

Rapport de Diagnostic Définitif

Diagnostic structure de la mise en œuvre de panneaux photovoltaïques en toiture sur 4 sites

-
- Tarbes (65)
 - Toulouse (31)
 - Perpignan (66)
 - Saint-Gaudens (31)

Date 19/08/2025

AFFAIRE IN-25- 01738-TOUBA-00
INDICE 1

Rédacteur

M.RAHMANI

Approbateur

B. DELGADO

INDICE

02

DATE

19/08/2025

N° de rapport

IN-25- 01738-TOUBA-00

Contenu

1	CONTEXTE DE LA MISSION.....	4
1.1.	Contexte	4
1.2.	Mission d'INFRANEO	4
1.3.	Programme et déroulement de la mission	4
1.4.	Référentiel	4
2	Documents examinés	4
3	Calcul de la capacité portante – UEMO Tarbes	5
3.1	Implantation	5
3.2	Description de la structure	6
3.3	Mesure du taux d'humidité	7
3.4	Analyse mycologique et entomologique	8
3.5	Calcul de la capacité portante	9
3.5.1	Hypothèses de calculs	9
3.5.2	Descente de charge	9
3.5.3	Modélisation et calculs des contraintes et déformations.....	11
4	Calcul de la capacité portante – UEAJ Toulouse	16
4.1	Implantation	16
4.2	Description des structures.....	16
4.3	Mesure du taux d'humidité.....	17
4.4	Analyse mycologique et entomologique	18
4.5	Calcul de la capacité portante	18
4.5.1	Bâtiment principal – Structure bois	18
4.5.2	Abri voiture - Ossature métallique.....	28
5	Calcul de la capacité portante – UEAJ Perpignan	35
5.1	Implantation	35
5.2	Calcul de la capacité portante	36
5.2.1	Hypothèses de calculs	36
5.2.2	Descente de charges.....	36
5.3	Description de la structure	38
5.3.1	Bâtiment principal :.....	38
5.3.2	hangar :.....	40
5.4	Calcul de la capacité portante du hangar.....	41
5.4.1	Hypothèses de calculs	41

5.4.2	Descente de charges.....	41
-------	--------------------------	----

6 Calcul de la capacité portante – UEMO Saint-Gaudens 51

6.1	Implantation	51
6.2	Description de la structure	52
6.3	Mesure du taux d'humidité	53
6.4	Analyse mycologique et entomologique	53
6.5	Calcul de la capacité portante	53

1 CONTEXTE DE LA MISSION

1.1. Contexte

Dans le cadre du projet d'installation de panneaux photovoltaïques sur les toitures de quatre sites situés à Tarbes (65), Toulouse (31), Perpignan (66) et Saint-Gaudens (31), le ministère de la Justice, représenté par M. RONGEART, a mandaté INFRANEO pour réaliser une étude approfondie de la capacité portante des structures des bâtiments. Cette mission vise à garantir la solidité et la durabilité des ouvrages, ainsi que la sécurité des personnes présentes dans les établissements concernés.

1.2. Mission d'INFRANEO

Etude de la capacité portante de la structure des bâtiments en vue de l'installation de panneaux photovoltaïques.

1.3. Programme et déroulement de la mission

Nous sommes intervenus les 05, 07, 11 et 12 février 2025 sur les différents sites. Les moyens d'accès, préparés par INFRANEO et le ministère de la Justice ont permis d'accéder à l'ensemble des éléments concernés à l'exception d'un des bâtiments sur le site de Perpignan dû à des combles non accessibles.

1.4. Référentiel

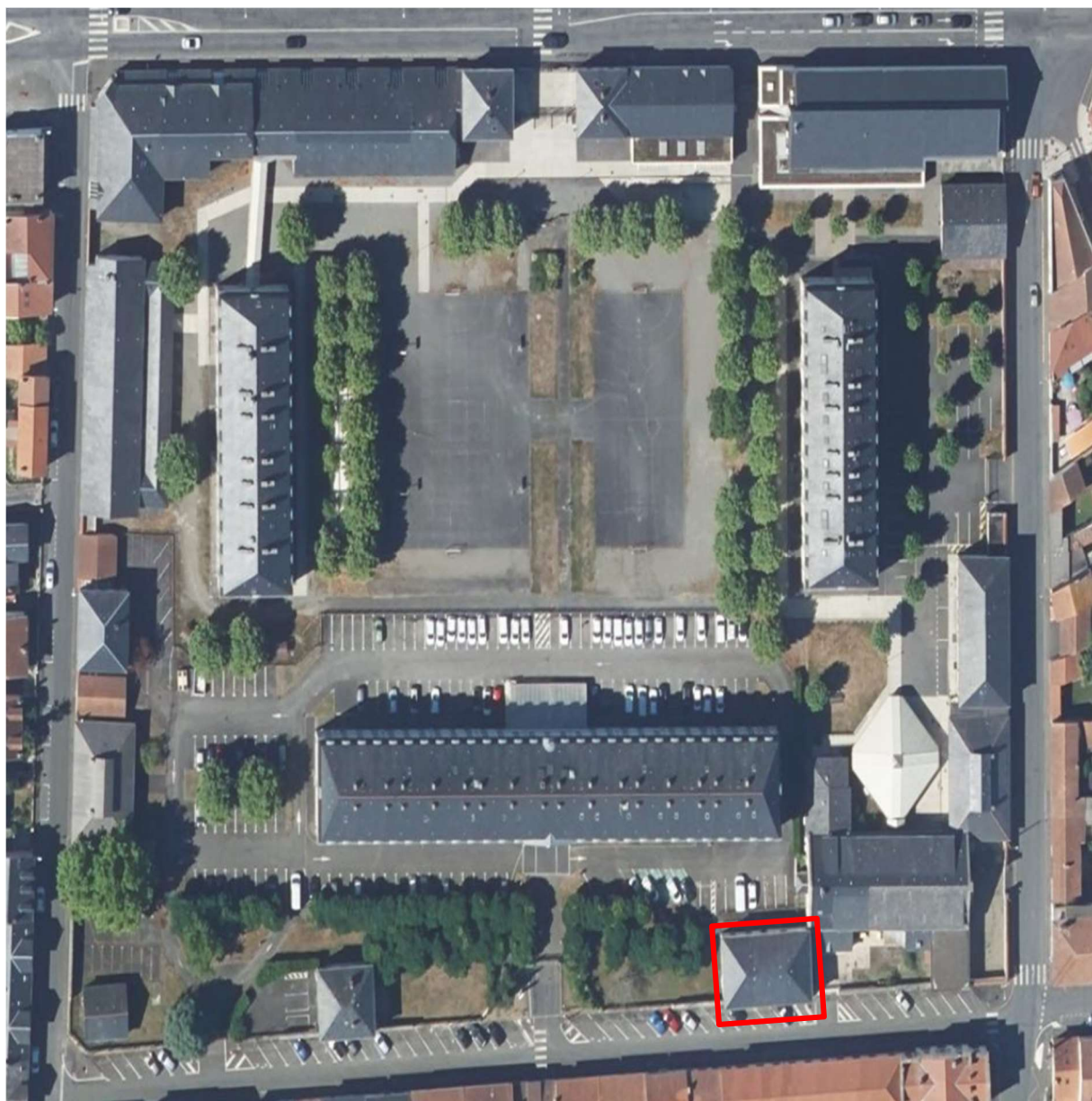
- NF EN 1990 (mars 2003) : Eurocode 0 - Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures ;
- NF EN 1991 : Eurocode 1 - Actions générales — Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments ;
- NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige ;
- NF EN 1995-1-1/A1 : Eurocode 5 Conception et calcul des structures en bois ;
- NF EN 1993-1-1/NA : Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments - Annexe nationale à la NF EN 1993-1-1 ;

2 Documents examinés

- Plans de calepinage ;
- Notes descriptives ;
- Plans des bâtiments.

3 Calcul de la capacité portante – UEMO Tarbes

3.1 Implantation

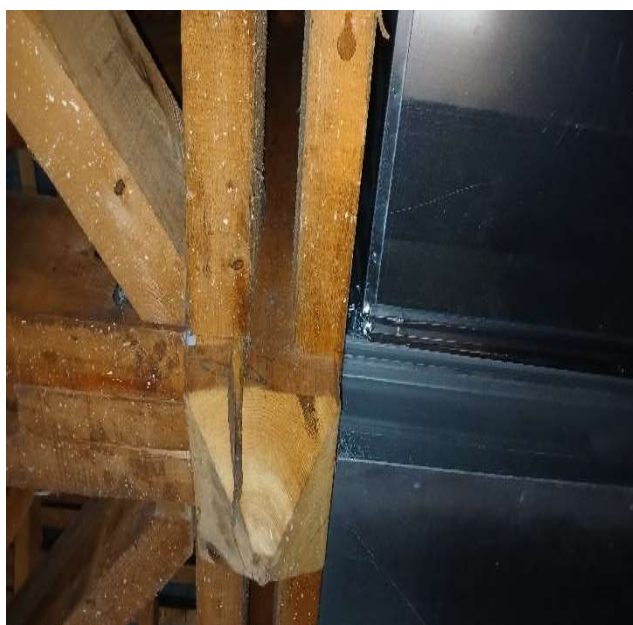


Implantation de la structure étudiée de l'UEMO de Tarbes.

3.2 Description de la structure



La structure de l'UEMO de Tarbes comporte une charpente en bois et des murs porteurs en maçonnerie.



Observation : Le bâtiment est en bon état de conservation générale mais des fractures sont présentes au niveau de deux poinçons.



La toiture du bâtiment examiné est en ardoise

3.3 Mesure du taux d'humidité

Le taux d'humidité de la charpente a été relevé à l'aide d'un Laser liner Wood tester Compact :



Description de l'appareil :

- Contrôle du taux d'humidité du bois ;
- Manipulation facile : Insérer simplement les pointes des électrodes dans le matériau ;
- Détermination directe du taux d'humidité du matériau mesuré ;
- Taux d'humidité suivant le groupe dont le bois fait partie, groupe A (hêtre, tilleul, saule, ébène) et groupe B (chêne vert, érable, aulne, épicéa, bouleau, frêne).

Les prises de mesures effectuées ont montré un taux d'humidité de 15%. Ce taux n'appelle pas de remarques particulières.



3.4 Analyse mycologique et entomologique

Les analyses ont été menées par le Cabinet Martinez.

Méthode :

- Examen des prélèvements en stéréo microscopie optique à lumière réfléchie (X 10 à X 90 fois) sur échantillon massif.
- Examen des prélèvements en microscopie optique à lumière transmise (X 200, X 500 et X 1000 fois) sur coupe mince.
- Examen des prélèvements par comparaison d'ADN.

Les résultats d'analyses démontrent une **absence de dégradation biologique**. Les échantillons ne révèlent **pas de trace d'attaque par des termites ou de la Mérule**. Les dépôts foncés en surface sont des résidus de poussières et de suies.

3.5 Calcul de la capacité portante

3.5.1 Hypothèses de calculs


Compte tenu des observations visuelles, nous estimerons une classe de résistance C24 pour les éléments de charpentes. Compte tenu des mesures d'humidité, la classe de service retenue sera la classe de service 2 (Humidité inférieur à 20%).

3.5.2 Descente de charge

Les charges de calculs pour la toiture sont :

- Toiture en ardoise de $40 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{0,40 \text{ KN/m}^2}$;
- Charges des liteaux de $6,1 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{0,061 \text{ KN/m}^2}$;
- Charges des équipements techniques de $\mathbf{0.23 \text{ KN/m}^2}$;
- Charges de système d'intégration et modules panneaux photovoltaïques :

Le modèle des panneaux solaires est pris de manière hypothétique.

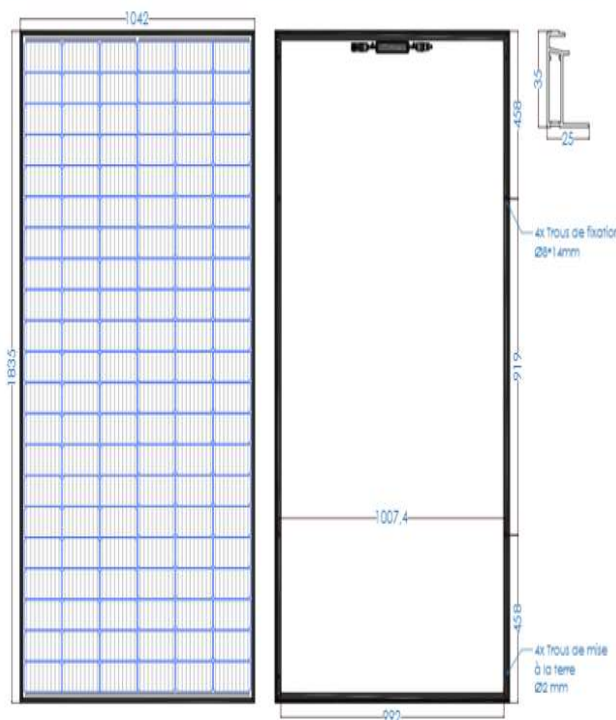


Spécifications techniques du module **TARKA 126 VSMD**

Monofacial - Verre mat

CARACTÉRISTIQUES DES PANNEAUX	
Dimensions ¹	1835 x 1042 x 35 mm
Poids ²	20,6 kg
Type de cellules	Monocristallin Type P M6-9BB
Quantité par panneau	126 demi-cellules
Verre solaire (anti-reflet)	Verre trempé 3,2mm
Connecteurs	Staubli MC4-EVO2
Longuer des câbles	2 x 1,2m
Cadre	Aluminium anodisé noir
Couleur de backsheet	Blanche (Noire en option)
Températures d'utilisation	-40 °C à +85 °C
Charge maximum vent/neige	2400 Pa
Sécurité électrique	Classe II, IP 68
Tension maximale du système (V)	1000
Courant inverse max IRM (A)	30

PLAN DU MODULE



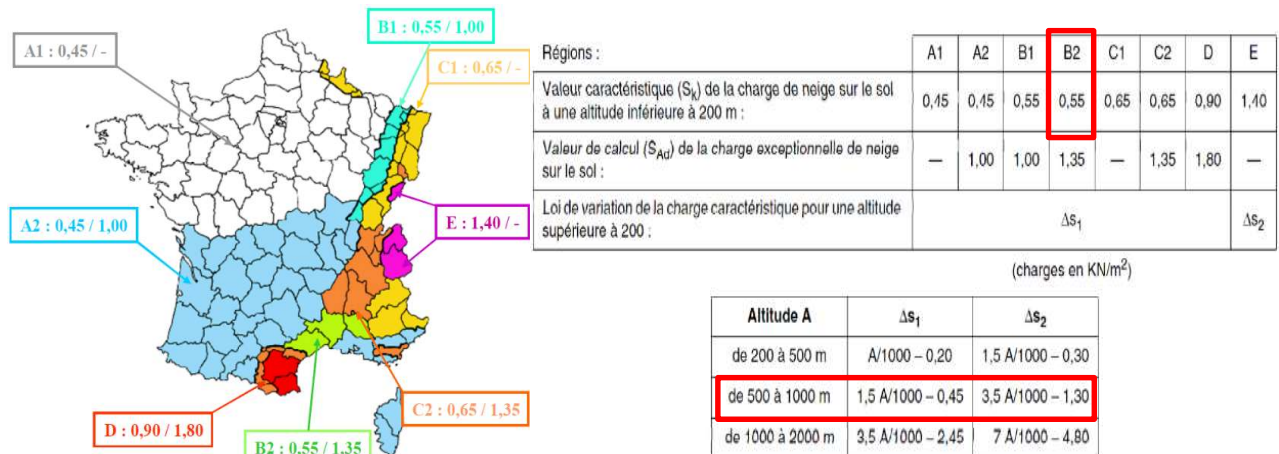
Caractéristiques des panneaux photovoltaïques

$20,6 / (1,835 \times 1,042) = 10,8 \text{ kg poids des panneaux par m}^2$. Avec le système d'intégration nous estimons la charge de l'ensemble : **16 kg/m²**

Nous estimons la charge de l'ensemble : $16 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{0,16 \text{ KN/m}^2}$

- Charges climatique - Charge de neige :

La charge de la neige est calculée conformément à la norme NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1
- Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige



Tarbes (65) - Région A2 Altitude = 304 m
Pente = 32 Degré

Valeur Caractéristique $S_k = 0,45 \text{ KN/m}^2$

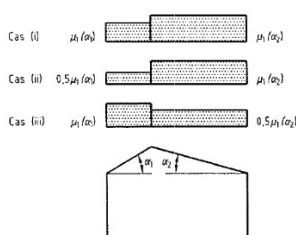
Variation de la charge
Alt.=304 $\Delta S_1 = 0,104$

Coeff. Topographie $C_e = 1,00$

Coeff. Thermique $C_t = 1,00$

$\mu_1 (32^\circ) = 0,75$

Charge de neige :

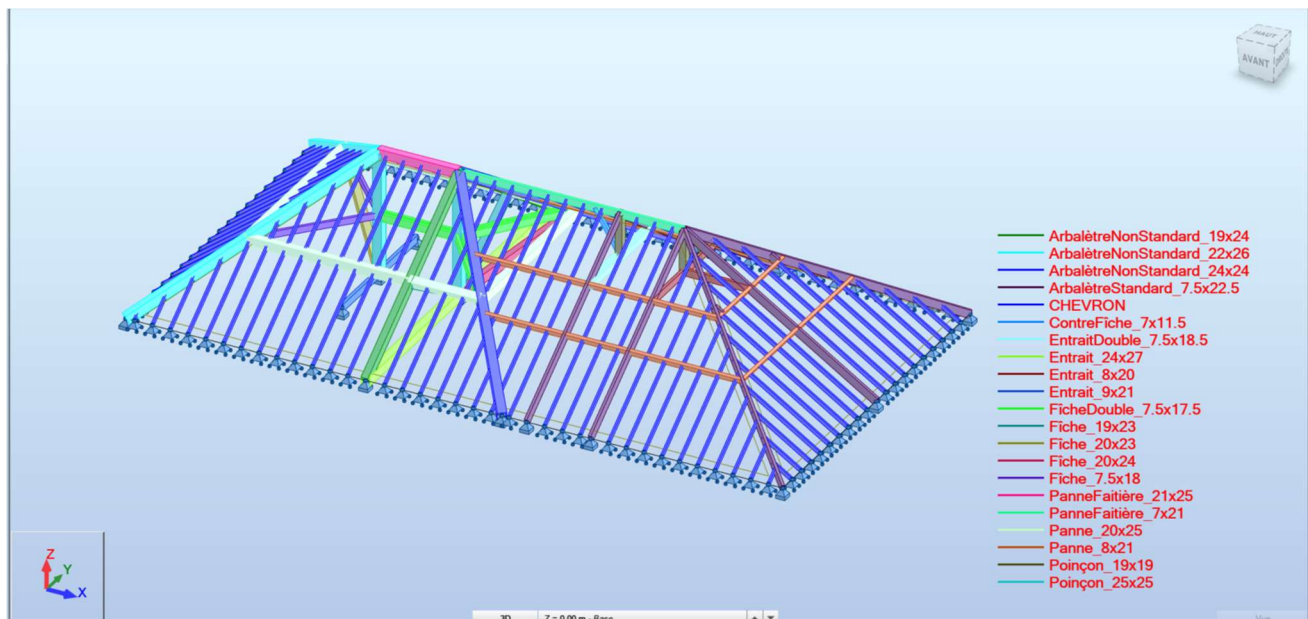


S	Gauche	Droite
Cas i	0,414 KN/m ²	0,414 KN/m ²
Cas ii	0,207 KN/m ²	0,414 KN/m ²
Cas iii	0,414 KN/m ²	0,207 KN/m ²

Charge de vent :

Les charges de vent sont moins préjudiciables que les contraintes de calcul de la neige, nous ne les prenons pas en compte.

3.5.3 Modélisation et calculs des contraintes et déformations



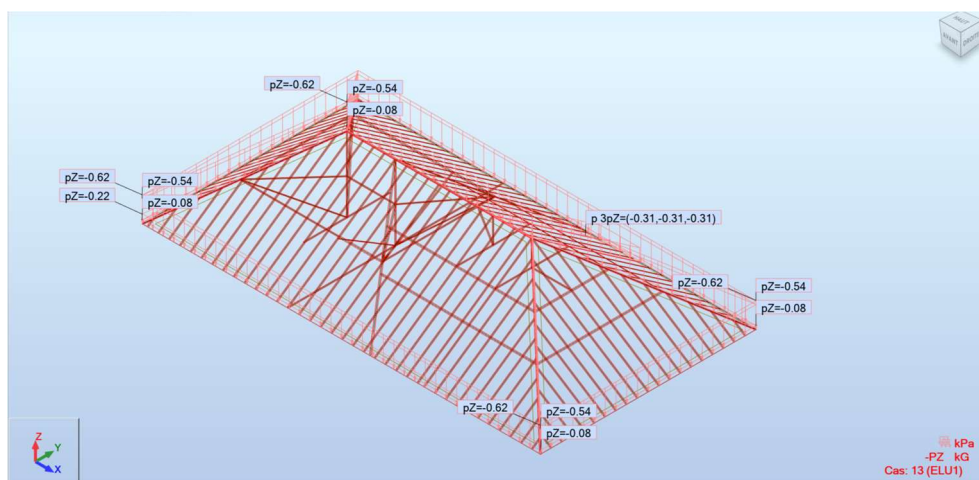
Modèle du calcul 3D

Tableau des chargements

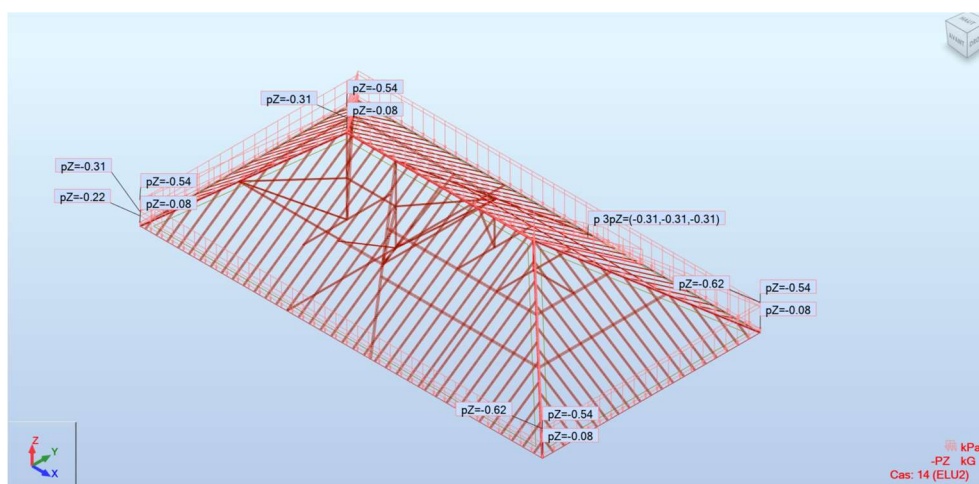
Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge (m) (kN) (Deg)
1.PERM1	poids propre	2 3 5A	'PZ Moins Coef=1,00
2.Ardoise	(EF) surfacique uniforme	309A3	'PZ=-0,40[kN/m2]
3.Liteaux	(EF) surfacique uniforme	309A3	'PZ=-0,06[kN/m2]
5.Panneaux	(EF) surfacique uniforme	309	'PZ=-0,16[kN/m2]
6.S_CASi	(EF) surfacique uniforme	309A3	'PZ=-0,41[kN/m2]
7.S_CASii	(EF) surfacique uniforme	309 31	'PZ=-0,21[kN/m2]
7.S_CASii	(EF) surfacique uniforme	310 31	'PZ=-0,41[kN/m2]
8.S_CASiii	(EF) surfacique uniforme	309 31	'PZ=-0,41[kN/m2]
8.S_CASiii	(EF) surfacique uniforme	310 31	'PZ=-0,21[kN/m2]
4.Installation Clim.	(EF) surfacique 3p (contour)	311	'PZ1=-0,23[kN/m2] PZ2=-0,23[kN/m2] PZ3=-0,23[kN/m2] N1X=13,07[m] N1Y=10,00[m] N1Z=0,0

Tableau des combinaisons

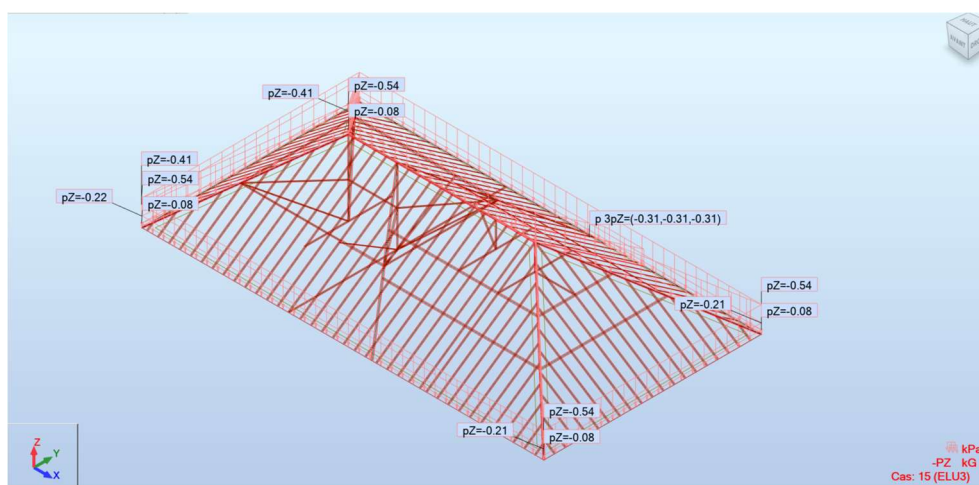
Combinaison	Nom	Type d'analyse	Type de la	Nature du cas	Définition
12 (C)	G	Combinaison liné	ELU	Structurelle	(1+2+3+4+5)*1.00
13 (C)	ELU1	Combinaison liné	ELU	Structurelle	12*1.35+6*1.50
14 (C)	ELU2	Combinaison liné	ELU	Structurelle	12*1.35+7*1.50
15 (C)	ELU3	Combinaison liné	ELU	Structurelle	12*1.35+8*1.00
16 (C)	ELS1	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(12+6)*1.00
17 (C)	ELS2	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(12+7)*1.00
18 (C)	ELS3	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(12+8)*1.00



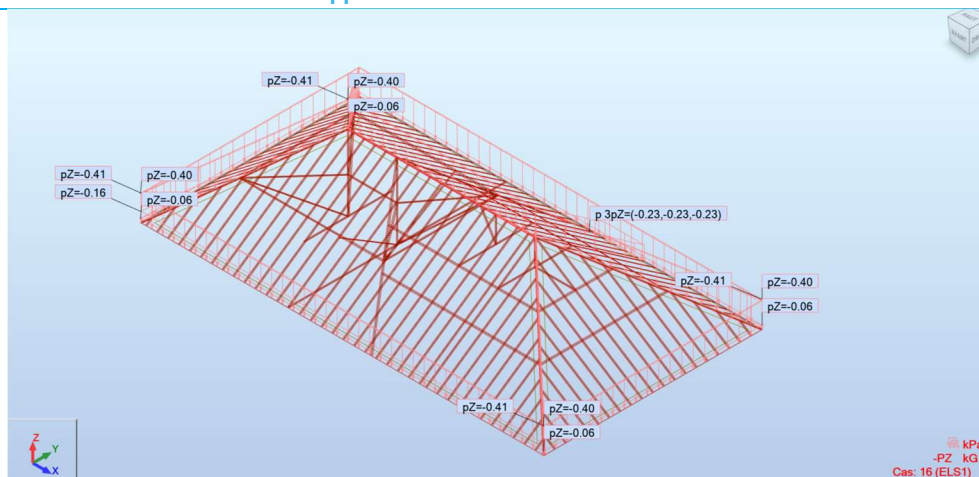
Combinaison à l'ELU1



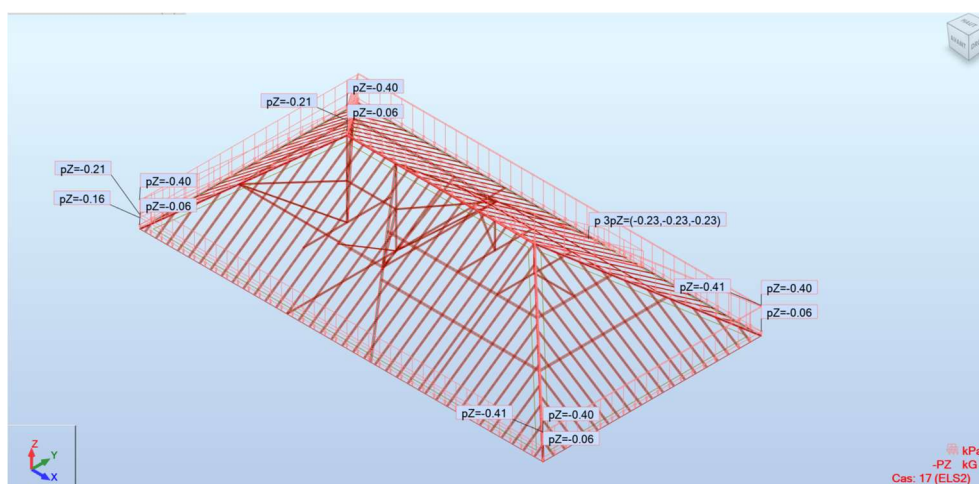
Combinaison à l'ELU2



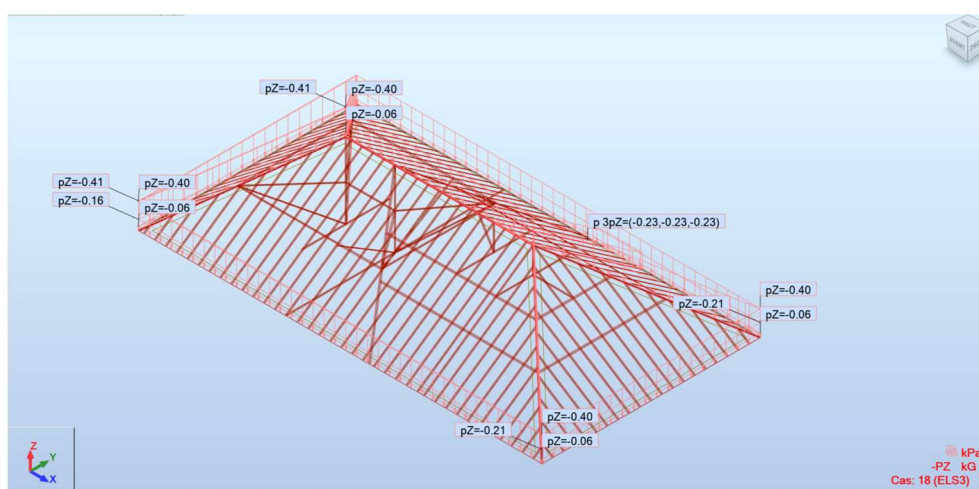
Combinaison à l'ELU3



Combinaison à l'ELS1

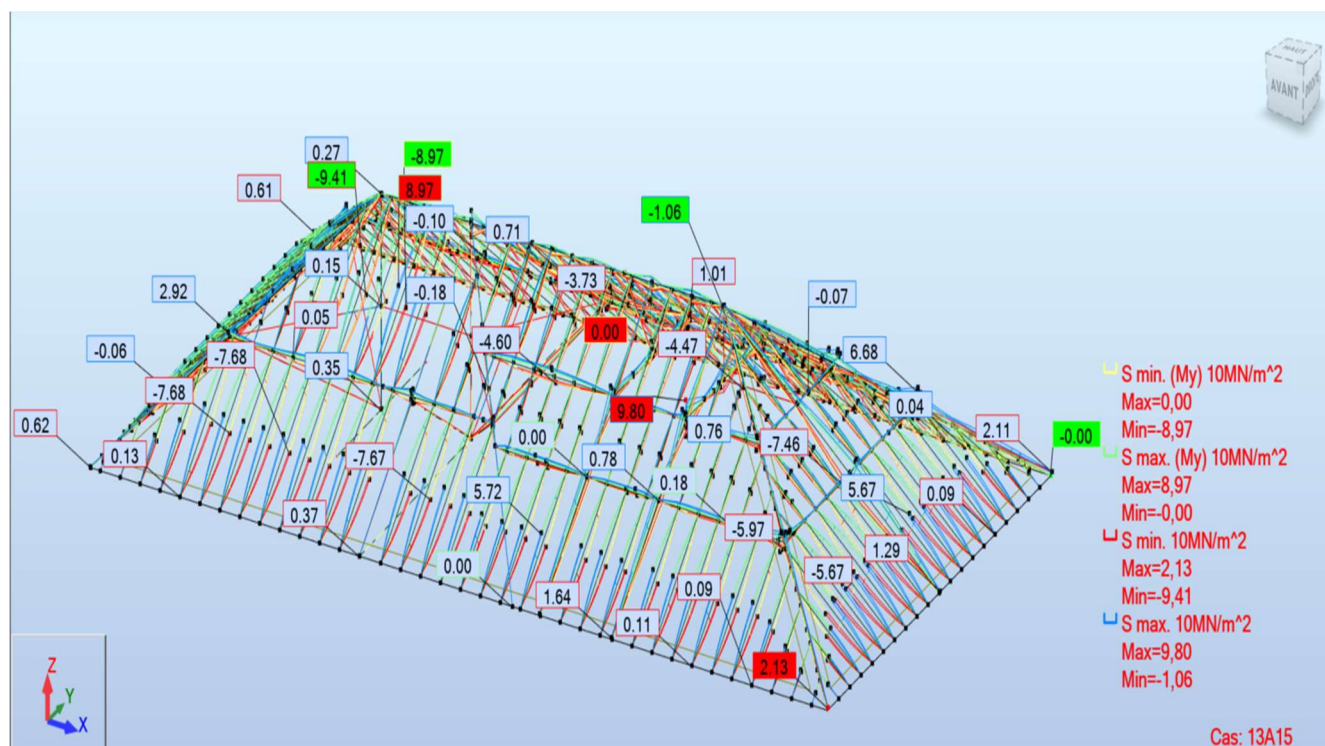


Combinaison à l'ELS2



Combinaison à l'ELS3

Résultats du calcul :



« Dans l'Eurocode 5, la valeur de résistance de calcul est donnée dans l'article 2.4.3 par la formule :

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

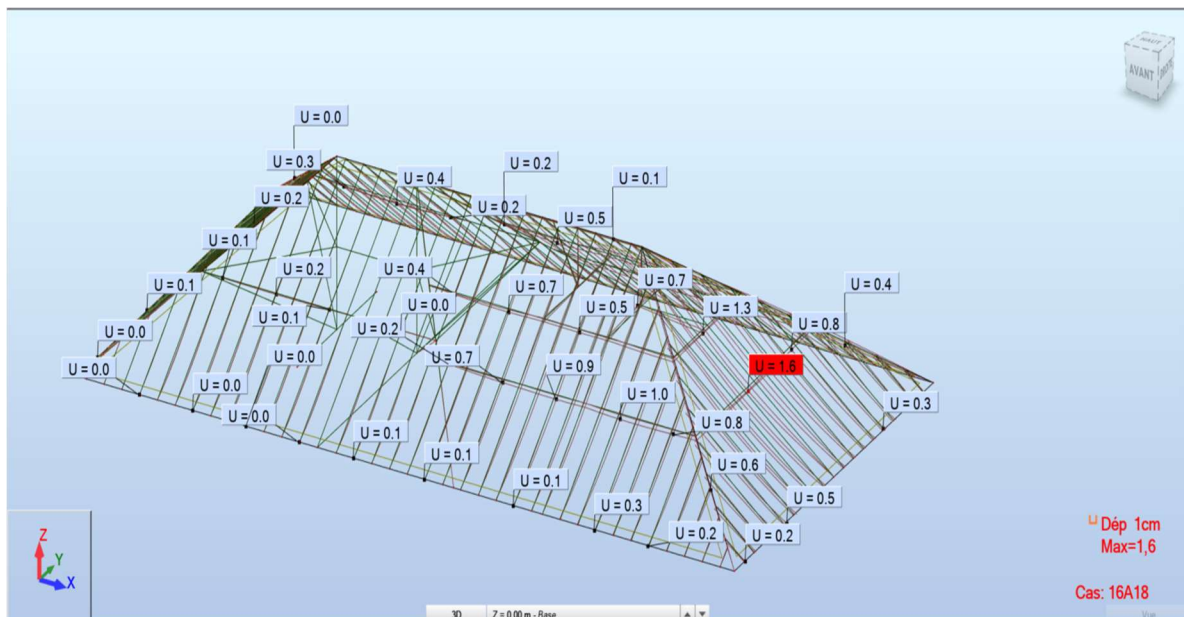
Avec hypothèse :

- **R_k = 24 MPa**
- K_{mod} = 0,60 (tableau 3.1 de l'EC5 – les panneaux sont considérés comme des charges permanentes)
- γ_M = 1,3 (tableau 2.3 de l'EC5)

$$R_d = 0,60 \times (24/1,3) = 11,07 \text{ MPa.}$$

La contrainte maximale dans les éléments en bois à l'ELU est de 9.80 < 11.07 MPa

Calcul de la flèche :



La limite de la flèche prise en compte est de $l/300$ par rapport à l'EC5

Flèche maximale est de 1,6 cm ($1.6/555 < 1.6/300$)

Conclusion :

- La contrainte maximale dans les éléments en bois, vérifiée à l'État Limite Ultime (ELU), est conforme.
- La limitation de la flèche, prise en compte selon l'Eurocode 5 (EC5) avec une valeur de $L/300$, est respectée.

La pose de panneaux sur la toiture du bâtiment **UEMO Tarbes** est techniquement envisageable, que ce soit en surimposition ou en encastrement.

4 Calcul de la capacité portante – UEAJ Toulouse

4.1 Implantation



Implantation des structures étudiées de l'UEAJ de Toulouse.

4.2 Description des structures



La première structure de l'UEAJ de Toulouse comporte une charpente en bois et des porteurs en maçonnerie.

Le bâtiment est en bon état de conservation générale.



La toiture du bâtiment examiné est en tuile canal.

La seconde structure étudiée est un abri à voiture en ossature métallique surmonté d'une couverture en plexiglass.



Lors de l'intervention, un défaut d'ancrage d'un des poteaux a été constaté. A l'exception de ce désordre, la structure présente un bon état général.



4.3 Mesure du taux d'humidité

Les mesures du taux d'humidité ont été effectuées comme mentionné en paragraphe 3.3. Les prises de mesures effectuées ont montré un taux d'humidité de 15%. Ce taux n'appelle pas de remarques particulières.

4.4 Analyse mycologique et entomologique

Les analyses ont été menées par le Cabinet Martinez.

Méthode :

- Examen des prélèvements en stéréo microscopie optique à lumière réfléchie (X 10 à X 90 fois) sur échantillon massif.
- Examen des prélèvements en microscopie optique à lumière transmise (X 200, X 500 et X 1000 fois) sur coupe mince.
- Examen des prélèvements par comparaison d'ADN.

Les résultats d'analyses démontrent une **absence de dégradation biologique**. Les échantillons ne révèlent **pas de trace d'attaque par des termites ou de la Mérule**. Une gerce s'est formée à la faveur d'une poche de résine alors que l'arbre était sur pied. Cette gerce abrite un cocon, recueille de pontes d'araignées.

4.5 Calcul de la capacité portante

4.5.1 Bâtiment principal – Structure bois

4.5.1.1 Hypothèses de calculs

Compte tenu des observations visuelles, nous estimerons une classe de résistance C24 pour les éléments de charpentes.

Compte tenu des mesures d'humidité, la classe de service retenue sera la classe de service 2 (Humidité inférieur à 20%).

Le calcul concerne uniquement les éléments de la structure du bâtiment concernés par les modifications des charges.


Les contraintes maximales dans les éléments seront le résultat de calculs à l'ELU et les déformations maximales seront le résultat de calculs à l'ELS.

4.5.1.2 Descente de charge

Les charges de calculs pour la toiture sont :

- Toiture en tuiles canal de $48 \text{ kg/m}^2 = 0,48 \text{ KN/m}^2$;
- Charges des liteaux + écran sous toiture de $2 \text{ kg/m}^2 = 0,02 \text{ KN/m}^2$;
- Charges de système d'intégration et modules panneaux photovoltaïques :

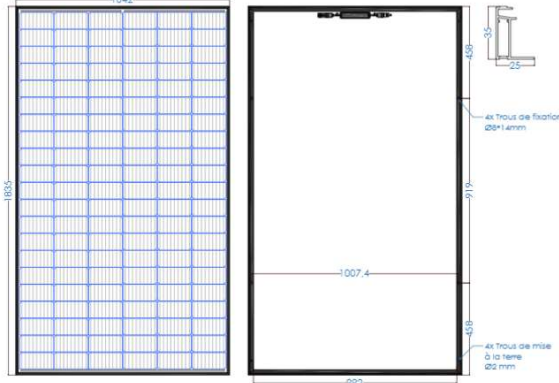
Le modèle des panneaux solaires est pris de manière hypothétique.



Spécifications techniques du module **TARKA 126 VSMD**
Monofacial - Verre mat

CARACTÉRISTIQUES DES PANNEAUX	
Dimensions ¹	1835 x 1042 x 35 mm
Poids ²	20,6 kg
Type de cellules	Monocristallin Type P M6-9BB
Quantité par panneau	126 demi-cellules
Verre solaire (anti-reflet)	Verre trempé 3,2mm
Connecteurs	Staubli MC4-EV02
Longueur des câbles	2 x 1,2m
Cadre	Aluminium anodisé noir
Couleur de backsheet	Blanche (Noire en option)
Températures d'utilisation	-40 °C à +85 °C
Charge maximum vent/neige	2400 Pa
Sécurité électrique	Classe II, IP 68
Tension maximale du système (V)	1000
Courant inverse max IRM (A)	30

PLAN DU MODULE



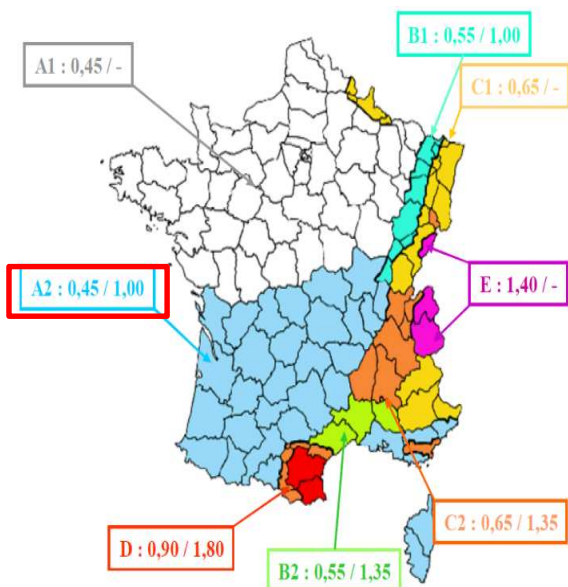
Caractéristiques des panneaux photovoltaïques

$20,6 / (1,835 \times 1,042) = 10,8$ kg poids des panneaux par m². Avec le système d'intégration nous estimons la charge de l'ensemble : **16 kg/m²**

Nous estimons la charge de l'ensemble : 16 kg/m² = **0,16 KN/m²**

- Charges climatique - Charge de neige :

La charge de la neige est calculée conformément à la norme NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige



Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique (S _k) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,45	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul (S _{kd}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	ΔS ₁						ΔS ₂	

(charges en KN/m²)

Altitude A	ΔS ₁	ΔS ₂
de 200 à 500 m	A/1000 - 0,20	1,5 A/1000 - 0,30
de 500 à 1000 m	1,5 A/1000 - 0,45	3,5 A/1000 - 1,30
de 1000 à 2000 m	3,5 A/1000 - 2,45	7 A/1000 - 4,80

Rapport n° IN-25-01738-TOUBA-00

Toulouse (31) - Région A2

Altitude = 203 m

Pente = 18 Degré

Valeur Caractéristique

$S_k = 0,45 \text{ KN/m}^2$

Neige Exceptionnelle

$S_{Ad} = 1,00 \text{ KN/m}^2$

Variation de la charge Alt.=203

$\Delta_{sI} = 0,003$

Coeff. Topographie

$C_e = 1,00$

Coeff. Thermique

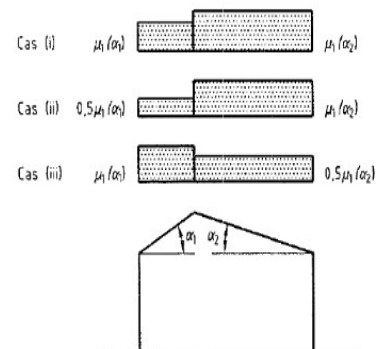
$C_t = 1,00$

Bâtiment

$\mu_1(18^\circ) = 0,80$

Charge de neige:

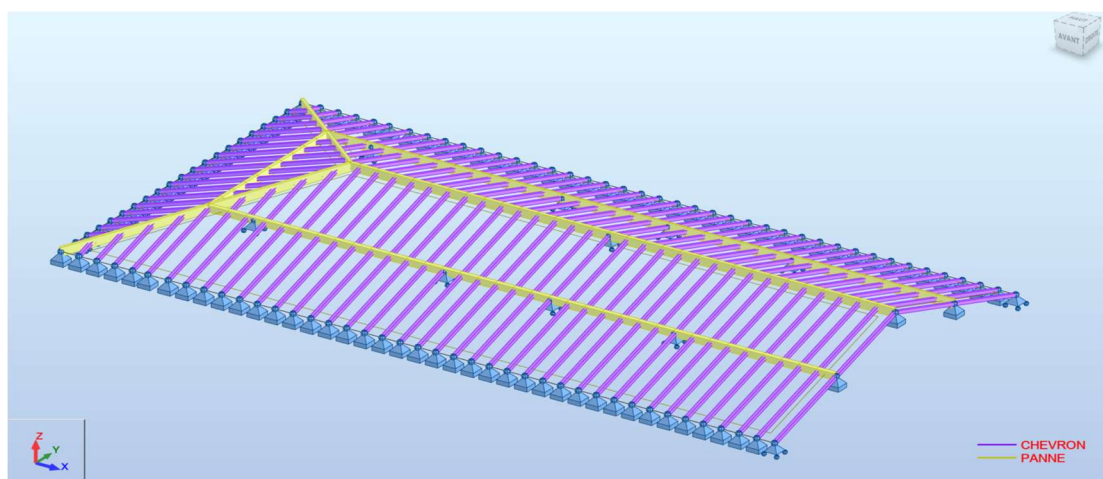
S	Gauche	Droite
Cas i	0,362 KN/m ²	0,362 KN/m ²
Cas ii	0,181 KN/m ²	0,362 KN/m ²
Cas iii	0,362 KN/m ²	0,181 KN/m ²



Charge de vent :

Les charges de vent sont moins préjudiciables que le calcul de neige, nous ne les prenons pas en compte.

4.5.1.3 Modélisation et calcul des contraintes



Modèle du calcul 3D

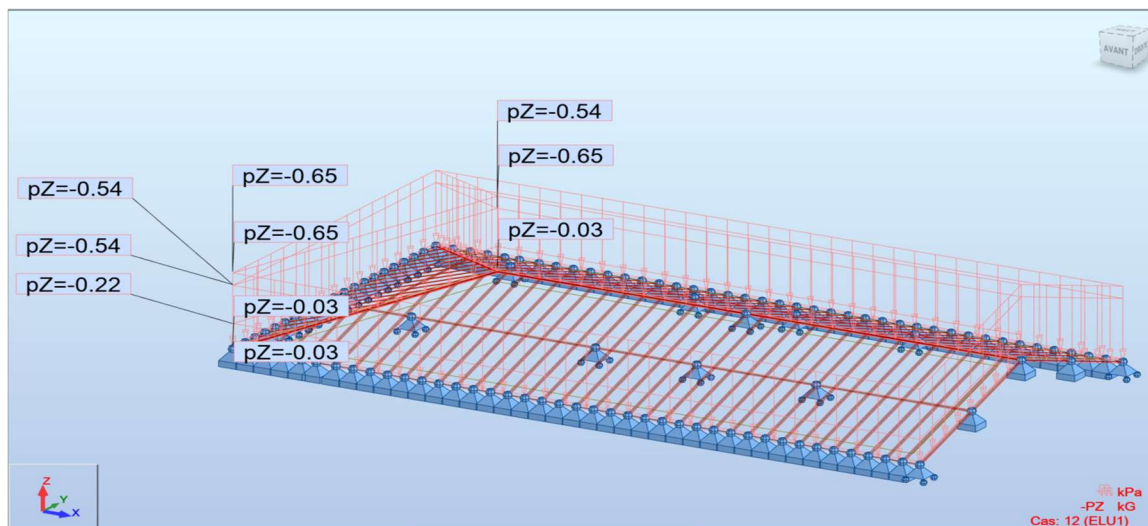
Tableau des chargements

Rapport n° IN-25-01738-TOUBA-00

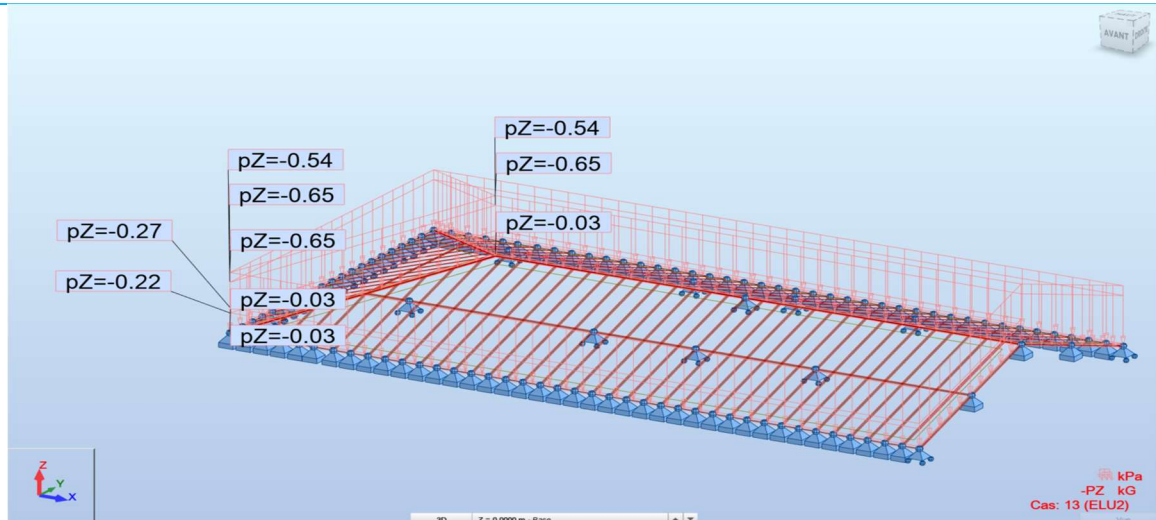
Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge (m) (kN) (Deg)
1.PERM1	poids propre	4A159 161A30	'PZ Moins Coef=1,00
2.TUILES	(EF) surfacique uniforme	4 154 190	'PZ=-0,48[kN/m2]
3.Liteaux	(EF) surfacique uniforme	4 154 190	'PZ=-0,02[kN/m2]
4.PANNEAUX	(EF) surfacique uniforme	4	'PZ=-0,16[kN/m2]
5.S_CASi	(EF) surfacique uniforme	4 154 190	'PZ=-0,36[kN/m2]
6.S_CASii	(EF) surfacique uniforme	154 190	'PZ=-0,36[kN/m2]
6.S_CASii	(EF) surfacique uniforme	4	'PZ=-0,18[kN/m2]
7.S_CASiii	(EF) surfacique uniforme	190	'PZ=-0,18[kN/m2]
7.S_CASiii	(EF) surfacique uniforme	4 154	'PZ=-0,36[kN/m2]
8.S_CASi_2	(EF) surfacique uniforme	4	'PZ=-0,36[kN/m2]
8.S_CASi_2	(EF) surfacique uniforme	154	'PZ=-0,18[kN/m2]
8.S_CASi_2	(EF) surfacique uniforme	190	'PZ=-0,36[kN/m2]
9.S_CASii_2	(EF) surfacique uniforme	190	'PZ=-0,36[kN/m2]
9.S_CASii_2	(EF) surfacique uniforme	4 154	'PZ=-0,18[kN/m2]
10.S_CASiii_2	(EF) surfacique uniforme	154 190	'PZ=-0,18[kN/m2]
10.S_CASiii_2	(EF) surfacique uniforme	4	'PZ=-0,36[kN/m2]

Tableau des combinaisons

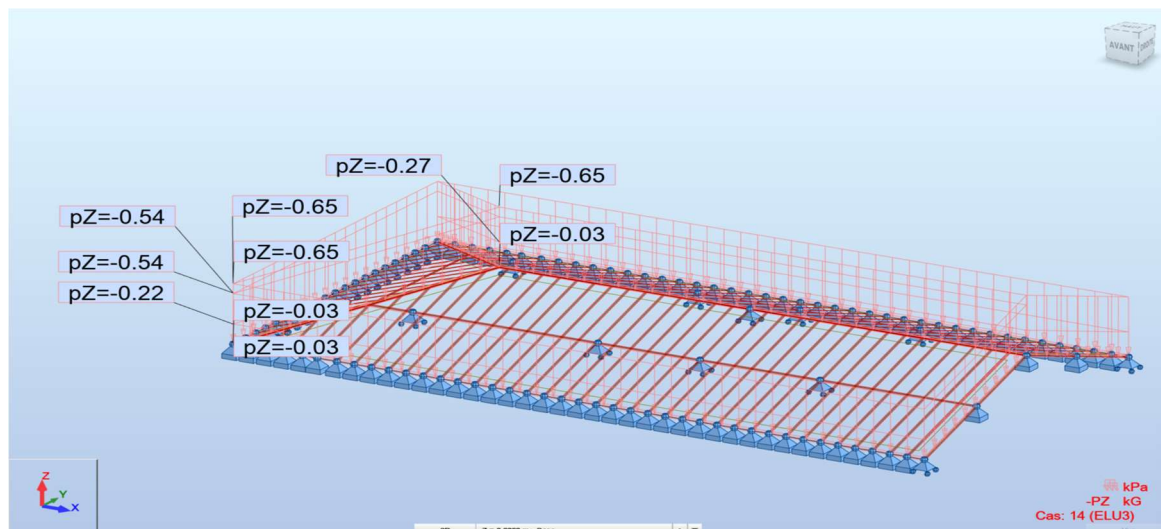
Combinaison	Nom	Type d'analyse	Type de la	Nature du cas	Définition
11 (C)	G	Combinaison liné	ELU	Structurelle	(1+2+3+4)*1.00
12 (C)	ELU1	Combinaison liné	ELU	Structurelle	11*1.35+5*1.50
13 (C)	ELU2	Combinaison liné	ELU	Structurelle	11*1.35+6*1.50
14 (C)	ELU3	Combinaison liné	ELU	Structurelle	11*1.35+7*1.50
15 (C)	ELU4	Combinaison liné	ELU	Structurelle	11*1.35+8*1.50
16 (C)	ELU5	Combinaison liné	ELU	Structurelle	11*1.35+9*1.50
17 (C)	ELU6	Combinaison liné	ELU	Structurelle	11*1.35+10*1.50
18 (C)	ELS1	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(11+5)*1.00
19 (C)	ELS2	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(11+6)*1.00
20 (C)	ELS3	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(11+7)*1.00
21 (C)	ELS4	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(11+8)*1.00
22 (C)	ELS5	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(11+9)*1.00
23 (C)	ELS6	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(11+10)*1.00



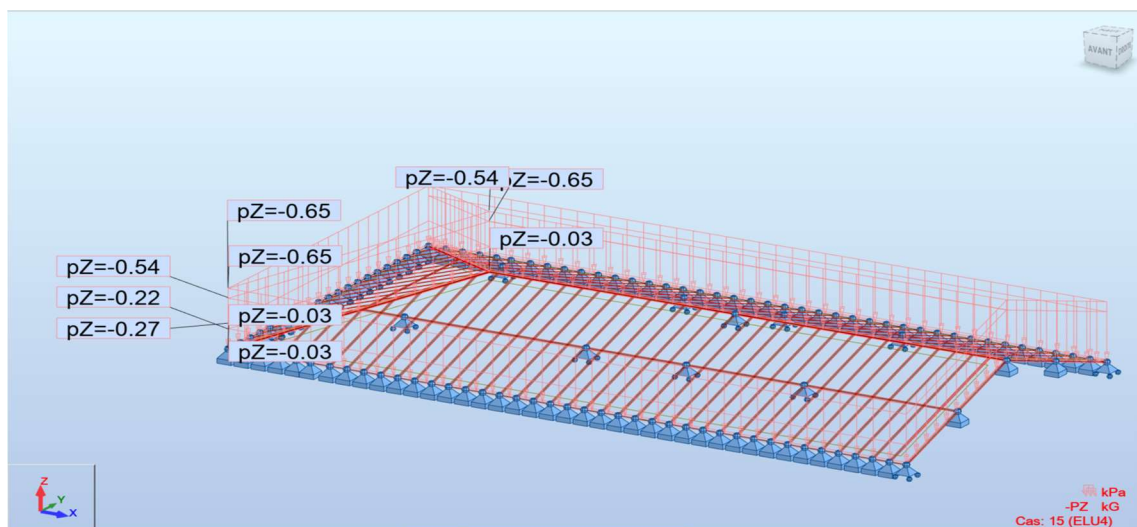
Combinaison à l'ELU1



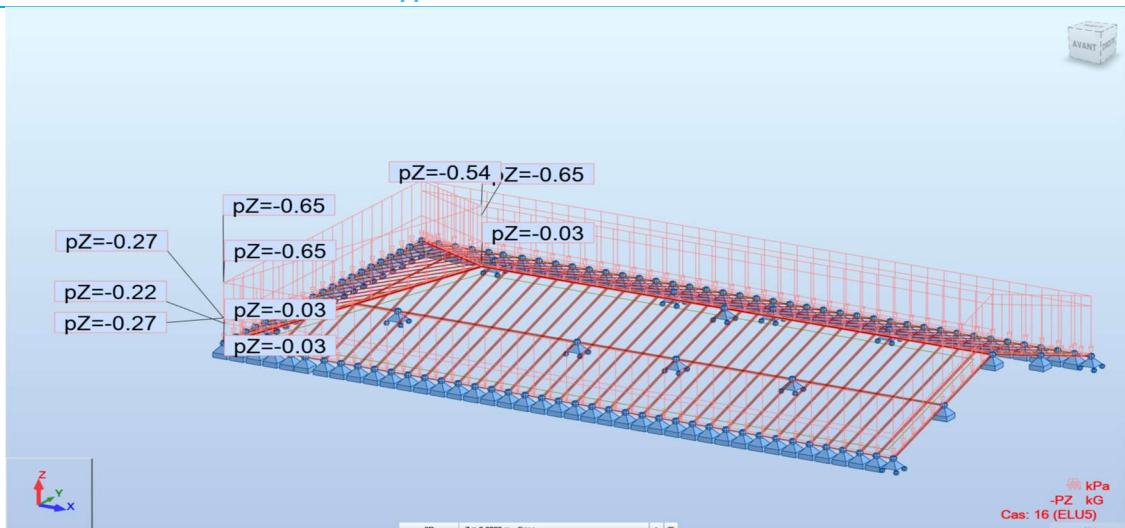
Combinaison à l'ELU2



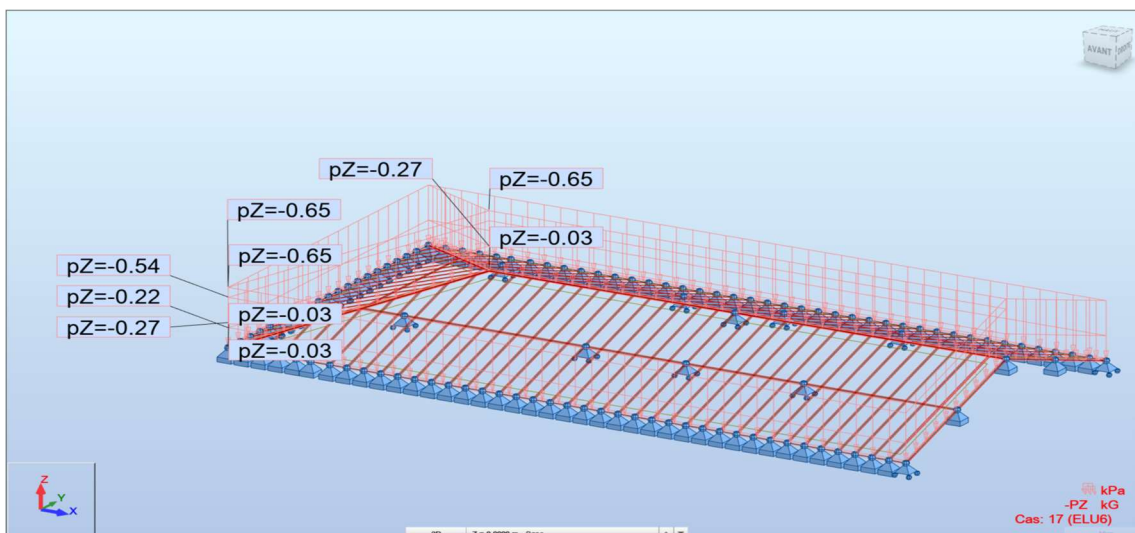
Combinaison à l'ELU3



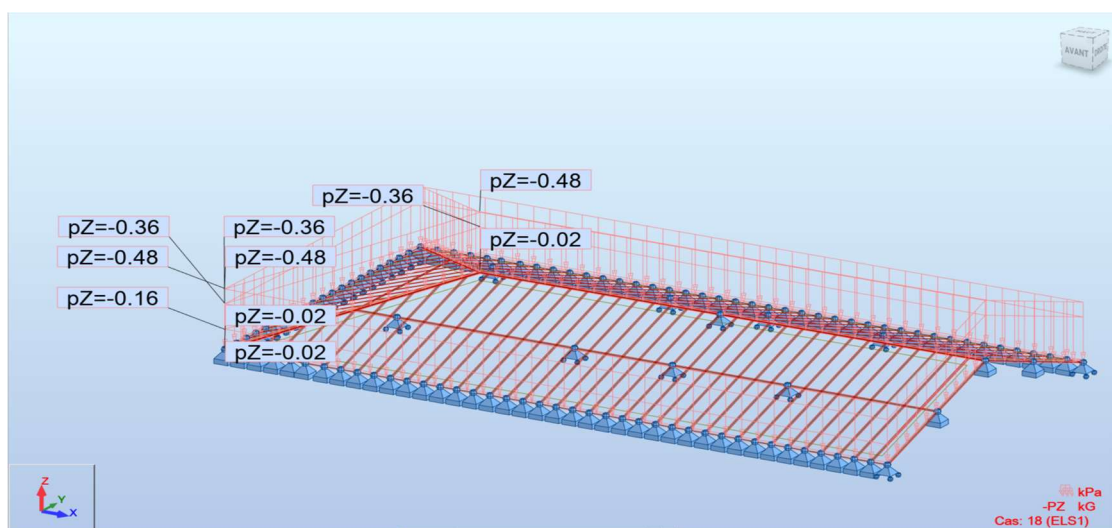
Combinaison à l'ELU4



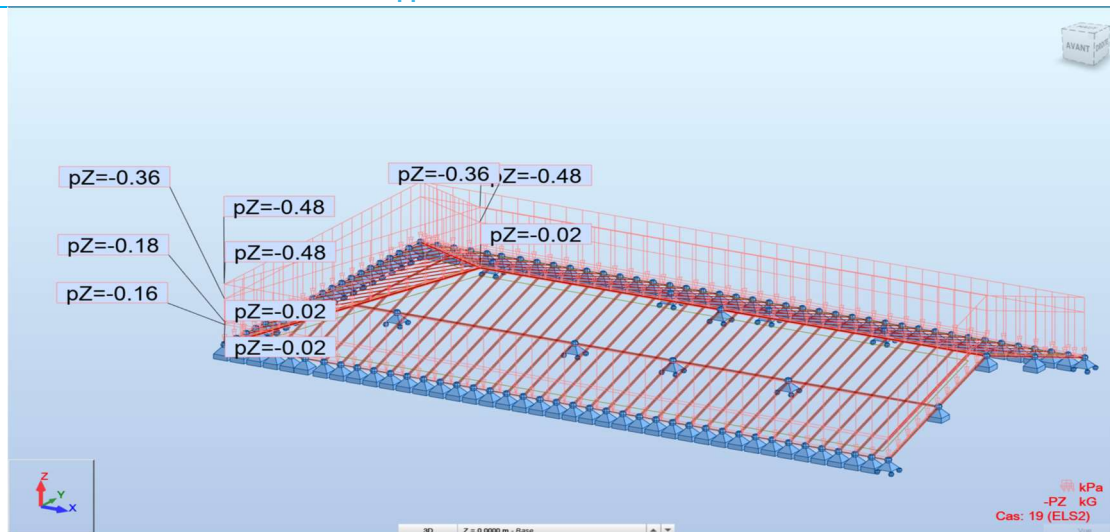
Combinaison à l'ELU5



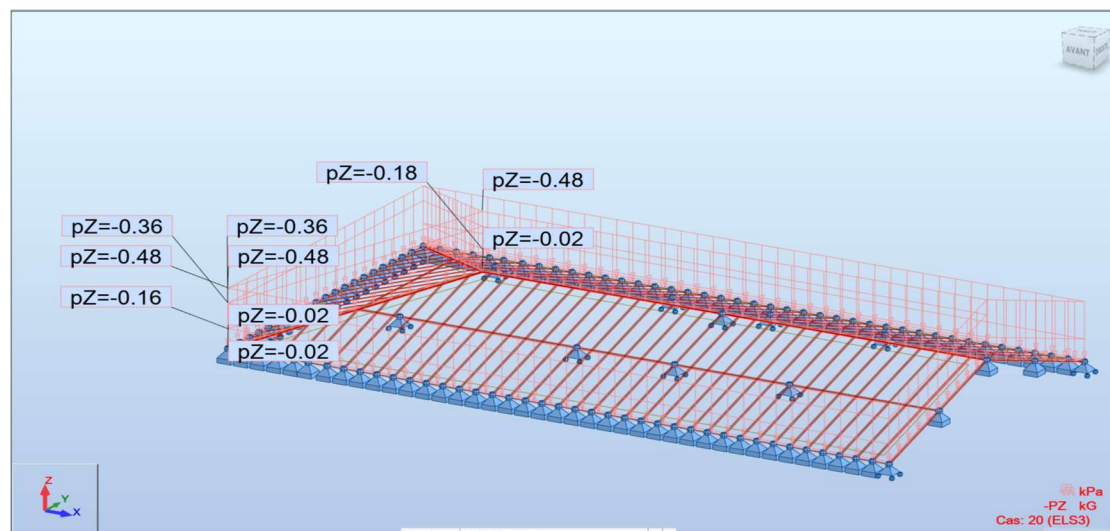
Combinaison à l'ELU6



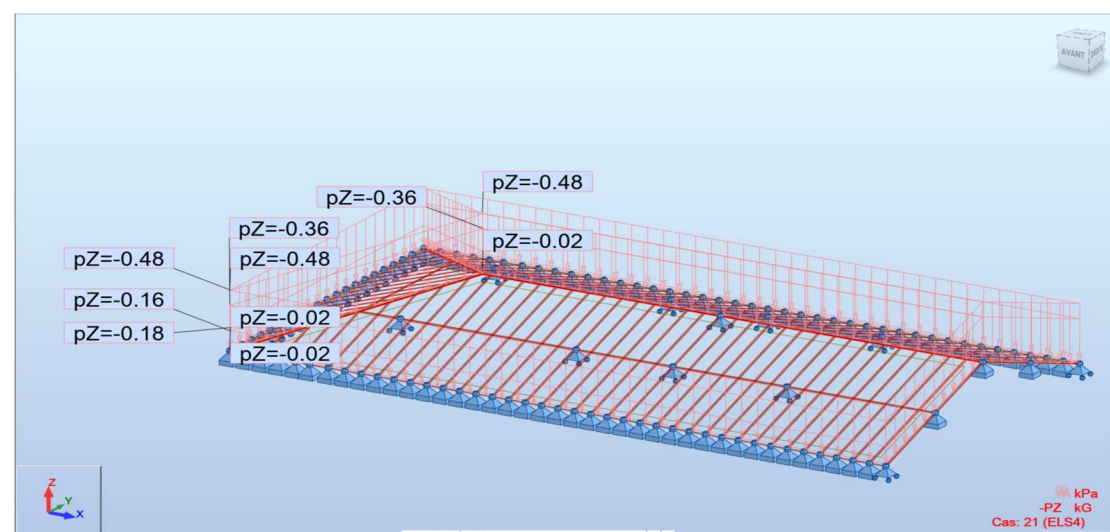
Combinaison à l'ELS1



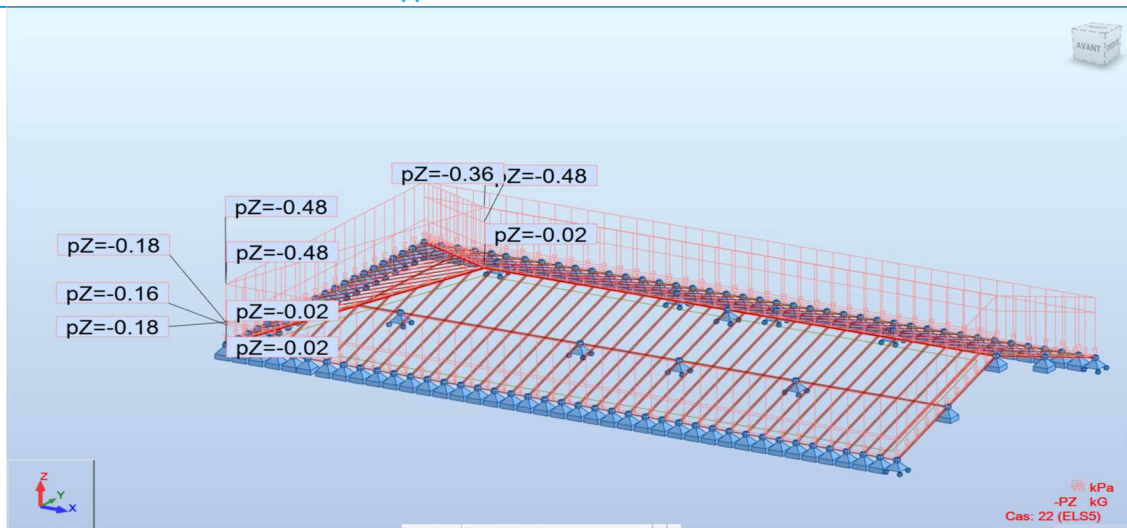
Combinaison à l'EL S2



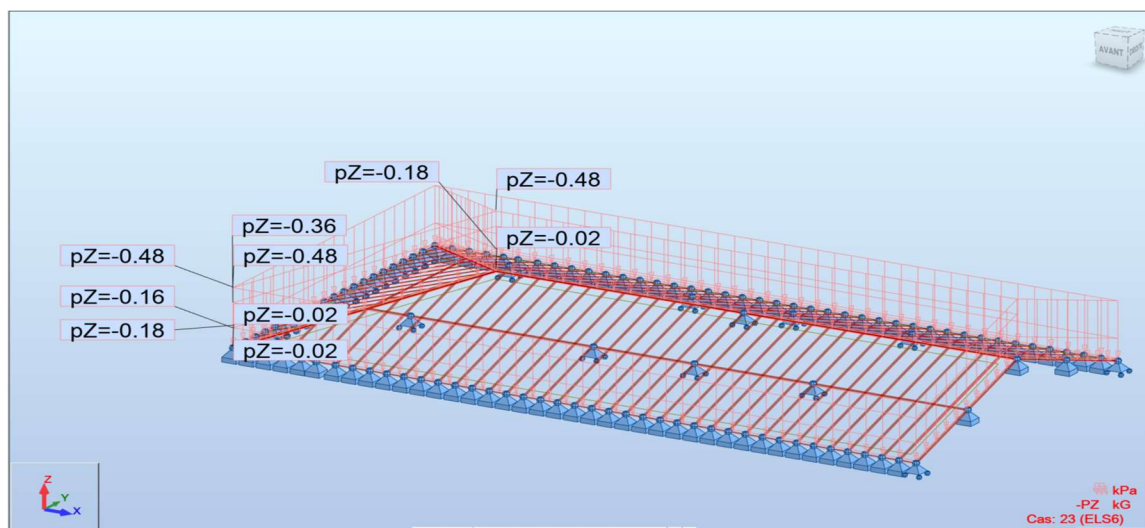
Combinaison à l'EL S3



Combinaison à l'EL S4

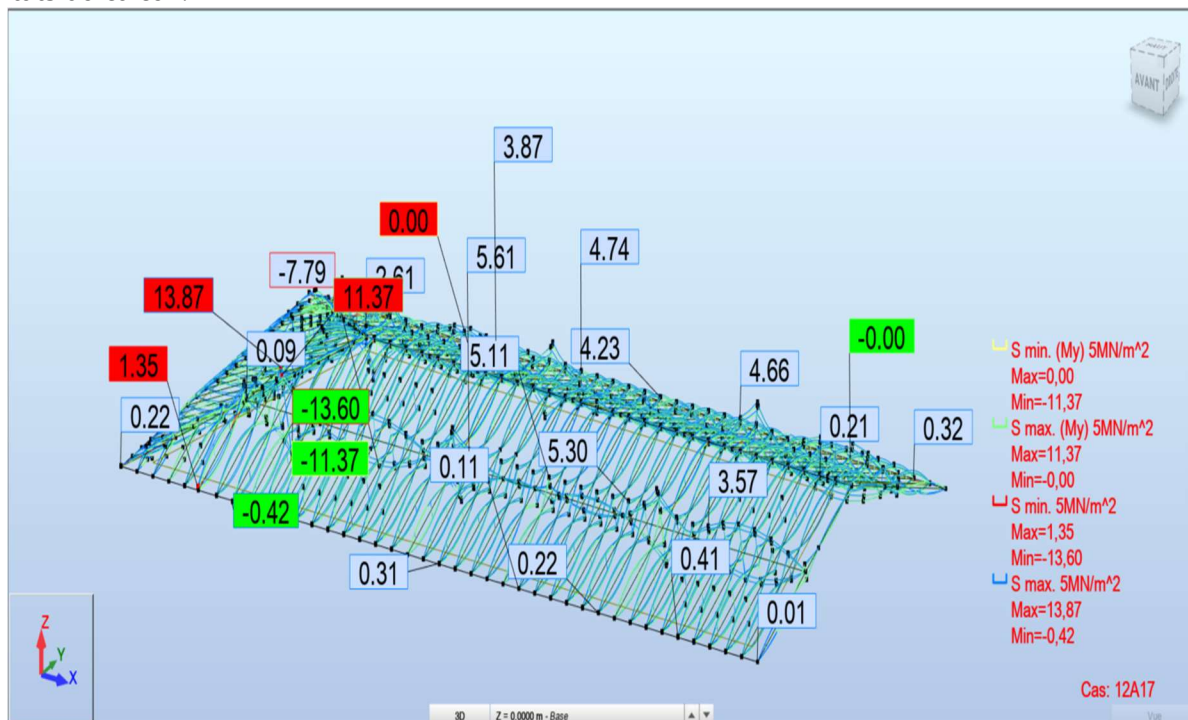


Combinaison à l'EL5



Combinaison à l'EL6

Résultats du calcul :



« Dans l'Eurocode 5, la valeur de résistance de calcul est donnée dans l'article 2.4.3 par la formule :

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

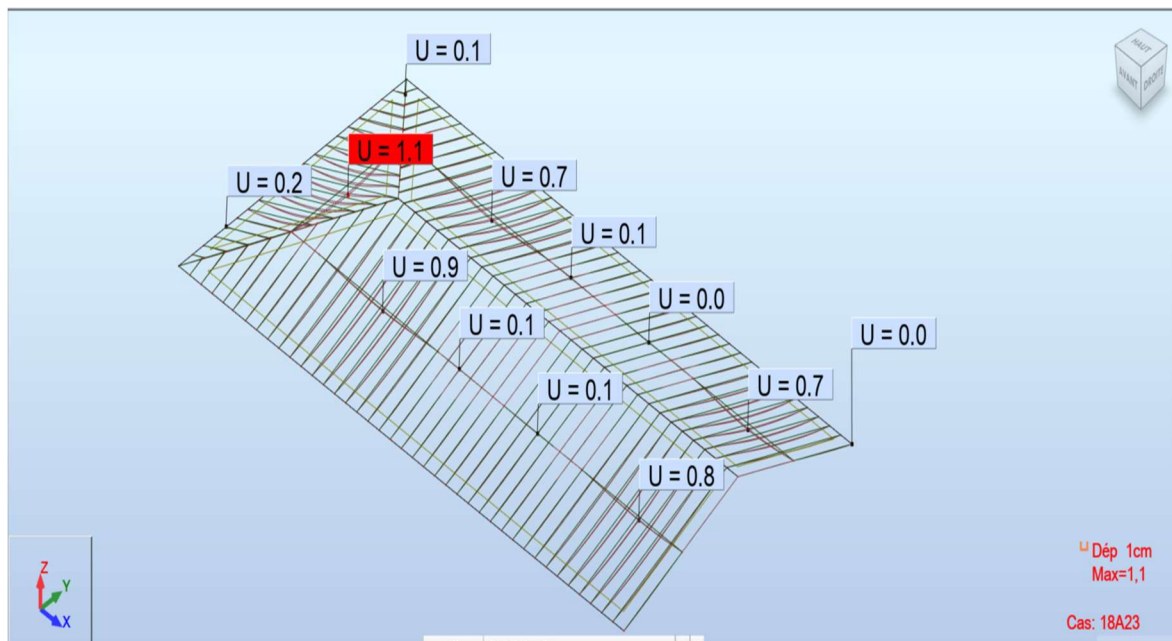
Avec hypothèse :

- $R_k = 24 \text{ MPa}$
- $k_{mod} = 0,60$ (tableau 3.1 de l'EC5 – les panneaux sont considérés comme des charges permanentes)
- $\gamma_M = 1,2$ (tableau 2.3 de l'EC5)

$$R_d = 0,60 \times (24/1,2) = 12 \text{ MPa.}$$

La contrainte maximale dans les éléments en bois à l'ELU est de **11.37 < 12** MPa

Calcul de la flèche :



La limite de la flèche prise en compte est de $L/300$ par rapport à l'EC5
 Flèche maximale de 1.1 cm ($L/398 < L/300$)

Conclusion :

- La contrainte maximale dans les éléments en bois, vérifiée à l'État Limite Ultime (ELU), est conforme.
- La limitation de la flèche, prise en compte selon l'Eurocode 5 (EC5) avec une valeur de $L/300$, est respectée.

La pose de panneaux sur la toiture du bâtiment **UEAJ Toulouse** est techniquement envisageable, que ce soit en surimposition ou en encastrement.

4.5.2 Abri voiture - Ossature métallique

4.5.2.1 Hypothèses de calculs

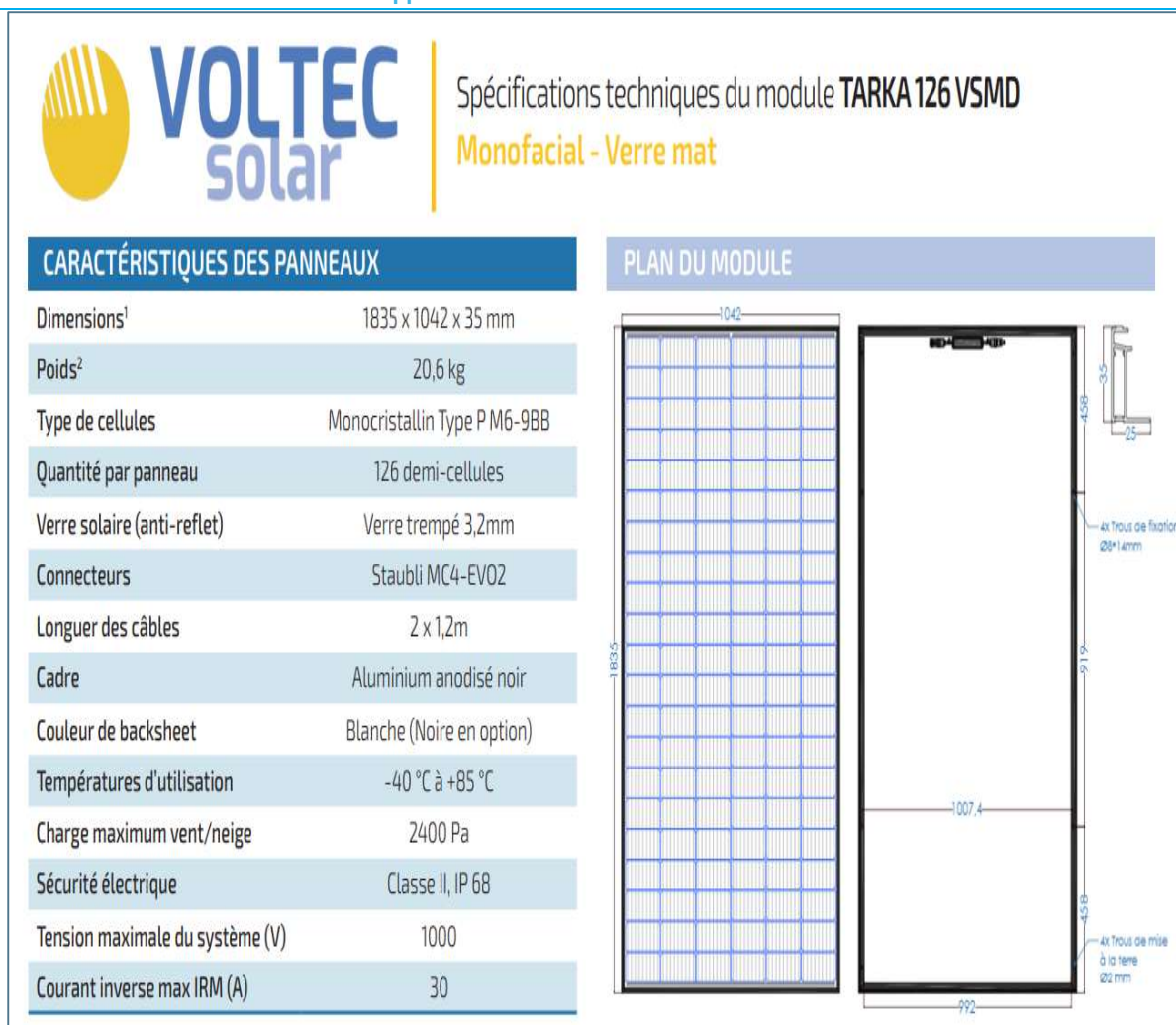
D'après les observations visuelles sur site, nous retiendrons une nuance d'acier S.235 avec une limite d'élasticité de 235 MPa. Le calcul concerne uniquement les éléments de la structure du bâtiment concernés par les modifications des charges. Les contraintes maximales dans les éléments seront le résultat de calculs à l'ELU et les déformations maximales seront le résultat de calculs à l'ELS.

4.5.2.2 Descente de charge

Les charges de calculs pour la toiture sont :

- Couverture en bac sec de $8 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{0,080 \text{ KN/m}^2}$;
- Equipements techniques 23 dan/m^2 ;
- Charges de système d'intégration et modules panneaux photovoltaïques :

Le modèle des panneaux solaires est pris de manière hypothétique.



Caractéristiques des panneaux photovoltaïques :

$20,6 / (1,835 \times 1,042) = 10,8 \text{ kg poids des panneaux par m}^2$.

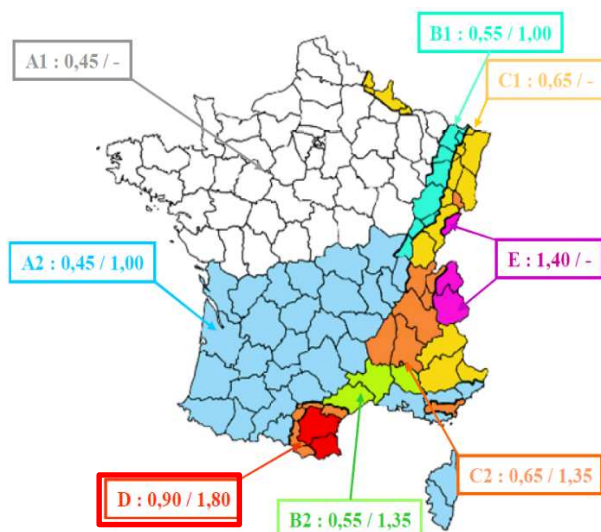
Avec le système d'intégration nous estimons la charge de l'ensemble : $10,8 + 8 + 23 = 41,8 \text{ kg/m}^2$

Nous estimons la charge de l'ensemble : $41,8 \text{ kg/m}^2 = 0,42 \text{ KN/m}^2$

- **Charges climatique - Charge de neige :**

La charge de la neige est calculée conformément à la norme NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1

- Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige



Régions :

Régions :	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Valeur caractéristique (S_k) de la charge de neige sur le sol à une altitude inférieure à 200 m :	0,15	0,45	0,55	0,55	0,65	0,65	0,90	1,40
Valeur de calcul (S_{Ad}) de la charge exceptionnelle de neige sur le sol :	—	1,00	1,00	1,35	—	1,35	1,80	—
Loi de variation de la charge caractéristique pour une altitude supérieure à 200 :	ΔS_1						ΔS_2	

(charges en KN/m^2)

Altitude A	ΔS_1	ΔS_2
de 200 à 500 m	$A/1000 - 0,20$	$1,5 A/1000 - 0,30$
de 500 à 1000 m	$1,5 A/1000 - 0,45$	$3,5 A/1000 - 1,30$
de 1000 à 2000 m	$3,5 A/1000 - 2,45$	$7 A/1000 - 4,80$

Toulouse (31) - Région A2

Altitude = 203 m

Pente = 5 Degré

Valeur Caractéristique

$S_k = 0,45 \text{ KN/m}^2$

Neige Exceptionnelle

$S_{Ad} = 1,00 \text{ KN/m}^2$

Variation de la charge Alt.=203

$\Delta S_1 = 0,003$

Coeff. Topographie

$C_e = 1,00$

Coeff. Thermique

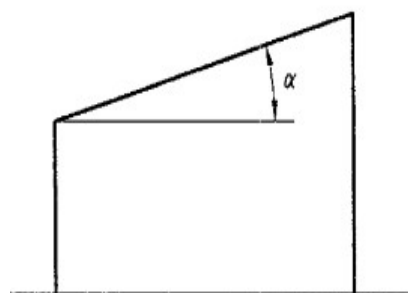
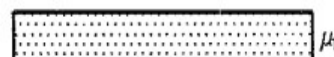
$C_t = 1,00$

Bâtiment

$\mu_{1(18^\circ)} = 0,80$

Charge de neige:

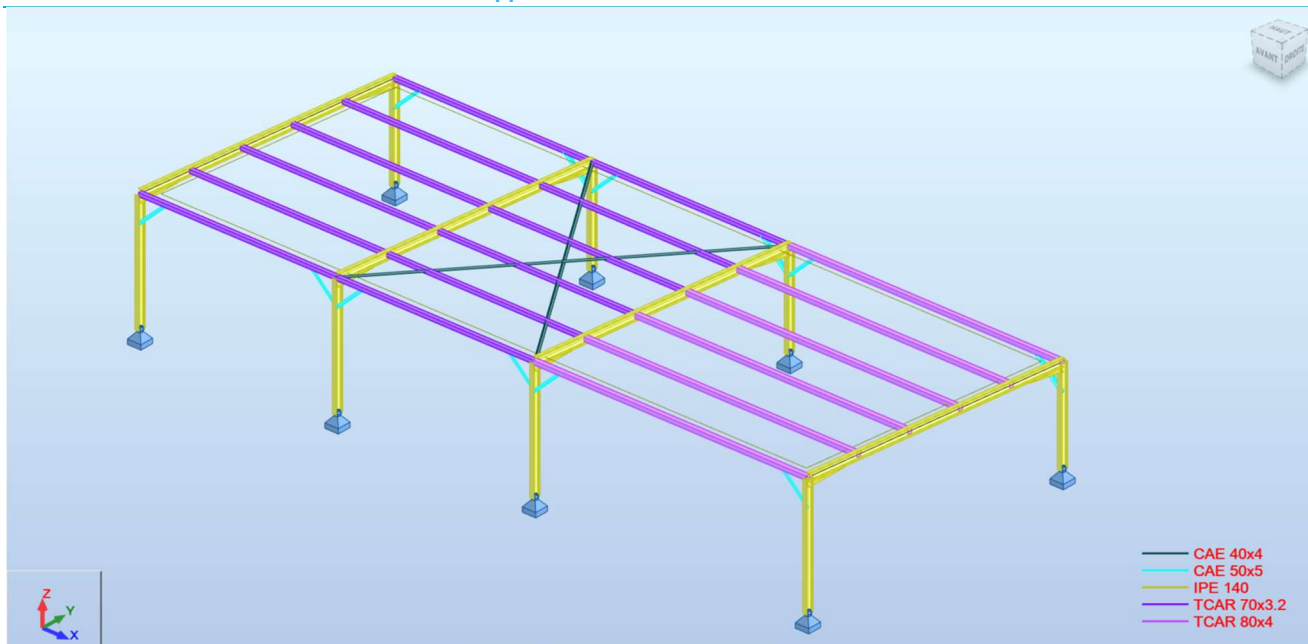
S	
	0,362 KN/m^2



Charge de vent :

Les charges de vent sont moins préjudiciables que le calcul de neige, nous ne les prenons pas en compte.

4.5.2.3 Modélisation et calcul des contraintes



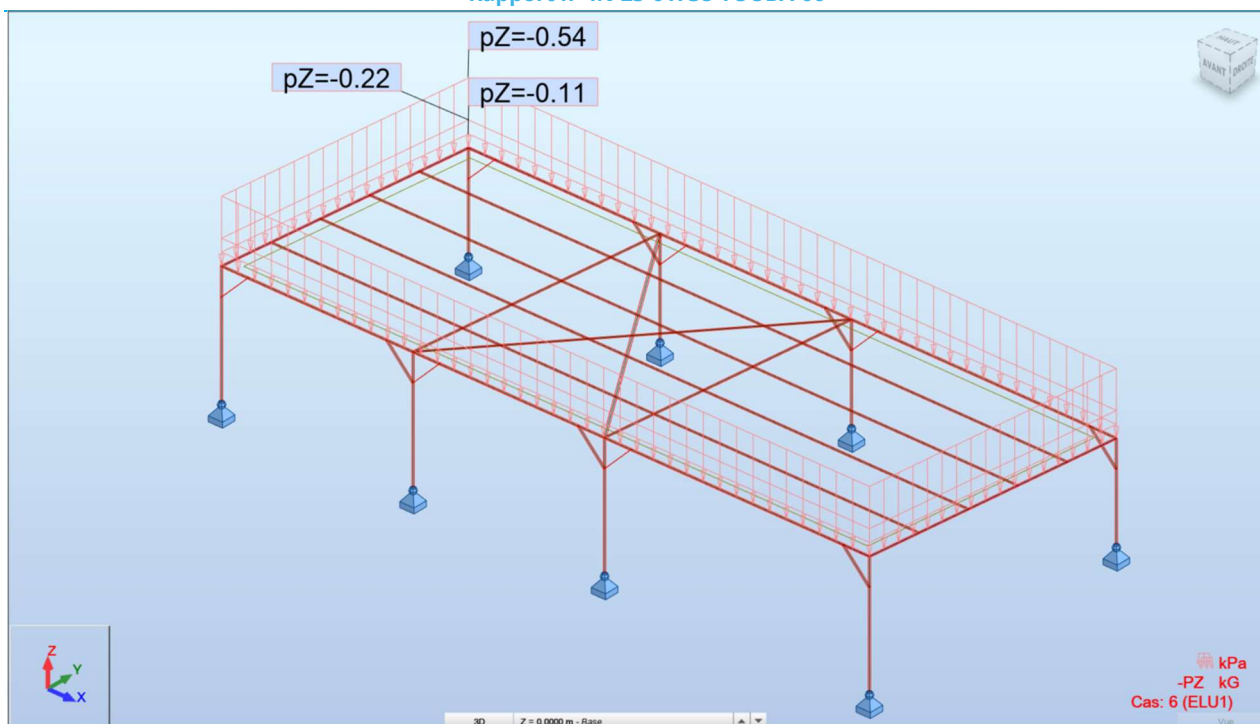
Modèle du calcul 3D

	Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge (m) (kN) (Deg)
	1:PERM1	poids propre	1A15 18A27 3	' PZ Moins Coef=1,00
	2:Bac_SEC	(EF) surfacique uniforme	14	' PZ=-0,08[kN/m2]
	3:PANNEAUX	(EF) surfacique uniforme	14	' PZ=-0,16[kN/m2]
	4:S	(EF) surfacique uniforme	14	' PZ=-0,36[kN/m2]
*				

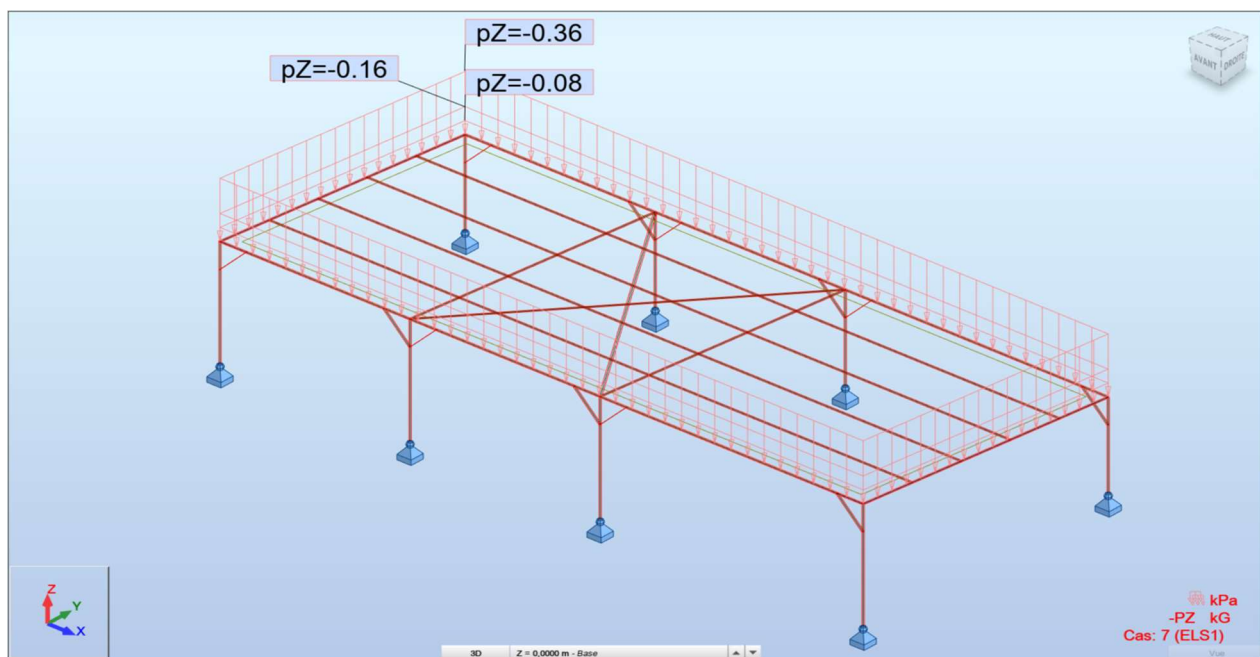
Tableau des chargements

Combinaison	Nom	Type d'analyse	Type de la	Nature du cas	Définition
5 (C)	G	Combinaison liné	ELU	Structurelle	(1+2+3)*1.00
6 (C)	ELU1	Combinaison liné	ELU	Structurelle	5*1.35+4*1.50
7 (C)	ELS1	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(5+4)*1.00

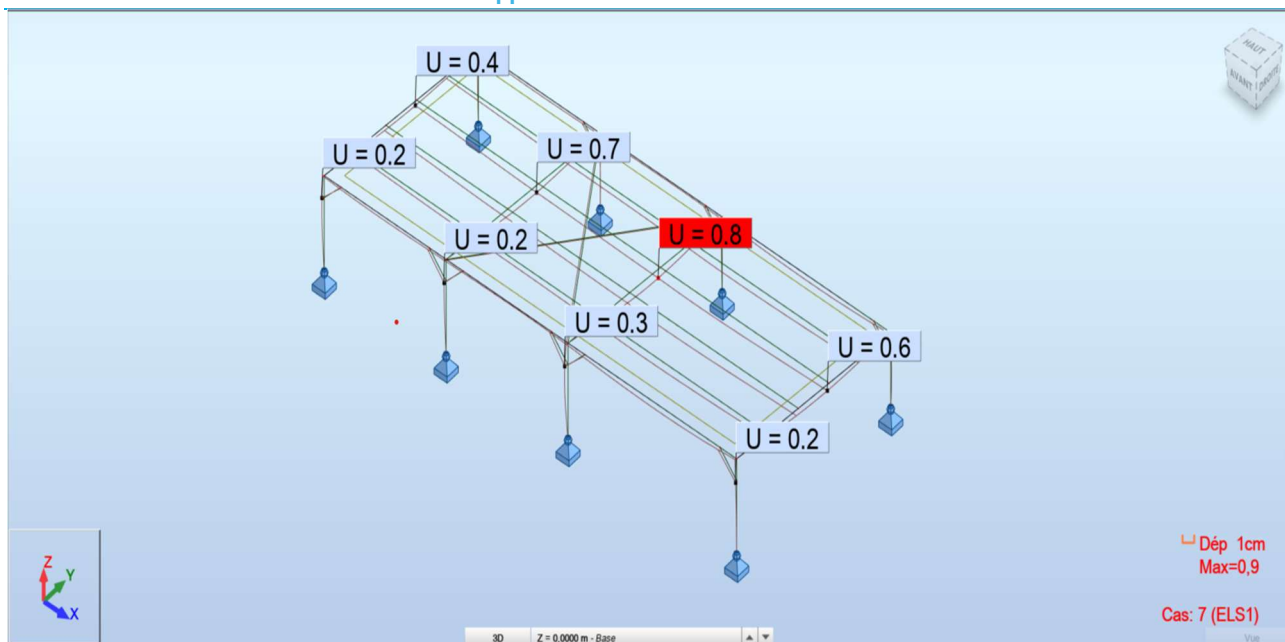
Tableau des combinaisons



Combinaison à l'ELU1

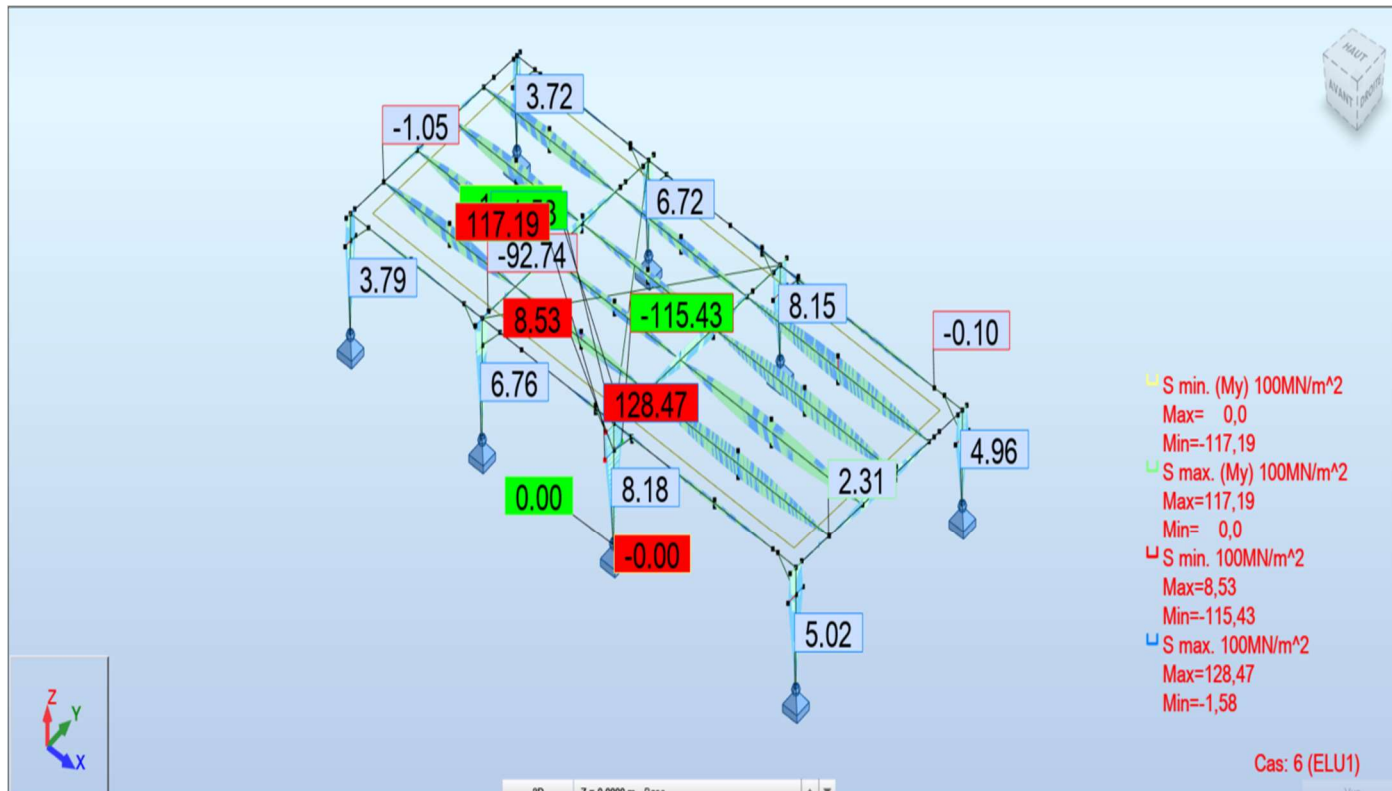


Combinaison à l'ELS1



Flèche maximale est de 0.8 cm ($0.8/538 < 0.8/300$)

Résultats du calcul :



Dans l'Eurocode 3, la valeur de résistance de calcul est donnée par la formule :

$$F_{ed} < F_y / \gamma_{M0}$$

Avec :

- $F_y = 235 \text{ MPa}$
- $\gamma_{M0} = 1,1$

La contrainte maximale dans les éléments en acier à l'ELU est de 128,47 MPa < 213,6 MPa.

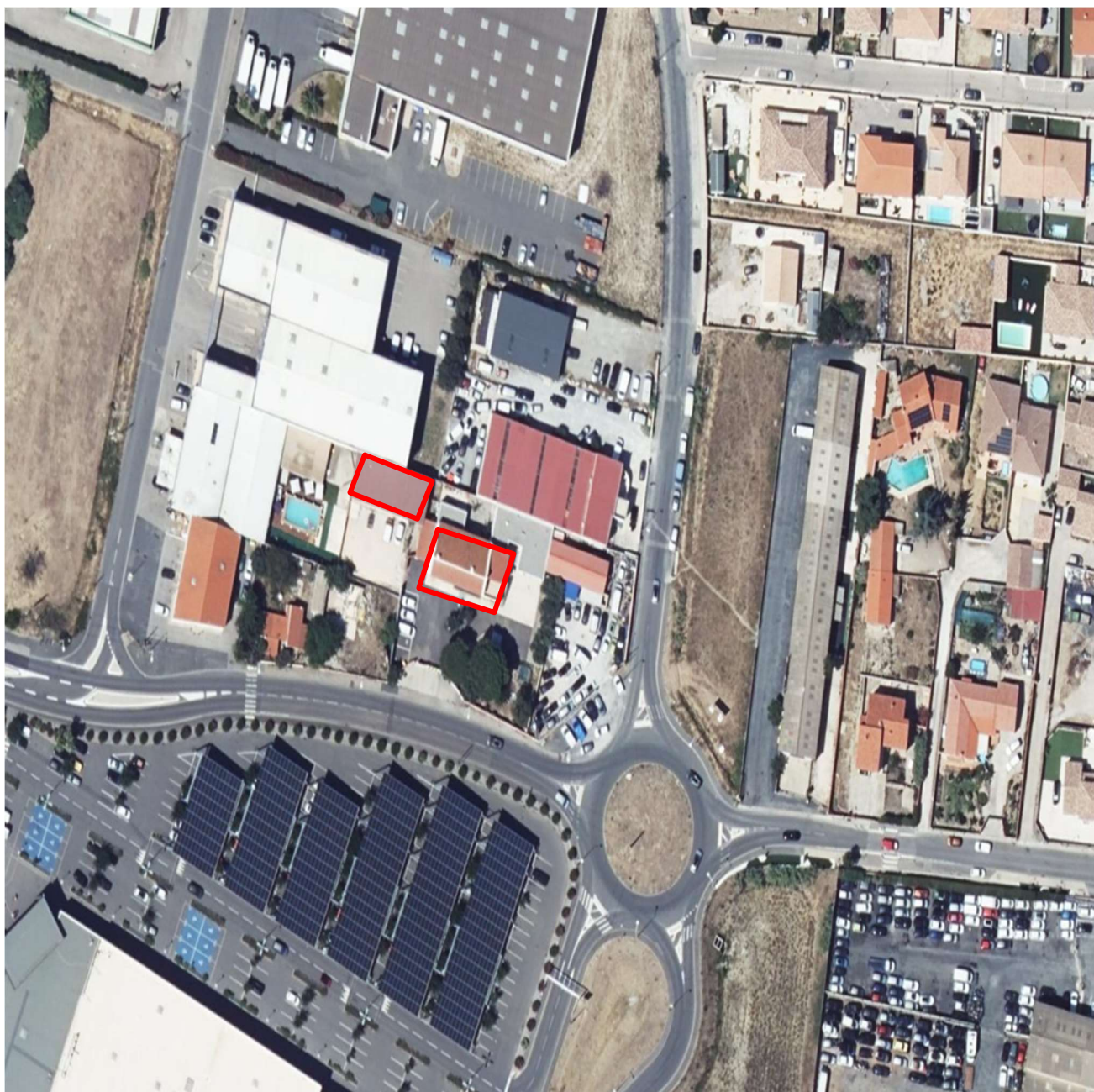
Conclusion :

- La contrainte maximale dans les éléments en acier est vérifiée à l'État Limite Ultime (ELU), est conforme.
- La limitation de la flèche, prise en compte selon l'Eurocode 5 (EC5) avec une valeur de $L/300$, est respectée.

La pose de panneaux sur la toiture de l'abri voiture est techniquement envisageable, que ce soit en surimposition ou en encastrement.

5 Calcul de la capacité portante – UEAJ Perpignan

5.1 Implantation



Implantation de la structure étudiée de l'UEAJ de Perpignan.

5.2 Calcul de la capacité portante

5.2.1 Hypothèses de calculs

D'après les observations visuelles sur site, nous retiendrons une nuance d'acier S.235 avec une limite d'élasticité de 235 MPa.


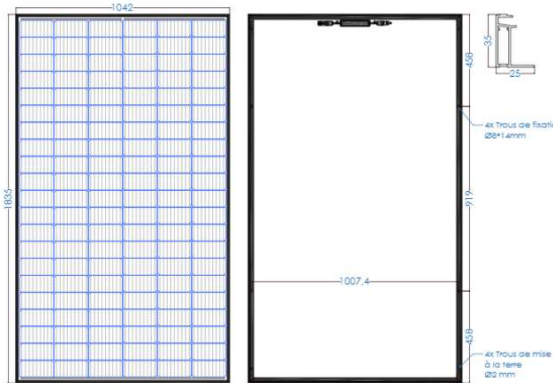
Le calcul concerne uniquement les éléments de la structure du bâtiment concernés par les modifications des charges. Les contraintes maximales dans les éléments seront le résultat de calculs à l'ELU et les déformations maximales seront le résultat de calculs à l'ELS.

5.2.2 Descente de charges

Les charges de calculs pour la toiture sont :

- Charges permanentes = **0,70 KN/m²** ;
- Charges de système d'intégration et modules panneaux photovoltaïques :

Le modèle des panneaux solaires est pris de manière hypothétique.

		Spécifications techniques du module TARKA 126 VSMD Monofacial - Verre mat	
CARACTÉRISTIQUES DES PANNEAUX		PLAN DU MODULE	
Dimensions ¹	1835 x 1042 x 35 mm		
Poids ²	20,6 kg		
Type de cellules	Monocristallin Type P M6-9BB		
Quantité par panneau	126 demi-cellules		
Verre solaire (anti-reflet)	Verre trempé 3,2mm		
Connecteurs	Staubli MC4-EVO2		
Longueur des câbles	2 x 1,2m		
Cadre	Aluminium anodisé noir		
Couleur de backsheet	Blanche (Noire en option)		
Températures d'utilisation	-40 °C à +85 °C		
Charge maximum vent/neige	2400 Pa		
Sécurité électrique	Classe II, IP 68		
Tension maximale du système (V)	1000		
Courant inverse max IRM (A)	30		

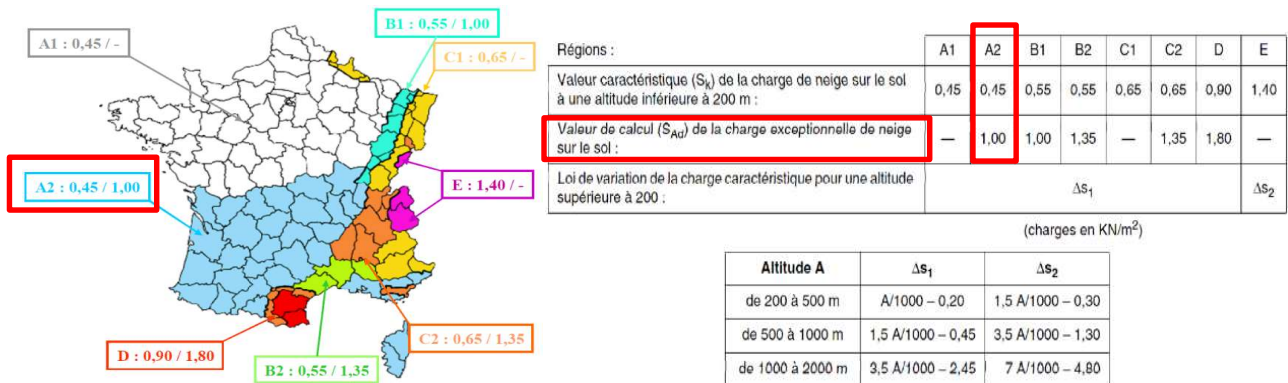
Caractéristiques des panneaux photovoltaïques

$20,6 / (1,835 \times 1,042) = 10,8 \text{ kg}$ poids des panneaux par m². Avec le système d'intégration nous estimons la charge de l'ensemble : **16 kg/m²**

Nous estimons la charge de l'ensemble : $16 \text{ kg/m}^2 = \mathbf{0,16 \text{ KN/m}^2}$

- Charges climatique - Charge de neige :

La charge de la neige est calculée conformément à la norme NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1
- Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige



La charge de neige $S = \mu_i C_e C_t S_k$ (KN/m^2)

Monswiller se situe dans la région de neige **C1**

La valeur caractéristique $S_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$

L'altitude du site $A = 406 \text{ m}$

$$\Delta S_1 = \frac{406}{1000} - 0,2 = 0,206$$

$$\alpha = 30^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8 \times (60 - 30) / 30 = 0,8$$

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

$$C_e = 1 ;$$

$$C_t = 1 ;$$

$$S_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$S = 0,8 S_k = 0,8 \times 0,45 = \mathbf{0,36 \text{ kN/m}^2}.$$

$$S = 0,8 S_{Ad} = 0,8 \times 1,00 = \mathbf{0,8 \text{ kN/m}^2}.$$

Selon dimensionnement du bat neige = **0,8 kN/m^2 .**

Charge de vent :

Les charges de vent sont moins préjudiciables que le calcul de neige, nous ne les prenons pas en compte.

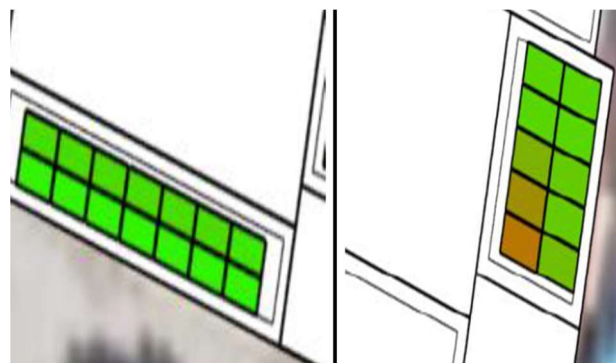
5.3 Description de la structure

Concernant le site, l'étude de capacité portante portée sur deux bâtiments distincts. Un atelier ainsi qu'un bâtiment principal.

5.3.1 Bâtiment principal :

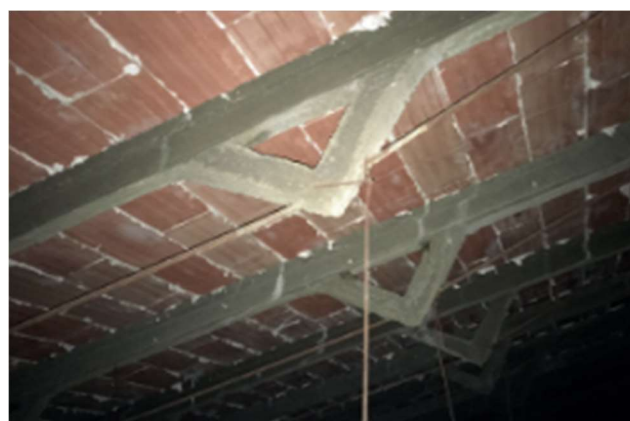
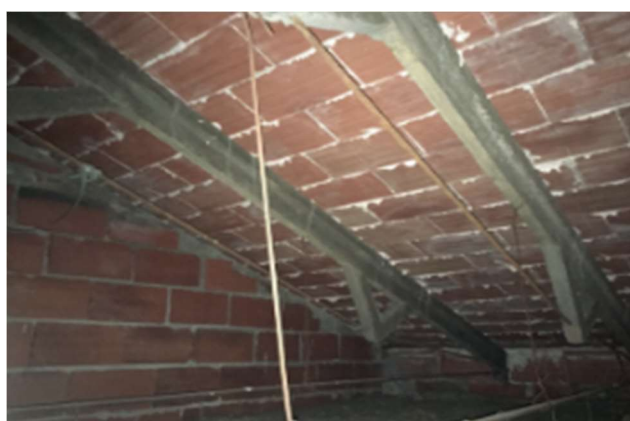
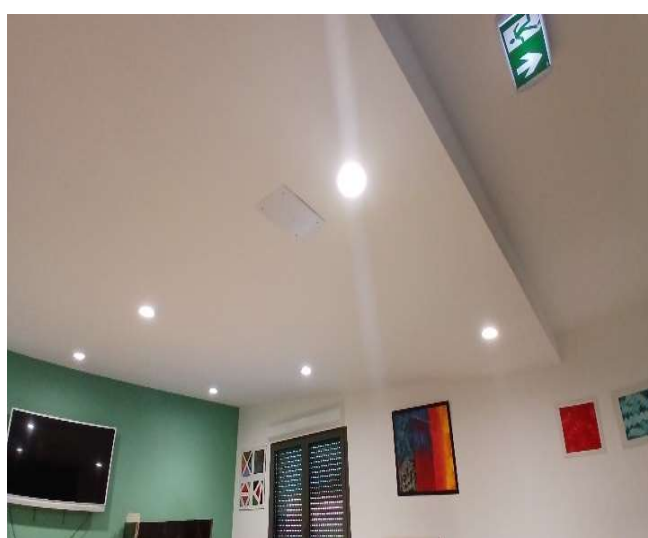


Bâtiment Principal



Projet PV

Reconnaissance visuelle effectuée par INFRANEO:



Description de la toiture existante :

- **Type de structure** : Dalle pleine en béton armé inclinée
- **Couverture** : Tuiles romanes posées sur lit de mortier
- **Épaisseur estimée de la dalle** : 12 à 15 cm
- **Poids total estimé de la toiture** :
 - Dalle béton : 300 à 375 kg/m²
 - Mortier + tuiles : 80 à 100 kg/m²
 - **Total : 320 à 475 kg/m²**

Comparaison avec une toiture légère moderne :

Toiture bois + isolation + tuiles : 80 à 150 kg/m²

Conclusion :

L'installation de panneaux photovoltaïques sur la toiture du bâtiment telle qu'il est aujourd'hui en béton de type ancien (dalle pleine + tuiles scellées) **n'est pas envisageable** sans renforcement structurel, en raison du **poids déjà très élevé** de la couverture existante (estimé entre **330 et 475 kg/m²**).

Ajouter une centrale photovoltaïque représenterait une **charge supplémentaire significative**,

Or, selon la réglementation en vigueur, **toute modification de la structure ne doit pas entraîner un dépassement de plus de 10 % de la charge admissible initiale.**

Dans le cas présent, cette limite serait rapidement franchie, mettant en péril la stabilité de l'ouvrage et la sécurité des usagers.

De plus, la dalle béton ne permet pas une fixation standard des panneaux sans percement ou lestage, ce qui aggraverait encore les contraintes mécaniques sur les fondations.

Il est recommandé d'envisager des alternatives telles que :

- Une **installation au sol**,
- Ou une **structure indépendante** type ombrière.

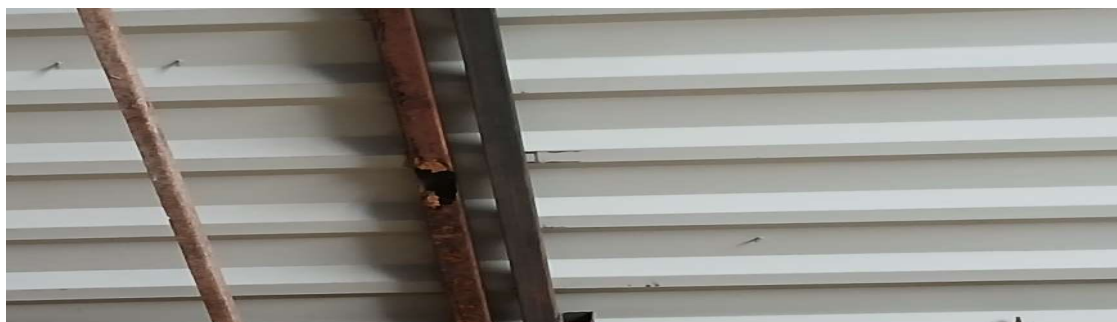
5.3.2 hangar :



La structure de l'atelier de l'UEAJ de Perpignan comporte une charpente métallique et un mur porteur en maçonnerie.



La toiture du bâtiment examiné est en bac acier non isolé.



Lors de l'intervention, une oxydation généralisée de la structure a été constatée avec par endroit une perforation. La panne la plus endommagée est renforcée, comme le montre la photo ci-dessous.

5.4 Calcul de la capacité portante du hangar

5.4.1 Hypothèses de calculs

D'après les observations visuelles sur site, nous retiendrons une nuance d'acier S.235. Le calcul concerne uniquement les éléments de la structure du bâtiment concernés par les modifications des charges.


Les contraintes maximales dans les éléments seront le résultat de calculs à l'ELU et les déformations maximales seront le résultat de calculs à l'ELS.

5.4.2 Descente de charges

Les charges de calculs pour la toiture sont :

- Couverture en bac sec de $8 \text{ kg/m}^2 = 0,080 \text{ KN/m}^2$;
- Etanchéité en bitume ardoisée de $5 \text{ kg/m}^2 = 0,050 \text{ KN/m}^2$;
- Charges de système d'intégration et modules panneaux photovoltaïques :

Le modèle des panneaux solaires est pris de manière hypothétique.

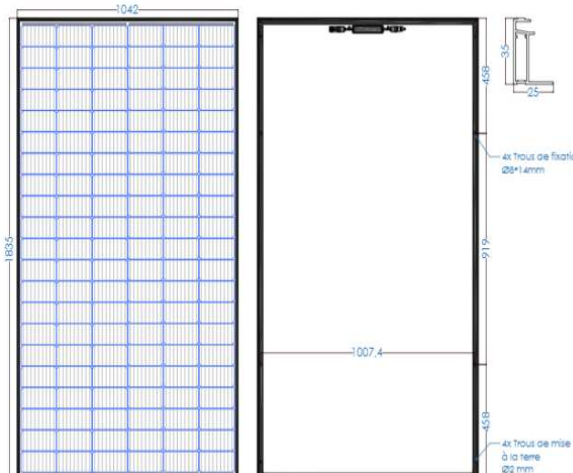


VOLTEC
solar

Spécifications techniques du module **TARKA 126 VSMD**
Monofacial - Verre mat

CARACTÉRISTIQUES DES PANNEAUX	
Dimensions ¹	1835 x 1042 x 35 mm
Poids ²	20,6 kg
Type de cellules	Monocristallin Type P M6-9BB
Quantité par panneau	126 demi-cellules
Verre solaire (anti-reflet)	Verre trempé 3,2mm
Connecteurs	Staubli MC4-EV02
Longueur des câbles	2 x 1,2m
Cadre	Aluminium anodisé noir
Couleur de backsheet	Blanche (Noire en option)
Températures d'utilisation	-40 °C à +85 °C
Charge maximum vent/neige	2400 Pa
Sécurité électrique	Classe II, IP 68
Tension maximale du système (V)	1000
Courant inverse max I _{RM} (A)	30

PLAN DU MODULE



Caractéristiques des panneaux photovoltaïques

$20,6 / (1,835 \times 1,042) = 10,8 \text{ kg poids des panneaux par m}^2$. Avec le système d'intégration nous estimons la charge de l'ensemble : **16 kg/m²**

Nous estimons la charge de l'ensemble : $16 \text{ kg/m}^2 = 0,16 \text{ KN/m}^2$

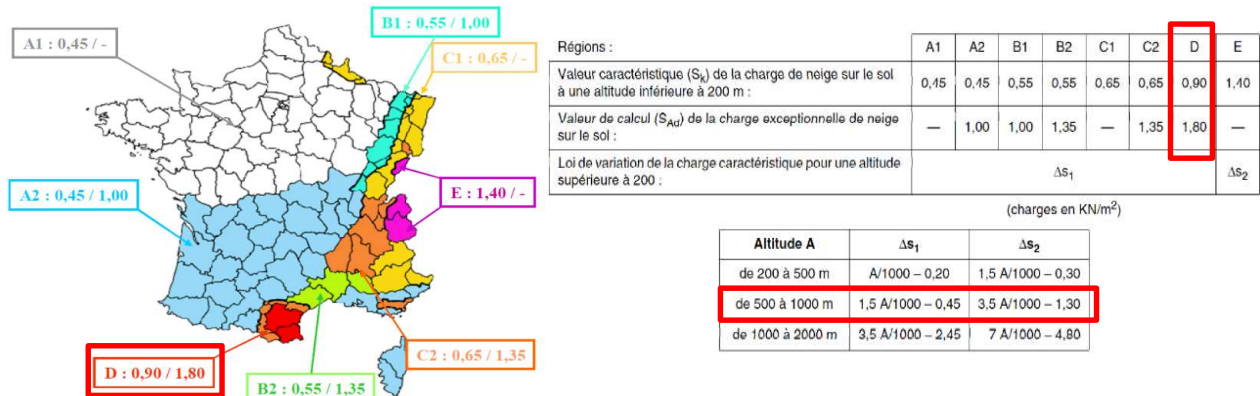
Hypothèse d'isolation de la toiture avec des panneaux sandwich à la demande du client :

- Panneaux sandwich de $15 \text{ kg/m}^2 = 0,15 \text{ KN/m}^2$.

- Charges climatique - Charge de neige :

La charge de la neige est calculée conformément à la norme NF EN 1991-1-3 : Eurocode 1

- Actions sur les structures - Partie 1-3 : Actions générales - Charges de neige



Perpignan (66) - Région A2 Altitude = 30 m
Pente = 4 Degré

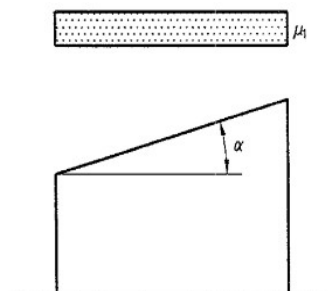
Valeur Caractéristique $S_k = 0,90 \text{ KN/m}^2$
Neige Exceptionnelle $S_{Ad} = 1,80 \text{ KN/m}^2$
Variation de la charge Alt.=30 $\Delta_{S1} = 0,0$

Coeff. Topographie $C_e = 1,00$
Coeff. Thermique $C_t = 1,00$

$\mu_1 (4^\circ) = 0,80$

Charge de neige:

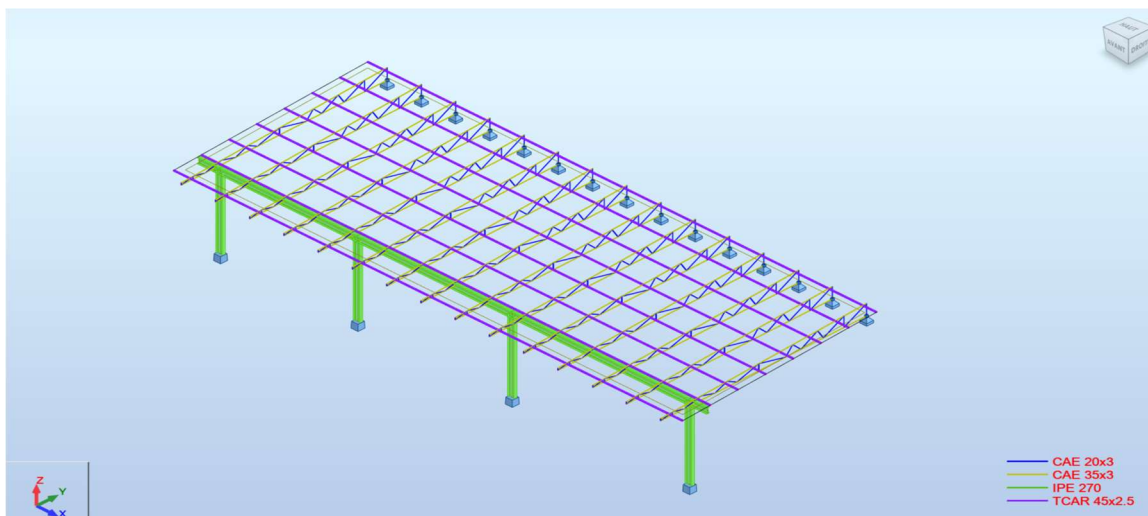
S		
Cas i	0,720	KN/m ²



Charge de vent :

Les charges de vent sont moins préjudiciables que le calcul de neige, nous ne les prenons pas en compte.

5.4.2.1 Modélisation et calcul des contraintes



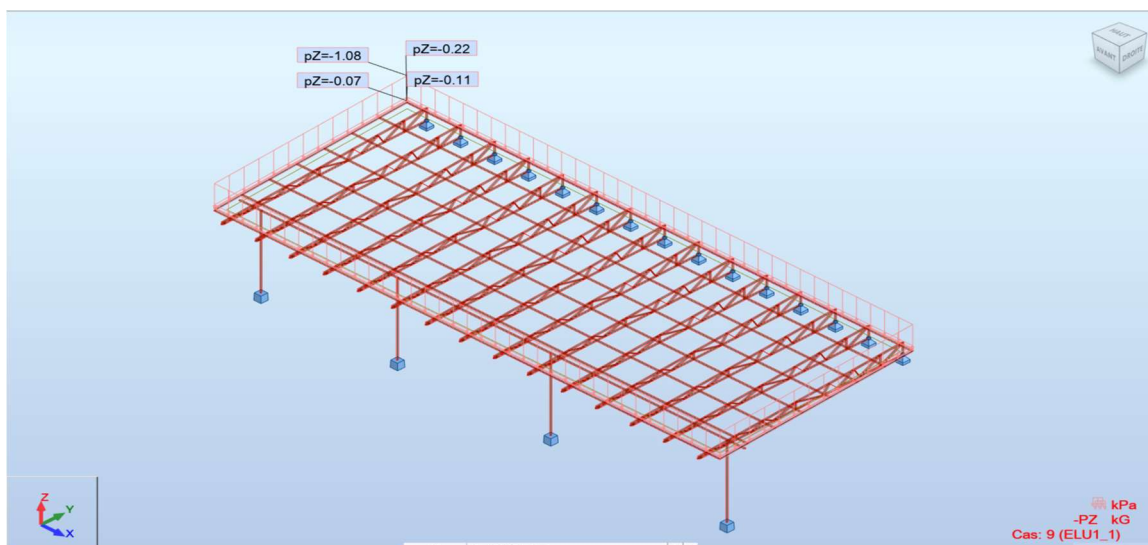
Modèle du calcul 3D

Tableau des chargements

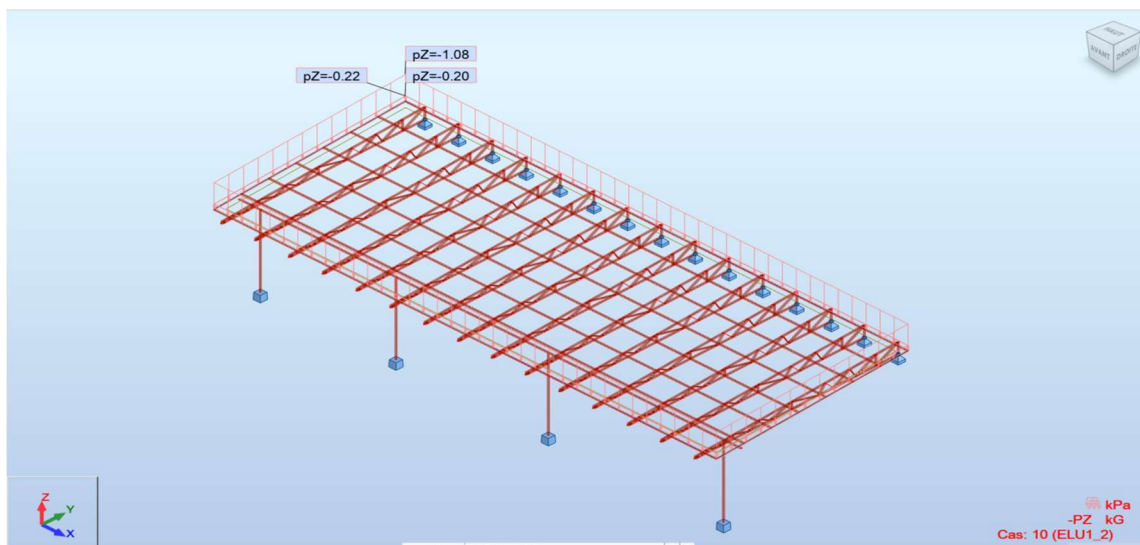
Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge (m) (kN) (Deg)
1.PERM1	poids propre	1A12 19A50 5	* PZ Moins Coef=1,00
2.Bac_Acier	(EF) surfacique uniforme	12	* PZ=-0,08[kN/m2]
3.Etanchéité	(EF) surfacique uniforme	12	* PZ=-0,05[kN/m2]
4.PanneauxSandwich	(EF) surfacique uniforme	12	* PZ=-0,15[kN/m2]
5.PanneauxPV	(EF) surfacique uniforme	12	* PZ=-0,16[kN/m2]
6.S	(EF) surfacique uniforme	12	* PZ=-0,72[kN/m2]
*			

Tableau des combinaisons

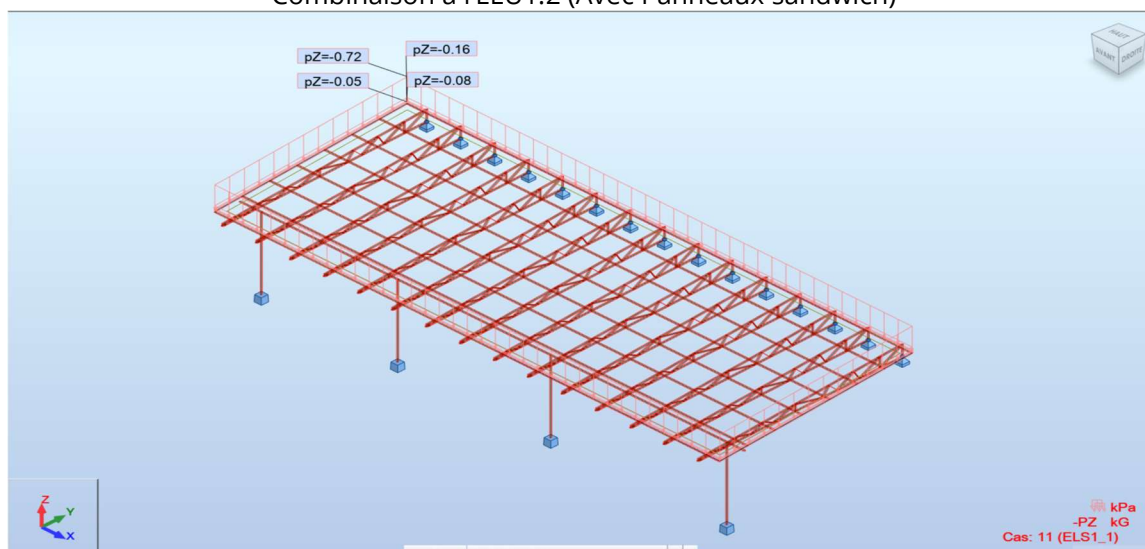
Combinaison	Nom	Type d'analyse	Type de la	Nature du cas	Définition
7 (C)	G1	Combinaison liné	ELU	Structurelle	(1+2+3+5)*1.00
8 (C)	G2	Combinaison liné	ELU	Structurelle	(1+4+5)*1.00
9 (C)	ELU1_1	Combinaison liné	ELU	Structurelle	7*1.35+6*1.50
10 (C)	ELU1_2	Combinaison liné	ELU	Structurelle	8*1.35+6*1.50
11 (C)	ELS1_1	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(7+6)*1.00
12 (C)	ELS1_2	Combinaison liné	ELS	Structurelle	(8+6)*1.00



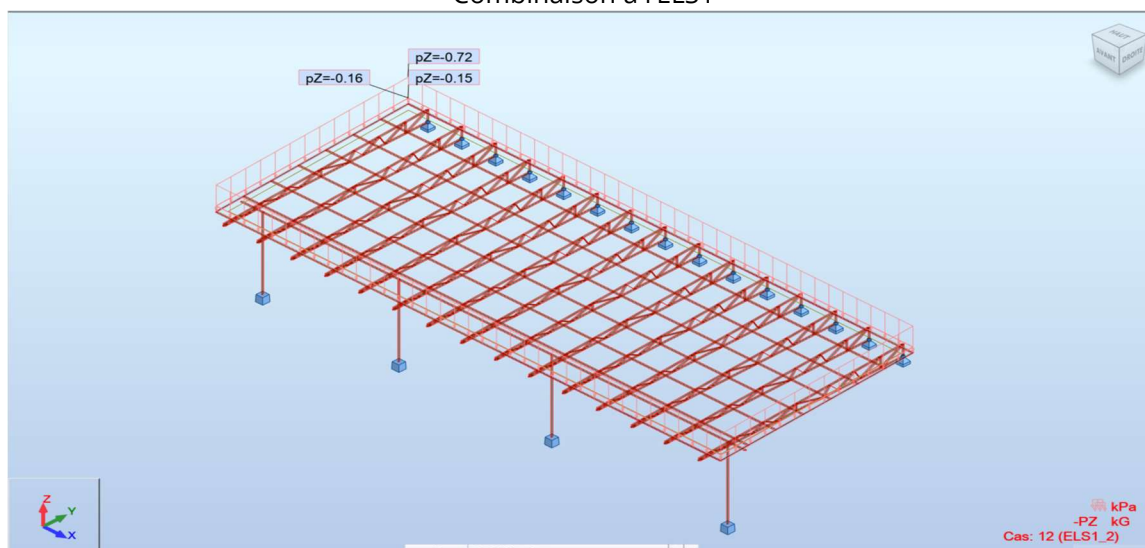
Combinaison à l'ELU1.1



Combinaison à l'ELU1.2 (Avec Panneaux sandwich)



Combinaison à l'ELS1



Combinaison à l'ELS 1.2 (Avec Panneaux Sandwich)

Dans l'Eurocode 3, la valeur de résistance de calcul est donnée par la formule :

$$F_{ed} < F_y / \gamma_{M0}$$

Avec :

- $F_y = 235 \text{ MPa}$
- $\gamma_{M0} = 1,1$

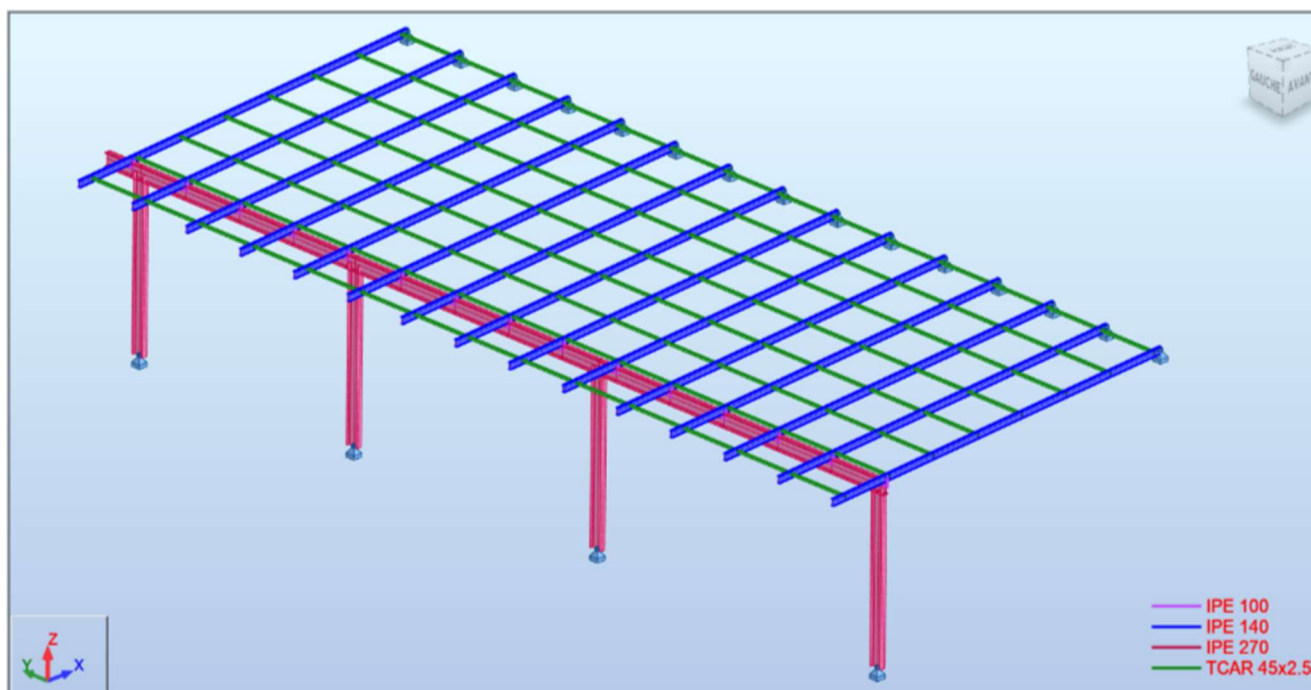
La contrainte maximale dans les éléments en acier à l'ELU doit être inférieure à 213,6 MPa.

La structure actuelle apparaît sous-dimensionnée pour reprendre des panneaux en surimposition » à cause de la faiblesse des sections, et aux éléments aggravant dû à la corrosion.

Solution :

Nous vous proposons une solution pour l'installation des panneaux photovoltaïques, impliquant des modifications de la structure existante.

La proposition consiste à remplacer les poutres treillis actuelles par des profilés métalliques de type **IPE 140**, comme illustré ci-dessous.



Cas de charge :

Cas de charge

Description du cas

Numéro: 1 Préfixe: PERM1

Nature: permanente Sous-nature: Structurelle

Nom: PERM1

Ajouter Modifier

Liste des cas définis:

N°	Nom de cas	Nature	Type d'analyse
1	PERM1	Structurelle	Statique linéaire
2	g	Structurelle	Statique linéaire
3	s	neige	Statique linéaire
4	ELU	Structurelle	Combinaison linéaire
5	ELS	Structurelle	Combinaison linéaire

Supprimer Supprimer tout

Fermer Aide

Valeurs de charge :

Chargements:1

	Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge
	1	poids propre	1A63 65A151 692A705 721A734 750A763 779	PZ Moins Coef=1,00
	2	charge uniforme	721A734 750A763 779A792 808A821 840A853	PZ=-0,35[kN/m]
	2	charge uniforme	692A705 869A882	PZ=-0,18[kN/m]
	3	charge uniforme	721A734 750A763 779A792 808A821 840A853	PZ=-0,86[kN/m]
	3	charge uniforme	692A705 869A882	PZ=-0,43[kN/m]

Notes de calcul :

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1-1:2005/NA:2013/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 1

POINT: 7

COORDONNEE: x = 1.00 L = 0.36 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 4 ELU (1+2)*1.35+3*1.50

MATERIAU:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 140

h=14.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=7.3 cm

Ay=11.15 cm²

Az=7.64 cm²

Ax=16.43 cm²

tw=0.5 cm

Iy=541.22 cm⁴

Iz=44.92 cm⁴

Ix=2.54 cm⁴

tf=0.7 cm

Wply=88.35 cm³

Wplz=19.25 cm³

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N_{Ed} = -0.00 kN

M_{y,Ed} = -0.01 kN*m

N_{t,Rd} = 386.01 kN

M_{y,pl,Rd} = 20.76 kN*m

M_{y,c,Rd} = 20.76 kN*m

V_{z,Ed} = -0.06 kN

MN_{y,Rd} = 20.76 kN*m

V_{z,c,Rd} = 103.69 kN

M_{b,Rd} = 20.76 kN*m

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00

M_{cr} = 1025.21 kN*m

Courbe,LT -

XLT = 1.00

L_{cr,low} = 0.36 m

L_{am_LT} = 0.14

f_{i,LT} = 0.49

XLT,mod = 1.00

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.00 < 1.00 (6.2.3.(1))

M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00 (6.2.5.(1))

V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.00 < 1.00 (6.3.2.1.(1))

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1-1:2005/NA:2013/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 2

POINT: 7

COORDONNEE: x = 1.00 L = 1.09 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 4 ELU (1+2)*1.35+3*1.50

MATERIAU:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 140

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.3 cm	Ay=11.15 cm ²	Az=7.64 cm ²	Ax=16.43 cm ²
tw=0.5 cm	Iy=541.22 cm ⁴	Iz=44.92 cm ⁴	Ix=2.54 cm ⁴
tf=0.7 cm	Wply=88.35 cm ³	Wplz=19.25 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{Ed} = -0.09 kN	My _{Ed} = -2.19 kN*m	Mz _{Ed} = 0.59 kN*m	Vy _{Ed} = -0.69 kN
Nt _{Rd} = 386.01 kN	My _{pl,Rd} = 20.76 kN*m	Mz _{pl,Rd} = 4.52 kN*m	Vy _{T,Rd} = 149.92 kN
	My _{c,Rd} = 20.76 kN*m	Mz _{c,Rd} = 4.52 kN*m	Vz _{Ed} = -2.02 kN
	MN _{y,Rd} = 20.76 kN*m	MN _{z,Rd} = 4.52 kN*m	Vz _{T,Rd} = 103.04 kN
	Mb _{Rd} = 19.96 kN*m		Tt _{Ed} = 0.01 kN*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 114.89 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.93
Lcr,low=1.09 m	Lam_LT = 0.43	f _i ,LT = 0.62	XLT,mod = 0.96

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.3.(1))
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.11 < 1.00$ (6.2.9.1.(2))
$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0.13 < 1.00$ (6.2.9.1.(2))
$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.14 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.02 < 1.00$ (6.2.6-7)
$\tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.02 < 1.00$ (6.2.6)
$\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) \cdot gM0) = 0.02 < 1.00$ (6.2.6)

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.11 < 1.00$ (6.3.2.1.(1))

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1-1:2005/NA:2013/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 3

POINT: 1

COORDONNEE: x = 0.00 L = 0.00 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 4 ELU (1+2)*1.35+3*1.50

MATERIAU:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 140

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.3 cm	Ay=11.15 cm ²	Az=7.64 cm ²	Ax=16.43 cm ²
tw=0.5 cm	Iy=541.22 cm ⁴	Iz=44.92 cm ⁴	Ix=2.54 cm ⁴
tf=0.7 cm	Wply=88.35 cm ³	Wplz=19.25 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{Ed} = 1.67 kN	My _{Ed} = -2.60 kN*m	Mz _{Ed} = 0.60 kN*m	Vy _{Ed} = 10.48 kN
Nc _{Rd} = 386.01 kN	My _{Ed,max} = -2.60 kN*m	Mz _{Ed,max} = 0.60 kN*m	Vy _{T,Rd} = 151.06 kN
Nb _{Rd} = 386.01 kN	My _{c,Rd} = 20.76 kN*m	Mz _{c,Rd} = 4.52 kN*m	Vz _{Ed} = 10.59 kN
	MN _{y,Rd} = 20.76 kN*m	MN _{z,Rd} = 4.52 kN*m	Vz _{T,Rd} = 103.57 kN
	Mb _{Rd} = 20.76 kN*m		Tt _{Ed} = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 6830.21 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 1.00
Lcr,low=0.11 m	Lam_LT = 0.06	f _{i,LT} = 0.46	XLT,mod = 1.00

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$k_{yy} = 1.00$$



en z:

$$k_{zz} = 1.00$$

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.15 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.13 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.26 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.26 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1-1:2005/NA:2013/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 4

POINT: 7

COORDONNEE: x = 1.00 L = 1.20 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 4 ELU (1+2)*1.35+3*1.50

MATERIAU:

S 235 (S 235) $f_y = 235.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 140

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.3 cm	Ay=11.15 cm ²	Az=7.64 cm ²	Ax=16.43 cm ²
tw=0.5 cm	Iy=541.22 cm ⁴	Iz=44.92 cm ⁴	Ix=2.54 cm ⁴
tf=0.7 cm	Wply=88.35 cm ³	Wplz=19.25 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{Ed} = 1.48 kN	My _{Ed} = 7.45 kN*m	Mz _{Ed} = 0.03 kN*m	Vy _{Ed} = -0.25 kN
N _{c,Rd} = 386.01 kN	My _{Ed,max} = 7.45 kN*m	Mz _{Ed,max} = -0.27 kN*m	Vy _{T,Rd} = 150.18 kN
Nb _{Rd} = 386.01 kN	My _{c,Rd} = 20.76 kN*m	Mz _{c,Rd} = 4.52 kN*m	Vz _{Ed} = 7.41 kN
	MN _{y,Rd} = 20.76 kN*m	MN _{z,Rd} = 4.52 kN*m	Vz _{T,Rd} = 103.16 kN
	Mb _{Rd} = 19.93 kN*m		Tt _{Ed} = 0.01 kN*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 113.07 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.93
Lcr,upp=1.20 m	Lam_LT = 0.43	fi,LT = 0.63	XLT,mod = 0.96

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$k_{yy} = 1.00$$



en z:

$$k_{zz} = 1.00$$

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.36 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

$$M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.14 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.37 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.44 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.44 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Profil correct !!!

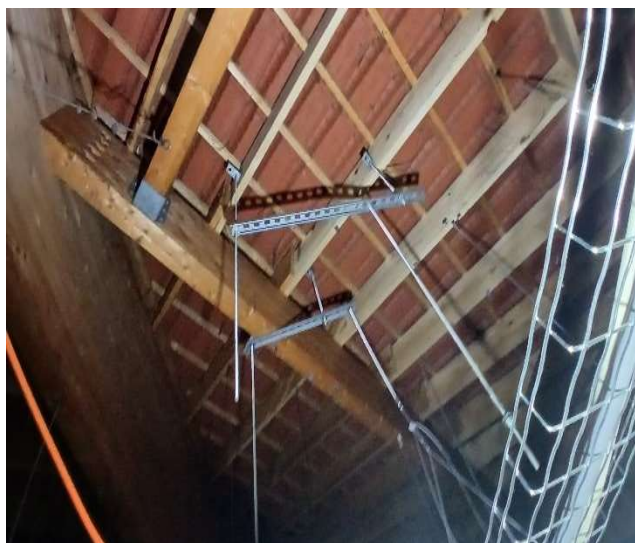
6 Calcul de la capacité portante – UEMO Saint-Gaudens

6.1 Implantation



Implantation de la structure étudiée de l'UEMO de Saint-Gaudens.

6.2 Description de la structure



La première structure de l'UEMO de Saint-Gaudens comporte une charpente en bois et des porteurs en maçonnerie et en bois.
Le bâtiment est en bon état de conservation générale.



La toiture du bâtiment examiné est en tuile romane.

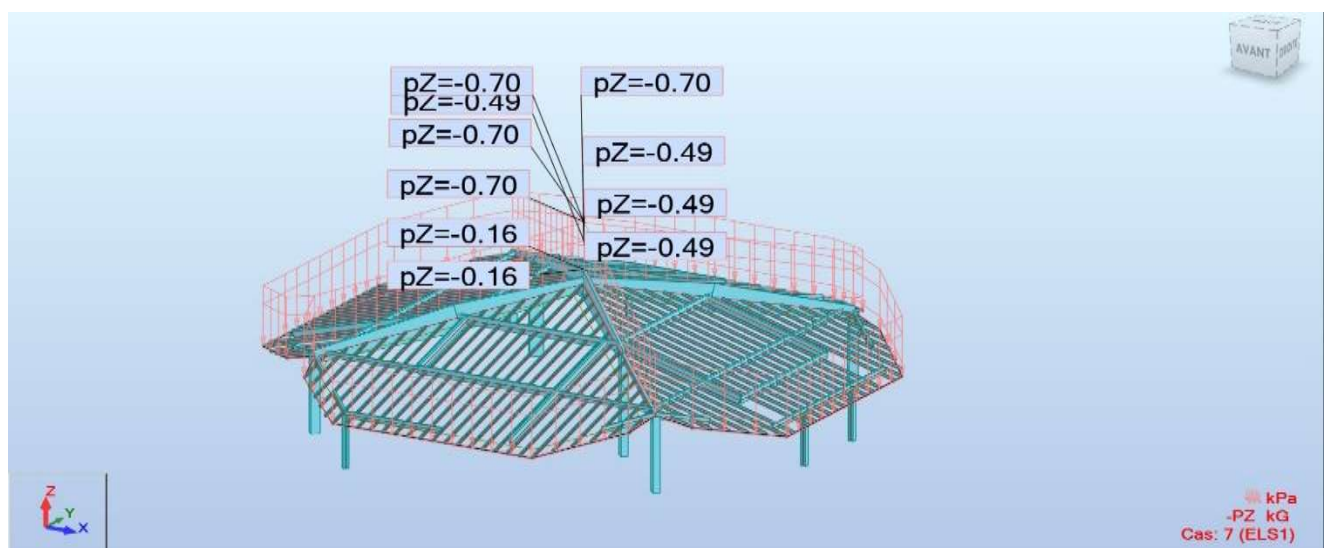
6.3 Mesure du taux d'humidité

Les mesures du taux d'humidité ont été effectuées comme mentionné en paragraphe 3.3. Les prises de mesures effectuées ont montré un taux d'humidité de 15%. Ce taux n'appelle pas de remarques particulières.

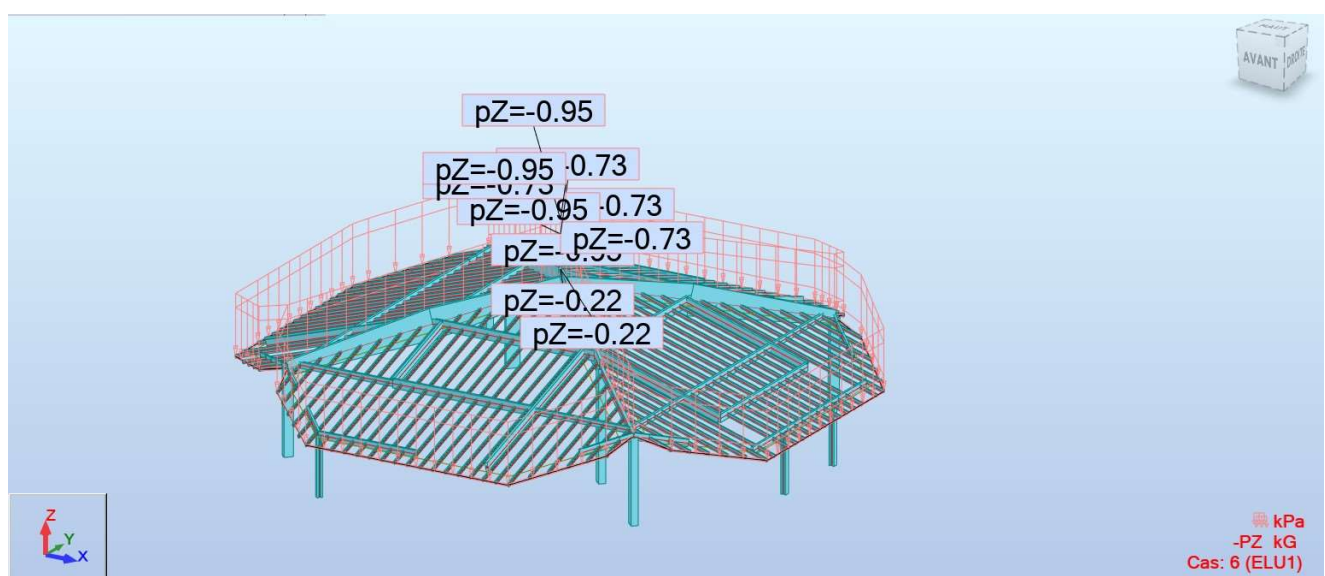
6.4 Analyse mycologique et entomologique

Étant donné le bon état apparent de la charpente et la nature lamellé-collé de celle-ci, aucun prélèvement n'a été effectué.

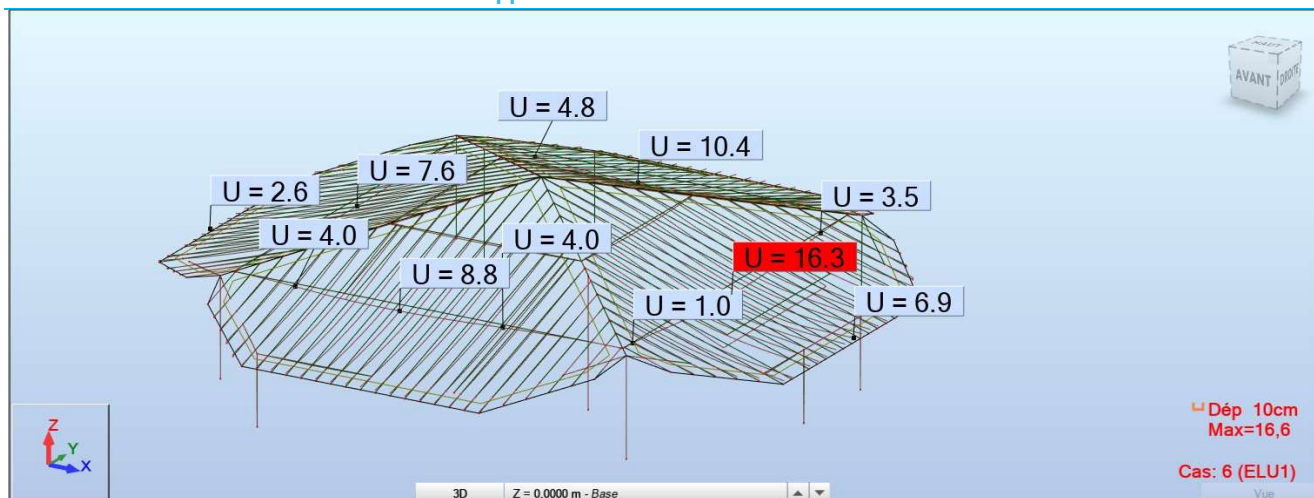
6.5 Calcul de la capacité portante



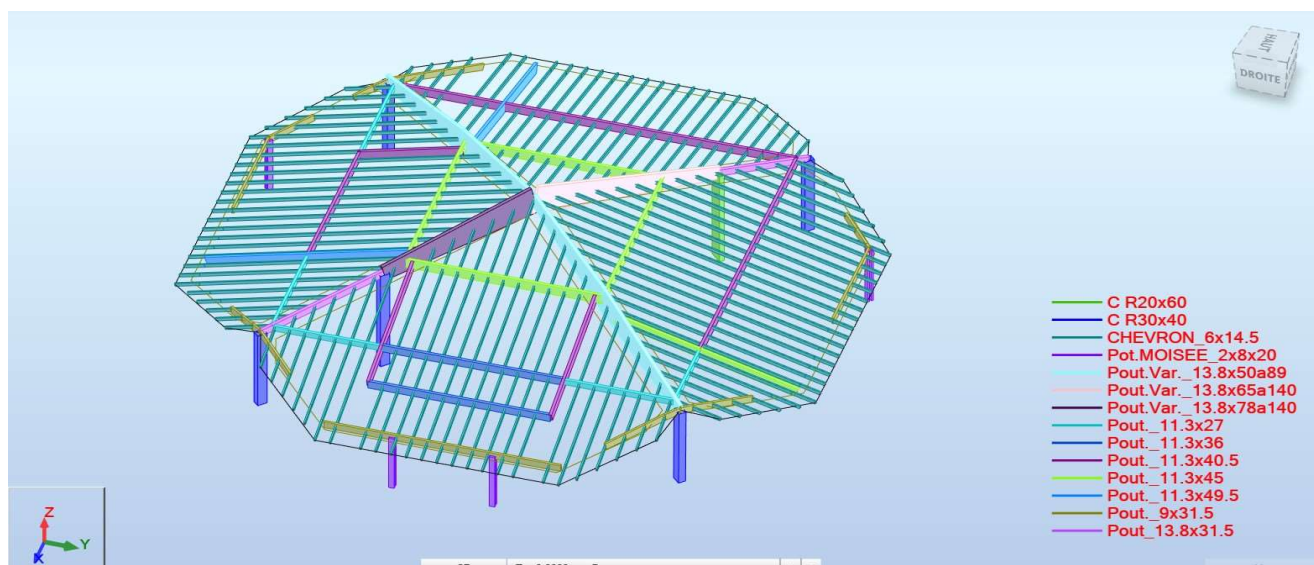
Combinaison a ELS 1



Combinaisons a l'ELU



La flèche



Model 3D

St.Gaudens (31) - Région A2

Altitude = 372 m

Pente= 16,7 Degré

Valeur Caractéristique

$$S_k = 0,45 \text{ KN/m}^2$$

Neige Exceptionnelle

$$S_{Ad} = 1,00 \text{ KN/m}^2$$

Variation de la charge Alt.=203

$$\Delta_{S1} = 0,172$$

Coeff. Topographie

$$C_e = 1,00$$

Coeff. Thermique

$$C_t = 1,00$$
$$\mu_1(18^\circ) = 0,80$$

Charge de neige:

S	
	0,498 KN/m ²

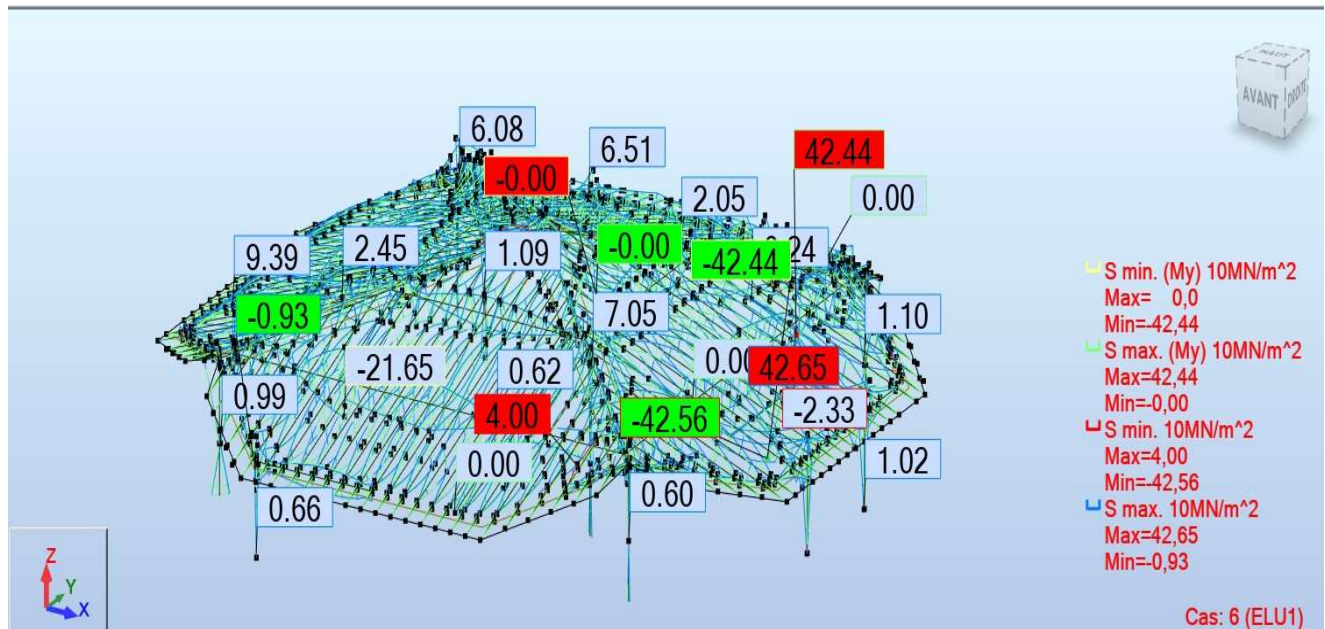
	Cas	Type de charge	Liste	Valeurs de la charge (m) (kN) (Deg)
	1:PERM1	poids propre	45 86A90 116	'PZ Moins Coef=1,00
	3:S	(EF) surfacique uniforme	700A703	'PZ=-0,49[kN/m2]
	2:G	(EF) surfacique uniforme	700A703	'PZ=-0,70[kN/m2]
	4:PANNEAUX	(EF) surfacique uniforme	701 702	'PZ=-0,16[kN/m2]
*				

Combinaison	Nom	Type d'analyse	Type de la	Nature du cas	Définition
5 (C)	G_	Combinaison liné	ELU	Structurelle	$(1+2+4)*1.00$
6 (C)	ELU1	Combinaison liné	ELU	Structurelle	$5*1.35+3*1.50$
7 (C)	ELS1	Combinaison liné	ELS	Structurelle	$(5+3)*1.00$

Charge de vent :

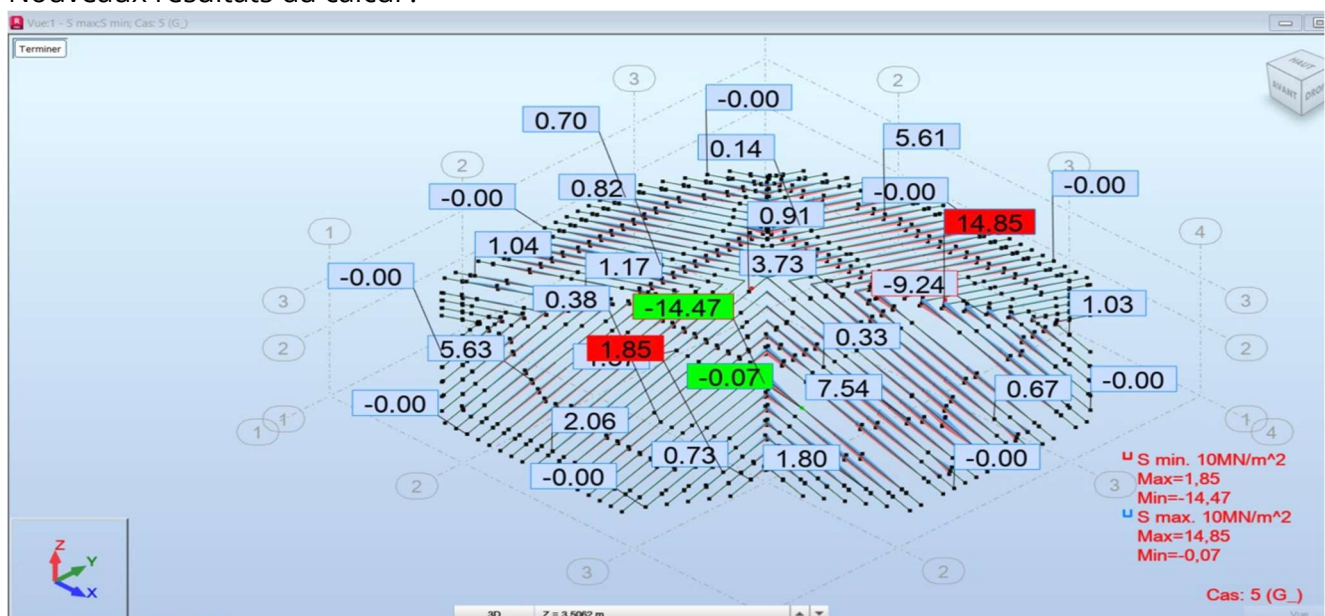
Les charges de vent sont moins préjudiciables que le calcul de neige, nous ne les prenons pas en compte.

Résultats du calcul :



Avec une solution de renforcement du bois comme un doublage de la section par une seconde poutres est imaginable.

Nouveaux résultats du calcul :



Dans l'Eurocode 5, la valeur de résistance de calcul est donnée dans l'article 2.4.3 par la formule :

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Avec hypothèse :

- $R_k = 30 \text{ MPa}$
- $k_{mod} = 0,60$ (tableau 3.1 de l'EC5 – les panneaux sont considérés comme des charges permanentes)
- $\gamma_M = 1,2$ (tableau 2.3 de l'EC5)

$$R_d = 0,60 \times (30/1,2) = 15 \text{ MPa.}$$

La contrainte maximale dans les éléments en bois à l'ELU est de $14.85 < 15 \text{ MPa}$

Conclusion :

- La contrainte maximale dans les éléments en bois, vérifiée à l'État Limite Ultime (ELU), est conforme.
- La limitation de la flèche, prise en compte selon l'Eurocode 5 (EC5) avec une valeur de $L/300$, est respectée.

La pose de panneaux sur la toiture du bâtiment de **UEMO Saint-Gaudens** est techniquement envisageable, que ce soit en surimposition ou en encastrement