

# RAPPORT DE DIAGNOSTIC STRUCTURE

Diagnostic Structure Bois

Adresse du DIAG :  
Avenue de l'école nationale d'équitation  
Saumur  
49411

## CHARGÉE D'AFFAIRES

Gwenaëlle POIRIER  
Ingénieure Structure  
Tél : 02.72.47.03.00  
Mail : g.poirier@quarco.fr

# SOMMAIRE

<b>01</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>3</b>
01.1	Contexte de la mission .....	3
01.2	Descriptions techniques générales.....	6
01.3	Données d'entrée.....	7
01.4	Informations importantes.....	7
<b>02</b>	<b>Hypothèses .....</b>	<b>8</b>
02.1	Textes normatifs et hypothèses de calcul.....	8
02.2	Caractéristiques des matériaux .....	8
02.3	Charges .....	9
<b>03</b>	<b>Rapport Photo.....</b>	<b>14</b>
03.1	Reportage photographique.....	14
<b>04</b>	<b>Analyse de la structure actuelle .....</b>	<b>34</b>
04.1	Modélisation.....	34
04.2	Vérifications des éléments de charpente sous Eurocode 5.....	37
<b>05</b>	<b>Etudes des cas de surcharges applicables aux portiques.....</b>	<b>46</b>
05.1	Dimensionnement des pannes supports de puits de lumière.....	48
05.2	Définition des surcharges sur les portiques en partie courante.....	50
05.3	Définition des surcharges sur les portiques proches pignon .....	60
05.4	Vérification des assemblages.....	66
<b>06</b>	<b>Mise en place d'un écran sur les poteaux pignon est.....</b>	<b>71</b>
<b>07</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>73</b>

# 01 Introduction

## 01.1 Contexte de la mission

Le bureau d'étude Anjou Structure a été missionné par l'IFCE de Saumur pour la réalisation d'un diagnostic sur la charpente bois du Grand Manège.



*Figure 1 - vue générale (photo d'ensemble du bâtiment)*

Le bâtiment est situé sur le site de l'IFCE de Saumur.



Figure 2 - plan de localisation du site (plan de situation google map)

Le Grand Manège est un bâtiment accueillant du public pour des représentations équestres. La charpente est donc équipée de matériel de sonorisation et de mise en lumière des spectacles, installés sur différentes rampes.

Le client souhaite pouvoir avoir plus de flexibilité sur les surcharges « artistiques » applicables à la charpente.

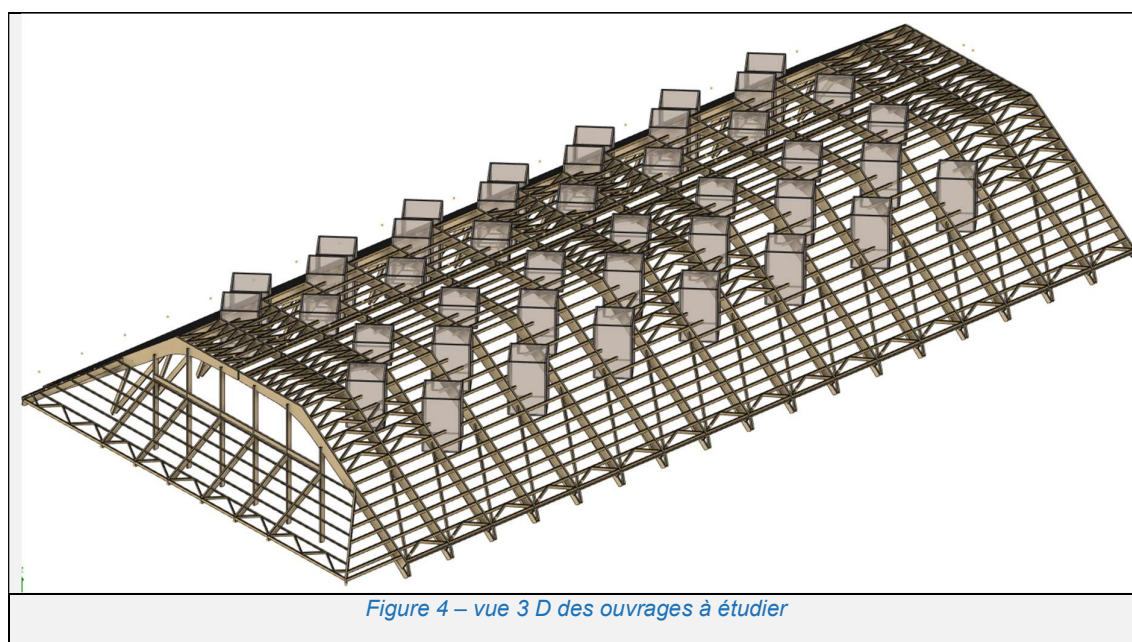
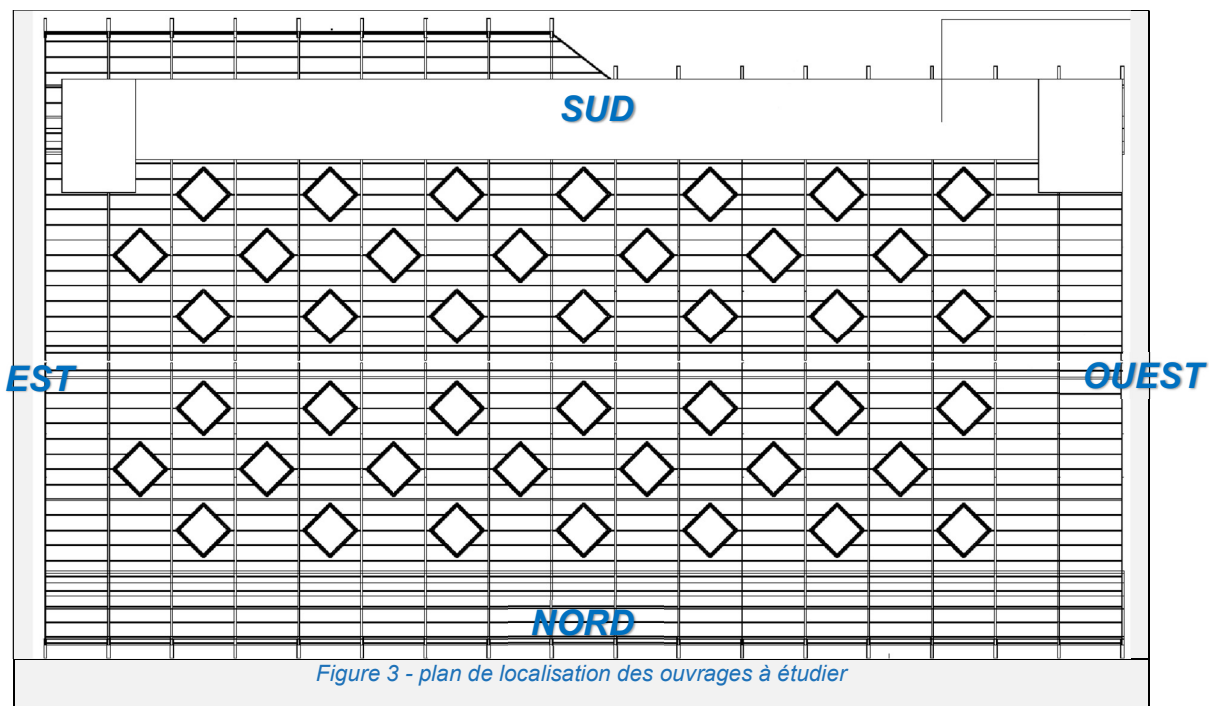
Dans un premier temps, une visite sur site a été réalisée pour ces différentes missions :

- Analyse visuelle de l'état sanitaire de la charpente complète afin de déceler d'éventuelles désordres
- Relevé de l'implantation de la charpente
- Relevé des sections de charpentes
- Vérification de la présence de renforcements (diagnostic 2016)
- Rapport illustré des zones sondées sur site

Dans un second temps, une modélisation en 3D de la charpente a été réalisée sur un logiciel de calcul de structure. Cette modélisation permettra :

- Analyse de la capacité portante de la charpente suite aux constats visuels
- Analyse de 4 cas de surcharges applicables aux portiques de la charpente
- Préconisation de renforcements, si nécessaire
- Capacité portante pour la mise en place d'un écran sur le pignon intérieur est
- Fourniture des plans de méthodologie de mise charges des portiques





## 01.2 Descriptions techniques générales

Le bâtiment est constitué d'une charpente en bois de 18 portiques lamellé-collé. Une partie des portiques sont symétriques par rapport au faitage, d'autres portiques se prolongent d'un côté afin de former un appentis (façade Sud). Les portiques sont composés de deux arbalétriers à inertie variable, se rejoignant au faitage et articulé en pied et en tête. De chaque côté des portiques, des jambes de force doublé en lamellé-collé, forment un V sous les arbalétriers à environ mi-longueur de la forte pente. Les arbalétriers et les jambes de forces sont en appuis sur des butées bétons, au niveau des gradins pour les jambes de forces, en extérieurs pour arbalétriers formants appentis et jusqu'au nu extérieur du bâtiment pour les autres arbalétriers.

Sur le pignon EST, le dernier portique possède plusieurs appuis intermédiaires formés par des poteaux lamellé-collé en appuis sur un plateau en béton plus haut que les gradins. Dernière ce portiques, des arbalétriers descendent en appuis sur les poteaux bétons, en dans les angles, des arbalétriers forment les noues.

Entre les portiques, des pannes portent le complexe de toiture, composé de panneaux de type CTBH, chevrons, et ardoises sur liteaux. En sous face, il a une faux plafond décoratif ajouré en panneaux de contreplaqué, et sur une partie de la toiture, coté sud, il y a des panneaux photovoltaïques.



Figure 4 - Zone à diagnostiquer

### 01.3 Données d'entrée

La visite du site a eu lieu le 07/11/2024.

Les documents suivants nous ont été communiqués :

- Rapport de diagnostic réalisé en 2016 par le BET ICM Structure

### 01.4 Informations importantes

La mission d'Anjou Structure consiste :

- Visite sur site et relevés
- Inspection sanitaire complète
- Rapport de capacité portante du bâtiment
- Fourniture des plans de chargement des portiques en fonction des cas de charge
- Etude spécifique pour la mise en place d'un écran

## 02 Hypothèses

### 02.1 Textes normatifs et hypothèses de calcul

Les règlements et textes dont tient compte cette étude sont les suivants :

- Eurocode 0
- Eurocode 1
- Eurocode 3
- Eurocode 5
- Différents DTU
- Différentes normes

### 02.2 Caractéristiques des matériaux

#### 02.2.1 Matériaux bois

Lamellé collé GL24h : Caractéristiques mécaniques

- Contrainte caractéristique de flexion :  $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
- Module caractéristique axial :  $E_{mean} = 11\,500 \text{ MPa}$
- Masse volumique moyenne :  $\rho_m = 420 \text{ daN/m}^3$
- Humidité des bois :  $H = 12 \%$

Résineux C24 : Caractéristiques mécaniques

- Contrainte caractéristique de flexion :  $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
- Module caractéristique axial :  $E_{mean} = 11\,000 \text{ MPa}$
- Masse volumique moyenne :  $\rho_m = 420 \text{ daN/m}^3$
- Humidité des bois :  $H = 12 \%$

#### 02.2.2 Matériaux aciers

Acier S235 : Caractéristiques mécaniques

- Contrainte d'élasticité :  $\sigma_e = 235 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité :  $E = 210\,000 \text{ MPa}$

Acier S275 : Caractéristiques mécaniques

- Contrainte d'élasticité :  $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité :  $E = 210\,000 \text{ MPa}$



## 02.3 Charges

### 02.3.1 Charges permanentes

Les charges permanentes considérées dans les calculs sont les suivantes :

#### Toiture Grand Manège

30	daN/m <sup>2</sup>	Ardoise + liteaux	
6	daN/m <sup>2</sup>	Chevrans	
6	daN/m <sup>2</sup>	Panneaux CTBH	
Poids propre	daN/m <sup>2</sup>	Pannes	
10	daN/m <sup>2</sup>	Habillage en sous face	
20	daN/m <sup>2</sup>	Panneaux Photovoltaïque + support	<i>Selon zone</i>
$G_1 =$	52 +20	daN/m <sup>2</sup>	

La charpente porte également des structures secondaires en ossature bois, formant des puits de lumières. Ces puits de lumières de forme carré, sont de 3 hauteurs différentes, mais de cotés égaux. Les ossatures sont constituées de deux contreplaqués, ép. 10 et 15mm, et d'une ossature en 45x120 C24. Ces puits de lumières dépassent de moitié en extérieur et sont habillés d'ardoise en extérieur.

#### Parois puits de lumière

30	daN/m <sup>2</sup>	Ardoise + liteaux
6	daN/m <sup>2</sup>	Panneaux CP ép. 10mm
9	daN/m <sup>2</sup>	Panneaux CP ép. 15mm
10	daN/m <sup>2</sup>	Ossatures 45x120 C24
40	daN/m <sup>2</sup>	Vitrage + Occultation
$G_2 =$	95	daN/m <sup>2</sup>

Charges des puits de lumière rapportés au ml sur pannes :

Puits petits : hauteur 2m20 >> 209 daN/ml

Puits moyens : hauteur 4m65 >> 442 daN/ml

Puits grands : hauteur 5m55 >> 527 daN/ml

*Complexe de charges estimé réalisé sans curage destructif.*

### 02.3.2 Charges d'exploitation

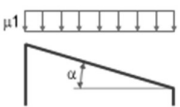
#### Entretien (Catégorie H)

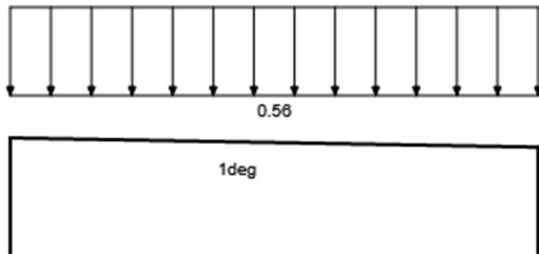
$$Q_1 = 150 \text{ daN}$$

### 02.3.3 Charge de neige

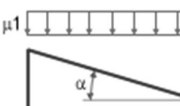
Nous sommes en région A1. Nous retiendrons la charge de neige au sol suivante :

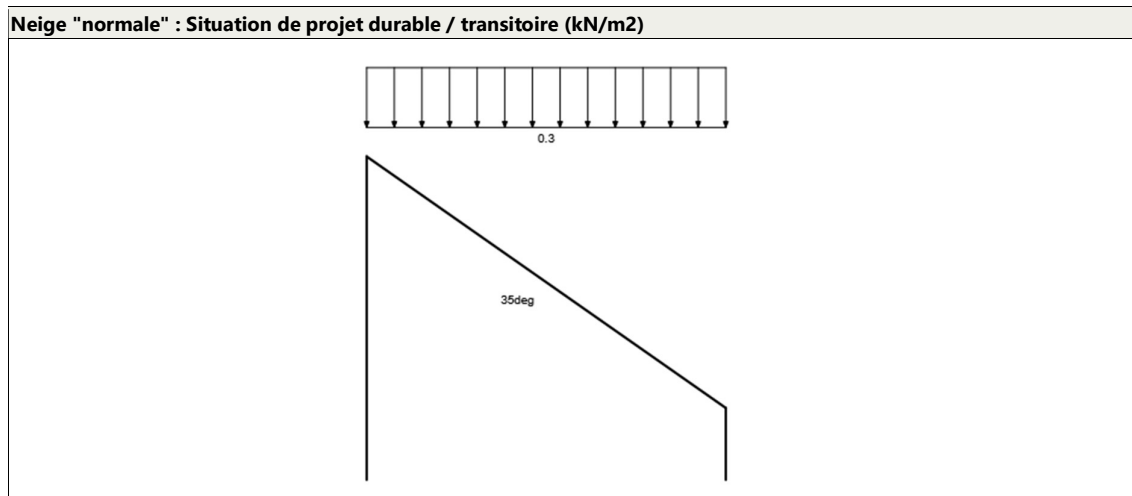
- Toiture partie plate: 56 daN/m<sup>2</sup>

- Charges de neige S (Normale), Sa (Accidentelle)		
Valeur caractéristique (sk) et exceptionnelle (Sad) de la charge de neige sur le sol pour l'altitude considérée		
Région de neige : A1 ; Altitude du site : 40m		
$s_k$	0.45kN/m <sup>2</sup>	$s_k = s_{k0} = 0.45\text{kN/m}^2$
$s_{Ad}$	0kN/m <sup>2</sup>	$s_{Ad} = C_{esl}s_{k0} = 0 \times 0.45 = 0\text{kN/m}^2$
Coefficients		
$C_e$	1	Coefficient d'exposition (Site normal)
$C_t$	1	Coefficient thermique
Sans dispositifs de retenue de neige		
Cas de neige : S1		
 $S = \mu_1 C_t C_e s_k + s_{ice} = 0.8 \times 1 \times 1 \times 0.45 + 0.2 = 0.56\text{kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8$		

Neige "normale" : Situation de projet durable / transitoire (kN/m <sup>2</sup> )


- Toiture pente 35°: 30 daN/m<sup>2</sup>

- Charges de neige S (Normale), Sa (Accidentelle)		
Valeur caractéristique (sk) et exceptionnelle (Sad) de la charge de neige sur le sol pour l'altitude considérée		
Région de neige : A1 ; Altitude du site : 40m		
$s_k$	0.45kN/m <sup>2</sup>	$s_k = s_{k0} = 0.45\text{kN/m}^2$
$s_{Ad}$	0kN/m <sup>2</sup>	$s_{Ad} = C_{esl}s_{k0} = 0 \times 0.45 = 0\text{kN/m}^2$
Coefficients		
$C_e$	1	Coefficient d'exposition (Site normal)
$C_t$	1	Coefficient thermique
Sans dispositifs de retenue de neige		
Cas de neige : S1		
 $S = \mu_1 C_t C_e s_k = 0.67 \times 1 \times 1 \times 0.45 = 0.3\text{kN/m}^2$ $\mu_1 = 0.8(60 - \alpha)/30 = 0.8(60 - 35)/30 = 0.67$		



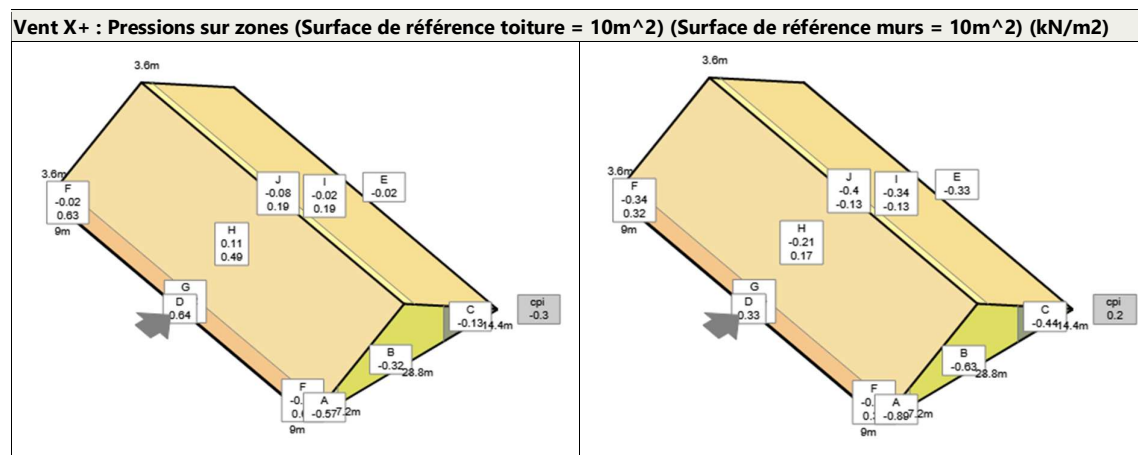
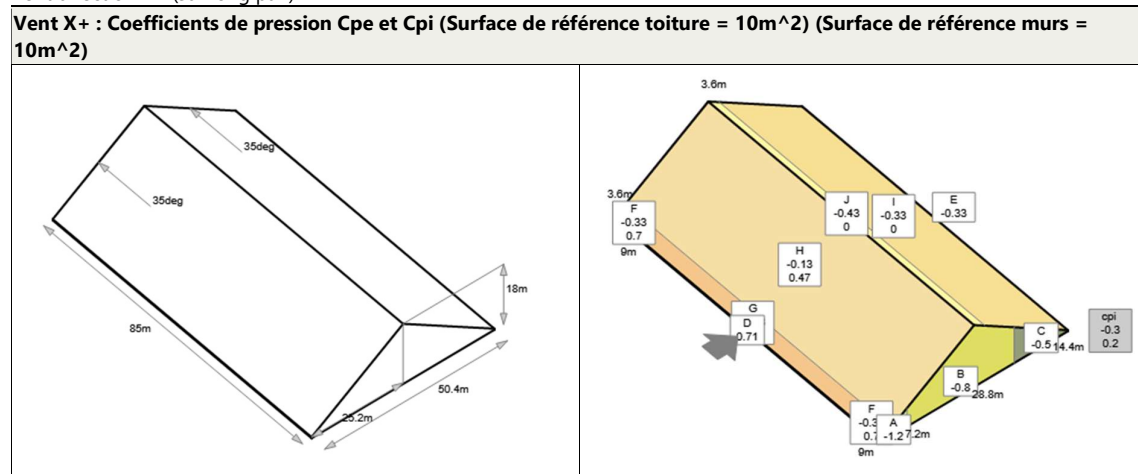
#### 02.3.4 Charge de vent

Nous sommes en région 2, zone IIIb. Nous retiendrons la pression dynamique de vent suivante

- Toiture : 63 daN/m<sup>2</sup>

Caractéristiques générales des charges de vent		
Région	2	
Rugosité du terrain	(IIIb) Bocage dense	
Orographie du terrain	Terrain plat ou de faible pente (Inférieur à 5%)	
z	18 m	Hauteur de calcul de la pression dynamique du vent
v <sub>b</sub>	24m/s	Vitesse de référence du vent
q <sub>p</sub> (z)	0.63 kN/m <sup>2</sup>	Pression dynamique de pointe pour la hauteur de calcul z

Vent direction X+ (sur long pan)



**Vent X+ : Détail des forces résultantes pour chaque niveau (Normales et excentrées) (Avec coefficient de corrélation)**

Niveau	Fx	Fy	xp	yp	Fx excentré	Fy excentré	xp excentré	yp excentré
-	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[m]	[m]
0	692.13	0	25.2	42.5	690.04	0	25.2	42.37



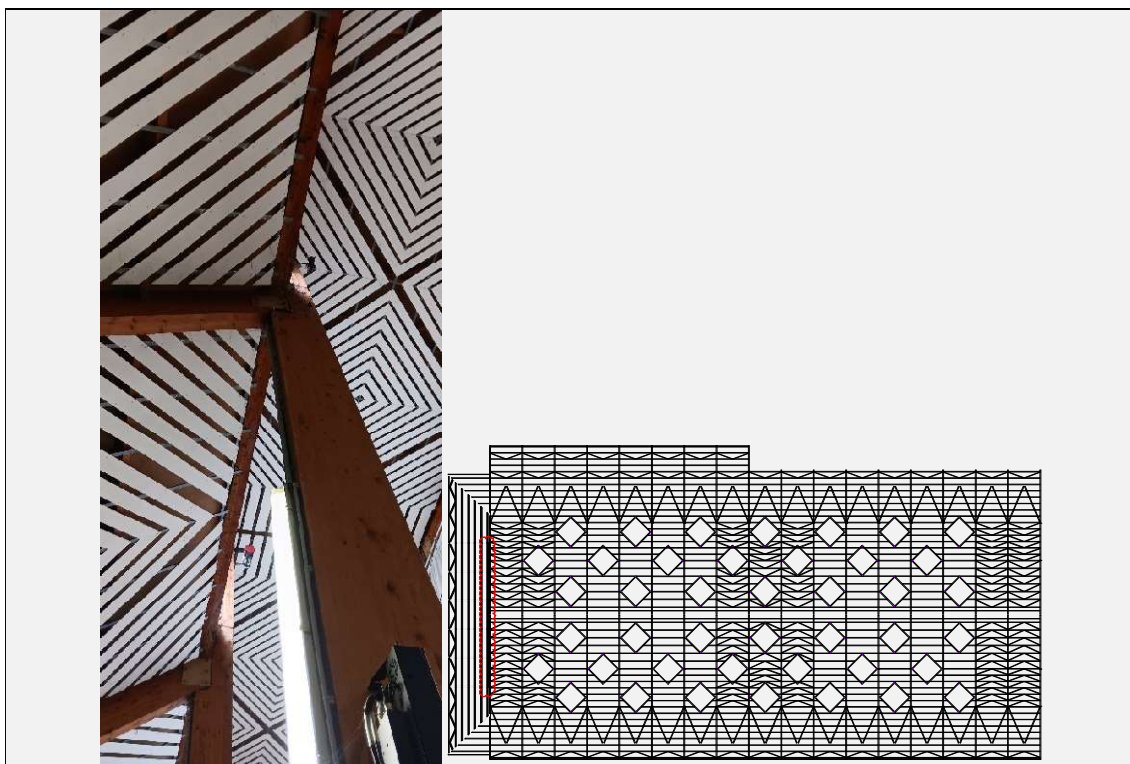


## 03 Rapport Photo

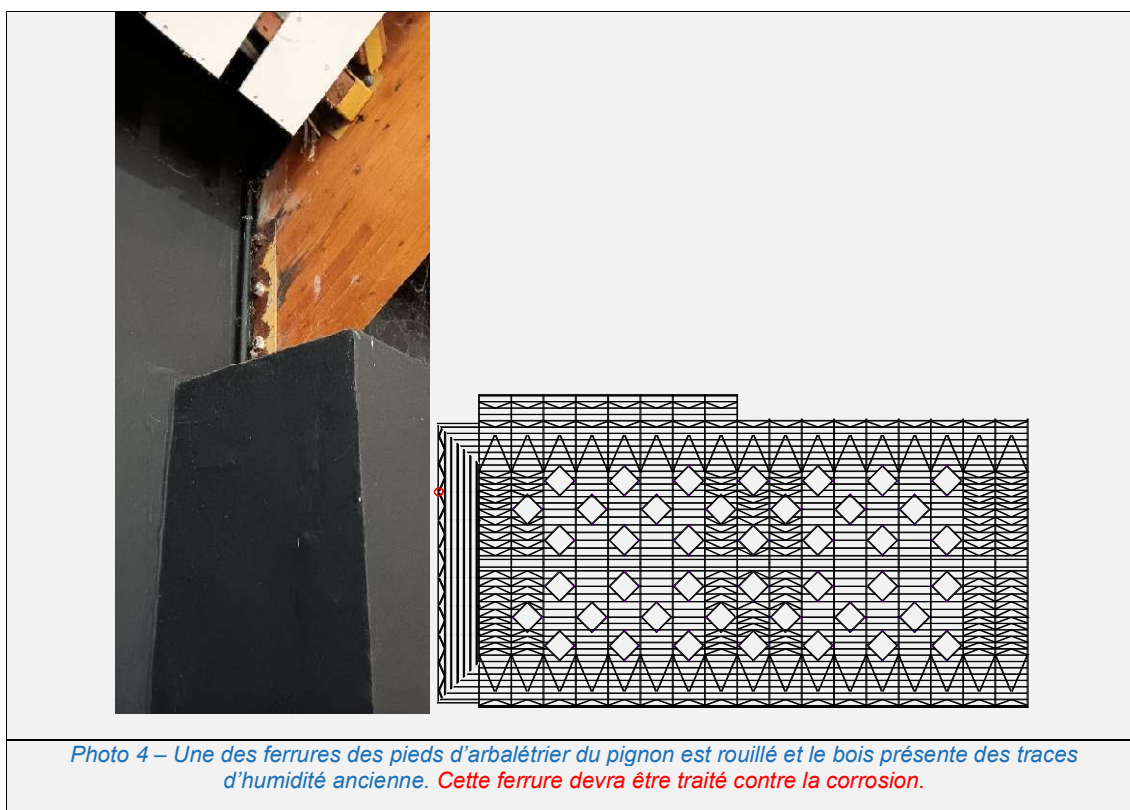
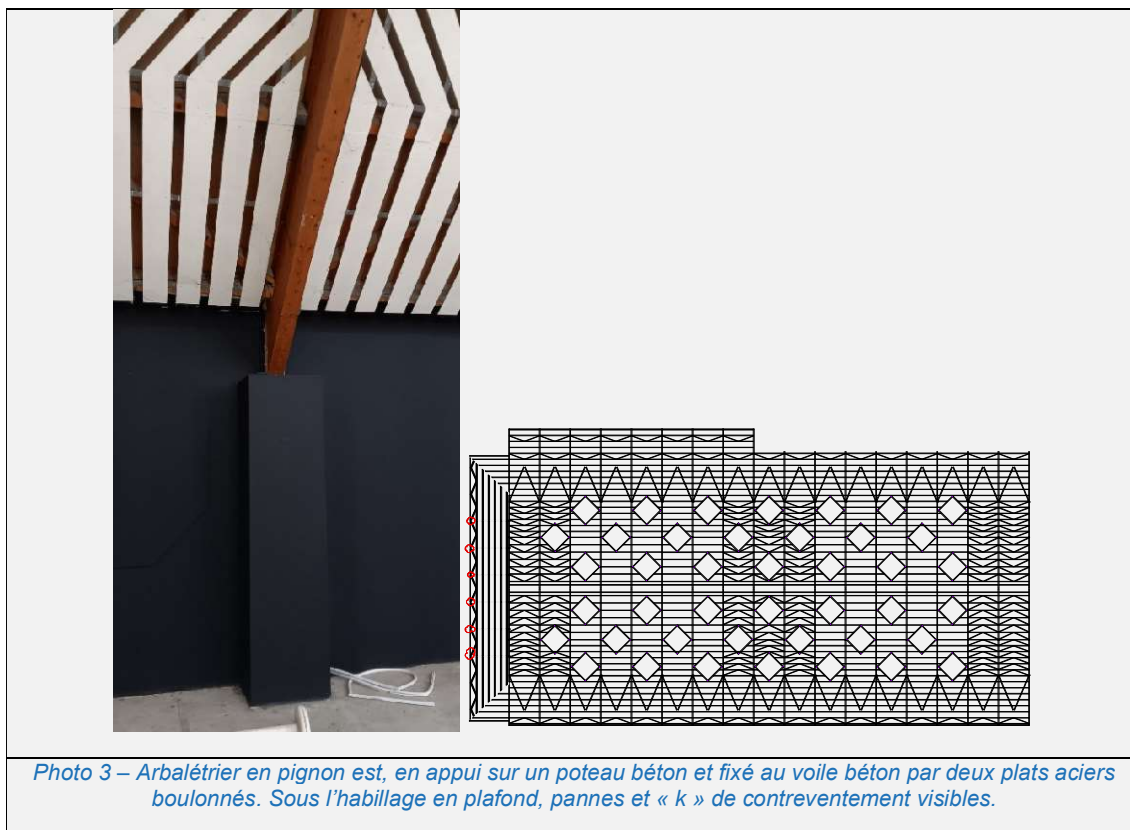
### 03.1 Reportage photographique



*Photo 1 – Couverture avec panneaux photovoltaïques façade sud. Mousse sur ardoises. Légère déformée des la couverture entre deux arbalétriers. Puits de lumière dépassant en toiture, visibles, avec revêtement en ardoise sur les parois verticales.*

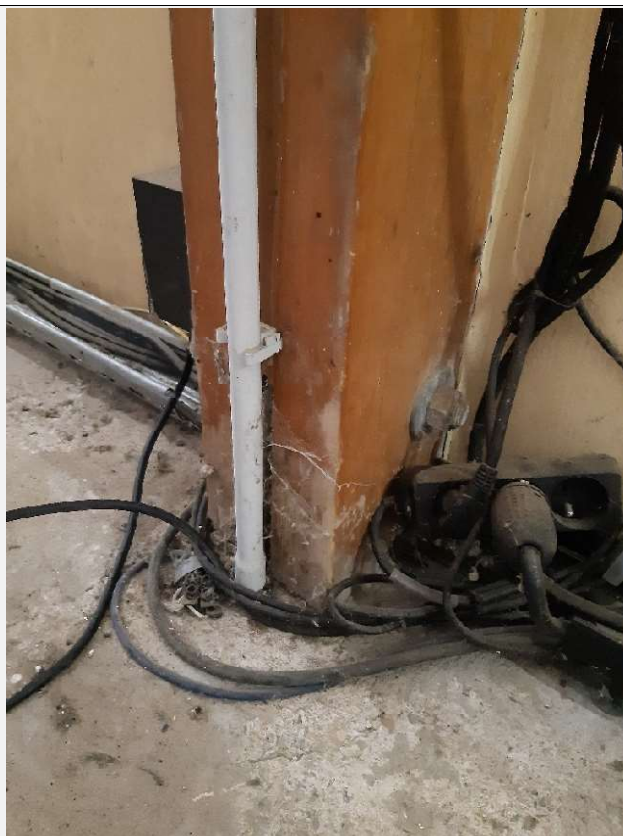


*Photo 2 – En pignon est, sous le 1<sup>er</sup> arbalétrier, poteaux formants appuis intermédiaires, en lamellé collé et sur lequel viennent se fixer les arbalétriers du pignon.*





*Photo 5 – En bas de pente de la façade pignon est, nous pouvons voir les pannes et les poutres de contreventement. Les pannes fixées sur sabot acier, et contreventement fixé sur ferrure en âme.*



*Photo 6 – Fixation des poteaux articulés sur une dalle béton par ferrure en âme boulonnée.*





*Photo 7 – ferrure du faitage, partie bois*



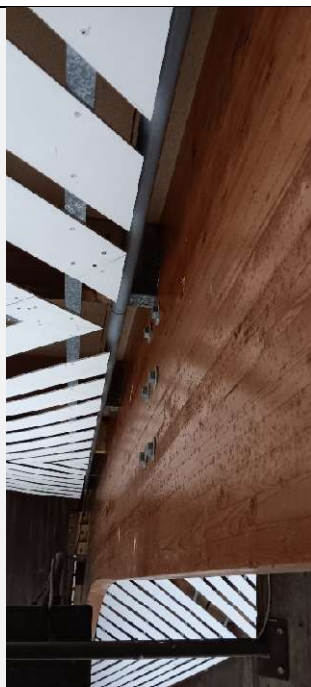
*Photo 8 – ferrure du faitage, clef de faitage*



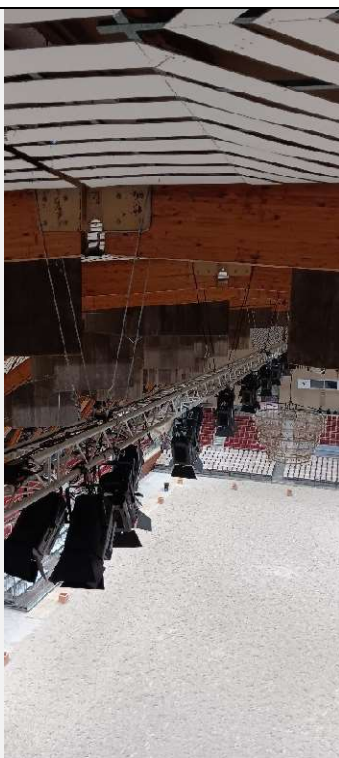
*Photo 9 – Premier portique pignon est, avec les poteaux fixés en enfourchement et boulonnés.*



*Photo 10 – Fixation d'un angle de puit de lumière sur l'arbalétrier via une ferrure mécano soudée.*



*Photo 11 - Fixation d'un angle de puit de lumière sur l'arbalétrier via une ferrure mécano soudée, boulons traversant sur l'arbalétrier.*



*Photo 12 – Les équipements techniques sont fixés sur un poutre métallique suspendu au niveau du faitage par des câbles.*



*Photo 13 – Trace d'humidité sur les contreplaqués à l'intérieur des puits de lumière.*

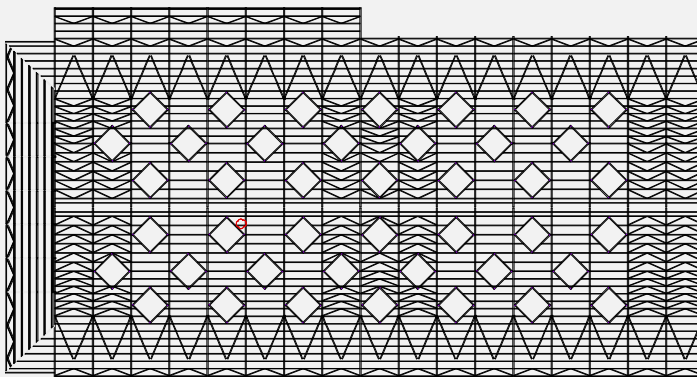


*Photo 14 – Fixation des angles de puits de lumière aux pannes par des ferrures mécano soudées.*

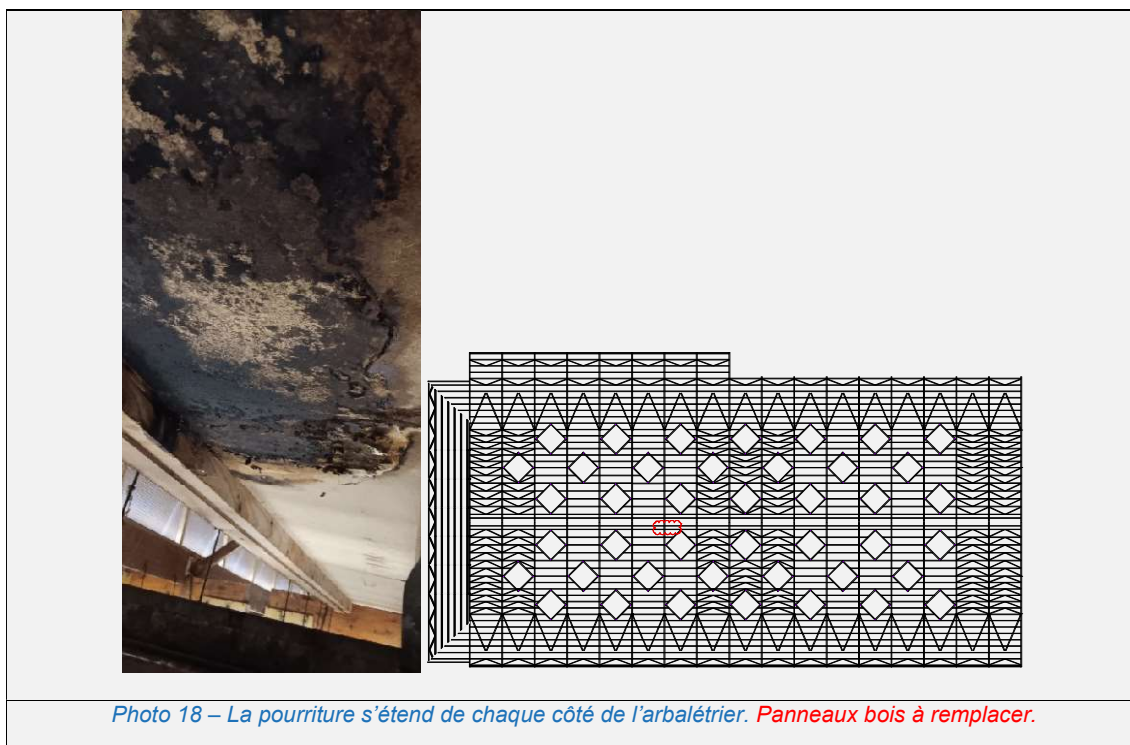
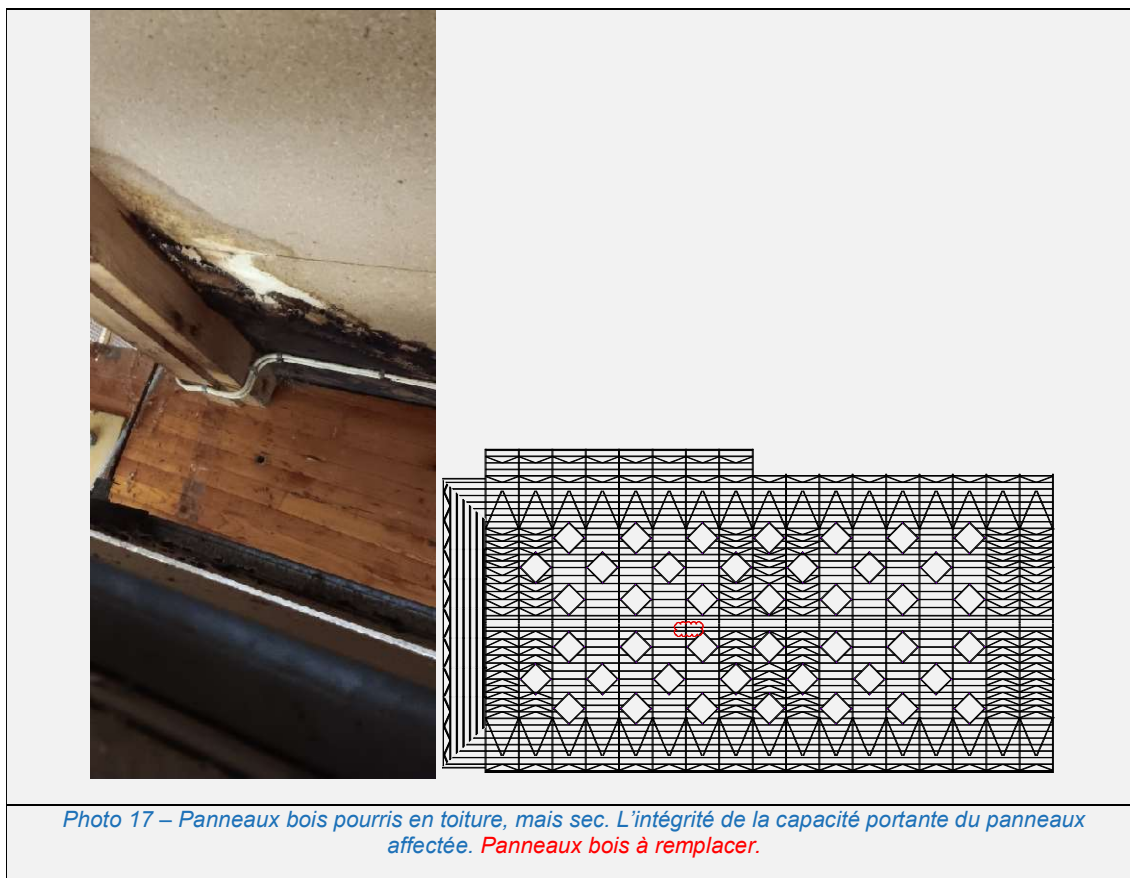




*Photo 15 – Fixation des pannes aux arbalétriers sur sabot.*



*Photo 16 – Trace ancienne d'humidité sur le panneau bois en toiture.*

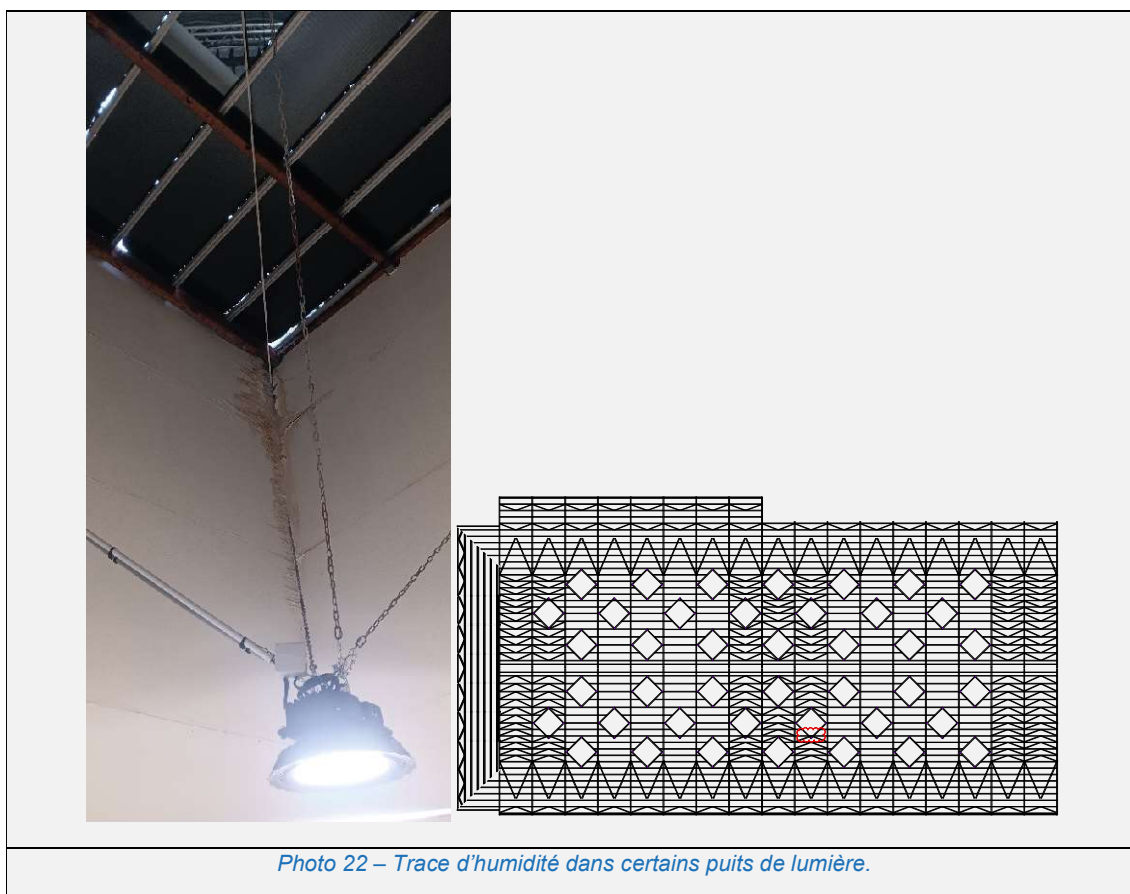
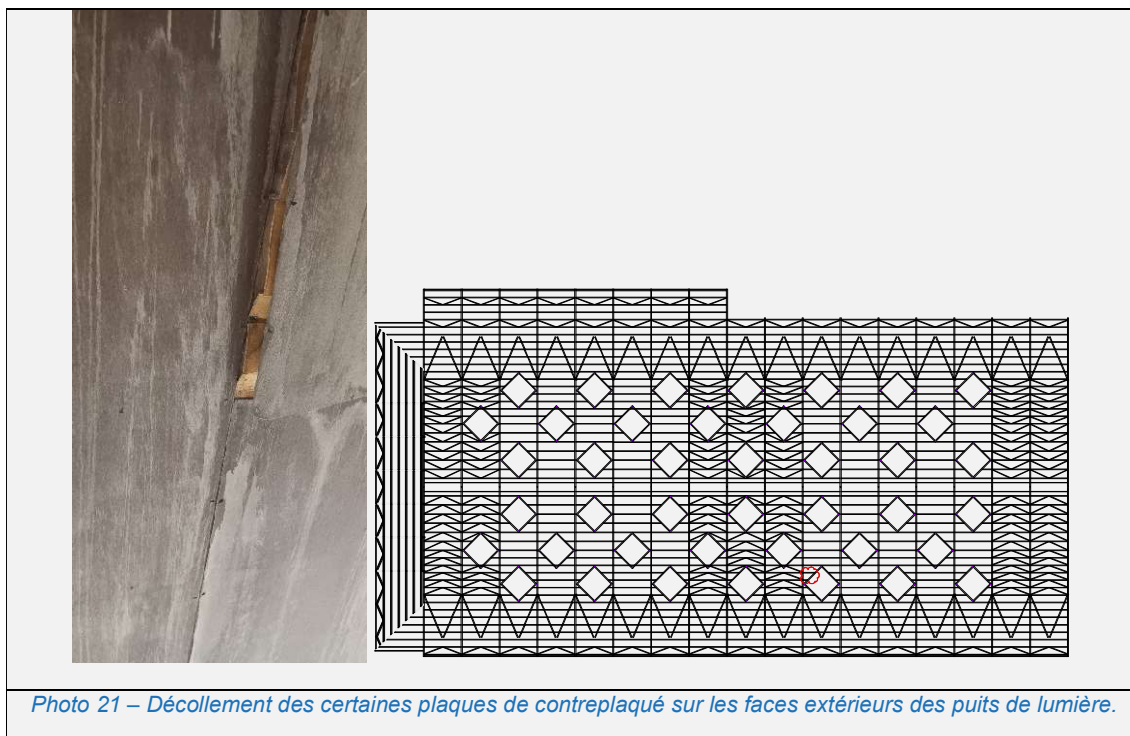




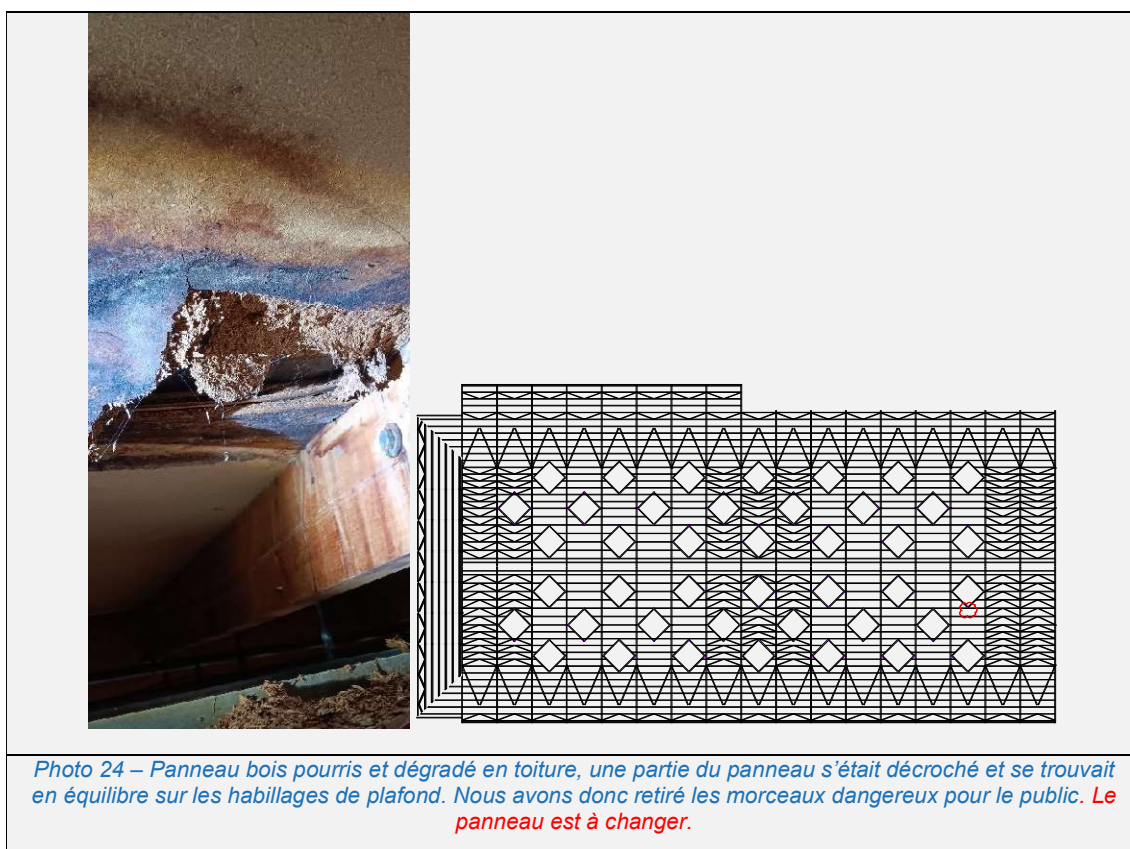
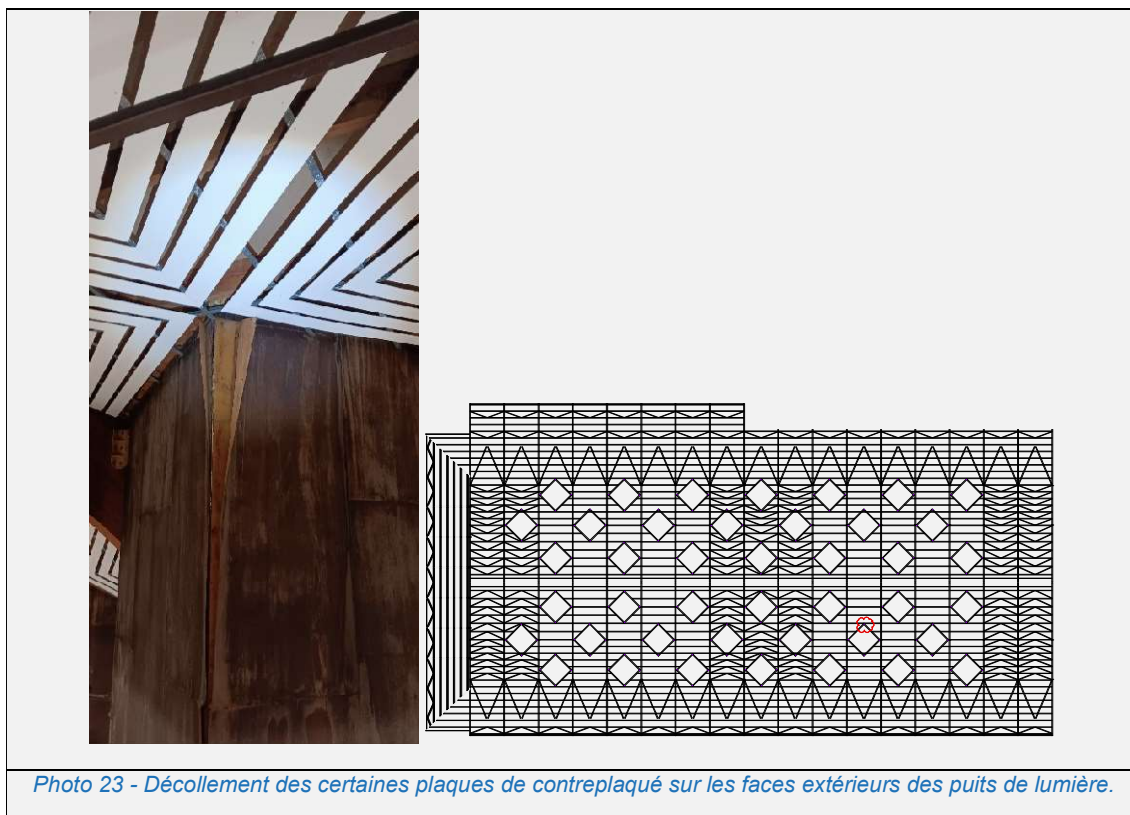
*Photo 19 – Assemblage des contreventement en toiture par ferrure mécano soudé en âme.*



*Photo 20 – Vue de l'intérieur des puits de lumières.*











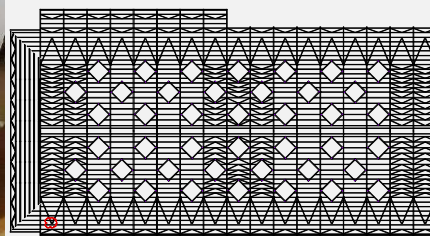
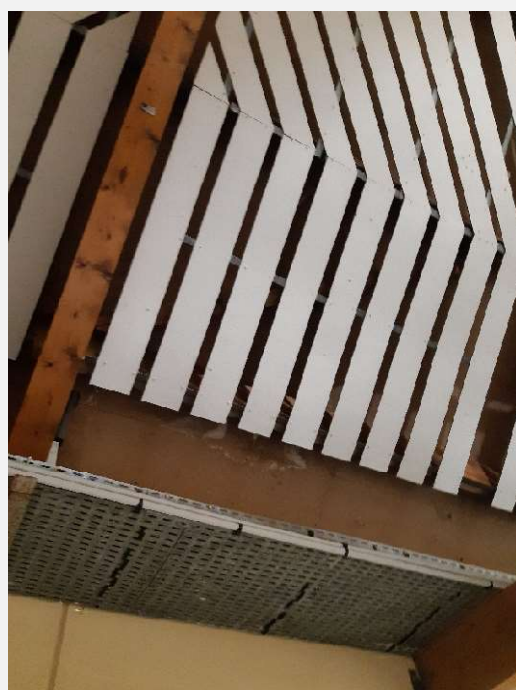
*Photo 25 – La fuite a due être réparée car le taux d'humidité est à 18% mais est au-dessus de la moyenne sur cette charpente.*



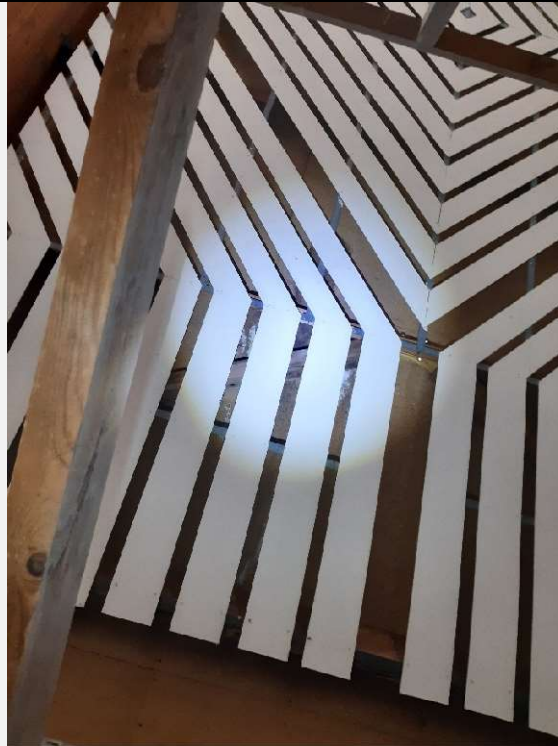
*Photo 26 - Panneaux bois pourris en toiture, mais sec. L'intégrité de la capacité portante du panneaux affectée. **Panneaux bois à remplacer.***



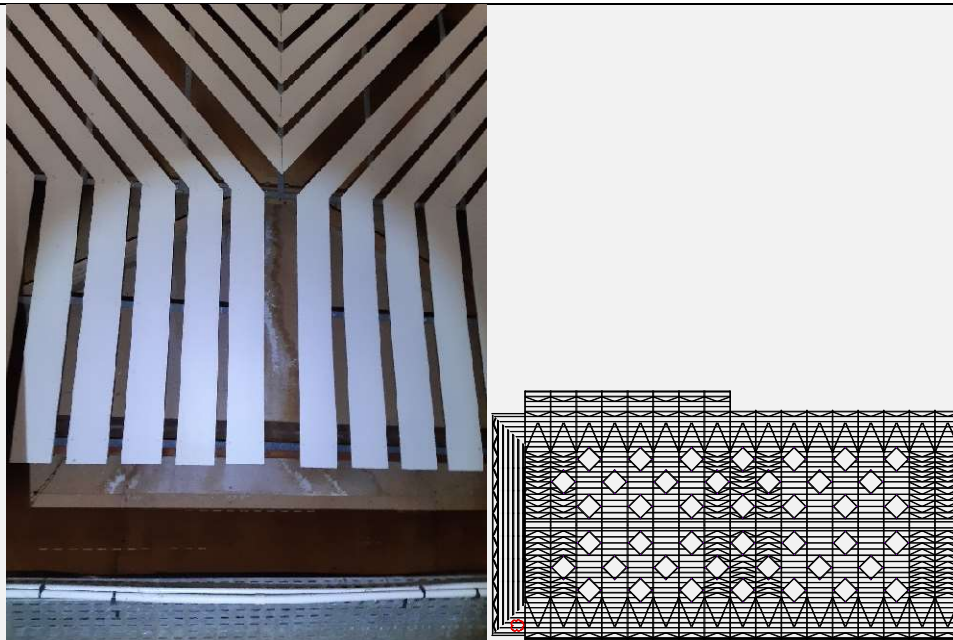
*Photo 27 – Double jambe de force sous arbalétrier.*



*Photo 28 – Trace d'humidité sur les panneaux bois.*



*Photo 29 - Trace d'humidité sur les panneaux bois.*



*Photo 30 - Trace d'humidité sur les panneaux bois.*



*Photo 31 – Pied d'arbalétrier en façade Nord.*



*Photo 32 – Pied d'arbalétrier en façade Sud.*



*Photo 33 – Panneaux bois sous appentis légèrement déformés.*

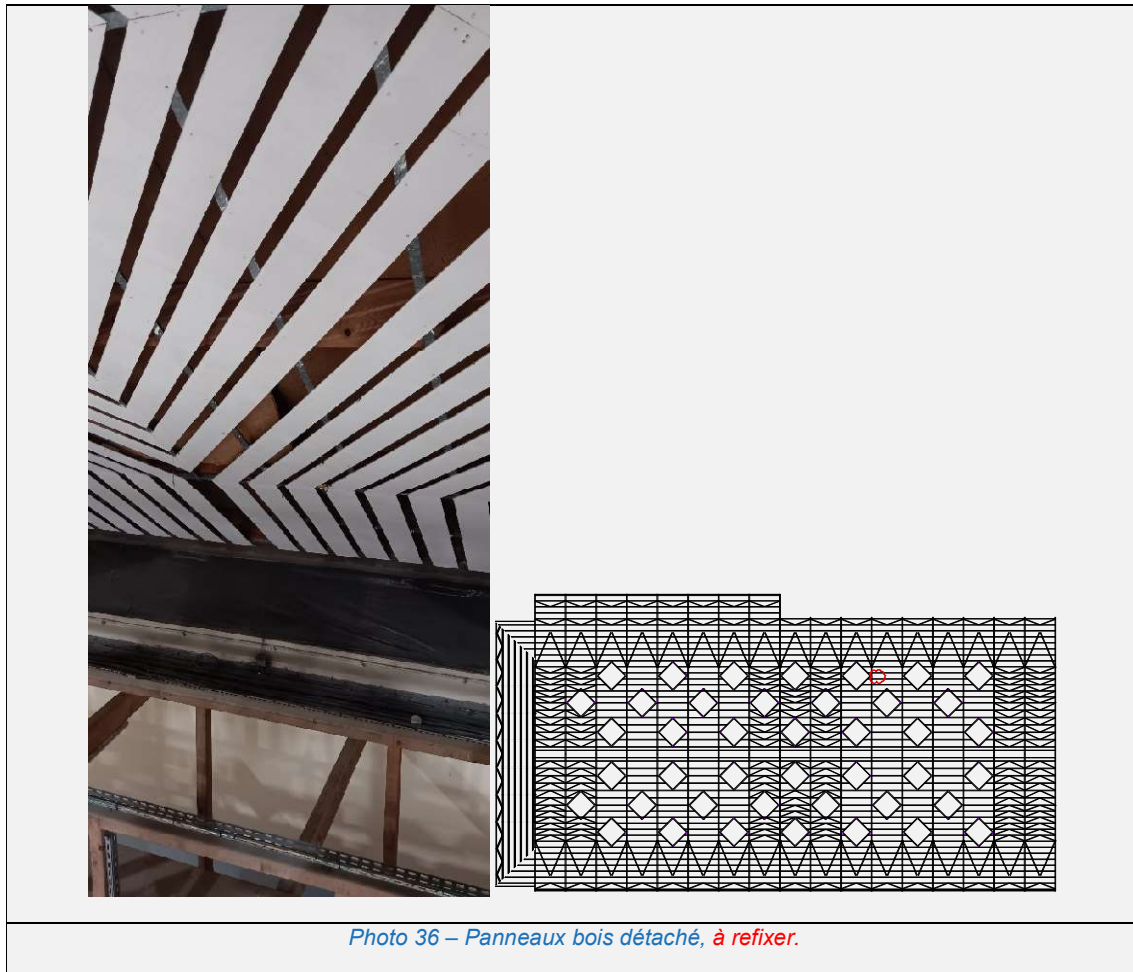


*Photo 34 – Panneaux bois sous appentis avec trace de pourriture, à remplacer.*





*Photo 35 – Toiture façade Sud.*



L'inspection visuelle du manège a permis de relevé quelques points de vigilance et d'entretien :

- Sur la couverture, réalisé un nettoyage / démoussage des ardoises,
- Ferrure pignon est à traiter contre la corrosion (photo n°4),
- Les différents panneaux bois CTBH en toiture qui ont subi des dégradations dues à des infiltrations, sont à remplacer,
- Les panneaux bois CTBH qui sont détachés, même partiellement, sont à refixer.
- Au niveau des zones qui présentent des traces d'humidité ou de pourriture des panneaux bois, il est nécessaire de s'assurer que toutes les fuites au niveau de la couvertures ont été réparées.

Dans l'ensemble, nous n'avons pas identifier de désordre sur les pièces de charpente (flèche, fente ou pourriture). Le taux d'humidité est dans l'ensemble homogène et correspond à une classe de service 2, c'est-à-dire un taux inférieur à 20% dans la plupart des bois.

Lors de notre visite nous avons constaté que les renforcements des pannes porteuses des puits de lumières préconisés lors du diagnostic de 2016, n'avaient pas été réalisés.

**La charpente du Grand Manège est globalement saine et en bon état.**

## 04 Analyse de la structure actuelle

Dans ce paragraphe nous allons vérifier la structure bois sous les charges actuelles.

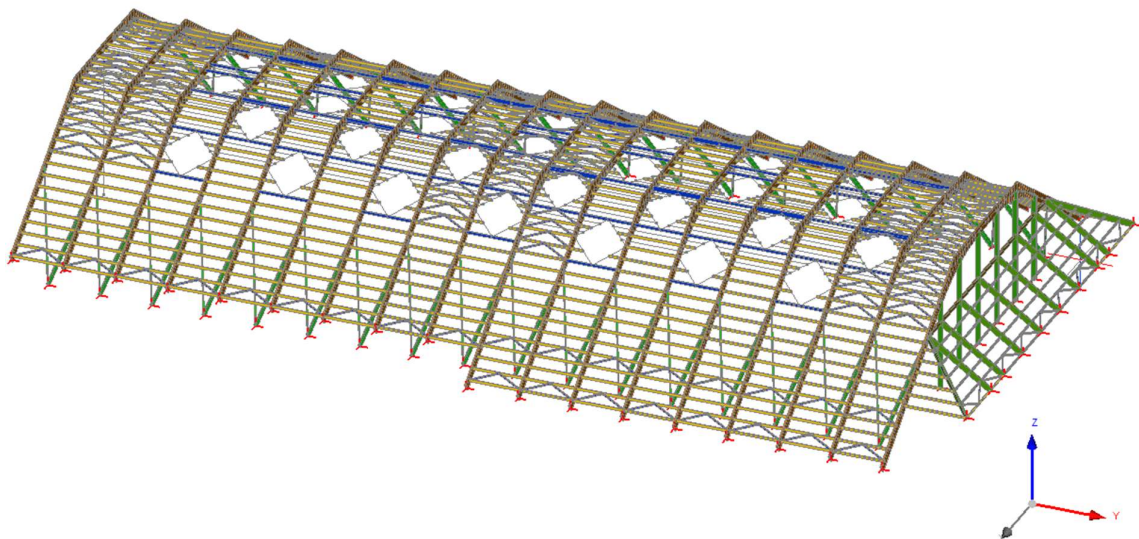
### 04.1 Modélisation

Le logiciel Acord Bat est utilisé pour la modélisation. Ce modèle 3D permet :

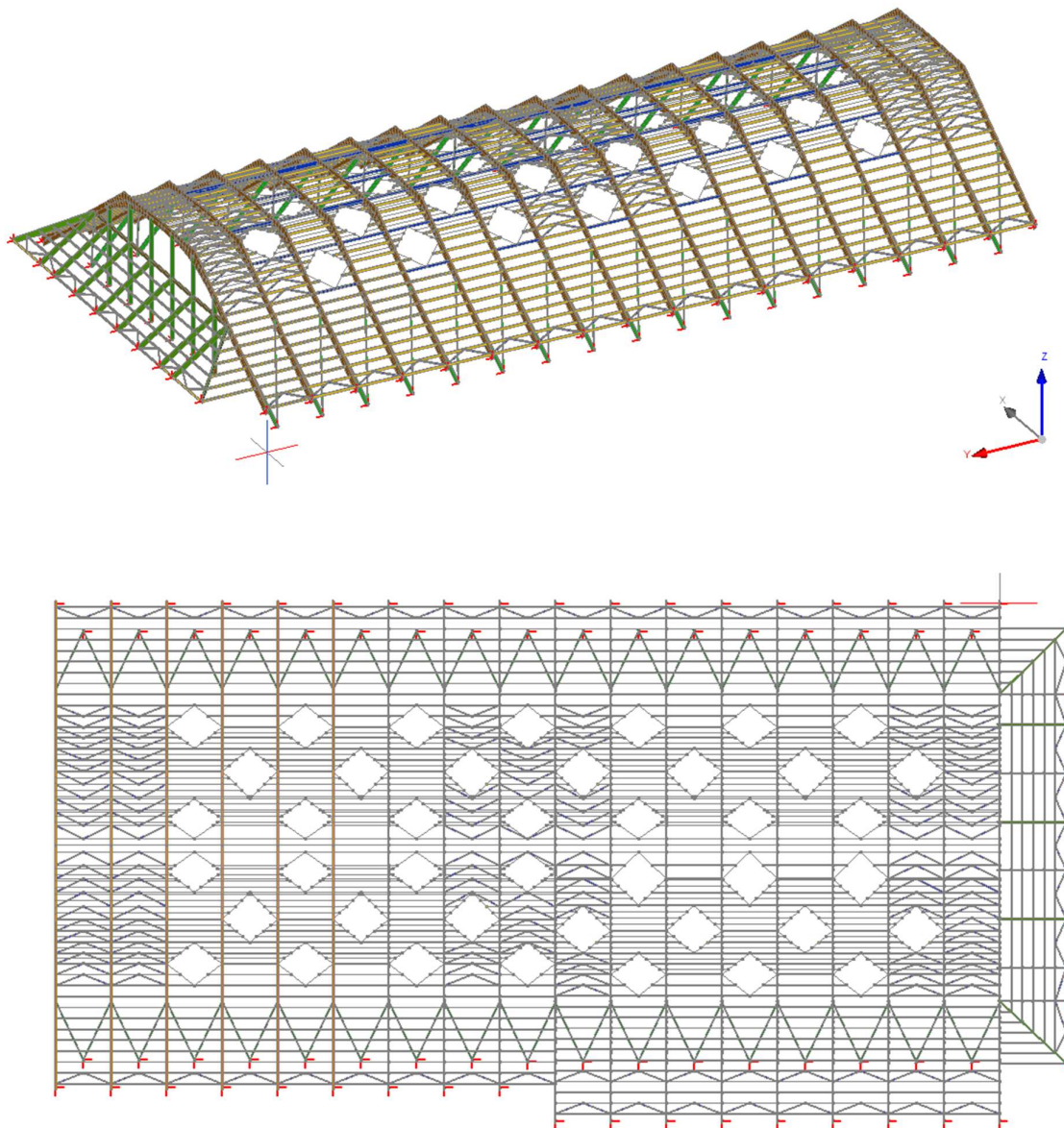
- La vérification du dimensionnement des pièces en bois.
- Le calcul de la répartition des efforts sur les contreventements en fonction de la rigidité des pièces.

#### **Construction des modèles**

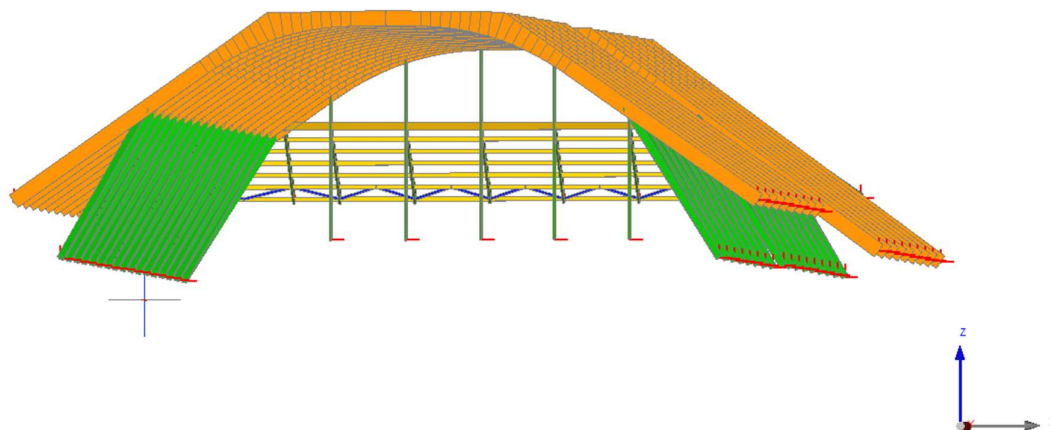
- **L'étude est menée sur l'ensemble des structures bois qui composent la superstructure.**
- L'ensemble des pièces principales composant la structure est modélisé. Elles sont modélisées par des barres rotulées, les barres bois sont modélisées avec leur section réelle, et un matériau tel que décrit au paragraphe 2.2.











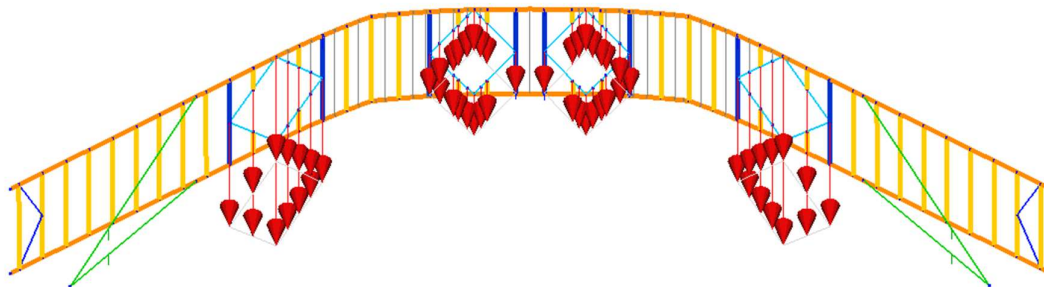
Les pièces de bois ont été modélisées en fonction des relevés réalisés sur site.

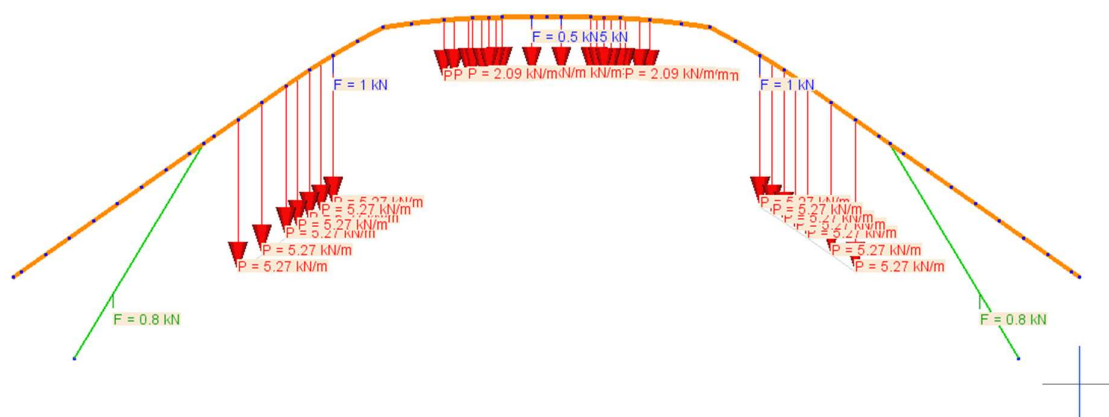
Habituellement, les bois de charpente en lamellé collé d'une section équivalente aux portiques, sont classés en classe mécanique GL28h. Le manège ayant été réalisé en 1984, nous ne pouvons garantir un tel niveau de résistance, nous prenons donc comme hypothèse des lamellés collés GL24h.

Nous n'avons pas identifié d'encastrement sur site, tous les appuis sont donc articulés.

Pour la modélisation des puits de lumière, nous avons modélisé l'impact des puits dans le plan de la charpente et appliqué les charges linéiques décrites au paragraphe 2.3.1.

Des charges permanentes ponctuels sont appliqués sur les jambes de forces afin de prendre en compte le poids des coursives techniques.

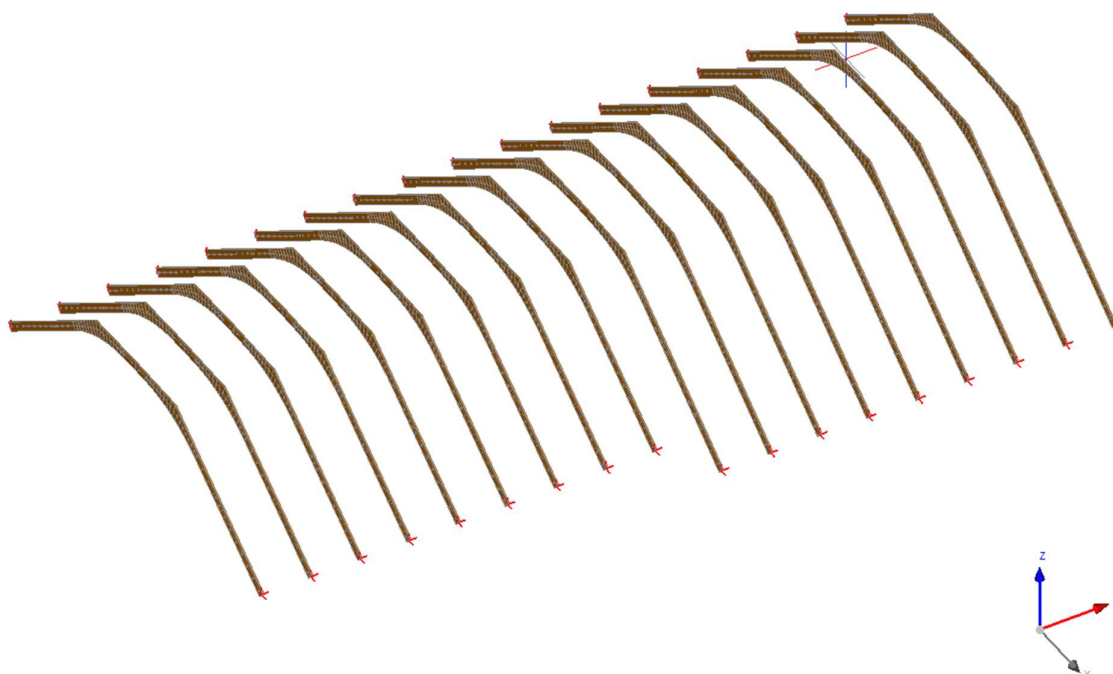


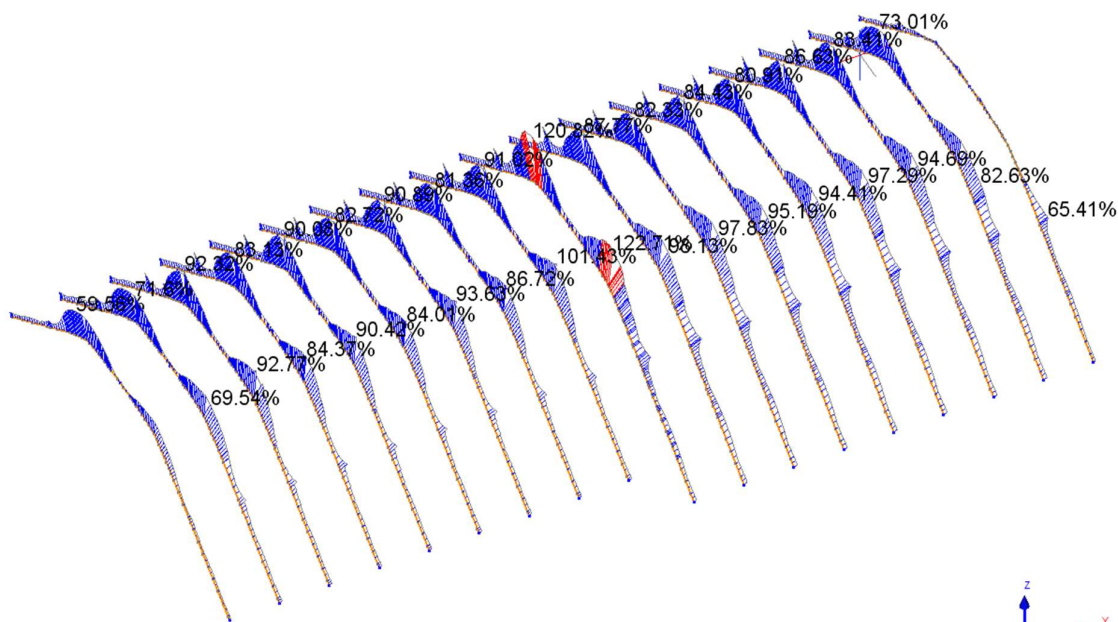


En bleu sur le schéma ci-dessus, les charges ponctuels correspondants aux rames d'équipements techniques (son et lumière).

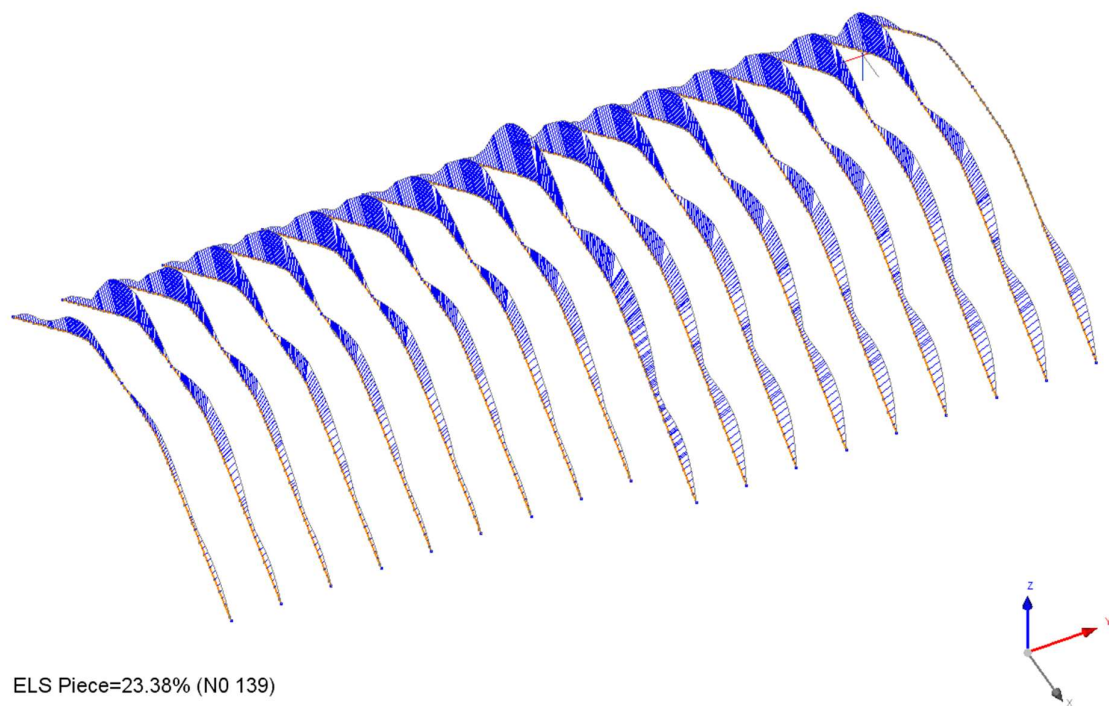
## 04.2 Vérifications des éléments de charpente sous Eurocode 5

### 04.2.1 Vérification des portiques lamellé collés





ELU Piece=122.71% (N0 137)



ELS Piece=23.38% (N0 139)

Un des portiques est sous-dimensionnés vis-à-vis de la norme Eurocode 5. Ce portique correspond au portique portant le grand lustre central de 800 daN. Cependant, aucun désordre n'a été constaté sur site, et le lustre sera retiré.

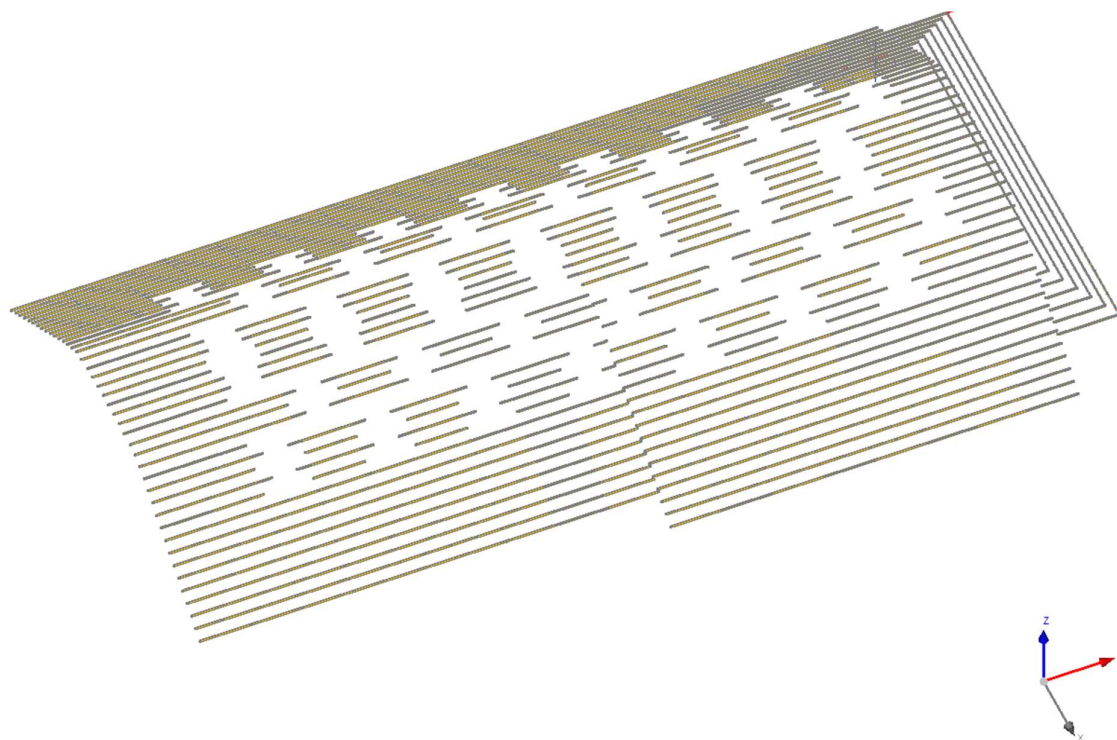
Pour les autre portiques, nous constatons le bon dimensionnement des portiques, autour de 90% de taux de travail

Résultat détaillé d'un des portiques :

Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0.9 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.73 / N = -262.79 kN / Vy = 1.01 kN / Vz = -35.97 kN / Mx = -0.03 kN*m / My = 151.14 kN*m / Mz = -0.09 kN*m		
Taux de travail EC5_FM1TaperedZp oskr	81.36%	$\left  \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,a} k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{2.63}{0.17 \times 1 \times 19.01} + 0.7 \frac{0.02}{20.91} \right  = 0.81$
Résistance contraintes axiales - Apex		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.73 / N = -207.6 kN / Vy = 0.91 kN / Vz = -23.5 kN / Mx = -0.02 kN*m / My = 100.82 kN*m / Mz = -0.09 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1NonTaperZ negkr	24.86%	$\left  - \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  - \left( \frac{-0.96}{11.52} \right)^2 + \frac{-3.05}{1 \times 12.67} + 0.7 \frac{-0.02}{13.94} \right  = 0.25$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.64 / N = -205.33 kN / Vy = -3.66 kN / Vz = 30.82 kN / Mx = -0.1 kN*m / My = 34.72 kN*m / Mz = -2.96 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	28.91%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ 0.49 }{1.68} = 0.29$
Résistance traction perpendiculaire au fil		
ELU-STR / 8: 1.35G+1.5W2 (LC1) / Instantané / kmod = 1.1 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.55 / N = -179.83 kN / Vy = -2.47 kN / Vz = 15.75 kN / Mx = -0.1 kN*m / My = -11.2 kN*m / Mz = -1.04 kN*m		
Taux de travail EC5_90T	3.3%	$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0.01}{1.7 \times 0.37 \times 0.44} = 0.03$
Combinaison traction perpendiculaire au fil et cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.64 / N = -205.33 kN / Vy = -3.66 kN / Vz = 30.82 kN / Mx = -0.1 kN*m / My = 34.72 kN*m / Mz = -2.96 kN*m		
Taux de travail EC5_90CCombined	28.91%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{ 0.49 }{1.68} + \frac{0}{1.7 \times 0.37 \times 0.24} = 0.29$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0.9 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.73 / N = -260.21 kN / Vy = 1.16 kN / Vz = 30.72 kN / Mx = -0.12 kN*m / My = 151.51 kN*m / Mz = -0.06 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	78.07%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ 2.63 }{0.18 \times 19.01} = 0.78$

Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (24.95m)	Travée	$\frac{7.69}{80.86} = 9.51\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{19.23-0}{121.29} = 15.86\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0.8, wcreep=5.17mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (24.95m)	Travée	$\frac{0.3}{80.86} = 0.37\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{1.25-0}{121.29} = 1.03\%$ 3: G+S (LC3) (L/200) (kdef=0.8, wcreep=0.53mm)

## 04.2.2 Vérification des pannes en partie courante



- Panne support de couverture ardoise :

- Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 7: 1.35G+1.5W+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1.1 / gamma_m = 1.3 xrel = 0.5 / N = -0.69 kN / Vy = 0 kN / Vz = 0 kN / Mx = 0 kN*m / My = -3.7 kN*m / Mz = -0.49 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1	31.89%	$\left  -\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  -\left(\frac{-0.04}{17.77}\right)^2 + \frac{-5.14}{20.31} + 0.7 \frac{-2.2}{23.33} \right  = 0.32$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.3 xrel = 0 / N = -0.41 kN / Vy = 0 kN / Vz = -1.95 kN / Mx = 0 kN*m / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	13.13%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0.24 }{1.85} = 0.13$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 9: 1.35G+1.5W2+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1.1 / gamma_m = 1.3 xrel = 0.5 / N = -0.93 kN / Vy = 0 kN / Vz = 0 kN / Mx = 0 kN*m / My = -1.14 kN*m / Mz = 1.3 kN*m		
Taux de travail EC5_B2	34.94%	$\left  \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{-0.05}{0.06 \times 17.77} + 0.7 \frac{-1.58}{20.31} + \frac{-5.78}{23.33} \right  = 0.35$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.3 xrel = 0.5 / N = -0.41 kN / Vy = 0 kN / Vz = 0 kN / Mx = 0 kN*m / My = -2.44 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	37.22%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ -3.38 }{0.82 \times 11.08} = 0.37$



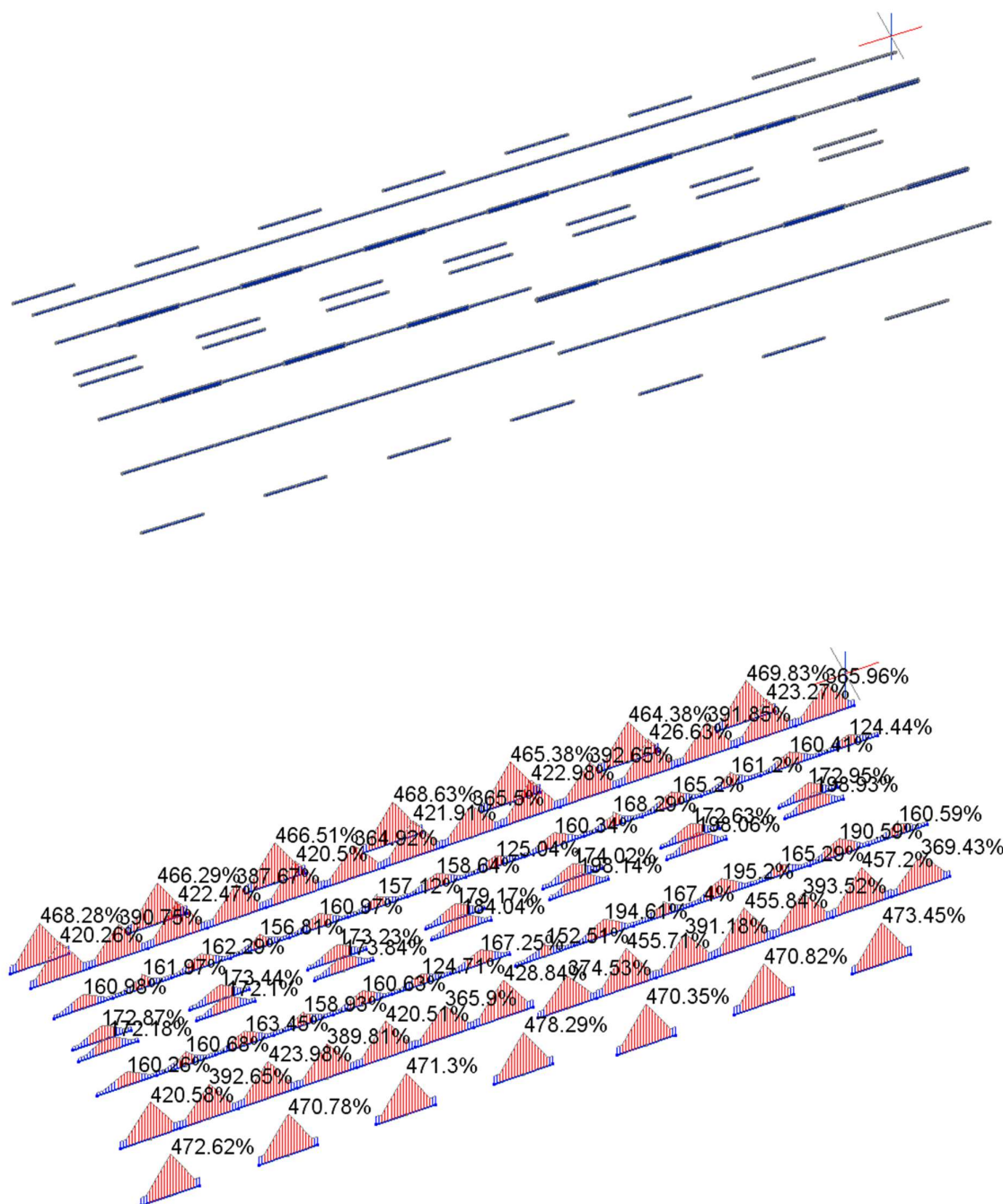
Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (5m)	Travée	$\frac{3.51}{16.67} = 21.08\%$ 7: W2 (LC2) (L/300)	$\frac{12.12-0}{25} = 48.49\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0.8, wcreep=4.09mm)

- Panne support de couverture ardoise :

- Taux de travail			
Résistance contraintes axiales			
ELU-STR / 7: 1.35G+1.5W+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,3 xrel = 0,5 / N = -2,86 kN / Vz = 0 kN / Mx = 0 kN*m / My = -5,66 kN*m / Mz = 1,37 kN*m			
Taux de travail EC5_FC1	57,04%	$ -\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}  =  -\left(\frac{-0,16}{17,77}\right)^2 + \frac{-7,86}{20,31} + 0,7 \frac{-6,1}{23,33}  = 0,57$	
Résistance cisaillement			
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,3 xrel = 1 / N = -2,49 kN / Vz = 2,6 kN / Mx = 0 kN*m / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m			
Taux de travail EC5_Sz	17,53%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ 0,32 }{1,85} = 0,18$	
Résistance au flambement			
ELU-STR / 7: 1.35G+1.5W+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,3 xrel = 0,5 / N = -2,86 kN / Vz = 0 kN / Mx = 0 kN*m / My = -5,66 kN*m / Mz = 1,37 kN*m			
Taux de travail EC5_B2	67,67%	$ \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}  =  \frac{-0,16}{0,06 \times 17,77} + 0,7 \frac{-7,86}{20,31} + \frac{-6,1}{23,33}  = 0,68$	
Résistance au déversement			
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,3 xrel = 0,5 / N = -2,49 kN / Vz = 0 kN / Mx = 0 kN*m / My = -3,25 kN*m / Mz = 0 kN*m			
Taux de travail EC5_LB1	49,7%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit}f_{m,y,d}} = \frac{ -4,52 }{0,82 \times 11,08} = 0,5$	

Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (5m)	Travée	$\frac{4.56}{16.67} = 27,34\%$ 6: W+0.5S (LC2) (L/300)	$\frac{16.86-0}{25} = 67,43\%$ 7: G+W+0.5S (LC3) (L/200) (kdef=0.8, wcreep=5.47mm)

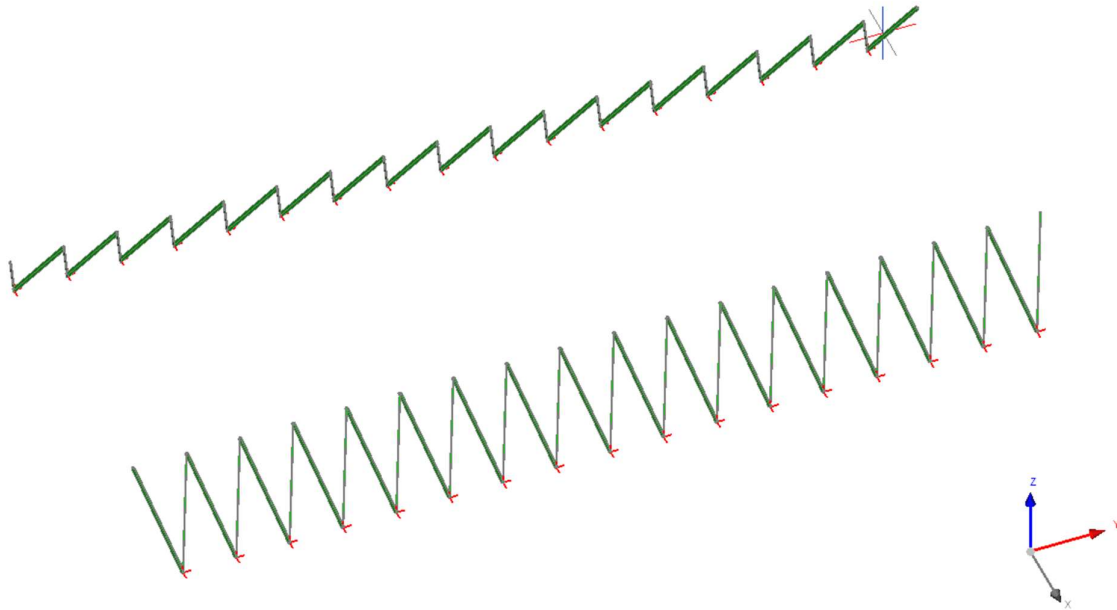
### 04.2.3 Vérification des pannes supports de puits de lumière



ELU Piece=478.29% (N0 2388)

>> Comme sur le diagnostic de 2016, nous avertissons du sous dimensionnement de ces pannes supports de puits de lumières.

#### 04.2.4 Vérification des jambes de forces sous arbalétriers

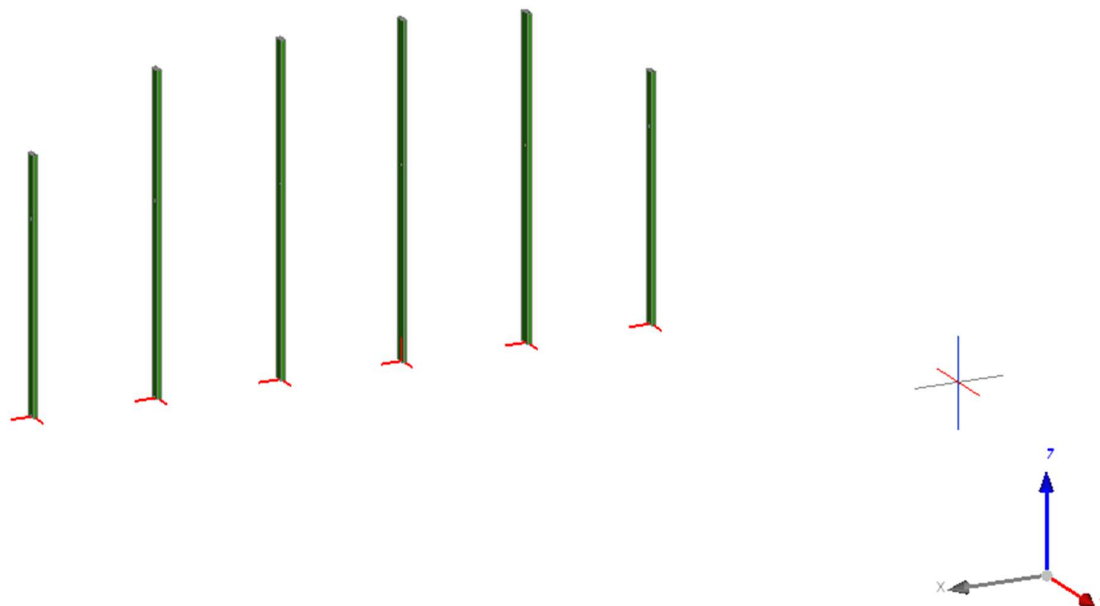


Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0 / N = -65,09 kN / Vy = 0 kN / Vz = -1,17 kN / Mx = 0 kN*m / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FCO	12,23%	$\frac{ \sigma_{c,0,d} }{f_{c,0,d}} = \frac{ -1,41 }{11,52} = 0,12$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0 / N = -65,09 kN / Vy = 0 kN / Vz = -1,17 kN / Mx = 0 kN*m / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	3,38%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0,06 }{1,68} = 0,03$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,3 / N = -64,42 kN / Vy = 0 kN / Vz = -0,72 kN / Mx = 0 kN*m / My = -2,98 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_B1	33,3%	$ \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}  =  \frac{-1,39}{0,47 \times 11,52} + \frac{-0,92}{11,94} + 0,7 \frac{0}{12,67}  = 0,33$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,2 / N = -64,64 kN / Vy = 0 kN / Vz = -0,87 kN / Mx = 0 kN*m / My = -2,15 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_LB2	17,53%	$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit}f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{ \sigma_{c,0,d} }{k_{c,z}f_{c,0,d}} = \left(\frac{-0,66}{0,66 \times 11,94}\right)^2 + \frac{ -1,4 }{0,72 \times 11,52} = 0,18$

Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (10,52m)	Travée	$\frac{0}{35,07} = 0\%$ 7: W2 (LC2) (L/300)	$\frac{6,02-0}{52,61} = 11,43\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=2,67mm)

Nous avons considéré les deux pièces de bois latérales à la jambe de force pour anti-flamber.

### 04.2.5 Vérification des poteaux pignon est



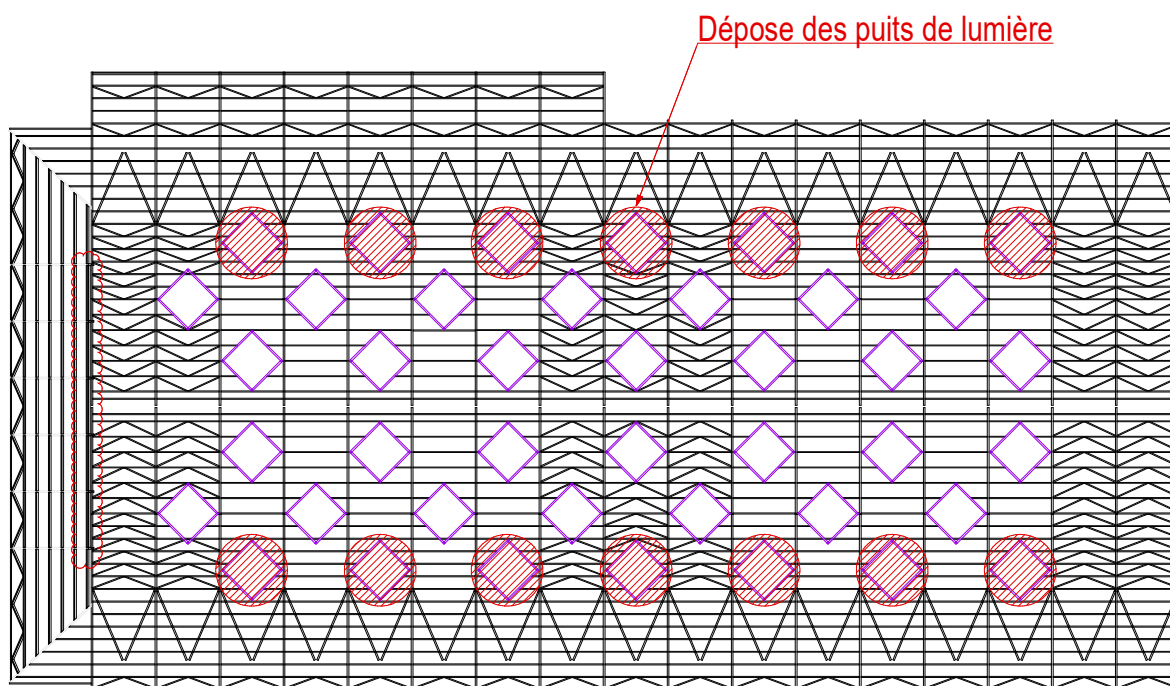
Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.25 xrel = 0 / N = -45.51 kN / Vy = -0.01 kN / Vz = 0.01 kN		
Taux de travail EC5_FC0	6.97%	$\frac{ \sigma_{c,0,d} }{f_{c,0,d}} = \frac{ -0.8 }{11.52} = 0.07$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 9: 1.35G+1.5W2+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1.1 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.58 / N = -21.45 kN / Vy = 0 kN / Vz = -2.95 kN / Mx = 0 kN*m / My = 1.53 kN*m / Mz = 0.02 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	3.78%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0.12 }{3.08} = 0.04$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.25 xrel = 0 / N = -45.51 kN / Vy = -0.01 kN / Vz = 0.01 kN		
Taux de travail EC5_B2	52.65%	$ \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}  =  \frac{-0.8}{0.13 \times 11.52} + 0.7 \frac{0}{11.94} + \frac{0}{12.67}  = 0.53$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0.6 / gamma_m = 1.25 xrel = 0.03 / N = -45.4 kN / Vy = -0.01 kN / Vz = 0.01 kN / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_LB2	52.53%	$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit}f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{ \sigma_{c,0,d} }{k_{c,z}f_{c,0,d}} = \left(\frac{0}{0.79 \times 11.94}\right)^2 + \frac{ -0.8 }{0.13 \times 11.52} = 0.53$

Dans l'ensemble le Grand Manège est correctement dimensionné sous les charges présentes lors de notre visite. La vérification des assemblages sera réalisée sous les charges réaménagées.

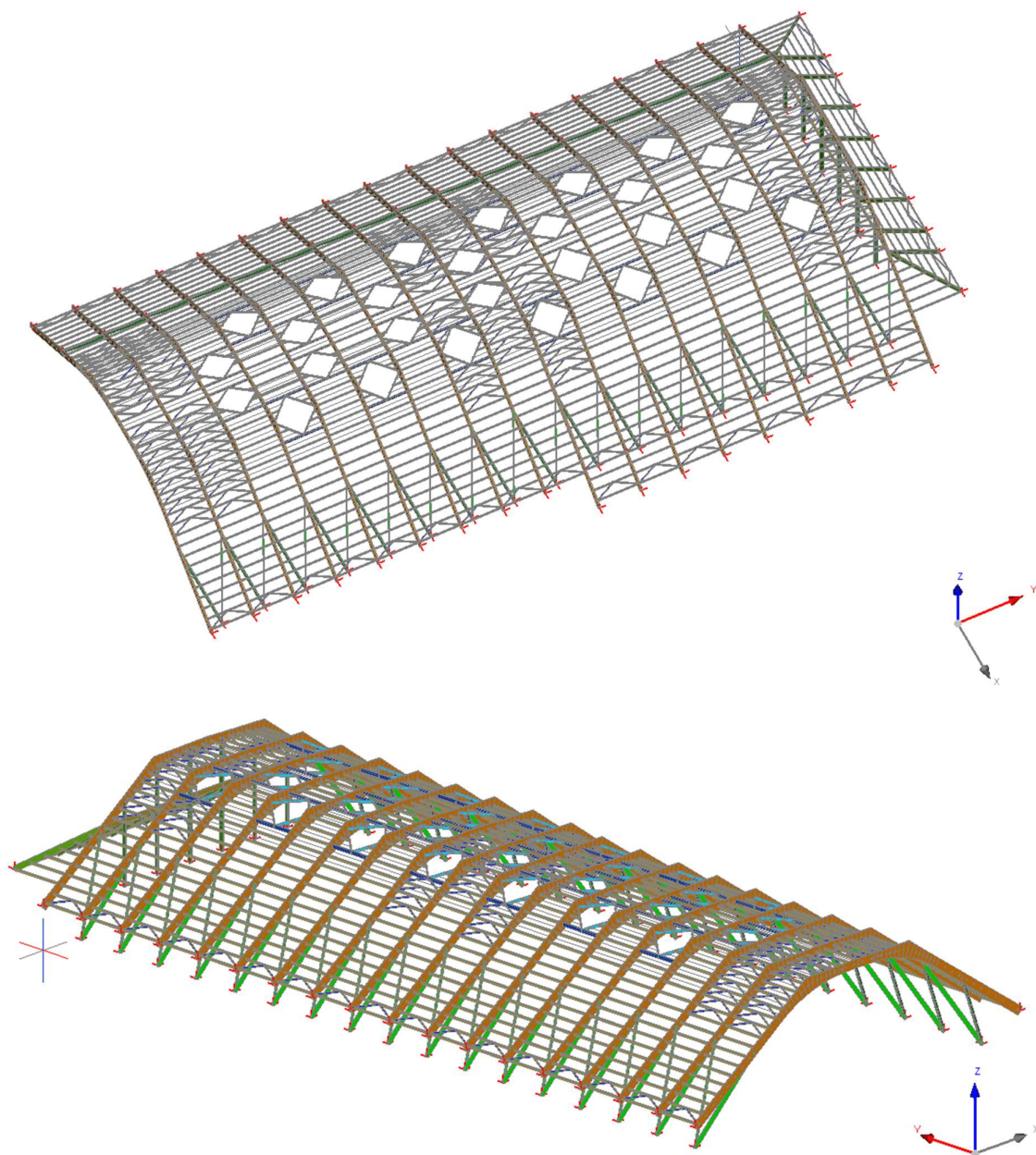


## 05 Etudes des cas de surcharges applicables aux portiques

Dans le cadre d'un réaménagement du grand manège, l'IFCE va réaliser la dépose des grands puits de lumière, c'est-à-dire les puits les plus proche des long-pans. Des pannes seront mise en œuvre pour combler l'ouverture, et une couverture ardoise sera réalisée dans le prolongement de la toiture.



Le modèle initial de calcul a donc été modifié avec la suppression des puits, et des charges linéiques.



## 05.1 Dimensionnement des pannes supports de puits de lumière

Comme décrit au paragraphe 04.2.3., les pannes supports de puits de lumière sont sous-dimensionnées. Ci-dessous le dimensionnement des pannes :

Puits de lumière moyen :

- Pannes en lamellé collé GL24h, 120x360,

➤ Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,5 / N = 2,87 kN / Vy = 0,69 kN / Vz = 10,24 kN / Mx = -0,01 kN*m / My = -28,29 kN*m / Mz = 1,72 kN*m		
Taux de travail EC5_FT1	92,53%	$\left  \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{0,07}{9,7} + \frac{10,91}{13,34} + 0,7 \frac{1,99}{13,94} \right  = 0,93$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0 / N = -2,91 kN / Vy = -0,69 kN / Vz = -12,39 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	38,21%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0,64 }{1,68} = 0,38$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,5 / N = -2,91 kN / Vy = -0,69 kN / Vz = -10,24 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = -28,29 kN*m / Mz = 1,72 kN*m		
Taux de travail EC5_B1	92,43%	$\left  \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{-0,07}{0,99 \times 11,52} + \frac{-10,91}{13,34} + 0,7 \frac{-1,99}{13,94} \right  = 0,92$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,5 / N = -2,91 kN / Vy = -0,69 kN / Vz = -10,24 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = -28,29 kN*m / Mz = 1,72 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	(0%)	NOTE: Aucun risque de déversement latéral car faible élanement relatif $\lambda_{rel,m}$ ( $\leq 0,75$ )

Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (5m)	Travée	$\frac{1,19}{16,67} = 7,14\%$ 6: W+0.5S (LC2) (L/300)	$\frac{17,79-0}{25} = 71,17\%$ 7: G+W+0.5S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=7,38mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (5m)	Travée	$\frac{0,66}{16,67} = 3,93\%$ 6: W+0.5S (LC2) (L/300)	$\frac{8,78-0}{25} = 35,12\%$ 7: G+W+0.5S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=3,61mm)

Puits de lumière petit :

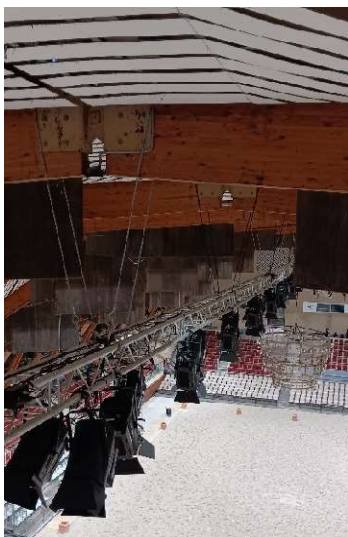
- 
- Pannes en lamellé collé GL24h, 100x280,

➤ Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,5 / N = -0,41 kN / Vy = -0,03 kN / Vz = -4,51 kN / Mx = -0,01 kN*m / My = -13,79 kN*m / Mz = 0,08 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1	78,01%	$\left  -\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  -\left(\frac{-0,01}{11,52}\right)^2 + \frac{-10,56}{13,68} + 0,7 \frac{-0,16}{13,94} \right  = 0,78$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0 / N = -0,41 kN / Vy = -0,03 kN / Vz = -6,52 kN / Mx = -0,01 kN*m / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	31,04%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0,52 }{1,68} = 0,31$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,5 / N = -1,95 kN / Vy = 0,03 kN / Vz = 4,51 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = -13,79 kN*m / Mz = 0,08 kN*m		
Taux de travail EC5_B1	78,63%	$\left  \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{-0,07}{0,98 \times 11,52} + \frac{-10,56}{13,68} + 0,7 \frac{-0,16}{13,94} \right  = 0,79$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,5 / N = -0,41 kN / Vy = -0,03 kN / Vz = -4,51 kN / Mx = -0,01 kN*m / My = -13,79 kN*m / Mz = 0,08 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	(0%)	NOTE: Aucun risque de déversement latéral car faible élanement relatif $\lambda_{rel,m}$ ( $\leq 0,75$ )

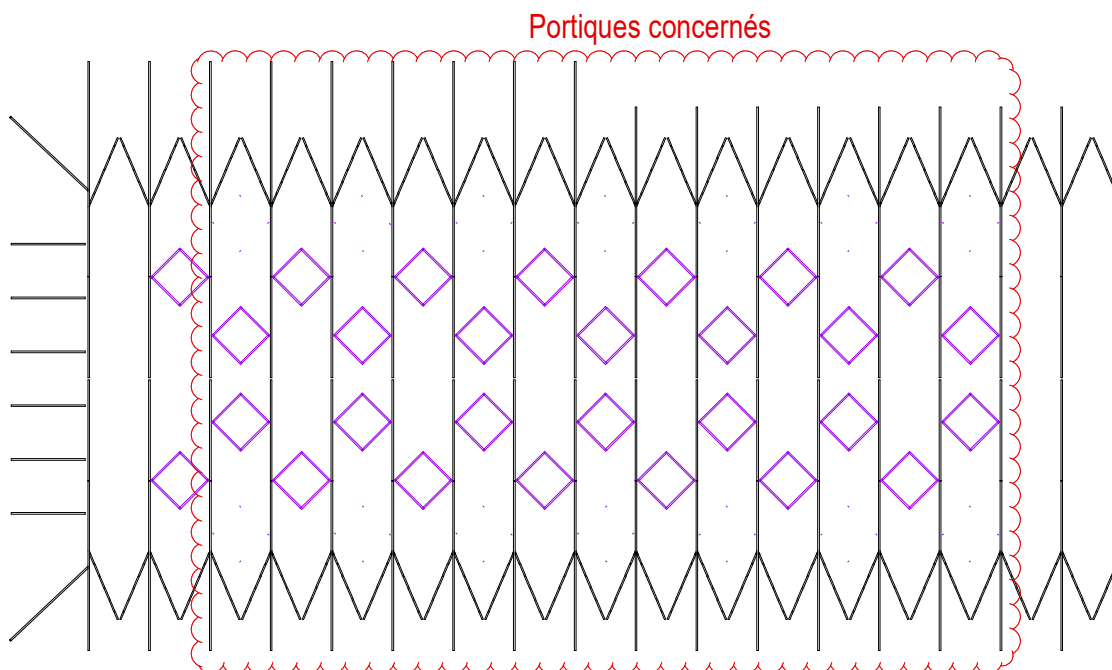
Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (5m)	Travée	$\frac{3,42}{16,67} = 20,52\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{23,68-0}{25} = 94,7\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=9mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (5m)	Travée	$\frac{0,14}{16,67} = 0,82\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{0,93-0}{25} = 3,73\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=0,35mm)

## 05.2 Définition des surcharges sur les portiques en partie courante

Afin de répondre au mieux aux besoins scéniques de l'IFCE pour leurs représentations dans le Grand Manège, différents cas de chargement maximum sont définis sur plusieurs points précis de chargement. Les chargements seront considérés comme des ponctuelles sur les arbalétriers (fixation par câbles, élingues).



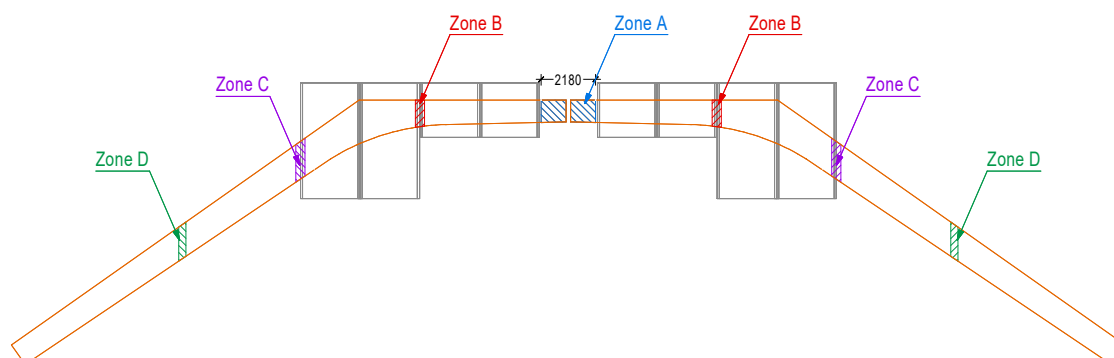
Les portiques considérés dans ce paragraphe sont ceux en partie courante, c'est-à-dire ceux qui portent actuellement les ponts longitudinaux, voir repérage ci-dessous. L'IFCE conserve dans son projet, les positions des 3 ponts longitudinaux. A noter que le pont central, au niveau du faitage, est suspendu de chaque côté de la clé d'assemblage.





### 05.2.1 Repérage des zones de chargement et synthèse:

En accord avec l'IFCE, 4 zones de chargement potentiel a été défini. Les zones A et C correspondent aux 3 ponts déjà existants.



Sur ces portiques, 4 scenarios sont étudiés :

- Chargement maximale sur les zones A et C, sans aucune charge sur les zones B et D
- Chargement maximale sur la zone B, avec charges réparties sur les zones A, C et D
- Chargement maximale sur la zone C, avec charges réparties sur les zones A, B et D
- Chargement maximale sur la zone D, avec charges réparties sur les zones A B et C

**Attention, les charges maximales ne sont pas compatibles simultanément.**

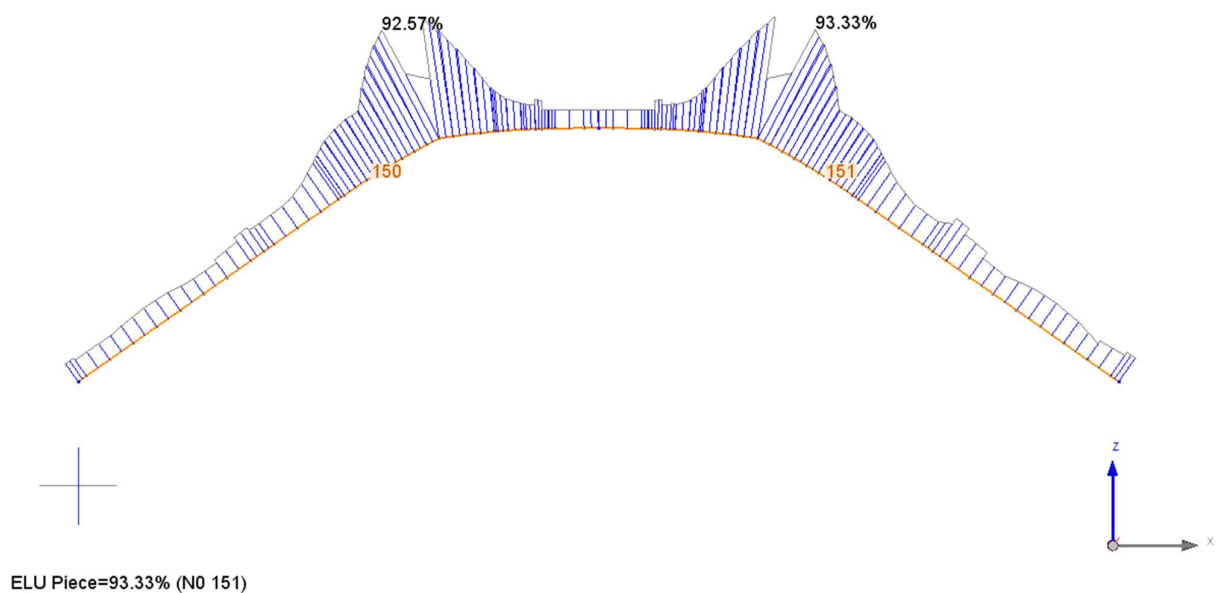
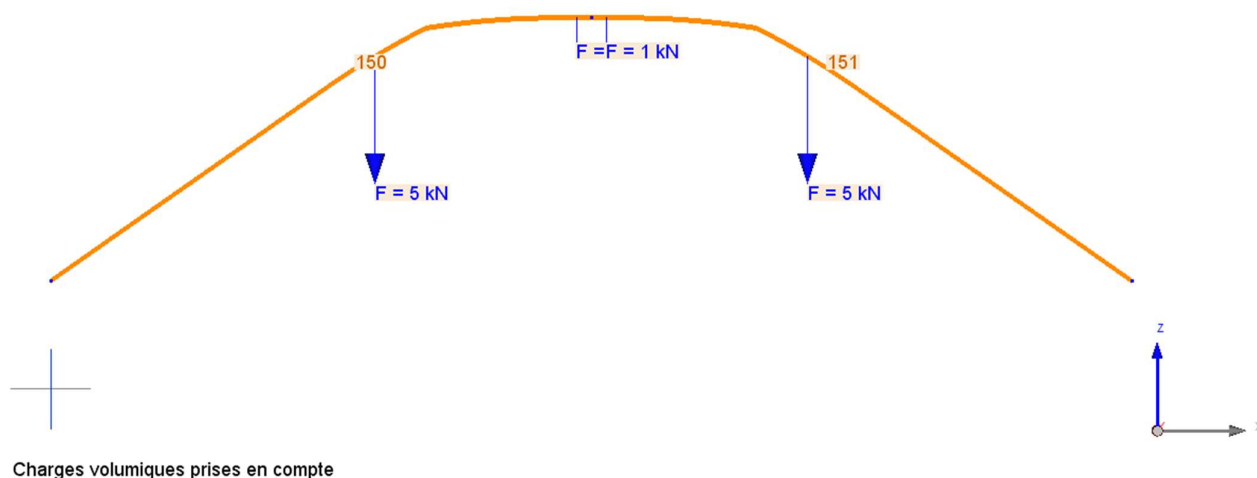
Synthèse des résultats :

	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°4
	Fz (kN)	Fz (kN)	Fz (kN)	Fz (kN)
Zone A	2	1,5	1	1
Zone B	0	2,2	0,5	0,5
Zone C	5	1,5	5	0,5
Zone D	0	1,5	0,5	5

Pour rappel, 1 kN équivaut à 100 kg.

### 05.2.2 Cas n°1, portique courant

Charge permanente ponctuelle sur le portique :

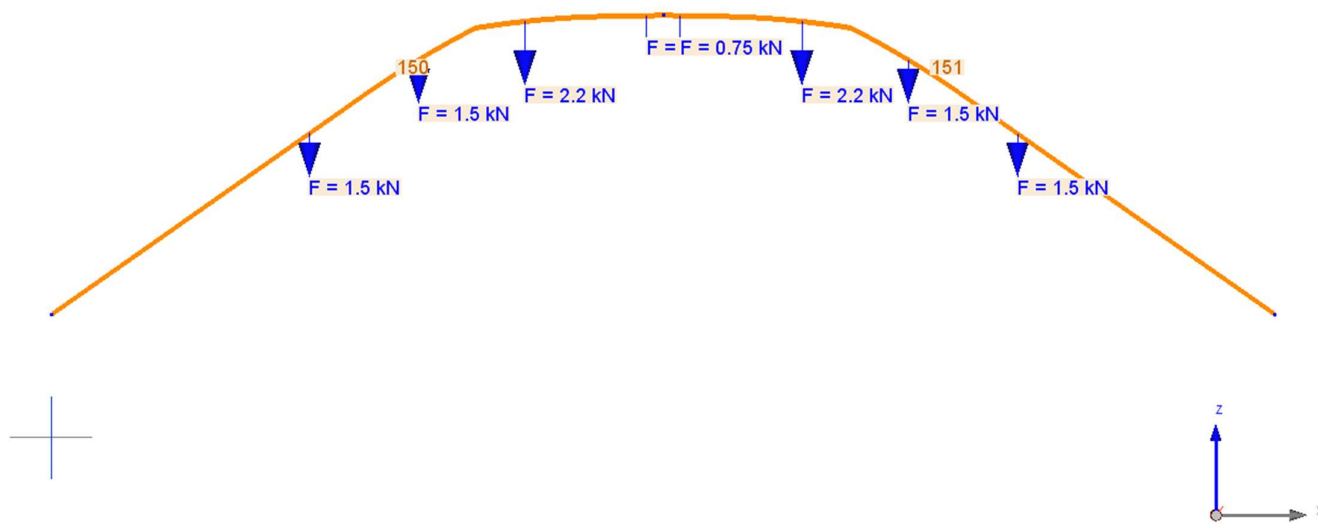


Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -205,72 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 16,86 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 115,67 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FM1TaperedZp oskr	93,33%	$\left  \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,a} k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{2,03}{0,17 \times 1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,93$
Résistance contraintes axiales - Apex		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -205,69 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 16,91 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 116,17 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1NonTaperZ negkr	28,42%	$\left  - \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  - \left( \frac{-0,95}{11,52} \right)^2 + \frac{-3,51}{1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,28$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -189,57 kN / Vy = 0,13 kN / Vz = -32,38 kN / Mx = 0,03 kN*m / My = 44,35 kN*m / Mz = -0,17 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	30,97%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0,52 }{1,68} = 0,31$
Résistance traction perpendiculaire au fil		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,55 / N = -220,82 kN / Vy = 0,15 kN / Vz = 13,17 kN / Mx = 0 kN*m / My = 47,79 kN*m / Mz = -0,05 kN*m		
Taux de travail EC5_90C	0%	$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0$
Combinaison traction perpendiculaire au fil et cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -189,57 kN / Vy = 0,13 kN / Vz = -32,38 kN / Mx = 0,03 kN*m / My = 44,35 kN*m / Mz = -0,17 kN*m		
Taux de travail EC5_90CCombined	30,97%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{ -0,52 }{1,68} + \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0,31$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,71 / N = -205,87 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 19,34 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 106,44 kN*m / Mz = 0,04 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	55,87%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ 2,32 }{0,33 \times 12,67} = 0,56$

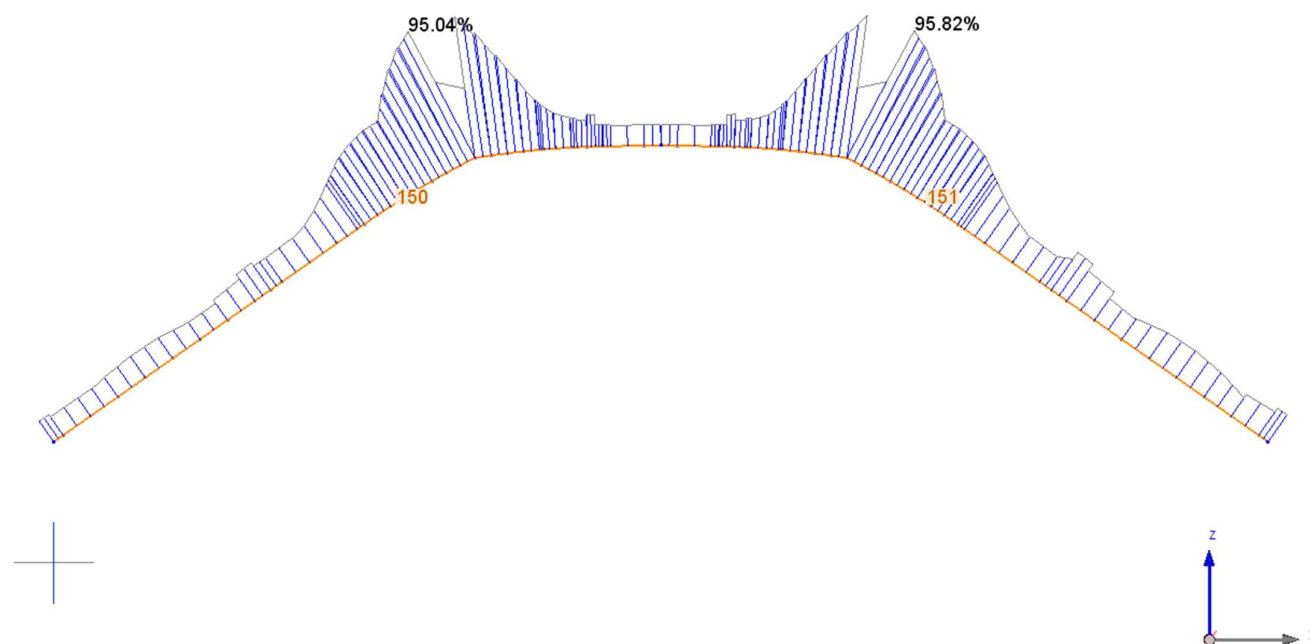
Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{5,11}{80,86} = 6,32\%$ 2: S (LC2) (L/300)	$\frac{28,21-0}{121,29} = 23,26\%$ 3: G+S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=10,27mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{0,4}{80,86} = 0,49\%$ 6: W+0.5S (LC2) (L/300)	$\frac{0,99-0}{121,29} = 0,82\%$ 5: G+S+0.6W2 (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=0,4mm)

### 05.2.3 Cas n°2, portique courant

Charge permanente ponctuelle sur le portique :



Charges volumiques prises en compte



ELU Piece=95.82% (N0 151)

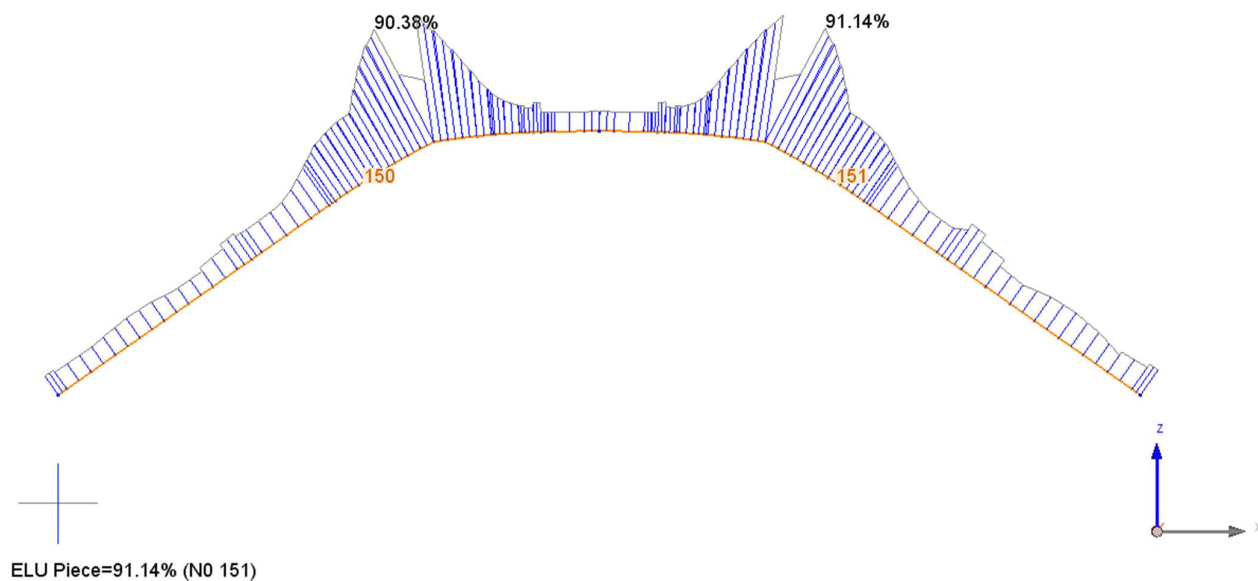
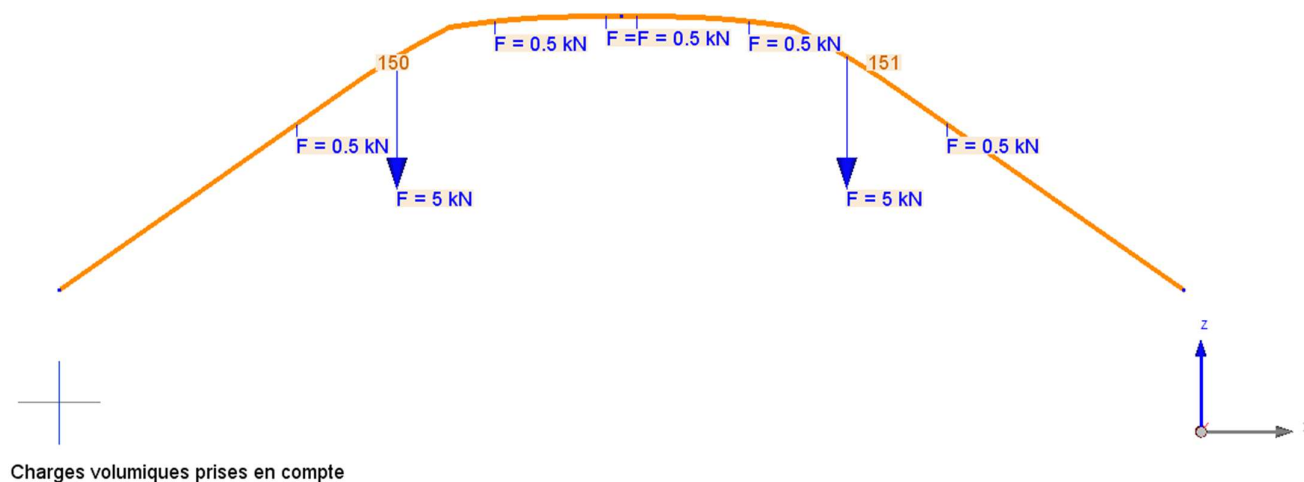
Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -207,24 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 14,67 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 118,76 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FM1TaperedZp oskr	95,82%	$\left  \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,a} k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{2,08}{0,17 \times 1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,96$
Résistance contraintes axiales - Apex		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -207,22 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 14,71 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 119,19 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1NonTaperZ negkr	29,15%	$\left  - \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  - \left( \frac{-0,96}{11,52} \right)^2 + \frac{-3,61}{1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,29$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 7: 1.35G+1.5W+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,38 / N = -146,77 kN / Vy = -1,48 kN / Vz = 50,07 kN / Mx = 0 kN*m / My = 57,25 kN*m / Mz = 1,03 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	30,78%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ 0,95 }{3,08} = 0,31$
Résistance traction perpendiculaire au fil		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,55 / N = -219,93 kN / Vy = 0,15 kN / Vz = 15,07 kN / Mx = 0 kN*m / My = 51,46 kN*m / Mz = -0,06 kN*m		
Taux de travail EC5_90C	0%	$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0$
Combinaison traction perpendiculaire au fil et cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -189,82 kN / Vy = 0,13 kN / Vz = -32,03 kN / Mx = 0,03 kN*m / My = 43,1 kN*m / Mz = -0,17 kN*m		
Taux de travail EC5_90CCombined	30,63%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{ -0,51 }{1,68} + \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0,31$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,71 / N = -207,44 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 17,16 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 110,76 kN*m / Mz = 0,04 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	58,14%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ 2,42 }{0,33 \times 12,67} = 0,58$

Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{5,11}{80,86} = 6,32\%$ 2: S (LC2) (L/300)	$\frac{29,41-0}{121,29} = 24,25\%$ 3: G+S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=10,8mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{0,4}{80,86} = 0,49\%$ 6: W+0.5S (LC2) (L/300)	$\frac{1-0}{121,29} = 0,82\%$ 5: G+S+0.6W2 (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=0,4mm)



### 05.2.4 Cas n°3, portique courant

Charge permanente ponctuelle sur le portique :

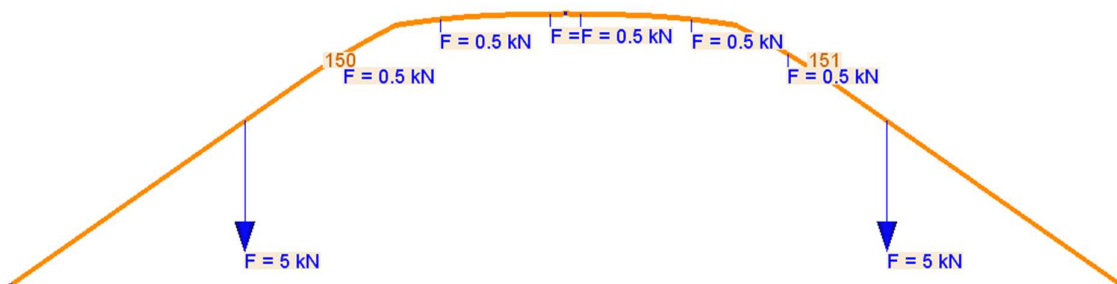


Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -205,24 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 16,64 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 112,96 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FM1TaperedZp oskr	91,14%	$\left  \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,a} k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{1,98}{0,17 \times 1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,91$
Résistance contraintes axiales - Apex		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -205,21 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 16,69 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 113,45 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1NonTaperZ negkr	27,77%	$\left  - \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  - \left( \frac{-0,95}{11,52} \right)^2 + \frac{-3,43}{1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,28$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 7: 1.35G+1.5W+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,38 / N = -143,63 kN / Vy = -1,48 kN / Vz = 50,26 kN / Mx = 0 kN*m / My = 59,06 kN*m / Mz = 1,02 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	30,89%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ 0,95 }{3,08} = 0,31$
Résistance traction perpendiculaire au fil		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,55 / N = -220,37 kN / Vy = 0,15 kN / Vz = 12,89 kN / Mx = 0 kN*m / My = 46,23 kN*m / Mz = -0,05 kN*m		
Taux de travail EC5_90C	0%	$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0$
Combinaison traction perpendiculaire au fil et cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -189,09 kN / Vy = 0,13 kN / Vz = -31,75 kN / Mx = 0,03 kN*m / My = 41,99 kN*m / Mz = -0,17 kN*m		
Taux de travail EC5_90CCombined	30,36%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{ -0,51 }{1,68} + \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0,3$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,71 / N = -205,4 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 19,11 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 103,86 kN*m / Mz = 0,04 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	54,51%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ 2,27 }{0,33 \times 12,67} = 0,55$

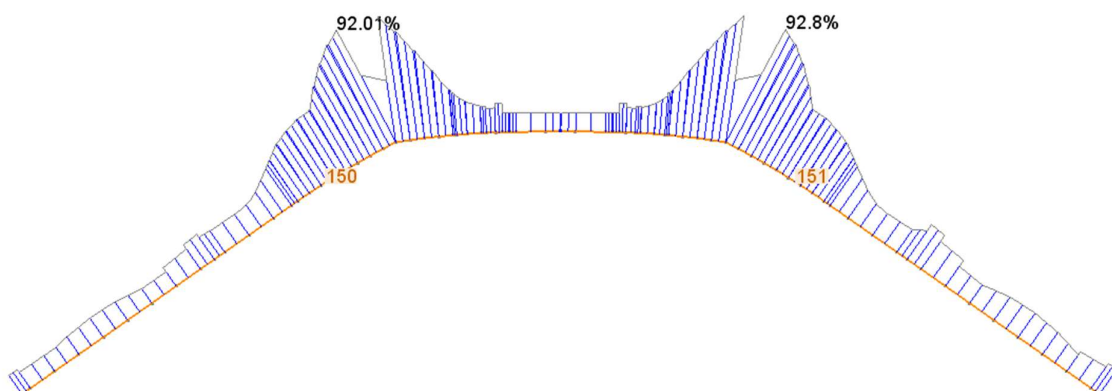
Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{5,11}{80,86} = 6,32\%$ 2: S (LC2) (L/300)	$\frac{27,42-0}{121,29} = 22,61\%$ 3: G+S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=9,92mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{0,4}{80,86} = 0,49\%$ 6: W+0.5S (LC2) (L/300)	$\frac{0,99-0}{121,29} = 0,82\%$ 7: G+W+0.5S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=0,27mm)

### 05.2.5 Cas n°4, portique courant

Charge permanente ponctuelle sur le portique :



Charges volumiques prises en compte



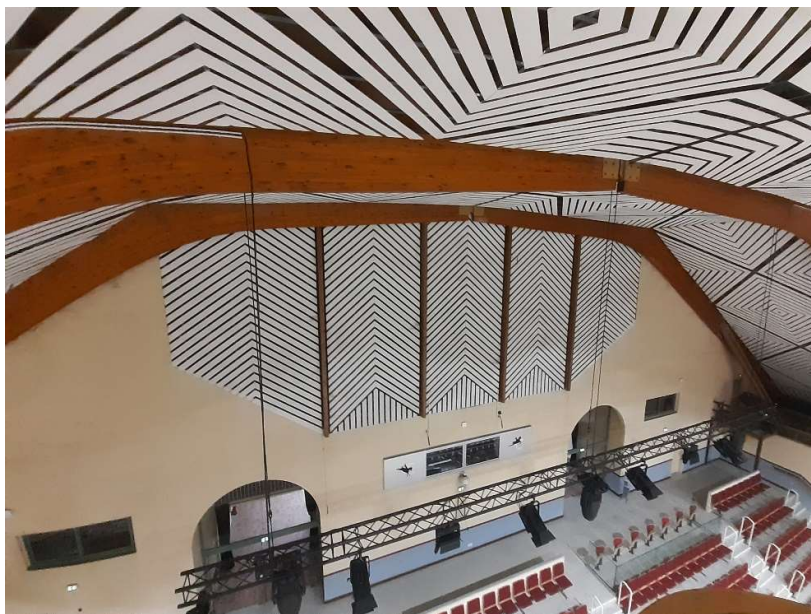
ELU Piece=92.8% (N0 151)

Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -201,25 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 14,6 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 115,01 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FM1TaperedZp oskr	92,8%	$\left  \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,a} k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{2,02}{0,17 \times 1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,93$
Résistance contraintes axiales - Apex		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -201,23 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 14,65 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 115,44 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1NonTaperZ negkr	28,22%	$\left  - \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_r f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  - \left( \frac{-0,93}{11,52} \right)^2 + \frac{-3,49}{1 \times 12,67} + 0,7 \frac{0}{13,94} \right  = 0,28$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 7: 1.35G+1.5W+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,38 / N = -134,37 kN / Vy = -1,47 kN / Vz = 50,19 kN / Mx = 0 kN*m / My = 58,37 kN*m / Mz = 1,01 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	30,85%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ 0,95 }{3,08} = 0,31$
Résistance traction perpendiculaire au fil		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,55 / N = -213,22 kN / Vy = 0,15 kN / Vz = 15,39 kN / Mx = 0 kN*m / My = 47,04 kN*m / Mz = -0,05 kN*m		
Taux de travail EC5_90C	0%	$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0$
Combinaison traction perpendiculaire au fil et cisaillement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -184,71 kN / Vy = 0,14 kN / Vz = -32,1 kN / Mx = 0,03 kN*m / My = 42,65 kN*m / Mz = -0,18 kN*m		
Taux de travail EC5_90CCombined	30,7%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{ -0,52 }{1,68} + \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,24} = 0,31$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,71 / N = -201,44 kN / Vy = 0,07 kN / Vz = 17 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 107,05 kN*m / Mz = 0,04 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	56,19%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ 2,34 }{0,33 \times 12,67} = 0,56$

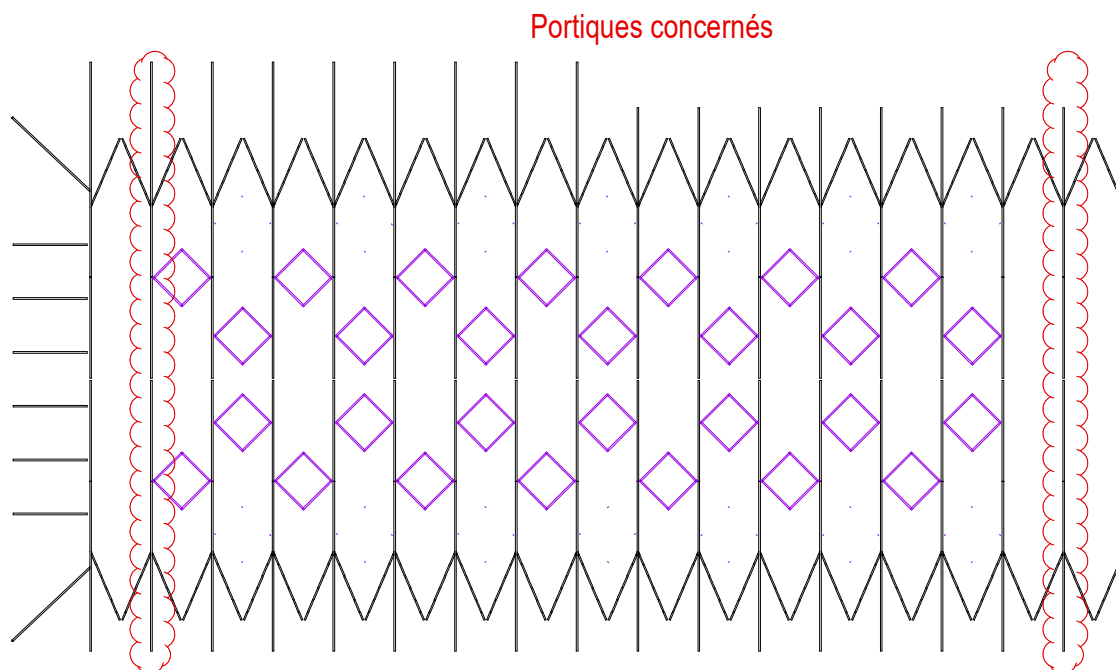
Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{5,11}{80,86} = 6,32\%$ 2: S (LC2) (L/300)	$\frac{27,63-0}{121,29} = 22,78\%$ 3: G+S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=10,01mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{0,4}{80,86} = 0,49\%$ 6: W+0.5S (LC2) (L/300)	$\frac{1-0}{121,29} = 0,83\%$ 7: G+W+0.5S (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=0,28mm)

### 05.3 Définition des surcharges sur les portiques proches pignon

Deux des portiques, au plus proche des pignons, portent des ponts sur 3 accroches.



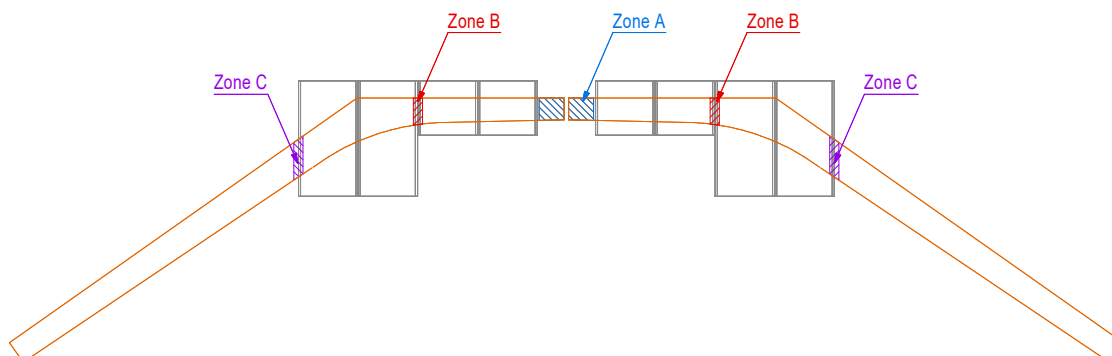
Deux cas spécifiques à ces deux portiques sont donc détaillés.





### 05.3.1 Repérage des zones de chargement et synthèse:

En plus des deux zones existantes, nous avons proposé une zone supplémentaire à l'IFCE, au besoin d'ajouter des éléments.



Sur ces portiques, 2 scenarios sont étudiés :

- Chargement maximale sur les zones A et B, sans aucune charge sur la zone C
- Chargement maximale réparties sur les zones A, B et C

**Attention, les charges maximales ne sont pas compatibles simultanément.**

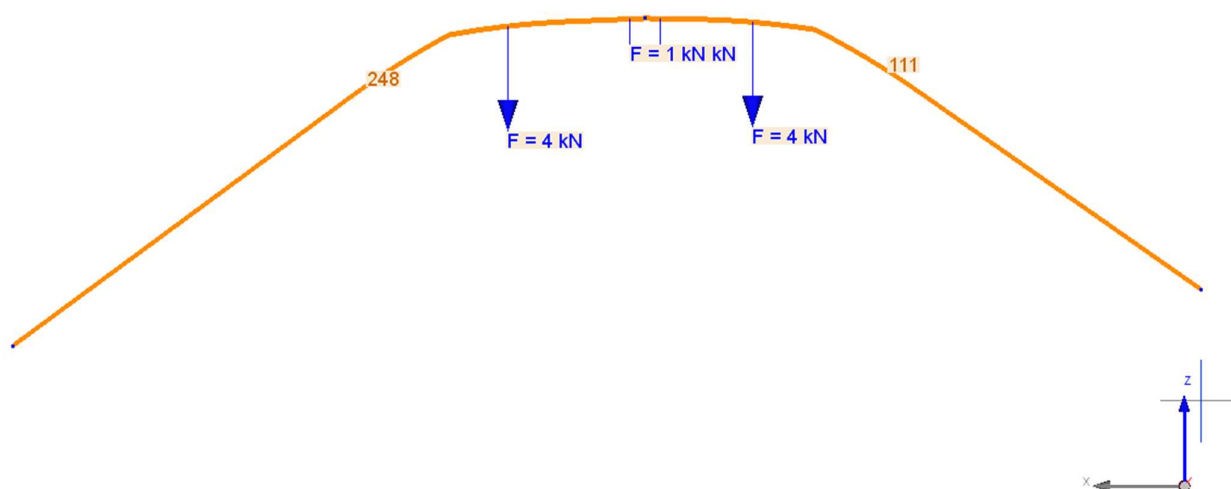
Synthèse des résultats :

	Cas n°1	Cas n°2
	Fz (kN)	Fz (kN)
Zone A	2	2
Zone B	4	2
Zone C	0	2

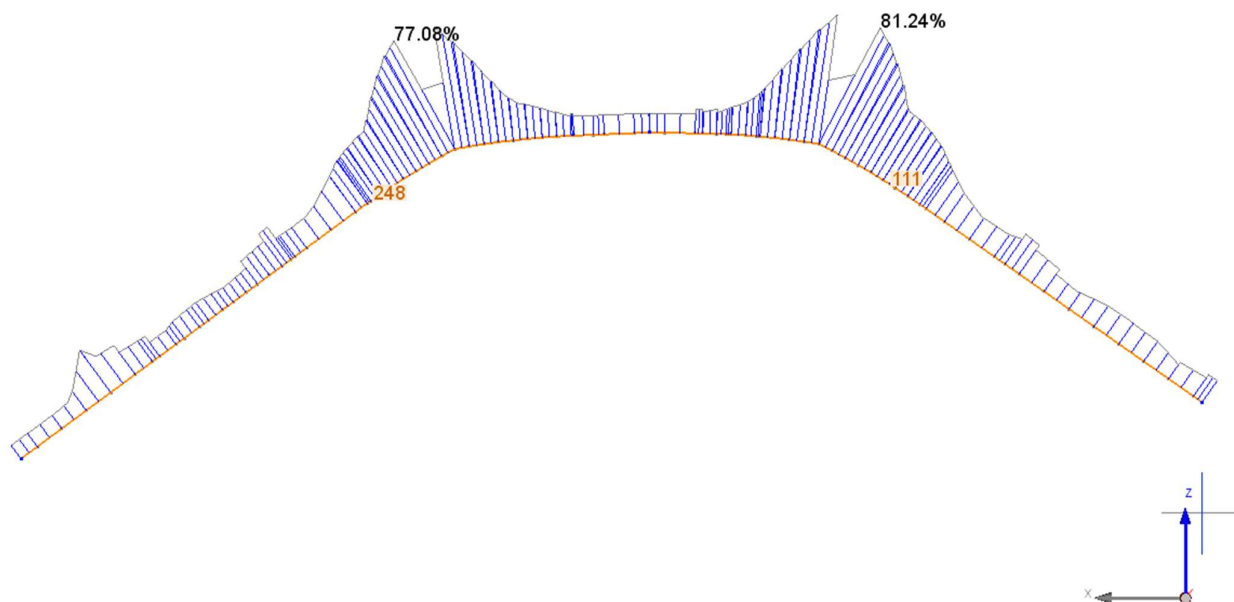
Pour rappel, 1 kN équivaut à 100 kg.

### 05.3.2 Cas n°5, portique pignon

Charge permanente ponctuelle sur le portique :



Charges volumiques prises en compte



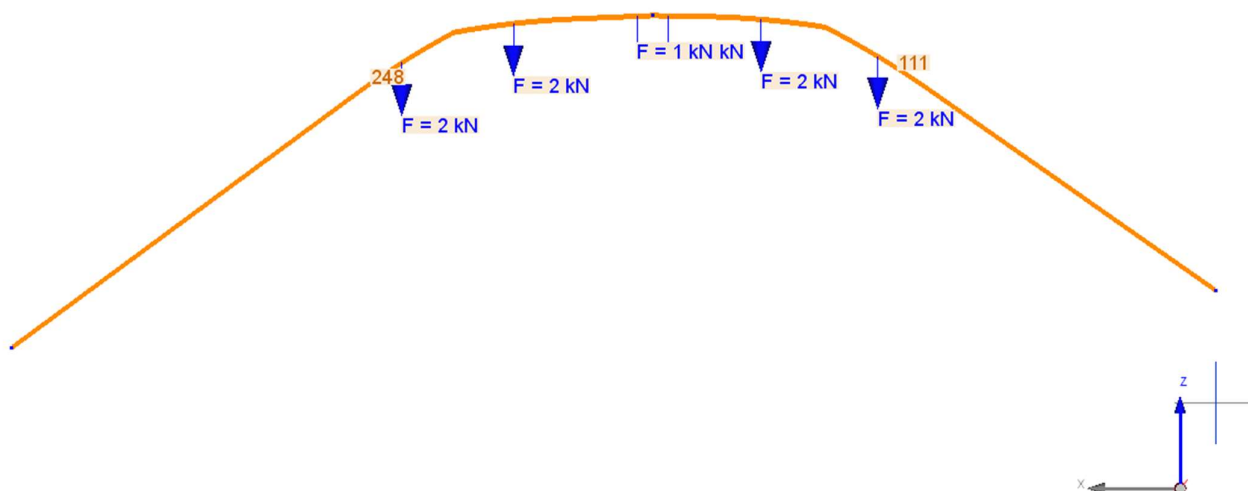
ELU Piece=81.24% (N0 111)

Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -239,53 kN / Vy = 0,11 kN / Vz = 20,09 kN / Mx = 0 kN*m / My = 150,82 kN*m / Mz = -0,16 kN*m		
Taux de travail EC5_FM1TaperedZp oskr	81,24%	$\left  \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,a} k_{r,f_{m,y,d}}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{2,64}{0,17 \times 1 \times 19,01} + 0,7 \frac{0,03}{20,91} \right  = 0,81$
Résistance contraintes axiales - Apex		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -239,5 kN / Vy = 0,11 kN / Vz = 20,15 kN / Mx = 0 kN*m / My = 151,41 kN*m / Mz = -0,16 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1NonTaperZ negkr	24,62%	$\left  - \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{r,f_{m,y,d}}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  - \left( \frac{-1,11}{17,28} \right)^2 + \frac{-4,58}{1 \times 19,01} + 0,7 \frac{-0,03}{20,91} \right  = 0,25$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -238,79 kN / Vy = 1,19 kN / Vz = -40,42 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 55,42 kN*m / Mz = -0,4 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	25,77%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0,65 }{2,52} = 0,26$
Résistance traction perpendiculaire au fil		
ELU-STR / 17: G+1.5W2 (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -46,21 kN / Vy = -0,3 kN / Vz = 4,1 kN / Mx = 0 kN*m / My = -8,38 kN*m / Mz = -0,24 kN*m		
Taux de travail EC5_90T	2,08%	$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0,01}{1,7 \times 0,37 \times 0,44} = 0,02$
Combinaison traction perpendiculaire au fil et cisaillement		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -238,79 kN / Vy = 1,19 kN / Vz = -40,42 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 55,42 kN*m / Mz = -0,4 kN*m		
Taux de travail EC5_90CCombined	25,77%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{ -0,65 }{2,52} + \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,36} = 0,26$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,71 / N = -239,72 kN / Vy = 0,11 kN / Vz = 22,95 kN / Mx = 0 kN*m / My = 139,82 kN*m / Mz = -0,1 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	48,93%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ 3,05 }{0,33 \times 19,01} = 0,49$

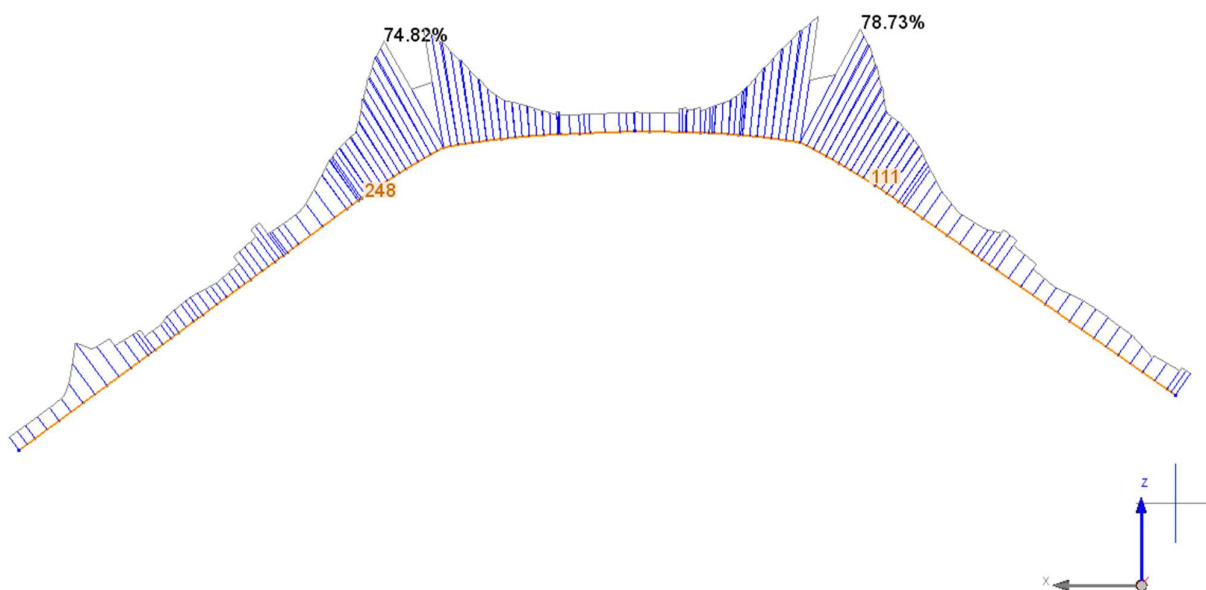
Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{9,24}{80,86} = 11,43\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{24,98-0}{121,29} = 20,59\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=7mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{0,41}{80,86} = 0,51\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{1,42-0}{121,29} = 1,17\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=0,45mm)

### 05.3.3 Cas n°6, portique pignon

Charge permanente ponctuelle sur le portique :



Charges volumiques prises en compte



ELU Piece=78.73% (N0 111)

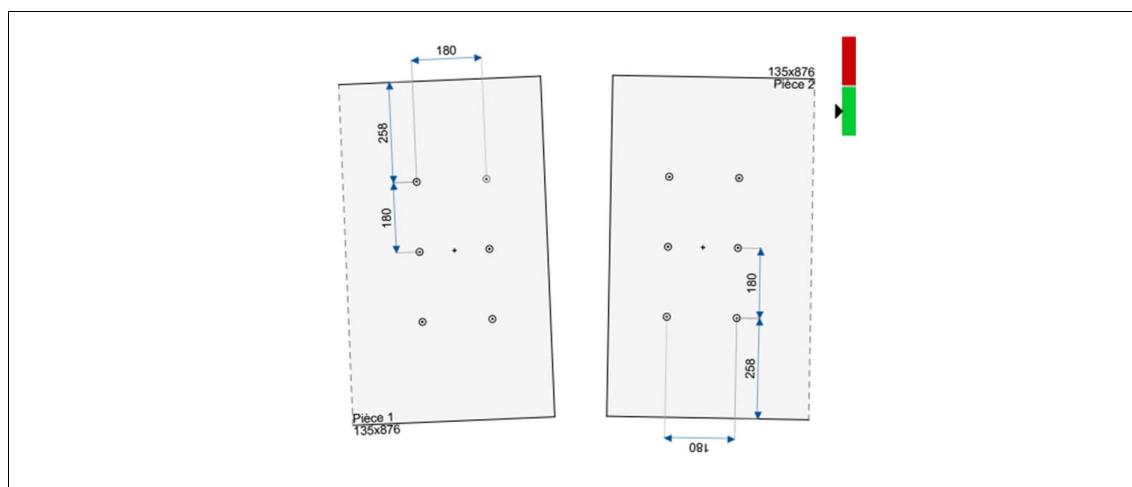
Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -236,95 kN / Vy = 0,12 kN / Vz = 21,24 kN / Mx = 0 kN*m / My = 146,16 kN*m / Mz = -0,16 kN*m		
Taux de travail EC5_FM1TaperedZp oskr	78,73%	$\left  \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,d} k_{r,f_{m,y,d}}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  \frac{2,56}{0,17 \times 1 \times 19,01} + 0,7 \frac{0,03}{20,91} \right  = 0,79$
Résistance contraintes axiales - Apex		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,73 / N = -236,92 kN / Vy = 0,12 kN / Vz = 21,29 kN / Mx = 0 kN*m / My = 146,78 kN*m / Mz = -0,16 kN*m		
Taux de travail EC5_FC1NonTaperZ negkr	23,88%	$\left  - \left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{r,f_{m,y,d}}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right  = \left  - \left( \frac{-1,1}{17,28} \right)^2 + \frac{-4,44}{1 \times 19,01} + 0,7 \frac{-0,03}{20,91} \right  = 0,24$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -235,17 kN / Vy = 1,16 kN / Vz = -38,09 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 56,24 kN*m / Mz = -0,37 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	24,29%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0,61 }{2,52} = 0,24$
Résistance traction perpendiculaire au fil		
ELU-STR / 17: G+1.5W2 (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -43,45 kN / Vy = -0,28 kN / Vz = 3,83 kN / Mx = 0 kN*m / My = -7,77 kN*m / Mz = -0,22 kN*m		
Taux de travail EC5_90T	1,93%	$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{0,01}{1,7 \times 0,37 \times 0,44} = 0,02$
Combinaison traction perpendiculaire au fil et cisaillement		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,83 / N = -235,17 kN / Vy = 1,16 kN / Vz = -38,09 kN / Mx = 0,01 kN*m / My = 56,24 kN*m / Mz = -0,37 kN*m		
Taux de travail EC5_90CCombined	24,29%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} = \frac{ -0,61 }{2,52} + \frac{0}{1,7 \times 0,37 \times 0,36} = 0,24$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 3: 1.35G+1.5S (LC1) / Court terme / kmod = 0,9 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,71 / N = -237,12 kN / Vy = 0,12 kN / Vz = 24,05 kN / Mx = 0 kN*m / My = 134,52 kN*m / Mz = -0,09 kN*m		
Taux de travail EC5_LB1	47,07%	$\frac{ \sigma_{m,y,d} }{k_{crit} f_{m,y,d}} = \frac{ 2,94 }{0,33 \times 19,01} = 0,47$

Vérification flèches			
Composantes w de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{w_{inst}}{w_{inst,adm}}$	$\frac{w_{fin} - w_c}{w_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{9,24}{80,86} = 11,43\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{23,48-0}{121,29} = 19,36\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=6,34mm)
Composantes v de la flèche (mm)			
Tronçon	Type	$\frac{v_{inst}}{v_{inst,adm}}$	$\frac{v_{fin} - v_c}{v_{net,fin,adm}}$
1 (24,95m)	Travée	$\frac{0,41}{80,86} = 0,51\%$ 3: S+0.6W (LC2) (L/300)	$\frac{1,42-0}{121,29} = 1,17\%$ 4: G+S+0.6W (LC3) (L/200) (kdef=0,8, wcreep=0,45mm)



## 05.4 Vérification des assemblages

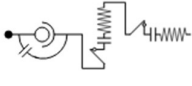

### 05.4.1 Assemblage faitage avant modification des charges



Propriétés générales par pièce						
Pièce identifiant	Pièce bois		Pièces auxiliaires			Organes
	Classe mécanique	Section	Nature	Configuration	Epaisseur	
-	-	mm	-	-	mm	-
1	GL24H	135 x 876	S 355	Deux plaques latérales	8	Boulon : Diamètre : M18 Classe : 8.8
2	GL24H	135 x 876	S 355	Deux plaques latérales	8	Boulon : Diamètre : M18 Classe : 8.8

Pièce identifiant	Configurations	Entraxes admissibles a1,a2	Pincés admissibles a3,a4	Mode de rupture	Taux travail organes	Résultat fendage
-	[mm]	[mm]	[mm]	-	[%]	[%]
-	-				-	
1		a1 > 90mm a2 > 72mm	a3 > 126mm a4 > 72mm		150.46 % FvEd=35.35 kN ((6) 1: 1.35G) Npo=-199.08 kN Vzpo=6.71 kN Mypo=0 kN*m Mc=2.15 kN*m	21.78 % Vzmax=15.95 kN ((6) 7: 1.35G+1.5W+0.75 S)
2		a1 > 90mm a2 > 72mm	a3 > 126mm a4 > 72mm		148.41 % FvEd=34.87 kN ((6) 1: 1.35G) Npo=-199.13 kN Vzpo=-5.19 kN Mypo=0 kN*m Mc=-1.66 kN*m	12.99 % Vzmax=5.19 kN ((6) 1: 1.35G)

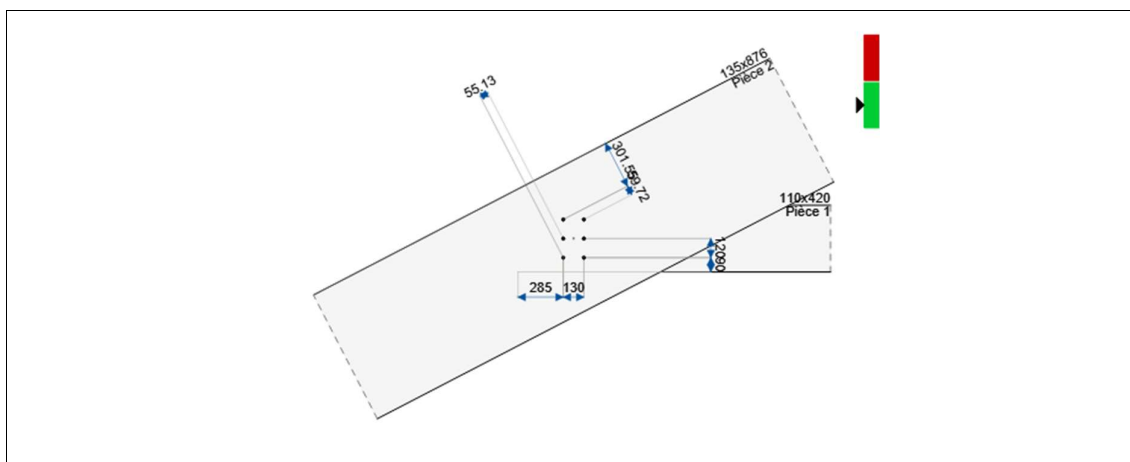
Exigence EC5 : (EC5 10.4.3(1)) Les trous de boulons dans le bois ont un diamètre inférieur ou égal à d+1mm  
Exigence EC5 : (EC5 10.4.3(1)) Les trous de boulons dans les plaques métal ont un diamètre inférieur ou égal à Max(d+2mm, 1.1d)

Analyse des raideurs de l'assemblage							
Pièce identifiant	Modèle Kser	Centre de raideur	Raideurs Kser	Raideurs Ku	Raideurs sécantes Kser	Raideurs sécantes Ku	Jeux d'assemblage
-	-	mm	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	mm, deg
1		Xc=320mm Zc=0mm	Kx=161670.2 Kz=161670.2 Kt=4801.6 Beta=0.17	Kx=107780.1 Kz=107780.1 Kt=3201.07 Beta=0.13	Kx=86342.9 (Nref=277.97kN) Kz=9979.2 (Vzref=15.95kN) Kt=0.06 (Myref=0kN*m)	Kx=68145.7 (Nref=277.97kN) Kz=9680.4 (Vzref=15.95kN) Kt=0.06 (Myref=0kN*m)	Jeu Δu =1.5mm Jeu Δθ =0.43deg
2		Xc=320mm Zc=0mm	Kx=161670.2 Kz=161670.2 Kt=4801.6 Beta=0.17	Kx=107780.1 Kz=107780.1 Kt=3201.07 Beta=0.13	Kx=86395.5 (Nref=278.33kN) Kz=3531.7 (Vzref=5.42kN) Kt=0.06 (Myref=0kN*m)	Kx=68178.4 (Nref=278.33kN) Kz=3493.6 (Vzref=5.42kN) Kt=0.06 (Myref=0kN*m)	Jeu Δu =1.5mm Jeu Δθ =0.43deg
Centre de raideur de tous les organes de la plaque : Xp=0.1mm ; Zp=-9.6mm							

>> La résistance au cisaillement des boulons n'est pas justifié.

Cependant, aucun désordre n'a été relevé sur site lors de l'inspection complète de la charpente. De plus, la charpente sera allégée du poids des grands puits de lumière. Les différents cas de surcharge sont donc prévue pour ne pas surcharger la structure par rapport à sa configuration initiale, afin de ne pas détériorer la résistance de l'assemblage et des fondations.

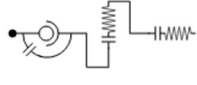

### 05.4.2 Assemblage des jambes de force aux arbalétriers



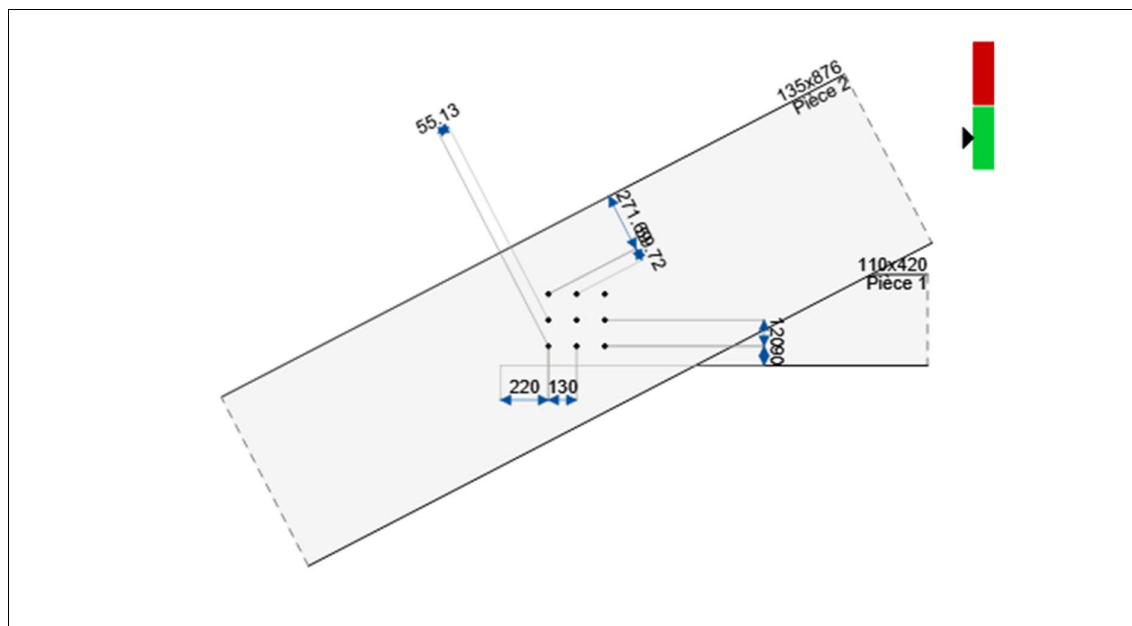
Propriétés des pièces et des organes				
Pièce bois 1		Pièce bois 2		Organes
Classe mécanique	Section	Classe mécanique	Section	-
-	mm	-	mm	-
GL24H	110 x 420	GL24H	135 x 876	Boulon : Diamètre : M18 Classe : 8.8

Pièce identifiant	Configurations	Entraxes admissibles a1,a2	Pincés admissibles a3,a4	Mode de rupture	Taux travail organes	Résultat fendage
-	[mm]	[mm]	[mm]	-	[%]	[%]
-	-				-	
1		a1 > 90mm a2 > 72mm	a3 > 126mm a4sup > 68.4mm a4inf > 54mm		100.57 % FvEd=17.33 kN ((34) 7: 1.35G+1.5W+0.75 S) Npo=-103.98 kN Vzpo=-0.93 kN	3.55 % Vzmax=0.93 kN ((34) 1: 1.35G)
2		a1 > 89.7mm a2 > 72mm	a3 > 126mm a4sup > 54mm a4inf > 56.9mm		147.56 % FvEd=31.52 kN ((34) 7: 1.35G+1.5W+0.75 S) Npo=173.65 kN Vzpo=-74.98 kN Mypo=0 kN*m	76.82 % Vzmax=50.19 kN ((34) 7: 1.35G+1.5W+0.75 S)

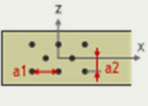
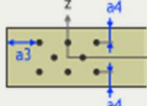
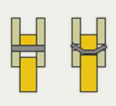
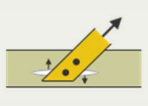
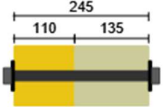
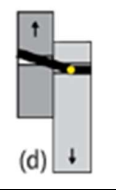
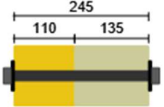
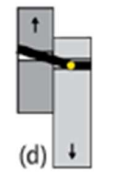
Exigence EC5 : (EC5 10.4.3(1)) Les trous de boulons dans le bois ont un diamètre inférieur ou égal à d+1mm

Analyse des raideurs de l'assemblage							
Pièce identifiant	Modèle Kser	Centre de raideur	Raideurs Kser	Raideurs Ku	Raideurs sécantes Kser	Raideurs sécantes Ku	Jeux d'assemblage
-	-	mm	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	mm, deg
1		Xc=0mm Zc=0mm	Kx=40417.5 Kz=40417.5 Kt=558.77 Beta=0.21	Kx=26945 Kz=26945 Kt=372.51 Beta=0.17	Kx=33840.4 (Nref=103.98k N) Kz=1779.2 (Vzref=0.93kN ) Kt=0 (Myref=0kN* m)	Kx=23854.2 (Nref=103.98k N) Kz=1740.9 (Vzref=0.93kN ) Kt=0 (Myref=0kN* m)	Jeu Δu =0.5mm Jeu Δθ =0.21deg
2		Xc=0mm Zc=0mm	Kx=40417.5 Kz=40417.5 Kt=558.77 Beta=0.02	Kx=26945 Kz=26945 Kt=372.51 Beta=0.02	Kx=36204.3 (Nref=173.65k N) Kz=31836.5 (Vzref=74.98k N) Kt=0.02 (Myref=0kN* m)	Kx=25005.1 (Nref=173.65k N) Kz=22840.8 (Vzref=74.98k N) Kt=0.02 (Myref=0kN* m)	Jeu Δu =0.5mm Jeu Δθ =0.21deg



>> Proposition de renforcement en ajoutant une rangée de boulons Ø18 :



Propriétés des pièces et des organes				
Pièce bois 1		Pièce bois 2		Organes
Classe mécanique	Section	Classe mécanique	Section	-
-	mm	-	mm	-
GL24H	110 x 420	GL24H	135 x 876	Boulon : Diamètre : M18 Classe : 8.8

Pièce identifiant	Configurations	Entraxes admissibles a1,a2	Pincés admissibles a3,a4	Mode de rupture	Taux travail organes	Résultat fendage
-	[mm]	[mm]	[mm]	-	[%]	[%]
-	-				-	
1		a1 > 90mm a2 > 72mm	a3 > 126mm a4sup > 68.4mm a4inf > 54mm		69.8 % FvEd=11.55 kN ((34) 7: 1.35G+1.5W+0.75 S) Npo=-103.98 kN Vzpo=-0.93 kN	3.55 % Vzmax=0.93 kN ((34) 1: 1.35G)
2		a1 > 89.7mm a2 > 72mm	a3 > 126mm a4sup > 54mm a4inf > 56.9mm		98.37 % FvEd=21.02 kN ((34) 7: 1.35G+1.5W+0.75 S) Npo=173.65 kN Vzpo=-74.98 kN Mypo=0 kN*m	71.09 % Vzmax=50.19 kN ((34) 7: 1.35G+1.5W+0.75 S)

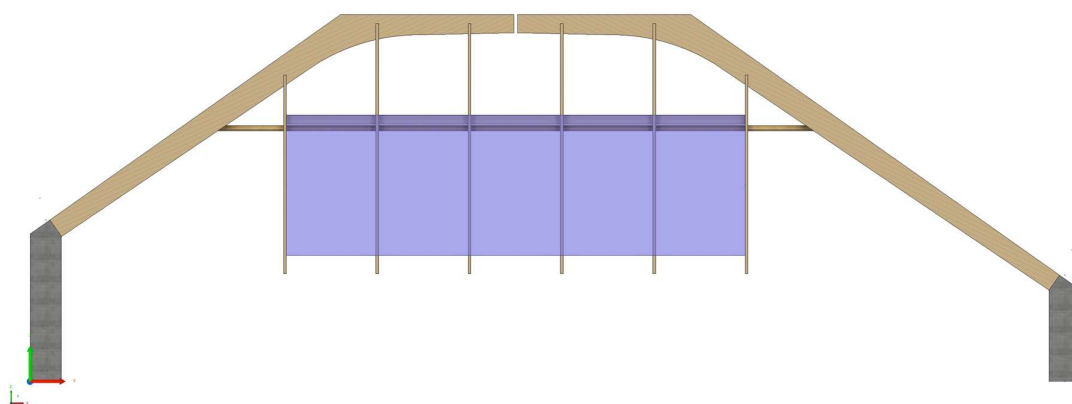
Exigence EC5 : (EC5 10.4.3(1)) Les trous de boulons dans le bois ont un diamètre inférieur ou égal à d+1mm

Analyse des raideurs de l'assemblage							
Pièce identifiant	Modèle Kser	Centre de raideur	Raideurs Kser	Raideurs Ku	Raideurs sécantes Kser	Raideurs sécantes Ku	Jeux d'assemblage
-	-	mm	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	kN/m, kN*m/ra d	mm, deg
1		Xc=0mm Zc=0mm	Kx=60626.3 Kz=60626.3 Kt=1265.07 Beta=0.49	Kx=40417.5 Kz=40417.5 Kt=843.38 Beta=0.39	Kx=46941.2 (Nref=103.98k N) Kz=1805.7 (Vzref=0.93kN ) Kt=0 (Myref=0kN* m)	Kx=33840.4 (Nref=103.98k N) Kz=1779.2 (Vzref=0.93kN ) Kt=0 (Myref=0kN* m)	Jeu Δu =0.5mm Jeu Δθ =0.16deg
2		Xc=0mm Zc=0mm	Kx=60626.3 Kz=60626.3 Kt=1265.07 Beta=0.04	Kx=40417.5 Kz=40417.5 Kt=843.38 Beta=0.03	Kx=51616.1 (Nref=173.65k N) Kz=43171.8 (Vzref=74.98k N) Kt=0.02 (Myref=0kN* m)	Kx=36204.3 (Nref=173.65k N) Kz=31836.5 (Vzref=74.98k N) Kt=0.02 (Myref=0kN* m)	Jeu Δu =0.5mm Jeu Δθ =0.16deg

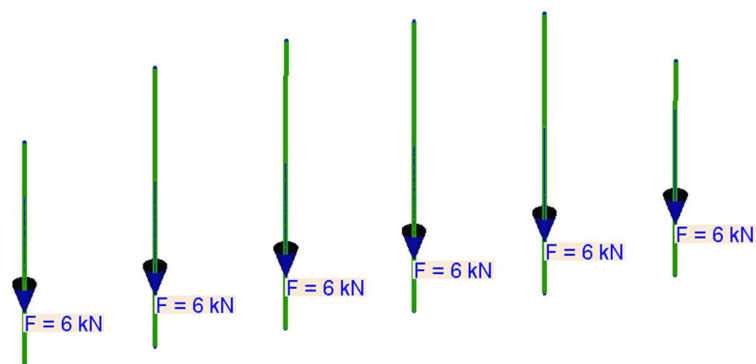


## 06 Mise en place d'un écran sur les poteaux pignon est

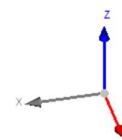
Parmi les différents besoins de l'IFCE pour l'aménagement technique du Grand Manège, il y a la mise en place d'un écran géant, composé de 6 modules d'écran pouvant se déplacer en largeur. Cet écran, en position fermé, mesure 12.16m x 6.72m de haut, fixé sur les poteaux du premier portique du pignon est. Poids total, environ 2500 kg.

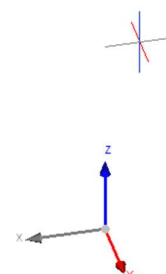
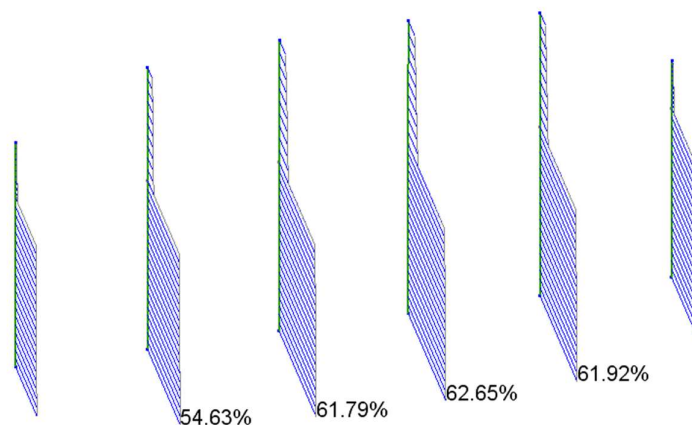


De manière répartie, les poteaux devront reprendre au maximum 500 kg chacun. Nous prendrons une marge pour les systèmes d'accroche à 600 kg par poteau.



Charges volumiques prises en compte





ELU Piece=62.65% (N0 230)

Taux de travail		
Résistance contraintes axiales		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0 / N = -54,15 kN / Vy = 0 kN / Vz = 0 kN		
Taux de travail EC5_FC0	8,29%	$\frac{ \sigma_{c,0,d} }{f_{c,0,d}} = \frac{ -0,96 }{11,52} = 0,08$
Résistance cisaillement		
ELU-STR / 18: G+1.5W2+0.75S (LC1) / Instantané / kmod = 1,1 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,58 / N = -15,36 kN / Vy = 0 kN / Vz = -2,98 kN / Mx = 0 kN*m / My = 1,51 kN*m / Mz = 0,01 kN*m		
Taux de travail EC5_Sz	3,82%	$\frac{ \tau_{z,d} }{f_{v,d}} = \frac{ -0,12 }{3,08} = 0,04$
Résistance au flambement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0 / N = -54,15 kN / Vy = 0 kN / Vz = 0 kN		
Taux de travail EC5_B2	62,65%	$ \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}  =  \frac{-0,96}{0,13 \times 11,52} + 0,7 \frac{0}{11,94} + \frac{0}{12,67}  = 0,63$
Résistance au déversement		
ELU-STR / 1: 1.35G (LC1) / Permanent / kmod = 0,6 / gamma_m = 1,25 xrel = 0,03 / N = -54,05 kN / Vy = 0 kN / Vz = 0 kN / My = 0 kN*m / Mz = 0 kN*m		
Taux de travail EC5_LB2	62,53%	$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit}f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{ \sigma_{c,0,d} }{k_{c,z}f_{c,0,d}} = \left(\frac{0}{0,79 \times 11,94}\right)^2 + \frac{ -0,95 }{0,13 \times 11,52} = 0,63$

Les poteaux du pignon sont capables de porter les écrans.

## 07 Conclusions

- Inspection de la charpente du Grand Manège :

Dans l'ensemble, la charpente du Grand Manège est en **bon état**, et nous n'avons pas relevé de désordres sévères, excepté quelques remarques sur d'anciennes infiltrations, et des panneaux de bois à remplacer. Voir les préconisations page 33.

Vis-à-vis du diagnostic réalisé en 2016 par nos confrères, les **renforcements** préconisés pour les pannes supports des puits de lumière **n'ont pas été réalisés**.

- Analyse de la structure sous charges avant modification :

**La charpente est correctement dimensionnée** sous les hypothèses de charges lors de notre visite, excepté le portique portant le lustre central.

- Analyse des différents cas de surcharges envisageables :

Pour les portiques en partie courante, 4 scénarios de chargement sont proposés.

Pour les portiques côté pignon, 2 scénarios de chargement sont proposés.

*Ces différents scénarios sont illustrés sur un cahier de plans illustrant les charges possibles pour chacun des scénarios.*

*Nota : les résultats sont valables seulement si les grands puits de lumières sont supprimés.*

- Assemblages principaux :

Pour l'assemblage en faitage, afin de ne pas impacter la résistance de l'assemblage, sous dimensionné au calculs sous les charges actuelles, nous préconisons de ne pas plus charger les arbalétriers qu'avant les modifications.

Pour l'assemblage des jambes de force aux arbalétriers, l'ajout d'une rangée de boulons est préconisé.

- Ecran sur pignon est :

La mise en place d'un **écran** de 2500kg sur les poteaux du pignon Est est **faissable**.

***Mon rapport de diagnostic se termine ici.***

***Ces préconisations ne peuvent en aucun cas être assimilées à une mission de maîtrise d'œuvre ni à une mission de contrôle technique.***

**Les différents travaux restent sous réserve du curage complet de la zone des travaux envisagés. Le curage peut mettre à jour des éléments structurels, gaines, réseaux techniques... qui n'ont pu être détectés lors de notre visite. Nous conseillons dans ce cas de nous solliciter pour une visite complémentaire qui fera l'objet d'un nouveau devis afin d'ajuster notre rapport en conséquence de ce qui sera détecté sur site.**

***L'entreprise en charge des travaux reste seule responsable de son organisation, sa méthode d'exécution et de sa gestion de chantier. Toutes les mesures nécessaires devront être étudiées et mise en œuvre afin de préserver les structures existantes.***

Fait à Angers Le 28/11/2024

Gwenaëlle Poirier

Ingénieure Structure Bois

Visa

Simon Foret

Ingénieur Structure Bois

# L'ÉQUIPE QUI STRUCTURE VOS PROJETS

HUMANISME • INNOVATION  
PROFESSIONNALISME • ÉCORESPONSABILITÉ



## ANJOU STRUCTURE

152 Avenue du Général Patton 49100 ANGERS

02 72 47 03 00 | [anjou@quarco.fr](mailto:anjou@quarco.fr)

[www.anjoustructure.fr](http://www.anjoustructure.fr)

