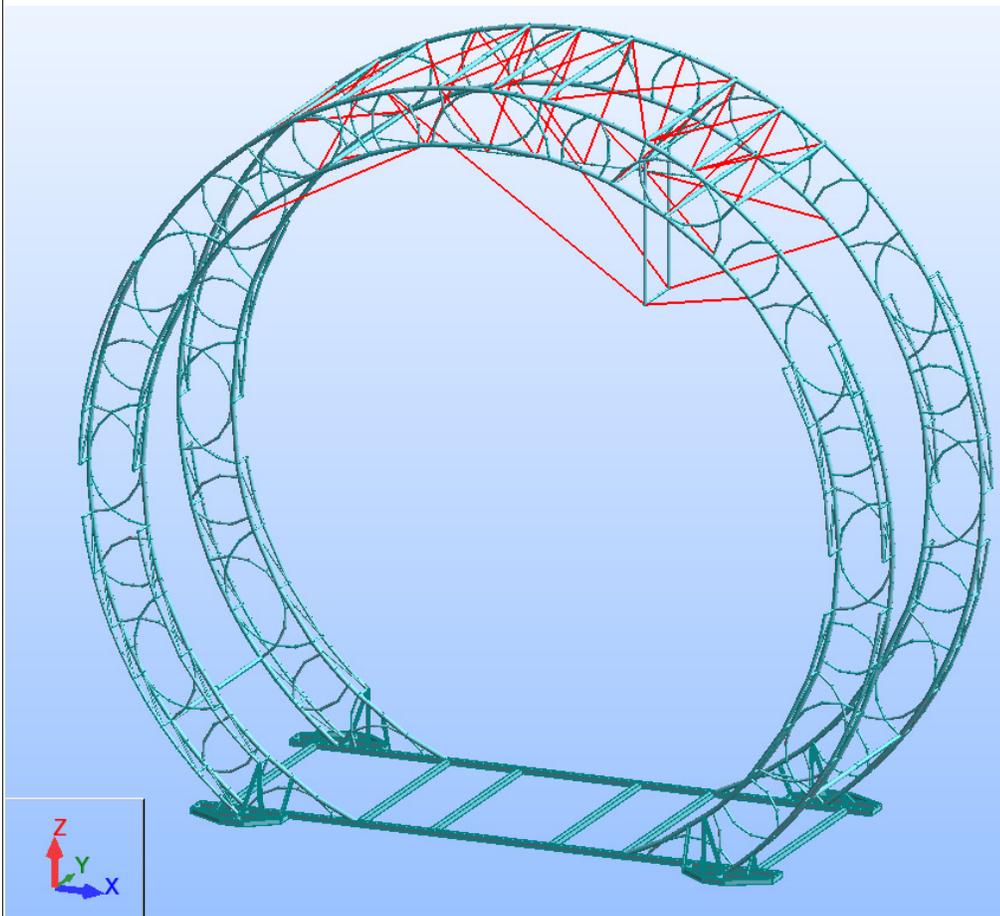


**Affaire 09201**

**Cycloïde**

**NOTE DE JUSTIFICATION  
n° 01 C**



5 rue Marceau  
34000 Montpellier  
France  
tel 04 67 58 93 03

bet.abaca@  
wanadoo.fr

S.A.R.L.  
au capital de  
7622.45 €  
R.C. Montpellier  
422 734 764 00026  
APE 742C

C	09/06/16	AD	Ajout charges de vent		
B	24/12/09	AD	Justification des liaisons		
A	22/12/09	AD	première diffusion		
indice	date	auteur	modification	vérifié	date
<b>Abaca</b>			<b>Cycloïde: J-06-C-AD-08082</b>		

<b>I.</b>	<b>PRELIMINAIRES .....</b>	<b>2</b>
I.1	OBJET .....	2
<b>II.</b>	<b>DESCRIPTION DU SYSTEME .....</b>	<b>3</b>
<b>III.</b>	<b>HYPOTHESES.....</b>	<b>4</b>
III.1	CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX .....	4
III.2	HYPOTHESES DE CHARGES .....	4
III.3	CAS DE CHARGE ET COMBINAISONS .....	4
III.4	APPUIS, LIAISONS. ....	5
III.5	VERIFICATION DE LA BARRE D'ACCROCHE DES TRAPEZES BALAN Ø30 PLEIN .....	5
III.6	VERIFICATION DES CABLES Ø8 ACIER MULTI-TORONS .....	5
III.7	VERIFICATION DES MEMBRURES DU CYCLOÏDE 88.9x32. ....	5
III.8	VERIFICATION DES DIAGONALES DU CYCLOÏDE 48.3x2.9. ....	6
III.9	VERIFICATION DES MEMBRURES DES RENFORTS LATERAUX Ø60x2.9 .....	7
III.10	VERIFICATION DES DIAGONALES DES RENFORTS LATERAUX Ø 33 x 2.6.....	7
III.11	VERIFICATION DES BARRES D'ECART Ø88.9x3.2 ARTICULEES .....	8
III.12	VERIFICATION DES BARRES DE MAINTIENT DE LA CERCE SUR L'EMBASE 50x50x2.5.....	8
III.13	VERIFICATION DES DEPORTS DE L'EMBASE RECTANGLE 100x50x4 .....	9
III.14	VERIFICATION DES BARRES PRINCIPALES DE L'EMBASE 100x100x4 .....	10
III.15	VERIFICATION DES LIAISONS .....	10
<b>IV.</b>	<b>REACTIONS DANS LES CABLES D'HAUBANAGE .....</b>	<b>11</b>
IV.1	REPERAGE .....	11
IV.2	REACTIONS ELU (1.33 X POIDS PROPRE + 1.5 X LA CHARGE) .....	12
<b>V.</b>	<b>STABILITE SOUS CHARGES DE VENT .....</b>	<b>12</b>
V.1	CAS DE CHARGES ET COMBINAISONS .....	13
V.2	TENSION DANS LES HAUBANS .....	13
<b>VI.</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>14</b>
VI.1	JUSTIFICATION AU FLAMBEMENT DES MEMBRURES DE LA CERCE Ø88.9 x 3.2 .....	14
VI.2	JUSTIFICATION AU FLAMBEMENT DES MEMBRURES DES RENFORTS LATERAUX Ø60x2.9 .....	15
VI.3	JUSTIFICATION AU FLAMBEMENT DES DIAGONALES DES RENFORTS LATERAUX Ø 33x2.6.....	16
VI.4	JUSTIFICATION BARRES DE MAINTIENT DE CERCE 50x50x2.5.....	17

## I. Préliminaires

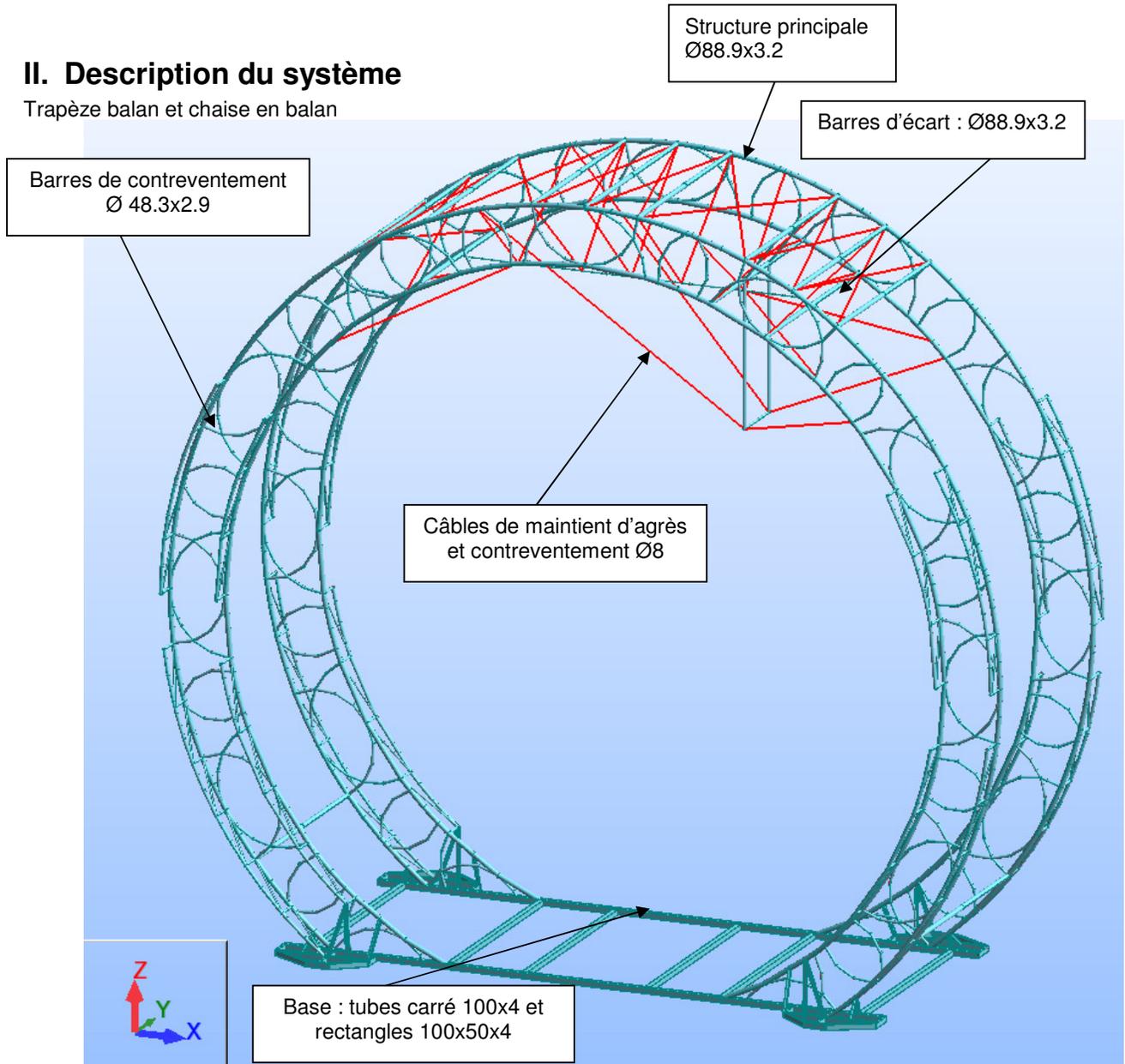
### I.1 Objet

La présente note est le rapport de justification de la structure scénique du spectacle « Cycloïde » sous charges d'exploitation. Pour des questions de commodité, 2 modèles ont été réalisés. Un pour la justification sous les charges de trapèze balan et de chaise en balan et un sous les charges des coréens face à face. Cette justification se décompose en 4 phases :

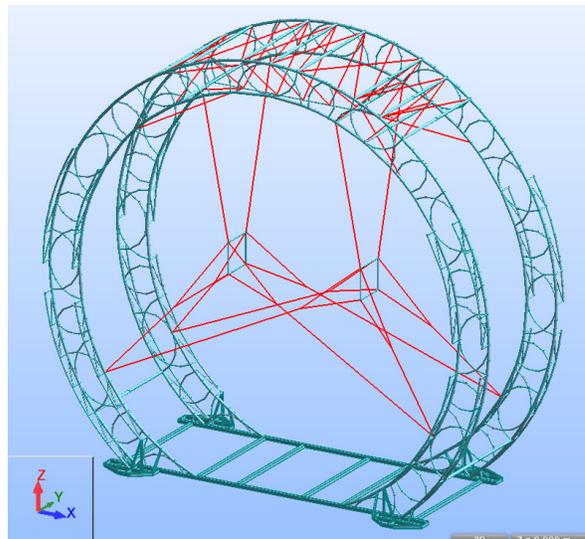
- 1) Modélisation de la structure métallique
- 2) Quantification des charges induites par la balançoire russe.
- 3) Justification de la structure pour les efforts maximums générés par les évolutions des acrobates
- 4) Descentes de charge sur câble d'haubanage.

## II. Description du système

Trapèze balan et chaise en balan



Chaises pour porteurs coréen



### III. Hypothèses

#### III.1 Caractéristiques des matériaux

- Structure acier E24: contrainte élastique > 24 daN/mm<sup>2</sup>; Module d'Young : 21 000 daN/mm<sup>2</sup>, masse volumique :  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- Barre d'accroche des trapèzes balan : acier E36 contrainte élastique > 36 daN/mm<sup>2</sup>; Module d'Young : 21 000 daN/mm<sup>2</sup>, masse volumique :  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
- Câbles multi-torons Module d'Young : 11 000 daN/mm<sup>2</sup>

#### III.2 Hypothèses de charges

Nous ferons les hypothèses (confirmées par les acrobates) suivantes :

- Les agrès : barre de trapèze balan, chaise en balan, porteurs coréens ne sont pas utilisés simultanément.
- la barre de trapèze balan peut supporter 2x2 personnes sur les points d'accroche extérieurs ou 2 personnes sur les points d'accroche intérieurs.
- Les balans de trapèzes ne dépassent pas l'horizontale avec 2 trapézistes de 70 kg au maximum.
- La chaise en balan ne dépasse pas les 30° au dessus de l'horizontale avec 2 trapézistes de 80 kg et une chaise de 60 kg au maximum.
- Les 2 balans de coréen peuvent être simultanés et concernent 2 personnes de 80 kg (140 kg en rotation et 20 kg statiques)

Il sera ajouté une charge de 1 tonne répartie pour tenir compte des accessoires et artistes statiques pendant l'évolution des trapézistes.

#### III.3 Cas de charge et combinaisons

- Cas # 1 : Poids propre de la structure + 1 tonne d'accessoire et d'artiste statiques
- Cas # 2 : 2 trapézistes : chaise en balan à 51° :  $F_x = 494 \text{ daN}$   $F_z = 400 \text{ daN}$
- Cas # 3 : 2 trapézistes : chaise en balan à la verticale :  $F_z = 880 \text{ daN}$
- Cas # 4 : 1 trapéziste balan à droite 45° :  $F_y = -106 \text{ daN}$  ;  $F_z = 106 \text{ daN}$
- Cas # 5 : 1 trapéziste balan à droite à la verticale ;  $F_z = 210 \text{ daN}$
- Cas # 6 : 1 trapéziste au centre 45° :  $F_y = -106 \text{ daN}$  ;  $F_z = 106 \text{ daN}$
- Cas # 7 : 1 trapéziste au centre à la verticale ;  $F_z = 210 \text{ daN}$
- Cas # 8 : 1 trapéziste balan à gauche 45° :  $F_y = -106 \text{ daN}$  ;  $F_z = 106 \text{ daN}$
- Cas # 9 : 1 trapéziste balan à gauche à la verticale ;  $F_z = 210 \text{ daN}$
- Cas # 12 : 2 trapézistes x 2 coréens à la verticale :  $F_z = 2 \times 700 \text{ daN}$
- Cas # 13 : 2 trapézistes x 2 coréens à 56° :  $F_x = 2 \times 428 \text{ daN}$   $F_z = 2 \times 288 \text{ daN}$

Ces cas de charge servent à établir les différentes combinaisons (1.33 x pp + 1.5 x charge réelle)

- Combinaison # 22 : chaise en balan effort max selon X
- Combinaison # 23 : chaise en balan effort max selon Z
- Combinaison # 24 : Trapèzes balan droite et gauche effort max selon X
- Combinaison # 25 : Trapèzes balan droite et gauche inversé effort max selon X
- Combinaison # 26 : Trapèzes balan central effort max selon X
- Combinaison # 27 : Trapèzes balan central effort max selon Z
- Combinaison # 32 : 2 chaises coréens effort max selon X
- Combinaison # 33 : 2 chaises coréens effort max selon Z

Tableau des combinaisons

Combinaison	Nom	Type d'analyse	Nature de la combinaison	Définition
22	CH-X-chaise-cm66	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+2*1.50$
23	CH-Z-chaise-cm66	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+3*1.50$
24	CH-trap-d+g-X-cm66	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+(4+8)*3.00$
25	CH-trap-d-g-X-cm66	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+4*3.00+8*-3.00$
26	2-centre-X	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+6*3.00$
27	2-centre -Z	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+7*6.00$
32	CH-X-chaise-cm66	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+12*1.50$
33	CH-Z-chaise-cm66	Combinaison NL PD	ELU	$1*1.33+13*1.50$

### III.4 Appuis, liaisons.

Les points au contact du sol sont des appuis avec soulèvement autorisé selon Z+. Les câbles de maintien de la structure globale sont représentés par des appuis élastiques.

### III.5 Vérification de la barre d'accroche des trapèzes balan Ø30 plein

On vérifie que la contrainte calculée ne dépasse pas 36 daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

rond Ø30	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	34,48	0,00	34,69	6,07	0,00	0,00	0,00
Barre	918	302	920	508	302	508	510
Noeud	902	227	902	901	227	174	175
Cas	27	27	27	24	27	27	25
MIN	0,00	-34,91	0,00	0,00	-34,69	-6,07	-0,22
Barre	917	920	302	508	920	508	1224
Noeud	226	902	227	174	902	901	903
Cas	23	27	27	27	27	24	27

Contrainte extrême : 34.9 daN/mm<sup>2</sup> < 36 daN/mm<sup>2</sup> : OK

### III.6 Vérification des câbles Ø8 acier multi-torons

On vérifie que la charge des câbles ne dépasse pas 2065 daN (½ charge de rupture)

Tableau des efforts extrêmes

Effort avec coréens

Efforts avec chaise ou trapèze

Câble Ø8	FX [daN]	FX [daN]
MAX	0	-4
Barre	1284	1457
Noeud	228	170
Cas	1	23
MIN	-576	-622
Barre	1476	1284
Noeud	584	239
Cas	32	27

Effort extrême : 622 daN / < 2065 daN: OK

### III.7 Vérification des membrures du cycloïde 88.9x32.

On vérifie que la contrainte calculées ne dépasse pas 24 daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

Avec chaise ou trapèze

Ø88,9x32 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	10,06	1,53	8,56	4,99	0,00	0,00	1,93
Barre	946	41	333	471	315	1081	85
Noeud	700	39	255	365	239	808	75
Cas	27	23	23	23	27	27	23
MIN	-1,17	-9,73	0,00	0,00	-8,56	-4,99	-1,42
Barre	616	333	315	1081	333	471	1
Noeud	452	255	239	808	255	365	1
Cas	22	23	27	27	23	23	27

Avec coréens

Ø88,9x3,2 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	14,05	1,93	11,38	4,75	0,00	0,00	2,71
Barre	946	41	333	947	705	963	85
Noeud	700	39	255	700	529	715	75
Cas	33	33	33	32	32	33	33
MIN	-1,66	-13,25	0,00	0,00	-11,38	-4,75	-1,84
Barre	2	946	705	963	333	947	710
Noeud	2	700	529	715	255	700	530
Cas	33	33	32	33	33	32	33

Contrainte extrême : 14.1 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

Vérification au flambement composé des membrures comprimées

Longueur libre maximum des membrures comprimées : 3m

Effort dans ces membrures compression : 525 daN  
couple 60 daN.m

Sécurité 5.71 en plus des coefficients réglementaires (voir justification en annexe)

### III.8 Vérification des diagonales du cycloïde 48.3x2.9.

On vérifie que la contrainte calculées ne dépasse pas 24 daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

Avec chaise ou trapèze

Ø48,3x2,9 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	16,55	1,54	16,91	4,74	0,00	0,00	2,17
Barre	197	1358	20	534	615	758	147
Noeud	134	980	3	253	229	571	106
Cas	27	23	27	23	22	24	23
MIN	-0,95	-17,86	0,00	0,00	-16,91	-4,74	-2,14
Barre	681	20	615	758	20	534	380
Noeud	510	3	229	571	3	253	294
Cas	27	27	22	24	27	23	23

Avec coréens

Ø48,3x2,9 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	22,90	1,62	21,50	5,82	0,00	0,00	2,91
Barre	142	1358	191	1155	615	758	59
Noeud	105	980	136	715	229	571	54
Cas	33	32	33	32	33	32	33
MIN	-1,27	-23,43	0,00	0,00	-21,50	-5,82	-2,94
Barre	752	191	615	758	191	1155	792
Noeud	568	136	229	571	136	715	598
Cas	32	33	33	32	33	32	33

Contrainte extrême : 23.4 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

### III.9 Vérification des membrures des renforts latéraux Ø60x2.9

On vérifie que la contrainte calculées ne dépasse pas 24 daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

Avec chaise ou trapèze

Ø60x2,9 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	6,87	0,55	6,19	2,72	0	0	0,83
Barre	1159	549	1159	303	557	548	549
Noeud	869	428	869	621	432	427	415
Cas	27	27	27	23	27	24	23
MIN	-0,24	-5,53	0	0	-6,19	-2,72	-0,48
Barre	255	1159	557	548	1159	303	256
Noeud	210	869	432	427	869	621	187
Cas	23	27	27	24	27	23	23

Avec coréens

Ø60x2,9 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	9,59	0,75	8,64	0,94	0,00	0,00	1,10
Barre	1159	549	1159	561	249	268	1166
Noeud	869	428	869	414	206	181	868
Cas	33	33	33	33	33	32	32
MIN	-0,29	-7,72	0,00	0,00	-8,64	-0,94	-0,92
Barre	1178	1159	249	268	1159	561	1176
Noeud	857	869	206	181	869	414	858
Cas	32	33	33	32	33	33	32

Contrainte extrême : 9.6 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

On vérifie ensuite le dimensionnement au flambement composé. Le détail est donné en annexe.

- Effort de compression maximal : 823 daN
  - Moment maximal dans la barre: 12 daNm
  - Longueur de flambement : 5.8 m
- Sécurité : 1.2 sur les charges pondérées

### III.10 Vérification des diagonales des renforts latéraux Ø 33 x 2.6

On vérifie que la contrainte calculées ne dépasse pas 23.5 daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

Avec chaise ou trapèze

Ø33x2,6 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	3,89	1,47	2,4	1,14	0	0	2,62
Barre	600	599	1214	301	286	297	599
Noeud	253	281	869	105	182	195	414
Cas	23	23	27	23	22	22	23
MIN	-0,29	-2,38	0	0	-2,4	-1,14	-0,51
Barre	286	1214	286	297	1214	301	286
Noeud	182	869	182	195	869	105	79
Cas	23	27	22	22	27	23	23

Avec coréens

Ø33x2,6 cerce	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	4,19	1,87	3,31	1,07	0	0	2,63
Barre	600	906	1214	1208	286	606	599
Noeud	253	501	869	758	182	419	414
Cas	33	32	33	33	32	33	33
MIN	-0,79	-3,34	0	0	-3,31	-1,07	-1
Barre	1210	1214	286	606	1214	1208	1210
Noeud	857	869	182	419	869	758	721
Cas	32	33	32	33	33	33	32

Contrainte extrême : 4.2 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

On vérifie ensuite le dimensionnement au flambement simple. Le détail est donné en annexe.

- Effort de compression maximal : 670 daN
- Longueur de flambement : 1.04 m
- Sécurité : 4.9 sur les charges pondérées

### III.11 Vérification des barres d'écart Ø88.9x3.2 articulées

On vérifie que la contrainte calculées ne dépasse pas 24 daN/mm<sup>2</sup>

Seule la barre supportant la chaise en balan est réellement contrainte

Tableau des contraintes extrêmes

Ø88,9x3,2 barres d'écart	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	9,01	0,56	8,16	1,63	0	0	0,56
Barre	613	1252	613	1258	824	824	1252
Noeud	621	10	621	930	458	620	10
Cas	23	27	23	27	27	25	27
MIN	-0,07	-9,05	0	0	-8,16	-1,63	-0,07
Barre	1252	613	824	824	613	1258	1252
Noeud	10	621	458	620	621	930	10
Cas	24	23	27	25	23	27	24

Contrainte extrême : 9.1 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

### III.12 Vérification des barres de maintien de la cerce sur l'embase 50x50x2.5

On vérifie que la contrainte calculée ne dépasse pas 24daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

Avec chaise ou trapèze

50x50x2,5	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	1,62	1,62	0	0	0	0	1,62
Barre	1448	1448	1445	1446	1369	1369	1448
Noeud	1018	1018	1008	869	424	981	1018
Cas	27	27	27	27	25	25	27
MIN	-0,81	-0,81	0	0	0	0	-0,81
Barre	1446	1446	1369	1369	1445	1446	1446
Noeud	869	869	424	981	1008	869	869
Cas	27	27	25	25	27	27	27

Avec coréens

50x50x2,5	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	2,23	2,23	0	0	0	0	2,23
Barre	1448	1448	1443	1446	1369	1369	1448
Noeud	1018	1018	647	869	981	424	1018
Cas	33	33	32	33	33	32	33
MIN	-1,09	-1,09	0	0	0	0	-1,09
Barre	1446	1446	1369	1369	1443	1446	1446
Noeud	869	869	981	424	647	869	869
Cas	33	33	33	32	32	33	33

Contrainte extrême : 2.23 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

On vérifie ensuite le dimensionnement au flambement simple. Le détail est donné en annexe.

- Effort de compression maximal : 1040 daN
- Longueur de flambement : 0.8 m
- Sécurité : 10 sur les charges pondérées

### III.13 Vérification des déports de l'embase rectangle 100x50x4

On vérifie que la contrainte calculées ne dépasse pas 23.5 daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

Avec chaise ou trapèze

100x50x4	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	2,26	0	2,26	0,14	0	0	0
Barre	1436	1344	1436	1415	1430	1430	1344
Noeud	1014	978	1014	1007	1035	1035	978
Cas	27	27	27	27	22	22	22
MIN	-0,03	-2,28	0	0	-2,26	-0,14	-0,04
Barre	1430	1437	1430	1430	1436	1415	1412
Noeud	1035	1014	1035	1035	1014	1007	1036
Cas	27	27	22	22	27	27	27

Avec coréens

100x50x4	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	3,11	-0,01	3,11	0,2	0	0	0
Barre	1344	1344	1344	1415	1430	1430	1376
Noeud	974	978	974	1007	1035	1035	995
Cas	33	33	33	33	32	32	32
MIN	-0,06	-3,11	0	0	-3,11	-0,2	-0,07
Barre	1430	1344	1430	1430	1344	1415	1412
Noeud	1035	974	1035	1035	974	1007	1036
Cas	33	33	32	32	33	33	33

Contrainte extrême : 3.1 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

### III.14 Vérification des barres principales de l'embase 100x100x4

On vérifie que la contrainte calculées ne dépasse pas 23.5 daN/mm<sup>2</sup>

Tableau des contraintes extrêmes

Avec chaise ou trapèze

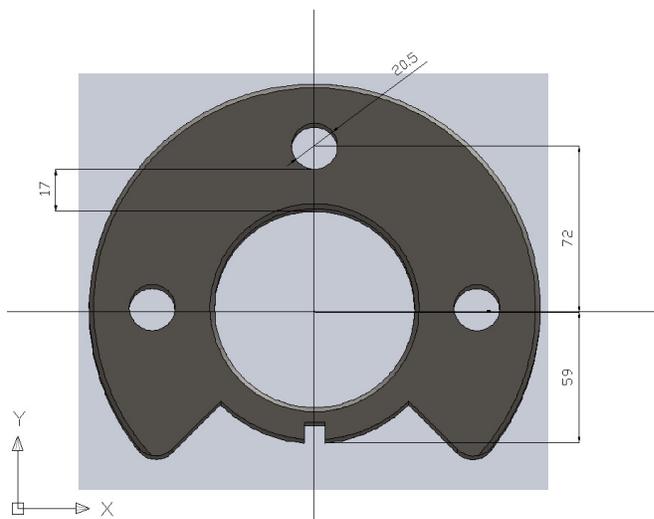
100x100x4	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	2,33	0	2,21	0,55	0	0	0
Barre	1333	1389	1367	1418	1401	1402	1353
Noeud	28	1002	991	1016	1024	1020	23
Cas	23	23	23	27	23	23	25
MIN	-0,01	-2,36	0	0	-2,21	-0,55	-0,02
Barre	1401	1333	1401	1402	1367	1418	1352
Noeud	1024	28	1024	1020	991	1016	943
Cas	27	23	23	23	23	27	22

Avec coréens

100x100x4	S max [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S max(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(My) [daN/mm <sup>2</sup> ]	S min(Mz) [daN/mm <sup>2</sup> ]	Fx/Sx [daN/mm <sup>2</sup> ]
MAX	3,22	0	2,94	0,75	0	0	0
Barre	1333	209	1423	1418	1401	330	1390
Noeud	28	991	1033	1016	1024	1028	1003
Cas	33	32	33	33	33	32	32
MIN	-0,03	-3,28	0	0	-2,94	-0,75	-0,03
Barre	1401	1333	1401	330	1423	1418	1401
Noeud	1024	28	1024	1028	1033	1016	1010
Cas	33	33	33	32	33	33	33

Contrainte extrême : 3.3 daN/mm<sup>2</sup> < 24 daN/mm<sup>2</sup> : OK

### III.15 Vérification des liaisons



Effort de traction sur le boulon supérieur :  $F = 1/3 \times F_x + M_y / 0.131$

Effort de traction sur les boulon inférieurs :  $F = 1/3 \times F_x + M_y / 0.072 / 2 + M_z / 0.144$

Effort dimensionnant pour le boulon supérieur :

Barre/Noeud/Cas	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]	total
746/563/33	-2018	-1	291	0	49	4	-1047

Effort dimensionnant pour les boulons inférieurs :

Barre/Noeud/Cas	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]	total
923/679/33	-2100	-32	32	2	34	33	-1165

Effort max de traction sur un boulon : 1165 daN boulon M20 cl 8.8 OK

Moment provoqué par cette traction sur la bride :  $M = 1165 \times 0.017 = 21 \text{ daN.m}$

La bride est en épaisseur 15mm

Longueur de bride concernée par la flexion : 50mm

Module de flexion de la zone de la bride concernée par la flexion  $W = 5 \times 1.5^2 / 6 = 1.875 \text{ cm}^3$

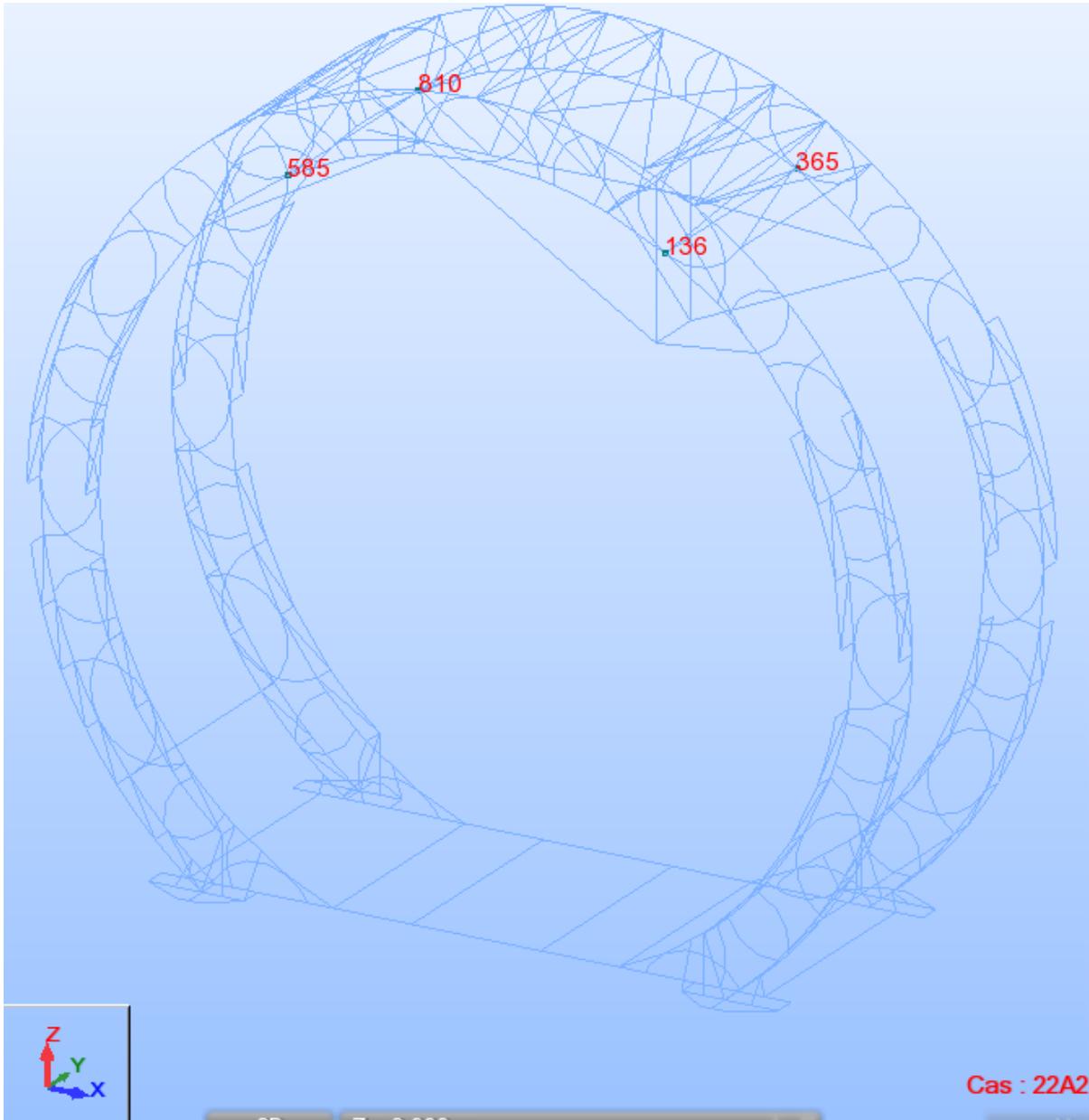
Contrainte de flexion dans cette zone  $\sigma = 21 / 1.875 = 11.22 \text{ daN/mm}^2 < 24 \text{ daN/mm}^2 \text{ OK}$

## IV. Réactions dans les câbles d'haubanage

Les réactions sont données dans le repère global

Nous ne donnons que les réactions horizontales aux points d'haubanage de la structure. Ces réactions ne prennent pas en compte la précontrainte donnée au montage par les tire-forts d'haubanage.

### IV.1 Repérage



## IV.2 Réactions ELU (1.33 x poids propre + 1.5 x la charge)

Nota : les efforts horizontaux ont été pris selon Ox+ et Oy+ pour le calcul. Dans la réalité, les efforts seront aussi dirigés selon Ox- et Oy- et les nœuds sollicités seront inversés ainsi que le sens des efforts.

Nœud/Cas	Fx [daN]	Fy [daN]	Fz [daN]
22/136	0	-1	0
22/365	0	3	0
22/585	-321	-4	0
22/810	-318	0	0
23/136	0	-3	0
23/365	0	5	0
23/585	-47	-5	0
23/810	-44	0	0
24/136	0	-313	0
24/365	0	0	0
24/585	0	-318	0
24/810	0	0	0
25/136	0	-131	0
25/365	0	0	0
25/585	0	0	0
25/810	0	128	0
26/136	0	-155	0
26/365	0	0	0
26/585	0	-160	0
26/810	0	0	0
27/136	0	-1	0
27/365	0	4	0
27/585	0	-5	0
27/810	0	0	0
32/136	0	0	0
32/365	0	3	0
32/585	-174	-6	0
32/810	-169	0	0
33/136	0	0	0
33/365	0	3	0
33/585	0	-7	0
33/810	0	0	0

## V. Stabilité sous charges de vent

Un cas de charge de vent latéral a été ajouté pour tenir compte des montages en extérieur de la structure.

Le vent de base a été fixé à 40 km/h (11.11 m/s soit 7.6 daN/m<sup>2</sup>) limite maximale où les artistes où les artistes jouent sur la structure.

Ce vent de 40 km/h sera appliqué sur tous les tubes de la structure dans la même direction que les efforts majoritaires des trapézistes : combinaisons 122 à 133.

Un vent de 100 km/h (27.77 m/s soit 47.5 daN/m<sup>2</sup>) sera appliqué sur la structure sans les efforts des trapézistes.

Les efforts de vent sont appliqués à tous les tubes qu'ils soient directement dans le vent ou partiellement masqués avec un coefficient de forme de 1 (conditions défavorables pour la structure).

## V.1 Cas de charges et combinaisons

La surface selon X et Y est égale à 32 m<sup>2</sup> soit un effort de : 32m<sup>2</sup> x 7.6 daN/m<sup>2</sup> = 250 daN pour le vent de 40 km/h. Le cas 11 modélise le vent selon X+, le 12 le vent selon Y+.

Le vent X sera ajouté à la combinaison 22 (donnant les efforts les plus importants selon X) ce qui donnera la combinaison 122.

Le vent Y sera ajouté à la combinaison 24 (donnant les efforts les plus importants selon Y) ce qui donnera la combinaison 124.

Combinaison prenant en compte le vent

Combinaison	Nom	Type d'analyse	Nature de la combinaison	Définition
122	CH-X-chaise-cm66+VX	Combinaison NL PD	ELU	1*1.33+(2+11)*1.50
124	CH-trap-d+g-X-cm66+VY	Combinaison NL PD	ELU	1*1.33+(4+8)*3.00+12*1.50
125	VX-100km x 1.5	Combinaison NL PD	ELU	1*1.33+11*9.40
126	VY-100km x 1.5	Combinaison NL PD	ELU	1*1.33+12*9.40

## V.2 Tension dans les haubans

Repérage : voir page 11

Tension : PPx1.33 + (trap + vent) x 1.5

Cas 122	CH-X-chaise-cm66+VX
Nœud/Cas	Fx [daN]
122/136	0
122/365	0
122/585	-277
122/810	-297

Cas 124	CH-trap-d+g-X-cm66+VY
Cas/Noeud	FX [daN]
124/136	-476
124/365	0
124/585	-456
124/810	0

Cas 125	VX-100km x 1.5
Cas/Noeud	FX [daN]
125/136	0
125/365	0
125/585	-610
125/810	-654

Cas 126	VY-100km x 1.5
Cas/Noeud	FX [daN]
126/136	-625
126/365	0
126/585	-590
126/810	0

Les tensions n'excèdent pas 625 daN ce qui est compatible avec des tirforTU8 + câbles Ø8 (charge de rupture TU8 : 4800 daN Câble Ø8 : 4100 daN)

Alain Dessard  
Ingénieur EMA  
Chargé d'études.

## VI. Annexes

### VI.1 Justification au flambement des membrures de la cerce Ø88.9 x 3.2

## Données

<b>Profil rond</b>			
Diamètre	88,9 mm	<	>
Epaisseur	3,2 mm		
		Poids	6,76 daN/ml
<b>Type de profil</b>	<b>ROND</b>		
<b>Effort de compression</b>	525 daN		
<b>Longueur de flambement</b>	3 m		
<b>Moment de flexion associé</b>	60 daN.m		
<b>Matériau</b>	<b>acier</b>		
Module d'élasticité	21000 daN/mm <sup>2</sup>		
Limite élastique $\sigma_{el}$	23,5 daN/mm <sup>2</sup>		
Densité	7850 kg/m <sup>3</sup>		

## Résultats

CALCUL OK

<b>Caractéristiques profil rond</b>	
Section matière	8,616 cm <sup>2</sup>
Moment d'inertie	79,206 cm <sup>4</sup>
Module de flexion	17,819 cm <sup>3</sup>
Rayon de giration	3,032 cm

<b>Résultats intermédiaires</b>	
Elancement Lambda	98,94
Contrainte critique d'Euler	21,17 daN/mm <sup>2</sup>
Eloignement de l'état critique $\mu$	34,74 Tjrs > 1.3
Coefficient k1	1,01
Coefficient k	1,84

<b>Vérification normale</b>	<b>Profil ROND</b>
Contrainte critique	12,77 daN/mm <sup>2</sup>
Contrainte réelle	0,61 daN/mm <sup>2</sup>
Sécurité	20,96 > 1
Taux de travail	0,05 < 1

<b>Vérification flexion composée</b>	
Contrainte normale	0,61 daN/mm <sup>2</sup>
Contrainte flexion	3,37 daN/mm <sup>2</sup>
Coefficient k1	1,01
Coefficient kf	1,04
Contrainte réelle amplifiée	4,12 < $\sigma_{el}$
Sécurité	5,71 > 1
Taux de travail	0,18 < 1

## VI.2 Justification au flambement des membrures des renforts latéraux Ø60x2.9

### Données

<b>Profil rond</b>			
Diamètre	60 mm	<	>
Epaisseur	2,9 mm		
		Poids	4,08 daN/ml
<b>Type de profil</b>	<b>ROND</b>		
<b>Effort de compression</b>	823 daN		
<b>Longueur de flambement</b>	5,8 m		
<b>Moment de flexion associé</b>	12 daN.m		
<b>Matériau</b>	<b>acier</b>		
Module d'élasticité	21000 daN/mm <sup>2</sup>		
Limite élastique $\sigma_{el}$	23,5 daN/mm <sup>2</sup>		
Densité	7850 kg/m <sup>3</sup>		

### Résultats

CALCUL OK

<b>Caractéristiques profil rond</b>	
Section matière	5,202 cm <sup>2</sup>
Moment d'inertie	21,256 cm <sup>4</sup>
Module de flexion	7,085 cm <sup>3</sup>
Rayon de giration	2,021 cm

<b>Résultats intermédiaires</b>	
Elancement Lambda	286,93
Contrainte critique d'Euler	2,52 daN/mm <sup>2</sup>
Eloignement de l'état critique $\mu$	1,59 $T_{jrs} > 1.3$
Coefficient k1	2,03
Coefficient k	12,38

<b>Vérification normale</b>	<b>Profil ROND</b>
Contrainte critique	1,90 daN/mm <sup>2</sup>
Contrainte réelle	1,58 daN/mm <sup>2</sup>
Sécurité	1,20 > 1
Taux de travail	0,83 < 1

<b>Vérification flexion composée</b>	
Contrainte normale	1,58 daN/mm <sup>2</sup>
Contrainte flexion	1,69 daN/mm <sup>2</sup>
Coefficient k1	2,03
Coefficient kf	5,57
Contrainte réelle amplifiée	12,64 < $\sigma_{el}$
Sécurité	1,86 > 1
Taux de travail	0,54 < 1

### VI.3 Justification au flambement des diagonales des renforts latéraux Ø 33x2.6

## Données

<b>Profil rond</b>			
Diamètre	33 mm	<	>
Epaisseur	2,6 mm		
		Poids	1,95 daN/ml
<b>Type de profil</b>	<b>ROND</b>		
<b>Effort de compression</b>	670 daN		
<b>Longueur de flambement</b>	1,04 m		
<b>Moment de flexion associé</b>	2 daN.m		
<b>Matériau</b>	<b>acier</b>		
Module d'élasticité	21000 daN/mm <sup>2</sup>		
Limite élastique $\sigma_{el}$	23,5 daN/mm <sup>2</sup>		
Densité	7850 kg/m <sup>3</sup>		

## Résultats

CALCUL OK

<b>Caractéristiques profil rond</b>	
Section matière	2,483 cm <sup>2</sup>
Moment d'inertie	2,889 cm <sup>4</sup>
Module de flexion	1,751 cm <sup>3</sup>
Rayon de giration	1,079 cm

<b>Résultats intermédiaires</b>	
Elancement Lambda	96,41
Contrainte critique d'Euler	22,30 daN/mm <sup>2</sup>
Eloignement de l'état critique $\mu$	8,26 $T_{jrs} > 1.3$
Coefficient k1	1,04
Coefficient k	1,78

<b>Vérification normale</b>	<b>Profil ROND</b>
Contrainte critique	13,22 daN/mm <sup>2</sup>
Contrainte réelle	2,70 daN/mm <sup>2</sup>
Sécurité	4,90 > 1
Taux de travail	0,20 < 1

<b>Vérification flexion composée</b>	
Contrainte normale	2,70 daN/mm <sup>2</sup>
Contrainte flexion	1,14 daN/mm <sup>2</sup>
Coefficient k1	1,04
Coefficient kf	1,19
Contrainte réelle amplifiée	4,17 < $\sigma_{el}$
Sécurité	5,63 > 1
Taux de travail	0,18 < 1

## VI.4 justification barres de maintien de cerce 50x50x2.5

### Données

		<b>Profil rectangulaire</b>	
		Base	50 mm
		Hauteur	50 mm
		Epaisseur	2,5 mm
		Poids	3,71 daN/ml
<b>Type de profil</b>	<b>RECT2</b>		
<b>Effort de compression</b>	1040	daN	
<b>Longueur de flambement</b>	0,8	m	
<b>Moment de flexion associé</b>	0,00	daN.m	
<b>Matériau</b>	<b>ACIER</b>		
Module d'élasticité	21000	daN/mm <sup>2</sup>	
Limite élastique $\sigma_{el}$	23,5	daN/mm <sup>2</sup>	
		Flamb selon faible inertie	<b>Rect1</b>
		Flamb selon forte inertie	<b>Rect2</b>

### Résultats

CALCUL OK

		<b>Caractéristiques profil rectangulaire</b>	
		Section matière	4,750 cm <sup>2</sup>
		Moment d'inertie max	17,911 cm <sup>4</sup>
		Moment d'inertie min	17,911 cm <sup>4</sup>
		Module de flexion max	7,165 cm <sup>3</sup>
		Module de flexion min	7,165 cm <sup>3</sup>
		Rayon de giration max	1,942 cm
		Rayon de giration min	1,942 cm
<b>Résultats intermédiaires</b>			
Elancement Lambda	41,20		
Contrainte critique d'Euler	122,12	daN/mm <sup>2</sup>	
Eloignement de l'état critique $\mu$	55,77	Tjrs > 1.3	
Coefficient k1	1,01		
Coefficient k	1,07		
<b>Vérification normale</b>	<b>Profil</b>	<b>RECT2</b>	
Contrainte critique	21,95	daN/mm <sup>2</sup>	
Contrainte réelle	2,19	daN/mm <sup>2</sup>	
Sécurité	10,03	> 1	
Taux de travail	0,10	< 1	
		<b>Vérification flexion composée</b>	<b>RECT2</b>
		Contrainte normale	2,19 daN/mm <sup>2</sup>
		Contrainte flexion	0,00 daN/mm <sup>2</sup>
		Coefficient k1	1,01
		Coefficient kf	1,02
		Contrainte réelle amplifiée	2,20 < $\sigma_{el}$
		Sécurité	10,67 > 1
		Taux de travail	0,09 < 1