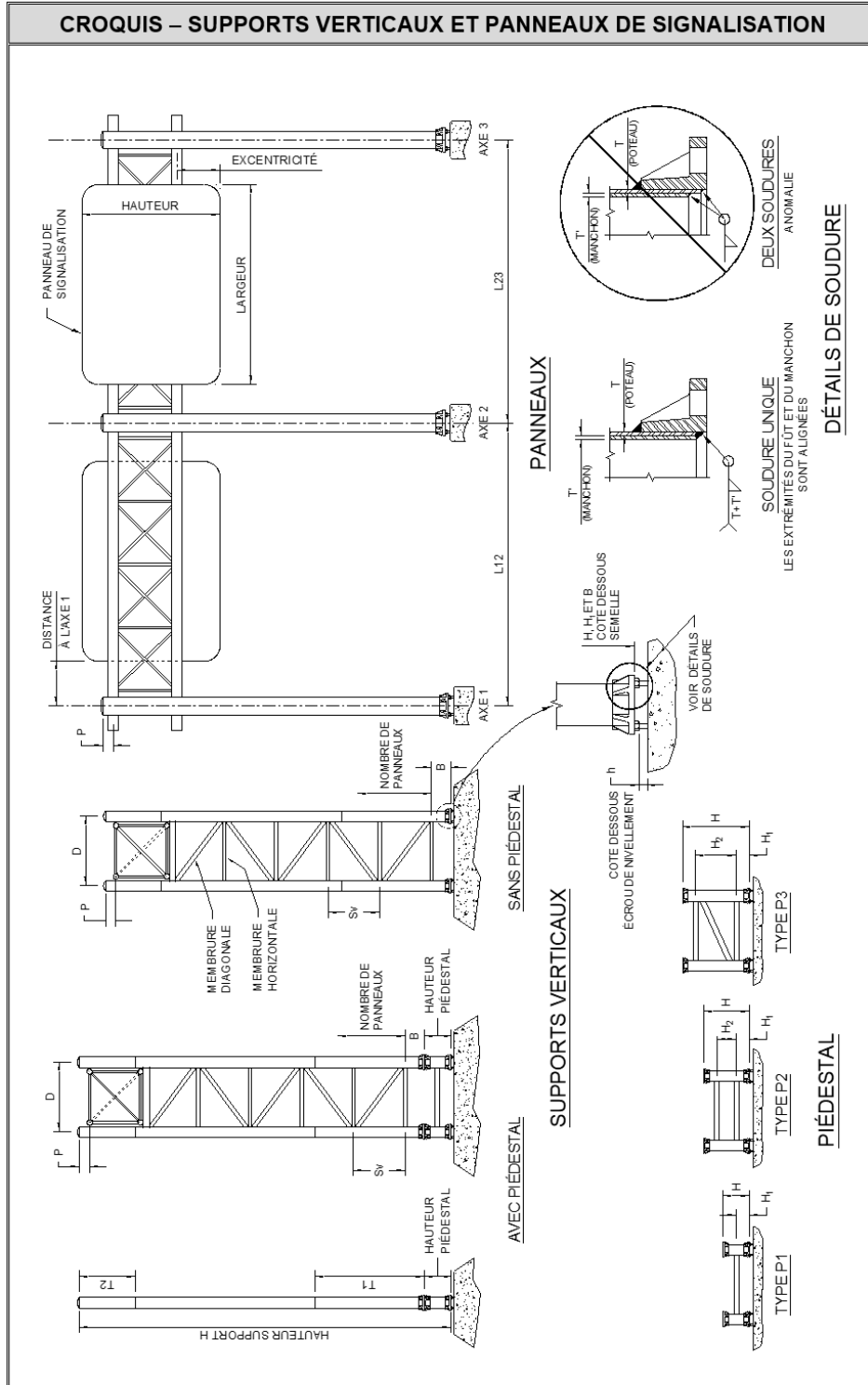
<sup>(3)</sup> Distance libre entre le dessus du béton et le dessous de l'écrin de nivellement.


PANNEAUX DE SIGNALISATION				
Numéro	Largeur	Hauteur	Distance par rapport à l'axe 1	Excentricité
	mm	mm		mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm

RELEVÉ DES DOMMAGES	

SIGNATURES		
Relevé par :	_____	_____
	<small>Nom et titre en caractères d'imprimerie</small>	<small>Signature</small>
		<small>Date (AAAA-MM-JJ)</small>
Approuvé par :	_____	_____
	<small>Ingénieur(e) responsable du relevé, en caractères d'imprimerie</small>	<small>Signature</small>
		<small>Date (AAAA-MM-J)</small>





  
 Direction générale des Structures

### RELEVÉ DIMENSIONNEL ET INSPECTION D'ÉVALUATION STRUCTURE DE SIGNALISATION AÉRIENNE DE TYPE A1

**RELEVÉ DIMENSIONNEL**

**LOCALISATION**

Numéro S- Ex. section 10 Municipalité Québec  
 DGT 71 Route \_\_\_\_\_  
 CS \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_  

Route
Tronçon
Section
Sous-route
Crainage

**SUPPORT HORIZONTAL**

Nombre de segments constituant la poutre 2  
 Hauteur Dy 1524 mm Largeur Dx 1524 mm  
 Porte-à-faux gauche 300 mm Porte-à-faux droit 150 mm

		Segment 1	Segment 2	Segment 3	Segment 4
<b>Segment</b>	Longueur totale	12250 mm	6645 mm	mm	mm
	Nombre de panneaux	8	4		
	Longueur d'un panneau Dz	1503 mm	1530 mm	mm	mm
	Position du 1 <sup>er</sup> nœud de triangulation à gauche E1	125 mm	125 mm	mm	mm
	Position du 1 <sup>er</sup> nœud de triangulation à droite E2	100 mm	400 mm	mm	mm
	Extrémité gauche du segment – Cadre	Traverses <input checked="" type="checkbox"/> Montants <input checked="" type="checkbox"/>	Traverses <input checked="" type="checkbox"/> Montants <input checked="" type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>
	Extrémité gauche – Diagonale interne	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Extrémité droite du segment – Cadre	Traverses <input checked="" type="checkbox"/> Montants <input checked="" type="checkbox"/>	Traverses <input checked="" type="checkbox"/> Montants <input checked="" type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>	Traverses <input type="checkbox"/> Montants <input type="checkbox"/>
	Extrémité droite – Diagonale interne	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Longeron</b>	Diamètre	152.4 mm	152.4 mm	mm	mm
	Épaisseur	4.0 mm	4.0 mm	mm	mm
	Excentricité gt	gc = 150 mm	200 mm	mm	mm
<b>Diagonale verticale</b>	Diamètre	60.3 mm	60.3 mm	mm	mm
	Épaisseur	5.0 mm	5.0 mm	mm	mm
<b>Diagonale interne</b>	Diamètre	60.3 mm	60.3 mm	mm	mm
	Épaisseur	5.0 mm	5.0 mm	mm	mm
<b>Diagonale horizontale</b>	Diamètre	60.3 mm	60.3 mm	mm	mm
	Épaisseur	5.0 mm	5.0 mm	mm	mm

**COMMENTAIRES**

F807.1 (2020-03)
Page 1 de 5

Figure 13-2 Exemple de formulaire F807.1 rempli



SUPPORTS VERTICAUX					
Nombre de supports verticaux		2			
Distance de centre à centre L <sub>12</sub>		18445 mm			
Distance de centre à centre L <sub>23</sub>		mm			
Hauteur d'exposition		8980 mm			
		Axe 1	Axe 2	Axe 3	
Hauteur totale du support H <sup>(1)</sup>		7980 mm	7980 mm	mm	
Extrémité libre du poteau P		150 mm	150 mm	mm	
Distance de centre à centre des poteaux D		1930 mm	1930 mm	mm	
Position de la 1 <sup>re</sup> membrure horizontale B <sup>(1)</sup>		300 mm	300 mm	mm	
Nombre de panneaux <sup>(2)</sup>		3	3		
Hauteur des panneaux Sv		1942 mm	1942 mm	mm	
Section cylindrique du bas	Hauteur T1	1800 mm	1800 mm	mm	
	Diamètre	254 mm	254 mm	mm	
	Épaisseur	6.35 mm	6.35 mm	mm	
Section cylindrique du haut	Hauteur T2	2000 mm	2000 mm	mm	
	Diamètre	203 mm	203 mm	mm	
	Épaisseur	6.35 mm	6.35 mm	mm	
Membrure diagonale	Diamètre	88.9 mm	88.9 mm	mm	
	Épaisseur	4.76 mm	4.76 mm	mm	
Membrure horizontale	Diamètre	88.9 mm	88.9 mm	mm	
	Épaisseur	4.76 mm	4.76 mm	mm	
Manchon de renfort	Épaisseur	6.35 mm	0 mm	mm	
	Soudure à la base	<input checked="" type="checkbox"/> Unique <input type="checkbox"/> Deux soudures	<input type="checkbox"/> Unique <input type="checkbox"/> Deux soudures	<input type="checkbox"/> Unique <input type="checkbox"/> Deux soudures	
Appui du support horizontal	Poutre <input checked="" type="checkbox"/> Console <input type="checkbox"/>	Hauteur du profilé	203 mm	203 mm	mm
	Type		P1 + P3	P2	
Piédestal	Hauteur H <sup>(1)</sup>		300 + 700 mm	550 mm	mm
	Position des horizontales	H <sub>1</sub> <sup>(1)</sup>	mm	mm	mm
		H <sub>2</sub>	mm	mm	mm
	Poteau	Diamètre	254 mm	254 mm	mm
		Épaisseur	6.35 mm	6.35 mm	mm
	Diagonale	Diamètre	88.9 mm	88.9 mm	mm
		Épaisseur	4.76 mm	4.76 mm	mm
	Horizontale	Diamètre	88.9 mm	88.9 mm	mm
		Épaisseur	4.76 mm	4.76 mm	mm
Tiges d'ancrage	Hauteur libre h <sup>(3)</sup>		mm	mm	mm

#### COMMENTAIRES

Support vertical gauche : 2eme diagonale à partir du bas du support (au-dessus des piedestaux: 73 mm x 5.0 mm)

<sup>(1)</sup> Mesures prises en dessous de la semelle.

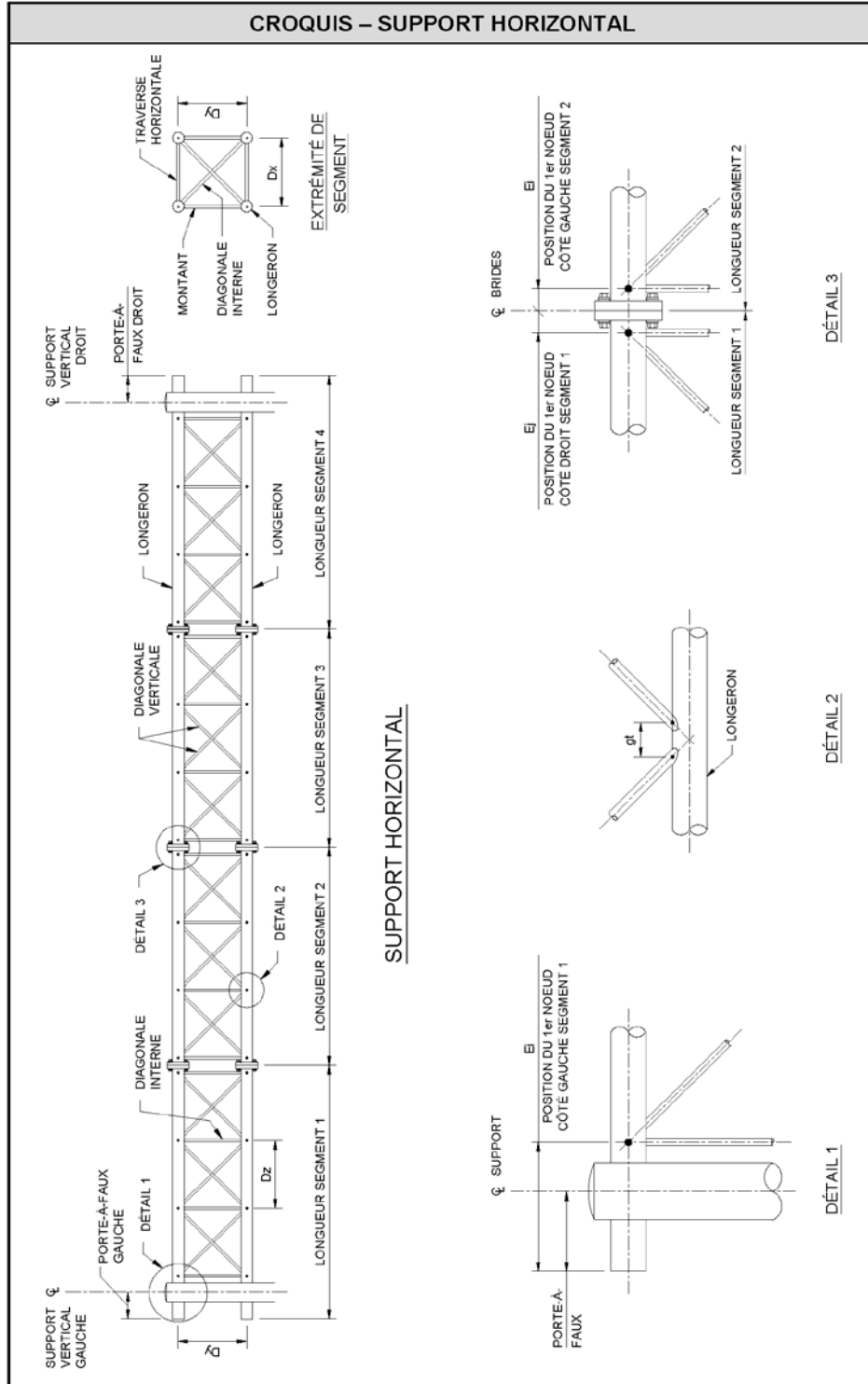
<sup>(2)</sup> Nombre de panneaux calculé à partir de la première membrure horizontale située à une distance B du dessous de la semelle.

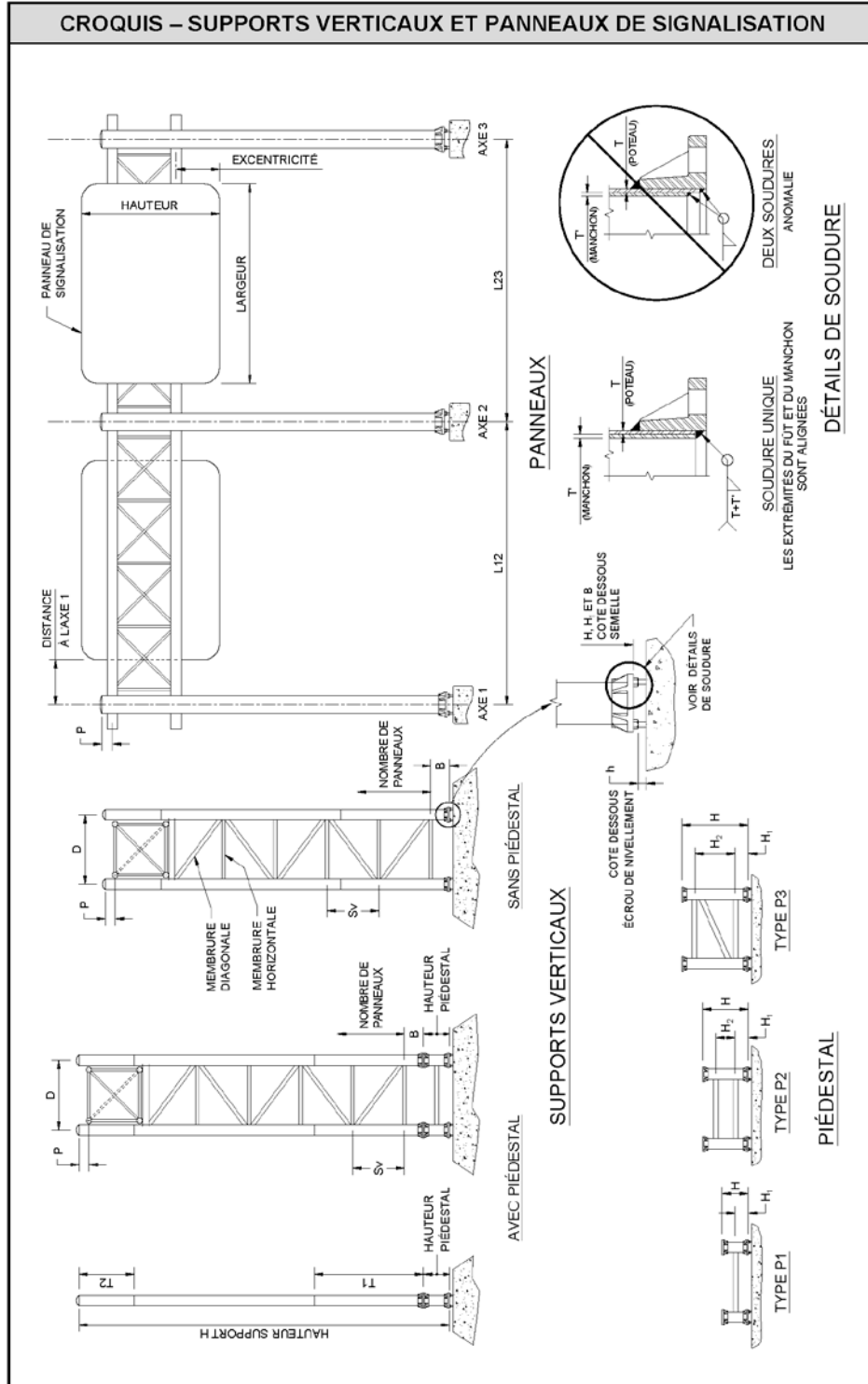
<sup>(3)</sup> Distance libre entre le dessus du béton et le dessous de l'écrou de nivellement.


PANNEAUX DE SIGNALISATION				
Numéro	Largeur	Hauteur	Distance par rapport à l'axe 1	Excentricité
1	5938 mm	3500 mm	2906 mm	600 mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm
	mm	mm	mm	mm

RELEVÉ DES DOMMAGES	

SIGNATURES		
Relevé par :	_____	____
<small>Nom et titre en caractères d'imprimerie</small>	<small>Signature</small>	<small>Date (AAAA-MM-JJ)</small>
Approuvé par :	_____	____
<small>Ingénieur(e) responsable du relevé, en caractères d'imprimerie</small>	<small>Signature</small>	<small>Date (AAAA-MM-JJ)</small>





  
 Direction générale des structures

### FICHE D'ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ PORTANTE DES STRUCTURES DE SIGNALISATION AÉRIENNE

IDENTIFICATION				
Numéro S-	_____ Rte	_____ Tr	_____ Sec	_____ S-rte _____ Chaînage _____
Municipalité	_____	SM _____	DGT _____	CS _____ SC _____
CARACTÉRISTIQUES				
Année de construction	_____	Pression du vent	_____	Épaisseur de verglas _____
Type de structure	_____			
Type de support horizontal	_____	Longueur des portées en millimètres		
Longueur totale de SH	_____	1 : P à F gauche	2	3      4
Nombre de segments de SH	_____	Autres détails :		
Type de support vertical	_____			
Nombre de SV	_____			
F807.1 – RELEVÉ DIMENSIONNEL ET INSPECTION D'ÉVALUATION				
Inspection d'évaluation faite	Oui <input type="checkbox"/>	Par :	_____	
	Non <input type="checkbox"/>	Date :	_____	
COMMENTAIRES (anomalies et défauts considérés, état général, calculs complémentaires, etc.)				
ÉVALUATION				
ÉLÉMENT	EFFORT	TYPE D'EFFORT	ICS	
Poutre – Longérons				
Poutre – Brides de raccord				
Poutre – Diagonales				
Poteau – Base				
Poteau – Longérons				
Poteau – Diagonales				
Piédestaux				
Tiges d'ancrage				
Autre – Poutre d'appui du SH				
Autre				
SIGNATURES				
Évaluateur(-trice) :	_____	Signature	_____	Date _____
	Nom et titre en caractères d'imprimerie			
Vérificateur(-trice) :	_____	Signature	_____	Date _____
	Nom et titre en caractères d'imprimerie			

F808.1 (2020-03)
Page 1 de 2

Figure 13-3      *Formulaire F808.1 « Fiche d'évaluation de la capacité portante des structures de signalisation aérienne »*



