NOTE DE CALCUL

BASE NAVALE BREST

STRUCTURE PODIUM SIMPLE RAS DEBORBOIR

C	28/10/2025	Modification de la plateforme intermédiaire de l'escalier du podium double	YSA	RLN	CQU
B	19/02/2025	Modification de l'assemblage du rail de la coupée	RLN	YSA	CQU
A	18/01/2024	Diffusion initiale	YSA	ALP	CQU
REV.	DATE	MODIFICATIONS	RED.	VER.	APP.

REDACTION :	LE NOAC'H ROMAIN	ARTELIA INDUSTRIE Antenne de Brest 2 Quai de la Douane · 29200 Brest · France	ARTELIA
VERIFICATION :	SANDOZ YANN		
APPROBATION :	QUEMENER CHRISTOPHE		

1. SOMMAIRE

1. SOMMAIRE 2
2. IDENTIFICATION DE LA NOTE 4
3. OBJET DE LA NOTE 4
4. DOCUMENTS DE REFERENCES 4
4.1. Documents applicable 4
4.2. Documents de références 4
5. DESCRIPTION 5
6. MATÉRIAU ET CRITÈRE DE TENUE MÉCANIQUE 7
6.1. CARACTERISTIQUE MECANIQUE 7
6.2. CONTRAINTES ET FLECHE ADMISSIBLES 7
7. PRÉPARATION DU MODÈLE – STRUCTURE ET ASSEMBLAGE PODIUM 8
7.1. Geométrie et numérotation des FILES 9
7.1.1. FILE A ➔ C 9
7.1.2. FILE 1 ➔ 7 11
7.1.3. NIVEAU +0 ➔ + 4,13 m 15
7.2. Sections 17
7.2.1. HEB 100 17
7.2.2. Croix 100x100x10 18
7.2.3. Corniere 50x50x5 19
7.2.1. Support de plancher UPE 140 19
7.2.2. Rail coupée : Poutre reconstituée 20
7.2.3. UPE 140 20
7.3. AssemblageS 21
7.3.1. Pieds de poteau HEB/Platine 21
7.3.2. HEB/HEB ou HEB/CROIX 22
7.3.3. TREILLIS/POTEAU 23
7.3.4. RAIL COUPEE 24
7.3.5. APPUIS U INFERIEUR 25
7.3.6. APPUIS U SUPERIEUR 25
7.4. Conditions aux limites 26
7.5. CHARGEMENT 27
7.5.1. Cas 1 POIDS PROPRE CHARPENTE- ACTION PERMANENTE 27
7.5.2. Cas 2 POIDS PROPRE DE LA COUPEE & ESCALIERS - ACTION PERMANENTE 27
7.5.3. Cas 3 POIDS PROPRE CAILLEBOTIS - ACTION PERMANENTE 28
7.5.4. Cas 4 SURCHARGES D'EXPLOITATION- ACTION D'EXPLOITATION 28

7.5.5. Cas 5 NEIGE - ACTION CLIMATIQUE....29
7.5.6. Cas 6 à 9 VENT - ACTION CLIMATIQUE....30
7.6. COMBINAISONS EUROCODE....33
8. RESULTATS ET POST TRAITEMENT - STRUCTURE ET ASSEMBLAGE PODIUM....34
8.1. RESULTATS DES CONTRAINTES....34
8.1.1. Vérification des barres....34
8.1.1.1. Ratio sur la contrainte....34
8.1.1.2. Fleche....38
8.1.2. Vérification assemblage....39
8.1.2.1. PIEDS DE POTEAU HEB/PLATINE – Ratio : 0,22....39
8.1.2.2. HEB/HEB ou HEB/CROIX - RATIO : 0,47....47
8.1.2.3. TREILLIS – RATIO : 0,10....55
8.1.2.4. RAIL COUPEE....61
8.1.2.5. APPUIS U INFERIEUR – RATIO : 0,48....63
8.1.2.6. APPUIS U SUPERIEUR – RATIO : 0,66....67
9. PREPARATION DU MODELE – GARDE-CORPS....69
9.1. Epaisseur....69
9.2. Conditions limites....70
9.3. Liaisons....70
9.4. Maillage....71
9.5. Chargement....72
9.6. Force de reaction....72
9.7. Vérification des garde-corps....73
9.7.1. Contrainte dans le garde-corps plat normal....73
9.7.2. Contraintes dans le garde-corps rond normal....74
9.7.1. Contraintes dans le garde-corps plat version escalier....75
9.8. Vérification de la visserie....76
9.8.1. Limites admissible....76
9.8.2. Vérification des boulons du garde-corps Plat normal....76
9.8.3. Vérification des boulons du garde-corps Plat ESCALIER....76
10. CONCLUSION DE L'ETUDE....77
11. ANNEXE 1 : REACTION – MODELE ROBOT....78
12. ANNEXE 2 : TABLEAU DES NŒUDS....83
13. ANNEXE 3 : TABLEAU DES BARRES....86

2. IDENTIFICATION DE LA NOTE

Client : BASE NAVALE BREST
Unité : STRUCTURE PODIUM SIMPLE RAS DEBORDOIR
Ouvrage : NOTE DE CALCUL
N° Affaire : CCJ029

3. OBJET DE LA NOTE

L'objet de la note est de dimensionner le podium simple du RAS débordoir.

La structure et les assemblages sont vérifié suivant l'Eurocode avec les cas de charge suivant :

- Poids propre
- Exploitation
- Vent
- Neige

4. DOCUMENTS DE REFERENCES

4.1. DOCUMENTS APPLICABLE

[DA-01]	NF EN 1990	Eurocodes structuraux
[DA-02]	NF 1991-1-1:Partie 1-1 à 4	Définition des charges suivant l'Eurocode 1 : « Actions sur les structures » : actions générales – Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation, charges de neige, actions du vent
[DA-03]	NF EN 1993-1 /NA:2007/AC:2009	Dimensionnement de la charpente suivant l'Eurocode 3 : « Calcul des structures en acier »
[DA-04]	NF EN 10025-2	Produits laminés à chaud en aciers de construction – Partie 2 : Conditions techniques de livraison pour les aciers de construction non alliés
[DA-05]	NF EN 1993-1-8	Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-8 : calcul des assemblages
[DA-06]	NF EN 15048-1	Boulonnerie de construction métallique non précontrainte - Partie 1 : exigences générales

4.2. DOCUMENTS DE REFERENCES

[DR1]	CCJ029-PE100	Plan du podium simple
[DR2]	DOE-14035	DEVIS POIDS
[DR3]	CCJ029-MC006	Informations caillebotis

5. DESCRIPTION

Le calcul de la structure du podium est réalisé en comportement élastique sur ROBOT 2022.
Le calcul des assemblages est realisé en post traitement en fonction des efforts extraits dans les poutres et nœuds du calcul du podium. Les assemblages sont vérifiés avec ROBOT 2022.

Les garde corps ainsi que l'assemblage de fixation sont vérifiés sur ANSYS 2022 R2

Le podium est monté sur un ras. En l'absence de données d'entrées, et comme conclut par le client, les mouvements de plateforme du ras (houle, tamponnement, …) ne sont pas pris en compte dans les calculs.

Les cas de chargement sont donc :
- Poids propre (G)
- Charges d'exploitation (I) de 350 kg/m2
- Vent (W) selon +x ;-x ;+y ;-y à 10 m de haut, avec une référence à 26 m/s
- Neige (S) de 45 kg/m²

La masse de la coupée est de 2,4 t soit 2,9 t avec une marge de 20% (cf. DOE 14035)
L'escalier interne a une masse de 1,6 tonnes (modèle CAO).
L'escalier externe (Entre la plateforme inférieure et le ras) a une masse de 1,76 tonnes (modèle CAO).

La modification apportée au plan du podimum simple, dans le but d'avoir une structure identique au podium double, ne remet pas en cause les conclusions de l'étude car cette modification est négligeable.

Les garde-corps sont calculé selon l'Eurocode 3 catergorie C3 avec une charge horizontale linéique de 0,8kN/m. La categorie C3 a été choisi en concertation avec le maitre d'œuvre.

Tableau 6.1 — Catégories d'usages

Catégorie	Usage spécifique	Exemples
A	Habitation, résidentiel	Pièces des bâtiments et maisons d'habitation ; chambres et salles des hôpitaux ; chambres d'hôtels et de foyers ; cuisines et sanitaires.
B	Bureaux	
C	Lieux de réunion (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D [a)]	**C1** : Espaces équipés de tables etc., par exemple : écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception **C2** : Espaces équipés de sièges fixes, par exemple : églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente **C3** : Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes, par exemple : salles de musée, salles d'exposition etc. et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares **C4** : Espaces permettant des activités physiques, par exemple : dancings, salles de gymnastique, scènes **C5** : Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes, par exemple : bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare
D	Commerces	**D1** : Commerces de détail courants **D2** : Grands magasins

Tableau 6.12 — Charges horizontales sur les murs de séparation et les garde-corps

Aires chargées	q_k [kN/m]
Catégorie A	q_k
Catégories B et C1	q_k
Catégories C2 à C4 et D	q_k
Catégorie C5	q_k
Catégorie E	q_k
Catégorie F	Voir Annexe B
Catégorie G	Voir Annexe B
NOTE 1 Pour les catégories A, B et C1, q_k peut être choisi dans la fourchette 0,2 kN/m — 1,0 (0,5) kN/m.	
NOTE 2 Pour les catégories C2 à C4 et D, q_k peut être choisi dans la fourchette 0,8 kN/m — 1,0 kN/m.	
NOTE 3 Pour la catégorie C5, q_k peut être choisi dans la fourchette 3,0 kN/m — 5,0 kN/m.	
NOTE 4 Pour la catégorie E, q_k peut être choisi dans la fourchette 0,8 kN/m — 2,0 kN/m. Pour les surfaces de la catégorie E, les charges horizontales dépendent du type d'occupation. Aussi la valeur de q_k est-elle définie comme une valeur minimale qu'il convient de vérifier en fonction du type d'occupation.	
NOTE 5 Lorsque les notes 1, 2, 3 et 4 indiquent une fourchette de valeurs, la valeur à retenir peut être fixée par l'Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont soulignées.	
NOTE 6 L'Annexe Nationale peut prescrire des charges ponctuelles Q_k supplémentaires et/ou des spécifications relatives au choc de corps durs ou mous, pour une vérification analytique ou expérimentale.	

6. MATÉRIAU ET CRITÈRE DE TENUE MÉCANIQUE

6.1. CARACTERISTIQUE MECANIQUE

L'ensemble de la structure profilés S235 avec les caractéristiques selon [DA-06]

Nuance acier	Module d'Young (GPa)	Coefficient de Poisson	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)
S235	204	0,3	235	360
Vis Classe 8.8	-	-	640	800

6.2. CONTRAINTES ET FLECHE ADMISSIBLES

Les contraintes admissibles sont :
La contrainte admissible de la structure en S235, est fy = Rp0,2 soit 235 MPa et pour la boulonnerie fu= Rm, soit 640 MPa.

La flèche admissible pour le plancher est de L/300.

La flèche admissible pour les garde-corps est de 30 mm en charge pour une charge de 300kg/L suivant la norme [DA-09]. Le critère sera vérifié pour une charge de 800 kg/m, voir§9.

7. PRÉPARATION DU MODÈLE – STRUCTURE ET ASSEMBLAGE PODIUM

Les caractéristiques géométriques de sections, Inerties, Modules d'Inerties, sont calculées par un module spécialisé de ROBOT.

Les escaliers et la coupée ne sont pas modélisés car ils ne sont pas structuraux. Leurs masses sont prises en compte en fonction du pourcentage d'appui sur la structure du podium. En effet, la coupée repose à moitié seulement sur la structure.

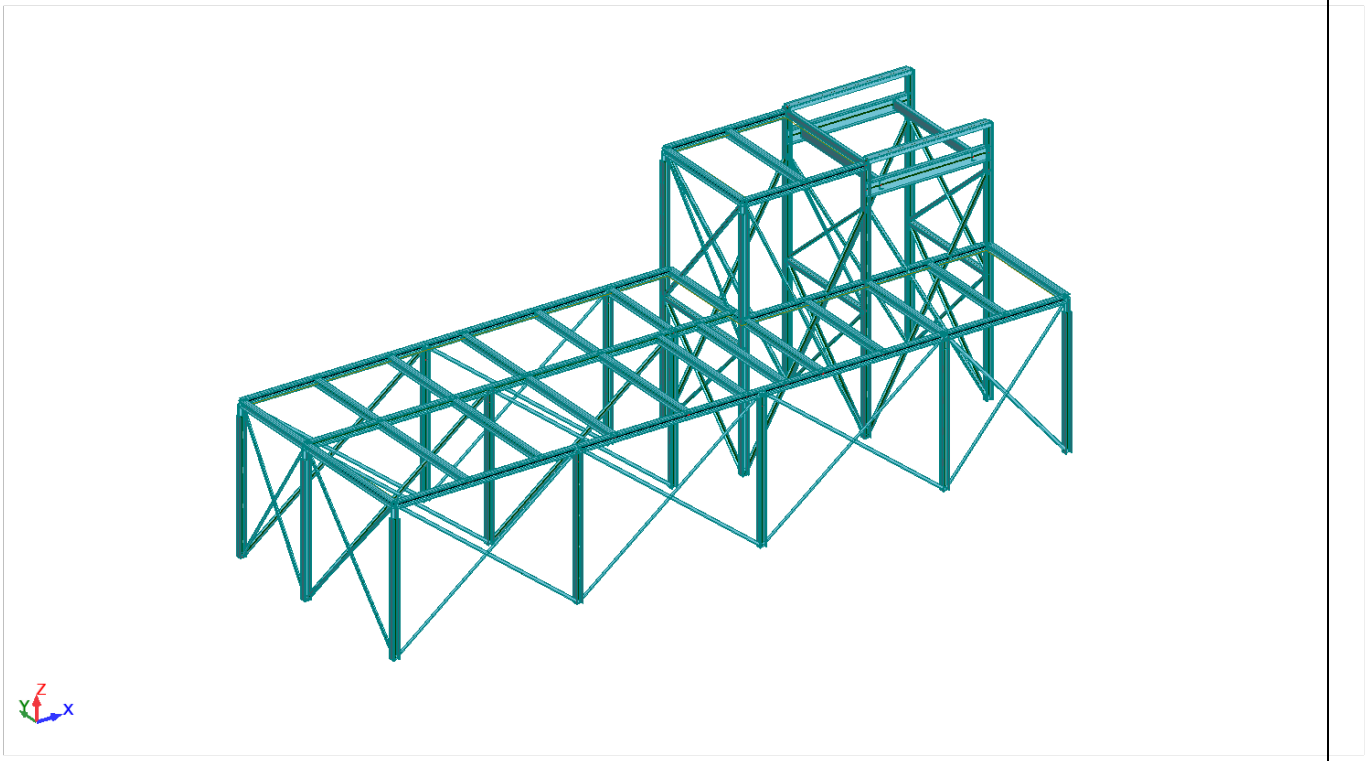


Figure 1 - Modélisation de la structure du podium

La masse du podium est de 7,628 tonnes d'après le modèle CAO.

Le modèle ROBOT fait 9,51 tonnes (Voir les forces de réaction) avec un demi-escalier en moins et une demie coupée en plus. Soit une masse équivalente de 8,942 Tonnes. Cette valeur est supérieure à la valeur du modèle CAO car la masse des caillebotis a été surévaluée dans le calcul. Le calcul est donc conservatif.

7.1. GEOMETRIE ET NUMEROTATION DES FILES

Ci-dessous, les files correspondant au plan [DR01].

7.1.1. FILE A ➔ C

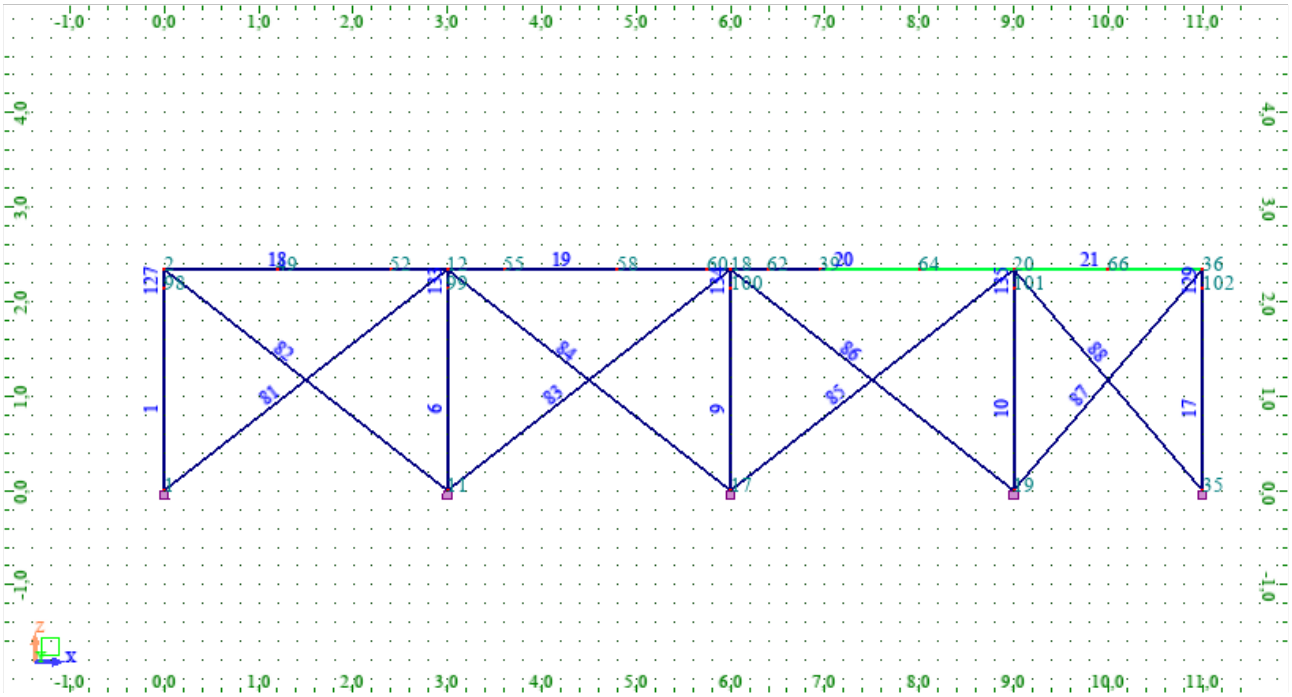


Figure 2 - FILE A

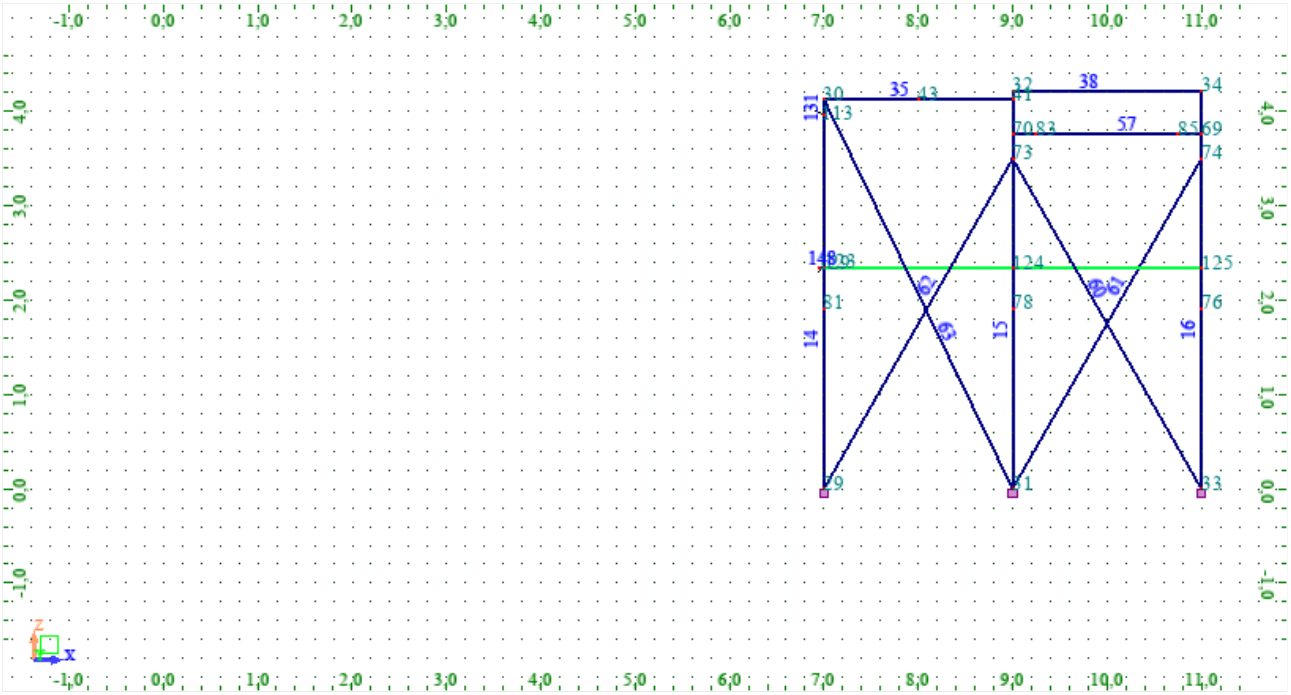


Figure 3 - FILE B'

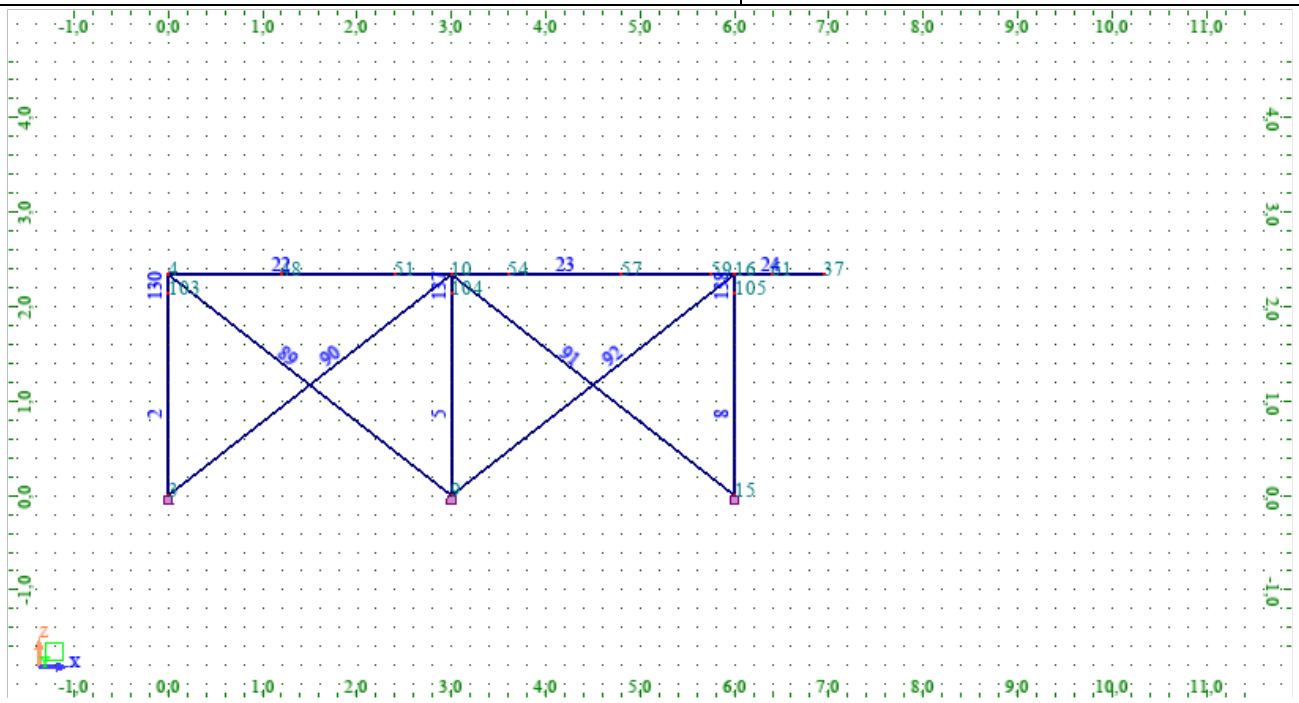


Figure 4 - FILE B

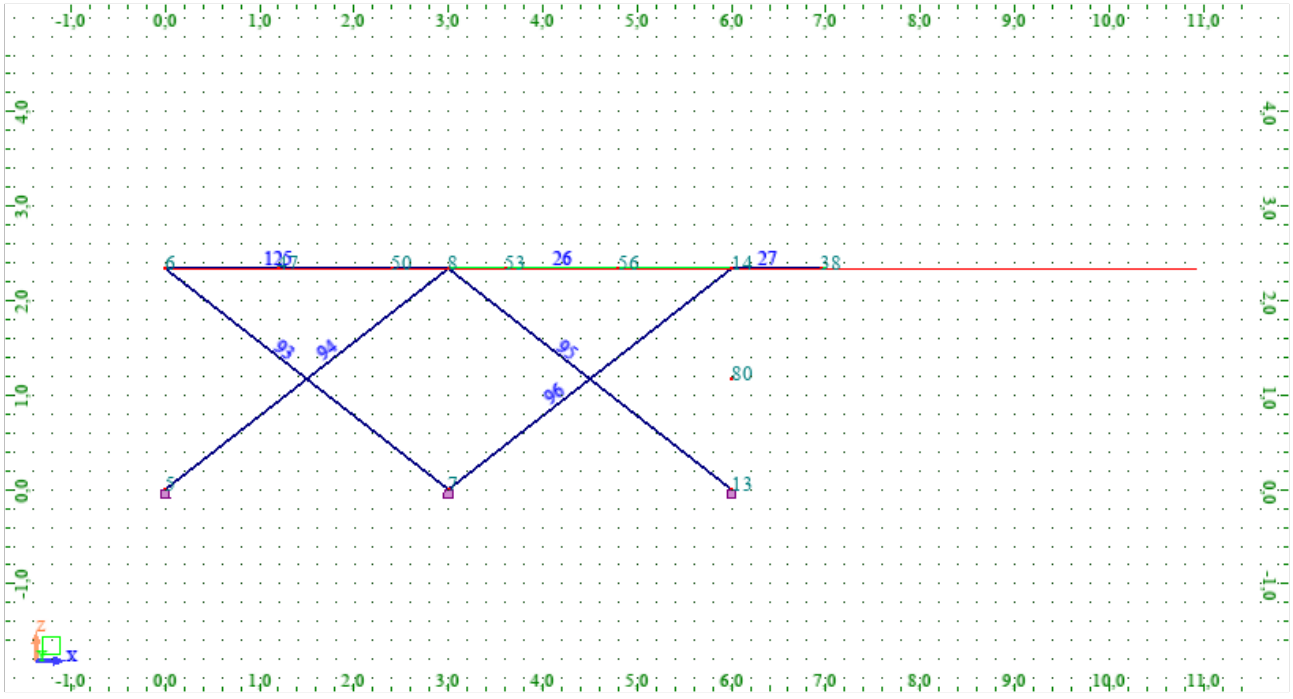


Figure 5 - FILE C'

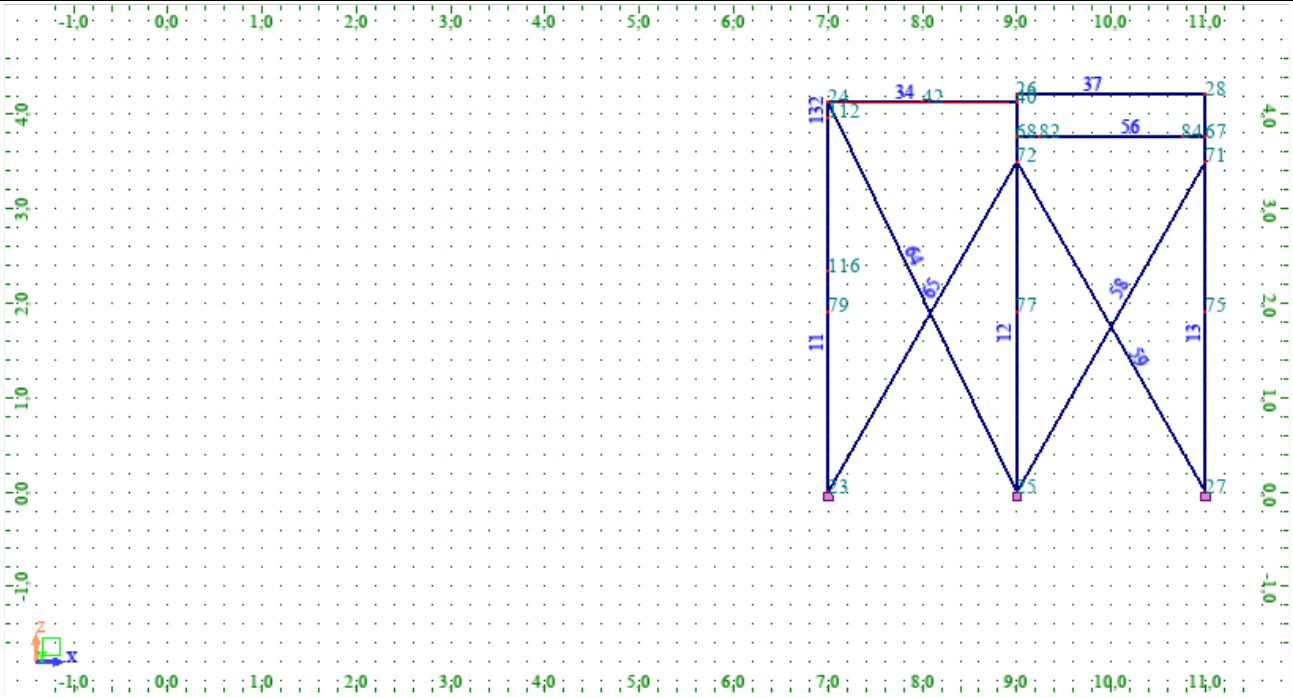


Figure 6 -FILE C

7.1.2. FILE 1 ➔ 7

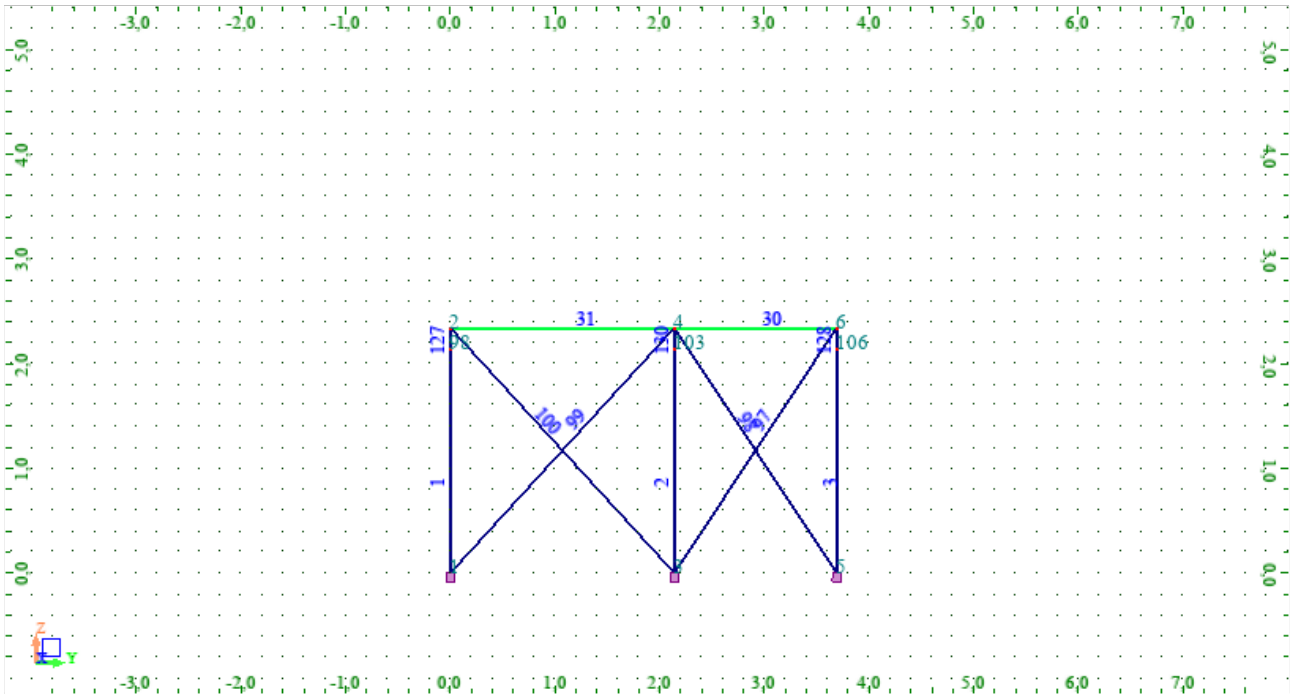


Figure 7 -FILE 1

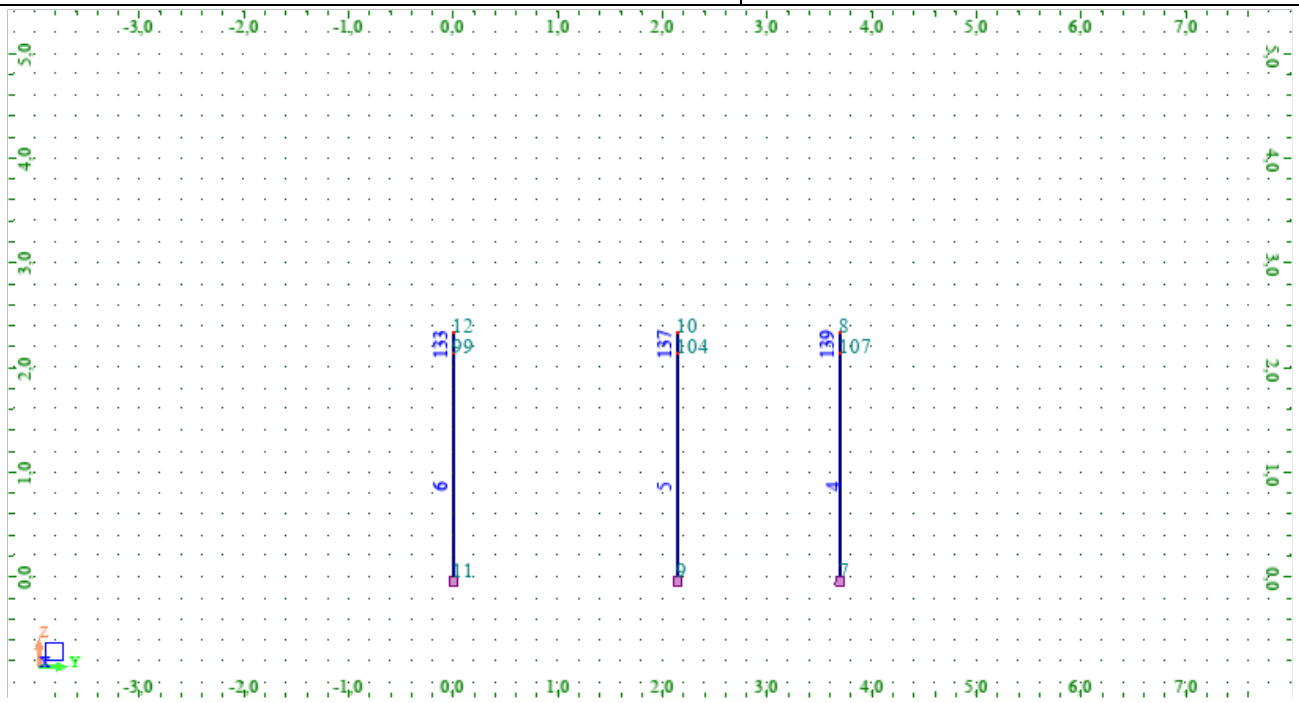


Figure 8 - FILE 2

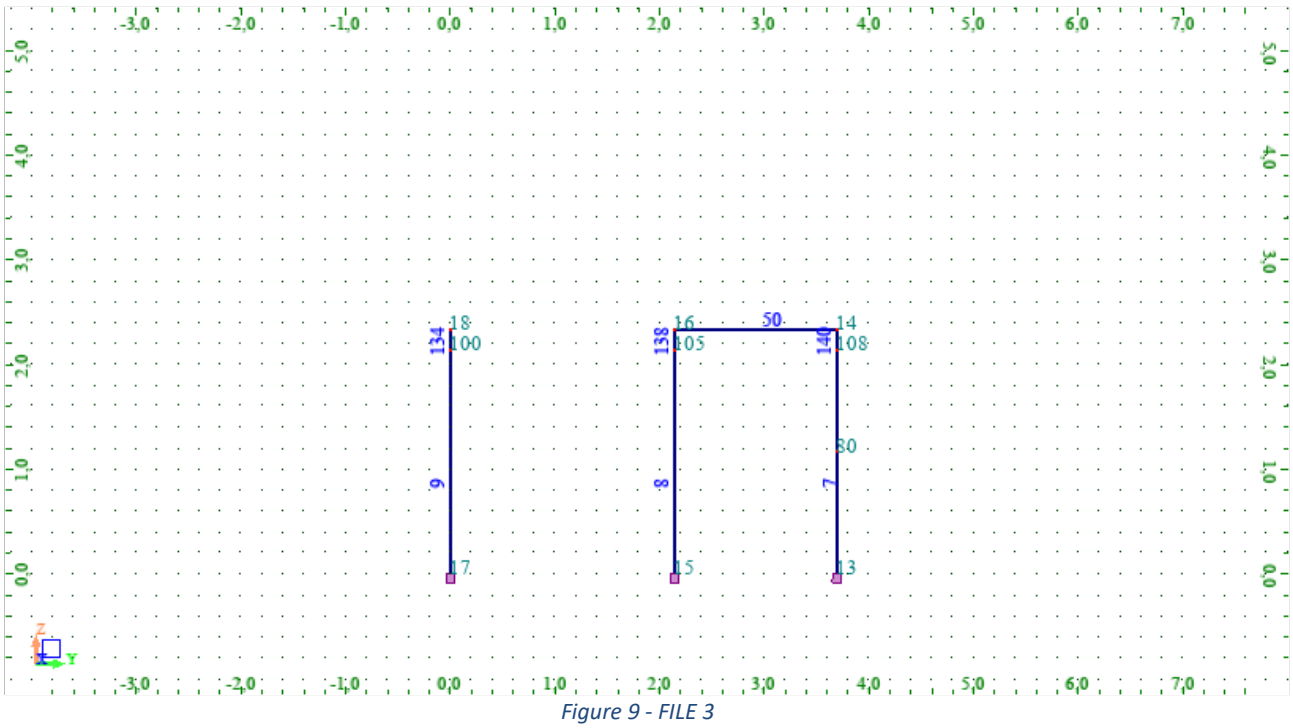


Figure 9 - FILE 3

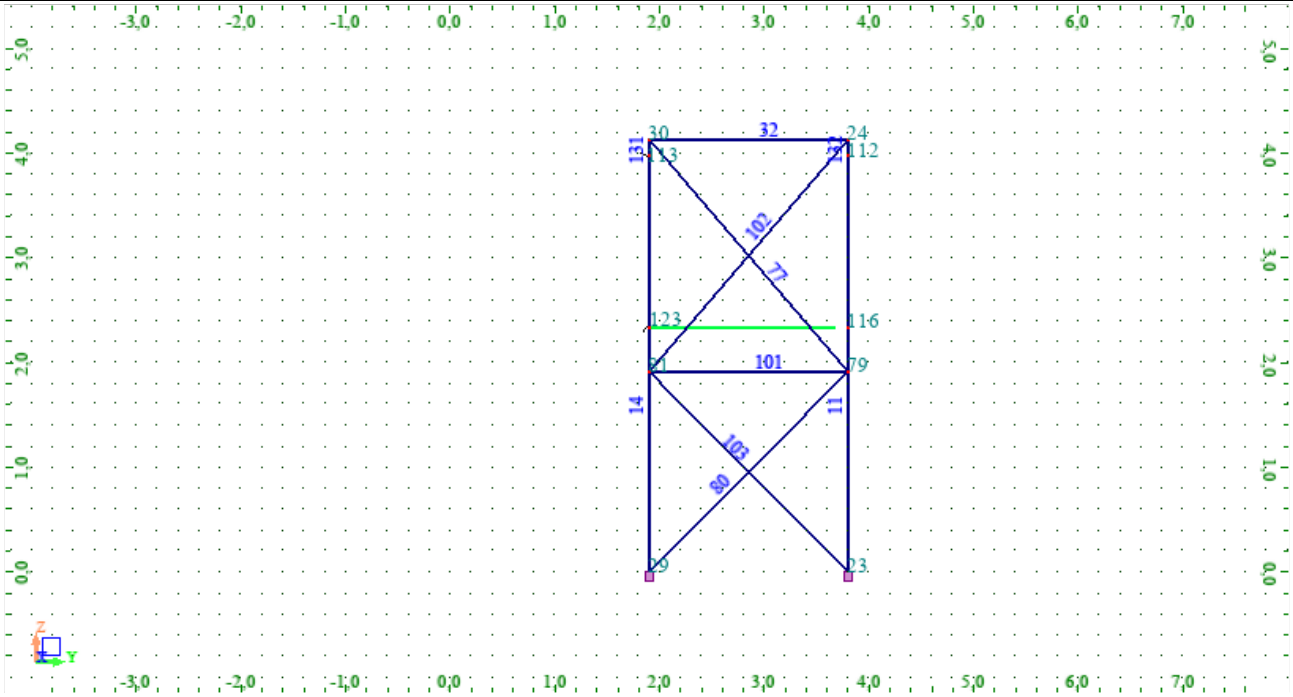


Figure 10 - FILE 4 + 1,03m

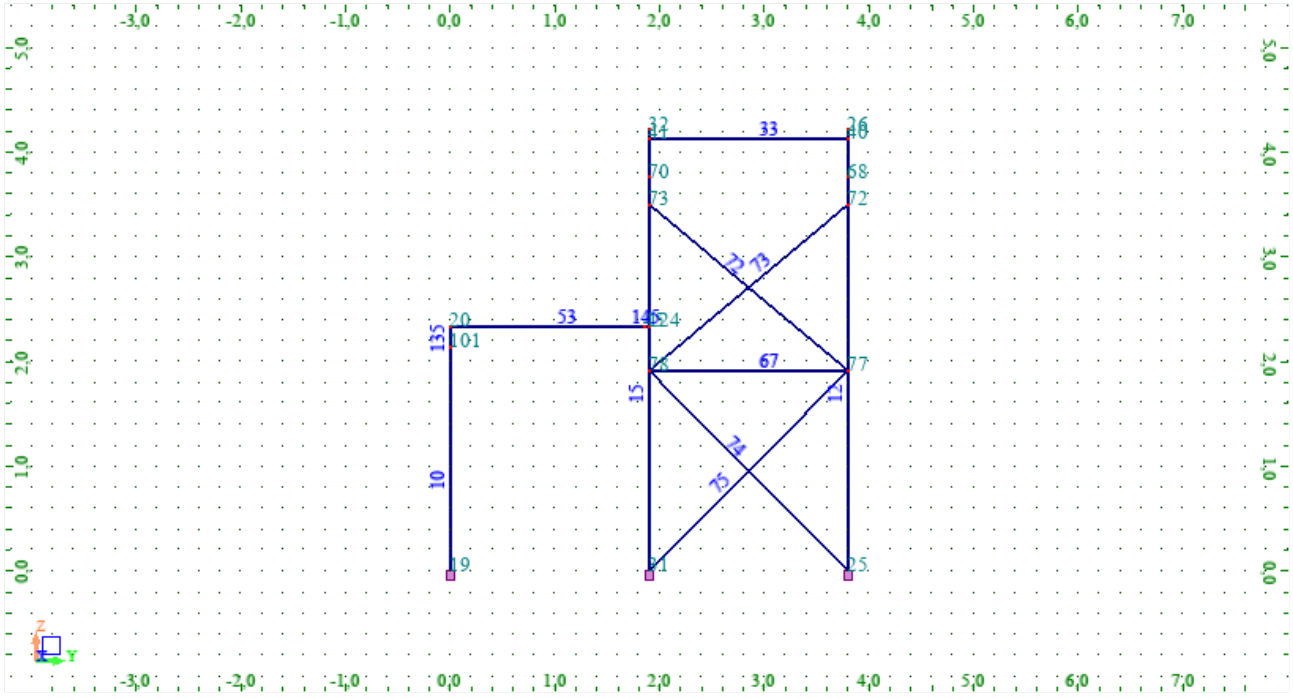


Figure 11 - FILE 5

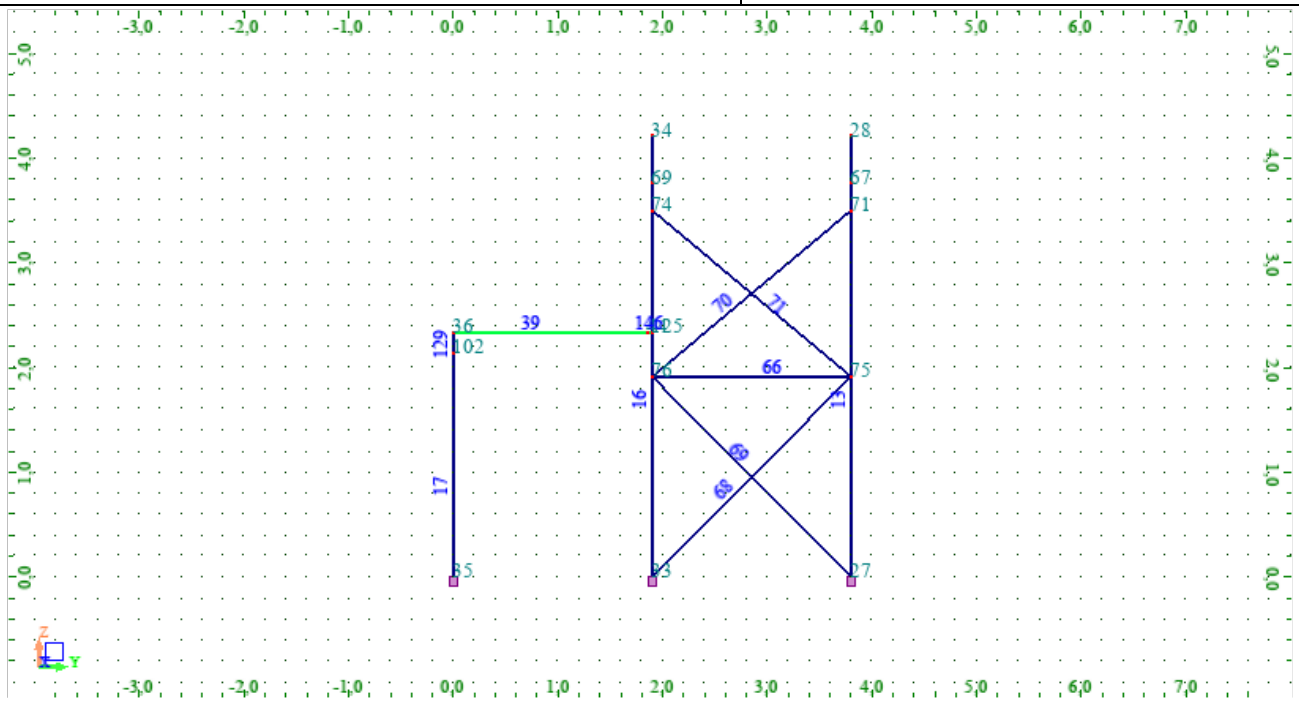


Figure 12 - FILE 6

7.1.3. NIVEAU +0 ➔ + 4,13 M

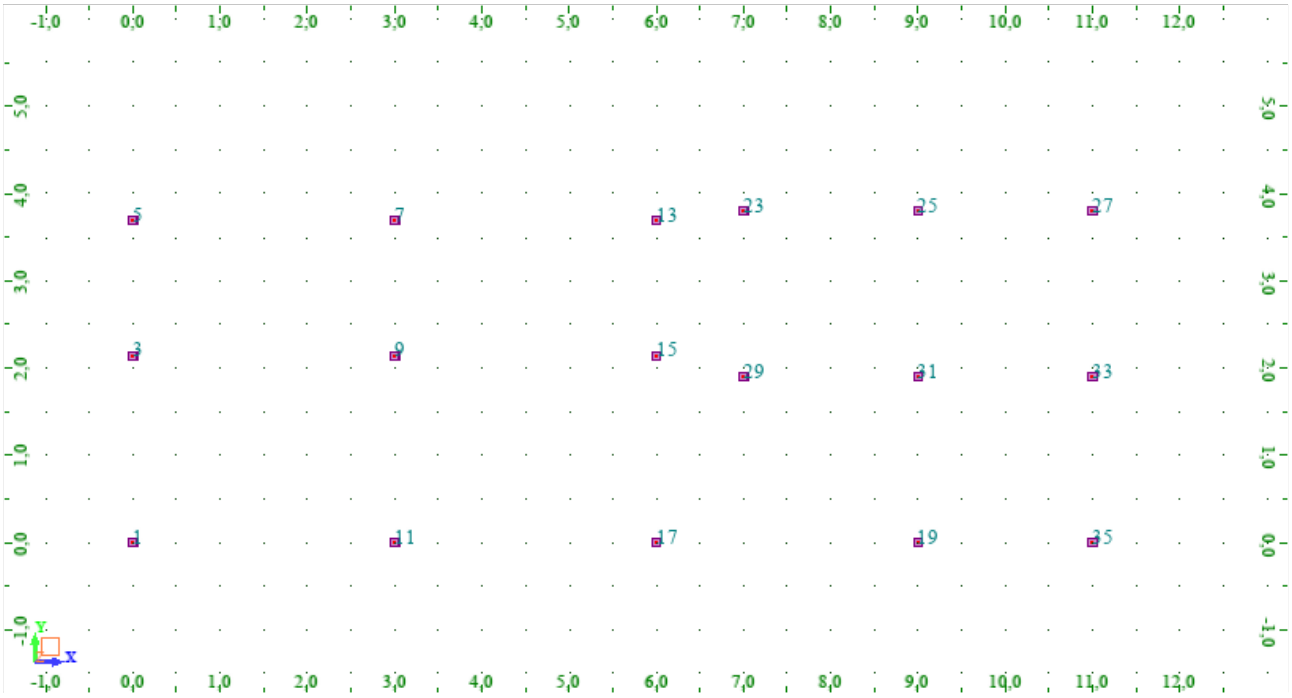


Figure 13 - NIVEAU +0 m

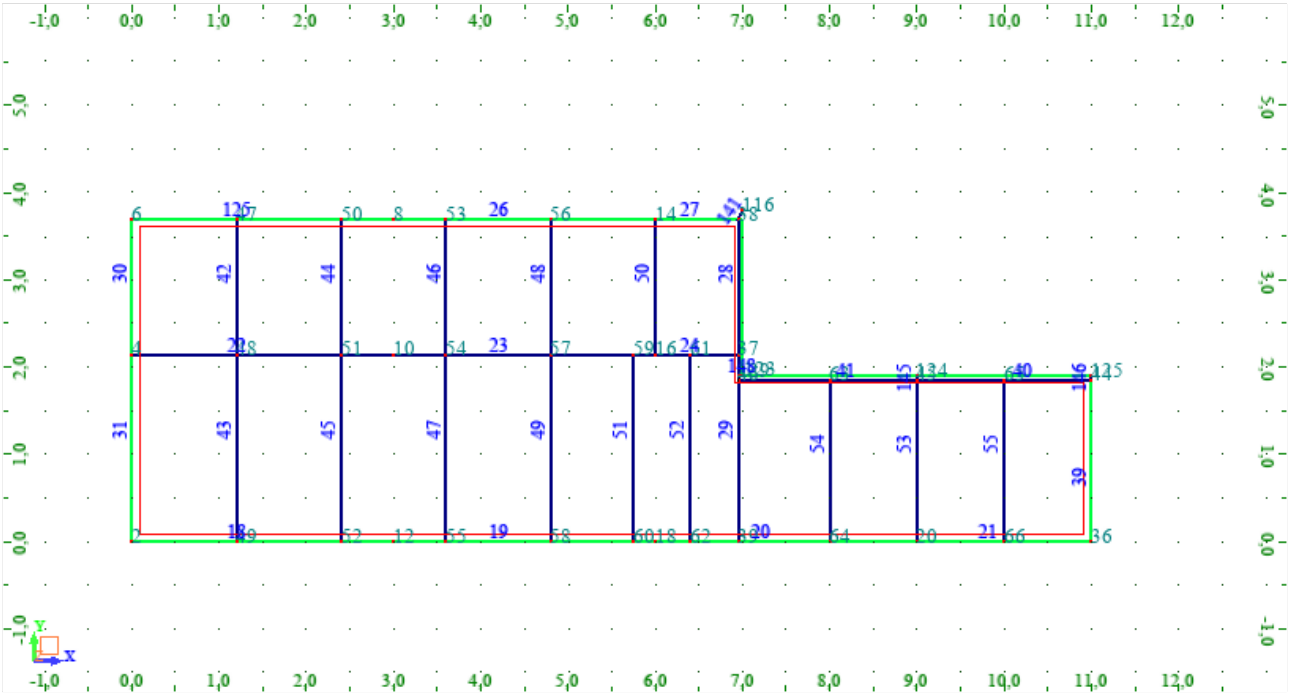


Figure 14 NIVEAU +2,34 m

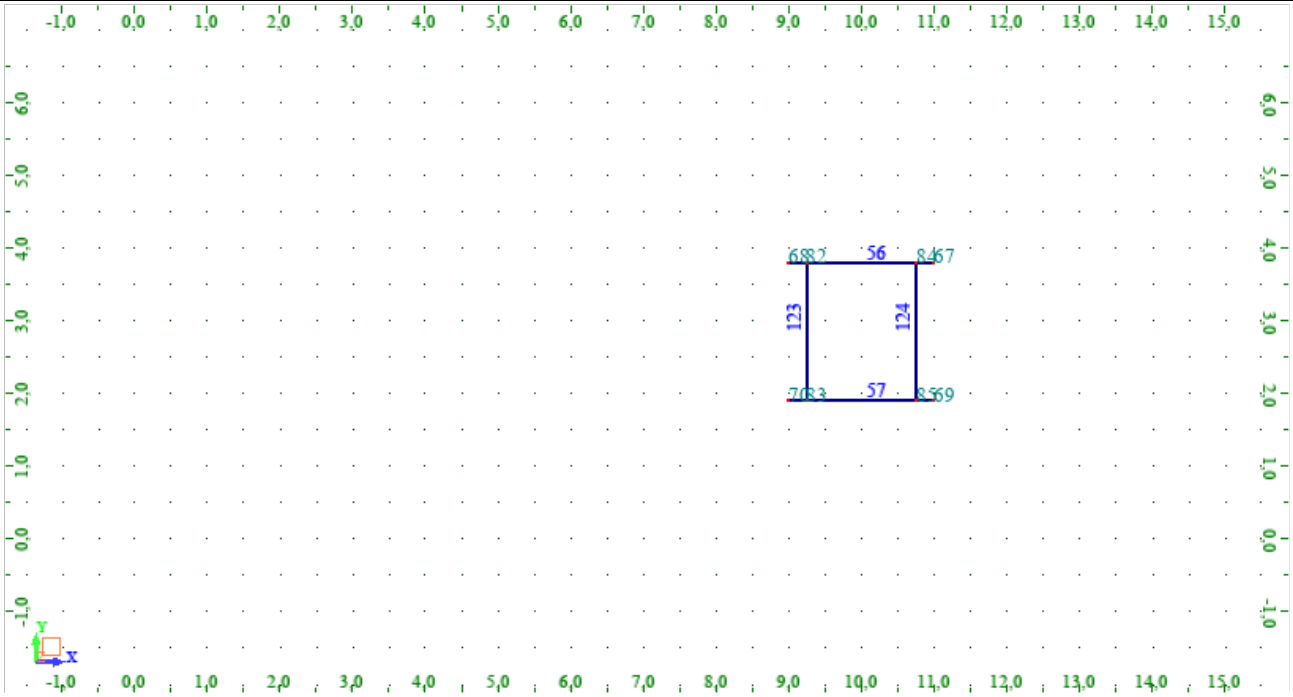


Figure 15 - NIVEAU +3,76 m

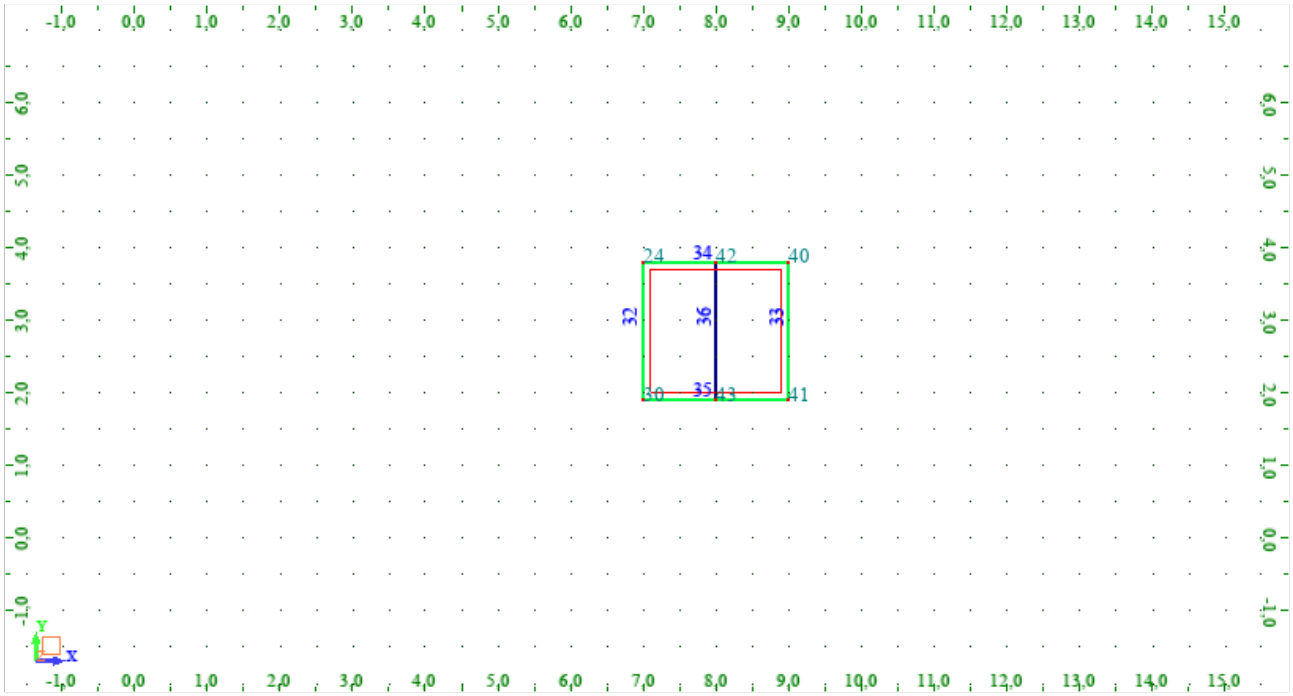


Figure 16 - NIVEAU +4,13 m

7.2. SECTIONS

7.2.1. HEB 100

Les montants et transverses sont fait de HEB 100.

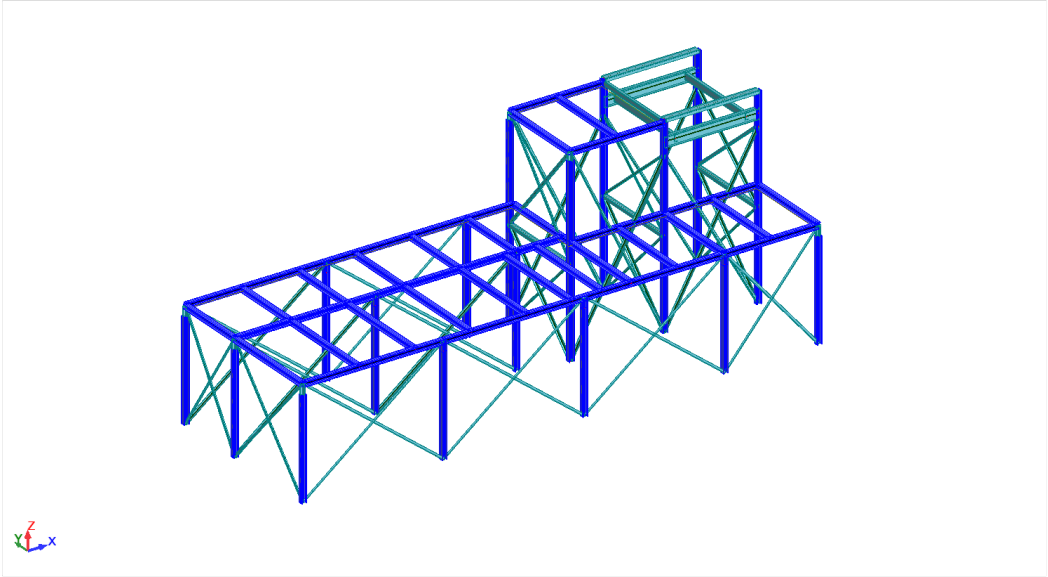


Figure 17 - Visulisation des barres

Liste des barres: 1 à 24 26 à 32 34 à 36 39 à 55 125 133 à 135 137 à 140

7.2.2. CROIX 100X100X10

Les croix sont définis pour représenter l'assemblage des hauts de poteau en extremité de la structure.

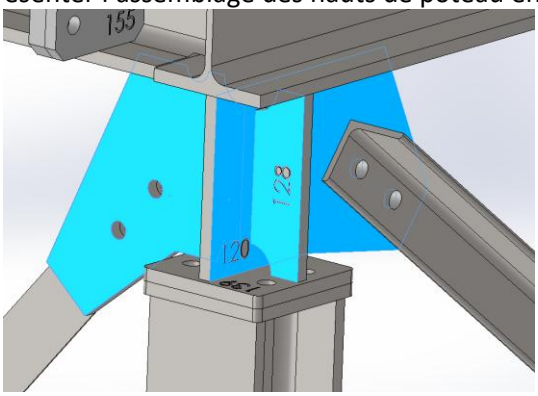
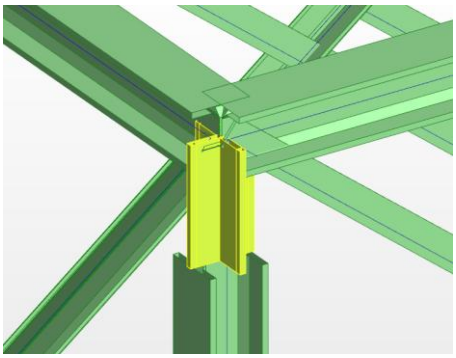


Figure 18 - Modélisation de la poutre entre les montants HEB et le cadre de la passerelle



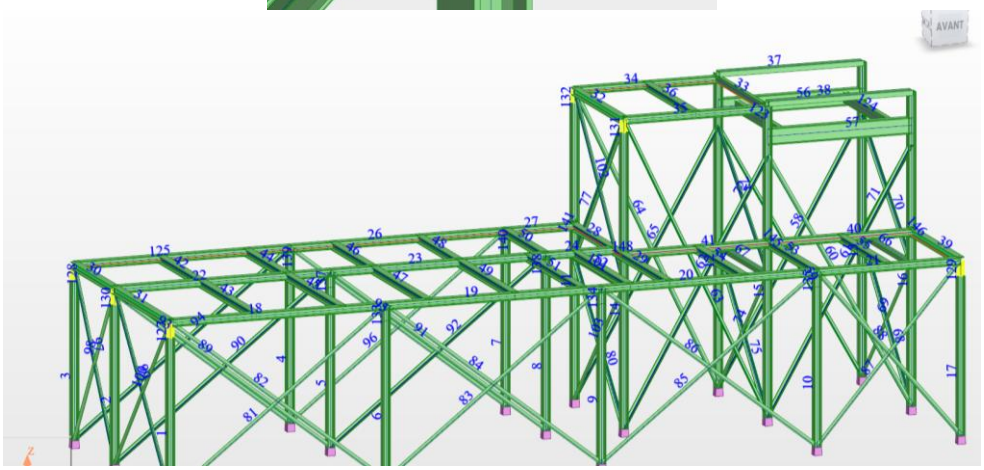


Figure 19 - Visulisation des barres

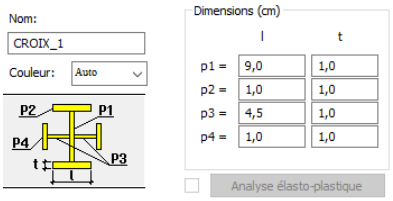


Figure 20 - Description de la section

Liste des barres: 127 à 132

7.2.3. CORNIERE 50X50X5

Les cornières sont définies en tant que treillis, ne pouvant travailler qu'en axial.

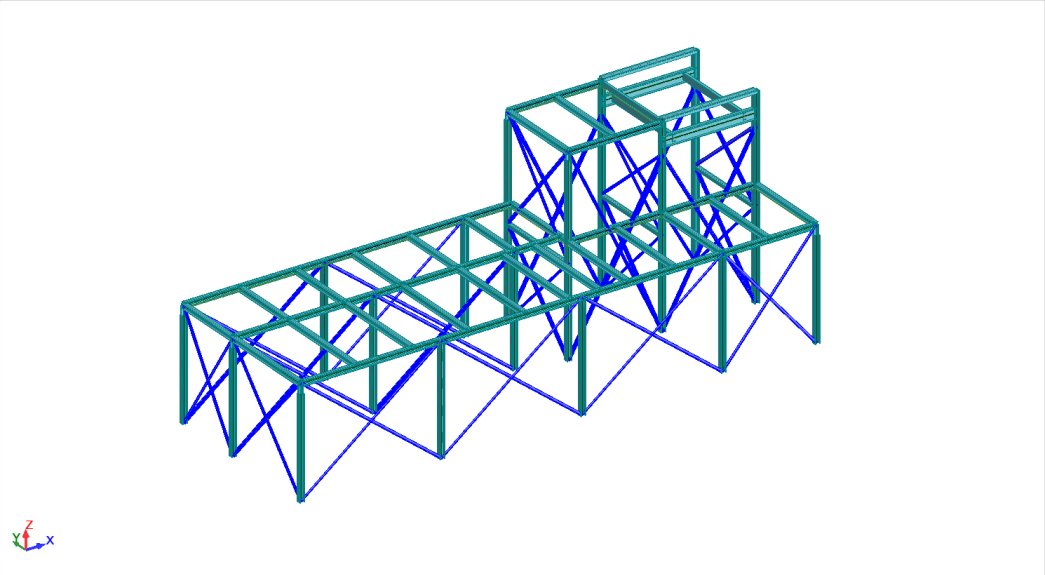


Figure 21 - Visulisation des barres

Liste des barres : 58 à 65 68 à 75 77 80 à 100 102 103

7.2.1. SUPPORT DE PLANCHER UPE 140

Les UPE 140 permettent une interaction de supportage de plancher. Cette section permet de vérifier le U en flexion et en cisaillement, ainsi que d'extraire les efforts dans les assemblages boulonnés.

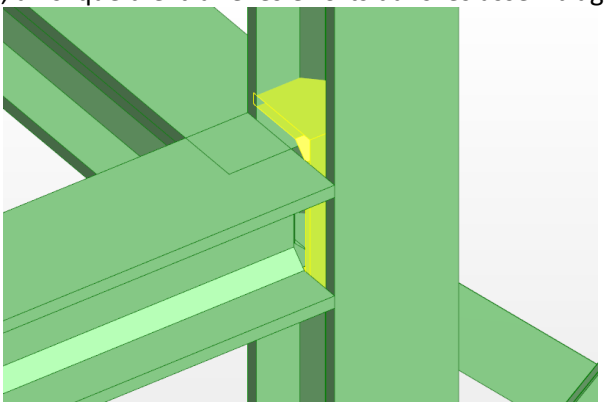


Figure 22 - Visulisation des barres

Liste des barres : 141 145 146 148

7.2.2. RAIL COUPEE : POUTRE RECONSTITUEE

Le rail de la coupée est représenté par une poutre équivalente. Le U dans lequel la coupée roule n'est, de manière conservative, pas totalement représenté.

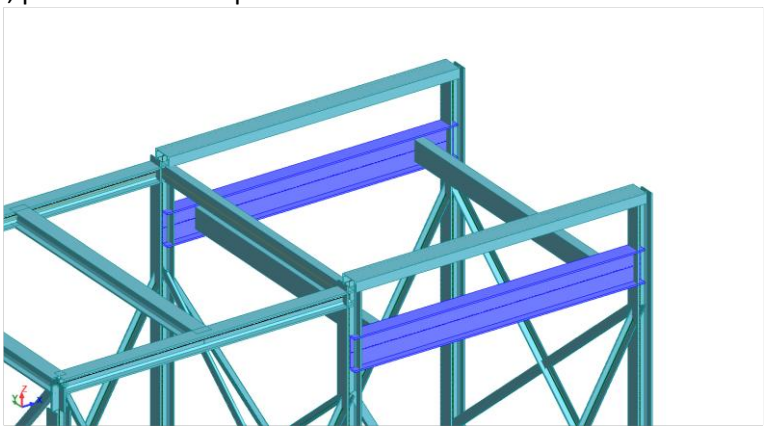


Figure 23 - Visulisation des barres

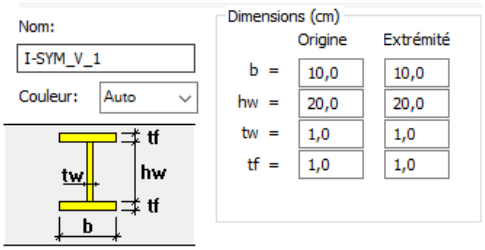


Figure 24 - Description de la section

Liste des barres : 56, 57

7.2.3. UPE 140

Les traverses de renfort de la plateforme intermédiaire sont en UPE140

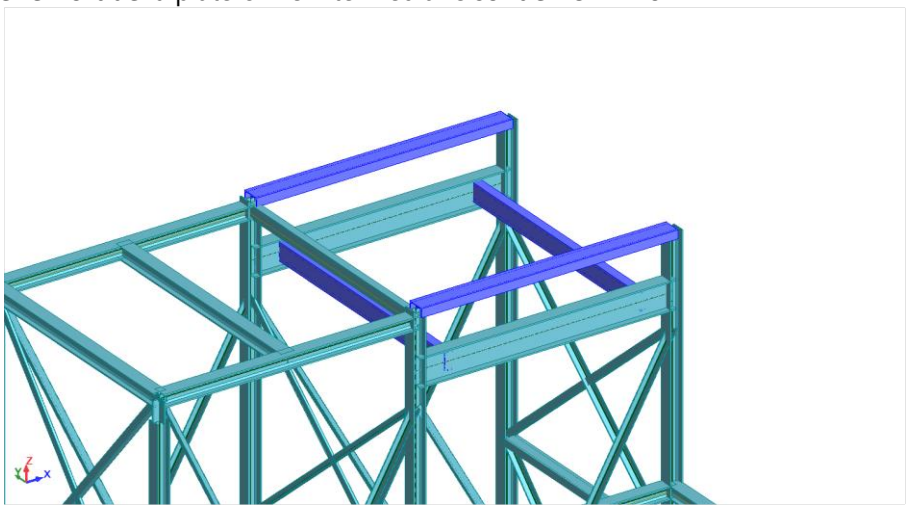


Figure 25 - Visulisation des barres

Liste des barres : 37 38 123 124

7.3. ASSEMBLAGES

7.3.1. PIEDS DE POTEAU HEB/PLATINE

L'assemblage des pieds de poteau est fait par 2 platines, voir ci-dessous :

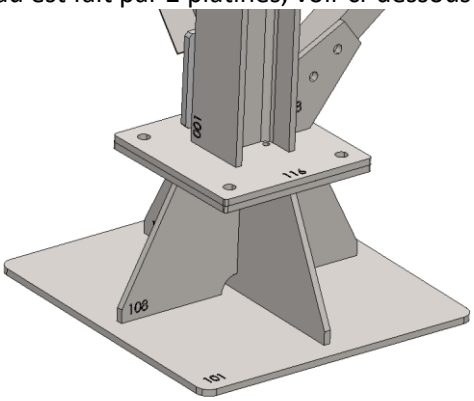


Figure 26 - Assemblage des pieds de poteau

Le montage platine/platine est vérifier avec un assemblage équivalent, sans tenir compte de la diférence de poutre entre le HEB du poteau et la croix du socle.

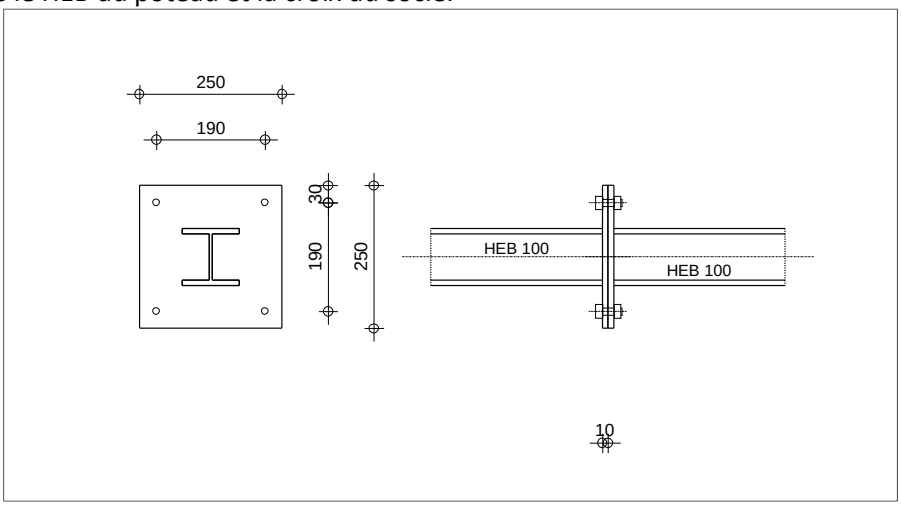


Figure 27 - Modélisation de l'assemblage équivalent

7.3.2. HEB/HEB OU HEB/CROIX

Selon le poteau, la tête est composée soit d'un HEB, soit d'une croix.

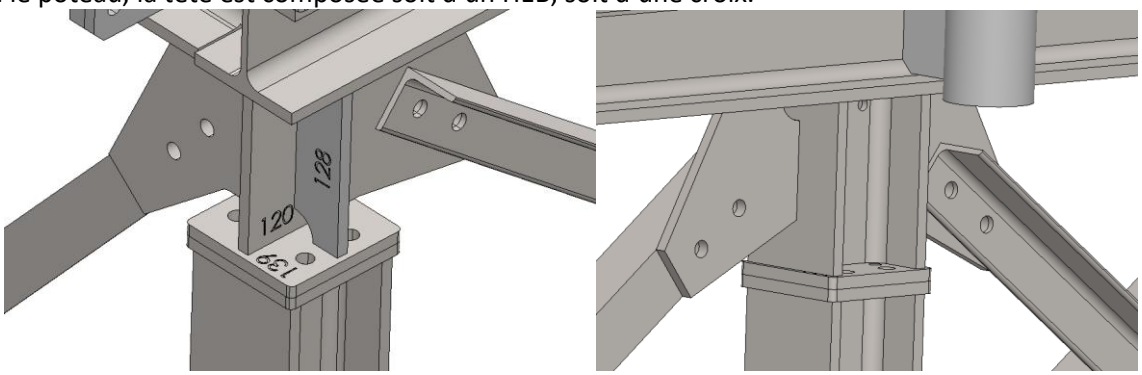


Figure 28 - Modélisation de l'assemblage en tête de poteau (Croix à gauche, HEB à droite)

Cet assemblage est modélisé par 2 HEB reliés par deux platines. La diférence entre la croix supérieure et le HEB modélisé n'est pas pris en compte.

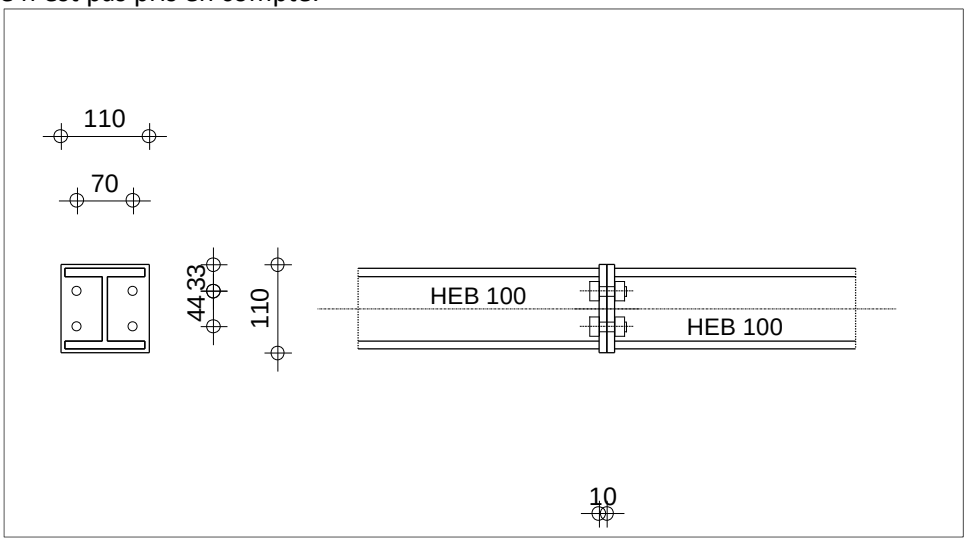


Figure 29 - Modélisation équivalente de l'assemblage HEB/CROIX

7.3.3. TREILLIS/POTEAU

Il existe plusieurs sorte d'assemblage de diagonales. Seul le plus faible est vérifié de manière conservatrive.

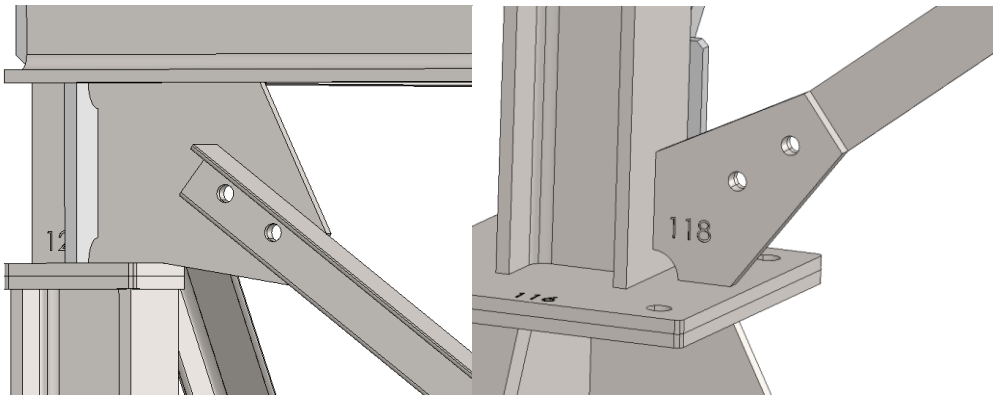


Figure 30 - Modélisation des assemblages des treillis

L'assemblage le plus faible est celui qui possède le cordon de soudure le plus petit. Celui-ci correspond à la figure de gauche (voir si dessus).

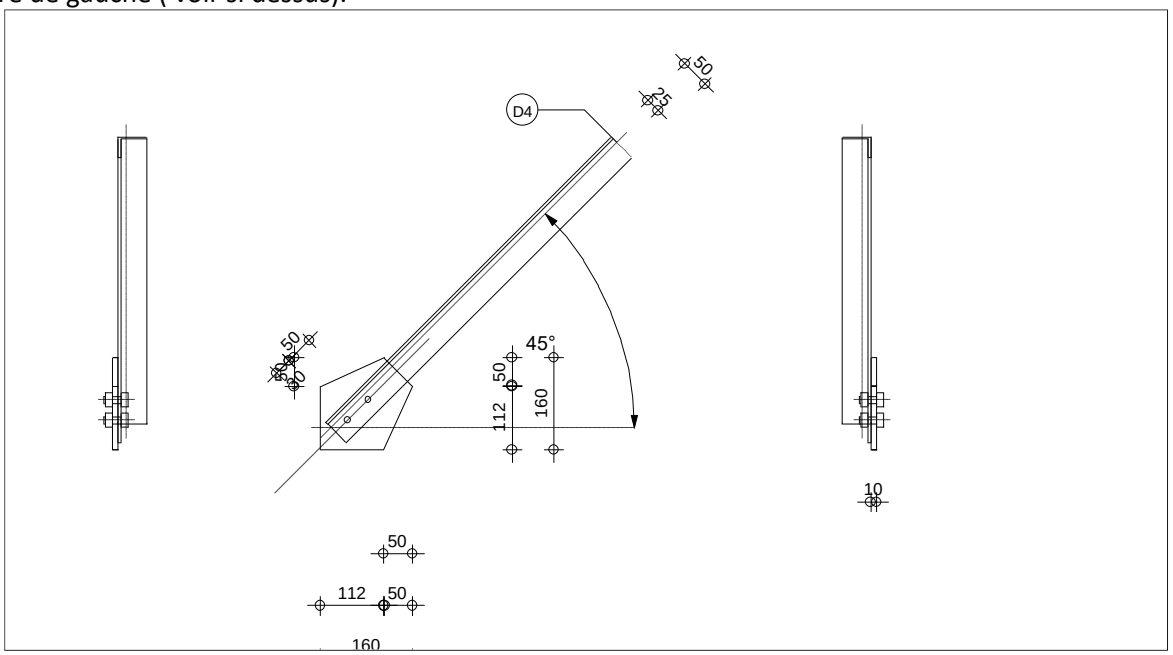


Figure 31 - Assemblage équivalent des treillis

7.3.4. RAIL COUPEE

Les 4 assemblages des rails de la coupée sont identiques. L'assemblage se fait par l'intermédiaire d'une platine disymetrique avec 2 boulons excentrés.

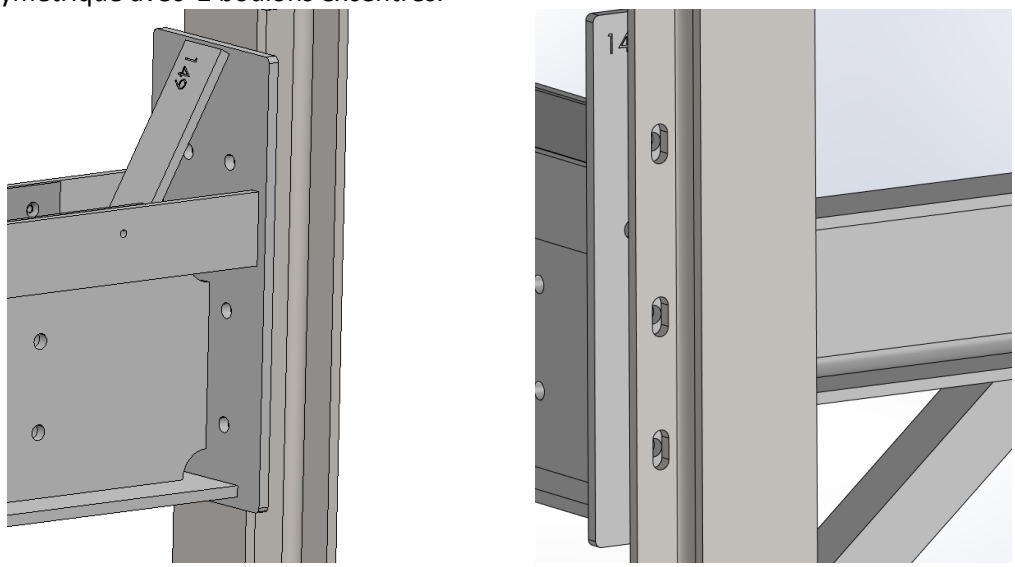


Figure 32 - Assemblage du rail de coupée

Afin de valider cet assemblage, les boulons doivent être précontraints afin de reprendre les efforts de cisaillement.

7.3.5. APPUIS U INFERIEUR

La passerelle est en appuis sur les montant grâce à un assemblage de UPE. Le UPE est fixé par 4 boulons sur le montant.

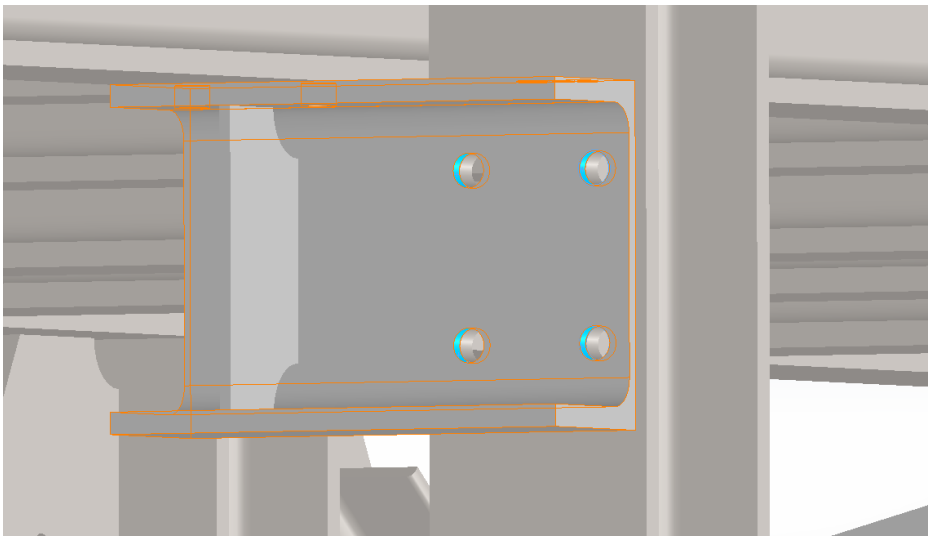


Figure 33 - Modélisation de l'assemblage des UPE de soutien de la passerelle

Seuls les boulons sont calculés en traction et cisaillement en prenant en compte les moments induits par le UPE.

7.3.6. APPUIS U SUPERIEUR

L'assemblage entre le UPE et le HEB de la plateforme inférieure est constituée d'un appui et de deux boulons aux files indiquées au §7.3.5 de la passerelle est consitué d'un appuis et de deux boulons.

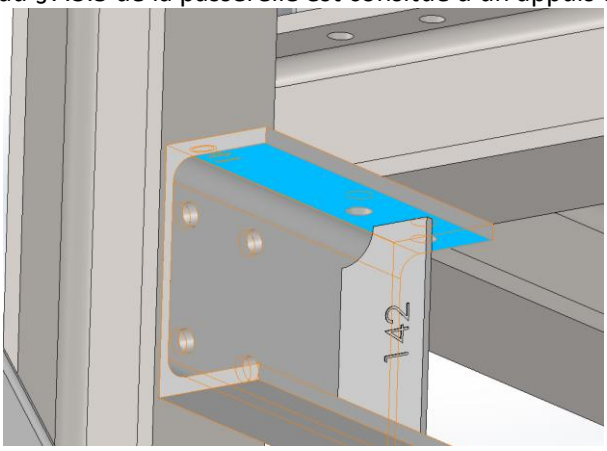


Figure 34 - Modélisation de l'assemblage entre le UPE et le HEB horizontal

Seuls les boulons sont calculés en traction et cisaillement en prenant en compte les moments induits par le UPE.

7.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les pieds sont bloquées en point fixe (Ux=Uy=Uz=Mx=My=Mz=0)

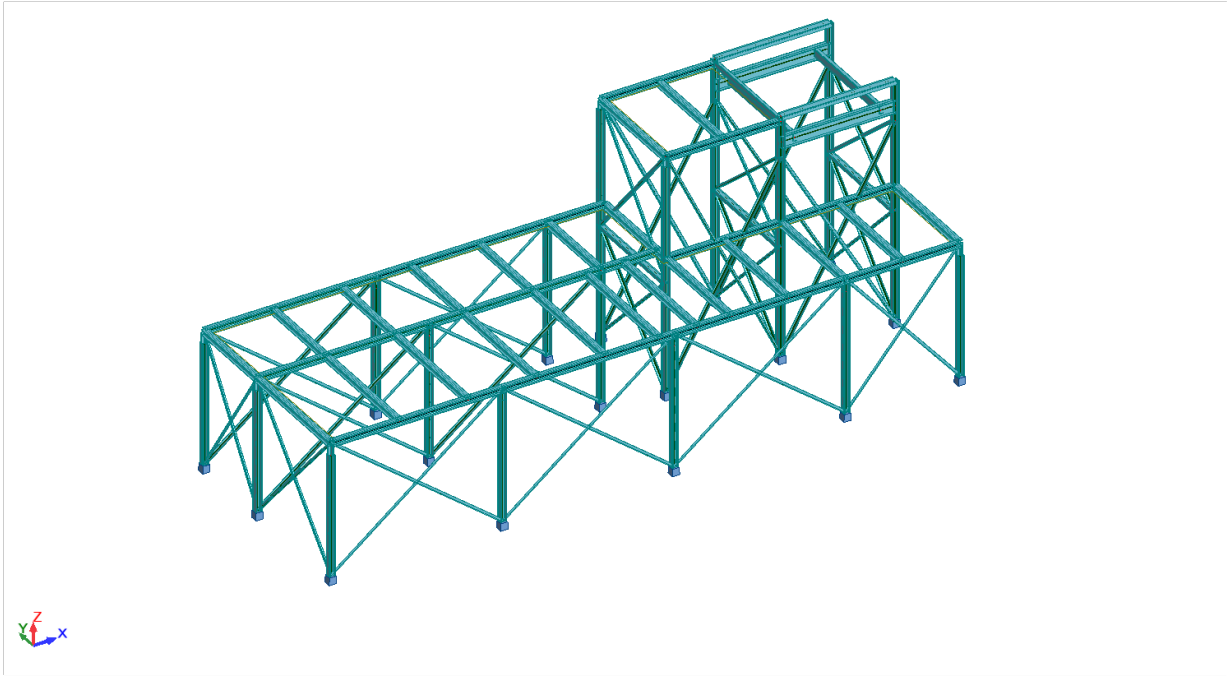


Figure 35 : Conditions limites

7.5. CHARGEMENT

7.5.1. CAS 1 POIDS PROPRE CHARPENTE- ACTION PERMANENTE

Le poids propre du podium est pris en compte par l'accélération gravitationnelle de 9806,6mm/s², de sa masse suivant Z

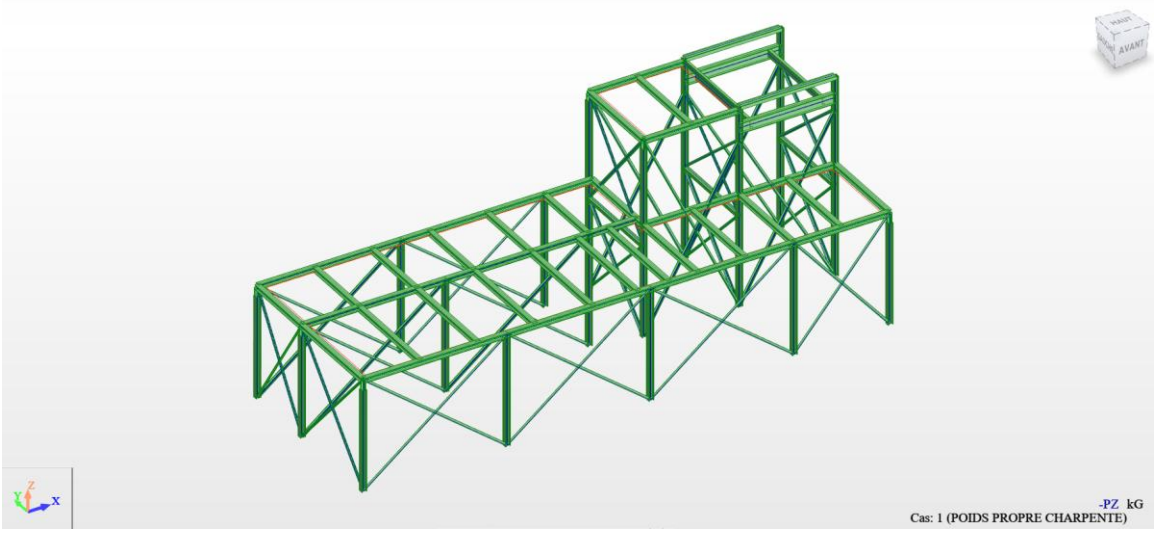


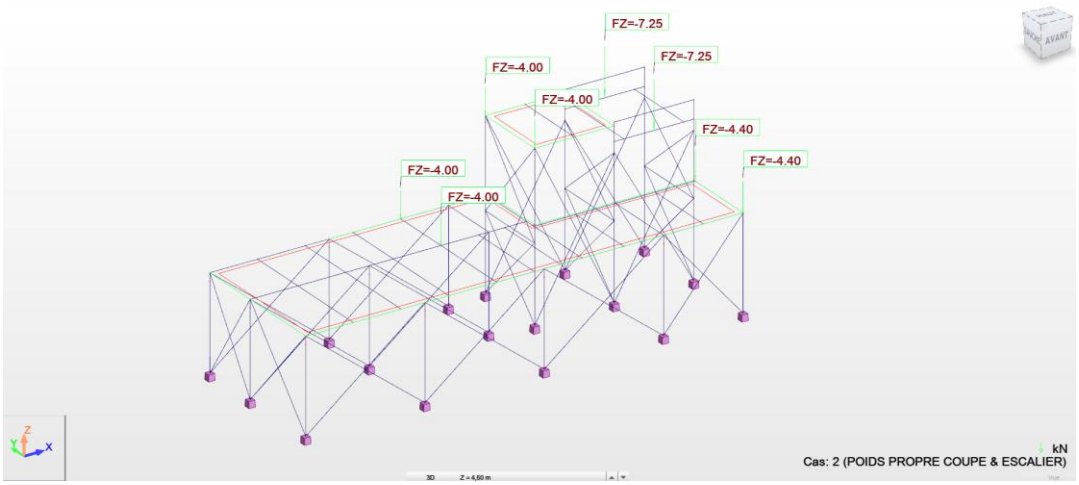
Figure 36 : Accélération gravitationnelle suivant Z

7.5.2. CAS 2 POIDS PROPRE DE LA COUPEE & ESCALIERS - ACTION PERMANENTE

La masse de la coupée est arrondie à 2,900 t. Celle-ci est considérée à moitié en appuis sur la structure. Elle est prise en compte par une force équivalente appliquée au centre des rails (cf§7.2.2). Deux forces équivalentes de 7,25 kN (29 kN/4) sont appliquées sur la structure.

L'escalier interne a une masse de 1,6 tonnes, soit 4 x 4kN de force équivalente appliqué en 4 points sur la structure.

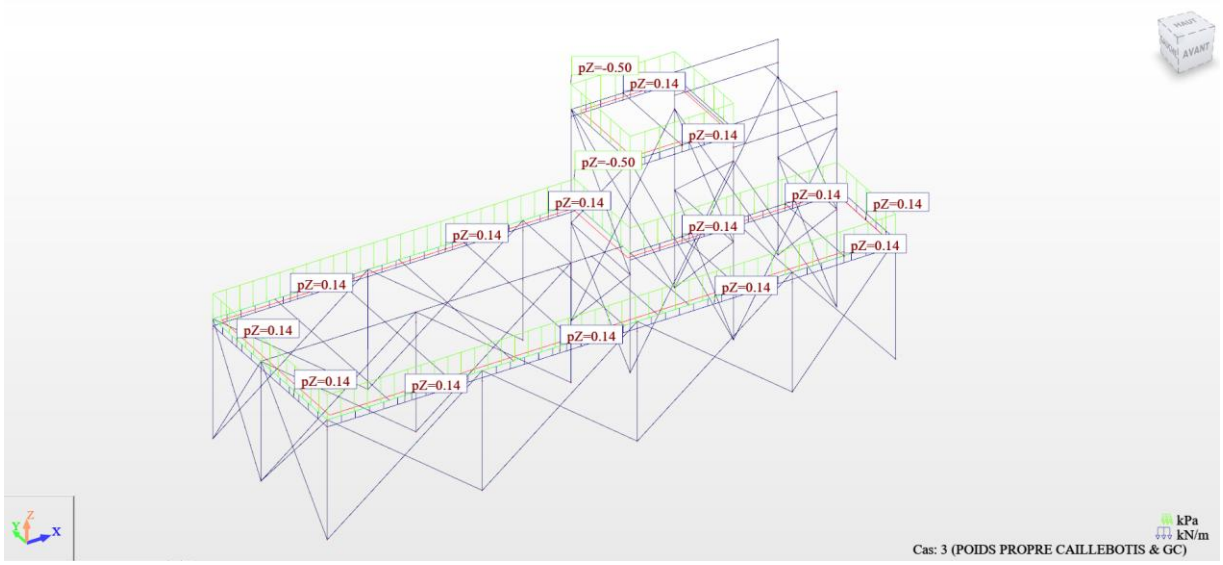
L'escalier externe (Entre la plateforme inférieure et le ras) a une masse de 1,76 tonnes, soit 4,4 x 4kN de force équivalente appliqué een 2 points sur la structure.



7.5.3. CAS 3 POIDS PROPRE CAILLEBOTIS - ACTION PERMANENTE

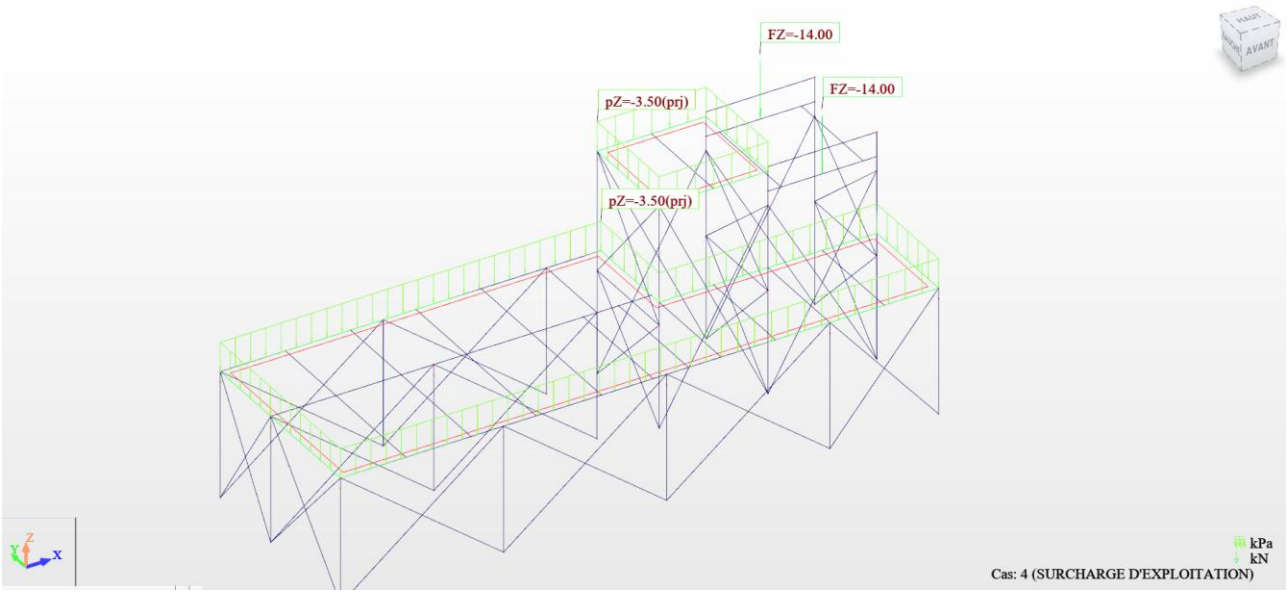
La masse du plancher en caillebotis est considérée à 50 kg/m².

La masse des garde-corps est de 14,7 kg/m d'après une extraction du modèle CAO.



7.5.4. CAS 4 SURCHARGES D'EXPLOITATION- ACTION D'EXPLOITATION

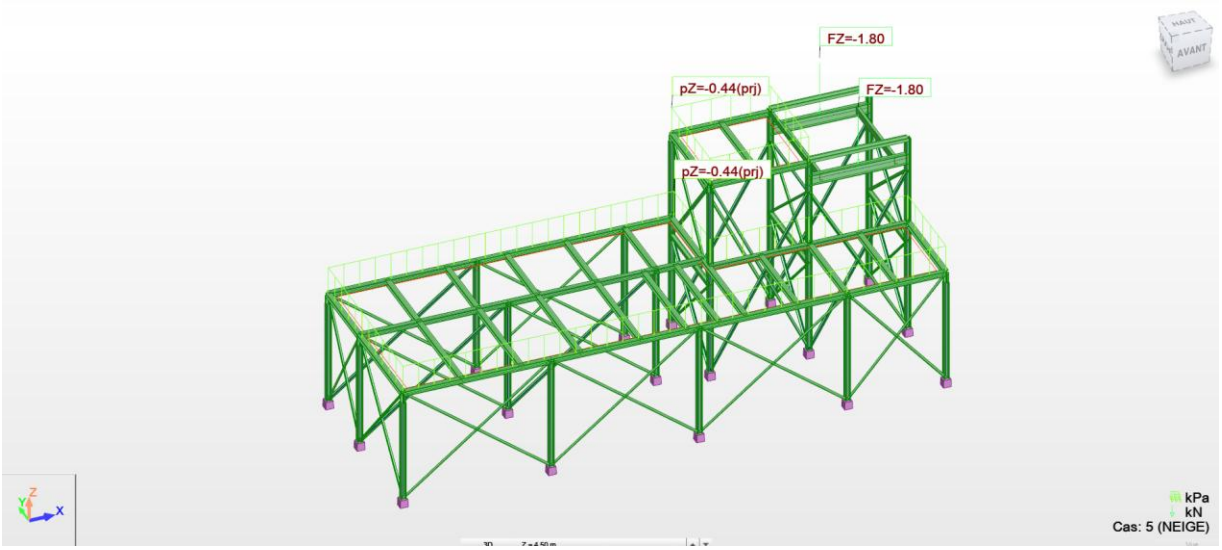
La charge d'exploitation est de 350 kg/m2 (voir [DR3]).
Celle-ci est appliquée en tant que pression sur les caillbotis et force équivalente pour la coupée.
La coupée fait 11 m x 1,4 m de surface, donc la force équivalente est de 53.9 kN. La coupée étant posé sur 4 points, l'effort appliqué au centre du rail est de 13,5 kN, arrondi à 14kN.



7.5.5. CAS 5 NEIGE - ACTION CLIMATIQUE

La valeur caractéristique (Sk) de la charge de neige sur le sol à une attitude inférieure à 200m est de 45 kg/m² en région A1 selon l'Eurocode 1 - NF EN 1991-1-3 2004-03 ; NA/A1:2011-07.

Celle-ci est appliquée en tant que pression sur les caillbotis considérés plein et force équivalente pour la coupée.
La coupée fait 11 m x 1,4 m de surface, donc la force équivalente est de 7 kN. La coupée étant posé sur 4 points, l'effort appliqué au centre du rail est de 1,8 kN



7.5.6. CAS 6 A 9 VENT - ACTION CLIMATIQUE

Le vent est calculé ci-dessous suivant l'Eurocode 1 - NF EN 1991-1-4 2005-11 ; NA:2008-3 ; NA/A1:2011-07.
Une pression est appliquée sur la stucture. Celle-ci est déterminée pour une hauteur conservative de 10m.

ACTIONS DU VENT : Eurocode 1 - NF EN 1991-1-4 2005-11 ; NA:2008-3 ; NA/A1:2011-07

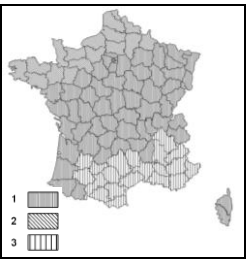
• **Caractéristiques générales**

Catégories et paramètres de terrain (Rugosité supérieure) Tableau 4.1 (NA)	Z_0 [m]	Z_{min} [m]	k_r
0	0,005	1	0,162
II	0,050	2	0,190
IIIa	0,200	5	0,209
IIIb	0,500	9	0,223
IV	1,000	15	0,234

Valeur de base de la vitesse de référence Tableau 4.2 (NA)	
Région	Vitesse de référence $V_{b,0}$ [m/s]
1	22,0
2	24,0
3	26,0
4	28,0

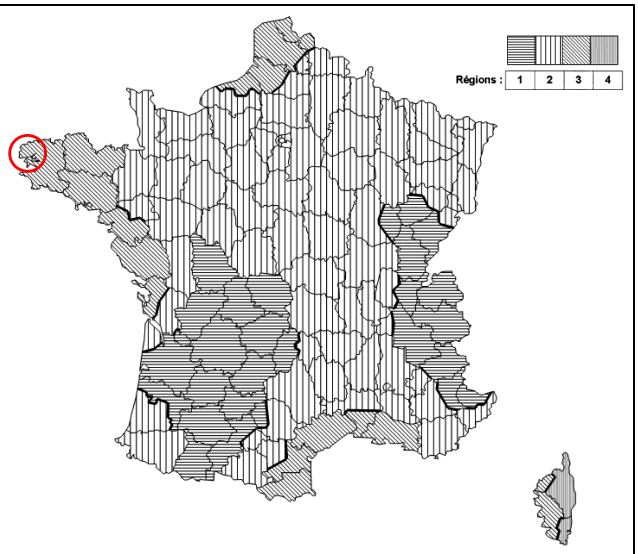


Coefficient de direction Tableau 4.4 (NA)	
ZONE	C_{dir}
1	0,70
2	0,70
3	0,85
Recom.	1,00



• **Caractéristiques suivant le terrain, la région et la zone**

Catégorie de terrain			0
Longueur de rugosité		Z_0 =	0,005
Hauteur minimale	[m]	Z_{min} =	1,000
Facteur de terrain [Tableau 4.8(NA)]		k_r =	0,162
Région			3
Valeur de base de la vitesse de référence	[m/s]	$V_{b,0}$ =	26,00
Vitesse de référence du vent suivant le zone	[m/s]	V_b =	26,00
Zone			Recom.
Coefficient de direction		C_{dir} =	1,00
Coefficient orographique du terrain (Pour $\phi < 0.05$)		C_0 =	**1,00**
Coefficient de saison		C_{season} =	**1,00**
Coefficient de turbulence		k_I =	**1,00**
Rugosité de surface équiv. (Aciers clairs) Tableau 7.13	[mm]	k =	**0,05**
Ecart type de la turbulence	[m/s]	σ_v =	4,204622
Masse volumique de l'air	[kg/m^3]	ρ =	1,225
Pression dynamique de référence	[N/m^2]	q_b =	414,05
Coefficient structural (Valeur Maxi de l'Annexe D)		$c_s c_d$ =	**1,10**
Viscosité cinématique de l'air	[m²/s]	v =	15E-06
Facteur d'effet d'extrimités (Figure 7.36)		ψ_λ =	**1,00**



• **Catégories de terrain : Tableau 4.1 (NA)**
- **Rugosité 0** : Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer
- **Rugosité II** : rase campgne, aéroport
- **Rugosité IIIa** : campagne avec des haies, bocage…
- **Rugosité IIIb** : bocage dense, zone industrielle
- **Rugosité IV** : ville, forêt

• **Résultats**

Pression dynamique de pointe : $q_p(z)$					
Hauteur au dessus du sol z [m]	$c_r(z)$	$I_v(z)$	$V_m(z)$ [m/s]	$q_p(z)$ [N/m²]	
0	0,857	0,189	22,277	**705,58**	0,71
1	0,857	0,189	22,277	**705,58**	0,71
2	0,969	0,167	25,192	**842,85**	0,84
5	1,117	0,145	29,044	**1040,29**	1,04
9	1,212	0,133	31,516	**1176,52**	1,18
10	1,229	0,132	31,959	**1201,72**	1,2

La pression appliquée sur la charpente est de 1201 N/m².

Les efforts résultants des cas de charges du vent selon les 4 directions (+x,-x,y,-y) sont calculés grâce à une simulation de ROBOT. Ci dessous les cartographies des pressions équivalentes.

La prise en compte supplémentaire de la clause 7.7 (1) NOTE 1 de l'eurocode 1, se fait par la mise en place d'un coefficient suplémentaire sur l'ensemble du cas de chargement pour prendre en compte les turbulences du vent autour des profilés. La structure étant faite principalement de HEB, les coefficients sont donnés par la figure ci-dessous :

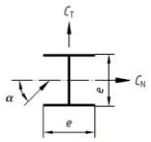


Figure 7.46(NA)

α	c_x	c_y	c_T	c_N
0°	1,60	0,00	0,00	1,60
45°	2,20	– 0,22	1,40	1,70
90°	1,90	0,00	1,90	0,00

Soit un coefficient de 1,6 pour les cas suivant x et 1,9 suivant y.

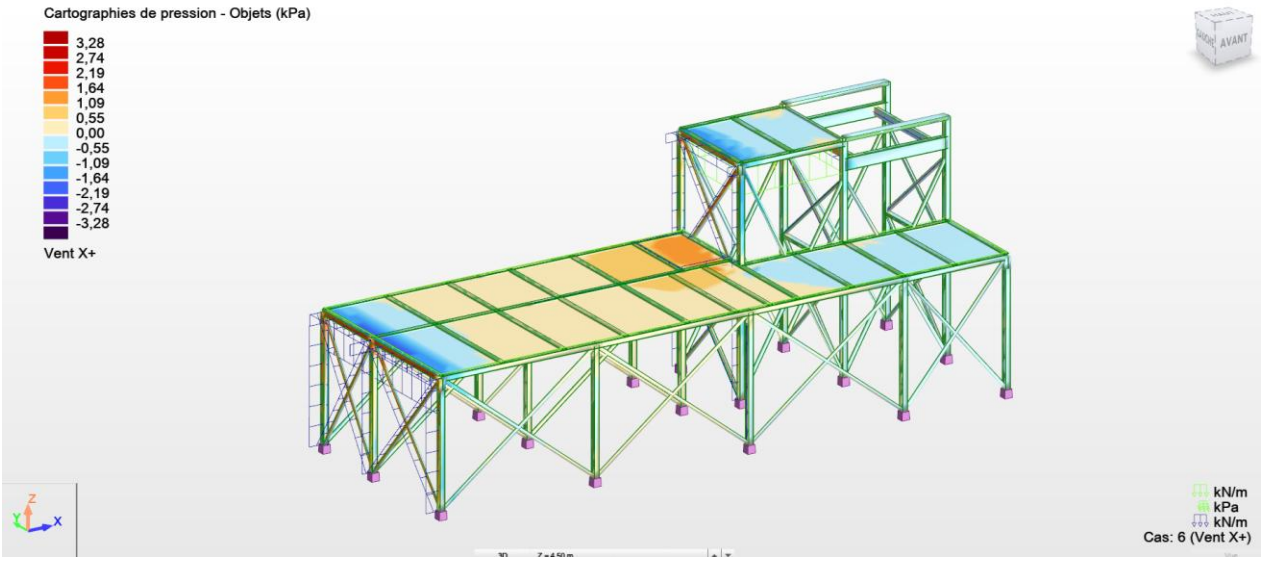


Figure 37 - Vent suivant +X

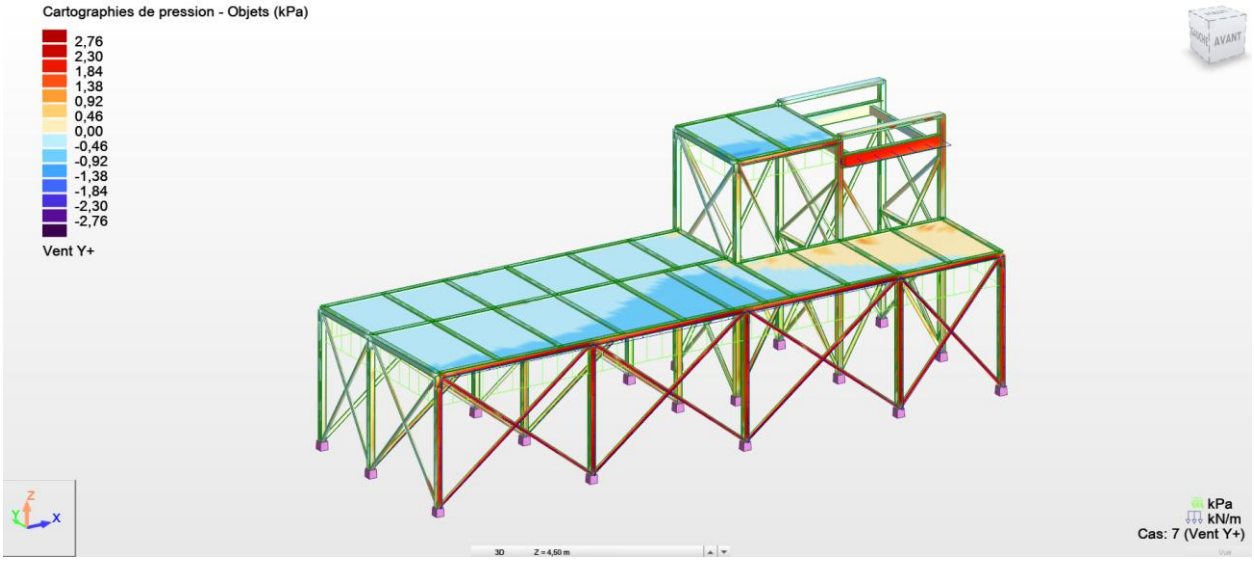


Figure 38 - Vent suivant +Y

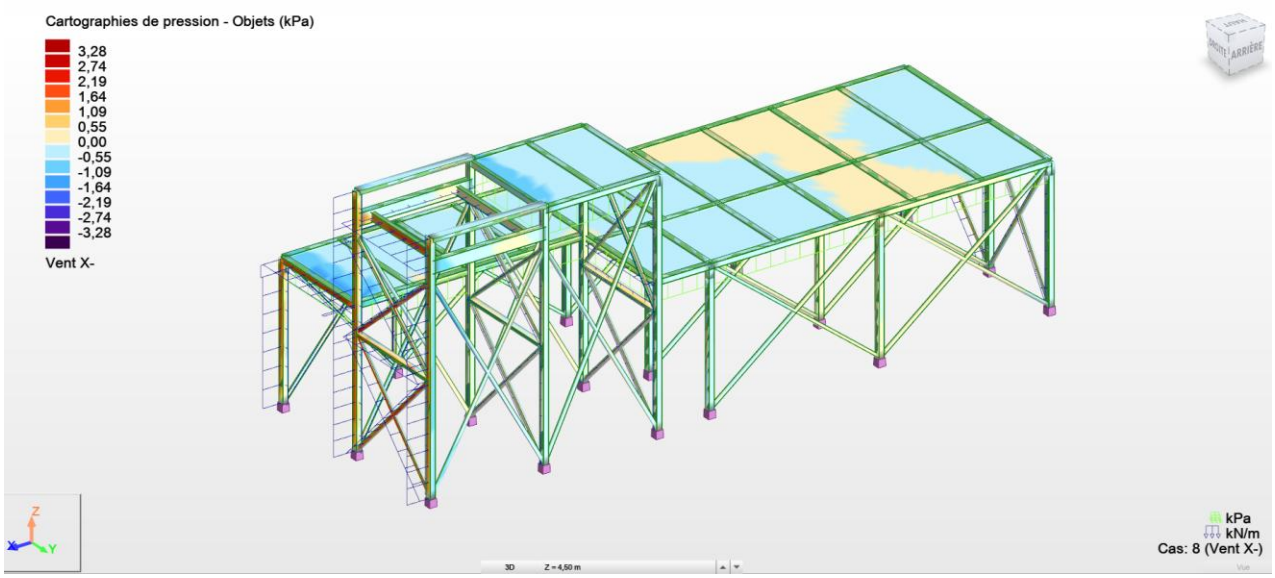


Figure 39 - Vent suivant -X

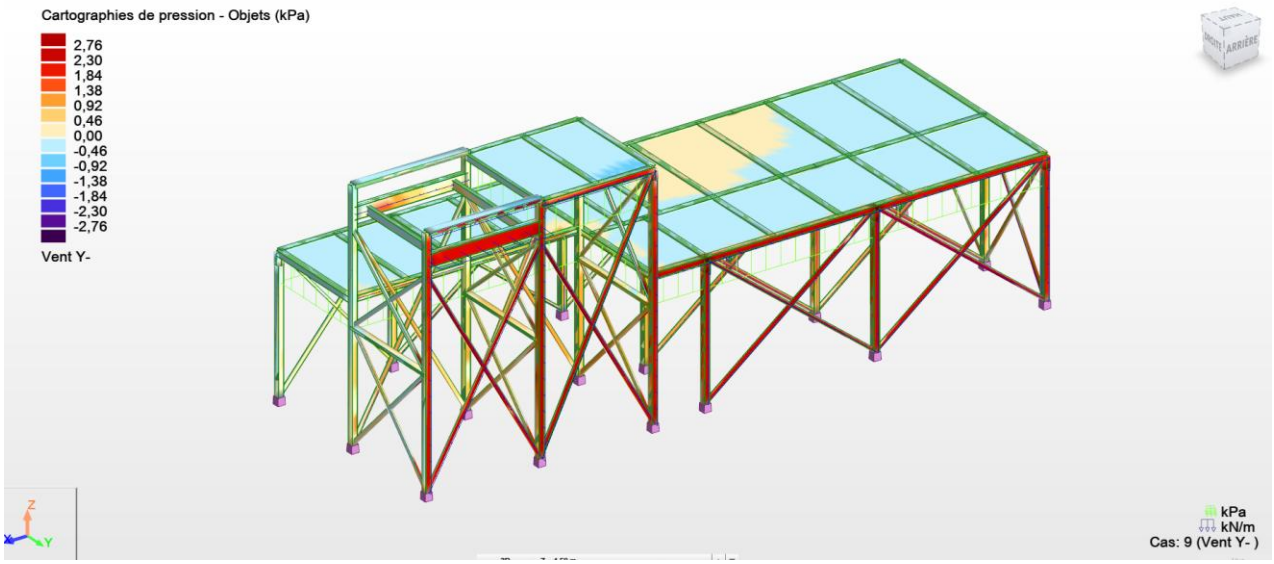


Figure 40 - Vent suivant -Y

7.6. COMBINAISONS EUROCODE

Les combinaisons vérifiées sont les suivantes :

Combinaison	Nom	Type de la combinaison	Nature du cas	Définition
10 (C)	1xG	Combinaison linéaire	ELS	Structurelle
11 (C)	1.35 x G +1.5 x I	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
12 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
13 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+)	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
14 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+)	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
15 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-)	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
16 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-)	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
17 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
18 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
19 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle
20 (C)	1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S	Combinaison linéaire	ELU	Structurelle

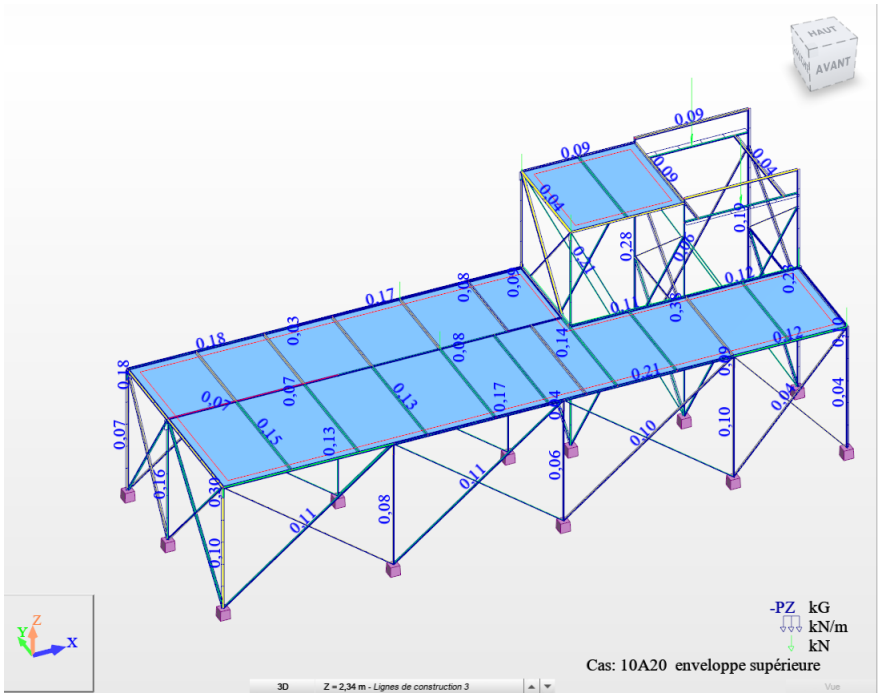
8. RESULTATS ET POST TRAITEMENT - STRUCTURE ET ASSEMBLAGE PODIUM

8.1. RESULTATS DES CONTRAINTES

8.1.1. VERIFICATION DES BARRES

Les barres sont vérifiés suivant l'Eurocode 3 en analyse plastique.

8.1.1.1.RATIO SUR LA CONTRAINTE



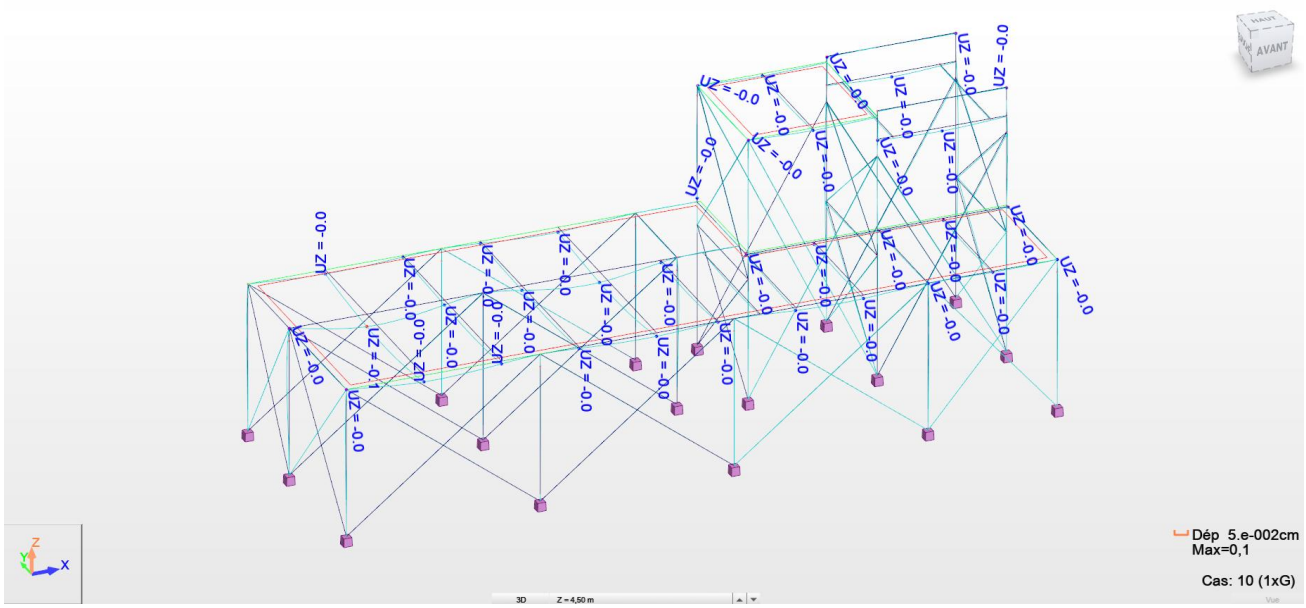
Barre	Profil	Matérieu	Ratio	Combinaison
1	HEB 100	Steel	0.10	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
2	HEB 100	Steel	0.16	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
3	HEB 100	Steel	0.07	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
4	HEB 100	Steel	0.08	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
5	HEB 100	Steel	0.13	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
6	HEB 100	Steel	0.09	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
7	HEB 100	Steel	0.11	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
8	HEB 100	Steel	0.20	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
9	HEB 100	Steel	0.07	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
10	HEB 100	Steel	0.10	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
11	HEB 100	Steel	0.11	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
12	HEB 100	Steel	0.28	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
13	HEB 100	Steel	0.19	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
14	HEB 100	Steel	0.16	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS

15	HEB 100	Steel	0.39	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
16	HEB 100	Steel	0.28	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
17	HEB 100	Steel	0.07	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
18	HEB 100	Steel	0.27	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
19	HEB 100	Steel	0.25	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
20	HEB 100	Steel	0.22	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
21	HEB 100	Steel	0.13	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
22	HEB 100	Steel	0.57	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
23	HEB 100	Steel	0.57	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
24	HEB 100	Steel	0.26	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
26	HEB 100	Steel	0.23	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
27	HEB 100	Steel	0.14	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
28	HEB 100	Steel	0.08	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
29	HEB 100	Steel	0.16	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
30	HEB 100	Steel	0.07	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
31	HEB 100	Steel	0.07	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
32	HEB 100	Steel	0.04	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
33	UPE 100	Steel	0.09	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
34	HEB 100	Steel	0.09	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
35	HEB 100	Steel	0.09	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
36	HEB 100	Steel	0.11	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
37	UPE 140	Steel	0.09	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
38	UPE 140	Steel	0.08	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
39	HEB 100	Steel	0.05	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
40	HEB 100	Steel	0.12	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
41	HEB 100	Steel	0.12	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
42	HEB 100	Steel	0.08	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
43	HEB 100	Steel	0.15	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
44	HEB 100	Steel	0.09	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
45	HEB 100	Steel	0.13	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
46	HEB 100	Steel	0.09	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
47	HEB 100	Steel	0.13	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
48	HEB 100	Steel	0.07	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
49	HEB 100	Steel	0.14	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
50	HEB 100	Steel	0.07	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
51	HEB 100	Steel	0.12	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
52	HEB 100	Steel	0.10	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
53	HEB 100	Steel	0.08	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
54	HEB 100	Steel	0.11	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
55	HEB 100	Steel	0.11	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
56	I-SYM_V_1	Steel	0.17	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS

57	I-SYM_V_1	Steel	0.17	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
58	CAE 50x5	Steel	0.07	15 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-)
59	CAE 50x5	Steel	0.21	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
60	CAE 50x5	Steel	0.33	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
61	CAE 50x5	Steel	0.15	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
62	CAE 50x5	Steel	0.44	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
63	CAE 50x5	Steel	0.30	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
64	CAE 50x5	Steel	0.25	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
65	CAE 50x5	Steel	0.37	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
66	UPE 100	Steel	0.01	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
67	UPE 100	Steel	0.02	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
68	CAE 50x5	Steel	0.17	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
69	CAE 50x5	Steel	0.15	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
70	CAE 50x5	Steel	0.07	16 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-)
71	CAE 50x5	Steel	0.03	14 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+)
72	CAE 50x5	Steel	0.03	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
73	CAE 50x5	Steel	0.07	16 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-)
74	CAE 50x5	Steel	0.20	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
75	CAE 50x5	Steel	0.20	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
77	CAE 50x5	Steel	0.09	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
80	CAE 50x5	Steel	0.19	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
81	CAE 50x5	Steel	0.12	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
82	CAE 50x5	Steel	0.08	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
83	CAE 50x5	Steel	0.12	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
84	CAE 50x5	Steel	0.13	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
85	CAE 50x5	Steel	0.10	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
86	CAE 50x5	Steel	0.12	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
87	CAE 50x5	Steel	0.07	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
88	CAE 50x5	Steel	0.09	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
89	CAE 50x5	Steel	0.16	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
90	CAE 50x5	Steel	0.23	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
91	CAE 50x5	Steel	0.30	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
92	CAE 50x5	Steel	0.19	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
93	CAE 50x5	Steel	0.08	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
94	CAE 50x5	Steel	0.09	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
95	CAE 50x5	Steel	0.13	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
96	CAE 50x5	Steel	0.10	19 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X-) + 0.75 x S
97	CAE 50x5	Steel	0.07	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
98	CAE 50x5	Steel	0.11	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
99	CAE 50x5	Steel	0.14	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
100	CAE 50x5	Steel	0.10	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S

101	UPE 100	Steel	0.02	14 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+)
102	CAE 50x5	Steel	0.09	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
103	CAE 50x5	Steel	0.16	18 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y+) + 0.75 x S
123	UPE 140	Steel	0.02	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
124	UPE 140	Steel	0.04	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
125	HEB 100	Steel	0.21	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
127	CROIX_1	Steel	0.32	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
128	CROIX_1	Steel	0.18	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
129	CROIX_1	Steel	0.11	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
130	CROIX_1	Steel	0.50	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
131	CROIX_1	Steel	0.16	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
132	CROIX_1	Steel	0.15	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
133	HEB 100	Steel	0.06	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
134	HEB 100	Steel	0.04	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
135	HEB 100	Steel	0.09	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
137	HEB 100	Steel	0.08	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
138	HEB 100	Steel	0.20	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
139	HEB 100	Steel	0.05	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
140	HEB 100	Steel	0.11	17 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(X+) + 0.75 x S
141	UPE 140	Steel	0.03	20 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 x W(Y-) + 0.75 x S
145	UPE 140	Steel	0.18	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
146	UPE 140	Steel	0.18	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS
148	UPE 140	Steel	0.13	12 1.35 x G +1.5 x I + 1.5 xS

8.1.1.2.FLECHE



La déformation maximum ELS est de 1 mm, inférieure à L/300 pour L= 2120, soit 7,06 mm pour la barre horizontale la plus grande.

8.1.2. VERIFICATION ASSEMBLAGE

8.1.2.1.PIEDS DE POTEAU HEB/PLATINE – RATIO : 0,22

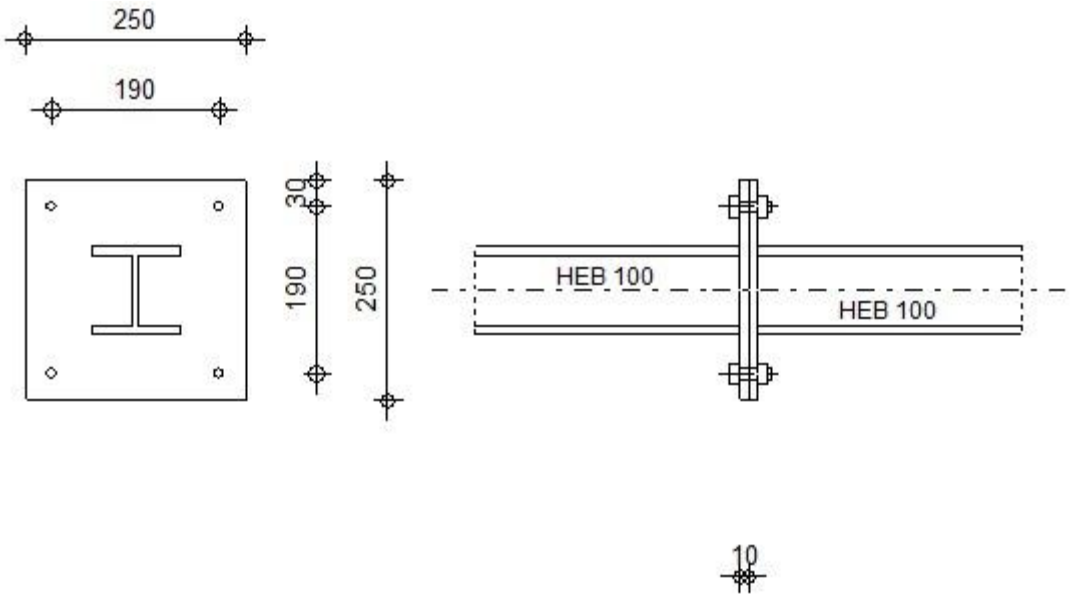
Les Efforts sont extraits des nœuds suivant le repère global:

Suivant repere global						
	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Effort min	-5,34	-3,91	1,84	-0,42	-1,65	0
Effort max	5,03	3,75	48,51	0,42	1,98	0
Effort retenu	8,78		0		1,98	
Descriptio n :	Effort transversa l (Vb)		Effort axial (Nb)		Moment flechissan t (Mb)	
Nota :	Fx+Fy		hors compressio n			

Robot Structural Analysis Professional 2024
Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre
NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009

OK

Ratio
0,22



Général

Assemblage N°: 3
Nom de l'assemblage: PIED DE POTEAU
Géométrie

Gauche

Poutre
Profilé: HEB 100

a =	-1,00	[deg]	Angle d'inclinaison
h_{bl} =	100	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
b_{fbl} =	100	[mm]	Largeur de la section de la poutre
t_{wbl} =	6	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
t_{fbl} =	10	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
r_{bl} =	12	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
A_{bl} =	26,04	[cm^2]	Aire de la section de la poutre
I_{xbl} =	449,55	[cm^4]	Moment d'inertie de la poutre

Matériau: S 235

f_{yb} =	235,00	[MPa]	Résistance

Droite

Poutre
Profilé: HEB 100

a =	-1,00	[deg]	Angle d'inclinaison
h_{br} =	100	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
b_{fbr} =	100	[mm]	Largeur de la section de la poutre
t_{wbr} =	6	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
t_{fbr} =	10	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
r_{br} =	12	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
A_{br} =	26,04	[cm^2]	Aire de la section de la poutre
I_{xbr} =	449,55	[cm^4]	Moment d'inertie de la poutre

Matériau: S 235

f_{yb} =	235,00	[MPa]	Résistance

Boulons
Le plan de cisaillement passe par la partie FILETÉE du boulon

d =	12	[mm]	Diamètre du boulon
Classe =	8.8		Classe du boulon
F_{tRd} =	48,56	[kN]	Résistance du boulon à la traction

d = 12 [mm] Diamètre du boulon
n_h = 2 Nombre de colonnes des boulons
n_v = 2 Nombre de rangéss des boulons
h_1 = 30 [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
Ecartement e_i = 190 [mm]
Entraxe p_i = 190 [mm]

Platine
h_{pr} = 250 [mm] Hauteur de la platine
b_{pr} = 250 [mm] Largeur de la platine
t_{pr} = 10 [mm] Epaisseur de la platine

Matériau: S 235
f_{ypr} = 235,00 [MPa] Résistance

Soudures d'angle
a_w = 5 [mm] Soudure âme
a_f = 8 [mm] Soudure semelle

Coefficients de matériau

g_{M0} = 1,00 Coefficient de sécurité partiel [2.2]
g_{M1} = 1,00 Coefficient de sécurité partiel [2.2]
g_{M2} = 1,25 Coefficient de sécurité partiel [2.2]
g_{M3} = 1,10 Coefficient de sécurité partiel [2.2]
Efforts

Etat limite: ultime

Cas: Calculs manuels

$M_{b1,Ed}$ = 1,98 [kN*m] Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed}$ = 8,78 [kN] Effort tranchant dans la poutre droite
Résultats

Résistances de la poutre

CISAILLEMENT
A_{vb} = 9,04 [cm^2] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / Ö3) / g_{M0}$
$V_{cb,Rd}$ = 122,60 [kN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$	0,07 < 1,00	vérifié (0,07)

FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

W_{plb} = 104,22 [cm^3] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / g_{M0}$

$M_{b,pl,Rd}$ = 24,49 [kN*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

W_{pl} = 104,22 [cm^3] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / g_{M0}$

$M_{cb,Rd}$ = 24,49 [kN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd}$ = 24,49 [kN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

h_f = 90 [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$

$F_{c,fb,Rd}$ = 272,13 [kN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

Paramètres géométriques de l'assemblage

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m_x	e	e_x	p	$l_{eff,cp}$	$l_{eff,nc}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$l_{eff,cp,g}$	$l_{eff,nc,g}$	$l_{eff,1,g}$	$l_{eff,2,g}$
1	86	36	30	30	100	173	121	121	121	-	-	-	-
2	86	36	30	30	100	173	121	121	121	-	-	-	-

m – Distance du boulon de l'âme
m_x – Distance du boulon de l'aile de la poutre
e – Pince entre le boulon et le bord extérieur
e_x – Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
p – Entraxe des boulons
$l_{eff,cp}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons dans les mécanismes circulaires
$l_{eff,nc}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons dans les mécanismes non circulaires
$l_{eff,1}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons pour le mode 1
$l_{eff,2}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons pour le mode 2
$l_{eff,cp,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
$l_{eff,nc,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires
$l_{eff,1,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons pour le mode 1

m – Distance du boulon de l'âme
$l_{eff,2,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons pour le mode 2

Résistance de l'assemblage à la flexion

$F_{t,Rd}$ =	48,56	[kN]	Résistance du boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$B_{p,Rd}$ =	97,72	[kN]	Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement	[Tableau 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$ – résistance de la semelle du poteau à la flexion
$F_{t,wc,Rd}$ – résistance de l'âme du poteau à la traction
$F_{t,ep,Rd}$ – résistance de la platine fléchie à la flexion
$F_{t,wb,Rd}$ – résistance de l'âme à la traction

$F_{t,fc,Rd} = Min (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd})$ [6.2.6.4] , [Tab.6.2]
$F_{t,wc,Rd} = w\ b_{eff,t,wc}\ t_{wc}\ f_{yc} / g_{M0}$ [6.2.6.3.(1)]
$F_{t,ep,Rd} = Min (F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd})$ [6.2.6.5] , [Tab.6.2]
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb}\ t_{wb}\ f_{yb} / g_{M0}$ [6.2.6.8.(1)]

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t1,Rd,comp}$	Composant
$F_{t1,Rd} = Min (F_{t1,Rd,comp})$	65,67	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(1)} = 65,67$	65,67	Platine d'about - traction
$B_{p,Rd} = 195,43$	195,43	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} = 272,13$	272,13	Aile de la poutre - compression

Les autres boulons sont inactifs (ils ne transfèrent pas de charges) car la résistance d'un des composants de l'assemblage s'est épuisée ou ces boulons sont situés au-dessous du centre de rotation.

TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	140	65,67	-	-	65,67	-	97,11	195,43
2	-50	-	-	-	65,67	-	97,11	195,43

RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION $M_{j,Rd}$
$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$

$M_{j,Rd}$ =	9,19	[kN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion	[6.2]

$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$	0,22 < 1,00	vérifié	(0,22)

Résistance de l'assemblage au cisaillement

a_v =	0,60	Coefficient pour le calcul de $F_{v,Rd}$	[Tableau 3.4]
b_{Lf} =	1,00	Coefficient réducteur pour les assemblages longs	[3.8]
$F_{v,Rd}$ =	32,24 [kN]	Résistance d'un boulon au cisaillement	[Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,max}$ =	48,56 [kN]	Résistance d'un boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,int}$ =	86,40 [kN]	Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,ext}$ =	66,46 [kN]	Résistance du boulon de rive en pression diamétrale	[Tableau 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	97,11	0,00	65,67	14,14	14,14	57,77
2	97,11	0,00	0,00	0,00	0,00	64,47

$F_{tj,Rd,N}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure
$F_{tj,Ed,N}$ – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial
$F_{tj,Rd,M}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure
$F_{tj,Ed,M}$ – Effort dans une rangée de boulons dû au moment
$F_{tj,Ed}$ – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons
$F_{vj,Rd}$ – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$
$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$
$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$
$F_{vj,Rd} = \text{Min} (n_h F_{v,Ed} / (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd} , n_h F_{b,Rd})$

$V_{j,Rd} = n_h \sum_1^n F_{vj,Rd}$ [Tableau 3.4]

$V_{j,Rd}$ = 122,24 [kN] Résistance de l'assemblage au cisaillement [Tableau 3.4]

$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$	0,07 < 1,00	vérifié	(0,07)

Résistance des soudures

A_w =	32,80	[cm^2]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
A_{wy} =	27,20	[cm^2]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]
A_{wz} =	5,60	[cm^2]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
I_{wy} =	627,80	[cm^4]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$s^{\wedge}_{max}=t^{\wedge}_{max}$ =	12,04	[MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(6)]
$s^{\wedge}=t^{\wedge}$ =	6,24	[MPa]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
t_{II} =	15,68	[MPa]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
b_w =	0,80		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]

$Ö[s_{\wedge max}^2 + 3*(t_{\wedge max}^2)] \le f_u/(b_w*g_{M2})$	24,09 < 360,00	vérifié	(0,07)
$Ö[s_{\wedge}^2 + 3*(t_{\wedge}^2+t_{ll}^2)] \le f_u/(b_w*g_{M2})$	29,89 < 360,00	vérifié	(0,08)
$s_{\wedge} \le 0.9*f_u/g_{M2}$	12,04 < 259,20	vérifié	(0,05)

Rigidité de l'assemblage

t_{wash} =	3	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
h_{head} =	9	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
h_{nut} =	12	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
L_b =	36	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
k_{10} =	4	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	hj	k_3	k_4	k_5	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j}\ h_j$	$k_{eff,j}\ h_j^2$
					Somme	1,24	17,40
1	140	¥	¥	2	1	1,24	17,40

$k_{eff,j} = 1 / (\sum_3^5 (1 / k_{i,j}))$ [6.3.3.1.(2)]

$z_{eq} = \sum_j k_{eff,j}\ h_j^2 / \sum_j k_{eff,j}\ h_j$

z_{eq} = 140 [mm] Bras de levier équivalent [6.3.3.1.(3)]

$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j}\ h_j / z_{eq}$

k_{eq} = 1 [mm] Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons [6.3.3.1.(1)]

$S_{j,ini} = E\ z^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_3 + 1 / k_4 + 1 / k_5 + 1 / k_{10})$ [6.3.1.(4)]

$S_{j,ini}$ = 15191,44 [kN*m] Rigidité en rotation initiale [6.3.1.(4)]

m = 1,00 Coefficient de rigidité de l'assemblage [6.3.1.(6)]

$S_j = S_{j,ini} / m$ [6.3.1.(4)]

S_j = 15191,44 [kN*m] Rigidité en rotation finale [6.3.1.(4)]

Classification de l'assemblage par rigidité.

$S_{j,rig}$ =	11800,56	[kN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,pin}$ =	236,01	[kN*m]	Rigidité de l'assemblage articulé	[5.2.2.5]

$S_{j,ini}$ ³ $S_{j,rig}$ RIGIDE

Composant le plus faible:
PLATINE D'ABOUT EN TRACTION

Remarques

Entraxe des boulons trop grand.	190 [mm] > 140 [mm]
Pince du boulon à l'âme du profil trop grande.	92 [mm] > 80 [mm]

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme	Ratio	0,22

8.1.2.2.HEB/HEB OU HEB/CROIX - RATIO : 0,47

Les efforts sont extraits des nœuds suivant le repère des poutres : 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108

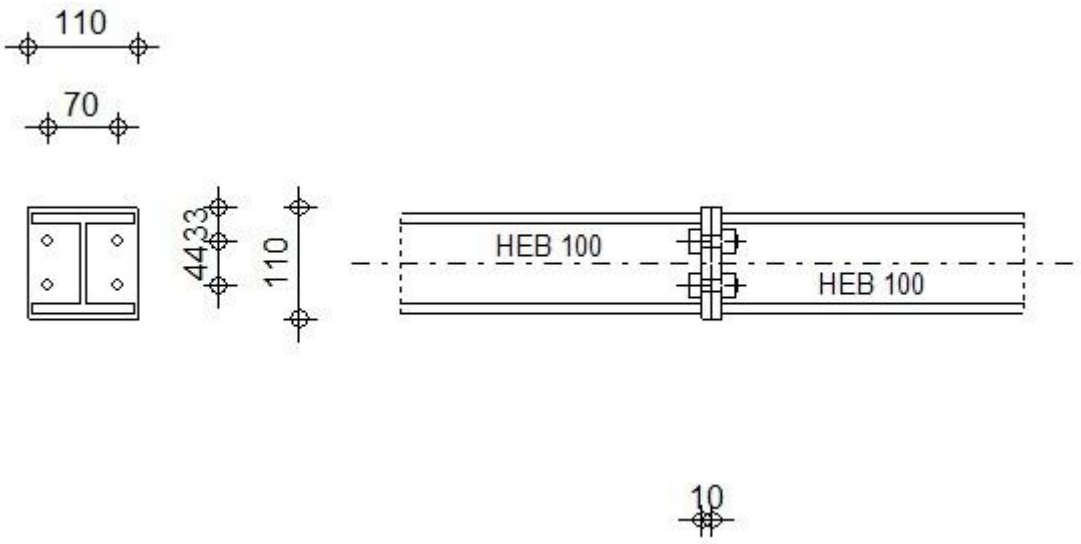
	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Effort min	-1,14	-1,03	-6,48	-0,01	-3,33	-0,59
Effort max	46,04	0,58	2,41	0,01	2,86	1,35
Effort retenu	1,14		7,51		3,33	
Description :	Effort axial (Nb)		Effort transversal (Vb)		Moment flechissant (Mb)	
Nota :	hors compression		Fy+Fz			



Robot Structural Analysis Professional 2024
Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre
NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009

OK

Ratio
0,47



Général

Assemblage N°: 1
Nom de l'assemblage: HEB100/HEB100 & HEB100/CROIX1
Géométrie

Gauche

Poutre
Profilé: HEB 100

a =	-1,00	[deg]	Angle d'inclinaison
h_{bl} =	100	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
b_{fbl} =	100	[mm]	Largeur de la section de la poutre
t_{wbl} =	6	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
t_{fbl} =	10	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
r_{bl} =	12	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
A_{bl} =	26,04	[cm^2]	Aire de la section de la poutre
I_{xbl} =	449,55	[cm^4]	Moment d'inertie de la poutre

Matériau: S 235

f_{yb} =	235,00	[MPa]	Résistance

Droite

Poutre
Profilé: HEB 100

a =	-1,00	[deg]	Angle d'inclinaison
h_{br} =	100	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
b_{fbr} =	100	[mm]	Largeur de la section de la poutre
t_{wbr} =	6	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
t_{fbr} =	10	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
r_{br} =	12	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
A_{br} =	26,04	[cm^2]	Aire de la section de la poutre
I_{xbr} =	449,55	[cm^4]	Moment d'inertie de la poutre

Matériau: S 235

f_{yb} =	235,00	[MPa]	Résistance

Boulons
Le plan de cisaillement passe par la partie FILETÉE du boulon

d =	12	[mm]	Diamètre du boulon
Classe =	8.8		Classe du boulon
F_{tRd} =	48,56	[kN]	Résistance du boulon à la traction
n_h =	2		Nombre de colonnes des boulons
n_v =	2		Nombre de rangéss des boulons
h_1 =	33	[mm]	Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about

Ecartement e_i = 70 [mm]
Entraxe p_i = 44 [mm]

Platine

h_{pr} =	110	[mm]	Hauteur de la platine
b_{pr} =	110	[mm]	Largeur de la platine
t_{pr} =	10	[mm]	Epaisseur de la platine

Matériau: S 235

f_{ypr} = 235,00 [MPa] Résistance

Soudures d'angle

a_w =	5	[mm]	Soudure âme
a_f =	8	[mm]	Soudure semelle

Coefficients de matériau

g_{M0} =	1,00	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
g_{M1} =	1,00	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
g_{M2} =	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
g_{M3} =	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

Efforts

Etat limite: ultime

Cas: Calculs manuels

$M_{b1,Ed}$ =	3,33	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed}$ =	7,51	[kN]	Effort tranchant dans la poutre droite
$N_{b1,Ed}$ =	1,14	[kN]	Effort axial dans la poutre droite

Résultats

Résistances de la poutre

TRACTION

A_b =	26,04	[cm^2]	Aire de la section	EN1993-1-1:[6.2.3]

$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / g_{M0}$

$N_{tb,Rd}$ =	611,85	[kN]	Résistance de calcul de la section à la traction	EN1993-1-1:[6.2.3]

CISAILLEMENT

A_{vb} =	9,04	[cm^2]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / Ö3) / g_{M0}$

$V_{cb,Rd}$ = 122,60 [kN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$ 0,06 < 1,00 vérifié (0,06)

FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

W_{plb} = 104,22 [cm^3] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / g_{M0}$

$M_{b,pl,Rd}$ = 24,49 [kN*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

W_{pl} = 104,22 [cm^3] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / g_{M0}$

$M_{cb,Rd}$ = 24,49 [kN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd}$ = 24,49 [kN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

h_f = 90 [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$

$F_{c,fb,Rd}$ = 272,13 [kN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

Paramètres géométriques de l'assemblage

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m_x	e	e_x	p	$l_{eff,cp}$	$l_{eff,nc}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$l_{eff,cp,g}$	$l_{eff,nc,g}$	$l_{eff,1,g}$	$l_{eff,2,g}$
1	26	-	20	-	44	166	176	166	176	127	133	127	133
2	26	-	20	-	44	166	130	130	130	127	87	87	87

m – Distance du boulon de l'âme
m_x – Distance du boulon de l'aile de la poutre
e – Pince entre le boulon et le bord extérieur
e_x – Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
p – Entraxe des boulons
$l_{eff,cp}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons dans les mécanismes circulaires
$l_{eff,nc}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons dans les mécanismes non circulaires
$l_{eff,1}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons pour le mode 1
$l_{eff,2}$ – Longueur effective pour une seule ligne de boulons pour le mode 2
$l_{eff,cp,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
$l_{eff,nc,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires

m – Distance du boulon de l'âme
$l_{eff,1,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons pour le mode 1
$l_{eff,2,g}$ – Longueur effective pour un groupe de boulons pour le mode 2

Résistance de l'assemblage à la traction

$F_{t,Rd}$ = 48,56 [kN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]
$B_{p,Rd}$ = 97,72 [kN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$N_{j,Rd} = Min (N_{tb,Rd} , n_v n_h F_{t,Rd} , n_v n_h B_{p,Rd})$
$N_{j,Rd}$ = 194,23 [kN] Résistance de l'assemblage à la traction [6.2]

$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$	0,01 < 1,00	vérifié	(0,01)

Résistance de l'assemblage à la flexion

$F_{t,Rd}$ = 48,56 [kN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]
$B_{p,Rd}$ = 97,72 [kN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$ – résistance de la semelle du poteau à la flexion
$F_{t,wc,Rd}$ – résistance de l'âme du poteau à la traction
$F_{t,ep,Rd}$ – résistance de la platine fléchie à la flexion
$F_{t,wb,Rd}$ – résistance de l'âme à la traction

$F_{t,fc,Rd} = Min (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd})$ [6.2.6.4] , [Tab.6.2]
$F_{t,wc,Rd} = w\ b_{eff,t,wc}\ t_{wc}\ f_{yc} / g_{M0}$ [6.2.6.3.(1)]
$F_{t,ep,Rd} = Min (F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd})$ [6.2.6.5] , [Tab.6.2]
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb}\ t_{wb}\ f_{yb} / g_{M0}$ [6.2.6.8.(1)]

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t1,Rd,comp}$	Composant
$F_{t1,Rd} = Min (F_{t1,Rd,comp})$	86,59	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(1)}$ = 86,59	86,59	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)}$ = 233,38	233,38	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd}$ = 195,43	195,43	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd}$ = 272,13	272,13	Aile de la poutre - compression

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t2,Rd,comp}$	Composant
$F_{t2,Rd} = Min (F_{t2,Rd,comp})$	53,07	Résistance d'une rangée de boulon

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t2,Rd,comp}$	Composant
$F_{t,ep,Rd(2)}$ = 74,97	74,97	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)}$ = 183,83	183,83	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd}$ = 195,43	195,43	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd}$ - $\sum_1^1 F_{tj,Rd}$ = 272,13 - 86,59	185,54	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(2+1)}$ - $\sum_1^1 F_{tj,Rd}$ = 139,66 - 86,59	53,07	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)}$ - $\sum_1^1 F_{tj,Rd}$ = 310,52 - 86,59	223,93	Ame de la poutre - traction - groupe

TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	67	86,59	-	-	86,59	233,38	97,11	195,43
2	23	53,07	-	-	74,97	183,83	97,11	195,43

RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION $M_{j,Rd}$

$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$

$M_{j,Rd}$ = 7,02 [kN*m] Résistance de l'assemblage à la flexion [6.2]

$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$ 0,47 < 1,00 vérifié (0,47)

Résistance de l'assemblage au cisaillement

a_v = 0,60 Coefficient pour le calcul de $F_{v,Rd}$ [Tableau 3.4]
$F_{v,Rd}$ = 32,37 [kN] Résistance d'un boulon au cisaillement [Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,max}$ = 48,56 [kN] Résistance d'un boulon à la traction [Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,int}$ = 75,88 [kN] Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale [Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,ext}$ = 73,11 [kN] Résistance du boulon de rive en pression diamétrale [Tableau 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	97,11	0,57	86,59	41,06	41,63	44,92
2	97,11	0,57	53,07	25,16	25,73	52,49

$F_{tj,Rd,N}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure
$F_{tj,Ed,N}$ – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial
$F_{tj,Rd,M}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure
$F_{tj,Ed,M}$ – Effort dans une rangée de boulons dû au moment
$F_{tj,Ed}$ – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons
$F_{vj,Rd}$ – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$
$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$
$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$
$F_{vj,Rd} = Min (n_h F_{v,Ed} / (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd} , n_h F_{b,Rd})$

$V_{j,Rd} = n_h \sum_1^n F_{vj,Rd}$ [Tableau 3.4]

$V_{j,Rd}$ =	97,40	[kN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	[Tableau 3.4]

$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$	0,08 < 1,00	vérifié	(0,08)

Résistance des soudures

A_w =	16,80	[cm^2]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
A_{wy} =	11,20	[cm^2]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]
A_{wz} =	5,60	[cm^2]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
I_{wy} =	160,38	[cm^4]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$s_{\wedge max}=t_{\wedge max}$ =	53,33	[MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(6)]
$s_\wedge=t_\wedge$ =	41,59	[MPa]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
t_{II} =	13,41	[MPa]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
b_w =	0,80		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]

$Ö[s_{\wedge max}^2 + 3*(t_{\wedge max}^2)] \leq f_u/(b_w*g_{M2})$	106,67 < 360,00	vérifié	(0,30)
$Ö[s_\wedge^2 + 3*(t_\wedge^2+t_{II}^2)] \leq f_u/(b_w*g_{M2})$	86,36 < 360,00	vérifié	(0,24)
$s_\wedge \leq 0.9*f_u/g_{M2}$	53,33 < 259,20	vérifié	(0,21)

Rigidité de l'assemblage

t_{wash} =	3	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
h_{head} =	9	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
h_{nut} =	12	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
L_b =	36	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
k_{10} =	4	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	hj	k_3	k_4	k_5	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
					Somme	1,45	8,31
1	67	¥	¥	6	2	1,13	7,59
2	23	¥	¥	4	1	0,31	0,72

$k_{eff,j} = 1 / (\sum_3^5 (1 / k_{i,j}))$ [6.3.3.1.(2)]

$z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$

z_{eq} = 57 [mm] Bras de levier équivalent [6.3.3.1.(3)]

$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / z_{eq}$

k_{eq} = 3 [mm] Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons [6.3.3.1.(1)]

$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 k_{eq}$ [6.3.1.(4)]

$S_{j,ini}$ = 1745,63 [kN*m] Rigidité en rotation initiale [6.3.1.(4)]

m = 1,00 Coefficient de rigidité de l'assemblage [6.3.1.(6)]

$S_j = S_{j,ini} / m$ [6.3.1.(4)]

S_j = 1745,63 [kN*m] Rigidité en rotation finale [6.3.1.(4)]

Classification de l'assemblage par rigidité.

$S_{j,rig}$ = 53945,40 [kN*m] Rigidité de l'assemblage rigide [5.2.2.5]

$S_{j,pin}$ = 3371,59 [kN*m] Rigidité de l'assemblage articulé [5.2.2.5]

$S_{j,ini} \leq S_{j,pinn}$ ARTICULE

Composant le plus faible:

PLATINE D'ABOUT EN TRACTION

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,47

8.1.2.3.TREILLIS – RATIO : 0,10

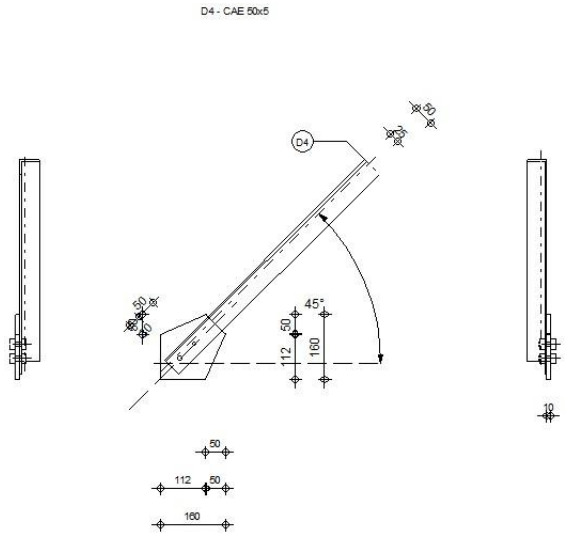
Les efforts sont extraits des nœuds suivant le repère des poutres : 58 59 60 61 62 63 64 65 68 69 70 71 72 73 74 75 77 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 102 103

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Effort min	-3,45	0	0	0	0	0
Effort max	5,45	0	0	0	0	0
Effort retenu	5,45		0		0	
Description :	Effort axial (Nb)					
Nota :						

Robot Structural Analysis Professional 2024
Calcul de l'assemblage au gousset
NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009

OK

Ratio
0,10



Général

Assemblage N°: 2
Nom de l'assemblage: GOUSSET-TREILIS
Géométrie

Barres

		Barre 4					
Profilé:		CAE 50x5					
	h	50					mm
	b_f	50					mm
	t_w	5					mm
	t_f	5					mm
	r	7					mm
	A	4,80					cm2
Matériau:		S 235					
	f_y	235,00					MPa
	f_u	360,00					MPa
Angle	a	-1,00					deg

Boulons

Barre 4

Le plan de cisaillement passe par la partie FILETÉE du boulon

Classe =	8.8		Classe du boulon
d =	12	[mm]	Diamètre du boulon
d_0 =	13	[mm]	Diamètre du trou de boulon
A_s =	0,84	[cm^2]	Aire de la section efficace du boulon
A_v =	1,13	[cm^2]	Aire de la section du boulon
f_{yb} =	640,00	[MPa]	Limite de plasticité
f_{ub} =	800,00	[MPa]	Résistance du boulon à la traction
n =	2		Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 50 [mm]

e_1 =	30	[mm]	Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
e_2 =	25	[mm]	Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
e_c =	0	[mm]	Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Soudures

Soudures d'angle du gousset

b =	5	[mm]	Bord b

Gousset

l_p =	160	[mm]	Longueur de la platine
h_p =	160	[mm]	Hauteur de la platine
t_p =	10	[mm]	Epaisseur de la platine

Paramètres

h_1 =	112	[mm]	Grugeage
v_1 =	50	[mm]	Grugeage
h_2 =	50	[mm]	Grugeage
v_2 =	50	[mm]	Grugeage
h_3 =	50	[mm]	Grugeage
v_3 =	112	[mm]	Grugeage
h_4 =	0	[mm]	Grugeage
v_4 =	0	[mm]	Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (73;73)

e_V = 38 [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
e_H = 20 [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériau: S 235
f_y = 235,00 [MPa] Résistance

Coefficients de matériau

g_{M0} =	1,00	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
g_{M2} =	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

Efforts

Cas: Calculs manuels

$N_{b4,Ed}$ = 5,45 [kN] Effort axial

Résultats

Barre 4

Résistance des boulons
$F_{v,Rd}$ = 32,37 [kN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement $F_{v,Rd}= 0.6*f_{ub}*A_s*m/g_{M2}$

Pression du boulon sur la barre

Direction x

k_{1x} =	2,50	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1x}=\min[2.8*(e_2/d_0)-1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$		2,50 > 0,00	vérifié

a_{bx} = 0,77 Coefficient dépendant de l'espacement des boulons $a_{bx}=min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0)-0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

a_{bx} > 0.0 0,77 > 0,00 vérifié

$F_{b,Rd1x}$ = 33,23 [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou $F_{b,Rd1x}=k_{1x}*a_{bx}*f_u*d*t_i/g_{M2}$

Direction z

k_{1z} = 2,50 Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $k_{1z}=min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$

k_{1z} > 0.0 2,50 > 0,00 vérifié

a_{bz} = 0,64 Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $a_{bz}=min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

a_{bz} > 0.0 0,64 > 0,00 vérifié

$F_{b,Rd1z}$ = 27,69 [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1z}=k_{1z}*a_{bz}*f_u*d*t_i/g_{M2}$

Pression du boulon sur la platine

Direction x

k_{1x} = 2,50 Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $k_1=min[2.8*(e_2/d_0)-1.7, 2.5]$

k_{1x} > 0.0 2,50 > 0,00 vérifié

a_{bx} = 1,00 Coefficient dépendant de l'espacement des boulons $a_{bx}=min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0)-0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

a_{bx} > 0.0 1,00 > 0,00 vérifié

$F_{b,Rd2x}$ = 86,40 [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou $F_{b,Rd2x}=k_1*a_b*f_u*d*t_i/g_{M2}$

Direction z

k_{1z} = 2,50 Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $k_{1z}=min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$

k_{1z} > 0.0 2,50 > 0,00 vérifié

a_{bz} = 1,00 Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $a_{bz}=min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

a_{bz} > 0.0 1,00 > 0,00 vérifié

$F_{b,Rd2z}$ = 86,40 [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2z}=k_{1z}*a_{bz}*f_u*d*t_i/g_{M2}$

Vérification de l'assemblage pour les efforts agissant sur les boulons
cisaillement des boulons

e = 11 [mm] Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons

M_0 = 0,06 [kN*m] Moment fléchissant réel $M_0=N_{b4,Ed}*e$

F_{NSd} = 2,73 [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial $F_{NSd} = N_{b4,Ed}/n$

F_{MSd} = 1,20 [kN] Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment $F_{MSd}=M_0*x_{max}/Sx_i^2$

e = 11 [mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons			
$F_{x,Ed}$ = 2,73 [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$		
$F_{z,Ed}$ = 1,20 [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$		
F_{Ed} = 2,98 [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = Ö(F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2)$		
F_{Rdx} = 33,23 [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx}=\min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$		
F_{Rdz} = 27,69 [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz}=\min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$		
$\|F_{x,Ed}\| \le F_{Rdx}$		$\|2,73\| < 33,23$	vérifié	(0,08)
$\|F_{z,Ed}\| \le F_{Rdz}$		$\|1,20\| < 27,69$	vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \le F_{vRd}$		2,98 < 32,37	vérifié	(0,09)

Vérification de la section de la poutre affaiblie par les trous

b_2 = 0,56	Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]	
A_{net} = 4,15 [cm^2]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0*t_{f4}$	
$N_{u,Rd}$ = 67,16 [kN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (b_2*A_{net}*f_{u4})/g_{M2}$	
$N_{pl,Rd}$ = 101,57 [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0.9*A*f_{y4})/g_{M2}$	
$\|N_{b4,Ed}\| \le N_{u,Rd}$	$\|5,45\| < 67,16$	vérifié	(0,08)
$\|N_{b4,Ed}\| \le N_{pl,Rd}$	$\|5,45\| < 101,57$	vérifié	(0,05)

Vérification de la barre pour le cisaillement de bloc

A_{nt} = 0,92 [cm^2]	Aire nette de la zone de la section en traction		
A_{nv} = 3,02 [cm^2]	Aire de la zone de la section en traction		
V_{effRd} = 54,36 [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd}=0.5*f_u*A_{nt}/g_{M2} + (1/Ö3)*f_y*A_{nv}/g_{M0}$	
$\|N_{b4,Ed}\| \le V_{effRd}$	$\|5,45\| < 54,36$	vérifié	(0,10)

Attache gousset

Vérification des soudures d'angle

e = 98 [mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport au centre de gravité du groupes de boulons		
M_0 = 0,19 [kN*m]	Moment fléchissant réel	$M_0 = 0.5*N_{b1,Ed}*\sin(a)*e$	
A_w = 8,00 [cm^2]	Aire de la section de la soudure	$A_w = a*l$	
s = 11,26 [MPa]	Contrainte normale dans la soudure	$s = 0.5*N_{b1,Ed}*\sin(a)/A_w + M_0/W_{yw}$	
$s^\wedge$ = 7,96 [MPa]	Contrainte normale perpendiculaire dans la soudure	$s^\wedge = s/Ö2$	
$\|s^\wedge\| \le 0.9*f_u/g_{M2}$	$\|7,96\| < 259,20$	vérifié	(0,03)

$t^\wedge$ =	7,96	[MPa]	Contrainte tengentielle perpendiculaire	$t^\wedge = s^\wedge$
t_{II} =	2,41	[MPa]	Contrainte tengentielle parallèle	$t_{II} = (0.5*N_{b1,Ed}*\cos(a))/A_s$
b_w =	0,80		Coefficient de corrélation	[Tableau 4.1]

$\ddot{O}[s_{\wedge}^2+3*(t_{II}^2+t_{\wedge}^2)] \leq f_u/(b_w*g_{M2})$	16,46 < 360,00	vérifié	(0,05)

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme	Ratio	0,10

8.1.2.4.RAIL COUPEE

Les efforts sont extraits des nœuds suivant le repère des poutres : 56 57

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Effort min	-6,12	-1,15	-16,78	-0,02	0,89	-0,01
Effort max	-1,35	1,12	18,03	0,02	5,37	0,01
Effort retenu	6,12		18,07		5,37	
Description :	Effort axial (Nb)		Effort transversal (Vb)		Moment flechissant (Mb)	
Nota :	compression incluse de manière conservative car l'assemblage est dans les deux direction vis-à-vis du repere poutre		Fy+Fz			

Les soudures étant continues, périphériques et d'apothème 0,7 x épaisseur minimale, celles-ci reconsituent ainsi les sections et ne sont donc pas vérifiées.

8.1.2.4.1. Effort de précontrainte

Les boulons doivent reprendre les efforts de cisaillement par la précontrainte. En considérant que les efforts ne sont repris que par la moitié des boulons M12, soit 3 :

L'effort transversal à reprendre est : $Tr_{max} = \sqrt{Fy^2 + Fz^2} = \sqrt{(-1150)^2 + 18030^2} = 18067$ N
L'effort de traction dans les boulons est : $T_{max} = Fx = 6120$ N

Le coefficient de frottement pris en compte est : f = 0.15 (boulonnerie non lubrifiée)

Ainsi, l'effort de précontrainte à appliquer est :
$E_{précontrainte_tot} = \frac{Tr_{max}}{f} + T_{max} = \frac{18067}{0,15} + 6120 =$ **126567 N**

Cet effort est réparti sur 3 boulons, soit $E_{précontrainte} = 126567/3 =$ **42189 N** par boulon.

8.1.2.4.2. Couple de serrage

La limite élastique pour la boulonnerie de classe 8.8 est de **640 MPa**. Dans un résonnement conservatif, la précontrainte appliquée ne devra excéder 80% de la limite élastique, soit **512 MPa**.

La section résistante S des boulons M12 étant de 84,3mm², la précontrainte est :
$\sigma = \frac{E_{précontrainte}}{S} = \frac{42189}{84,3} =$ **500 MPa**, soit **78%** de la limite élastique.

Ainsi, le couple de serrage, selon la formule de Kellerman et Kleine, avec un coefficient de frottement Cf de 0,15, est :

$$C = Ft \times (0{,}161P + \frac{\mu t \times Dt}{1{,}715} + \frac{\mu h \times Dh}{2}) = 42189 \times (0{,}161 \times 0{,}00175 + \frac{0{,}15 \times 0{,}01086}{1{,}715} + \frac{0{,}15 \times 0{,}01554}{2})$$

= **101 N.m**

Avec :
- Ft : Effort de précontrainte
- P : Pas de vis
- µt : Coefficient de frottement du filetage
- Dt : Diamètre sur flancs = Ønom – 0,6495P
- µh : Coefficient de frottement sous tête
- Dh : Diamètre moyen sous tête = (Øtête + Øtrou)/2

8.1.2.4.3. Vérification des boulons

Vérification de la résistance d'un boulon				
Boulon M12 en ACIER 8.8				
Effort admissible selon l'Eurocode 3				
$F_{t,Rd}$	$=k_2*f_{ub}*A_s/\gamma_{M2}$	48556,8	N	*Traction admissible*
Avec:				
k_2		0,9		
f_{ub}		800	MPa	*Résistance à la rupture*
A_s		84,3	mm²	*Section résistante d'un boulon*
γ_{M2}		1,25		
$F_{v,Rd}$	$=\alpha*f_{ub}*A_s/\gamma_{M2}$	32371,2	N	*Cisaillement admissible*
Avec:				
α		0,6		
f_{ub}		800	MPa	*Résistance à la rupture*
A_s		84,3	mm²	*Section résistante d'un boulon*
γ_{M2}		1,25		
Efforts dans un boulon				
$F_{t,Ed}$		42189	N	*Traction maximale dans un boulon*
$F_{v,Ed}$		0	N	*Cisaillement maximal dans un boulon*
Vérification				
Ratio	$=F_{t,Ed}/F_{t,Rd}*100$	86,89	%	*Ratio traction*
Ratio	$=F_{v,Ed}/F_{v,Rd}*100$	0,00	%	*Ratio cisaillement*
Ratio	$=(F_{v,Ed}/F_{v,Rd}+F_{t,Ed}/(1,4*F_{t,Rd}))*100$	62,06	%	*Ratio Combiné*

Les efforts dans les boulons sont admissibles selon l'Eurocode 3.

8.1.2.5.APPUIS U INFERIEUR – RATIO : 0,48

Les efforts sont extraits des nœuds suivant le repère des poutres : 141 145 146 148
Les poutres 145 et 146 sont renforcées avec une tole de 5 mm pour doubler l'ame du UPE140

8.1.2.5.1.Poutre 145 et 146

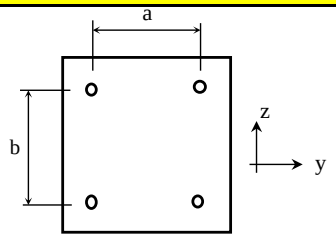
	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Effort min	-0,16	-1,19	-17,28	-0,08	-1,75	-0,06
Effort max	2,13	2,14	-0,12	0	0,02	0,11

Seule la boulonnerie est vérifiée.

Effort dans les boulons :

4 Boulons

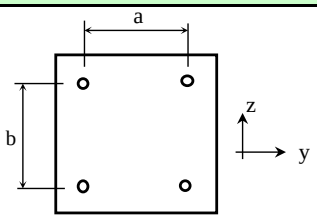
Torseur des efforts au centre de l'assemblage



Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
2140	2130	17280	1750	80	60

Effort de traction et cisaillement sur un boulon

Calcul des efforts de traction



Entraxe (en mètre)	a	0,058
Entraxe (en mètre)	b	0,060
Nombre de boulons		4
Effort de traction au centre de l'assemblage suivant x (N)	Fx	2140
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant y(Nm)	My	80
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant z(Nm)	Mz	60
Effort de traction dans un boulon	**Ft**	**2902,82 N**

$$Ft = \frac{Fx}{4} + \frac{My}{b} + \frac{Mz}{a}$$

Calcul des efforts de cisaillement

Entraxe (en mètre)	a	0,058
Entraxe (en mètre)	b	0,060
Nombre de boulons		4
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant x(Nm)	Mx	1750
Effort de cisaillement au centre de l'assemblage suivant y (N)	Fy	2130
Effort de cisaillement au centre de l'assemblage suivant z (N)	Fz	17280
	Fcx	10485
	Fcy	532,500
	Fcz	4320,000
	α	0,80 rad
Effort tranchant dans un boulon	**Fc**	**14137,86 N**

$$Fc_x = \frac{Mx}{2\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$F_{C_y} = \frac{Fy}{4}$$

$$F_{C_z} = \frac{F_z}{4}$$

$$Fc = \sqrt{\left(Fc_y + Fc_x \sin\alpha\right)^2 + \left(Fc_z + Fc_x \cos\alpha\right)^2}$$

Traction admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{t,Rd} = (k_2 . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$	48556,80 N	
Avec :		
$k_2 =$	0,9	
$f_{ub} =$	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
$A_s =$	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M1)
$\gamma_{M2} =$	1,25	

Cisaillement admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{v,Rd} = (\alpha . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$	32371,20 N	
Avec :		
$\alpha =$	0,6	(plan de cisaillement situé dans la partie non filetée du boulon)
$f_{ub} =$	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
$A_s =$	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M1)
$\gamma_{M2} =$	1,25	

Traction enveloppe + Cisaillement enveloppe combinés:

$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/1,4xF_{t,Rd} =$	0,48	<1 Les efforts dans les boulons sont admissibles.
Avec :		
$F_{v,Ed} =$	14137,86N	
$F_{t,Ed} =$	2902,82N	
$F_{v,Rd} =$	32371,2 N	
$F_{t,Rd} =$	48556,80 N	

La boulonnerie est valide.

Vérification de la pression diamétrale :

$F_{b,Rd} = k1x \ \alpha_b \ x \ f_u \ x \ d \ x \ t \ / \ \gamma_{M2}$	27537,41 N	
Avec :		
d0=	14	
p1=	30,8 mm	min
P2=	33,6 mm	min
$\alpha_d =$	0,48	
$f_{ub} =$	800 MPa	
$f_u =$	360 MPa	
$f_{ub}/f_u =$	2,22	
$\alpha_b =$	0,48	
t=	10 mm	(5mm d'ame +5 mm de tole soudée)
1,4xp2/d0 – 1,7=	1,66	
K1=	1,66	
$\gamma_{M2} =$	1,25	
$F_{v,Ed} < F_{b,Rd}$	Pression diamétrale valide	

L'épaisseur de tole de l'ame du UPE doit être doublée par une tole de 5 mm.

8.1.2.5.1.Poutre 141 et 148

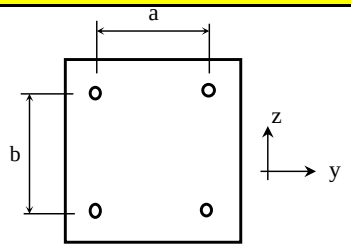
	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Effort min	-0,16	-1,19	-17,28	-0,08	-1,75	-0,06
Effort max	2,13	2,14	-0,12	0	0,02	0,11

Seule la boulonnerie est vérifiée.

Effort dans les boulons :

4 Boulons

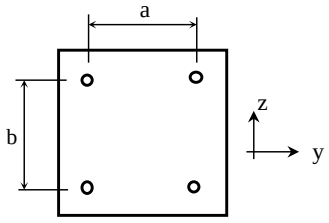
Torseur des efforts au centre de l'assemblage



Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
2050	-1990	9530	510	60	160

Effort de traction et cisaillement sur un boulon

Calcul des efforts de traction



Entraxe (en mètre)	a	0,058
Entraxe (en mètre)	b	0,060
Nombre de boulons		4
Effort de traction au centre de l'assemblage suivant x (N)	Fx	2050
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant y(Nm)	My	60
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant z(Nm)	Mz	160
Effort de traction dans un boulon	**Ft**	**4271,12 N**

$$Ft = \frac{Fx}{4} + \frac{My}{b} + \frac{Mz}{a}$$

Calcul des efforts de cisaillement

Entraxe (en mètre)	a	0,058
Entraxe (en mètre)	b	0,060
Nombre de boulons		4
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant x(Nm)	Mx	510
Effort de cisaillement au centre de l'assemblage suivant y (N)	Fy	-1990
Effort de cisaillement au centre de l'assemblage suivant z (N)	Fz	9530
	Fcx	3056
	Fcy	-497,500
	Fcz	2382,500
	α	0,80 rad
Effort tranchant dans un boulon	**Fc**	**4816,11 N**

$$Fc_x = \frac{Mx}{2\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$F_{C_y} = \frac{Fy}{4}$$

$$F_{C_z} = \frac{F_z}{4}$$

$$Fc = \sqrt{\left(Fc_y + Fc_x \sin\alpha\right)^2 + \left(Fc_z + Fc_x \cos\alpha\right)^2}$$

Traction admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{t,Rd} = (k_2 . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$	48556,80 N	
Avec :		
$k_2 =$	0,9	(0,63 pour les boulons à tête fraise)
$f_{ub} =$	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
$A_s =$	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M1)
$\gamma_{M2} =$	1,25	

Cisaillement admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{v,Rd} = (\alpha . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$	32371,20 N	
Avec :		
$\alpha =$	0,6	(plan de cisaillement situé dans la partie non filetée du boulon)
$f_{ub} =$	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
$A_s =$	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M1)
$\gamma_{M2} =$	1,25	

Traction enveloppe + Cisaillement enveloppe combinés:

$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/1,4xF_{t,Rd} =$	0,21	<1 Les efforts dans les boulons sont admissibles.
Avec :		
$F_{v,Ed} =$	4816,11 N	
$F_{t,Ed} =$	4271,12 N	
$F_{v,Rd} =$	32371,2 N	
$F_{t,Rd} =$	48556,80 N	

La boulonnerie est valide.

Vérification de la pression diamétrale :

$F_{b,Rd} = k1x \alpha_b x f_u x d x t / \gamma_{M2}$	13768,70 N	
Avec :		
d0=	14	
p1=	30,8 mm	min
P2=	33,6 mm	min
$\alpha_d =$	0,48	
$f_{ub} =$	800 MPa	
$f_u =$	360 MPa	
$f_{ub}/f_u =$	2,22	
$\alpha_b =$	0,48	
t=	5 mm	
1,4xp2/d0 – 1,7=	1,66	
K1=	1,66	
$\gamma_{M2} =$	1,25	
$F_{v,Ed} < F_{b,Rd}$	Pression diamétrale valide	

L'épaisseur de tole de l'ame du UPE doit être doublée par une tole de 5 mm.

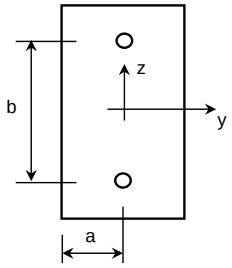
8.1.2.6.APPUIS U SUPERIEUR – RATIO : 0,66

Les efforts sont extraits des nœuds suivant le repère des poutres : 141 145 146 148

	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
Effort min	-1,99	-1,37	-17,28	-0,08	-1,75	-0,16
Effort max	2,13	2,14	9,53	0,06	0,51	0,11

2 Boulons

Torseur des efforts au centre de l'assemblage

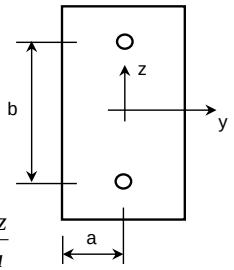


Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
9530	2140	2130	160	1750	80

Effort de traction et cisaillement sur un boulon

Calcul des efforts de traction

Entraxe (en mètre)	a	0,030
Entraxe (en mètre)	b	0,058
Nombre de boulons		2
Effort de traction au centre de l'assemblage suivant x (N)	Fx	9530
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant y(N)	My	1750
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant z(N)	Mz	80
Effort de traction dans un boulon	**Ft**	**36270,75 N**



$$Ft = \frac{Fx}{2} + \frac{My}{b} + \frac{Mz}{2a}$$

Calcul des efforts de cisaillement

Entraxe (en mètre)	a	0,030
Entraxe (en mètre)	b	0,058
Nombre de boulons		2
Effort de traction au centre de l'assemblage suivant x (N)	Mx	160
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant y(N)	Fy	2140
Moment résultant au centre de l'assemblage suivant z(N)	Fz	2130
En Newton	Fcx	2759
	Fcy	1070,000
	Fcz	1065,000
Effort tranchant dans un boulon (N)	**Fc**	**3973,99**

$$Fc_x = \frac{Mx}{b}$$

$$Fc_y = \frac{Fy}{2}$$

$$Fc_z = \frac{Fz}{2}$$

$$Fc = \sqrt{\left(Fc_y + Fc_x\right)^2 + \left(Fc_z\right)^2}$$

Traction admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{t,Rd} = (k_2 . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$ 48556,80 N

Avec :

k_2=	0,9	
f_{ub}=	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
A_s=	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M1)
γ_{M2}=	1,25	

Cisaillement admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{v,Rd} = (\alpha . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$ 32371,20 N

Avec :

α =	0,6	(plan de cisaillement situé dans la partie non filetée du boulon)
f_{ub}=	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
A_s=	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M1)
γ_{M2}=	1,25	

Traction enveloppe + Cisaillement enveloppe combinés:

$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/1,4xF_{t,Rd} =$ 0,66 <1 Les efforts dans les boulons sont admissibles.

Avec :

$F_{v,Ed}$ =	3973,99 N
$F_{t,Ed}$ =	36270,75 N
$F_{v,Rd}$ =	32371,2 N
$F_{t,Rd}$ =	48556,80 N

La boulonnerie est valide.

Vérification de la pression diamétrale :

$F_{b,Rd}$ = k1x α_b x f_u x d x t / γ_{M2} 24783,67 N

Avec :

d0=	14	
p1=	30,8 mm	min
P2=	33,6 mm	min
α_d=	0,48	
f_{ub}=	800 MPa	
f_u=	360 MPa	
f_{ub}/f_u =	2,22	
α_b=	0,48	
t=	9 mm	(semelle du UPE140)
1,4xp2/d0 – 1,7=	1,66	
K1=	1,66	
γ_{M2}=	1,25	
$F_{v,Ed} < F_{b,Rd}$	Pression diamétrale valide	

L'épaisseur de tole de la semelle du UPE est suffisante pour valider la pression diamétrale.

9. PREPARATION DU MODELE – GARDE-CORPS

Les calculs des garde-corps sont réalisés sur ansys.
Il existe 3 types de garde-corps sur le podium :

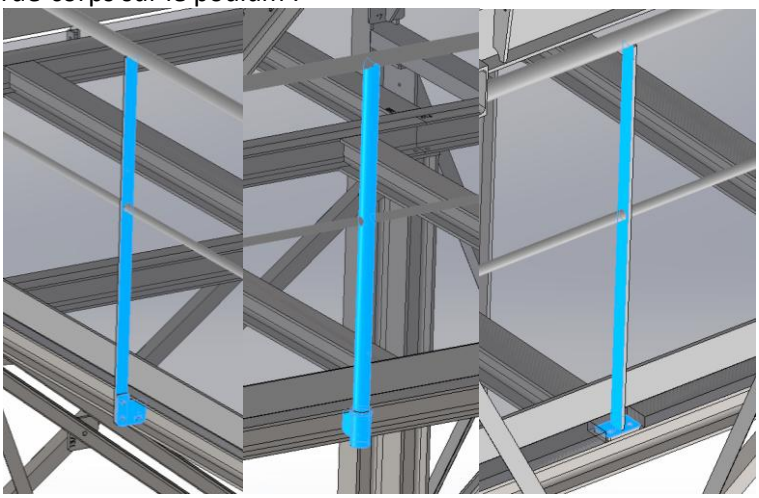


Figure 41 : Plat (normal) / Ronds (normal) / Plat(escalier)

Pour chaque type, le montant, la platine et la poutre sur la-quelle le garde-corps est fixée, sont modélisés pour évaluer la tenue du garde-corps ainsi que son assemblage.

9.1. EPAISSEUR

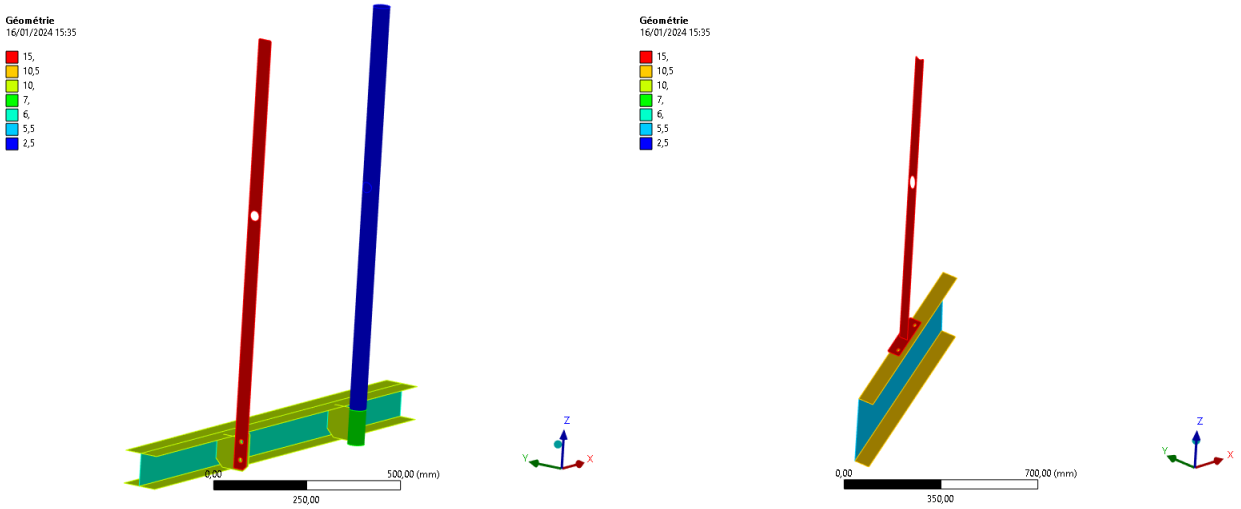


Figure 42 - Epaisseur

9.2. CONDITIONS LIMITES

Des conditions limites rigides (Ux=Uy=Uz=Rx=Ry=Rz=0) sont appliquées sur les arêtes des poutres modélisées.

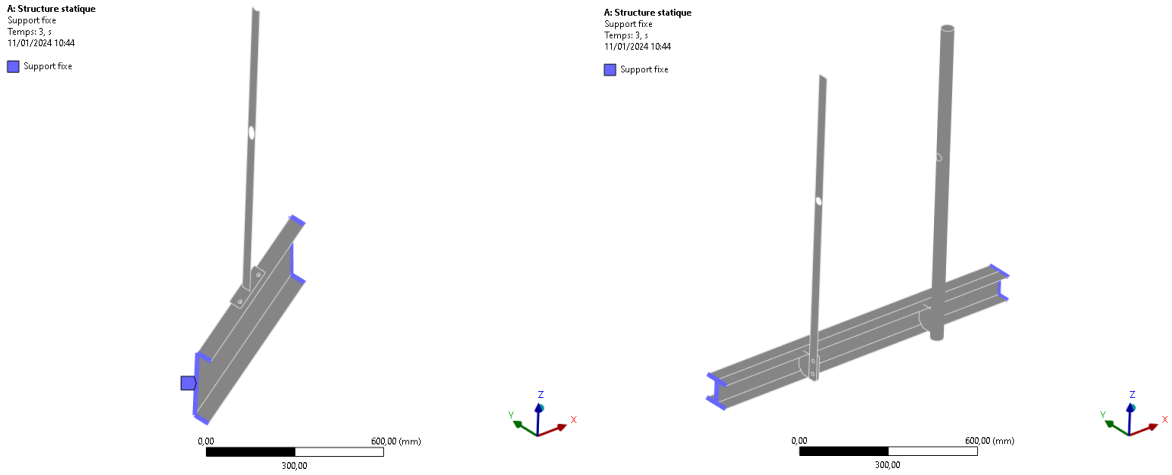


Figure 43 - Conditions limites

9.3. LIAISONS

Les boulons sont modélisés par des liaisons rotules (Ux=Uy=Uz = 0 et Rx=Ry=Rz= libre)

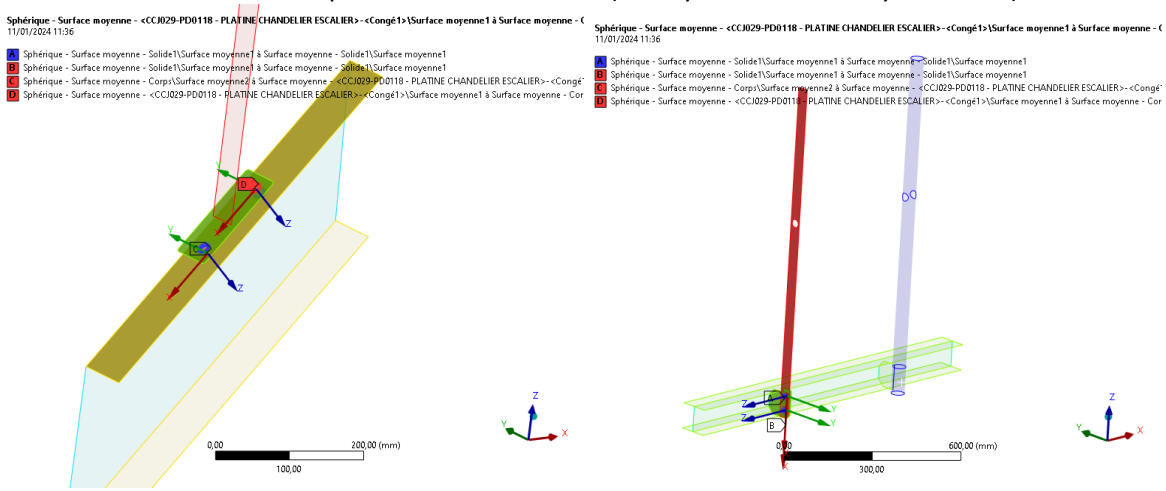


Figure 44 - Liaisons rotules

Des contacts avec frottement (cf = 0,15) ont été ajoutés entre les platines pour créer l'appuis.

9.4. MAILLAGE

Le maillage est réalisé en éléments coque de 5mm.
Le modele comprends 34 613nœuds et 33 523éléments.

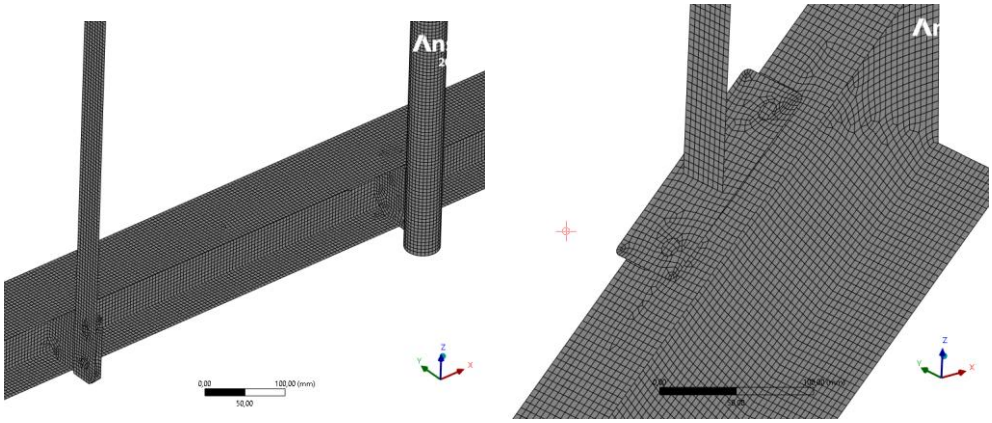
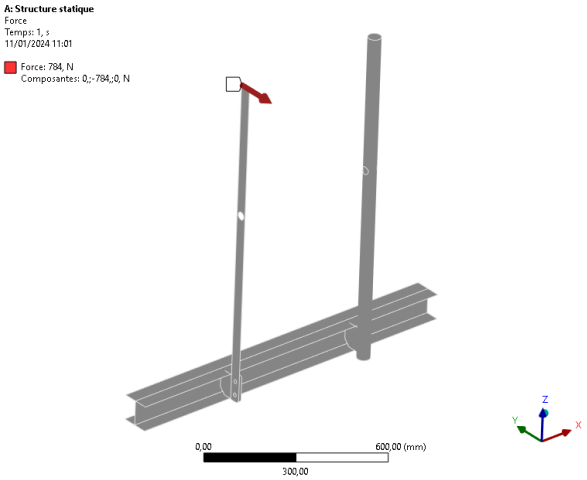


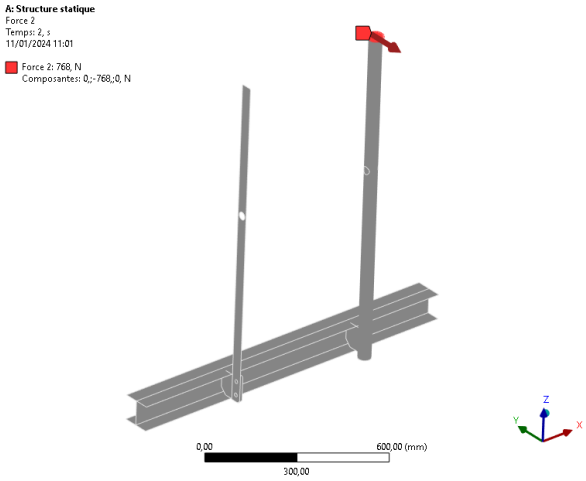
Figure 45 - Maillage

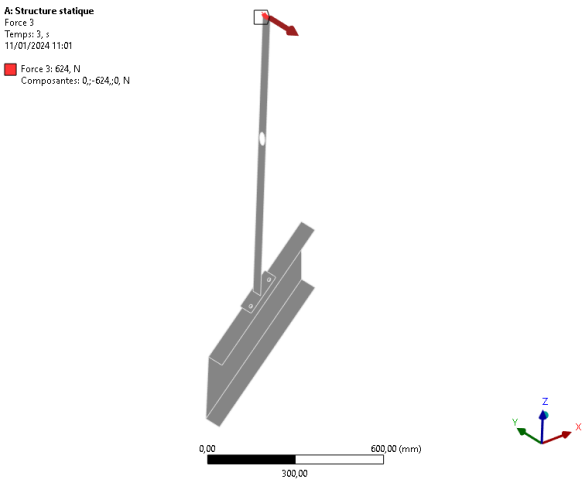
9.5. CHARGEMENT

Les garde-corps sont calculé selon l'Eurocode 3 catergorie C3 avec une charge horizontale linéique de 0,8kN/m.
L'entraxe maximum entre deux poteaux de garde-corps est de 980 mm.

Gardes corps :	Plat (normal)	Ronde (normal)	Plat (Escalier/long coupé)
Entraxe max [mm]	980	960	780
Effort équivalent [N]	784	768	624







9.6. FORCE DE REACTION

Les forces de réactions sont issus des conditions limites du modèle.

	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (N mm)	MY (N mm)	MZ (N mm)
Support fixe (plat normal)	0	784	0	-2726361	-2389	3105127
Support fixe (rond normal)	0	768	0	-2678220	-38	3455880
Support fixe (plat escalier)	0	624	0	-2765493	-1078	3783453

9.7. VERIFICATION DES GARDE-CORPS

9.7.1. CONTRAINTE DANS LE GARDE-CORPS PLAT NORMAL

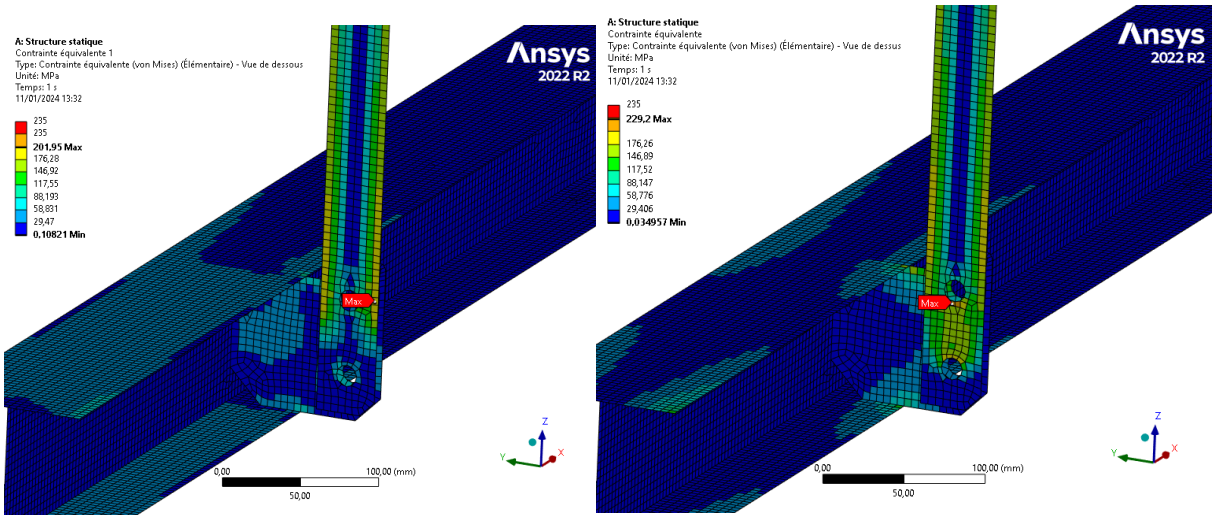


Figure 46 - Contrainte de Von Mises – Plat (normal)

On observe une contrainte de flexion à 230 MPa inférieur à la contrainte admissible de 235 MPa. Le garde corps plat normal est alors valide.

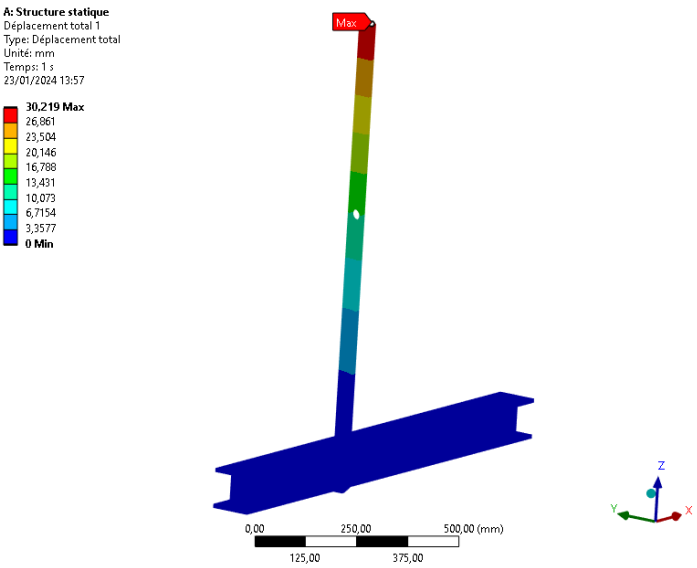


Figure 47 – Déformation en charge

La flèche en charge du gardes corps est de 30 mm. La flèche est donc admissible(<30mm cf§6.2).

9.7.2. CONTRAINTES DANS LE GARDE-CORPS ROND NORMAL

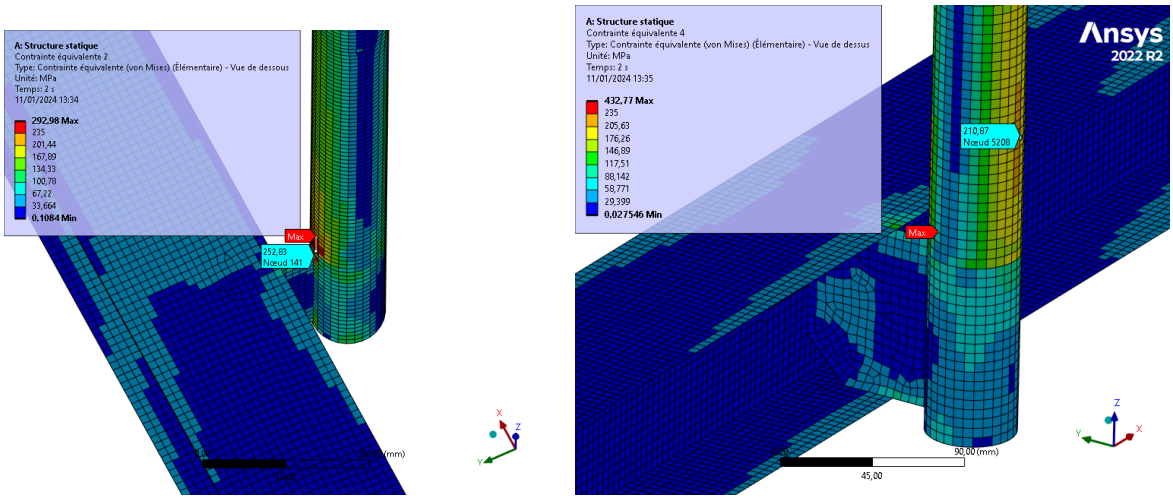


Figure 48 - Contrainte de Von Mises – Rond

On observe une contrainte de flexion dans le rond à 211 MPa inférieure à la contrainte admissible de 235 MPa. De plus, on observe un pic de contrainte à 253 MPa au niveau de la soudure entre le rond supportant le garde-corps et le plat de 10mm. Ce pic de contrainte ne concerne qu'un seul élément inférieur à l'apothème du cordon de soudure, par conséquent, ce pic est négligeable. Le garde-corps rond normal est alors valide.

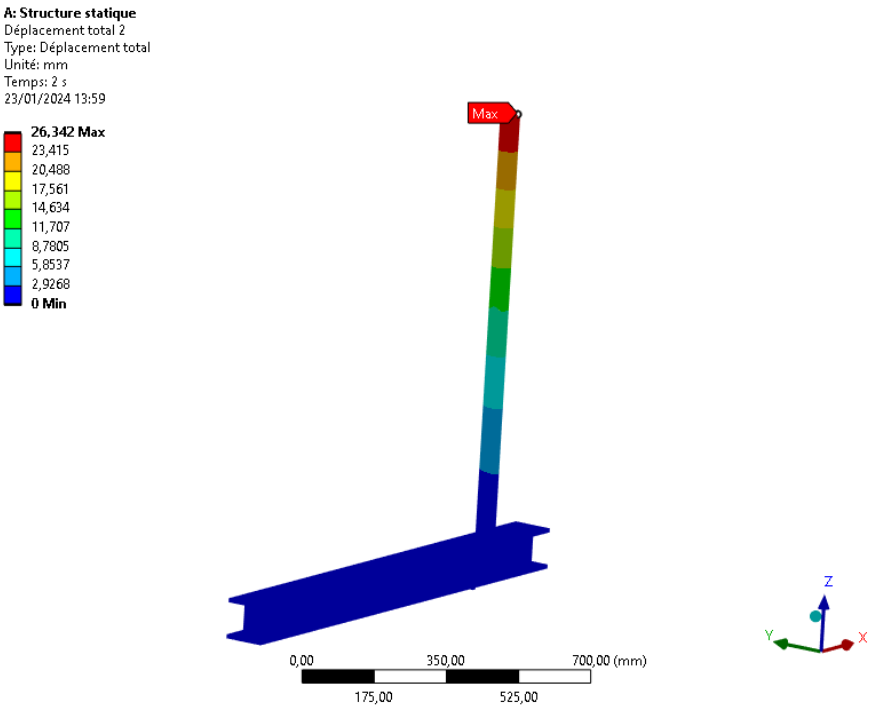


Figure 49 – Déformation en charge

La flèche en charge du gardes corps est de 26 mm. La flèche est donc admissible (<30mm cf§6.2).

9.7.1. CONTRAINTES DANS LE GARDE-CORPS PLAT VERSION ESCALIER

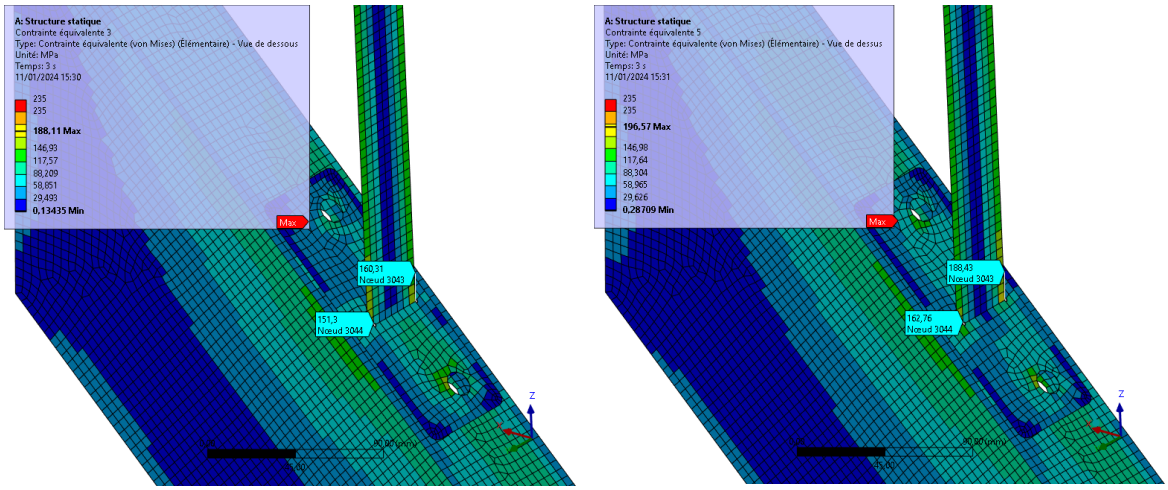


Figure 50 - Contrainte de Von Mises – Plat (escalier)

On observe une contrainte de flexion à 197 MPa inférieur à la contrainte admissible de 235 MPa. Le garde corps plat escalier est alors valide.

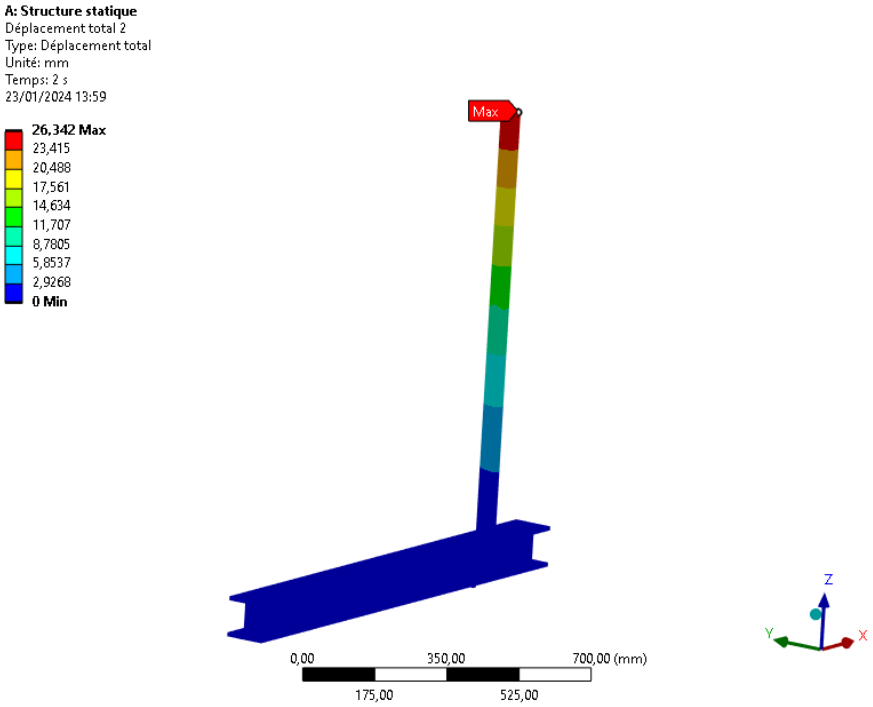


Figure 51 – Déformation en charge

La flèche en charge du gardes corps est de 28 mm. La flèche est donc admissible (<30mm cf§6.2).

9.8. VERIFICATION DE LA VISSERIE

9.8.1. LIMITES ADMISSIBLE

Traction admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{t,Rd} = (k_2 . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$ 48556,80 N

Avec :

k_2=	0,9	
f_{ub}=	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
A_s=	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M12)
γ_{M2}=	1,25	

Cisaillement admissible pour un boulon M12 en acier classe 8.8 :

$F_{v,Rd} = (\alpha . f_{ub} . A_s)/ \gamma_{M2} =$ 32371,20 N

Avec :

α =	0,6	(plan de cisaillement situé dans la partie non filetée du boulon)
f_{ub}=	800 MPa	(résistance à la rupture de l'acier classe 8.8)
A_s=	84,3 mm²	(section résistante d'un boulon M12)
γ_{M2}=	1,25	

9.8.2. VERIFICATION DES BOULONS DU GARDE-CORPS PLAT NORMAL

Les boulons sont validés selon l'Eurocode 3.

Name	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	Fv,Ed	Ft,Ed	Fv,Rd	Ft,Rd	Fv,Ed/Fv,Rd	Ft,Ed/Ft,Rd	Fv,Ed/Fv,Rd + Ft,Ed/1,4xFt,Rd
Boulon 1	976	-17679	-2616	17872	976	32371	48557	**0,55**	**0,02**	**0,57**
Boulon 2	-728	16823	-2135	16958	728	32371	48557	**0,52**	**0,01**	**0,53**

Les taux de chargement sont inférieurs à 1, donc les efforts dans les boulons sont admissible.

9.8.3. VERIFICATION DES BOULONS DU GARDE-CORPS PLAT ESCALIER

Les boulons sont validés selon l'Eurocode 3.

Name	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	Fv,Ed	Ft,Ed	Fv,Rd	Ft,Rd	Fv,Ed/Fv,Rd	Ft,Ed/Ft,Rd	Fv,Ed/Fv,Rd + Ft,Ed/1,4xFt,Rd
Boulon 1	-3881	-6336	15258	16521	3881	32371	48557	**0,51**	**0,08**	**0,57**
Boulon 2	-3975	-2381	-15136	15322	3975	32371	48557	**0,47**	**0,08**	**0,53**

Les taux de chargement sont inférieurs à 1, donc les efforts dans les boulons sont admissible.

10. CONCLUSION DE L'ETUDE

La vérification de l'ensemble structure et des assemblages est valide selon l'eurocode 3 pour les cas de chargement suivant :

- Poids propre (G)
- Charges d'exploitation (I) de 350 kg/m2
- Vent (W) selon +x ;-x ;+y ;-y à 10 m de haut, avec une référence à 26 m/s
- Neige (S) de 45 kg/m²
- Charge horizontale sur les gardes corps de 0,8 kN/m

Nota 1 : La houle n'est pas considérée dans les calculs (cf §5).
Nota 2 : Les défenses de quai permettent d'amortir les chocs éventuels entre le podium et le génie civil. Les chocs induits sur la structure du podium ne sont pas pris en compte dans la présente étude.

11. ANNEXE 1 : REACTION – MODELE ROBOT

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 1	0,15	0,09	1,34	-0,01	0,06	0
3/ 1	0,2	-0,01	1,73	0	0,08	0
5/ 1	0,13	-0,08	1,23	0	0,05	0
7/ 1	0	0	1,7	0	-0,01	0
9/ 1	-0,01	0	2,53	0	-0,01	0
11/ 1	0,02	0	1,88	0	-0,02	0
13/ 1	-0,1	-0,01	1,37	0,01	-0,03	0
15/ 1	-0,18	0,01	2,04	-0,01	-0,05	0
17/ 1	0,01	0	2,05	0	0,01	0
19/ 1	-0,07	0,02	1,72	-0,01	-0,02	0
23/ 1	0,09	-0,1	1,88	0	-0,01	0
25/ 1	-0,01	-0,15	2,32	0,01	0	0
27/ 1	-0,11	-0,11	1,89	0,01	-0,01	0
29/ 1	0,12	0,1	2,5	0	-0,01	0
31/ 1	0	0,12	3,23	0	0	0
33/ 1	-0,13	0,1	2,36	0	0,01	0
35/ 1	-0,1	0,01	1,01	-0,01	-0,01	0
Cas 1	POIDS PROPRE CHARPENTE					
Somme réactions	0,01	-0,01	32,78	-0,01	0,03	0,00
Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 2	-0,03	-0,01	-0,05	0	0	0
3/ 2	-0,03	-0,01	-0,13	0	-0,04	0
5/ 2	-0,03	0,01	-0,17	0	-0,06	0
7/ 2	0,52	0	1,66	0	0,29	0
9/ 2	0,42	0	1,45	0	0,25	0
11/ 2	-0,03	0	0,05	0	0,01	0
13/ 2	-0,49	0	3,74	0	-0,29	0
15/ 2	-0,46	0	3,35	0	-0,26	0
17/ 2	-0,09	0	0,09	0	-0,01	0
19/ 2	0,21	0	0,33	0	0	0
23/ 2	0,36	-0,13	2,97	0	0,03	0
25/ 2	-0,24	-0,16	3,41	0	0,06	0
27/ 2	-0,12	-0,34	3,77	0	-0,07	0
29/ 2	0,28	0,16	2,98	-0,01	0,01	0
31/ 2	-0,14	0,17	3,83	0	-0,03	0
33/ 2	-0,09	0,3	7,8	0	0,03	0
35/ 2	-0,04	0,02	4,23	-0,02	0	0
Cas 2	POIDS PROPRE COUPEE & ESCALIER					

Somme réactions	0,00	0,01	39,31	-0,03	-0,08	0,00

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 3	0,22	0,12	1,04	-0,02	0,1	0
3/ 3	0,35	-0,02	1,61	0,01	0,15	0
5/ 3	0,18	-0,1	0,79	0	0,08	0
7/ 3	0,01	0	1,44	0	-0,01	0
9/ 3	-0,02	0	3,33	0	-0,03	0
11/ 3	0,01	0	1,94	0	-0,03	0
13/ 3	-0,13	-0,02	1,14	0,01	-0,04	0
15/ 3	-0,31	0,02	2,27	-0,01	-0,09	0
17/ 3	-0,01	0	1,88	0	0	0
19/ 3	-0,09	0,03	1,53	-0,03	-0,03	0
23/ 3	0,02	-0,05	0,58	0	-0,01	0
25/ 3	-0,03	-0,11	0,58	0	0	0
27/ 3	-0,05	-0,02	0,01	0	0	0
29/ 3	0,07	0,06	1,48	0	-0,02	0
31/ 3	0	0,05	2,02	0	0	0
33/ 3	-0,09	0,01	0,74	0	0,01	0
35/ 3	-0,12	0,03	0,65	-0,02	-0,02	0
Cas 3	POIDS PROPRE CAILLEBOTIS & GARDE-CORPS					
Somme réactions	0,01	0,00	23,03	-0,06	0,06	0,00

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 4	1,22	0,67	5,11	-0,1	0,54	0
3/ 4	2,33	-0,11	8,98	0,04	1,02	0
5/ 4	0,88	-0,56	3,67	0,02	0,41	0
7/ 4	0,04	0	7,13	0	-0,08	0
9/ 4	-0,15	-0,01	22,88	0	-0,18	0
11/ 4	0,07	0,02	10,64	-0,02	-0,16	0
13/ 4	-0,65	-0,13	5,77	0,1	-0,21	0
15/ 4	-2,17	0,11	15,83	-0,09	-0,66	0
17/ 4	-0,12	0,03	10,3	-0,03	-0,01	0
19/ 4	-0,53	0,23	8,11	-0,19	-0,17	0
23/ 4	0,67	-0,27	3,79	0	-0,03	0
25/ 4	-0,37	-0,94	8,99	0	0,11	0
27/ 4	-0,57	-0,48	7,61	0	-0,16	0
29/ 4	0,91	0,32	8,99	-0,01	-0,09	0
31/ 4	-0,28	0,55	16,79	0,03	-0,05	0
33/ 4	-0,66	0,45	10,82	0,02	0,11	0
35/ 4	-0,64	0,12	2,91	-0,1	-0,12	0

Cas 4	SURCHARGE D'EXPLOITATION					
Somme réactions	-0,02	0,00	158,32	-0,33	0,27	0,00

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 5	0,15	0,08	0,64	-0,01	0,07	0
3/ 5	0,29	-0,01	1,13	0	0,13	0
5/ 5	0,11	-0,07	0,46	0	0,05	0
7/ 5	0,01	0	0,9	0	-0,01	0
9/ 5	-0,02	0	2,88	0	-0,02	0
11/ 5	0,01	0	1,34	0	-0,02	0
13/ 5	-0,08	-0,02	0,73	0,01	-0,03	0
15/ 5	-0,27	0,01	1,99	-0,01	-0,08	0
17/ 5	-0,01	0	1,3	0	0	0
19/ 5	-0,07	0,03	1,02	-0,02	-0,02	0
23/ 5	0,09	-0,03	0,48	0	0	0
25/ 5	-0,05	-0,12	1,15	0	0,01	0
27/ 5	-0,07	-0,06	0,98	0	-0,02	0
29/ 5	0,12	0,04	1,13	0	-0,01	0
31/ 5	-0,04	0,07	2,13	0	-0,01	0
33/ 5	-0,08	0,06	1,38	0	0,01	0
35/ 5	-0,08	0,01	0,37	-0,01	-0,01	0
Cas 5	NEIGE					
Somme réactions	0,01	-0,01	20,01	-0,04	0,04	0,00

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 6	-0,55	-0,02	-0,74	0	-0,12	0
3/ 6	-0,82	0,05	-1,59	-0,01	-0,1	0
5/ 6	-0,69	0,01	-0,82	0,03	-0,13	0
7/ 6	-0,55	-0,03	0,09	0	-0,02	0
9/ 6	-0,63	0,02	0,31	-0,01	-0,01	0
11/ 6	-0,27	0,06	0,16	-0,02	-0,01	0
13/ 6	-0,3	-0,03	0,62	0,01	-0,03	0
15/ 6	-0,39	0,04	0,92	-0,02	-0,04	0
17/ 6	-0,3	0,06	0,23	-0,02	-0,03	0
19/ 6	-0,24	0	0,08	0	-0,02	0
23/ 6	-0,46	0	-1,29	0,03	-0,08	0
25/ 6	-0,4	-0,02	-0,49	0,01	-0,05	0
27/ 6	-0,26	0	0,63	0	-0,06	0
29/ 6	-0,46	0,08	-0,95	-0,02	-0,1	0
31/ 6	-0,4	0,03	-0,32	-0,01	-0,05	0
33/ 6	-0,25	0,06	0,78	0	-0,05	0

35/ 6	-0,14	0	0,22	0	-0,02	0
Cas 6	Vent X+					
Somme réactions	-7,11	0,31	-2,16	-0,03	-0,92	0,00

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 7	-0,19	-1,15	-2,76	0,14	-0,13	0
3/ 7	-0,58	-1,03	-2,75	0,03	-0,27	0
5/ 7	-0,13	-0,33	0,26	0,02	-0,1	0
7/ 7	0,04	-0,23	-1,96	0,21	0,02	0
9/ 7	-0,06	-0,36	-6,74	0,23	0,05	0
11/ 7	0,13	-0,7	-3,64	0,3	0,05	0
13/ 7	0,2	-0,19	-1,54	0,15	0,05	0
15/ 7	0,56	-0,31	-4,84	0,2	0,17	0
17/ 7	0,19	-0,71	-3,6	0,22	0,01	0
19/ 7	0,34	-0,79	-2,56	0,23	0,08	0
23/ 7	0,04	-1,4	3,35	-0,02	-0,02	0
25/ 7	-0,02	-1,23	3,04	0,05	-0,01	0
27/ 7	-0,1	-0,92	2,69	0,04	-0,03	0
29/ 7	-0,15	-1,65	-6,22	0	0,06	0
31/ 7	0,01	-1,44	-6,56	0	0,01	0
33/ 7	0,18	-0,98	-3,73	0,02	-0,02	0
35/ 7	0,15	-0,5	-0,95	0,16	-0,01	0
Cas 7	Vent Y+					
Somme réactions	0,61	-13,92	-38,51	1,98	-0,09	0,00

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 8	0,29	0,02	-0,16	-0,01	0,03	0
3/ 8	0,4	-0,03	-0,11	0	-0,01	0
5/ 8	0,15	-0,01	-0,04	0,01	0,01	0
7/ 8	0,22	-0,03	-0,38	0,01	0,01	0
9/ 8	0,65	-0,02	-1,2	0,01	0,03	0
11/ 8	0,3	0,01	-0,62	0	0,04	0
13/ 8	0,14	-0,01	-0,47	0	0,02	0
15/ 8	0,43	-0,02	-1,3	0,01	0,06	0
17/ 8	0,31	-0,01	-0,52	0,01	0,02	0
19/ 8	0,33	0,05	-0,39	0	0,03	0
23/ 8	0,42	-0,05	0,9	0,01	0,02	0
25/ 8	0,86	0,03	-0,14	0	0,09	0
27/ 8	1,16	-0,05	-1,29	0,02	0,48	0
29/ 8	0,36	0,02	0,33	-0,01	0,07	0
31/ 8	0,56	0,07	-0,45	0	0,07	0

33/ 8	0,82	0,02	-1,26	-0,02	0,22	0
35/ 8	0,42	0,09	-0,48	-0,02	0,12	0
Cas 8	Vent X-					
Somme réactions	7,82	0,08	-7,58	0,02	1,31	0,00

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
1/ 9	-0,26	0,52	-0,11	0	-0,13	0
3/ 9	-0,37	1,15	-2,3	-0,05	-0,24	0
5/ 9	-0,08	0,98	-2,4	-0,12	-0,08	0
7/ 9	0,12	0,63	-2,37	-0,28	0,04	0
9/ 9	0,27	0,37	-6,43	-0,25	0,05	0
11/ 9	-0,08	0,32	-2,81	-0,23	0,04	0
13/ 9	0,25	0,51	-2,05	-0,26	0,08	0
15/ 9	0,72	0,25	-4,55	-0,16	0,19	0
17/ 9	-0,04	0,33	-2,88	-0,15	0	0
19/ 9	0,04	0,18	-2,17	-0,03	0,04	0
23/ 9	-0,26	2,25	-6,78	-0,06	0,07	0
25/ 9	-0,27	2,53	-6,59	-0,13	-0,02	0
27/ 9	-0,18	1,64	-3,81	-0,11	-0,17	0
29/ 9	-0,05	1,71	2,17	0,01	0,03	0
31/ 9	-0,14	1,61	1,77	-0,04	-0,03	0
33/ 9	-0,21	1,25	3,02	-0,05	-0,07	0
35/ 9	0,1	0,05	-0,62	-0,01	0,02	0
Cas 9	Vent Y-					
Somme réactions	-0,44	16,28	-38,91	-1,92	-0,18	0,00

12. ANNEXE 2 : TABLEAU DES NŒUDS

Noeud	X [m]	Y [m]	Z [m]	Appui
1	0	0	0	Encastrement
2	0	0	2,34	
3	0	2,14	0	Encastrement
4	0	2,14	2,34	
5	0	3,69	0	Encastrement
6	0	3,69	2,34	
7	3	3,69	0	Encastrement
8	3	3,69	2,34	
9	3	2,14	0	Encastrement
10	3	2,14	2,34	
11	3	0	0	Encastrement
12	3	0	2,34	
13	6	3,69	0	Encastrement
14	6	3,69	2,34	
15	6	2,14	0	Encastrement
16	6	2,14	2,34	
17	6	0	0	Encastrement
18	6	0	2,34	
19	9	0	0	Encastrement
20	9	0	2,34	
23	7	3,8	0	Encastrement
24	7	3,8	4,13	
25	9	3,8	0	Encastrement
26	9	3,8	4,22	
27	11	3,8	0	Encastrement
28	11	3,8	4,22	
29	7	1,9	0	Encastrement
30	7	1,9	4,13	
31	9	1,9	0	Encastrement
32	9	1,9	4,22	
33	11	1,9	0	Encastrement
34	11	1,9	4,22	
35	11	0	0	Encastrement
36	11	0	2,34	
37	6,95	2,14	2,34	
38	6,95	3,69	2,34	
39	6,95	0	2,34	
40	9	3,8	4,13	
41	9	1,9	4,13	
42	8	3,8	4,13	
43	8	1,9	4,13	
44	11	1,85	2,34	
45	9	1,85	2,34	
46	6,95	1,85	2,34	
47	1,2	3,69	2,34	

48	1,2	2,14	2,34	
49	1,2	0	2,34	
50	2,4	3,69	2,34	
51	2,4	2,14	2,34	
52	2,4	0	2,34	
53	3,6	3,69	2,34	
54	3,6	2,14	2,34	
55	3,6	0	2,34	
56	4,8	3,69	2,34	
57	4,8	2,14	2,34	
58	4,8	0	2,34	
59	5,75	2,14	2,34	
60	5,75	0	2,34	
61	6,4	2,14	2,34	
62	6,4	0	2,34	
63	8	1,85	2,34	
64	8	0	2,34	
65	10	1,85	2,34	
66	10	0	2,34	
67	11	3,8	3,76	
68	9	3,8	3,76	
69	11	1,9	3,76	
70	9	1,9	3,76	
71	11	3,8	3,5	
72	9	3,8	3,5	
73	9	1,9	3,5	
74	11	1,9	3,5	
75	11	3,8	1,91	
76	11	1,9	1,91	
77	9	3,8	1,91	
78	9	1,9	1,91	
79	7	3,8	1,91	
80	6	3,69	1,17	
81	7	1,9	1,91	
82	9,24	3,8	3,76	
83	9,24	1,9	3,76	
84	10,75	3,8	3,76	
85	10,75	1,9	3,76	
98	0	0	2,14	
99	3	0	2,14	
100	6	0	2,14	
101	9	0	2,14	
102	11	0	2,14	
103	0	2,14	2,14	
104	3	2,14	2,14	
105	6	2,14	2,14	
106	0	3,69	2,14	
107	3	3,69	2,14	

108	6	3,69	2,14	
112	7	3,8	3,97	
113	7	1,9	3,97	
116	7	3,8	2,34	
123	7	1,9	2,34	
124	9	1,9	2,34	
125	11	1,9	2,34	
129	6,95	1,9	2,34	

13. ANNEXE 3 : TABLEAU DES BARRES

Barre	Noeud 1	Noeud 2	Section	Matériau	Gamma [deg]	Type de barre	Élément de construction
1	1	98	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
2	3	103	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
3	5	106	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
4	7	107	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
5	9	104	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
6	11	99	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
7	13	108	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
8	15	105	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
9	17	100	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
10	19	101	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
11	23	112	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
12	25	26	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
13	27	28	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
14	29	113	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
15	31	32	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
16	33	34	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
17	35	102	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
18	2	12	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
19	12	18	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
20	18	20	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
21	20	36	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
22	4	10	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
23	10	16	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
24	16	37	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
26	8	14	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
27	14	38	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
28	38	37	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
29	37	39	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
30	6	4	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
31	4	2	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
32	24	30	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
33	40	41	UPE 100	Steel	0	Barre	Barre
34	24	40	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
35	30	41	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
36	42	43	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
37	26	28	UPE 140	Steel	270	Barre	Barre
38	32	34	UPE 140	Steel	270	Barre	Barre
39	36	44	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
40	44	45	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
41	45	46	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
42	47	48	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
43	48	49	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
44	50	51	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
45	51	52	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre

46	53	54	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
47	54	55	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
48	56	57	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
49	57	58	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
50	14	16	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
51	59	60	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
52	61	62	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
53	45	20	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
54	63	64	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
55	65	66	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
56	67	68	I-SYM_V_1	Steel	180	Barre	Barre
57	69	70	I-SYM_V_1	Steel	180	Barre	Barre
58	71	25	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
59	27	72	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
60	73	33	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
61	74	31	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
62	73	29	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
63	31	30	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
64	24	25	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
65	72	23	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
66	75	76	UPE 100	Steel	270	Barre	Barre
67	77	78	UPE 100	Steel	270	Barre	Barre
68	33	75	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
69	76	27	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
70	76	71	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
71	75	74	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
72	73	77	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
73	72	78	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
74	78	25	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
75	31	77	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
77	79	30	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
80	29	79	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
81	1	12	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
82	2	11	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
83	11	18	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
84	12	17	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
85	17	20	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
86	18	19	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
87	19	36	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
88	20	35	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
89	4	9	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
90	10	3	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
91	10	15	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
92	16	9	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
93	6	7	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
94	8	5	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre

95	8	13	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
96	7	14	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
97	6	3	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
98	4	5	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
99	4	1	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
100	2	3	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
101	79	81	UPE 100	Steel	270	Barre	Barre
102	24	81	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
103	81	23	CAE 50x5	Steel	0	Barre	Barre
123	82	83	UPE 140	Steel	0	Barre	Barre
124	84	85	UPE 140	Steel	0	Barre	Barre
125	6	8	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
127	98	2	CROIX_1	Steel	0	Barre	Barre
128	106	6	CROIX_1	Steel	0	Barre	Barre
129	102	36	CROIX_1	Steel	0	Barre	Barre
130	103	4	CROIX_1	Steel	0	Barre	Barre
131	113	30	CROIX_1	Steel	0	Barre	Barre
132	112	24	CROIX_1	Steel	0	Barre	Barre
133	99	12	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
134	100	18	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
135	101	20	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
137	104	10	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
138	105	16	HEB 100	Steel	0	Barre	Barre
139	107	8	HEB 100	Steel	90	Barre	Barre
140	108	14	HEB 100	Steel	90	Barre	Barre
141	38	116	UPE 140	Steel	0	Barre	Barre
145	45	124	UPE 140	Steel	0	Barre	Barre
146	44	125	UPE 140	Steel	0	Barre	Barre
148	123	129	UPE 140	Steel	0	Barre	Barre