



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM
FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département de Génie Civil



Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master en Génie Civil
Spécialité : Constructions Métalliques et Mixtes

Thème

*Etude et Dimensionnement d'une toiture
de stade en treillis*

Présenté par :

AISSANI Mekki

BENAISSA Mohamed Hicham

Soutenu le 24 juin 2018, devant le jury composée de :

Président du jury : Dr BENCHOUK Assia
Examineur : Dr MISSOUM Abdelghani
Examineur : Dr RAS Abdelouahab Abderrazzak
Encadreur : Dr HAMDAROU Karim
Encadreur : Pr BOUMECHRA Nadir

Année universitaire 2017 -2018

REMERCIEMENT

Nous adressons nos plus sincères sentiments de reconnaissance et de remerciement envers le bon Dieu, le clément et le miséricordieux, lequel nous a accordé la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à nos deux encadreurs Dr. Karim HAMDAOUI et Pr. Nadir BOUMECHRA, pour le temps qu'ils nous ont accordé de leur confiance et de leur aide scientifique, ainsi leurs précieux conseils.

Nous remercions également nos enseignants Dr. Mohamed Elamine BOUKLI et Pr. durant tout notre cursus et spécialement les professeurs de la construction métallique.

Je souhaite exprimer ma gratitude aux membres du jury le Président Dr. BENCHOUK A qui nous a fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance ainsi qu'au Dr. Abdelouahab RAS et Dr. Abdelghani MISSOUM d'avoir accepté d'examiner notre travail

Nous remercions aussi l'ingénieur Mr. Amine BOUTASTA pour son aide et ses conseils prodigieux.

Enfin nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont ; de près ou de loin, apporté aide et encouragement.

Merci à tous

DEDICACE

*C'est grâce a Allah seul que j'ai pu achever se travail. Je le
dédie à :*

*Mes très chères parents pour leur soutient et leur aide
durant toute ma période 'étude, dont je leurs doit toute ma
reconnaisances et mon respect*

A ma mère que dieu tout puissant la garde en bonne santé

Tout la famille AISSANI

A mes chères sœur Hakima ,Saadia ,Rahma ,

Khamssous , Amal et Rabha.

A mes frère, Ahmed, Hichem, Abdelkader et Mhamed, laid

,Mon neveu Yasser ,Brahim ma nièce Nour Hane.

*A mes amies et touts ceux qui mon aidés de loin et de prés
Ilyes, Belkheir,Sid ali, Walid, Mouhamed, Djamel, , houssines
S, houssines B , Belamar ,Houari,Amine , Amar,Moussabe .*

*A mon binôme BENAISSA Med Hichem qui a contribué à la
réalisation de ce modeste travail.*

Tous mes enseignants

*A toute la promotion de génie civil 2018 plus
particulièrement la promotion de la charpente métallique
chaqu 'un par son nom*

AISSANI Mekki

DEDICACE

*C'est grâce a Allah seul que j'ai pu achever se travail. Je le
dédie à :*

*Mes très chères parents pour leur soutient et leur aide
durant toute ma période 'étude, dont je leurs doit toute ma
reconnaisances et mon respect*

A ma mère que dieu tout puissant la garde en bonne santé

Tout la famille BENAISSA, AMARI

*A mes chères sœur Fatiha et Mariam, mes frère Abd El Rahim,
Abd El Halim , Radwan et Rachid, Mon neveu Anase ma nièce*

Alea, Lina, Hibat Allah.

*Mes amies et tous ceux qui mon aidés de loin et de prés
Selebile, Ilyes, Belkheir, Tahar, Khiro, Latif, Alilo, Ahmed,
Ihab, Meziane, Abdou, Djamal, Benaich, Youcef, Nacer,
Zino, Moad , Walid, Sid Ali , Embarek.*

*Mon binôme AISSANI Mekki qui a contribué à la
réalisation de ce modeste travail.*

Tous mes enseignants

*A toute la promotion de génie civil 2018 plus
particulièrement la promotion de la charpente métallique
chaqu'un par son nom*

BENAISSA Mohammed Hichem

Résumé

Ce projet vise à étudier une structure métallique de nature sportive selon le règlement algérien. La structure a été étudiée en plusieurs étapes: d'abord l'étude des effets de la neige et du vent selon (RNV99), ensuite le dimensionnement des différents éléments (secondaires et principales), après l'étude dynamique selon le (RPA99), puis l'étude des assemblages selon le (CCM97).

Abstract

This project studies the structure of sports building with structural steel according to Algerian regulation. This project developed through several stages; first, climate study (wind and snow) by (RNV99), and evaluation of the structural steel's secondary and principal elements according to their resistances by (CCM 97). Before, the dynamic building study according to (RPA99) using software (ROBOT 2014) to choosing the bracing system those ensure the stability of the structure. Finally, study the assembly of the building's secondary and principal elements by (CCM97).

الملخص

هذا المشروع يعتمد إلى دراسة مبنى معدني ذو طابع رياضي وفق التنظيم الجزائري

و قد صمم هذا المبنى بشكل منتظم ليستغل كسقف لملاعب بمدينة دار البيضاء (الجزائر) حيث تمت دراسة هذا المشروع مرور بعدة مراحل، أولا دراسة تأثيرات الثلوج و الرياح وكذلك الاحتكاك وفق المنشور () ثم دراسة مقاييس عناصر المبنى الأساسية منها و الثانوية وفق المنشور ()، تليها دراسة ديناميكية للمبنى وفق منشور ()، للاختبار نظام التوازن من أجل استقرار المبنى باستخدام البرنامج و دراسة تجميع مختلف عناصر المبنى الأساسية منها و الثانوية وفق المنشور

Liste des figures

Chapitre I: Généralités

Figure I.1 : Vue en plan du stade.....	2
Figure I.2 : Vue dessus joint N°5.....	2
Figure I.3 : Données géométriques du joint 5.....	3
Figure I.4 : Localisation du site du projet.....	3

Chapitre II: Evaluation des charges

Figure II.1 : Charge sur toiture.....	5
Figure II.2 : Directions du vent sur la toiture.....	7
Figure II.3 : Zones de $C_{p_{nette}}$ suivant α	10
Figure II.4 : Zones de $C_{p_{nette}}$ suivant α'	11

Chapitre III : Dimensionnement des éléments secondaires

Figure III.1 : Le chéneau d'eau	15
Figure III.2 : Moignon cylindrique.....	15
Figure III.3 : Tôle nervurée.....	16
Figure III.4 : position de la panne sur le verseau et repérage des axes.....	17
Figure III.5 : Cas de l'effet du vent	18
Figure III.6 : Cas de l'effet de neige.....	18
Figure III 7 :Diagramme des moments fléchissant au niveau de la couverture.....	18

Chapitre IV: Etude sismique

Figure IV.1 : Modèle de la structure en 3D	30
Figure IV.2 : Spectre de réponse suivant Y.....	33
Figure IV.3 : Spectre de réponse suivant Y.....	33

Chapitre VI : Etude des assemblages et calcul des fondations

Figure IV.1 : Assemblage tirant –membrure.....	80
Figure VI.2 : Assemblage poteau-poutre secondaire.....	83
Figure VI.3 : Assemblage contreventement X.....	86
Figure VI.4 : Assemblage contreventement tubulaire	88
Figure VI.5 : 3D de la jonction poteau-fondation.....	90
Figure VI.6 : Détail de jonction poteau-fondation.....	90
Figure VI.7 : Dimensions de la plaque d'assise.....	91

Liste des tableaux

Chapitre II: Evaluation des charges

Tableau II.1 : Définition des catégories de terrain (R.N.V.99).....	7
Tableau II.2 : valeurs de $C_{p_{nette}}$ par Zone suivant α	9
Tableau II.3 : valeurs de $C_{p_{nette}}$ pour l'angle α_1 (RNV99 V2013).....	10
Tableau II.4 : valeurs de $C_{p_{nette}}$ pour l'angle α_2 (RNV99 V2013).....	11
Tableau II.5 Pression du vent sur la toiture suivant α	12
Tableau II. 6 Pression du vent sur la toiture suivant α_1	12
Tableau II. 7 Pression du vent sur la toiture suivant α_2	12

Chapitre III : Dimensionnement des éléments secondaires

Tableau III -1 : Caractéristiques du profilé IPE240	23
---	----

Chapitre IV : Etude sismique

Tableau IV.1 : Valeurs des pénalités P_q	29
Tableau IV.2 : Eléments métalliques constituant la structure.....	31
Tableau IV.3 : Direction de l'excitation.....	32
Tableau IV.4 : Modes propres.....	32
Tableau IV.5 : Résultante des forces sismiques à la base.....	34
Tableau IV.6 : Déplacement max en situation accidentale.....	35

Chapitre V : Dimensionnement des éléments de la structure

Tableau V.1 : Caractéristiques du profilé HEA800	36
Tableau V.2 : Caractéristiques du profilé IPE600	40
Tableau V.3 : Caractéristiques du profilé CIRC219.1x16	45
Tableau V. 4 : Caractéristiques du profilé CIRC 101x6.3	47
Tableau V.5 : Caractéristiques du profilé CIRC 101x6.3	49
Tableau V.6 : Caractéristiques du profilé IPE500	50
Tableau V.7 : Caractéristiques du profilé IPE100	54
Tableau V.8 : Caractéristiques du profilé CIRC219.1x16	57
Tableau V.9 : Caractéristiques du profilé IPE400	60
Tableau V.10 : Caractéristiques du profilé CIRC139.7x8	65
Tableau V.11 : Caractéristiques du profilé CIRC 76.1x6.3	69
Tableau V.12 : Caractéristiques du profilé CIRC 76.1x6.3	71
Tableau V.13 : Caractéristiques du profilé CIRC 101x6.3	72
Tableau V.14 : Caractéristiques du profilé CIRC 88.9x4	74
Tableau V.15 : Caractéristiques du profilé CIRC 114x8	77

Liste des notations

Majuscules latines

G : Charge permanente.

Q : Charge d'exploitation.

N : Surcharge climatique de la neige.

V : Surcharge climatique du vent.

Les caractéristiques d'un profiles en I ou H

b : la longueur de la semelle

d : la hauteur de l'âme.

h : Hauteur du profilé.

tw : Epaisseur de l'âme de profile.

tf: Epaisseur de la semelle de profile.

A : Section brute d'une pièce.

Anet : Section nette d'une pièce.

Aw : Section de l'âme.

Av: Aire de cisaillement.

Cp_{nette} : coefficient de pression locale

Ct : Coefficient de topographie.

Cr : Coefficient de rugosité.

Ce : Coefficient d'exposition.

Cd : Coefficient dynamique.

D : Déplacement de l'isolateur FPS

E : Module d'élasticité longitudinale.

F : Force en générale.

G : Module d'élasticité transversale.

I : Moment d'inertie.

M : Moment de flexion.

M_{Sd} : Moment fléchissant sollicitant.

M_{Rd} : Moment résistant par unité de longueur dans la plaque d'assise.

M_{pl} : Moment plastique.

M_{pl,Rd} : Moment plastique résistant.

M_{b,Rd} : Moment de la résistance au déversement.

N_{pl,Rd} : Effort normal de la résistance plastique de la section transversale brute.

N_{b,Rd} : Effort normal d'un élément comprimé au flambement.

N_{Sd} : Effort normal sollicitant.

N_{t Sd} : Effort normale de traction.

N_{cSd} : Effort normal de compression.

N_{c,Rd} : Valeur de calcul de la résistance de la section transversale à la compression.

R : Coefficient de comportement de la structure.

T : La période propre

V_{Sd} : Valeur de calcul de l'effort tranchant.

V_{réf} : Vitesse de référence du vent.

V_m : Vitesse moyenne du vent
 W_{pl} : Module de résistance plastique.
 W : Poids de la structure.

Minuscules latines

f : La flèche.
 f_y : Limite d'élasticité.
 h : Hauteur d'une pièce.
 L : Longueur d'une pièce (Poutre, Poteau).
 L_f : Longueur de flambement.
 t : Épaisseur d'une pièce.
 Z : Hauteur au-dessus du sol.
 Z_0 : Paramètre de rugosité.
 Z_{eq} : Hauteur équivalente.
 $n_{l,x}$: Fréquence fondamentale de vibration dans la direction du vent

Minuscules grecques

χ : coefficient de réduction pour le mode de flambement approprié.
 β : L'amortissement effective de l'isolateur FPS
 β_w : Facteur de corrélation.
 γ_M : Coefficient de sécurité.
 λ : Élancement.
 λ_{LT} : Élancement de déversement.
 α : Facteur d'imperfection.
 φ : coefficient de remplissage d'une toiture isolé.
 τ : Contrainte limite de cisaillement en élasticité.
 ε : Coefficient de réduction élastique de l'acier.
 σ_a : Contrainte de l'acier.
 σ_b : Contrainte du béton.
 ξ : Pourcentage d'amortissement critique.
 η : Facteur de correction d'amortissement.
 δ_{ek} : Déplacement dû aux forces sismiques.
 μ : coefficient de forme de la charge de neige.
 δ : Décrément logarithmique d'amortissement

Indices

crit : Critique.
eff : efficace.
m : Moyenne.
réf : Référence.
max : Maximum.
min : Minimum. .
e : Externe.
i : Interne.
x : Sens x.
y : Sens y.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre de notre formation de master en Génie Civil à l'Université Abou Bekr Belkaid « Tlemcen », nous sommes amenés, à l'issue de notre cursus, à réaliser un projet de fin d'études (PFE). Le but de ce projet est d'être confronté à une situation professionnelle d'ordre scientifique et technique. Il regroupe donc l'ensemble des qualités que doit posséder un ingénieur dans son travail quotidien.

Il s'agit d'une toiture de stade composée de huit block en charpente métallique à Dar el Bayda « Alger ».

Les ossatures métalliques se distinguent par certains avantages tel que : la légèreté, le montage rapide et la facilité des transformations, c'est la raison pour laquelle cette toiture a été conçue en charpente métallique.

En plus de cette introduction générale, notre travail est subdivisé en six chapitres. Dans le premier chapitre, l'ouvrage est présenté, puis les charges permanentes, d'exploitations et climatiques sont évaluées dans le deuxième chapitre. Le troisième et le quatrième chapitre sont dédiés respectivement au dimensionnement des éléments de la structure secondaire selon le code « CCM97 » et à l'étude dynamique et sismique de la toiture selon le règlement « RPA99 ». Le chapitre cinq concerne le dimensionnement des éléments de la structure principale, et enfin, l'étude des différents assemblages métalliques de la structure selon le « CCM97 » est résumée dans le sixième chapitre. Notre mémoire est finalisé par une conclusion générale.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'OUVRAGE

I.1 INTRODUCTION :

Ce projet de fin d'études consiste à dimensionner une toiture d'un stade en treillis en charpente métallique. Cet ambitieux projet, sera construit à Dar El-Beida, Wilaya Alger. Notre toiture contient 8 blocks, on se limite dans la présente étude étudié au joint N° 5, considéré comme le cas le plus défavorable.

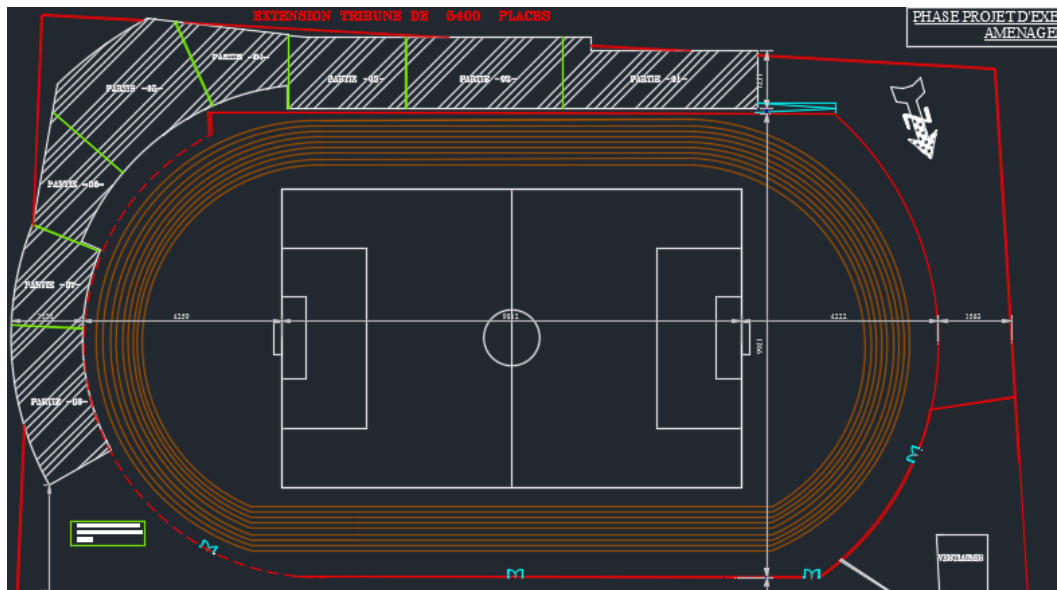


Figure I.1 : Vue en plan du stade

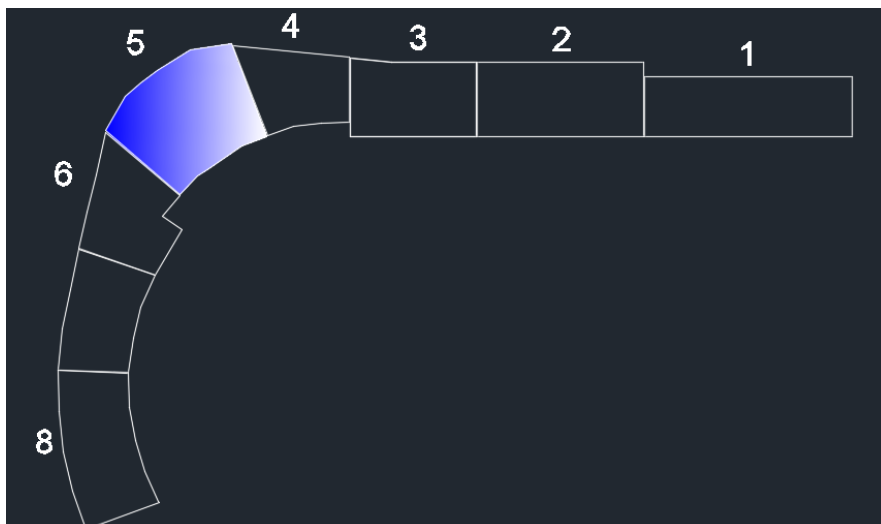


Figure I.2 : Vue en dessus joint N°5

I.2 DONNEES GEOMETRIQUES DU JOINT 5 :

Les données géométriques du joint 5 sont données comme suit :

- Les hauteurs : $H_1 = 21,97\text{m}$, $H_2 = 20,45\text{m}$.
- La largeur de la structure : $L_1 = 33,24\text{m}$
- La longueur de la structure : $L_2 = 24,939\text{m}$. La pente de versant : $1,6^\circ$

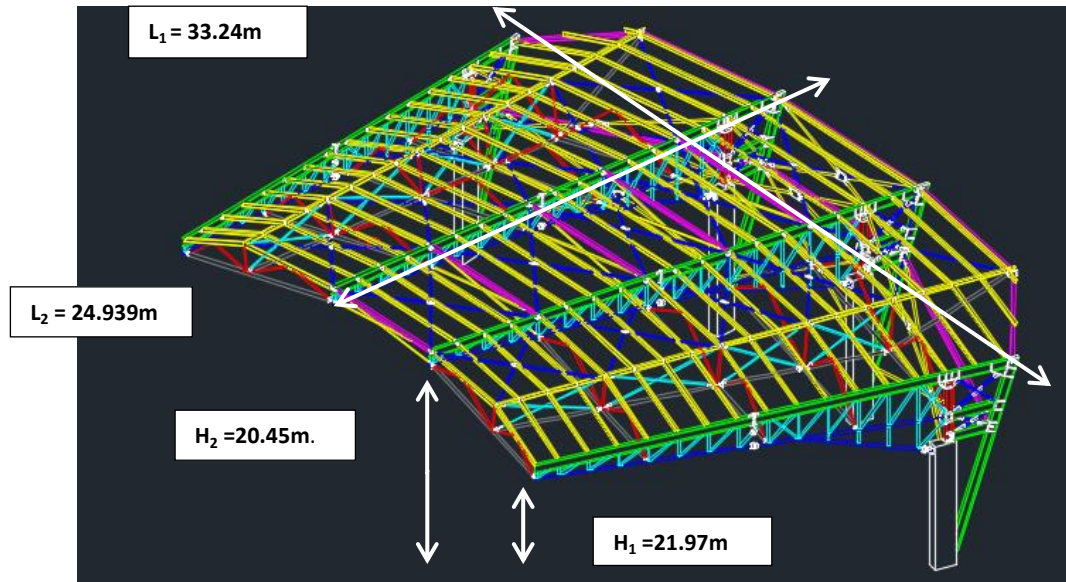


Figure I.2 : Données géométriques.

I.3 LOCALISATION ET DONNEES CONCERNANT LE SITE :

Le projet en question est une toiture, qui se situe à Dar El-Beida, Wilaya Alger, dont :

- Altitude : 17 m.
- Zone de neige par commune : Zone B.
- Zone du vent : Zone I.
- Zone sismique : Zone III, Groupe d'usage 1B.

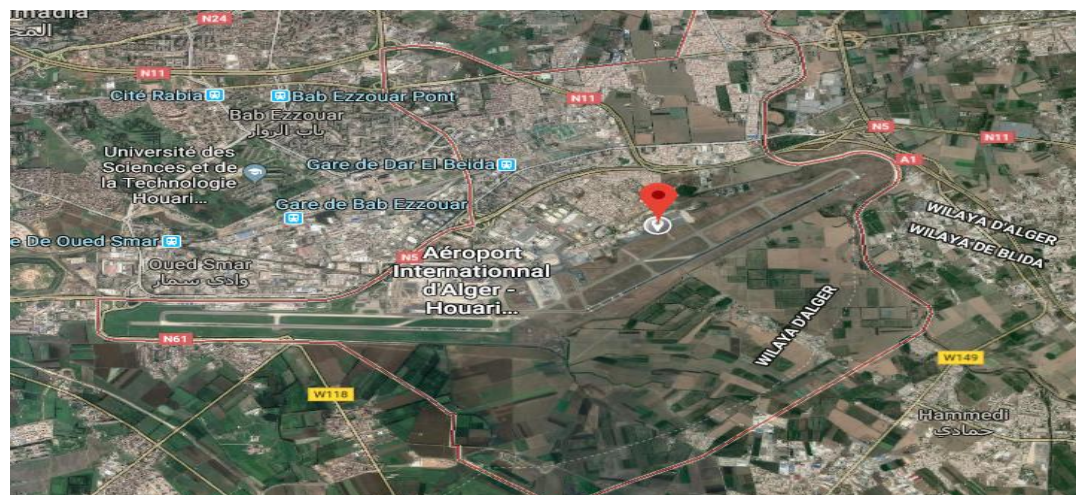


Figure I.3 : Localisation du site du projet.

I.4 REGLEMENTS UTILISE :

- CCM97 : Règles de calcul des constructions en acier.
- EUROCODE 3 : Calcul des structures en acier.
- DTR C2.2 : Document technique règlement charges permanentes et d'exploitation.
- RPA99 : Règles parasismiques algériennes version 2003.
- RNV-V2013 : Règles définissant les effets de la neige et du vent.

I.5 LOGICIELS UTILISES :

- Auto CAD 2016.
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

I.6 MATERIAUX :

I.6.1 L'acier de construction :

L'acier est un matériau obtenu par transformation qui associe le fer et le charbon dont le fer est l'élément prédominant entrant dans sa composition.

- La limite élastique : $f_y = 235$ MPa.
- La nuance d'acier : Fe360.
- La résistance à la traction : $f_u = 360$ MPa.
- La masse volumique : $\rho = 7850$ Kg/m³
- Module d'élasticité longitudinale : $E = 210000$ MPa.
- Module d'élasticité transversale : $G = 81000$ MPa.

I.6.2 Les assemblages :

Les principaux modes d'assemblages sont

: I.6.2.1 Le boulonnage :

Le boulonnage est le moyen d'assemblage le plus utilisé en construction métallique du fait de sa facilité de mise en œuvre et des possibilités de réglage qu'il ménage sur site. Pour notre cas, on a utilisé les boulons de haute résistance (HR) pour les assemblages rigides des portiques auto stables. Ils comprennent une tige fileté, une tête hexagonale et un écrou en acier à très haute résistance.

I.6.2.2 Le soudage :

Le soudage est une opération qui consiste à joindre deux parties d'un même matériau avec un cordon de soudure constitué d'un métal d'apport, ce dernier sert de liant entre les deux pièces à assembler.

CHAPITRE II : EVALUATION DES CHARGES

II.1 INTRODUCTION

Ce présent chapitre fournit les principes généraux et procédures pour la détermination des différentes charges et surcharges appliquées sur une structure. Cette évaluation constitue l'étape fondamentale à partir de laquelle le dimensionnement des différents éléments de la structure commence. Ces charges sont définies par l'ensemble suivant :

- Le poids propre de la structure (éléments porteurs et secondaires).
- Les charges utiles dans la structure (selon la destination de l'ouvrage).
- Les actions climatiques (Neige et Vent).
- Les actions accidentelles (séisme, chocs, ...).

II.2 CHARGES PERMANENTES

. Les efforts permanents sollicitant la structure sont le poids mort des éléments structuraux, ils sont donnés dans les documents techniques fournis par le fournisseur.

- Panneau sandwich (TR35) $G=18 \text{ daN/m}^2$

II.3 SURCHARGES D'EXPLOITATION DE LA TOITURE

Les surcharges d'exploitation sont déterminées suivant le document technique réglementaire charges et surcharges d'exploitations (D.T.R-B.C-2.2).

Pour la toiture, sans accès autre que le nettoyage et l'entretien nécessaires, on affecte des charges ponctuelles de 1kN au 1/3 et 2/3 de la portée.

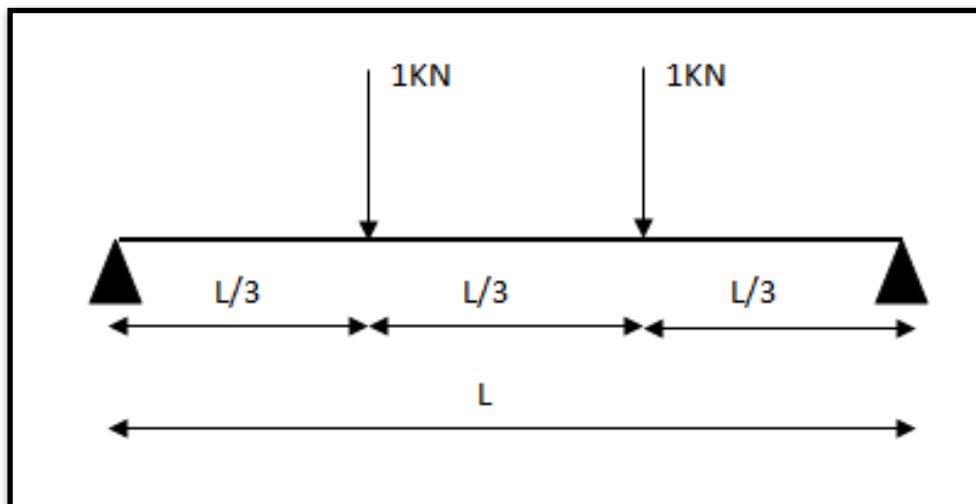


Figure II. 1 : Charge d'entretien sur toiture

II.4 SURCHARGES CLIMATIQUES

II.4.1 Neige

Le calcul des charges de neige se fait conformément à la réglementation « **Règlement Neige et Vent** » (RNV 99/ V 2013) [1]. La charge caractéristique de la neige par unité de surface est donnée par la formule suivante.

$$S = \mu \times S_k \text{ (KN/m}^2\text{)}$$

Avec :

- **S** : Charge caractéristique de la neige par unité de surface
- **μ** : Coefficient d'ajustement des charges
- **s_k** : Charge de neige sur le sol

II.4.1.1 Valeur caractéristique de la neige s_k

La structure se trouve dans la wilaya d'Alger (Dar El Bida), classée en **Zone B** dont l'altitude est de **17 m**.

$$s_k = \frac{0,4H+10}{100} = \frac{0,4 \times 17 + 10}{100} = S_k = 106,8 \text{ N/m}^2$$

Notre cas : $\alpha = 1,6^\circ$

Coefficient de forme toiture à un versant $\mu = 0,8$

$$S = 0,8 \times 106,8 \longrightarrow S = 85,44 \text{ N/m}^2$$

II.4.2 Surcharge du vent

Les effets du vent sont étudiés conformément à la réglementation «**Règlement neige et vent**» (RNV99/V 2013) [1]. L'effet du vent par unité de surface est donné par la formule suivante :

$$q_j = q_{dyn} \cdot C_d \cdot C_{p \text{ nette}} \text{ [N/m}^2\text{]}$$

Avec :

- **q_{dyn}** : Pression dynamique du vent
- **C_d** : Coefficient dynamique
- **$C_{p \text{ nette}}$** : Coefficient de pression

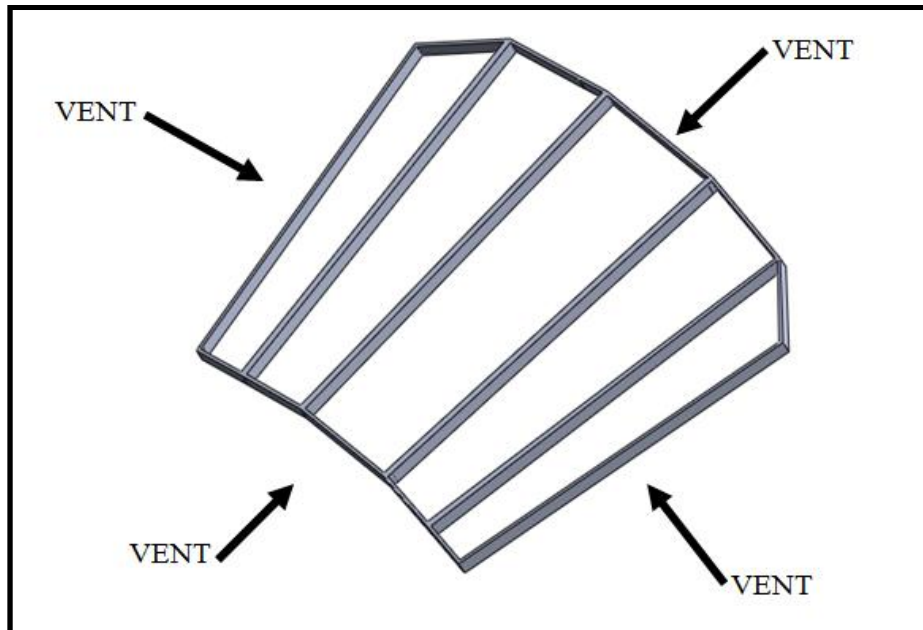


Figure II.2 : Directions du vent sur la toiture

II.4.2.1 Données relatives au site

Le site du projet se trouve à Dar El-Beida wilaya d’Alger.

- Zone de vent I : $q_{ref} = 37,5 \text{ daN/m}^2$

Tableau II. 1 : Définition des catégories de terrain (RNV99 V2013)

	K_T	$Z_0(m)$	$Z_{min} (m)$	E
Catégorie I	0,17	0,01	1	0.44

Catégorie de terrain I : lacs ou zone plate et horizontal à végétation négligeable et libre de tous obstacles.

II.4.2.2 Pression dynamique q_p

$$q_p (Z_j) = q_{ref} \times C_e(Z_e) \text{ [N/m}^2\text{]}$$

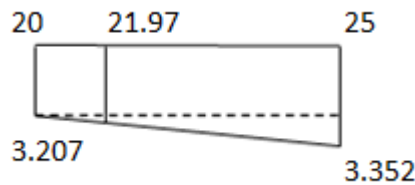
Avec :

- q_{ref} : La pression dynamique de référence pour les constructions permanentes, donnée en fonction de la zone du vent
- C_e : Coefficient d’exposition au vent, en fonction du coefficient de rugosité (C_r), et du coefficient de topographie (C_t)
- Z_e : hauteur de référence :
- $Z_e = 21.97 \text{ m}$ pour la toiture

II.4.2.3 Coefficient d'exposition (Ce)

Le coefficient d'exposition au vent $C_e(Z)$ tient compte des effets de la rugosité du terrain, de la topographie du site et la hauteur au-dessus du sol. En outre, il tient de la nature turbulente du vent.

Dans ce cas où $C_t(Z) = 1$ le coefficient d'exposition $C_e(Z)$ est donné par le tableau 2.3 (RNV99 V2013)



$$\frac{1.97}{5} = \frac{x}{0.145} \longrightarrow x=0.05713$$

$$C_e(Z) = 3.207 + 0.05713 = 3.26413$$

II.4.2.4 Calcul de la Pression dynamique $q_p(Z_e)$

La pression dynamique de point $q_p(Z_e)$, à la hauteur de référence Z_e est donné par :

$$q_p(Z_e) = q_{réf} \times C_e(Z)$$

$$q_p(Z_e) = 375 \times 3.26413 = 1224.05 \text{ N/m}^2$$

II.4.2.5 Coefficient de pressions locales $C_{p_{nette}}$

Le coefficient de pression nette ou résultante $C_{p_{nette}}$ qui donne l'effet résultant du vent par unité d'aire sur une construction, un élément de construction ou un composant.

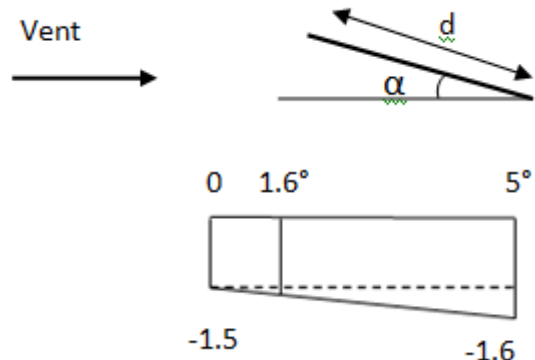
$$\alpha = 1.6^\circ$$

$\phi = 1$ pour les constructions fermés

Calcul de dépression

- Zone t : ?? $0 < \alpha < 5^\circ$

$$\frac{1.6}{5} = \frac{x}{-0.1} \longrightarrow x = \frac{1.6 \times (-0.1)}{5} = -0.032$$



Zone t : $-1.5-0.032=-1.532$

- Zone r : ?? $0 < \alpha < 5^\circ$

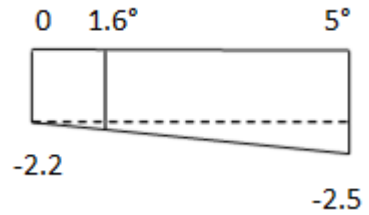
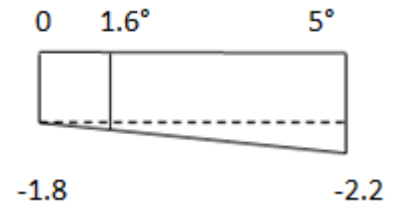
$$\frac{1.6}{5} = \frac{x}{-0.4} \longrightarrow x = \frac{1.6x(-0.4)}{5} = -0.128$$

Zone r = $-1.8-0.128=-1.928$

- Zone u : ?? $0 < \alpha < 5^\circ$

$$\frac{1.6}{5} = \frac{x}{-0.3} \longrightarrow x = \frac{1.6x(-0.3)}{5} = -0.096$$

Zone u : $-2.2 -0.096 = -2.296$



Calcul de surpression

- Zone t : ?? $0 < \alpha < 5^\circ$

$$\frac{1.6}{5} = \frac{x}{0.3} \longrightarrow x = \frac{1.6x(0.3)}{5} = 0.096$$

t = $0.5 + 0.096 = 0.596$

- Zone r : ?? $0 < \alpha < 5^\circ$

$$\frac{1.6}{5} = \frac{x}{0.3} \longrightarrow x = \frac{1.6x(0.3)}{5} = 0.096$$

r = $1.8 + 0.096 = 1.896$

- Zone u : ?? $0 < \alpha < 5^\circ$

$$\frac{1.6}{5} = \frac{x}{0.2} \longrightarrow x = \frac{1.6x(0.2)}{5} = 0.064$$

U = $1.1 + 0.064 = 1.164$

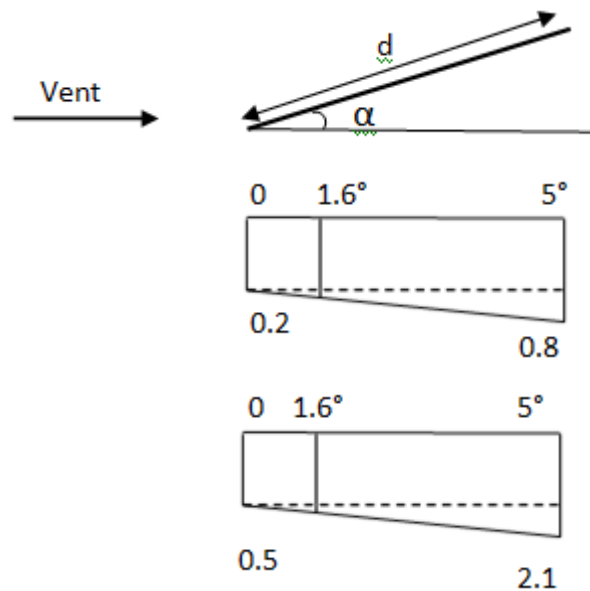


Tableau II. 2 valeurs de $C_{p_{nette}}$ par Zone suivant α

$\alpha = 1.6^\circ$	Zone u	Zone r	Zone t
Dépression	-2.296	-1.928	-1.532
Surpression	1.164	1.896	0.596

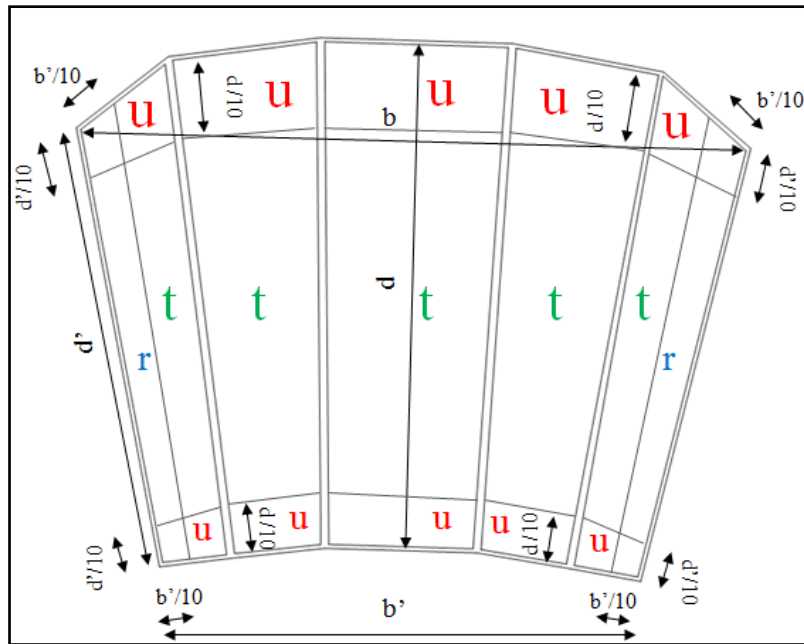


Figure II-3 Zones de $C_{p_{nette}}$ suivant α

- $b = 33.25\text{m}$; $b/10 = 3.35\text{m}$
- $b' = 23.437\text{m}$; $b'/10 = 2.35\text{m}$
- $d = 24.71\text{m}$; $d/10 = 2.47\text{m}$
- $d' = 22.32\text{m}$; $d'/10 = 2.23\text{m}$

Avec :

- **b** : la dimension perpendiculaire à la direction du vent.
- **d** : la dimension parallèle à la direction du vent.

α' : l'angle qui varie entre α_1 et α_2

$$h_1 = 21.970 - 20.458 = 1.512 \text{ m}$$

$$L_{1_{\text{Panne}}} = 3.559$$

$$h_2 = 21.255 - 19.515 = 1.740 \text{ m}$$

$$L_{2_{\text{Panne}}} = 4.920$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{h_1}{L_1} = \frac{1.512}{3.559} = 0.4248$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{h_2}{L_2} = \frac{1.740}{4.920} = 0.3536$$

$$\alpha_1 = 25.138^\circ ; \alpha_2 = 20.707^\circ$$

Tableau II. 3 Valeurs de $C_{p_{nette}}$ pour l'angle α_1 (RNV99 V2013)

$\alpha_1 = 25^\circ$	Zone u	Zone r	Zone t
Dépression	-2.8	-2.5	-1.5
Surpression	2.3	3.1	2.1

Tableau II. 4 Valeurs de C_p pour l'angle α_2 (RNV99 V2013)

$\alpha_2 = 20^\circ$	Zone u	Zone r	Zone t
Dépression	-3.0	-2.9	-1.6
Surpression	2.1	2.9	1.7

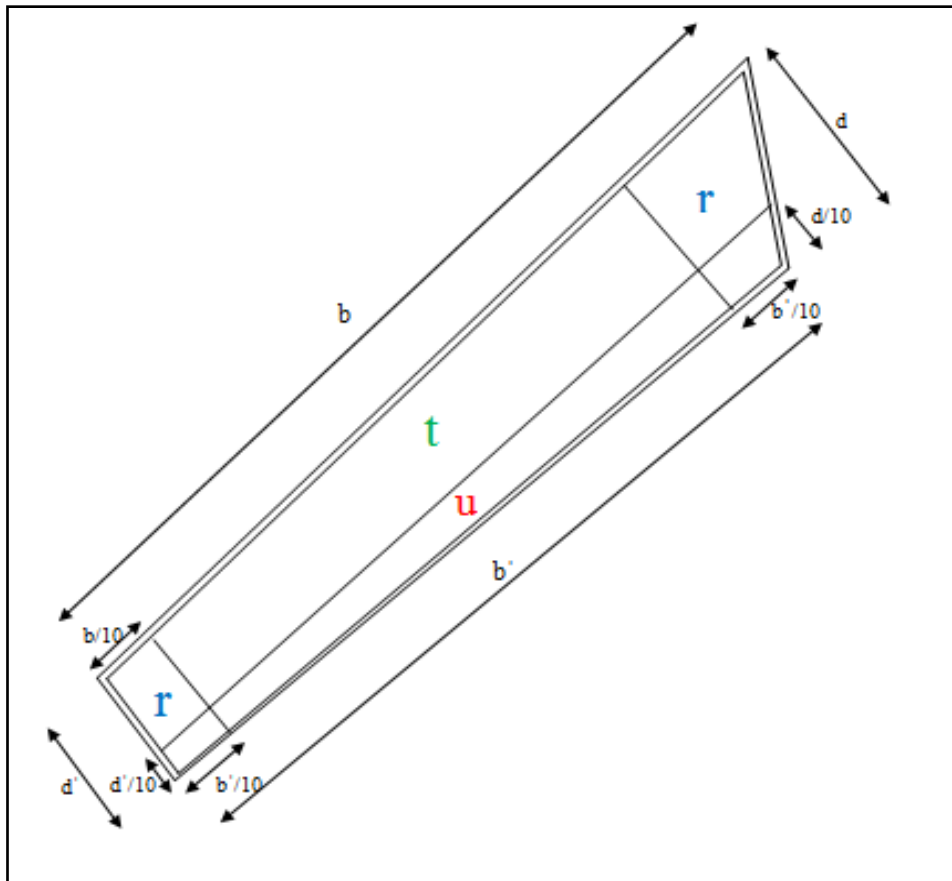


Figure II-4 Zones de $C_{p_{nette}}$ suivant α'

$b = 25,52 \text{ m}$

$b/10=2,55\text{m}$

$b'=22,32 \text{ m}$

$b'/10=2,23\text{m}$

$d = 4,92 \text{ m}$

$d/10=0,5\text{m}$

$d'= 3,56 \text{ m}$

$d'/10=0,35\text{m}$

Avec :

- **b** : la dimension perpendiculaire à la direction du vent.
- **d** : la dimension parallèle à la direction du vent.

II.4.2.6 Valeur de pression due au vent

Après avoir défini tout ces coefficient, on peut calculer la pression due au vent.

Tableau II.5 Pression du vent sur la toiture suivant α

$\alpha = 1.6^\circ$	Zone	Cp nette	$q_r (z)$	U (z) N/m ²
Dépression	t	1.164	1224.04	1424.792
	r	1.896	1224.04	2320.796
	u	0.596	1224.04	729.533
Sur pression	t	-2.296	1224.04	-2810.415
	r	-1.928	1224.04	-2359.965
	u	-1.532	1224.04	-1875.242

Tableau II. 6 Pression du vent sur la toiture suivant α_1

$\alpha_1 = 25.138^\circ$	Zone	Cp nette	$q_r (z)$	U (z) N/m ²
Dépression	t	-1.6	1224.0448	1958.47
	r	-2.9	1224.0448	3549.7392
	u	-3	1224.0448	3672.144
Sur pression	t	1.7	1224.0448	2080.8816
	r	2.9	1224.0448	3549.7392
	u	2.1	1224.0448	2570.5008

Tableau II. 7 Pression du vent sur la toiture suivant α_2

$\alpha_2 = 20.707^\circ$	Zone	Cp nette	$q_r (z)$	U (z) N/m ²
Dépression	t	2.0	1224.0448	2448.096
	r	3.1	1224.0448	3794.5498
	u	2.3	1224.0448	2815.3104
Sur pression	t	-1.5	1224.0448	1836.072
	r	-2.5	1224.0448	3060.12
	u	-2.8	1224.0448	3427.334

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons fourni les principes généraux et procédure pour déterminer les charges agissantes sur la structure étudiée (charges permanentes, surcharges d'exploitations et surcharges climatiques). Le résultats trouver seront utilisés dans les chapitres prochains.

Chapitre III : Dimensionnement des éléments secondaires

III.1 CALCUL DU CHÉNEAU

Le chéneau est une conduite généralement en métal qui collecte les eaux pluviales à la base de la toiture ou entre deux versants pour permettre l'évacuation vers les tuyaux de descente.

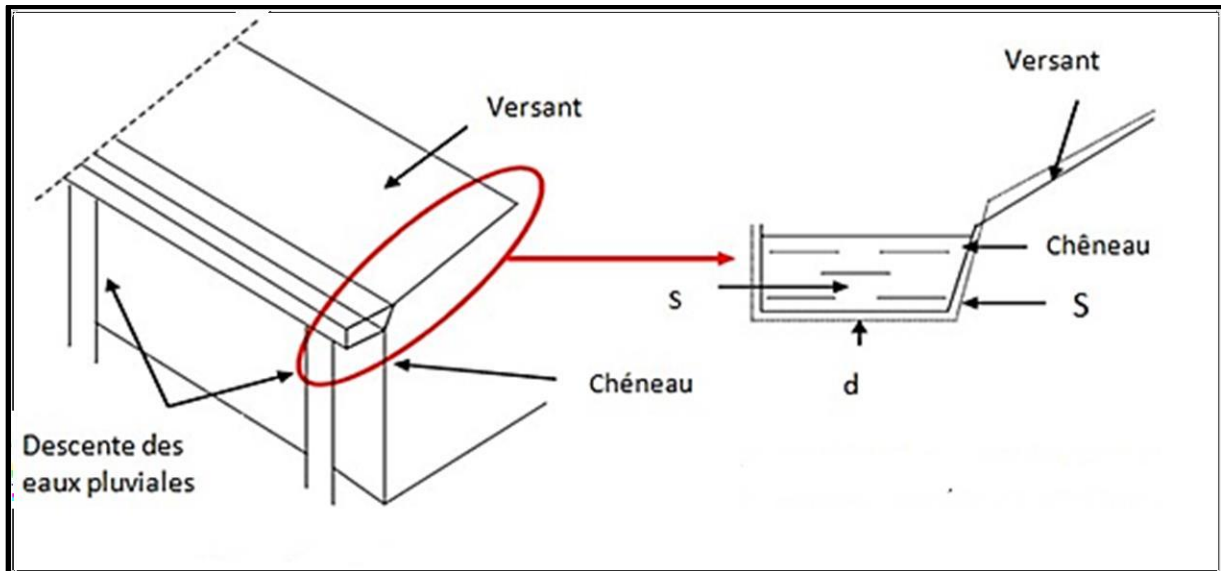


Figure III. 1 : Le chéneau d'eau

III.1.1 Calcul de la section et du diamètre du chéneau

$$S_{\text{versant}} = 15 \times 45 = 675 \text{ m}^2$$

$$\text{Pente} = 2\text{mm/m}$$

A partir des abaques :

$$\begin{cases} S_{\text{chéneau}} = 680 \text{ cm}^2 \\ d = 30 \text{ cm} \end{cases}$$

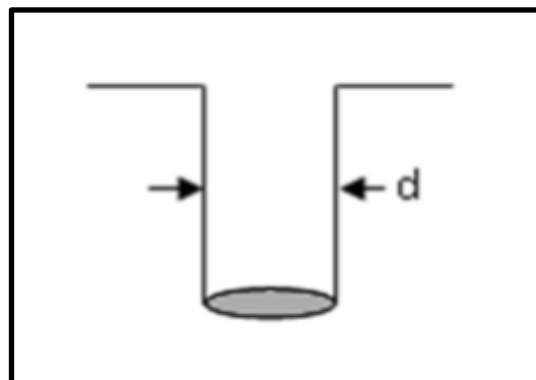


Figure III. 2 : Moignon cylindrique

III.2 CARACTERISTIQUES DE LA TOLE DE COUVERTURE

La couverture est en tôle nervurée type TR35, de longueur 6m et de largeur 1,035 m. Elle sera disposée de manière à utiliser son module de résistance maximale, (I/V) max.

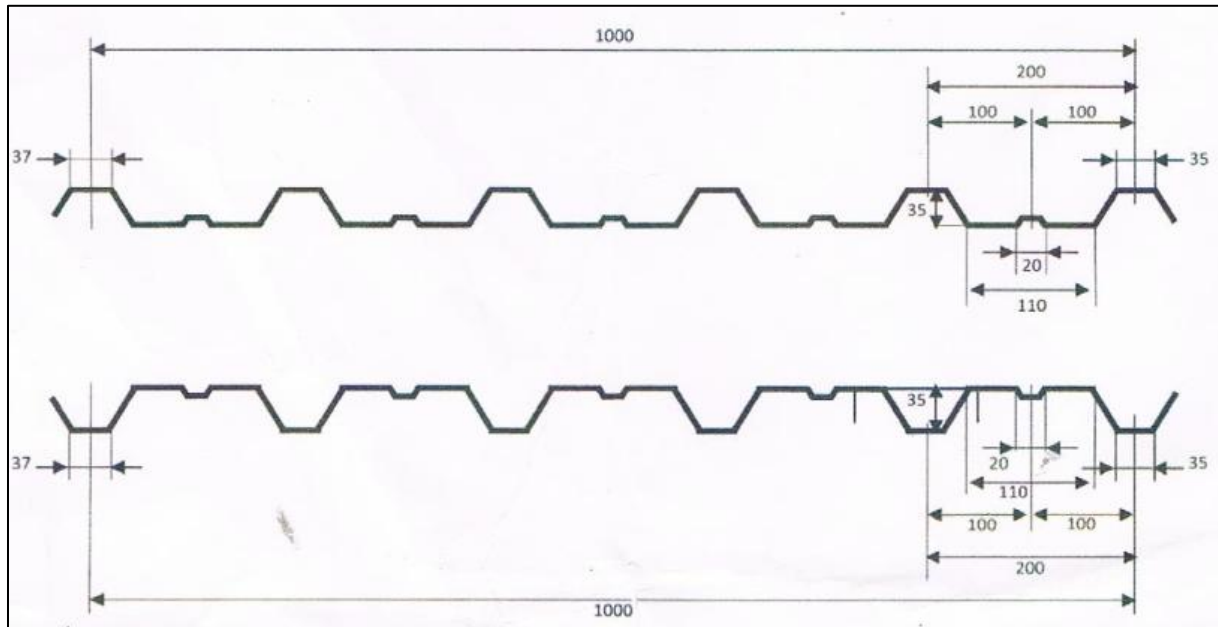


Figure III. 3 : Tôle nervurée

- | | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| • Poids propre (TR35 10/10ème) | $P = 9,81 \text{ daN/m}^2$ |
| • Contrainte de rupture | $f_u = 400 \text{ N/mm}^2$ |
| • Contrainte élastique | $f_y = 160 \text{ N/mm}^2$ |
| • Flèche admissible | $\delta_{\max} = 1/200$ |
| • Module de résistance | $w = 8,83 \text{ cm}^3/\text{ml}$ |
| • Moment d'inertie | $I = 26,75 \text{ cm}^4/\text{ml}$ |

III.3 CALCUL DES PANNES DE COUVERTURE

Les pannes sont des poutres destinées à transmettre les charges et surcharges s'appliquant sur la couverture à la traverse ou bien à la ferme. En outre, elles peuvent agir comme éléments comprimés en tant que partie du système de contreventement et participent à la stabilisation vis-à-vis du déversement de la traverse.

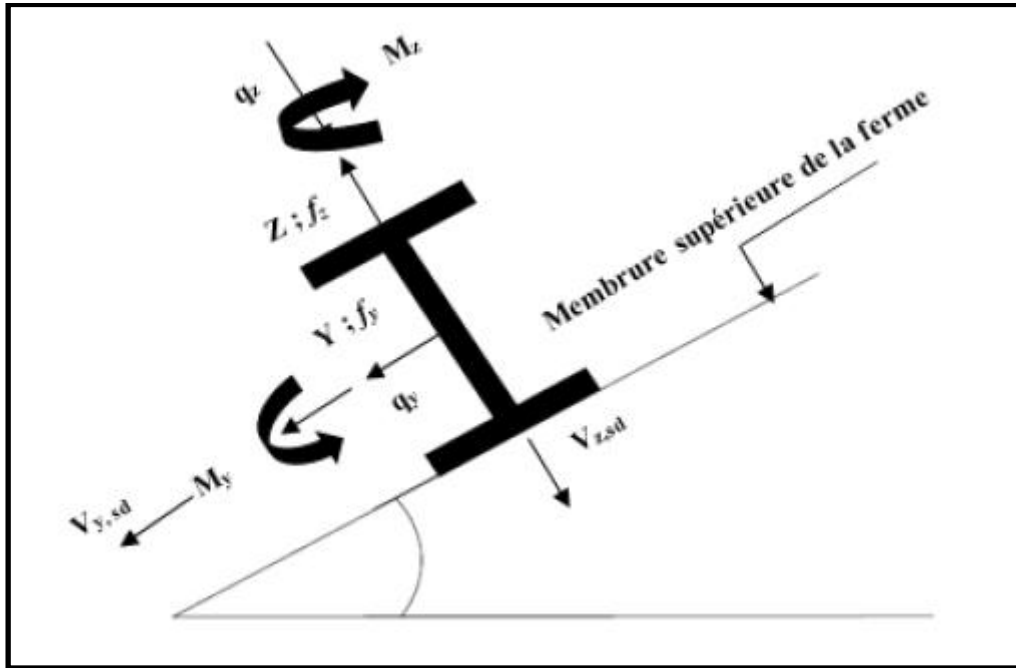


Figure III.4 : position de la panne sur le verséau et repérage des axes

III.3.1 Espacement entre pannes

L'espacement entre pannes est défini en fonction de la portée admissible de la couverture. On suppose un espacement moyen de 1,4 m.

III.3.2 Charges à prendre en considération

- **Charges permanentes** : Poids propre du panneau sandwich TR35 : $G = 9,82 \text{ daN/m}^2$
- **Poids propre de la panne (IPE 240)** : $G = 30,7 \text{ daN/ml}$
- **Charges d'entretien**: $Q = 100 \text{ daN}$
- **Action de la neige** : $S = 8,54 \text{ daN/m}^2$
- **Action du vent**: $V1 = -281,041 \text{ daN/m}^2$
- **Action du vent**: $V2 = 232,080 \text{ daN/m}^2$

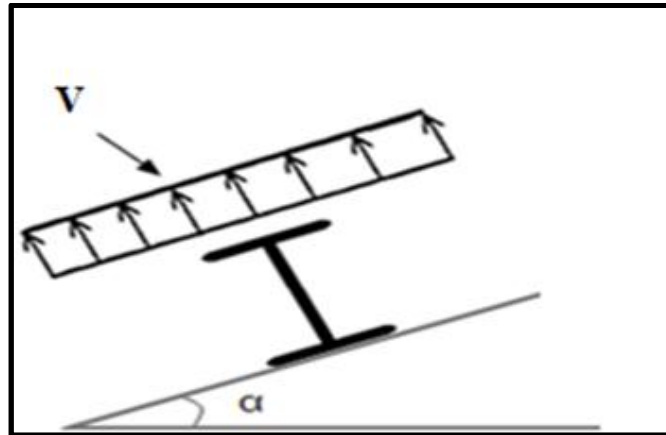


Figure III 5 : Cas de l'effet du vent

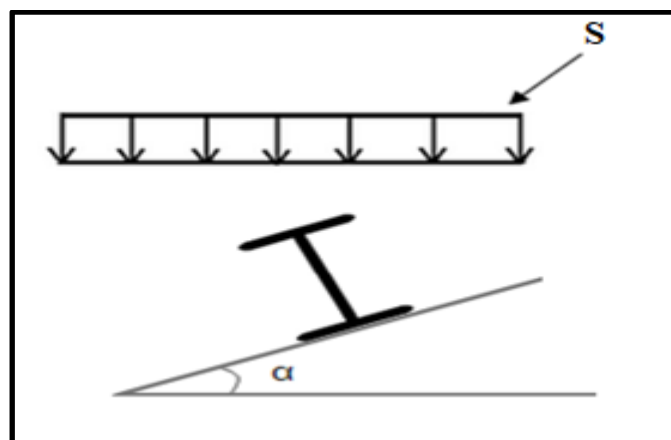


Figure III 6 : Cas de l'effet de neige

III.3.3 Moment maximum pour une poutre continue sur 5 appuis simples

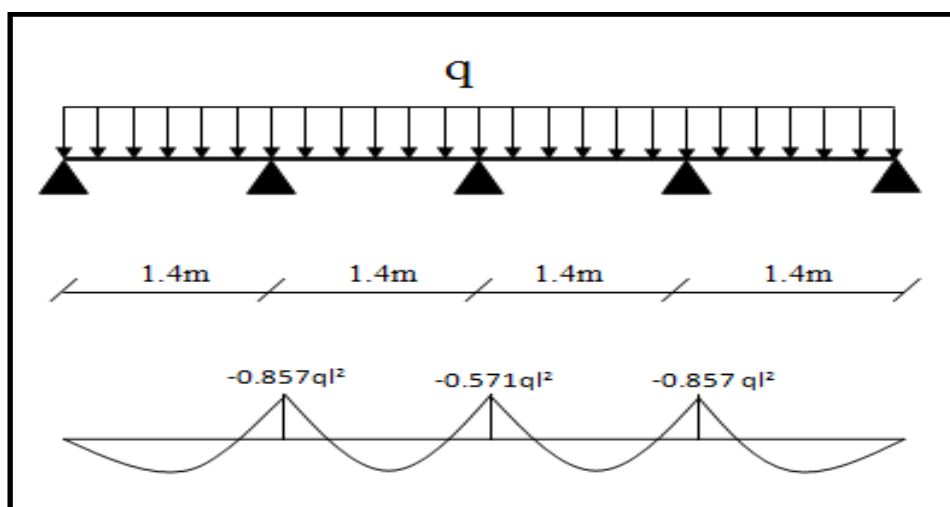


Figure III 7 : Diagramme des moments fléchissant au niveau de la couverture

Le moment maximum est déterminé par le logiciel SAP2000. Le diagramme résultant des moments fléchissant est montré ci-dessus en Figure III 7

$$M_{\max} = 0,107ql^2$$

$q = 1,35.G + 1,5.V_1 = 1,35(9,81 \times 1,40) + 1,5(-281,041 \times 1,40) = 571,65 \text{ daN/ml}$ (combinaison la plus défavorable)

L : espacement entre pannes , L=1,40 m

III.3.4 Calcul de l'espacement

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq f_y \longrightarrow M_{\max} < f_y \times w$$

$$\longrightarrow 0,107ql^2 < f_y \times w$$

Avec : $\begin{cases} w \text{ (module de résistance)} \\ W = 8,1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{ml} \end{cases}$

$$\longrightarrow l \leq \sqrt{\frac{f_y \times w}{0,107 \times q}} \longrightarrow l \leq \sqrt{\frac{235 \times 10^3 \times 8,83 \times 10^{-6}}{0,107 \times 5,72}} = 1,84$$

On prend : $l = 1,40 \text{ m}$

III.3.5 Dimensionnement des pannes

Espacement entre pannes : e=1,4 m

$$\left\{ \begin{array}{l} G = 9,82 \times 1,4 = 13,75 \text{ daN/m} \\ S = 8,54 \times 1,4 = 11,96 \text{ daN/m} \\ W_2 = -2810,41 \times 1,4 = -393,46 \text{ daN/m} \\ W_1 = 2320,8 \times 1,4 = 324,912 \text{ daN/m} \end{array} \right.$$

Couverture $\begin{cases} gc \cdot \cos\alpha = 13,75 \times \cos(1,6) = 13,74 \text{ daN/ml} \\ gc \cdot \sin\alpha = 13,75 \times \sin(1,6) = 0,38 \text{ daN/ml} \end{cases}$

panne (IPE 240) $\begin{cases} gp \cdot \cos\alpha = 30,7 \times \cos(1,6) = 30,69 \text{ daN/ml} \\ gp \cdot \sin\alpha = 30,7 \times \sin(1,6) = 0,86 \text{ daN/ml} \end{cases}$

Neige $\begin{cases} S \cdot \cos\alpha = 8,54 \times \cos(1,6) = 11,96 \text{ daN/ml} \\ S \cdot \sin\alpha = 8,54 \times \sin(1,6) = 0,33 \text{ daN/ml} \end{cases}$

Vent $\begin{cases} W_z = -393,46 \text{ daN/ml} \\ W_y = 0 \end{cases}$

$$\begin{cases} W_z = 324,912 \text{ daN/ml} \\ W_y = 0 \end{cases}$$

$$\text{Charge d'entretien} \begin{cases} Q \cdot \cos\alpha = 100 \times \cos(1,6) = 99,97 \text{ daN} \\ Q \cdot \sin\alpha = 100 \times \sin(1,6) = 2,79 \text{ daN} \end{cases}$$

III.3.6 Calcul des efforts internes

- **ELU**

1^{er} cas : Risque de charge d'entretien et de maintenance

Plan z-z:

$$\begin{cases} q_{y1} = 1,35 \times G = 1,35 \times (0,38 + 0,86) = 1,67 \text{ daN/ml} \\ q_{y2} = 1,5 \times Q = 1,5 \times (2,79) = 4,16 \text{ daN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{z,sd1} = \frac{q_y x l^2}{8} = \frac{1,67 \times 9,46^2}{8} = 18,72 \text{ daN.m} \\ M_{z,sd2} = \frac{q_y x l}{3} = \frac{4,16 \times 9,46}{3} = 13,20 \text{ daN.m} \end{cases}$$

$$\longrightarrow M_{z,sd} = M_{z,sd1} + M_{z,sd2} = 18,72 + 13,20 = 31,92 \text{ daN.m}$$

Plan y-y

$$\begin{cases} q_{z1} = 1,35 \times G = 1,35 \times (30,69 + 13,74) = 59,98 \text{ daN/ml} \\ q_{z2} = 1,5 \times Q = 1,5 \times (99,97) = 149,96 \text{ daN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{y,sd1} = \frac{q_z x l^2}{8} = \frac{59,98 \times 9,46^2}{8} = 670,96 \text{ daN.m} \\ M_{y,sd2} = \frac{q_z x l}{3} = \frac{149,96 \times 9,46}{3} = 472,87 \text{ daN.m} \end{cases}$$

$$\longrightarrow M_{y,sd} = M_{y,sd1} + M_{y,sd2} = 670,96 + 472,87 = 1143,83 \text{ daN.m}$$

2^{ème} cas: Risque de charge de neige

Plan z-z

$$q_y = 1,35 \times G + 1,5 \times S = 1,35 \times (0,86+0,38) + 1,5 \times (0,33) = 2,17 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{z,sd} = \frac{q_y \times l^2}{8} = \frac{2,17 \times 9,46^2}{8} = 24,27 \text{ daN.m}$$

Plan y-y

$$q_z = 1,35 \times G + 1,5 \times S = 1,35 \times (30,69 + 13,74) + 1,5 \times (11,96) = 77,92 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{y,sd} = \frac{q_z \times l^2}{8} = \frac{77,92 \times 9,46^2}{8} = 871,65 \text{ daN.m}$$

3^{ème} cas : Risque de charge du vent**a- Surpression :**Plan z-z

$$q_y = 1,35 \times G + 1,5 \times W_1 = 1,35 \times (0,86+0,38) + 1,5 \times (0) = 1,67 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{z,sd} = \frac{q_y \times l^2}{8} = \frac{1,67 \times 9,46^2}{8} = 18,68 \text{ daN.m}$$

Plan y-y

$$q_z = 1,35 \times G + 1,5 \times W_1 = 1,35 \times (30,69+13,74) + 1,5 \times (324,912) = 547,35 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{y,sd} = \frac{q_z \times l^2}{8} = \frac{547,35 \times 9,46^2}{8} = 6122,90 \text{ daN.m}$$

b-Dépression :Plan z-z

$$q_y = 1,35 \times G + 1,5 \times W_2 = 1,35 \times (0,86+0,38) + 1,5 \times (0) = 1,67 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{z,sd} = \frac{q_y \times l^2}{8} = \frac{1,67 \times 9,46^2}{8} = 18,68 \text{ daN.m}$$

Plan y-y

$$q_z = 1,35 \times G + 1,5 \times W_2 = 1,35 \times (30,69+13,74) + 1,5 \times (-393,46) = -530,21 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{y,sd} = \frac{q_z \times l^2}{8} = \frac{-530,21 \times 9,46^2}{8} = -5931,17 \text{ daN.m}$$

• **ELS**

1^{er} cas de risque : charge d'entretien et de maintenance

Plan z-z:

$$\begin{cases} q_{y1} = G = 0,38 + 0,86 = 1,24 \text{ daN/ml} \\ q_{y2} = Q = 2,79 \text{ daN/ml} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{z,sd1} = \frac{qy \times l^2}{8} = \frac{1,24 \times 9,46^2}{8} = 13,87 \text{ daN.m} \\ M_{z,sd2} = \frac{qy \times l}{3} = \frac{2,79 \times 9,46}{3} = 8,8 \text{ daN.m} \end{cases}$$

$$\longrightarrow M_{z,sd} = M_{z,sd1} + M_{z,sd2} = 13,87 + 8,8 = 22,67 \text{ daN.m}$$

Plan y-y

$$\begin{cases} q_{z1}=G = 30,69 + 13,74 = 44,43 \text{ daN/ml} \\ q_{z2} = Q = 99,97 \text{ daN/ml} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{y,sd1} = \frac{qz \times l^2}{8} = \frac{44,43 \times 9,46^2}{8} = 497,01 \text{ daN.m} \\ M_{y,sd2} = \frac{qz \times l}{3} = \frac{99,97 \times 9,46}{3} = 315,24 \text{ daN.m} \end{cases}$$

Donc:

$$M_{y,sd} = M_{y,sd1} + M_{y,sd2} = 497,01 + 315,24 = 812,25 \text{ daN.m}$$

2^{ème} cas : Risque de la neige

Plan z-z

$$q_y = G + S = (0,86 + 0,38) + 0,33 = 1,57 \text{ daN/m}$$

$$\longrightarrow M_{z, sd} = \frac{qy \times l^2}{8} = \frac{1,57 \times 9,46^2}{8} = 17,56 \text{ daN.m}$$

Plan y-y

$$q_z = G + S = (30,69 + 13,74) + (11,96) = 56,39 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{y, sd} = \frac{qz \times l^2}{8} = \frac{56,39 \times 9,46^2}{8} = 630,80 \text{ daN.m}$$

3^{ème} cas : Risque du vent

a-surpression

Plan y-y

$$q_z = G + W1 = (30,69+13,74) + (324,912) = 369,342 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{y, sd} = \frac{qz \times l^2}{8} = \frac{369,34 \times 9,46^2}{8} = 4131,60 \text{ daN.m}$$

Plan z-z

$$q_y = G + W1 = (0,86+0,38) = 1,24 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{z, sd} = \frac{qy \times l^2}{8} = \frac{1,24 \times 9,46^2}{8} = 13,87 \text{ daN.m}$$

b-Dépression

Plan y-y

$$q_z = G + W2 = (30,69+13,74) + (-393,46) = -349,03 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{y, sd} = \frac{qz \times l^2}{8} = \frac{-349,03 \times 9,46^2}{8} = -3904,41 \text{ daN.m}$$

Plan z-z

$$q_y = G + W2 = (0,86+0,38) = 1,24 \text{ daN/ml}$$

$$\longrightarrow M_{z, sd} = \frac{qy \times l^2}{8} = \frac{1,24 \times 9,46^2}{8} = 13,87 \text{ daN.m}$$

III.4 Choix du profilé

Les vérifications suivantes sont imposées par le **CCM 97** afin de dimensionner les pannes.

Tableau III -1 : Caractéristiques du profilé IPE240

Profil	Poids	Section	Dimensions					Caractéristiques					
	P	A	H	b	t _f	t _w	d	I _y	I _z	W _{pl-y}	W _{pl-z}	i _y	i _z
	Kg/m	cm ²	Mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm
IPE240	30,7	39,1	240	120	9,8	6,2	190,4	3892	283,6	366,6	73,92	9,97	2,69

III.4.1 Condition de flèche (ELS)Plan (y-y)

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

$$\delta = \frac{5 \times q_{sy} \times L_y^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{5 \times 1,57 \times 945,9^4}{384 \times 21,10^5 \times 283,6} = 0,27 \text{ cm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L_y}{200} = \frac{945,9}{200} = 4,73 \text{ cm}$$

$$0,27 \text{ cm} < 4,73 \text{ cm} \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Plan (z-z)

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

$$\delta = \frac{5 \times q_{sz} \times L_z^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times (369,342 \times 10 \times 945,9^4)}{384 \times 21 \times 10^5 \times 3892} = 4,71 \text{ cm}$$

$$\delta_{\max} = \frac{L_z}{200} = \frac{945,9}{200} = 4,73 \text{ cm}$$

$$4,71 \text{ cm} < 4,73 \text{ cm} \longrightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} = 4,71 \text{ cm} < l/200$$

III.4.2 Classe du profilé IPE 240**III.4.3 Classe de l'âme fléchie**

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \varepsilon$$

$$\text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{190,4}{6,2} \leq 72 \sqrt{\frac{235}{235}} = 30,65 < 72 \rightarrow \text{L'âme est de classe I}$$

III.4.4 Classe de la semelle comprimée

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10 \varepsilon \longrightarrow \frac{120}{2 \times 9,8} = 6,12 \leq 10 \rightarrow \text{La semelle est de classe I}$$

La section globale du profilé en **IPE 240** de chemin de roulement est de **classe I**

III.4.5 Vérification des contraintes

Les pannes travaillant en flexion déviée, il faut que l'équation suivante soit vérifiée :

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{ny,rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{nz,rd}}\right)^\beta \leq 1$$

Avec $\begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 1 \end{cases}$ (profilé en I, classe 1)

$$\begin{cases} M_{z,sd} = 31,92 \text{ daN/m} \\ M_{y,sd} = 6122,90 \text{ daN/m} \end{cases}$$

$$\left(\frac{612290 \times 1,1}{366,6 \times 235 \times 10}\right)^2 + \left(\frac{3192 \times 1,1}{47,24 \times 235 \times 10}\right)^1 = 0,64 \leq 1 \text{ Condition vérifiée}$$

Donc, les pannes en **IPE240** vérifient les contraintes de la flexion déviée.

III.4.6 Résistance de la panne au déversement

Le déversement est un phénomène d'instabilité qui se manifeste par une déformation latérale des parties comprimées de la section de la panne sous l'action du vent en soulèvement.

Le moment résistant au déversement est donné par la relation suivante :

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

- $\beta_w = 1$ (Section de classe 1)
- $W_{ply} = 366.6 \text{ cm}^3$
- $f_y = 235 \times 10^2 \text{ N/cm}^2$
- $\gamma = 1.1$
- χ_{LT} (le facteur de réduction pour le déversement)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

Avec :

$$\begin{cases} \phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] \\ \alpha_{LT} = 0,21 \text{ Pour les profilés laminés} \end{cases}$$

$$\lambda_{LT} = \frac{L \cdot \left[\frac{W_{ply}^2}{I_z I_w} \right]^{0,25}}{C_1^{0,5} \left[1 + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_w} \right]^{0,25}}$$

- C_1 : Facteur dépendant de condition de charge et d'encastrement $C_1 = 1,132$
- $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{21.10^4}{2(1+0,3)} = 8,08 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$
- I_t : Moment d'inertie de torsion = $12,88 \text{ cm}^4$
- I_w : Moment d'inertie de gauchissement = $37,39 \times 10^{-3} \text{ cm}^6$
- I_z : Moment d'inertie de flexion = $283,6 \text{ cm}^4$ (suivant l'axe faible d'inertie)

$$\lambda_{LT} = \frac{945 \cdot \left[\frac{366,6^2}{283,6 \times 37,39 \cdot 10^3} \right]^{0,25}}{(1,132)^{0,5} \left[1 + \frac{945^2 \times 8,08 \cdot 10^6 \times 12,88}{\pi^2 \times 2,1 \cdot 10^7 \times 37,39 \cdot 10^3} \right]^{0,25}} = 89,91$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \left[\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \times \sqrt{\beta_w}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \left[\frac{89,91}{93,9} \right] \times \sqrt{1} = 0,96$$

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + 0,21 \times (0,96 - 0,2) + 0,96^2] = 1,0406$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{(1,04 + \sqrt{1,04^2 - 0,96^2})} = 0,69$$

$$M_{b,rd} = \frac{0,69 \times 1 \times 366,6 \times 235 \cdot 10^2}{1,1} = 5427,513 \text{ daN.m}$$

$$M_{y,sd} = 871,38 \text{ daN.m} \leq M_{brd} = 5427,513 \text{ daN.m} \text{ Condition vérifiée}$$

Donc la stabilité au déversement est assurée.

III.4.7 Résistance au voilement par cisaillement

Si $\frac{d}{t_w} \leq 60\varepsilon$ alors il n'est pas nécessaire de vérifier le voilement par cisaillement.

$$\text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\text{On a : } \frac{d}{t_w} = \frac{190,4}{6,2} = 30,71 \leq 60$$

Donc, il n'est pas nécessaire de vérifier le voilement par cisaillement.

III.4.8 Stabilité au flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme

La stabilité au flambement sera vérifiée si la condition suivante est vérifiée :

$$\frac{d}{t_w} \leq K \times \frac{E}{f_{yt}} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

Avec :

$$A_w = t_w \times (h - 2 t_f) = 6,2 \times (240 - 2 \times 9,8) = 1366,48 \text{ mm}^2 \text{ (aire de l'âme)}$$

$$A_{fc} = b \cdot t_f = 120 \times 9,8 = 1176 \text{ mm}^2 \text{ (aire de la semelle comprimée)}$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2 \text{ (limite d'élasticité de la semelle comprimée)}$$

$$E = 21 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2 \text{ (module d'élasticité)}$$

K = Coefficient pris égal à 0,3 (semelle de classe I)

$$\text{A N: } \left\{ \begin{array}{l} K \times \frac{E}{f_{yt}} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0,3 \times \frac{21 \times 10^4}{235} \times \sqrt{\frac{1366,48}{1176}} = 288,98 \\ \frac{d}{t_w} = \frac{190,4}{6,2} = 30,71 < 294,36 \end{array} \right. \quad \text{Condition vérifiée}$$

Conclusion

La section en IPE 240 assure une bonne résistance vis-à-vis des différents cas d'instabilité donc, il est convenable pour les pannes de notre structure.

CHAPITRE IV : ETUDE SISMIQUE

IV.1 INTRODUCTION

Le séisme est un phénomène naturel qui affecte la surface de la terre et qui produit des dégâts destructifs au niveau des constructions et par conséquent perte des vies humaines. Et donc notre but est de remédier à ce phénomène par la conception adéquate de l'ouvrage de façon à ce qu'il résiste et présente un degré de protection acceptable aux vies humains et aux biens matériels.

Pour cela l'application de règle parasismique actuelle "RPA99 version2003" concerne le calcul des charges sismiques et les dispositions constructives sont obligatoires pour toutes les constructions abritant des personnes, situées dans toutes les zones sauf 0.

C'est en général l'ingénieur du bureau d'études qui est chargé d'appliquer ces règles et de dimensionner les éléments en béton armé, acier, bois ou bien mixtes.

D'après le RPA la détermination de la réponse d'une structure et son dimensionnement peuvent se faire par trois méthodes de calcul

- Méthode statique équivalente.
- Méthode d'analyse spectrale.
- Méthode d'analyse dynamique par accélérographe.

Suivant la particularité de la structure de notre bâtiment, notre calcul se fera par la méthode d'analyse modale spectrale.

IV.2 PRINCIPE DE LA METHODE

Le principe de cette méthode réside dans la détermination des modes propres de vibrations de la structure et le maximum des effets engendrés par l'action sismique, celle-ci étant représentée par un spectre de réponse de calcul. Les modes propres dépendent de la masse de la structure, de l'amortissement et des forces d'inerties.

IV.3 CLASSIFICATION

IV.3.1 Classification des zones sismiques

Le territoire national est divisé en quatre zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune.

- ZONE 0 : sismicité négligeable
- ZONE I : sismicité faible
- ZONE IIa et IIb : sismicité moyenne
- ZONE III : sismicité élevée

Pour notre cas, et d'après la carte et le tableau cité précédemment : Alger se situe dans une zone de sismicité faible « ZONE III »

V.3.2 Classification de l’ouvrage

D’après le RPA99V2003 la de notre ouvrage est classée en Zone III groupe 1B. Et selon le rapport géotechnique relatif cet ouvrage on est en présence du sol meuble de catégorie S3.

IV.4 SPECTRE DE REPONSE DE CALCUL

L’action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant :

$$\frac{S_a}{g} \begin{cases} 1,25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2,5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 < T < T_1 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{Q}{R} - 1 \right) & T_1 < T < T_2 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_1 < T < 0,3 \\ 2,5\eta(1,25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 0,3 \end{cases}$$

Avec :

- **A** : coefficient d’accélération de zone, donné suivant la zone sismique et le groupe d’usage du bâtiment,
- **η** : facteur de correction d’amortissement, $\eta = \sqrt{\frac{7}{(2+\xi)}} \geq 0,7$
- **T₁** et **T₂** Périodes caractéristiques associées à la catégorie du site :

Site meuble S3 : $\begin{cases} T_1 = 0.15 \text{ s} \\ T_2 = 0.50 \text{ s} \end{cases}$

- **ξ**: Le pourcentage d’amortissement critique fonction du matériau constitutif
- **R** : coefficient de comportement global de la structure donnée en fonction du système
 - { Mixte portiques /palées triangulées en X → R = 4
 - { Portiques en console verticale en Y → R = 2
- **Q** : Facteur de qualité donné par la formule suivante : $Q = 1 + \sum_1^5 P_q$.

Tableau IV. 1 : Valeurs des pénalités P_q

Critère q	P _q
1-Condition minimales sur les files de contreventement	Observé 0
2-Redondance en plan	Observé 0
3-Régularité en plan	Observé 0
4-Régularité en élévation	Observé 0
5-Control de la qualité des matériaux	Non Observé 0,05
6-Control de la qualité d’exécution	Non Observé 0,10
$\sum P_q = 0,15$	

- Sol supposé meuble \longrightarrow S3 \longrightarrow $\left\{ \begin{array}{l} T_1 = 0,15 \text{ sec} \\ T_2 = 0,50 \text{ sec} \end{array} \right.$

IV.5 ANALYSE DYNAMIQUE

Elle permet de déterminer les efforts et les déplacements maximums d'une structure lors d'un séisme par l'étude de son comportement en vibrations libres non amorties tenant compte de ses caractéristiques dynamiques propres.

L'étude dynamique d'une structure telle qu'elle se présente réellement, est souvent très complexe et demande un calcul très fastidieux. C'est pour cette raison qu'on fait souvent appel à des modélisations qui permettent de simplifier suffisamment le problème pour pouvoir l'analyser.

IV.6 MODELISATION DE LA STRUCTURE

La modélisation représente l'établissement d'un modèle à partir de la structure réelle. Ce travail sera suivi de certaines modifications en vue d'approcher au maximum le comportement de la structure d'origine.

On fait appel pour la modélisation de notre structure au logiciel **ROBOT**, ce dernier est un logiciel de calcul et de conception des structures d'ingénierie, particulièrement adapté à l'aubâtiment, et ouvrage de génie-civil. Il permet en un même environnement la saisie graphique des ouvrages avec une bibliothèque d'éléments autorisant l'approche du comportement de ces structures, il offre de nombreuses possibilités d'analyses des effets statique et dynamique avec des compléments de conception et de vérification de structure

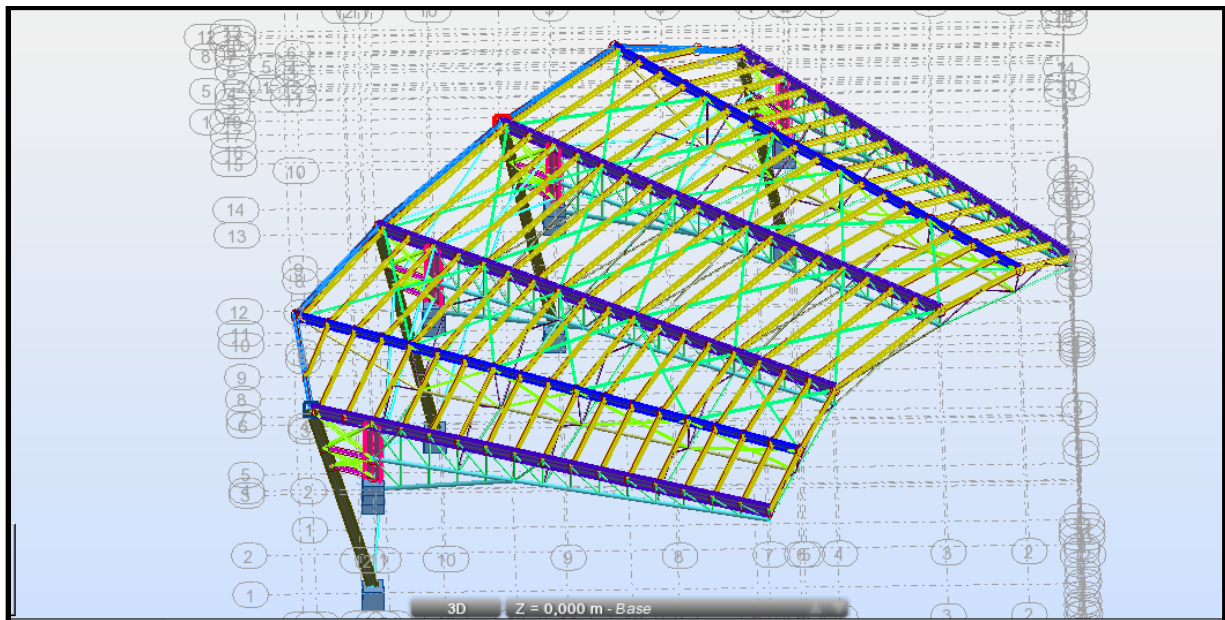


Figure V.1. Modèle de la structure en 3D

IV.6.1 Etapes de modélisation

- Opter pour un système d'unité (KN et m)

- Définition de la géométrie de base
- Définition des matériaux
- Définition des sections

Tableau IV.2 : Eléments métalliques constituant la structure

Elément de la structure	Profilés
Poteaux	HEA 800
Membrure supérieure ferme principal	IPE 600
Membrure inférieure ferme principal	CIRC 219.1×16
Montant diagonal ferme principal	CIRC 101.6×6.3
Stabilité ferme principal	DCED 150×15
Bracon ferme principal	CIRC 219.1×16
Poutre ferme principal	IPE 100
Membrure supérieure ferme intermédiaire	IPE 400
Membrure inférieure ferme intermédiaire	CIRC 139.7×8
Montant ferme intermédiaire	CIRC 76.1×6.3
Ciseaux ferme intermédiaire	CAE 70×9
Stabilité	CIRC 114.3×8
Contreventements	CAE 80×10
Pannes	IPE 240
Poutres	HEA 200
Tirants	IPE 500
Fermes	CIRC 76.1×6.3
Porteur de la ferme	CIRC 101.6×6.3

- Affecter à chaque élément les sections déjà prédéfinies
- Définition des charges à appliquer
- Introduction des données sismiques
- Définition des combinaisons des charges
- Définition des conditions aux limites
- Lancer l'analyse

Remarque

les sections définies dans le tableau ont été choisies après plusieurs simulations numériques.

IV.7 ANALYSE MODALE

Le calcul des effets maximums d'un séisme sur une structure se détermine par le biais de la méthode intitulée « analyse modale spectrale » qui se caractérise par la sollicitation sismique décrite sous la forme d'un spectre de réponse.

Une bonne modélisation permet, à travers ce type d'analyse appliqué à toute forme de structure, d'obtenir des résultats les plus exacts et les plus satisfaisants possibles et dont la fiabilité est extrême.

Le spectre est caractérisé par les données suivantes :

- Zone III
- Groupe d'usage 1B
- Coefficient de comportement
- Amortissement $\xi = 5\%$
- Facteur de qualité $Q = 1,15$
- Site meuble S3

IV.7.1 Analyse modale spectrale

Selon RPA 99 version 2003

Tableau IV.3 : Direction de l'excitation

Direction de l'excitation	X (m)	Y (m)	Z (m)
E_x	1	0	0
E_y	0	1	0
E_z	0	0	0

Les périodes propres de vibrations des 3 premiers modes sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 : Modes propres

Mode	Période
1	0,35
2	0,34
3	0,34

Pour la somme des masses modales effectives qui doit être supérieure ou égale à 90% de la masse totale de la structure nous avons pris 25 modes.

Après avoir introduit l'ensemble de ces données, le spectre de réponse donné par le logiciel ROBOT est comme indiqué sur la figure suivante :

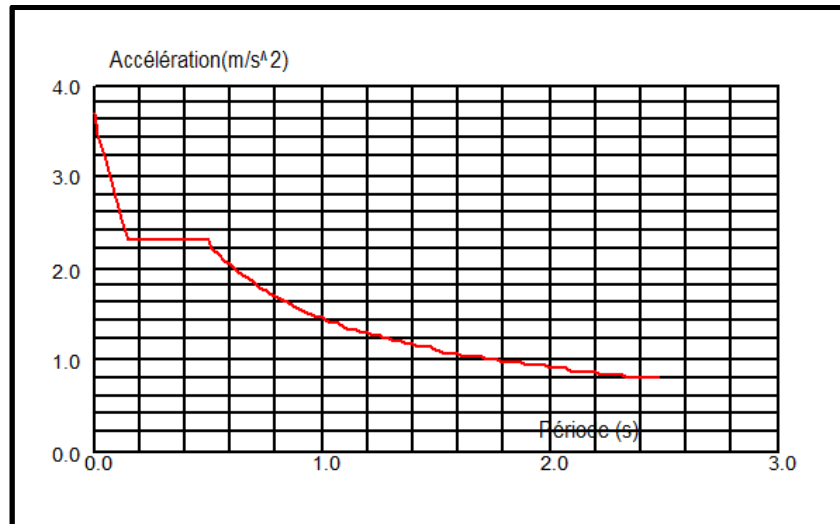


Figure IV.2 : Spectre de réponse suivant X

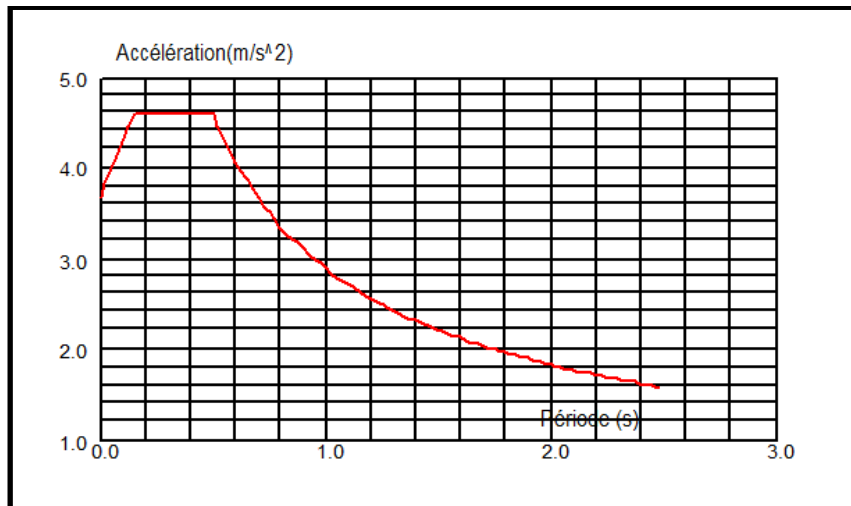


Figure IV.3 : Spectre de réponse suivant Y

IV.8 VERIFICATION DE LA STRUCTURE

IV.8.1 Vérification de la période fondamentale de la structure

La valeur de T calculé par le logiciel ROBOT ne doit pas dépasser celle estimée à partir de la formule empirique appropriée par le RPA99 de plus de 30 %.

La période fondamentale obtenue par le logiciel ROBOT : $T = 0,34 \text{ s}$.

La période empirique est donnée par la formule suivante : $T = C_t \times h_n^{\frac{3}{4}}$.

Avec :

- C_t : Coefficient donné en fonction du système de contreventement et du type de remplissage.

$$C_t = 0,085$$

- h_n : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure $h_n = 21.9\text{m}$

D'où :

$$T = 0,085 \times 21,9^{3/4} = 0.86s$$

$$T+30\%T = 1.12s$$

Donc :

$$0,34s < T+30\%T = 1.12s \quad \text{Condition vérifiée}$$

IV.8.2 Vérification de la force sismique à la base

La combinaison des valeurs modales permet d'obtenir la résultante des forces sismique à la base V_t égale ou supérieure à 80% de la résultante des forces sismiques, elle-même déterminée par la méthode statique équivalente V pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

$$V_t > 0,8V$$

Suite à l'application du spectre de calcul dans les deux sens de la structure, les résultats calculés sur 40 modes propres de vibration sont comme suit :

- Effort sismique dans le sens (X) : $V_t=81,64$ kN
- Effort sismique dans le sens (Y) : $V_t=172,92$ kN

$$V = \frac{A \times D \times Q}{R} \cdot W$$

- A : coefficient d'accélération de zone $A= 0,30$
- D : facteur d'amplification dynamique moyen

On a : $0 \leq T=0,35s \leq T_2 =0.5$ s

$$D = 2,5 \times \eta_t = 2,5 \times 1 = 2.5$$

W (Poids propre de la structure) = 60172.071Kg = 601.72 kN (D'après le **ROBOT**)

Alors :
$$V_y = \frac{0,30 \times 2,5 \times 1,15}{2} \times 601,72$$

$$V_y = 259.49 \text{ kN}$$

$$V_x = \frac{0,30 \times 2,5 \times 1,15}{4} \times 601,72$$

$$V_x = 129.75 \text{ kN}$$

Tableau IV.5 : Résultante des forces sismiques à la base

	V_t (KN)	V(KN)	80 % V(KN)	$V_t > 80\%V$
V_x	206.77	129.75	103.8	Vérifiée
V_y	565.24	259.49	207.59	Vérifié

IV.8.3. Situation accidentale

Le RPA 99V2003 précise que le déplacement horizontal est calculé sous les forces sismique seul dans l'article 4.4.3, il préconise de limiter les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport au étage qui lui sont adjacent à 1% de la hauteur d'étage suivant l'article 5.10.

Le déplacement horizontal de la structure est calculé comme suite :

$$\delta_k = R \times \delta_{ek}$$

Avec :

R : Coefficient de comportement R = 4 suivant X

R : Coefficient de comportement R = 2 suivant Y

δ_{ek} : Déplacement dû aux forces sismiques (d'après ROBOT)

Il s'agit de vérifier le point le plus haut de la toiture par rapport au sol.

Tableau IV.7 : Déplacement max en situation accidentale

Niveau	Déplacement δ_{ek} (cm)		Déplacement relatif δ_k (cm)	
	Suivant X	Suivant Y	Suivant X	Suivant Y
Toiture	4,1	0,4	16.4	0,8

$$\frac{H}{100} = \frac{2000}{100} = 20 \text{ cm}$$

Tous les déplacements sont inférieurs à 20 cm donc condition vérifiée.

IV.9 CONCLUSION

L'étude sismique a été faite par un modèle 3D en éléments finis pour déterminer les caractéristique dynamique de la toiture à Dar El Bayda à Alger, il a fallu calculer la période fondamentale de la structure et la période empirique donné par le « RPA » ; cette dernière doit être supérieur a la première ; nous les avons comparé et ça a vérifier vu le fait que la structure est flexible. Par contre la résultante des forces sismiques à la base obtenue par combinaison des valeurs modales ne dépasse pas les 80% de la résultante des forces sismiques.

CHAPITRE V: DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS STRUCTURAUX

V.1 INTRODUCTION

Le calcul d'une structure exige que sous toutes les combinaisons d'action possible définies réglementairement, la stabilité statique doit être assurée tant globalement, au niveau de la structure, qu'individuellement au niveau de chaque élément.

Les diverses sollicitations, générées par les actions, développent des contraintes au sein même des matériaux ce qui peut provoquer la déformation des éléments qui composent la structure.

Il est impératif donc de vérifier que les contraintes et les déformations sont en dessous des limites admissibles conformément à la réglementation pour garantir le degré de sécurité souhaité.

V.2 JUSTIFICATION DES POTEAUX

Après plusieurs essais, le profilé HEA800 résiste aux sollicitations qui lui sont appliquées..

V.2.1 Caractéristiques du profilé du poteau

Tableau V. 1Caractéristiques du profilé HEA800

Profil	Poids	Section	Dimensions					Caractéristiques					
	P Kg/m	A cm ²	h mm	b mm	t _f mm	t _w mm	d mm	I _y cm ⁴	I _z cm ⁴	W _{pl-y} cm ³	W _{pl-z} cm ³	i _y cm	i _z cm
HEA800	224	285,8	790	300	28	15	674	303400	12640	8699	1312	32,58	6,65

V.2.2 Efforts sollicitants

Pour assurer la vérification selon le règlement, on fait appel au logiciel ROBOT pour nous donner les efforts les plus défavorables

- $M_{y,sd} = 806,28 \text{ kN.m}$
- $M_{z,sd} = 93,05 \text{ kN.m}$
- $V_{z,sd} = 1219,77 \text{ kN}$
- $V_{y,sd} = 233,90 \text{ kN}$
- $N_{sd} = 1079,30 \text{ kN}$

V.2.3 Classe de la section transversale de poteau

- **Classe de l'âme fléchie et comprimée**

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

$$\frac{674}{15} = 44,93 < \frac{36}{0,4} = 90 \rightarrow \text{l'ame est de classe I}$$

➤ **Classe de la semelle comprimée**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

$$\frac{300/2}{28} = 5,35 < 10 \rightarrow \text{la semelle est de classe I.}$$

Donc la section du profilé global est de classe I

V.2.4 Vérification de la flèche

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

La flèche admissible de poteau est calculée par le logiciel **ROBOT** : $\delta = 0,62$ cm

$$\delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ cm}$$

Avec : L : la longueur de la membrure

Donc : $\delta \leq \delta_{\max}$ **Condition vérifiée**

V.2.5 Condition de résistance de poteau (moment fléchissant + effort tranchant + effort normal)

• **Cisaillement**

La résistance de la section transversale est réduite par la présence de l'effort tranchant, s'il dépasse la moitié de la résistance plastique de calcul.

$$V_{pl,rd} = A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right) / \gamma_{m0}$$

$$\begin{aligned} \text{Avec : } A_v &= A - (2b \times t_f) + (t_w + 2r) \times t_f \\ &= 28580 - (300 \times 2 \times 28) + (15 + 2 \times 30) \times 28 \\ A_v &= 271100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{D'où : } V_{pl,rd} = \frac{271100 \times 235}{1,1 \times \sqrt{3}}$$

$$V_{pl,rd} = 33438,29 \text{ KN}$$

$$\rightarrow V_{sd} = 1219,77 \text{ kN} < 50\% V_{pl,rd} = 16719,145 \text{ kN}$$

Donc on ne tient pas compte de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.

V.2.6 Condition de résistance

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{ny,rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{nz,rd}}\right)^\beta \leq 1$$

Avec $\begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n \end{cases}$ (profilé en HEA, classe 1)

$M_{y,sd}, M_{z,sd}$:

$$\begin{cases} M_{z,sd} = 93,05 \text{ kN.m} \\ M_{y,sd} = 806,28 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$M_{y,plRd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{8699000 \times 235}{1,1} = 1858,42 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,plRd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1312000 \times 235}{1,1} = 280,29 \text{ kN.m}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{28580 \times 235}{1,1} = 6105,73 \text{ kN}$$

$$\begin{cases} n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,rd}} \text{ avec } n = \frac{1079,30}{6105,73} = \text{donc } n = 0,18 \\ a = \frac{A - (2b \times tf)}{A} = \frac{28580 - (2 \times 300 \times 28)}{28580} = 0,41 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{Ny,rd} = M_{pl,y,rd} \frac{1-n}{1-0,5a} \\ M_{Ny,rd} = \frac{1858,42(1-0,18)}{1-0,5 \times 0,41} = 1928,99 \text{ kN.m} \end{cases}$$

Puisque $n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,rd}} < a \longrightarrow M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd}$

$$\begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n = 5 \times 0,18 = 0,85 \text{ on prend } \beta = 1 \end{cases}$$

$$\left(\frac{806,28}{1928,99}\right)^2 + \left(\frac{93,05}{280,29}\right)^1 = 0,51 \leq 1 \text{ Condition vérifiée}$$

V.2.7 Élément comprimés et fléchis :

Le déversement est un phénomène d'instabilité qui se manifeste par une déformation latérale des parties comprimées de la section de la panne sous l'action du vent en soulèvement.

Le déversement est pris en considération que si $\bar{\lambda}_{LT} \geq 0.4$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w}$$

Section transversales de classe 1 $\rightarrow \beta_w = 1$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon \text{ avec } \varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \right]^{0.5} = 1 \rightarrow \lambda_1 = 93,9$$

Puisque les deux extrémités sont encastres, les facteurs de longueur effective K et K_w sont pris égale à 0.9 et donc la formule de λ_{LT} est de forme :

$$\lambda_{LT} = \frac{K \cdot L \cdot \left(\frac{W_{ply}^2}{I_w I_z} \right)^{0,25}}{\sqrt{C_1} \times \left[\left(\frac{K}{K_w} \right)^2 + \frac{(KL)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_w} \right]^{0,25}}$$

$$\lambda_{LT} = \frac{1 \times 2000 \times \left(\frac{(8699 \times 10^3)^2}{18290 \times 10^9 \times 12640 \times 10^4} \right)^{0,25}}{\sqrt{1,92} \times \left[\left(\frac{1}{1} \right)^2 + \frac{(1 \times 2000)^2 \times 81000 \times 596,9 \times 10^4}{3,14^2 \times 210000 \times 18290 \times 10^9} \right]^{0,25}} = 19,17$$

Avec : $C_1 = 1.91$ selon le diagramme de moment et le facteur de longueur effective K

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{19,17}{93,9} = 0,18 < 0,4$$

$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$, donc il est inutile de prendre en compte le déversement

V.2.8 Résistance au flambement

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{\beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

- $N_{b,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9 \varepsilon$

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : Courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : Courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

- **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 6,14 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,07$$

- **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 30,08 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 0,32$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 0,32$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement b ($\chi = 0,96$)

D'où :
$$N_{b,Rd} = \frac{0,96 \times 1 \times 28580 \times 235}{1,1} = 5861,498 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 1079,77 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 5861,498 \text{ kN} \text{ Condition vérifiée}$$

Conclusion : Le profile en **HEA 800** résiste au flambement

V.3 FERME PRINCIPAL

V.3.1 Justification des membrure superieure :

V.3.1.1 Charge répartie sur la traverse

- Poids de la tôle nervurée
- Poids des pannes
- Poids propre de la membrure
- Charge d'entretien

V.3.1.2 Caractéristiques de la membrure

Après introduction des charges sur la structure, le ROBOT nous a proposé comme profilé IPE 600 pour les membrures, ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau V.2 : Caractéristiques du profilé IPE 600

Profil	Section	Dimensions					Caractéristiques			
	A cm ²	h mm	b mm	t _f mm	t _w mm	R mm	I _y cm ⁴	I _z cm ⁴	W _{pl-y} cm ³	W _{pl-z} cm ³
IPE600	156	600	220	19	12	24	92080	3387	3512	485.6

V.3.1.3 Efforts sollicitants

Pour assurer la vérification selon le règlement, on fait appel au logiciel ROBOT pour nous donner les efforts les plus défavorables

- $M_{y,sd} = 159,13 \text{ kN.m}$

- $M_{z,sd}=17,39$ kN.m
- $V_{z,sd}= 69,46$ kN
- $V_{y,sd}=22,29$ kN
- $N_{sd}= 853,37$ kN

V.3.1.4 Classe de la section transversale de la membrure

- **Classe de l'âme fléchie et comprimée**

Dans ce cas $\alpha = 0,4 < 0,5$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

$$\frac{514}{12} = 42,83 < \frac{36}{0,4} = 90 \rightarrow \text{l'ame est de classe I}$$

- **Classe de la semelle comprimée**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

$$\frac{220/2}{19} = 5,78 < 10 \rightarrow \text{la semelle est de classe I.}$$

Donc la section du profilé global est de classe I

V.3.1.5 Vérification de la flèche

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

La flèche admissible de la membrure est calculée par le logiciel **ROBOT** : $\delta = 1,2$ cm

$$\delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{2231,7}{200} = 11.16 \text{ cm}$$

Avec : L : la longueur de la membrure

Donc : $\delta \leq \delta_{\max}$ **Condition vérifiée**

V.3.1.6 Condition de résistance de la membrure (moment fléchissant + effort tranchant + effort normal)

- **Cisaillement**

La résistance de la section transversale est réduite par la présence de l'effort tranchant, s'il dépasse la moitié de la résistance plastique de calcul

$$V_{pl,rd} = A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) / \gamma_{m0}$$

$$\text{Avec : } A_v = A - (2b \times t_f) + (t_w + 2r) \times t_f$$

$$= 15600 - (220 \times 2 \times 19) + (12 + 2 \times 24) \times 19$$

$$A_v = 8988 \text{ mm}^2$$

$$\text{D'où : } V_{pl,rd} = \frac{8380 \times 235}{1,1 \times \sqrt{3}}$$

$$V_{pl,rd} = 1033,61 \text{ KN}$$

$$\rightarrow V_{sd} = 69,46 \text{ kN} < 50\% V_{pl,rd} = 516,81 \text{ kN}$$

Donc on ne tient pas compte de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.

V.3.1.7 Condition de résistance

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{ny,rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{nz,rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$\text{Avec } \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n \end{cases} \quad (\text{profilé en HEA, classe 1})$$

$M_{y,sd}, M_{z,sd}$:

$$\begin{cases} M_{z,sd} = 159,13 \text{ kN.m} \\ M_{y,sd} = 17,39 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$M_{y,plRd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3512000 \times 235}{1,1} = 750,29 \text{ kN.m}$$

$$M_{z,plRd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{485650 \times 235}{1,1} = 103,75 \text{ kN.m}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{15600 \times 235}{1,1} = 3332,73 \text{ kN}$$

$$\begin{cases} n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,rd}} \text{ avec } n = \frac{853,37}{3332,73} = \text{donc } n = 0,25 \\ a = \frac{A - (2b \times tf)}{A} = \frac{15600 - (2 \times 220 \times 19)}{15600} = 0.39 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{Ny,rd} = M_{pl.y,rd} \frac{1-n}{1-0,5a} \\ M_{Ny,rd} = \frac{750,29(1-0,25)}{1-0,5 \times 0,39} = 699,03 \text{ kN.m} \end{cases}$$

Puisque $n = \frac{Nsd}{N_{pl,rd}} < a \longrightarrow M_{Nz,Rd} = M_{pl.z,Rd}$

$$\begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n = 5 \times 0,30 = 1,5 \end{cases}$$

$$\left(\frac{159,13}{699,03}\right)^2 + \left(\frac{17,39}{103,75}\right)^{1,5} = 0,12 \leq 1 \text{ Condition vérifiée}$$

V.3.1.8 Élément comprimés et fléchis :

Le déversement est un phénomène d'instabilité qui se manifeste par une déformation latérale des parties comprimées de la section de la panne sous l'action du vent en soulèvement.

Le déversement est pris en considération que si $\bar{\lambda}_{LT} \geq 0.4$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w}$$

Section transversales de classe 1 $\rightarrow \beta_w = 1$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon \text{ avec } \varepsilon = \left[\frac{235}{f_y}\right]^{0,5} = 1 \rightarrow \lambda_1 = 93,9$$

Puisque les sont encastres des deux extrémités, les facteurs de longueur effective K et K_w sont pris égale à 0,9 et donc la formule de λ_{LT} est de forme :

$$\lambda_{LT} = \frac{K \cdot L \cdot \left(\frac{W_{Ply}^2}{I_w I_z}\right)^{0,25}}{\sqrt{C_1} \times \left[\left(\frac{K}{K_w}\right)^2 + \frac{(KL)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}\right]^{0,25}}$$

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times 1400 \times \left(\frac{(3512,4 \times 10^3)^2}{2846 \times 10^9 \times 3387 \times 10^4} \right)^{0,25}}{\sqrt{1,9} \times \left[\left(\frac{0,9}{0,9} \right)^2 + \frac{(0,9 \times 1400)^2 \times 81000 \times 165,4 \times 10^4}{3,14^2 \times 210000 \times 2846 \times 10^9} \right]^{0,25}} = 17,14$$

Avec $C_1 = 1,90$ selon le diagramme de moment et le facteur de longueur effective K

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{17,14}{93,9} = 0,18 < 0,4$$

$\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$, donc il est inutile de prendre en compte le déversement

V.3.1.9 Résistance au flambement

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{\beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

- $N_{b,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\epsilon$

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : Courbe a \longrightarrow $\alpha = 0,21$

Axe (z-z) : Courbe b \longrightarrow $\alpha = 0,34$

- **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 5,19 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,21$$

- **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 108,15 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,15$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,15$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement b ($\chi = 0,51$)

$$D'où : N_{b,Rd} = \frac{0,51 \times 1 \times 8446 \times 235}{1,1} = 920,230 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 853,37 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 920,230 \text{ kN} \text{ Condition vérifiée}$$

Conclusion : Le profi en **IPE 600** résiste au flambement

V.3.2 Justification des membrure inferieur

V.3.2.1 Caractéristiques de la membrure

Après introduction des charges sur la structure, le ROBOT nous a proposé comme profilé IPE 600 pour les membrures, ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau V.3 : Caractéristiques du profilé **CIRC219.1x16**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D Mm	t _w mm	R Mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC219.1x16	102	219	16	72	5297	661,36

V.3.2.2 Efforts sollicitants

Pour assurer la vérification selon le règlement, on fait appel au logiciel ROBOT pour nous donner les efforts les plus défavorables

- M_{y sd}= 35,29 kN.m
- V_{ysd}= 0.975kN
- N_{sd}= 1076,09 kN
- M_{z sd}= 2,6449 kN.m
- V_{zsd}= 31,225kN

V.3.2.3 Classe de la section transversale de la membrure

$$\frac{d}{t_w} \leq 50\varepsilon^2 \quad \text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\frac{219}{16} \leq 50 \sqrt{\frac{235}{235}} \rightarrow 13,69 \leq 50 \rightarrow \text{classe I}$$

Donc la section transversale **CIRC219.1x16** est de **classe I**

V.3.2.4 Vérification de la flèche

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

La flèche admissible de la traverse est calculée par le logiciel **ROBOT** : $\delta = 1,7$ cm

$$\delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{1942}{200} = 9,71 \text{ cm}$$

Avec : L :la longueur de la membrure

Donc : $\delta \leq \delta_{\max}$ **Condition vérifiée**

V.3.2.5 Condition de résistance de la membrure (moment fléchissant + effort tranchant + effort normal)

- **Cisaillement**

La résistance de la section transversale est réduite par la présence de l'effort tranchant, s'il dépasse la moitié de la résistance plastique de calcul

$$V_{pl,rd} = A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) / \gamma_{m0}$$

$$\text{Avec : } A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \times 10200}{3,14}$$

$$A_v = 6496,82 \text{ mm}^2$$

$$\text{D'où : } V_{pl,rd} = \frac{6496,82 \times 235}{1,1 \times \sqrt{3}}$$

$$V_{pl,rd} = 801,34 \text{ KN}$$

$$\rightarrow V_{sd} = 31,23 \text{ kN} < 50\% V_{pl,rd} = 400,7 \text{ kN}$$

Donc on ne tient pas compte de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.

V.3.2.6 Condition de résistance

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{n,rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{n,rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$\text{Avec } \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 2 \end{cases} \quad (\text{profilé creux circulaires, classe 1})$$

$$M_{y,sd}, M_{z,sd}$$

$$\begin{cases} M_{z,sd} = 2,6449 \text{ kN.m} \\ M_{y,sd} = 35,2939 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$\bullet M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{661360 \times 235}{1,1} = 141,29 \text{ kN.m}$$

$$\bullet N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{10200 \times 235}{1,1} = 2179,09 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,rd}} \text{ avec } n = \frac{1076,09}{2179,09} = \text{donc } n = 0,49$$

$$\begin{cases} M_{Ny,rd} = 1,04 \times M_{pl,rd} \times (1 - n^{1,7}) \\ M_{N,rd} = 1,04 \times 141,29 \times (1 - 0,49^{1,7}) = 103,242 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$\left(\frac{35,29}{103,24} \right)^2 + \left(\frac{2,64}{103,24} \right)^2 = 0,12 \leq 1 \quad \text{Condition vérifiée}$$

V.3.2.7 Résistance au flambement

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{\beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

- $N_{b,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : Courbe a \longrightarrow $\alpha = 0,21$

Axe (z-z) : Courbe a \longrightarrow $\alpha = 0,21$

- **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 17,48 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,19$$

- **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 69,94 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 0,74$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 0,74$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement b ($\chi = 0,83$)

$$D'où : N_{b,Rd} = \frac{0,83 \times 1 \times 10200 \times 235}{1,1} = 1808,64 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 1076,09 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 1808,64 \text{ kN} \text{ Condition vérifiée}$$

Conclusion : La membrure en **CIRC 219.1x16** résiste au flambement

V.3.3 Justification de la Diagonal

On choisit un double profilé en **CIRC 101x6.3**

Tableau V. 4: Caractéristiques du profilé **CIRC 101x6.3**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC 101x6.3	18,90	102	6	34	215	57,30

On vérifie sa résistance

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 225,29$ kN (obtenue par le logiciel **ROBOT**)

V.3.3.1 Les éléments comprimés

V.3.3.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section es de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

✚ **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 49,24 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,52$$

✚ **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 49,24 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 0,52$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 0,52$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,92$

D'où :

$$N_{c,Rd} = \frac{0,92 \times 1890 \times 235}{1,1}$$
$$N_{c,Rd} = 371,47 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 225,29 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 371,47 \text{ kN}$$

\Rightarrow *Condition vérifiée*

V.3.3.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 192,23 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1890 \times 235}{1,1} = 403,77 \text{ kN}$$

V.3.3.2.1 Vérification

$$N_{pl,Rd} = 403,77 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 192,23 \text{ kN}$$

\Rightarrow Condition vérifiée

Conclusion : la palée de stabilité en **CIRC 101x6.3** résiste aux phénomènes d'instabilité.

V.3.4 Justification du Montant

On choisit un double profilé en **CIRC 101x6.3**

Tableau V.5 : Caractéristiques du profilé **CIRC 101x6.3**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC 101x6.3	18,90	102	6	34	215	57,30

on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 223,48 \text{ kN}$ (obtenue par le logiciel **ROBOT**)

V.3.4.1 Les éléments comprimés

V.3.4.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section es de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\epsilon$

- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

✚ **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 23,72 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,25$$

✚ **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 23,72 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 0,25$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 0,25$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,99$

D'où :

$$N_{c,Rd} = \frac{0,99 \times 1890 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 399,73 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 265,76 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 399,73 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

V.3.4.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 177,54 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1890 \times 235}{1,1} = 403,77 \text{ kN}$$

V.3.4.2.1 Vérification

$$N_{pl,Rd} = 403,77 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 177,54 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Conclusion :

la palée de stabilité en **CIRC 101x6.3** résiste aux phénomène d'instabilité

V.3.5 Justification du Tirant

On choisit une cornier en **IPE 500**

Tableau V.6 : Caractéristiques du profilé IPE500

Profil	Section	Dimensions					Caractéristiques			
	A cm ²	h mm	b mm	t _f mm	t _w mm	r mm	I _y cm ⁴	I _z cm ⁴	W _{pl-y} cm ³	W _{pl-z} cm ³

IPE500	115,52	500	200	16	10	20,4	48197,5	2141,69	2194	336
---------------	--------	-----	-----	----	----	------	---------	---------	------	-----

On vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 738.69$ kN (obtenue par le **ROBOT**)

V.3.5.1 Les éléments comprimés

V.3.5.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe III)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

Plan (y-y) :

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 31,82 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,34$$

Plan (z-z) :

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 150,96 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,61$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,38$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,31$

$$D'où : N_{c,Rd} = \frac{0,31 \times 1 \times 11552 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 765,057 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

$$N_{c,sd} = 738,69 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 765,057 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

V.3.5.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 954,98 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT).

V.3.5.2.1 Résistance ultime

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{A_{net} \times F_u}{\gamma_{m1}}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{7207 \times 360}{1,25} = 1868,05 \text{ kN}$$

V.3.5.2.2 Résistance plastique de calcul de la section nette

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{7207 \times 235}{1,1} = 1539,68 \text{ kN}$$

V.3.5.2.3 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{11552 \times 235}{1,1} = 2467,93 \text{ kN}$$

V.3.5.2.4 Vérification

$$\text{Min} (N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{net,Rd}) = 1539,68 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 954,98 \text{ kN}$$

\Rightarrow Condition vérifiée

Conclusion : la palée de stabilité en **IPE 500** résiste aux phénomènes d'instabilité

V.3.6 Justification de la Stabilité ferme principale

On choisit un double profilé en **DCEC 150x15** et on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 1447,44 \text{ kN}$ (obtenue par le logiciel ROBOT)

V.3.6.1 Les éléments comprimés

V.3.6.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section es de classe III)
- $\gamma_{m1} = 1,1$

- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\epsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

Axe (z-z) : courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

✚ **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 30,91 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,33$$

✚ **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 30,91 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 0,33$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 0,33$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,95$

D'où :

$$N_{c,Rd} = \frac{0,95 \times 8600 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 1745,41 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 1447,44 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 1745,41 \text{ kN}$$

\Rightarrow **Condition vérifiée**

V.3.6.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 1103,126 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

V.3.6.2.1 Résistance ultime

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{A_{net} \times F_u}{\gamma_{m1}}$$

$$A_{net} = 77,04 \text{ cm}^2 \text{ (tableau des sections)}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{7704 \times 360}{1,25} = 1996,876 \text{ kN}$$

V.3.6.2.2 Résistance plastique de calcul de la section nette

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{7704 \times 235}{1,1} = 1645,854 \text{ kN}$$

V.3.6.2.3 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{8600 \times 235}{1,1} = 1837,272 \text{ kN}$$

V.3.6.2.4 Vérification

$$\text{Min}(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{nett,Rd}) = 1645,854 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 1103,126 \text{ kN}$$

\Rightarrow *Condition vérifiée*

Conclusion : la palée de stabilité en résist **DCEC 150x15** e aux phénomènes d'instabilité.

V.3.7 Justification de la poutre

V.3.7.1 Caractéristiques de la poutre

Après introduction des charges sur la structure, le ROBOT nous a proposé comme profilé IPE 100 pour les sablières, ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau V.7 : Caractéristiques du profilé IPE100

Profil	Poids	Section	Dimensions					Caractéristiques						
	P Kg/m	A cm ²	h mm	b mm	t _f mm	t _w mm	d mm	I _y cm ⁴	I _z cm ⁴	W _{pl-y} cm ³	W _{pl-z} cm ³	i _y cm	i _z cm	I _t cm ⁴
IPE 100	8,1	10,32	100	55	6	4	74,6	171,01	15,92	39,41	9,15	4,07	1,24	1,2

V.3.7.2 Efforts sollicitants

Pour assurer la vérification selon le règlement, on fait appel au logiciel ROBOT pour nous donner les efforts les plus défavorables

- $M_{y,sd} = 0,08 \text{ kN.m}$
- $V_{sd} = 0,14 \text{ kN}$
- $N_{sd} = 66,58 \text{ kN}$

V.3.7.3 Classe de la section transversale de la poutre

- **Classe de l'âme fléchie**

$$\frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon \quad \text{Avec } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\frac{74,6}{4} \leq 72 \sqrt{\frac{235}{235}} \rightarrow 18,65 \leq 72 \quad \rightarrow \text{L'âme est de classe I}$$

- **Classe de la semelle comprimée**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

$$\frac{27,5}{6} = 4,58 \leq 10 \rightarrow \text{La semelle est de classe I}$$

Donc la section transversale **IPE100** est de **classe I**

V.3.7.4 Vérification de la flèche

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

La flèche admissible de la poutre est calculée par le logiciel **ROBOT** : $\delta = 0,2 \text{ cm}$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{214}{200} = 1,07 \text{ cm}$$

Avec :

L : la longueur de la poutre

Donc : $\delta \leq \delta_{\max}$ **Condition vérifiée**

V.3.7.5 Condition de résistance de poutre (moment fléchissant + effort tranchant + effort normal)

- **Cisaillement**

La résistance de la section transversale est réduite par la présence de l'effort tranchant, s'il dépasse la moitié de la résistance plastique de calcul

$$V_{pl,rd} = A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) / \gamma_{m0}$$

$$\begin{aligned} \text{Avec : } A_v &= A - (2b \times t_f) + (t_w + 2r) \times t_f \\ &= 1032 - (55 \times 2 \times 6) + (4 + 2 \times 7) \times 6 \\ A_v &= 480 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{D'où : } V_{pl,rd} = \frac{480 \times 235}{1,1 \times \sqrt{3}}$$

$$V_{pl,rd} = 59,2 \text{ KN}$$

$$\rightarrow V_{sd} = 0,14 \text{ kN} < 50\% V_{pl,rd} = 29,6 \text{ kN}$$

Donc on ne tient pas compte de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification

- **Moment fléchissant + Effort normal**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{K_y \cdot M_{ysd}}{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Avec :

$$\gamma_{M1} = 1$$

χ_{\min} : Coefficient de réduction minimal pour le flambement

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y; \chi_x)$$

- **Plan (y-y) :**

La courbe de flambement considérée par chaque axe est :

Axe (y-y) : courbe a $\rightarrow \alpha_y=0,21$

L'élanement λ_y :

$$\lambda = \frac{l_f}{i_y} = 41.82$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon \quad \text{avec } \varepsilon =$$

$$\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

L'élanement réduit λ_y^- :

$$\lambda_y^- = \left[\frac{\lambda}{\lambda_1} \right] \times \sqrt{\beta_A} = \frac{41.82}{93,9} \times \sqrt{1} = 0.45$$

$$\chi_y = 1,014$$

• **Plan (z-z) :**

La courbe de flambement considérée par chaque axe est :

Axe (z-z) : courbe b $\rightarrow \alpha_z =$
0,34

• L'élanement λ_z :

$$\lambda = \frac{l_f}{i_z} = 137,07$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon \quad \text{avec } \varepsilon =$$

$$\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

• L'élanement réduit λ_z^- :

$$\lambda_z^- = \left[\frac{\lambda}{\lambda_1} \right] \times \sqrt{\beta_A} = \frac{13,07}{93,9} \times \sqrt{1} = 1,46$$

$$\chi_z = 0,36$$

$$\bullet \quad \chi_{\min} = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,94; 0,36) = 0,36$$

$$\bullet \quad K_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} \quad \text{mais } K_y \leq 1,5$$

$$\bullet \quad \mu_y = \lambda_y^- \times (2 \times \beta_{My} - 4) + \left[\frac{W_{ply} - W_{ely}}{W_{ely}} \right] \quad \text{mais } \mu_{LT} \leq 0,9$$

$$\beta_{My} = 1,8 \quad [\text{Annexe C}]$$

$$\mu_y = 0,45 \times (2 \times 1,8 - 4) + \left[\frac{39,41 - 34,2}{34,2} \right] = -0,027$$

$$K_y = 1 - \frac{-0,027 \times 66,58 \times 10^3}{0,94 \times 1032 \times 235} = 1,01$$

Donc on calcul :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{K_y \cdot M_{ysd}}{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$0,36 \times \frac{66,58 \times 10^3}{1,1} + \frac{1,01 \times 0,08 \times 10^6}{\frac{39,41 \times 10^3 \times 235}{1,1}} = 0,85 \leq 1$$

La condition est vérifiée.

V.3.8 Justification de bracon :

V.3.8.1 Caractéristiques de bracon :

Après introduction des charges sur la structure, le ROBOT nous a proposé comme profilé IPE 600 pour les membrures, ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau V.8 : Caractéristiques du profilé CIRC219.1x16

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D Mm	t _w mm	R mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC219.1x16	102	219	16	72	5297	661,36

V.3.8.2 Efforts sollicitants

Pour assurer la vérification selon le règlement, on fait appel au logiciel ROBOT pour nous donner les efforts les plus défavorables

- M_{ysd}= 50,84 kN.m
- M_{zsd}= 1,43kN.m
- V_{sd}= 23,82 kN
- N_{sd}= 980,56 kN

V.3.8.3 Classe de la section transversale de bracon

$$\frac{d}{t_w} \leq 50\varepsilon^2 \quad \text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\frac{219}{16} \leq 50 \sqrt{\frac{235}{235}} \rightarrow 13,69 \leq 50 \rightarrow \text{classe I}$$

Donc la section transversale **CIRC219.1x16** est de **classe I**

V.3.8.4 Vérification de la flèche

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

La flèche admissible de bracon est calculée par le logiciel **ROBOT** : $\delta = 0,2$ cm

$$\delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{841}{200} = 4,205 \text{ cm}$$

Avec : L : la longueur de brakon

Donc : $\delta \leq \delta_{\max}$ **Condition vérifiée**

V.3.8.5 Condition de résistance de brakon (moment fléchissant + effort tranchant + effort normal)

- **Cisaillement**

La résistance de la section transversale est réduite par la présence de l'effort tranchant, s'il dépasse la moitié de la résistance plastique de calcul

$$V_{pl,rd} = A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) / \gamma_{m0}$$

Avec : $A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \times 10200}{3,14}$

$$A_v = 6496,82 \text{ mm}^2$$

D'où : $V_{pl,rd} = \frac{6496,82 \times 235}{1,1 \times \sqrt{3}}$

$$V_{pl,rd} = 801,34 \text{ KN}$$

$$\rightarrow V_{sd} = 10,33 \text{ kN} < 50\% V_{pl,rd} = 400,7 \text{ kN}$$

Donc on ne tient pas compte de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.

il faut vérifier que :

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{n,rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{n,rd}} \right)^\beta \leq 1$$

Avec $\begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 2 \end{cases}$ (profilé creux circulaires, classe 1)

$M_{y,sd}, M_{z,sd}$

$$\begin{cases} M_{z,sd} = 1,43 \text{ kN.m} \\ M_{y,sd} = 50,84 \text{ kN.m} \end{cases}$$

- $M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{661360 \times 235}{1,1} = 141,29 \text{ kN.m}$

- $N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{10200 \times 235}{1,1} = 2179,09 \text{ kN}$

$$n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,rd}} \text{ avec } n = \frac{980,56}{2179,09} = \text{donc } n = 0,45$$

$$\begin{cases} M_{Ny,rd} = 1,04 \times M_{pl,rd} \times (1 - n^{1,7}) \\ M_{N,rd} = 1,04 \times 141,29 \times (1 - 0,45^{1,7}) = 109,13 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$\left(\frac{50,84}{109,13}\right)^2 + \left(\frac{1,43}{109,13}\right)^2 = 0,22 \leq 1 \text{ Condition vérifiée}$$

V.3.8.6 Résistance au flambement

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{\beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

- $N_{b,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\epsilon$

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : Courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : Courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

- **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 19,43 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,21$$

- **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 116,71 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,24$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,24$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement b ($\chi = 0,5$)

$$\text{D'où : } N_{b,Rd} = \frac{0,5 \times 1 \times 10200 \times 235}{1,1} = 1089,55 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 980,56 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 1089,55 \text{ kN} \text{ Condition vérifiée}$$

Conclusion : Le bracon en **CIRC 219.1x16** résiste au flambement

V.4 FERME INTERMEDIAIRE

V.4.1 Justification des membrure supérieure :

V.4.1.1 Charge répartie sur la membrure

- Poids de la tôle nervurée
- Poids des pannes

- Poids propre de la membrure
- Charge d'entretien

V.4.1.2 Caractéristiques de la membrure

Après introduction des charges sur la structure, le ROBOT nous a proposé comme profilé IPE 400 pour les membrures, ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau V.9 : Caractéristiques du profilé IPE400

Profil	Section	Dimensions					Caractéristiques			
	A cm ²	H Mm	b mm	t _f mm	t _w mm	r mm	I _y cm ⁴	I _z cm ⁴	W _{pl-y} cm ³	W _{pl-z} cm ³
IPE400	84,46	400	180	13,5	8.6	21	23130	1318	1307	229

V.4.1.3 Efforts sollicitants

Pour assurer la vérification selon le règlement, on fait appel au logiciel ROBOT pour nous donner les efforts les plus défavorables

- M_{y,sd} = 44,52 kN.m
- M_{z,sd} = 5,26 kN.m
- V_{sd} = 42,00 kN
- N_{sd} = 199,34 kN

V.4.1.4 Classe de la section transversale de la membrure

- **Classe de l'âme fléchie**

Dans ce cas $\alpha = 0,33 < 0.5$ (ANNEXE C)

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

$$\frac{331}{8,6} = 38,48 < \frac{36}{0,33} = 116,63 \rightarrow \text{l'âme est de classe I}$$

- **Classe de la semelle comprimée**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon$$

$$\frac{180/2}{13,5} = 6,67 < 10 \rightarrow \text{la semelle est de classe I.}$$

Donc la section transversale **IPE 400** est de **classe I**

V.4.1.5 Vérification de la flèche

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

La flèche admissible de la membrure est calculée par le logiciel **ROBOT** : $\delta = 1,6$ cm

$$\delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{2251,9}{200} = 11,26 \text{ cm}$$

Avec : L : la longueur de la membrure

Donc : $\delta \leq \delta_{\max}$ **Condition vérifiée**

V.4.1.6 Condition de résistance de la membrure (moment fléchissant + effort tranchant + effort normal)

- **Cisaillement**

La résistance de la section transversale est réduite par la présence de l'effort tranchant, s'il dépasse la moitié de la résistance plastique de calcul

$$V_{pl,rd} = A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) / \gamma_{m0}$$

$$\begin{aligned} \text{Avec : } A_v &= A - (2b \times t_f) + (t_w + 2r) \times t_f \\ &= 8450 - (180 \times 2 \times 13,5) + (8,6 + 2 \times 21) \times 13,5 \\ A_v &= 8466,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{D'où : } V_{PL,rd} = \frac{8466,2 \times 235}{1,1 \times \sqrt{3}}$$

$$V_{pl,rd} = 1808,69 \text{ KN}$$

$$\rightarrow V_{sd} = 33,14 \text{ kN} < 50\% V_{pl,rd} = 904,34 \text{ kN}$$

Donc on ne tient pas compte de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{ny,rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{nz,rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$\text{Avec } \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n \end{cases} \quad (\text{profilé en HEA, classe 1})$$

$M_{y,sd}, M_{z,sd}$:

$$\begin{cases} M_{z,sd} = 5,26 \text{ kN.m} \\ M_{y,sd} = 44,52 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$M_{y,prld} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1307150 \times 235}{1,1} = 279,25 \text{ KN.m}$$

$$M_{z,plRd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{229000 \times 235}{1,1} = 48,92 \text{ kN.m}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{8446 \times 235}{1,1} = 1804,37 \text{ kN}$$

$$\begin{cases} n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} \text{ avec } n = \frac{199,34}{1804,37} = \text{donc } n = 0,11 \\ a = \frac{A - (2b \times tf)}{A} = \frac{8446 - (2 \times 180 \times 13,5)}{8446} = 0.42 \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} \\ M_{Ny,Rd} = \frac{279,25(1-0.18)}{1-0.5 \times 0,42} = 314,60 \text{ kN.m} \end{cases}$$

Puisque $n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} < a \longrightarrow M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd}$

$$\begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n = 5 \times 0,11 = 0,55 \text{ on prend } \beta = 1 \end{cases}$$

$$\left(\frac{44,52}{314,60}\right)^2 + \left(\frac{5,26}{48,92}\right)^1 = 0.13 \leq 1 \text{ Condition vérifiée}$$

V.4.1.7 Déversement (élément comprimés et fléchis) :

Le déversement est un phénomène d'instabilité qui se manifeste par une déformation latérale des parties comprimées de la section de la panne sous l'action du vent en soulèvement.

Le déversement est pris en considération que si $\bar{\lambda}_{LT} \geq 0,4$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w}$$

Section transversales de classe 1 $\rightarrow \beta_w = 1$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon \text{ avec } \varepsilon = \left[\frac{235}{f_y}\right]^{0.5} = 1 \rightarrow \lambda_1 = 93,9$$

Puisque les sont encastres des deux extrémités, les facteurs de longueur effective K et K_w sont pris égale à 0.9 et donc la formule de λ_{LT} est de forme :

$$\lambda_{LT} = \frac{K \cdot L \cdot \left(\frac{W_{Ply}^2}{I_w I_z} \right)^{0,25}}{\sqrt{C_1} \times \left[\left(\frac{K}{K_w} \right)^2 + \frac{(KL)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_w} \right]^{0,25}}$$

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times 5600 \times \left(\frac{(1307,15 \times 10^3)^2}{490 \times 10^9 \times 1318 \times 10^4} \right)^{0,25}}{\sqrt{1,59} \times \left[\left(\frac{0,9}{0,9} \right)^2 + \frac{(0,9 \times 5600)^2 \times 81000 \times 51,08 \times 10^4}{3,14^2 \times 210000 \times 490 \times 10^9} \right]^{0,25}} = 75,89$$

Avec $C_1 = 1,59$ selon le diagramme de moment et le facteur de longueur effective K

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{75,89}{93,9} = 0,80 \geq 0,4$$

Le déversement est pris en considération que si $\bar{\lambda}_{LT} \geq 0,4$

Donc la formule de vérification de la section sera comme suite :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{K_{LT} \cdot M_{y,sd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{K_z \cdot M_{z,sd}}{W_{pl,z} \cdot f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

Avec :

- $K_{LT} = 1 - (\mu_{LT} \cdot N_{sd} / \chi_z \cdot A \cdot f_y)$ mais $K_{LT} \leq 1$
- $\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} - 0,15$ mais $\mu_{LT} \leq 0,90$
- $K_z = 1 - (\mu_y N_{sd} / \chi_z \cdot A \cdot f_y)$ mais $K_z \leq 1,50$
- $\mu_z = \bar{\lambda}_z (2\beta_{M,z} - 4) + ((W_{pl,z} - W_{el,z}) / (W_{el,z}))$ mais $\mu_z \leq 0,90$
 - $\phi_{LT} = 0,5[1 + 0,21 \times (0,80 - 0,2) + 0,80^2] = 0,88$
 - $\chi_{LT} = \frac{1}{(0,88 + \sqrt{0,88^2 - 0,80^2})} = 0,80$

Calcul de χ_{min}

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{\frac{L f_y}{i_y}}{93,9 \varepsilon} = \frac{0,9 \times 1400}{\frac{243}{93,9}} = 0,055 \leq 0,2 \\ \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{\frac{L f_z}{i_z}}{93,9 \varepsilon} = \frac{0,9 \times 5600}{\frac{46,6}{93,9}} = 1,15 > 0,2 \end{array} \right.$$

Donc le flambement sera considéré juste dans le sens z-z

$$\phi_z = 0,5 \times \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34(1,15 - 0,2) + 1,15^2] = 1,32$$

Avec $\alpha = 0,34$ le facteur d'imperfection qui correspond a la courbe de flambement b

$$\chi_{\min} = \chi_z = \frac{1}{\phi_z + \left[\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2 \right]^{0,5}} = \frac{1}{1,32 + [1,32^2 - 1,15^2]^{0,5}} = 0,51$$

• **Calcul de k_{LT} et k_z**

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y}$$

Avec $\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \beta_{M,LT} = 0,15$

$$\mu_y = 0,15 \times 1,15 \times 1,53 - 0,15 = 0,11$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{0,11 \times 1483368,67}{1 \times 8450 \times 235} = 0,92$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z \cdot N_{Sd}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y}$$

Avec $\mu_z = \bar{\lambda}_z (2 \times \beta_{Mz} - 4) + \frac{(W_{plz} - W_{elz})}{W_{elz}}$

$$\beta_{Mz} = \beta_{M\Psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M_1Q} - \beta_{M_1\Psi})$$

$$\beta_{M_1\Psi} = 1,8 - 0,7\Psi$$

$$\beta_{M_1Q} = 1,4$$

$$\Delta M = |M_{max}| + |M_{min}| = 17,02 + 14,63 = 31,65 \text{ kN.m}$$

$$M_Q = 17,02 \text{ kN.m}$$

$$\beta_{Mz} = 1,58$$

$$\mu_z = 1,15 \times (2 \times 1,58 - 4) + \frac{485,65 \times 10^3 - 307,9 \times 10^3}{307,9 \times 10^3} = -0,5$$

$$k_z = 1 - \frac{-0,5 \times 1483368,67}{0,51 \times 8450 \times 235} = 1,37$$

$\beta_{MLT}; \beta_{Mz}$: Facteurs de moment uniforme équivalent (voir ANNEXE C)

Après avoir déterminé k_y et k_z et χ_{\min}

$$\frac{199340}{0,51 \times 8450 \times \frac{235}{1,1}} + \frac{0,92 \times 44,52 \times 10^6}{0,8 \times 3512,4 \times 10^3 \times \frac{235}{1,1}} + \frac{1,39 \times 5,6 \times 10^6}{485,65 \times 10^3 \times \frac{235}{1,1}} = 0,36 \leq 1$$

V.4.2 Justification des membrure inferieur :

V.4.2.1 Caractéristiques de la membrure

Après introduction des charges sur la structure, le ROBOT nous a proposé comme profilé **CIRC139.7x8** pour les membrures, ses caractéristiques sont les suivantes :

Tableau V.10 : Caractéristiques du profilé **CIRC139.7x8**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC139.7x8	33,1	140	8	47	1441	138,93

V.4.2.2 Efforts sollicitants

Pour assurer la vérification selon le règlement, on fait appel au logiciel ROBOT pour nous donner les efforts les plus défavorables

- $M_{y_{sd}} = 0,61 \text{ kN.m}$
- $M_{z_{sd}} = 0,35 \text{ kN.m}$
- $V_{z_{sd}} = 0,58 \text{ kN}$
- $v_{y_{sd}} = 0,08 \text{ kN}$
- $N_{sd} = 176,51 \text{ kN}$

V.4.2.3 Classe de la section transversale de la membrure

$$\frac{d}{t_w} \leq 50\varepsilon^2 \quad \text{Avec } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1$$

$$\frac{140}{8} \leq 50 \sqrt{\frac{235}{235}} \rightarrow 17,5 \leq 50 \rightarrow \text{classe I}$$

Donc la section transversale **CIRC219.1x16** est de **classe I**

V.4.2.4 Vérification de la flèche

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

La flèche admissible de la traverse est calculée par le logiciel **ROBOT** : $\delta = 0,1$ cm

$$\delta_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{413,3}{200} = 2,06 \text{ cm}$$

Avec : L : la longueur de la membrure

Donc : $\delta \leq \delta_{\max}$ **Condition vérifiée**

V.4.2.5 Condition de résistance de la membrure (moment fléchissant + effort tranchant + effort normal)

- **Cisaillement**

La résistance de la section transversale est réduite par la présence de l'effort tranchant, s'il dépasse la moitié de la résistance plastique de calcul

$$V_{pl,rd} = A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) / \gamma_{m0}$$

$$\text{Avec : } A_v = \frac{2A}{\pi} = \frac{2 \times 3310}{3,14}$$

$$A_v = 2108,28 \text{ mm}^2$$

$$\text{D'où : } V_{pl,rd} = \frac{2108,28 \times 235}{1,1 \times \sqrt{3}}$$

$$V_{pl,rd} = 260,04 \text{ KN}$$

$$\rightarrow V_{sd} = 0,58 \text{ kN} < 50\% V_{pl,rd} = 130,02 \text{ kN}$$

Donc on ne tient pas compte de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{n,rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{n,rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$\text{Avec } \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 2 \end{cases} \quad (\text{profilé creux circulaires, classe 1})$$

$M_{y,sd}, M_{z,sd}$

$$\begin{cases} M_{z,sd} = 0,35 \text{ kN.m} \\ M_{y,sd} = 0,60 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{138930 \times 235}{1,1} = 29,68 \text{ kN.m}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3310 \times 235}{1,1} = 707,14 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,rd}} \text{ avec } n = \frac{176,51}{707,14} = \text{donc } n = 0,25$$

$$\begin{cases} M_{Ny,rd} = 1,04 \times M_{pl,rd} \times (1 - n^{1,7}) \\ M_{N,rd} = 1,04 \times 29,68 \times (1 - 0,25^{1,7}) = 23,515 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$\left(\frac{0,35}{23,515}\right)^2 + \left(\frac{0,6}{23,515}\right)^2 = 0,01 \leq 1 \quad \text{Condition vérifiée}$$

V.4.2.6 Résistance au flambement

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{\beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

- $N_{b,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\epsilon$

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : Courbe a \longrightarrow $\alpha = 0,21$

Axe (z-z) : Courbe a \longrightarrow $\alpha = 0,21$

- **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 136,48 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 1,45$$

- **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 136,48 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,45$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,45$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement b ($\chi = 0,39$)

$$D'où : N_{b,Rd} = \frac{0,39 \times 1 \times 3110 \times 235}{1,1} = 275,78 \text{ kN}$$

$$N_{sd} = 176,51 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 275,78 \text{ kN} \quad \text{Condition vérifiée}$$

Conclusion : La membrure en **CIRC 219.1x16** résiste au flambement

V.4.3 Justification des ciseaux Fi

On choisit un double profilé en **CAE 70x9**

on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 81,45 \text{ kN}$ (obtenue par le logiciel **ROBOT**)

V.4.3.1 Les éléments comprimés

V.4.3.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section es de classe III)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

Axe (z-z) : courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

✚ **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 113,54 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 1,21$$

✚ **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 113,54 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,21$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,21$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,47$

D'où :

$$N_{c,Rd} = \frac{0,47 \times 1188 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 119,286 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 81,45 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 119,286 \text{ kN}$$

\Rightarrow *Condition vérifiée*

V.4.3.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 57,64 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel **ROBOT**)

V.4.3.2.1 Résistance ultime

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{A_{net} \times F_u}{\gamma_{m1}}$$

$$A_{net} = 10,03 \text{ cm}^2 \text{ (tableau des sections)}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{1003 \times 360}{1,25} = 259,97 \text{ kN}$$

V.4.3.2.2 Résistance plastique de calcul de la section nette

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1003 \times 235}{1,1} = 214,27 \text{ kN}$$

V.4.3.2.3 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1188 \times 235}{1,1} = 253,8 \text{ kN}$$

V.4.3.2.4 Vérification

$$\text{Min} (N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{net,Rd}) = 214,27 \geq N_{t,sd} = 57,64 \text{ kN}$$

⇒ Condition vérifiée

Conclusion : la palée de stabilité en **CAE 70x9** résist aux phénomènes d’instabilité.

V.4.4 Justification du Montant

On choisit un double profilé en **CIRC 76.1x6.3**

Tableau V.11 : Caractéristiques du profilé **CIRC 76.1x6.3**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC 76.1x6.3	13,80	76	6	25	84,80	30,78

on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 35,12 \text{ kN}$ (obtenue par le logiciel **ROBOT**)

V.4.4.1 Les éléments comprimés

V.4.4.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section es de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

✚ **Plan (y-y) :**

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 65,95 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,70$$

✚ **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 65,95 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 0,70 \qquad \lambda = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 0,70$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,85$

D'où :

$$N_{c,Rd} = \frac{0,85 \times 1890 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 343,21 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 35,12 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 343,21 \text{ kN} \Rightarrow \textbf{Condition vérifiée}$$

V.4.4.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 31,85 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

V.4.4.2.1 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1380 \times 235}{1,1} = 294,82 \text{ kN}$$

V.4.4.2.1 Vérification

$$N_{pl,Rd} = 31,85 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 294,82 \text{ kN} \Rightarrow \textbf{Condition vérifiée}$$

Conclusion : la palée de stabilité en **CIRC 76.1x6.3** résiste aux phénomènes

V.5 JUSTIFICATION DE LA FERMES

V.5.1 Justification de la diagonal

On choisit un double profilé en **CIRC 76.1x6.3**

Tableau V.12 : Caractéristiques du profilé **CIRC 76.1x6.3**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC 76.1x6.3	13,80	76	6	25	84,80	30,78

on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 131,35$ kN (obtenue par le logiciel **ROBOT**)

V.5.1.1 Les éléments comprimés

V.5.1.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section es de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\epsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

✚ Plan (y-y) :

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 22,63 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 0,24$$

✚ **Plan (z-z) :**

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 22,63 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 0,24$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 0,24$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,99$

D'où :

$$N_{c,Rd} = \frac{0,99 \times 1380 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 291,87 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 131,35 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 291,87 \text{ kN} \quad \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

V.5.1.1.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 114,88 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

V.5.1.1.3 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1380 \times 235}{1,1} = 294,81 \text{ kN}$$

V.5.1.1.4 Vérification

$$N_{pl,Rd} = 249,81 \geq N_{t,sd} = 114,73 \text{ kN}$$

\Rightarrow Condition vérifiée

Conclusion : la palée de stabilité en **CIRC 76.1x6.3** résiste aux phénomènes d'instabilité.

V.5.2 Justification de la porte de la ferme

On choisit un double profilé en **CIRC 101x6.3**

Tableau V.13 : Caractéristiques du profilé **CIRC 101x6.3**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC 101x6.3	18,90	102	6	34	215	57,30

on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 113,39\text{kN}$ (obtenue par le logiciel **ROBOT**)

V.5.2.1 Les éléments comprimés

V.5.2.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section es de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\epsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

✚ Plan (y-y) :

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 160,17 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 1,71$$

✚ Plan (z-z) :

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 160,17 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,71$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,71$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,30$

D'où :

$$N_{c,Rd} = \frac{0,33 \times 1630 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 1149,15 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} = 113,39\text{kN} < N_{c,Rd} = 114,915\text{kN}$$

\Rightarrow Condition vérifiée

V.5.2.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 123,62 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

V.5.2.2.1 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1630 \times 235}{1,1} = 348,23 \text{ kN}$$

V.5.2.2.2 Vérification

$$N_{pl,Rd} = 348,23 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 123,63 \text{ kN}$$

⇒ Condition vérifiée

Conclusion : la palée de stabilité en **CIRC 88.9x6.3** résiste aux phénomènes d'instabilité

V.6 JUSTIFICATION DES CISEAUX

On choisit un tube en **CIRF 88.9x4**

Tableau V.14 : Caractéristiques du profilé **CIRC 88.9x4**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC 88.9x4	10,70	89	4	30	96,30	28,85

on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 104,235 \text{ kN}$ (obtenue par le **ROBOT**)

V.6.1 Les éléments comprimés

V.6.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction

- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Plan (y-y) :

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = \frac{l}{3} = \frac{325}{3} = 108,33 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 1,16$$

Plan (z-z) :

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = \frac{l}{3} = \frac{325}{3} = 108,33 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,16$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,16$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,56$

$$\text{D'où : } N_{c,Rd} = \frac{0,56 \times 1 \times 1070 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 128,01 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

$$N_{c,sd} = 104,235 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 128,01 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

V.6.2 Les éléments tendus

V.6.2.1 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1070 \times 235}{1,1} = 228,59 \text{ kN}$$

V.6.2.2 Vérification

$$N_{pl,Rd} = 145,49 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 104,235 \text{ kN}$$

\Rightarrow *Condition vérifiée*

Conclusion : la palée de stabilité en **CIRF 88.9x4** résiste aux phénomènes d'instabilité

V.7 JUSTIFICATION DU CONTREVENTEMENT

On choisit une cornier en **CAE 80x10** et on vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 88,25$ kN (obtenue par le **ROBOT**)

V.7.1 Les éléments comprimés

V.7.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

Axe (z-z) : courbe b $\longrightarrow \alpha = 0,34$

Plan (y-y) :

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = \frac{310,9}{2,43} = 129,18 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 1,38$$

Plan (z-z) :

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = \frac{310,9}{2,43} = 129,18 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,38$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,38$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,39$

$$D'où : N_{c,Rd} = \frac{0,39 \times 1 \times 1511 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 125,89 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

$$N_{c,sd} = 88,25 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 125,89 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

V.7.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 66,33 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

V.7.2.1 Résistance ultime

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{A_{net} \times F_u}{\gamma_{m1}}$$

$$A_{net} = 10,83 \text{ cm}^2 \text{ (tableau des sections)}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \frac{1083 \times 360}{1,25} = 280,71 \text{ kN}$$

V.7.2.2 Résistance plastique de calcul de la section nette

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1083 \times 235}{1,1} = 231,37 \text{ kN}$$

V.7.2.3 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1511 \times 235}{1,1} = 322,8 \text{ kN}$$

V.7.2.4 Vérification

$$\text{Min} (N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{net,Rd}) = 231,37 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 66,33 \text{ kN}$$

\Rightarrow Condition vérifiée

Conclusion : la palée de stabilité en **CAE 80x10** résiste aux phénomènes d'instabilité

V.8 JUSTIFICATION DE LA STABILITE

On choisit un tube en **CIRF 114.3x8**

Tableau V.15 : Caractéristiques du profilé **CIRC 114x8**

PROFIL	Section	Dimensions			Caractéristiques	
	A cm ²	D mm	t _w mm	r mm	I _y = I _z cm ⁴	W _{pl-y} = W _{pl-z} cm ³
CIRC 114x8	26,70	114	8	38	379	90,57

On vérifie sa résistance.

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

Avec : $N_{c,sd} = 164,935$ kN (obtenue par le **ROBOT**)

V.8.1 Les éléments comprimés

V.8.1.1 Vérification au flambement

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $N_{c,Rd}$: Résistance au flambement
- $\beta_A = 1$ (la section est de classe I)
- $\gamma_{m1} = 1,1$
- χ : Coefficient de réduction
- $\bar{\lambda}$: Elancement réduit
- $\bar{\lambda} : (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A} = \lambda / 93,9\varepsilon$
- λ : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

Donc, les courbes de flambement considérées par chaque axe sont :

Axe (y-y) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Axe (z-z) : courbe a $\longrightarrow \alpha = 0,21$

Plan (y-y) :

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 136,48 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = 1,45$$

Plan (z-z) :

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 136,48 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = 1,45$$

$$\bar{\lambda} = \max(\bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z) = 1,45$$

χ : Est déterminé en fonction de $\bar{\lambda}$ et la courbe de flambement c : $\chi = 0,39$

$$D'où : N_{c,Rd} = \frac{0,39 \times 1 \times 2670 \times 235}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 222,46 \text{ kN}$$

$$N_{c,sd} \leq N_{c,Rd}$$

$$N_{c,sd} = 164,93537 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 222,46 \text{ kN} \Rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

V.8.2 Les éléments tendus

$$N_{t,sd} \leq N_{t,Rd}$$

Avec : $N_{t,sd} = 124,186 \text{ kN}$ (Calculé par le logiciel ROBOT)

V.8.2.1 Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2670 \times 235}{1,1} = 570,41 \text{ kN}$$

V.8.2.2 Vérification

$$N_{pl,Rd} = 363,18 \text{ kN} \geq N_{t,sd} = 124,186 \text{ kN}$$

\Rightarrow *Condition vérifiée*

Conclusion : la palée de stabilité en **CIRC 114.3x8** résiste aux phénomènes d'instabilité

CHAPITRE VI. ETUDE-DES ASSEMBLAGES

VI.1. INTRODUCTION

L'importance du calcul des assemblages en construction métallique est comme celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction.

Les nœuds entre les éléments résistants sont le point de passage des sollicitations d'un profilé à un autre donc l'assemblage doit être fait correctement pour assurer la continuité de matière. Un mauvais assemblage peut mettre en cause le fonctionnement global de la structure.

Les assemblages sont des ensembles constitués de plusieurs composants :

- Les abouts des éléments structurels attachés.
- Les pièces accessoires de liaison.
- Les organes de fixation proprement dits assurant la solidarisation effective entre les composants en présence.

Les dessins techniques et autres détails sont représentés dans l'ANNEXE D.

VI.2. ROLE DES ASSEMBLAGES

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la réparation des diverses sollicitations entre les pièces.

Pour conduire les calculs selon les schémas classiques de la résistance des matériaux, il y a lieu de distinguer, parmi les assemblages :

- Les assemblages articulés qui transmettent uniquement les efforts normaux et les tranchants.
- Les assemblages semi-rigides qui transmettent en outre les divers moments.

VI.3. CALCUL DES ASSEMBLAGES

VI.3.1. Assemblage tirant –membrure (IPE500 – IPE 600)

Le principe de l'assemblage est de souder une platine en bout de membrure, elle est percée symétriquement de part et d'autre de la poutre. Les mêmes percages qui sont effectués sur l'aile du tirant, permettent de solidariser les deux éléments assemblés.

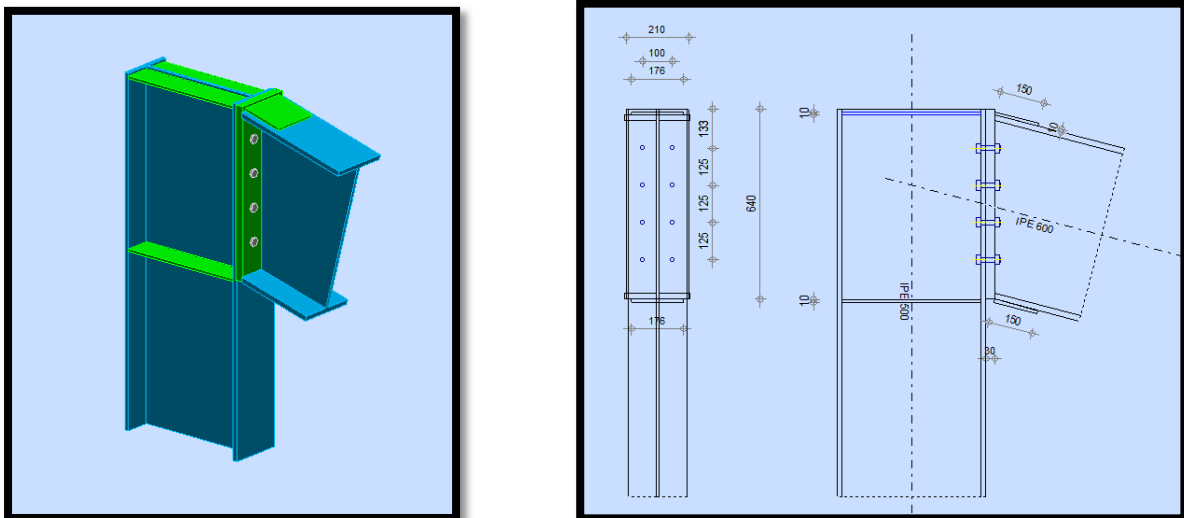


Figure VI.1. Assemblage tirant –membrure.

VI.3.1.1. Efforts sollicitant

Les efforts sollicitant de l'assemblage :

$$V_{sd} = 6910.67 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 68545.84 \text{ daN}$$

VI.3.1.2. Soudure de la platine

- **Cordon de soudure**

Épaisseur de la platine : $é_p = 30 \text{ mm}$

Épaisseur de la semelle IPE 600 : $t_f = 19 \text{ mm}$

Épaisseur de l'âme IPE 600 : $t_w = 12 \text{ mm}$

On prend : $a = 9 \text{ mm}$

- **Vérification de la soudure de la semelle a la traction**

$$N_d \leq F_{w,rd}$$

$$F_{w,rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}$$

- La nuance d'acier utilisé est S 235 donc $\begin{cases} \beta_w = 0.8 \\ \gamma_{mw} = 1.25 \end{cases}$
- La longueur totale des cordons de soudure de la semelle $\sum l = 856 \text{ mm}$

$$F_{w,rd} = \frac{9 \times 856 \times 360}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 160124,6 \text{ daN}$$

$$N_d = N_{sd} \times \cos 15 + V_{sd} \cos 75 = 67998,8 \text{ daN}$$

$$N_d = 67998,8 \text{ daN} < F_{w,rd} = 160124,6 \text{ daN} \text{ Condition vérifiée.}$$

- **Vérification de la soudure de l'âme au cisaillement**

$$V_d \leq F_{v,rd}$$

$$F_{v,rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}$$

- La nuance d'acier utilisé est S 235 donc $\begin{cases} \beta_w = 0,8 \\ \gamma_{mw} = 1,25 \end{cases}$
- La longueur totale des cordons de soudure de la semelle $\sum l = 1124 \text{ mm}$

$$F_{v,rd} = \frac{9 \times 1124 \times 360}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 210257,1 \text{ daN}$$

$$V_d = N_{sd} \times \sin 15 + V_{sd} \sin 75 = 24416,16 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 24416,16 \text{ daN} < F_{v,rd} = 210257,1 \text{ daN} \text{ Condition vérifiée.}$$

VI.3.1.3. Disposition constructive

Pour des raisons pratiques on évite toujours la mise en œuvre dans un même assemblage des boulons de diamètres différents.

On prend deux files de 8 boulons $\varnothing 20$ classe 10.9

L'épaisseur la plus mince : $t = \min(t_f ; t_{\text{platine}}) = \min(16 ; 30) = 16 \text{ mm}$

$d_0 = \varnothing + 2 = 22 \text{ mm}$

- **Entraxes (p_1, p_2)**

$2,2 d_0 \leq p_1 \leq 14t$ Alors on prend $p_1 = 100 \text{ mm}$.

$3 d_0 \leq p_2 \leq 14t$ Alors on prend $p_2 = 125 \text{ mm}$.

- **Pinces (e_1, e_2)**

$1,2 d_0 \leq e_1 \leq 12t$ Alors on prend $e_1 = 55 \text{ mm}$.

$1,5 d_0 \leq e_2 \leq 12t$ Alors on prend $e_2 = 133 \text{ mm}$.

VI.3.1.4. Vérification a la traction

$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$ avec $F_{t,Sd}$ l'effort de traction du boulon le plus sollicité

$$F_{t,Sd} = N_{sd} \times \cos 15 + V_{sd} \cos 75 = 67998.8 \text{ daN}$$

$$F_{t,Rd} \times 8 = 8 \times 0,9 \times \frac{A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} = 8 \times 0,9 \times \frac{245 \times 1000}{1,5} = 117600 \text{ daN}$$

$F_{t,Sd} = 67998,8 \text{ daN} < F_{t,Rd} = 117600 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.1.5. Vérification au poinçonnement de la platine

$$F_{t,Sd} \leq B_{p,Rd}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{mb}} = \frac{0,6 \times 3,14 \times 32,32 \times 30 \times 360}{1,25} = 52609,72 \text{ daN}$$

$F_{t,Sd} = 10675,61 \text{ daN} < B_{p,Rd} = 52609,72 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.1.6. Vérification au cisaillement

$V_d \leq n F_{v,Rd}$ avec n le nombre de boulons $n = 8$

$$8 \times F_{v,Rd} = 8 \times 0,5 \times \frac{A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} = 8 \times 0,5 \times \frac{245 \times 1000}{1,25} = 78400 \text{ daN}$$

$V_d = 24416,16 \text{ daN} < 8 \times F_{v,Rd} = 78400 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.1.7. Vérification de la pression diamétrale

$$\frac{V_{sd}}{n} \leq F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{mb}}$$

$$\text{Avec : } \alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(1,01; 1,6; 2,7; 1) = 1$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1 \times 360 \times 18 \times 30}{1,25} = 38880 \text{ daN}$$

$$\frac{V_d}{8} = 3052,02 \text{ daN} < F_{b,Rd} = 38880 \text{ daN}$$

Condition vérifiée.

VI.3.1.8. Vérification de la combinaison traction cisaillement

$$\frac{V_d}{n \times F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{24416,16}{78400} + \frac{67998,8}{1,4 \times 117600} = 0,72 \leq 1 \quad \text{Condition vérifiée.}$$

VI.3.2. Assemblage poteau – membrure (HEA 800 – IPE 600)

Cet assemblage est réalisé par boulonnage de la semelle du membrure et la platine soudée avec la section du poteau.

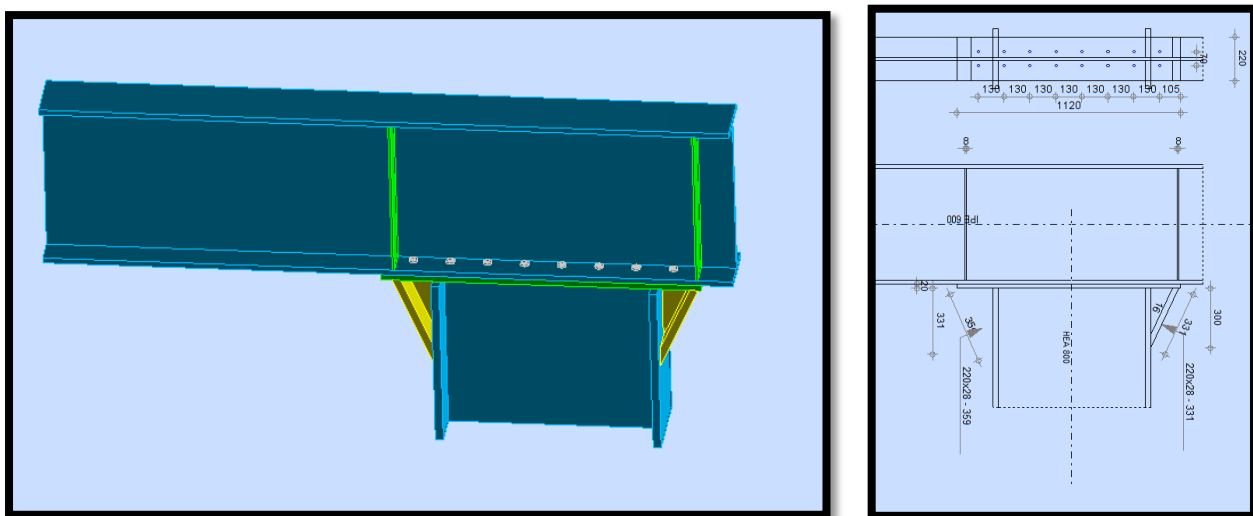


Figure VI.2. Assemblage poteau-poutre secondaire.

VI.3.2.1. Efforts sollicitant

Les efforts sollicitant de l'assemblage:

$$V_{sd} = 1076.071 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 117380.96 \text{ daN}$$

$$M_{sd} = 9474.02 \text{ daN.m}$$

VI.3.2.2. Soudure de la platine

- **Cordon de soudure**

Epaisseur de la platine : $\epsilon_p = 30 \text{ mm}$

Epaisseur de la semelle HEA800 : $t_f = 28 \text{ mm}$

Epaisseur de l'âme HEA800 : $t_w = 15 \text{ mm}$

On prend : $a = 9 \text{ mm}$

- **Vérification de la soudure de la semelle a la traction**

$$N_d \leq F_{w,rd}$$

$$N_d = \frac{M_{sd}}{h} + N_{sd} = \frac{9474.02}{0.790} + 117380,96 = 129373,39 \text{ daN}$$

$$F_{w,rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}$$

- La nuance d'acier utilisé est S 235 donc $\begin{cases} \beta_w = 0,8 \\ \gamma_{mw} = 1,25 \end{cases}$
- La longueur totale des cordons de soudure de la semelle $\sum l = 1170 \text{ mm}$

$$F_{w,rd} = \frac{9 \times 1170 \times 360}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 218861,94 \text{ daN}$$

$N_d = 129373,39 \text{ daN} < F_{w,rd} = 218861,94 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

- **Vérification de la soudure de l'âme au cisaillement**

$$V_d \leq F_{v,rd}$$

$$F_{v,rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}$$

- La nuance d'acier utilisé est S 235 donc $\begin{cases} \beta_w = 0,8 \\ \gamma_{mw} = 1,25 \end{cases}$
- La longueur totale des cordons de soudure de la semelle $\sum l = 1468 \text{ mm}$

$$F_{v,rd} = \frac{9 \times 1468 \times 360}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 274606,26 \text{ daN}$$

$V_{sd} = 1076,07 \text{ daN} < F_{v,rd} = 274606,26 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.2.3. Disposition constructive

Pour des raisons pratiques on évite toujours la mise en œuvre dans un même assemblage des boulons de diamètres différents.

On prend deux files de 16 boulons $\varnothing 22$ classe 10.9

L'épaisseur la plus mince : $t = \min(t_f ; t_{platine}) = \min(19 ; 30) = 19 \text{ mm}$

$d_0 = \varnothing + 2 = 24 \text{ mm}$

- **Entraxes (p_1, p_2)**

$2,2 d_0 \leq p_1 \leq 14t$ Alors on prend $p_1 = 130 \text{ mm}$.

$3 d_0 \leq p_2 \leq 14t$ Alors on prend $p_2 = 70 \text{ mm}$.

- **Pinces (e_1, e_2)**

$1,2 d_0 \leq e_1 \leq 12t$ Alors on prend $e_1 = 105 \text{ mm}$.

$1,5 d_0 \leq e_2 \leq 12t$ Alors on prend $e_2 = 75 \text{ mm}$.

VI.3.2.4. Vérification a la traction

$F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd}$ avec $F_{t,Sd}$ l'effort de traction du boulon le plus sollicité

$$F_{t,sd} = \frac{M_{sd} \times h_g}{2 \times \sum h_i^2} + \frac{V_{sd}}{16}$$

$$F_{t,sd} = \frac{9474,02 \times 0,961}{2 \times (0,105^2 + 0,208^2 + 0,311^2 + 0,441^2 + 0,571^2 + 0,701^2 + 0,831^2 + 0,961^2)} + \frac{1076,07}{16}$$

$$F_{t,sd} = 1721,75 \text{ daN}$$

$$F_{t,Rd} = 0,9 \times \frac{A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} = 0,9 \times \frac{303 \times 1000}{1,5} = 18198,18 \text{ daN}$$

$F_{t,Sd} = 1721,75 \text{ daN} < F_{t,Rd} = 18198,18 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.2.5. Vérification au poinçonnement de la platine

$$F_{t,Sd} \leq B_{p,Rd}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{mb}} = \frac{0,6 \times 3,14 \times 36,63 \times 30 \times 360}{1,25} = 59625,43 \text{ daN}$$

$F_{t,Sd} = 1721,75 \text{ daN} < B_{p,Rd} = 59625,43 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.2.6. Vérification au cisaillement

$N_{sd} \leq n F_{v,Rd}$ avec n le nombre de boulons n = 16

$$16 \times F_{v,Rd} = 16 \times 0,5 \times \frac{A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} = 16 \times 0,5 \times \frac{303 \times 1000}{1,25} = 193920 \text{ daN}$$

$N_{sd} = 117380,96 \text{ daN} < 16 \times F_{v,Rd} = 193920 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.2.7. Vérification de la pression diamétrale

$$\frac{N_{sd}}{n} \leq F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{mb}}$$

$$\text{Avec : } \alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(1,34; 1,41; 2,7; 1) = 1$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 1 \times 360 \times 22 \times 30}{1,25} = 47520 \text{ daN}$$

$\frac{N_{sd}}{16} = 7336,31 \text{ daN} < F_{b,Rd} = 47520 \text{ daN}$ Condition vérifiée.

VI.3.2.8. Vérification de la combinaison traction cisaillement

$$\frac{N_{sd}}{n \times F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{117380,96}{193920} + \frac{1721,75}{1,4 \times 18198,18} = 0,67 \leq 1 \quad \text{Condition vérifiée.}$$

VI.3.3. Assemblage des contreventements (Contreventement en X)

Cet assemblage est réalisé avec boulonnage de la barre du contreventement avec le gousset soudé avec le tirant.

Les deux barres qui forment un X sont boulonnées avec un gousset au milieu.

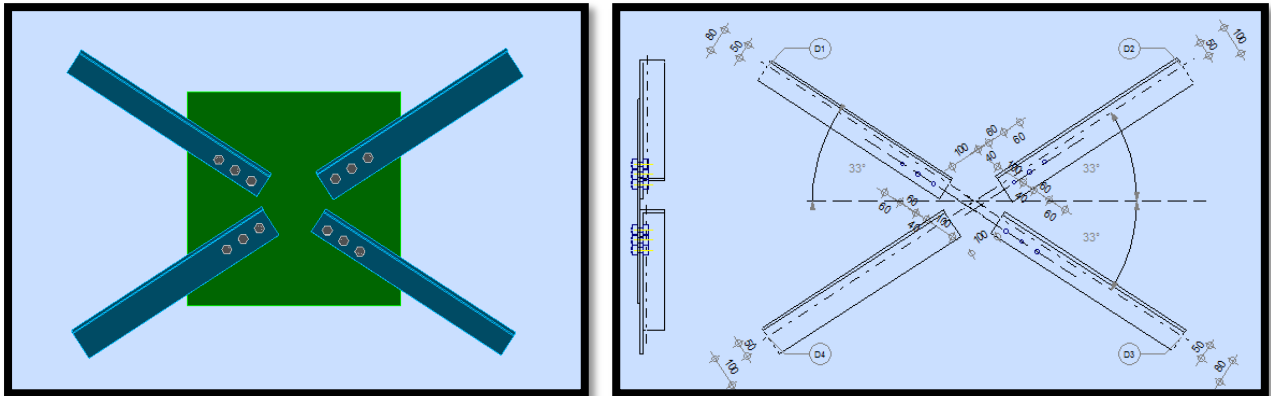


Figure VI.3. Assemblage contreventement X.

VI.3.3.1. Efforts sollicitant

Les efforts sollicitant de l'assemblage :

$$N_{sd} = 5504.195 \text{ daN}$$

VI.3.3.2. Epaisseur du gousset

- La dimension du gousset : gousset central 450×450 mm²
gousset de rive 300×300 mm²
- Le gousset est sollicité en traction
- La longueur du plan de traction $l = 200 \text{ mm}$
- Le diamètre de trou $d_0 = 18 \text{ mm}$

$$N_{sd} \leq N_{u,Rd} = \frac{t(l - d_0) \times f_y}{\gamma_{m2}}$$

$$t \geq N_{sd} \times \frac{\gamma_{m2}}{(l - d_0) \times f_y} = 5504.195 \times \frac{1.25}{(200 - 18) \times 235} = 0.16 \text{ mm}$$

On prend $t = 8 \text{ mm}$

VI.3.3.3. Soudure du gousset

- **Cordon de soudure**

Epaisseur du gousset : $\text{ép} = 8 \text{ mm}$

Epaisseur de l'âme IPE 600 : $t_w = 12 \text{ mm}$

On prend une valeur commune : $a = 5 \text{ mm}$

- **Vérification de la soudure a la traction (cordon oblique)**

$$N_{sd} \leq F_{w,rd}$$

$$F_{w,rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}$$

- La nuance d'acier utilisé est S 235 donc $\begin{cases} \beta_w = 0.8 \\ \gamma_{mw} = 1.25 \end{cases}$
- La longueur totale des cordons de soudure de la semelle $\sum l = 600 \text{ mm}$

$$F_{w,Rd} = \frac{5 \times 600 \times 360}{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25} = 62353.83 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 5504.195 \text{ daN} < F_{w,Rd} = 62353.83 \text{ daN} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

VI.3.3.4. Disposition constructive

L'assemblage est réalisé avec une file de 3 boulons $\varnothing 16$ classe 8.8 dans chaque côté de la barre.

$$t = \min(t_w ; t_{\text{gousset}}) = \min(7 ; 16) = 7 \text{ mm}$$

$$d_0 = \varnothing + 2 = 18 \text{ mm}$$

- **Entraxes (p_1)**

$$2,2 d_0 \leq p_1 \leq 14t \text{ Alors on prend } p_1 = 60 \text{ mm.}$$

- **Pinces (e_1)**

$$1,2 d_0 \leq e_1 \leq 12t \text{ Alors on prend } e_1 = 40 \text{ mm.}$$

VI.3.3.5. Vérification au cisaillement

$$V_{sd} \leq n F_{v,Rd} \quad \text{avec } n \text{ le nombre de boulons } n = 3$$

$$3 \times F_{v,Rd} = 3 \times 0,6 \times \frac{A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} = 3 \times 0,6 \times \frac{157 \times 800}{1.25} = 18086.4 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 2752,09 \text{ daN} < 3 \times F_{v,Rd} = 18086,4 \text{ daN} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

VI.3.3.6. Vérification de la pression diamétrale

$$\frac{V_{sd}}{n} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{mb}}$$

$$\text{Avec : } \alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(0,74; 0,86; 2,22; 1) = 0.74$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0,74 \times 360 \times 16 \times 16}{1,25} = 13639.63 \text{ daN}$$

$$\frac{V_{sd}}{3} = 2752,09 \text{ daN} < F_{b,Rd} = 13639,63 \text{ daN}$$

Condition vérifiée.

VI.3.4. STABILITE (CIRC 114.3x8)

Cet assemblage est réalisé on soudant le profilé tubulaire dans les deux extrêmes par un gousset soudé avec les éléments de la structure de tel sort que les barres assemblées forment un X.

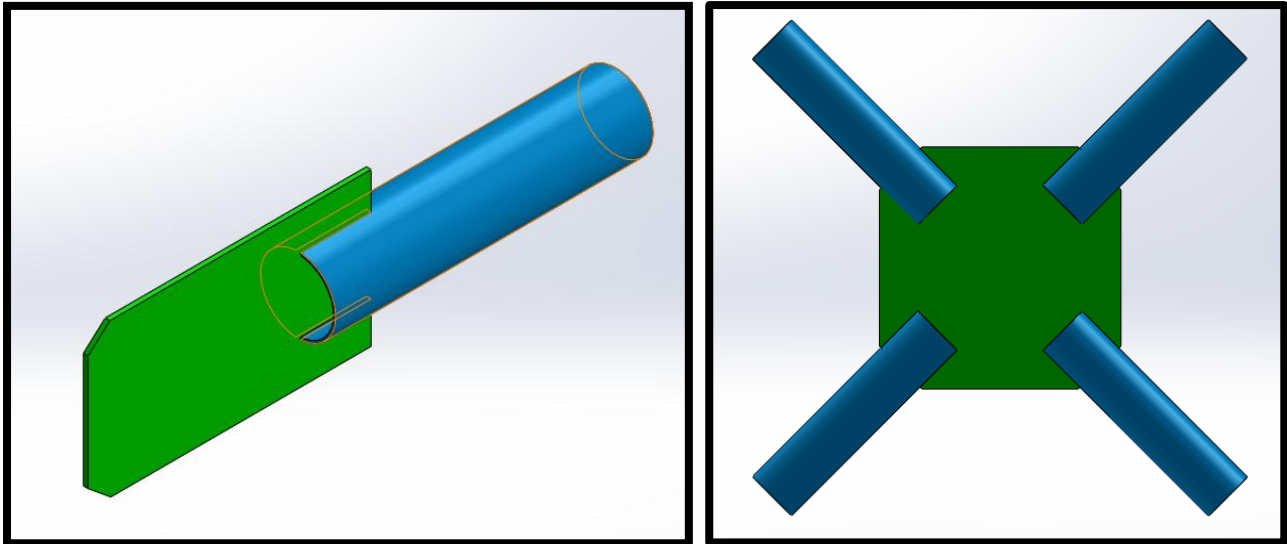


Figure VI.4. Assemblage contreventement tubulaire

VI.3.4.1. Efforts sollicitant

Les efforts sollicitant de l'assemblage :

$$N_{sd} = 11071,49 \text{ daN}$$

VI.3.4.2. Epaisseur du gousset

- La dimension du gousset : gousset central 450×450 mm²
gousset de rive 300×300 mm²
- Le gousset est sollicité en traction
- La longueur du plan de traction $l = 203,6 \text{ mm}$

On prend $t = 8 \text{ mm}$

VI.3.4.4. Vérification de la soudure

- **Cordon de soudure**

Epaisseur du gousset : $é_p = 8 \text{ mm}$

Epaisseur de l'âme HEA 800 : $t_w = 15 \text{ mm}$

Epaisseur de la semelle IPE 240 : $t_f = 9,8 \text{ mm}$

Epaisseur du contreventement tubulaire : $t = 8 \text{ mm}$

On prend une valeur commune : $a = 5 \text{ mm}$

- **Vérification de la soudure gousset a la traction (cordon oblique)**

$$N_{sd} \leq F_{w,rd}$$

$$F_{w,rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}$$

- La nuance d'acier utilisé est S 235 donc $\begin{cases} \beta_w = 0,8 \\ \gamma_{mw} = 1,25 \end{cases}$
- La longueur totale des cordons de soudure de la semelle $\sum l = 600$ mm

$$F_{w,rd} = \frac{5 \times 359,844 \times 360}{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25} = 44777,585 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 11077.49 \text{ daN} < F_{w,rd} = 44777.585 \text{ daN} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

- **Vérification de la soudure du gousset longitudinal**

Un profil creux circulaire (**CIRC 114.3x8**) en acier S 235 est fondu puis soudé sur un gousset traversant en acier S 235. L'air du profil est de 1511 mm². La soudure est composée de 4 cordons de longueur L.

L'attache transmet un effort dérivé selon l'axe du profil, en traction ou en compression.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1511 \times 235}{1} = 355085 \text{ N}$$

Les cordons étudiés sont latéraux et la sollicitation est $F_{Ed} = N_{c,Rd}$; la résistance des cordons est à vérifier selon la relation :

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = \frac{A_w \times f_y}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{m2}}$$

L'aire A_w nécessaire est alors :

$$A_w \geq N_{c,Rd} \frac{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{m2}}{f_y} = \frac{355085 \times \sqrt{3} \times 0,8 \times 1,25}{360} = 1708,4 \text{ mm}^2$$

Comme $A_w = 4a.l_{eff}$ et $a=5$, il vient $l_{eff} \geq 85.42$ mm

Les cordons doivent avoir une longueur nominale $L=l_{eff} + 2 \times 4 = 94$ mm

Conclusion :

Le choix de la soudure par 4 cordons de longueur 94 mm permet de respecter les conditions imposées

VI.3.5 Assemblage en pieds de poteaux (encastrée)

Cette partie, traite les liaisons en pieds de poteaux, qui sont encastrés. Ces liaisons impliquent donc la transmission d'un effort vertical de compression ou de soulèvement suivant les combinaisons de cas de charges considérées, un moment flechissant, et un effort horizontal.

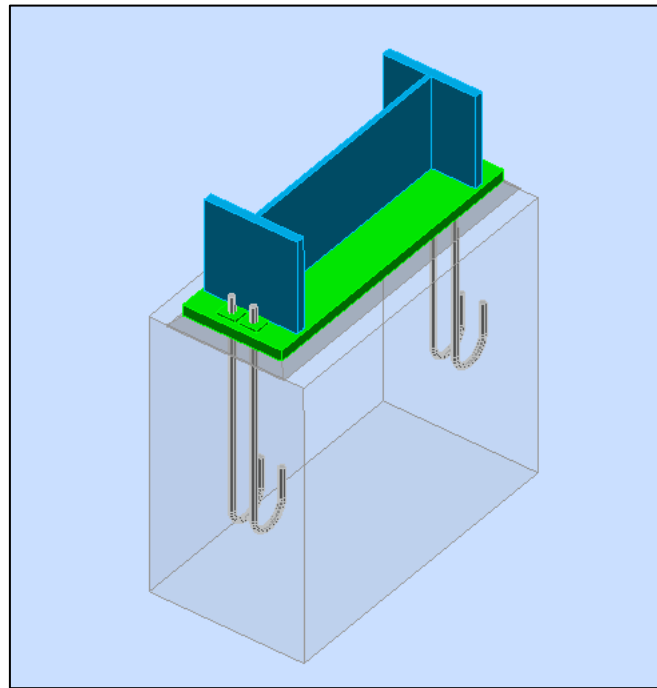


Figure VI.5 : 3D de la jonction poteau-fondation

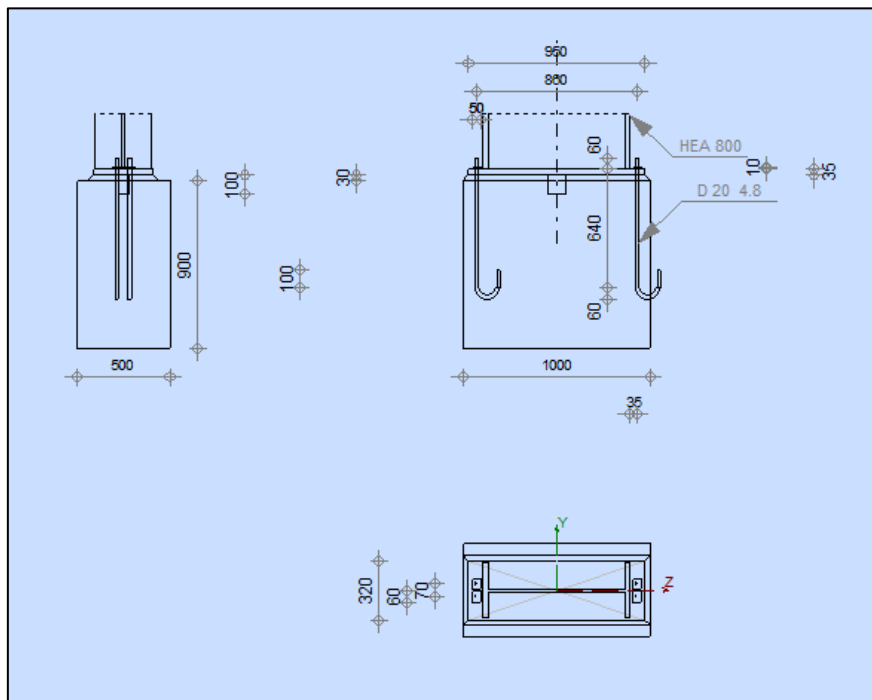


Figure VI.6: Détail de jonction poteau-fondation

VI.3.5.1 Efforts sollicitants

Les efforts sollicitants sur la liaison « Pieds de poteau » les plus défavorables calculés par le logiciel **ROBOT** sont :

- $N_{sd} = 66,08 \text{ kN}$
- $M_{sd} = 270,49 \text{ kN.m}$

VI.3.5.2 Dimensionnement de la plaque d'assise

C'est un plat en acier rectangulaire soudé à la base du poteau par un cordon de soudure appliqué sur le contour de la section du profilé constituant le poteau.

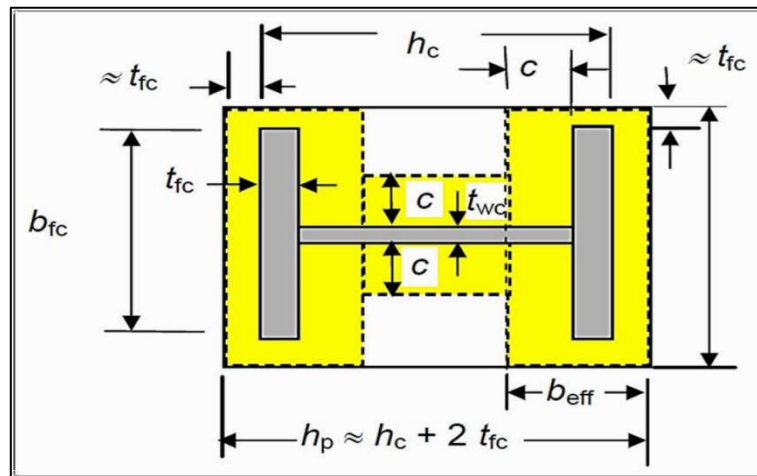


Figure VI.7 : Dimensions de la plaque d'assise

- **Cordon de soudure**

Semelle HEA 800 : $a_s = 0,7 \times t_f = 0,7 \times 28 = 19,6 \text{ mm} \Rightarrow$ On prend $a_s = 20 \text{ mm}$

Ame HEA 800 : $a_a = 0,7 \times t_w = 0,7 \times 15 = 10,5 \text{ mm} \Rightarrow$ On prend $a_a = 11 \text{ mm}$

- **Résistance de calcul à l'écrasement du matériau de scellement**

- La valeur du coefficient du matériau de scellement est : $\beta_j = \frac{2}{3}$
- Les dimensions de la fondation étant inconnues, prendre : $\sqrt{\frac{A_{cl}}{A_{co}}} \times 0,5 = \alpha = 1,5$
- La résistance de calcul à l'écrasement du matériau de scellement :

$$f_{j,d} = \alpha \cdot \beta_j \times f_{cd} = f_{cd} = 16,7 \text{ N/mm}^2$$

- Résistance de calcul du béton à la compression : $f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \times f_{ck}}{\gamma_c}$

Où : $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ La valeur de α_{cc} est donnée dans l'Annexe nationale. Sa valeur recommandée est de : $\alpha_{cc} = 1,0$.

La résistance de calcul du béton devient : $f_{cd} = \frac{1 \times 25}{1,5} = 16,7 \text{ N/mm}^2$

VI.3.5.2.1 Estimation de l'aire de la plaque d'assise

Une estimation de l'aire requise de la plaque d'assise est donnée par la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$A_{co} = \frac{1}{h_c \times b_{fc}} \times \left(\frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} \right)^2 = \frac{1}{490 \times 300} \times \left(\frac{66082}{16,7} \right)^2 = 66,06 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0} = \frac{N_{j,Ed}}{f_{cd}} = \frac{66082}{16,7} = 3957 \text{ mm}^2$$

On prend $A_{c0} = 3957 \text{ mm}^2$ qui est le plus grand.

VI.3.5.2.2 Choix du type de la plaque d'assise

Comme estimation pour A_{c0} on a : $A_{c0} = 3957 \text{ mm}^2 < 0,95 \times 790 \times 300 = 225150 \text{ mm}^2$, donc on conclure la plaque à projection courte est satisfaisante.

Les dimensions en plan adéquates pour la plaque d'assise à projection courte sont choisies comme suit :

$$b_c = 500 \text{ mm} > b_{fc} + 2 t_{fc} = 300 + 2 \times 28 = 356 \text{ mm}$$

$$h_c = 1000 \text{ mm} > h_{fc} + 2 t_{wc} = 490 + 2 \times 15 = 520 \text{ mm}$$

$$\text{Ce qui nous donne } A_{c0} = 500 \times 1000 = 500000 \text{ mm}^2 > 3957 \text{ mm}^2$$

VI.3.5.2.3 Vérification de la résistance de calcul de la plaque d'assise

Pour une plaque d'assise à projection courte, la valeur de la largeur d'appui additionnelle, c , est donnée par la formule suivante :

$$c = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

Où : $A = +2$

$$B = -(b_{fc} - t_{wc} + h_c) = -(300 - 15 + 1000) = -1285 \text{ mm}$$

$$C = \frac{0,5N_{j,Ed}}{f_{j,d}} - (2b_{fc}t_{wc} + 4t_{fc}^2 + 0,5h_ct_{wc} - t_{fc}t_{wc}) = -14737,49 \text{ mm}^2$$

La largeur additionnelle est de :

$$c = \frac{1285 - \sqrt{1285^2 - 4 \times 2 \times -14737,49}}{2 \times 2} = 11,27 \text{ mm}$$

On vérifie qu'il n'y a pas de recouvrement des zones en T :

$$c \leq \frac{h_c - 2 t_{fc}}{2} = \frac{1000 - 2(28)}{2} = 472 \text{ mm} \quad \text{Condition vérifiée}$$

On vérifie que la largeur de la plaque d'assise est adéquate :

$$c \leq \frac{b_p - t_w}{2} = \frac{300 - 15}{2} = 142,5 \text{ mm} \quad \text{Condition vérifiée}$$

La résistance de calcul d'une plaque d'assise de poteau symétrique soumise à un effort normal de compression centré s'obtient au moyen de l'expression :

$$N_{j,Rd} = (2A_{c0,f} + A_{c0,w}) \times f_{j,d}$$

Où : $A_{c0,f} = (b_{fc} + 2t_{fc})(c + 2t_{fc}) = (300 + 2 \times 28)(11,27 + 2 \times 28) = 23948,12 \text{ mm}$

$$A_{c0,w} = (h_c - 2c - 2t_{fc})(2c + 2t_{wc})$$

$$A_{c0,w} = (790 - (2 \times 11,27) - (2 \times 28))(2 \times 11,27 + 15) = 28400,5 \text{ mm}$$

Par conséquent : $N_{j,Rd} = (2 \times 23948,12 + 28400,5) \times 16,7 \times 10^{-3} = \text{kN}$

$$N_{j,Ed} = 66,08 \text{ kN} < N_{j,Rd} = 1274,15 \text{ kN} \quad \text{Condition vérifiée}$$

VI.3.5.2.4 Détermination de l'épaisseur de la plaque d'assise

L'épaisseur de la plaque devra satisfaire aux conditions suivantes :

$$t_p \geq t_{p,\min} = \frac{c}{\sqrt{\frac{f_y}{3 \times f_{j,d} \times \gamma_{M0}}}} = \frac{11,27}{\sqrt{\frac{235}{3 \times 16,7 \times 1,1}}} = 5,46 \text{ mm}$$

L'épaisseur est faible et pour des raisons pratiques on opte pour une épaisseur pour la plaque d'assise de : $t_p = 8 \text{ mm}$

VI.3.5.3 Vérification des boulons d'ancrage

- $M_{sd} = 270,49 \text{ kN.m}$
- $N_{sd} = 66,08 \text{ kN}$

On suppose une tige d'ancrage de diamètre $\varnothing = 20 \text{ mm}$ de classe 4.8

- **Résistance des boulons d'ancrages**

La résistance des boulons d'ancrage est donnée comme suite :

$$F_{t,Rd,anchor} = \min [F_{t,Rd} ; F_{t,Rd,bond}]$$

- **Résistance des boulons à la traction**

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M0}} = \frac{0,9 \times 400 \times 245}{1,25} = 70,56 \text{ kN}$$

- **Résistance de calcul par adhérence entre le béton et le boulon d'ancrage**

$$F_{t,Rd,bond} = \frac{1}{2,25} \pi \times d \times l_1 \times F_{bd}$$

Pour $\varnothing < 32 \text{ mm}$

Avec : F_{bd} : Contrainte d'adhérence

l_1 : La longueur de la tige 600 mm

$$F_{bd} = \frac{0,36 \times \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} = \frac{0,36 \times \sqrt{25}}{1,5} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$F_{t,Rd,bond} = \frac{1}{2,25} \pi \times 20 \times 600 \times 1,2 = 20,1 \text{ kN}$$

Alors : $F_{t,Rd,anchor} = \min [F_{t,Rd} ; F_{t,Rd,bond}] = 20,1 \text{ kN}$

• **Taille des boulons d'ancrages**

On suppose deux rangées de boulons d'ancrage sur la projection de la plaque d'assise pour qu'ils seront adéquats (soit 4 boulons d'ancrage de section A_s).

$$4.F_{t,Rd,anchor} \geq \max F_{t,Ed}$$

Comme une première estimation, il est supposé que la résistance complète à la traction de la section des boulons d'ancrage puisse être atteinte :

$$F_{t,Rd,anchor} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M0}}$$

La section des boulons requise est donnée comme suit :

$$A_s \geq F_{t,Ed} \times \frac{\gamma_{M0}}{3,6 \times f_{ub}}$$

$$A_s \geq 66,08 \times 10^{+3} \times \frac{1,25}{3,6 \times 400}$$

$$A_s \geq 57,36 \text{ mm}^2$$

Donc on prend un diamètre des boulons d'ancrages $\emptyset = 20 \text{ mm}$ avec $A_s = 245 \text{ mm}^2$

On détermine aussi :

- $r = 3 \times \emptyset = 3 \times 20 = 60 \text{ mm}$
- $l_2 = 2 \times \emptyset = 2 \times 20 = 40 \text{ mm}$
- $l_1 = 20 \times \emptyset = 20 \times 20 = 400 \text{ mm}$
- g_c : le dosage du béton $g_c = 350 \text{ kg/m}^3$

On doit vérifier ces 2 conditions dans le pied de poteau :

$F_{t,Rd} < 0$ (Compression) donc aucune vérification

$F_{t,Rd} > 0$ (Traction) on vérifie cette condition :

$$F_{t,sd} = \frac{N_{sd}}{4} + \frac{M_{sd}}{2 \times d}$$

$$F_{t,sd} \leq F_{t,Rd} = \min (F_{t,acier,Rd} ; F_{t,béton,Rd})$$

$$F_{t,sd} = \frac{66,08}{4} + \frac{270,49}{2 \times 900} = 16,67 \text{ kN}$$

$$F_{t,sd} = 16,67 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = \min (F_{t,acier,Rd} = 70,56 \text{ kN} ; F_{t,béton,Rd} = 20,1 \text{ kN}) = 20,1 \text{ kN}$$

$$F_{t,sd} = 16,67 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 20,1 \text{ kN} \quad \text{Condition vérifiée}$$

VI.4 Conclusion

Ce chapitre traite l'étude des assemblages entre les différents éléments de la structure pour assurée la stabilité et la sécurité de cette dernière.

CONCLUSION GENERALE

Arrivant à la fin de ce modeste travail, qui nous a donné une occasion pour appliquer et approfondir toutes nos connaissances acquises durant le cursus de formation de master.

Cette expérience nous a permis aussi de faire mieux comprendre le domaine de la construction en charpente métallique qui nous a permis d'un coté d'assimiler les différentes techniques et logiciel de calcul ainsi que la réglementation régissant les principes de conception et de calcul des ouvrages dans ce domaine, et développée les idées grâce à la lecture des déférentes références bibliographiques et surtout à l'aide de l'équipe des professeurs de la charpente métallique département de génie civil (faculté de Tlemcen).

La conception d'une structure métallique repose le dimensionnement aux états limites ultimes en tenant compte des actions environnantes les plus sèvres tel que les surcharges d'exploitation, la température, la neige, le vent et le séisme. Ce dimensionnement concerne chaque élément, assemblage, connexion ou partie sensible de la construction. La précision et la rigueur dans les calculs et vérification d'une part et la définition exacte des différents détails de la construction sont requises.

A la fin de l'étude effectuée, on déduit que :

- Les actions du vent pour notre projet sont plus défavorable dans les construction métallique.
- L'utilisation du logiciel ROBOT dans notre étude nous a permit de faire un calcul tridimensionnel et dynamique.
- La disposition des contreventements joue un rôle très un important dans le comportement globale de la toiture.

A la fin de ce projet qui constitue pour nous une première expérience dans un domaine très vaste, il nous acquis des grandeurs très importantes pour mettre le premier pas dans la vie professionnelle.