

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de Génie Civil

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : ... Génie Civil

Spécialité : ... Structures

Par

➤ **BENALDJIA YAAKOUB**

Intitulé

*Étude d'une halle industrielle en charpente métallique par le logiciel
ROBOT*

Soutenu le :

Dirigé par : Dr. MAZOUZ Aida

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. Dr. ABDEMEZIANE Nabil</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Dr MAZOUZ Aida</i>	<i>...</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. Dr logzit abdnacer</i>	<i>....</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024



Remerciements & Dédicaces

Qu'il me soit permis de remercier et d'exprimer ma profonde gratitude :

En premier lieu à Dieu le tout puissant de m'avoir créé et donné toute la force nécessaire pour accomplir ce modeste travail.

Nos sincères remerciements et profonde gratitude à Madame MAZOS Aida mon encadreur, pour m'avoir dirigé et soutenu tout au long de ce travail. Ses qualités intellectuelles et sa modestie ont grandement contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Je remercie également Mr BOUAISSI Taher pour son aide concernant la manipulation avec logiciel robot.

Je remercie par anticipation, Monsieur le président du jury, Dr Logziti Abdnacer ainsi que tous les membres du jury à savoir, , Dr. ABDEMEZIANE Nabil et, d'avoir bien voulu siéger notre jury.

Sans oublier de remercier l'équipe de la société Bordj STEEL, pour leur aides incessants, leur encouragement et leur soutien moral durant tout le parcours de mes études en master.

Je dédie ce modeste travail aux :

A mes chers parents qui m'ont tout donné sans rien en retour la force, la volonté et la motivation nécessaires pour l'accomplissement de mon projet.

A tout camarade de l'université Bordj Bou Arreridj et tout confrères de la société Bordj STEEL.

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu depuis toujours.

A mes frères et famille.

A tous mes amis sans exception.



ملخص :

هذا المشروع الخاص بنهاية الدراسة يتمثل في دراسة وتحديد أبعاد مصنع انتاج كوابل كهربائية عالية الضغط بالهيكل المعدنية تقع في ولاية برج بوعريريج تتكون من العديد من الإطارات المعدنية المثبتة عن طريق الدعامات المعدنية ومغطاة بسقف ذو منحدرين متناظرين ومتماثلين. هذا المشروع أنجز عبر عدة مراحل أولاً: حساب وتقييم الحمولات والحمولات الزائدة وكذلك العوامل المناخية كالرياح والثلوج معتمدين على القانون الجزائري

RPA99version2003

بعدها، تحديد أبعاد ومقاطع مختلف العناصر المكونة للبنية (العناصر الأساسية والثانوية)، ثم دراسة ديناميكية للمنشأ حسب CCM97 بعدها دراسة تركيب العناصر مع بعضها في النهاية قمنا بدراسة البنية التحتية للبنية حسب القانون العالمي BAEL91 كما استعملنا برنامج الروبو لتعيين مختلف التحريضات

الكلمات المفتاحية: إطار معدني - أبعاد - تجميع - ثلج - ريح- مصنع انتاج كوابل كهربائية عالية الضغط

Résumé :

Notre projet de fin d'études porte sur l'étude et le dimensionnement d'une halle d'exposition en charpente métallique située à Bordj Bou Arreridj. Cette structure est composée de plusieurs portiques stabilisés par des contreventements et couverte par une toiture à deux versants symétriques.

Le projet est développé en plusieurs étapes. Tout d'abord, nous évaluons les charges, les surcharges et les effets des actions climatiques (neige et vent) selon le règlement Algérien « RNV 99 /V2013 ». Ensuite, nous procédons au dimensionnement des différents éléments (secondaires et porteurs), suivi par une étude dynamique de l'ouvrage selon le règlement parasismique Algérien « RPA 99 V 2003 ». Nous étudions également les assemblages selon le « CCM 97 », et enfin l'infrastructure selon le « BAEL 91 ». Pour ce faire, nous utilisons le logiciel « ROBOT ».

Le mémoire se conclut par une synthèse des résultats obtenus.

Mots-clés: Charpente métallique, halle industrielle, Dimensionnement, Assemblage, Neige, Vent.

Abstract: This end-of-studies project involves studying and dimensioning a high-voltage electrical cable production factory located in Bordj Bou Arreridj, Algeria. The factory comprises several gantries stabilized by bracing and covered by a roof with two symmetrical slopes. The project is developed in several stages: firstly, the assessment and evaluation of loads, overloads, and the effects of climatic actions (snow and wind) according to the Algerian regulation "RPA 99 version 2003"; then, the dimensioning of the different elements (secondary and main); followed by a dynamic study of the structure according to the Algerian seismic regulation "CCM 97". The project also includes the study of assemblies according to "BAEL 91". The software used for this project is "ROBOT".

Keywords: Métal frame, factory, high-voltage electrical cable production, dimensioning, assembly, Snow, Wind.

Sommaire

introduction générale :.....	1
------------------------------	---

chapitre 1 :présentation du projet

1.1 présentation du projet :.....	3
1.1.1 caractéristiques géographiques du lieu d'implantation :.....	3
1.1.2 caractéristiques géométriques et techniques	3
1.2 pré dimensionnement des éléments porteurs.....	6
1.3 caractéristiques des matériaux.....	7
1.3.1 acier de construction.....	7
1.3.2 béton armé et brique :.....	7

chapitre2:calcul des surcharges climatiques de neige et de vent

2- action de la neige sur la toiture de la halle métallique charges de neige :.....	10
2.1- valeur du coefficient de forme de la toiture (μ).....	10
2.1.1- action du vent sur la halle métallique.....	11
2.1.2- détermination du coefficient dynamique c_d	12
2.2- détermination de la pression dynamique du vent q_{dyn}	12
2.2.1- hauteur de référence z_e	13
2.2.1- coefficient d'exposition au vent c_e	13
2.2.2.1 détermination des coefficients de pression extérieure c_{pe} et intérieure c_{pi}	15
2.2.2.2 coefficients de pression extérieure c_{pe} :.....	15
2.2.2.3- coefficients de pression intérieure c_{pi} :.....	20
calcul des forces de frottement.....	24
• la force de frottement est :.....	25

chapitre 3:calcul des éléments la charpente métallique

3.1. Introduction :.....	28
3.1.1. Etudes des pannes :.....	28
3.1.2. Principe de dimensionnement :.....	28
3.1.3 détermination des charges et surcharges :.....	29
b) surcharge d'entretien peq :.....	29

c) surcharge climatique du vent v (perpendiculaire au versant) :.....	30
d) surcharge climatique de la neige :.....	30
3.1.4. Combinaisons de charge les plus défavorables.....	30
• les charges et surcharges appliquée :.....	30
3.1.5 pré dimensionnement :.....	30
combinaisons des charges les plus défavorables :.....	30
3.1.6 vérification à la sécurité :.....	31
vérification à l'état limite ultime :.....	31
3.1.7 vérification à la flexion :.....	32
3.1.8 vérification au cisaillement :.....	33
3.1.9 vérification au déversement :.....	34
calcul de moment ultime :.....	34
dimensionnement des pannes (avec des liernes) :.....	36
résistance en section :.....	36
vérification à la sécurité :.....	36
vérification au cisaillement :.....	37
vérification au déversement :.....	37
3.2.3 vérification à l'état limite de service :.....	39
3.2.4 vérification à la flèche :.....	39
condition de vérification :.....	40
conclusion.....	40
3.3.1 calcul des liernes.....	40
3.3.2 introduction :.....	40
3.3.3 dimensionnement des liernes :.....	41
3.3.4 calcul de la section des liernes :.....	41
3.4.1 calcul de l'échantignolle :.....	42
introduction :.....	42
calcul des charges revenant à l'échantignolle :.....	42
3.4.2 dimensionnement de l'échantignolle :.....	43
calcul de l'épaisseur de l'échantignolle :.....	43
3.5.1 calcul des lisses de bardages.....	45
3.5.2 introduction :.....	45
3.5.3 détermination des charges et surcharges :.....	45
les charges permanentes.....	45

surcharge climatique due au vent.....	46
3.5.5 combinaisons d'action :.....	46
3.5.6 pré dimensionnement.....	46
3.5.7 dimensionnement des lisses.....	46
les combinaisons de calcul :.....	46
3.5.8 détermination des sollicitations.....	47
3.5.9 vérification de la résistance des lisses :.....	47
3.5.9 vérification à l'els.....	47
3.6.2 vérification la flèche :.....	47
3.6.3 dimensionnement des lisses (avec des liernes) :.....	48
3.6.4 vérification de la résistance des lisses (avec des liernes):.....	48
3.6.5 condition de résistance :.....	48
3.6.6 vérification au cisaillement :.....	48
3.6.7 vérification au diversement :.....	48
3.7.1 vérification à l'els.....	50
combinaisons de calcul :.....	50
vérification la flèche :.....	50
3.7.2 dimensionnement des liernes :.....	50
calcul des liernes de long pannes :.....	50
calcul de la section des liernes :.....	51
3.5.4 surcharge climatique due au vent.....	51
3.5.5 combinaisons d'action :.....	51
3.5.6 pré dimensionnement.....	51
3.5.7 dimensionnement des lisses.....	52
3.5.8 détermination des sollicitations.....	52
3.5.9 vérification de la résistance des lisses :.....	52
3.6.1 vérification à l'els.....	52
3.6.2 vérification la flèche :.....	52
3.6.3 dimensionnement des lisses (avec des liernes) :.....	53
3.6.4 vérification de la résistance des lisses (avec des liernes):.....	53
4.6.3- vérification au cisaillement :.....	53
3.6.9 vérification au diversement :.....	54
3.7.1 vérification à l'els.....	55
3.7.2 dimensionnement des liernes :.....	55

3.8.6	calcul de la section des liernes :	56
3.9.2	introduction :	57
3.9.3	charges permanentes g :(verticale concentrée).....	57
3.9.4	surcharge climatique v (vent) :	57
3.9.5	dimensionnement du potelet :	58
3.9.6	vérification de la section à la résistance :	58
3.9.7	vérification de l'élément aux instabilités :	59
	flexion composée avec risque de déversement :	59
	calcul de coefficient k :	60
	vérification au flambement :	61
	vérification au déversement :	61
3.9.8	conclusion :	61

chapitre4 : etude sismique

4.1	introduction :	63
4.2	principe de calcul :	63
4.3	calcul l'effort sismique dans la structure i :	63
4.3.1-	effort sismique à la base de la structure :	63
7.3.2-	détermination les coefficients de la force sismique totale :	63
a)	coefficient d'accélération de zone :a.....	63
b)	coefficient d'amplification dynamique moyen : d.....	63
b)	coefficient r :	64
c)	coefficient q :	64
4.3.3	poids total de la structure (w) :	65
4.3.4	distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :	66
	les sollicitations dues au vent plus défavorable (sens v1 pignon) :	66
4.4	-conclusion :	66

chapitre5 : calcul de portique

5.1-	calcul de portique.....	68
5.2-	caractéristiques des barres :	68
5.3-	caractéristiques des matériaux :	68
5.4-	donnée des barres :	69
5.5-	charges sur le portique :	69
5.6-	efforts extrêmes globaux :	71

chapitre 6 :etude de stabilités et contreventements

6.1- introduction :	.82
6.2- calcul de la poutre au vent en pignon :	.82
6.3- effort en tête de poteau :	.82
6.4- réactions r_{a1} et r_{b1} :	.82
6.5- calcul de la diagonale :	.82
6.7- palée de stabilité pour hangar :	.84
6.7.1- disposition :	.84
6.7.2- hypothèses de calcul.....	.84
6.7.3- calcul des diagonales :	.84
6.8- vérification des diagonales d_1 et d_2 à la traction :	.85
a) pour le diagonal d_1 :	.85
b) pour le diagonal D_285
6.9- vérification à la traction des diagonales :	.85
6.10- calcul poutre sablière :	.85
6.10.1- généralité :	.85
6.10.2- pré dimensionnement :	.86
6.10.3- conditions de la résistance :	.86
6.10.4.1- vérification de la poutre sablière au flambement :	.86
vérification de flexion et compressions :	.87
6.10.3.2- vérification au flambement :	.88

Chapitre 7 : Traitement surfaces et procédure de soudage

7.1- Objet	
7.1.2- Domaine d'application :	
7.1.3- Définitions et Abréviations :	
7.1.3.1- Définitions :	
7.1.3.2- Abréviations :	
7.1.4- Responsabilité.....	.91
7.1.5- Documents de références:.....	.91
7.1.5- Documents de références:.....	.92
7.1.6- Dispositifs de mesure et contrôle:.....	.92
7.1.7- Partie I : Sablage et Peinture:.....	.92
7.1.7.1- Préparation de surface par sablage:.....	.93

7.1.7.1.1- Contrôle avant Sablage:.....	.93
7.1.7.1.2- Contrôle après Sablage:.....	.93
7.1.7.2- Application de la peinture:.....	.93
7.1.7.3- Stockage et mise à disposition:.....	.94
7.1.8- Libération des produits finis:.....	.99
7.1.9- Enregistrements:.....	.100
7.2.1 Introduction :	
7.2.2 Procédures de Soudage pour les Structures Métalliques	
7.2.2.1 Préparation Avant le Soudage :	
7.2.3 Sélection des Paramètres de Soudage :	
7.2.4 Choix du Type d'Électrode ou de Fil d'Apport :	
7.2.5 Choix de l'Intensité de Courant:	
7.2.6 Choix de la Tension de Soudage :	
7.2.7 Soudage	
7.3 Les Défauts de Soudage dans les Structures Métalliques :	
7.3.1 Principaux Types de Défauts :	
7.3.1.1 Fissures:	
7.3.1.2 Porosités :	
7.3.1.2 Inclusions :	
7.3.1.3 Retassures	
7.3.1.4 Défauts de Pénétration :	
7.3.1.5 Défauts de Forme :	
7.4 Prévention des Défauts de Soudage :	
7.5 Critères d'acceptation :	

Chapitre 8 : etude fondation et assemblage

8.1 Introduction	
8.1.1- Assemblage poteau Traverse :	
8.2- Etude des fondations :	
8.2.1 Efforts sollicitant :	
8.2.2 Dimensionnement de la plaque d'assise :	
8.2.3 Epaisseur de la platine.....	.150
8.2.4 Vérification de la contrainte de compression sur la semelle :.....	.150
8.2.5 Choix du type de fondations:.....	.151

8.2.6	Calcul de la hauteur (h) de la semelle:.....	.152
8.2.7	Calcul de ferrailage:.....	.155
8.3	longrines:.....	.157
Conclusion		

References bibliographiques

Liste des Figures :

Chapitre 1: Présentation du projet

Figure 1.1	: Vue en 3D de la structure (dimensions en m)	4
Figure 1.2	: Élévation de la façade Pignon.....	5
Figure 1.3	: Élévation de la façade Long-pan.....	5
Figure 1.4	: Plan d'implantation.....	6

Chapitre 2: Calcul des surcharges climatiques de neige et de vent (selon les Règles RNV99)

Figure 2.1: Surcharge de Neige sur la toiture.....	11
Figure 2.2: Vent perpendiculaire au long-pan.....	11
Figure 2.3: Vent perpendiculaire au pignon.....	12
Figure 2.4 : Légende pour les parois verticales.....	15
Figure 2.5 : Répartition des C_{pe} pour les parois verticales (sens V1).....	16
Figure 2.6 : Zones de pression pour la toiture (sens V1).....	16
Figure 2.7 : Valeurs de C_{pe} pour chaque zone de la toiture (sens V1).....	17
Figure 2.8 : Zones de pression et répartition des C_{pe} pour les parois verticales (sens V2).....	18
Figure 2.9 : Zones de pression et répartition des C_{pe} pour la toiture (sens V2).....	19
Figure 2.10 : Répartition des pressions sur les parois verticales pour le Sens V1	19
Figure 2.11 : Répartition des pressions sur la toiture pour le Sens V1	21
Figure 2.12 : Répartition des pressions sur les parois verticales pour le Sens V2	22
Figure 2.13 : Répartition des pressions sur la toiture pour le Sens V2	23
Figure 2.14 : Surcharges de vent pour (sens V1).....	26
Figure 2.15 : Surcharges de vent pour (sens V2).....	26

Chapitre 3 : Calcul des éléments la charpente métallique

Figure 3.1 Orientation des charges sur les pannes.....	28
Figure 3.2 Schéma statique sous charge d'entretien.....	29
Figure3.3 Moment due à la charge d'entretien.....	29
Figure3.4 Panne de triture en flexion.....	32
Figure3.5 Présentation les charges et les moments.....	39
Figure3.6 Présentation d'un lierne.....	41
Figure3.7 Echantignole.....	43
Figure3.8 : Dimensions de l'échantignolle.....	44

Calcul des lisses de bardages

Figure4.1 les schémas statiques de la lisse dans les deux plans y-y et z-z.....	46
Figure 4.2 représentation des efforts.....	84

Calcul des potelets

Figure5.1 : Schéma statique du potelet.....	48
--	----

Chapitre 5: Calcul de portique

Figure5.1 : Vue de portique	53
Figure 5.2 : Présentation de la charge permanente.....	53

Figure5.3 : Présentation de la charge du vent	60
Figure5.4 : Présentation de la charge de neige.....	60
Figure5.5 : présentation du Moment max et min.....	61
Figure 5.6 : présentation de l'effort tranchant Fz.....	61

Chapitre 6: Etude de stabilités et contreventements

Figure 4.1 : Schéma statique des contreventements de la toiture	82
Figure 4.2 : Schéma statique des contreventements de long pont.....	85
Figure 4.3 : présentation la sablière.....	88

Chapitre 7 : Traitement surfaces et procédure de soudage

Figure7.1: Représentation de l'assemblage Poteau Traverse.....	105
Figure.2: 7ferraillage des semelles isolées.....	105
Figure7.3: ferraillage des longrines.....	106

Chapitre 8 : Assemblage avec etude fondation

Figure 8.1: Représentation de l'assemblage Poteau Traverse.....	150
Figure 8.2 : ferraillage des semelles isolées.....	152
Figure 8.3 : ferraillage des longrines.....	154

Liste des tableaux :

Tableau 2.1 : Facteur de terrain.....	13
Tableau 2.2 : Valeurs du coefficient d'exposition au vent C_e	14
Tableau 2.3 : Valeurs de la pression dynamique.....	15

Tableau 2.4 : Valeurs de surface et de C_{pe} pour chaque zone des parois verticales (sens V₁).....	16
Tableau 2.5 : Valeurs des surfaces des zones de vent de la toiture (sens V1).....	17
Tableau 2.7 : Valeurs des surfaces et C_{pe} des zones de vent pour les parois verticales (sens V2).....	18
Tableau 2.8 : Valeurs des surfaces des zones de vent pour la toiture (sens V2).....	19
Tableau 2.9 : Valeurs pression sur les parois verticales pour le Sens V1	21
Tableau 2.10 : Valeurs de pression sur les parois verticales pour le Sens V1	22
Tableau 2.11 : Valeurs pression sur les parois verticales pour le Sens V2	23
Tableau 2.12 : Valeurs de pression sur les parois verticales pour le Sens V2	23
Tableau 3.1 : Données géométrique de profile IPE 140.....	32
Tableau 7.1 : Caractéristiques des barres.....	73
Tableau 7.2 : Caractéristiques d'acier.....	73
Tableau 7.3 : Coordonner des nœuds dans le portique	73
Tableau 7.4 : Coordonné d es barres dans le portique.....	74
Tableau 7.5 : Les charges permanentes dans portique 1.....	74
Tableau 7.6 : Les efforts défavorables dans le portique	76
Tableau 8.1 : Dispositifs de mesure et contrôle	82
Tableau 9.1 - Température et durée de séchage et de stockage de produits consommables pour le soudage.....	102
Tableau 9.2 : Exigences complémentaires pour le niveau de qualité.....	105
Tableau 9.3 :Section de calcul du boulon de la partie lisse et de la partie fileté.....	109

LES ANNEXES

Annexe 01 : Clichés représentatifs des degrés de rouille / ISO5801-1.....	99
Annexe 02 : Clichés représentatifs des degrés de décapage / ISO5801-1.....	99
Annexe 03 : Références visuelles correspondant aux catégories de quantité de poussière / ISO5802-3.....	100
Annexe 04 : Classification des résultats de test de quadrillage.....	101
Annexe 05 : Valeur de α en fonction de $\bar{\lambda}$	155

NOTATIONS

Les principales notations utilisées sont les suivants :

A : Aire de la section brute.

A_{net} : Aire de la section nette.

A_{eff} : Aire de la section efficace.

A_v : Aire de cisaillement.

H : Hauteur de la section transversale.

b : Largeur des semelles.

r : Rayon du congé de raccordement.

t_f : Épaisseur des semelles.

t_w : Épaisseur de l'âme.

$I_{y,z}$: Moment d'inertie.

$i_{y,z}$: Rayon de giration de la section.

I_w : Facteur de gauchissement.

I_t : Moment d'inertie de torsion.

$W_{ply,z}$: Module plastique de la section.

$W_{ely,z}$: Module élastique de la section.

W_{eff} : Module élastique efficace de la section.

N_{pl} : Effort normal résistant plastique.

N_u : Effort normal ultime de la section nette.

N_{net} : Effort normal résistant de la section nette.

$M_{ply,z}$: Moment résistant plastique de la section.

$M_{ely,z}$: Moment résistant élastique de la section.

$M_{eff,z}$: Moment résistant de la section efficace.

M_{cr} : Moment critique de déversement.

$\lambda_{y,z}$: Elancement géométrique pour le mode de flambement.

$\lambda_{y,z}$: Elancement réduit pour le mode de flambement.

λ_{cr} : Elancement critique d'Euler.

$\chi_{y,z}$: Coefficient de réduction pour le mode de flambement considéré.

Ψ_s : Coefficient de scellement relatif à une armature (ψ).

τ : Contrainte tangente (τ).

τ_u : Contrainte tangente conventionnelle.

τ_s : Contrainte d'adhérence.

Φ : Diamètre d'une armature transversale.

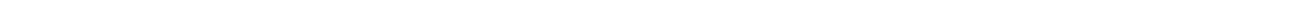
ν : Coefficient de Poisson (ν).

μ_{ser} : Moment ultime à L'ELS (μ).

μ_{bu} : Moment réduit à L'ELU.

α : Facteur d'imperfection pour le flambement.

INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale :

Dans le cadre de notre formation de master en Génie Civil spécialité « Structures» Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi « Bordj Bou Arreridj», nous sommes amenés, à l'issue de notre cursus, à réaliser un projet de fin d'études (PFE).

Il s'agit d'une halle en charpente métallique des destinée à fabrication des poteaux électrique HT et des câbles HT ,Dans ce projet de fin d'études, nous allons appliquer et compléter les connaissances et les informations acquises le long de notre formation, en utilisant les règles de construction actuellement en vigueur en Algérie, ainsi que le moyen de calcul informatique.

Notre travail contient plusieurs chapitres après l'introduction :

- **le 1er chapitre** : de généralités qui mentionne la démarche adoptée pour mener à bien ce travail où l'ouvrage est présenté par ces données géométriques et localisation ainsi que les règlements et les matériaux utilisés.
- **Le 2ème chapitre** : présente les principes et la procédure pour la détermination des différentes charges et aux surcharges climatiques selon le « RVN 99 version 2013 ».
- **Le 3ème chapitre** : Calcul des éléments la charpente métallique
- **Le 4ème chapitre** :. Etude de sismique
- **Le 5 ème chapitre** : Calcul de portique
- **Le 6ème chapitre** : Etude de la stabilités et contreventements
- **le 7ème chapitre** : Traitement surfaces et procédure de soudage
- **le 8ème chapitre** : Etude de fondations et assemblages .

CHAPITRE 1

Présentation du projet

1.1- Présentation du projet :

De ce fait, notre projet de fin d'étude de master s'est porté sur l'étude d'un ouvrage métallique. L'ouvrage en question est une halle en charpente métallique dont l'implantation est prévue à Bordj Bou Arreridj.

L'étude de la structure est menée essentiellement en utilisant le logiciel d'éléments finis ROBOT qui permet à la fois de modéliser, analyser et de dimensionner différents types de structure, ainsi après un redimensionnement des différents éléments de la structure, un model 3D de celle-ci est implanté le logiciel.

Le projet consiste à étudier une halle en charpente métallique implantée à MACHTA FATIMA commune HAMADIA, destinée à fabrication des poteaux électrique HT et des câbles HT avec une toiture en pente à 2 versants. Vu son exploitation, on classe cette structure parmi les constructions qui regroupe l'ensemble des bâtiments industriels et des ouvrages de stockage (*cf. Principes de calcul RNV 99/2013*).

1.1.1- Caractéristiques géographiques du lieu d'implantation :

Cet ouvrage sera bâti à Bordj Bou Arreridj qui est une ville située à une altitude de 880 m par rapport au niveau moyen de la mer.

On a adopté quelques classifications nécessaires dans le déroulement des calculs :

- D'après la classification des zones de vent, Bordj Bou Arreridj fait partie de la zone II
- Pour les zones de neige, elle appartient à la **zone B** ^(a)
- La construction est sise sur un site normal de terrain plat et sur une zone industrielle de catégorie II d'après la définition des catégories de terrain ^(b).
- La halle sera implantée sur un sol meuble avec une contrainte admissible : $\sigma_{sol} = 2,0$ bar. Le site est classé dans la zone sismique II.

1.1.2- Caractéristiques géométriques et techniques :

La longueur du long-pan L_1 est de : $L_1 = 8 \cdot 6 = 48$ m

La longueur du pignon L_p est de : $L_p = 24$ m

Pour les hauteurs on a :

- La hauteur des parois verticales H_{pv} est de : $H_{pv} = 8$ m
 - La hauteur de la toiture D est de : $D = 1.25$ m
- ⇒ La hauteur totale H de la halle est alors $H = H_{pv} + D = 8 + 1.25 \Rightarrow H = 9.25$ m

L'ossature de la halle est constituée de 8 portiques avec traverses à âmes pleines espacés de 6m,

vérifiant la relation $\frac{H_{PV}}{2} < E < H_{PV}$

E désigne l'entraxe des portiques ; $4.625 < E < 9.25 \Rightarrow E = 6 \text{ m}$

Chaque portique est composé de 2 poteaux distants de 24m encastrés à leur pied, reliés entre eux par 2 traverses. La pente des versants est de 10,42% c'est-à-dire que chaque versant fait un angle $\alpha = 5.95^\circ$ par rapport à l'horizontal.

Pour se protéger contre les précipitations, on utilisera les grands éléments de couverture, plus précisément des tôles d'acier nervurées et galvanisées de type TN 40. Elles sont supportées par des pannes espacées de 2m, ce qui revient à 6 pannes par versant fixées perpendiculairement aux traverses par l'intermédiaire des échantignoles pour éviter tout risque de glissement des pannes.

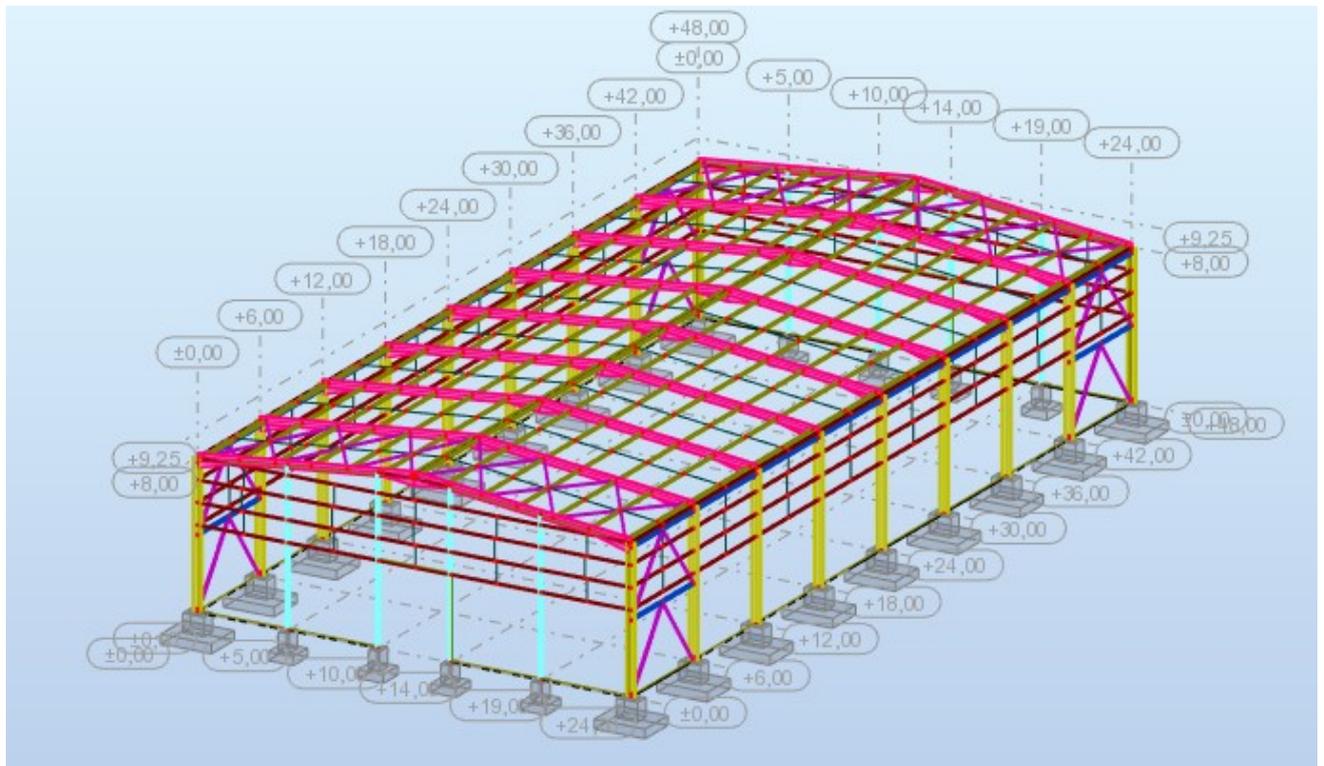


Figure 1.1 : Vue en 3D de la structure (dimensions en m)

Le bardage, ayant pour rôle le remplissage des façades, est exécuté en tôle de même type que la couverture, de 4.5m de haut (bardage simple peau), fixé aux lisses de bardage qui s'attachent à leur tour aux potelets de pignon et aux poteaux pour reprendre les sollicitations dues au vent et assurer la stabilité de la structure. Sur chaque pignon, on dressera 4 potelets espacés de 5m articulés en tête et en pieds. Sous le bardage sera édifié un mur en brique de 4.5m de haut à double parois pour laisser une place aux barres de contreventement et pour améliorer l'isolation thermique de la halle.

Les façades comprennent également des portes et des fenêtres :

- Chaque long-pan comporte 8 fenêtres vitrées de 2.50m x 1.00m avec 2 porte de 1.1m x 2.1m.
- De même, chaque pignon comporte un portail de 4mx5m et 4 fenêtres de 1.00mx1.50m.

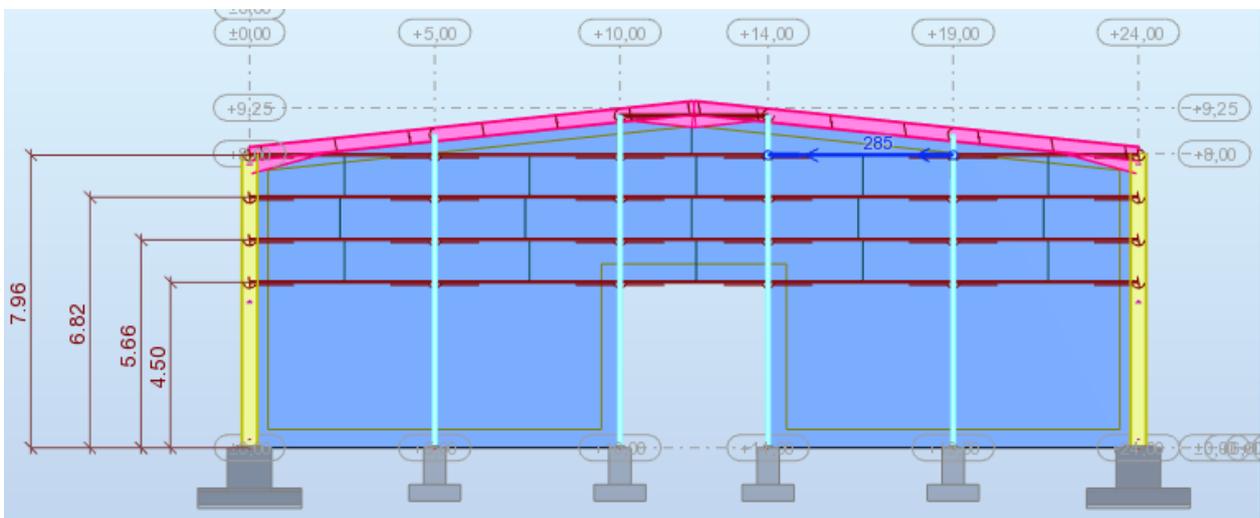


Figure 1.2 : Élévation de la façade Pignon

La rigidité de la structure ainsi que sa stabilité sont assurées par les portiques dans le sens transversal et par des dispositifs de contreventement dans le sens longitudinal. Tout cela pour pouvoir transmettre aux fondations la totalité de la poussée du vent qui agit sur la halle et pour conserver sa géométrie.

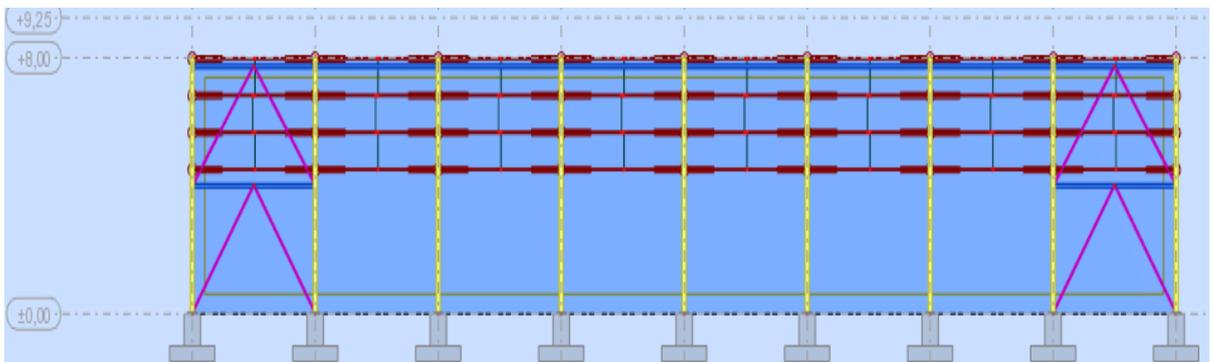


Figure 1.3 : Élévation de la façade Long-pan

Pour transmettre au sol d'assise toutes les charges et surcharges venant de la structure, on utilisera des semelles isolées liées entre elles par des longrines pour éviter les tassements différentiels et les déplacements horizontaux de ces semelles. Sur les massifs de béton sont fixés les pieds de poteaux et les pieds de potelets par l'intermédiaire d'une platine en tôle, soudée à leur base, destinée à transférer les efforts de réaction du montant (poteau, potelet) dans le béton de fondation. Cette platine est percée de plusieurs trous (2 ou 4 ou 6... selon le cas) pour le passage des tiges d'ancrage nécessaires pour maintenir le montant en position d'équilibre verticale afin de résister au soulèvement ainsi que pour créer un encastrement du montant dans la fondation.

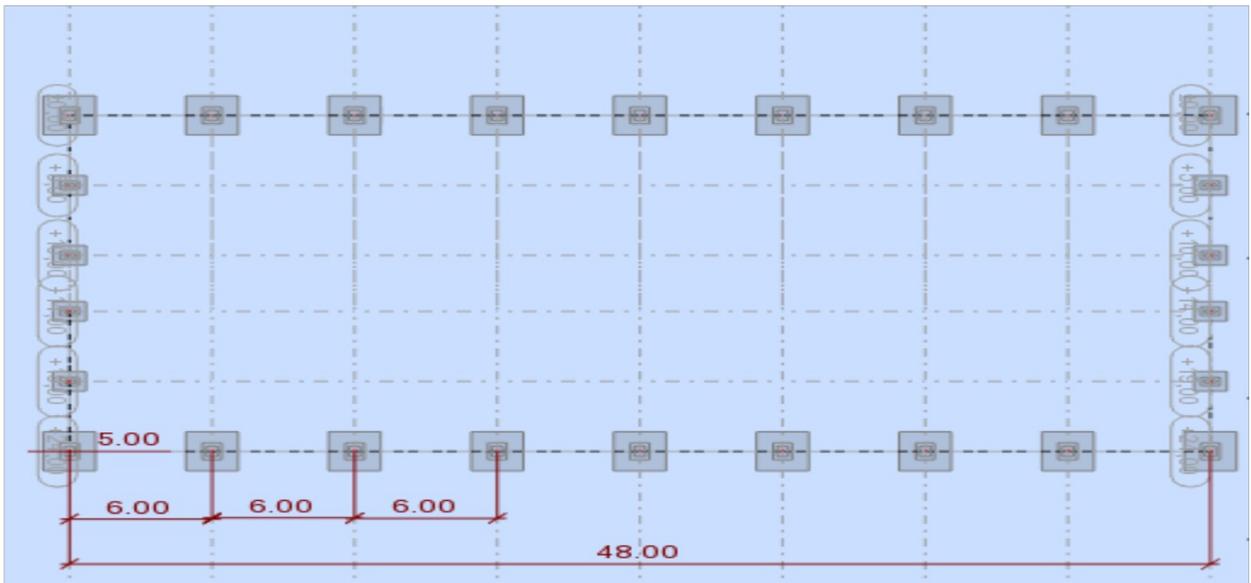


Figure 1.4 : Plan d'implantation

1.2- Pré dimensionnement des éléments porteurs

Le choix des éléments porteurs, est basé sur les règles empiriques de pré dimensionnement suivantes :

- ❖ Traverses : la portée $L=24\text{ m} \Rightarrow h \cong \frac{L}{60} = 400\text{ mm} \Rightarrow$ choix IPE400,
- ❖ Poteaux : profilé IPE450,
- ❖ Pannes : la portée $l=6\text{ m} \Rightarrow h \cong \frac{l}{40} = 150\text{ mm} \Rightarrow$ choix IPE140 à 160,
- ❖ Lisses : pour une portée $l=6\text{ m} \Rightarrow h \cong \frac{l}{40} = 150\text{ mm} \Rightarrow$ choix UAP130.,
 pour une portée $l=5\text{ m} \Rightarrow h \cong \frac{l}{40} = 125\text{ mm} \Rightarrow$ choix UAP130.
- ❖ Potelets : \Rightarrow choix IPE240.

1.3- Caractéristiques des matériaux

La conception et le calcul d'une halle en construction métallique reposent sur son usage prévu et principalement sur les caractéristiques de résistance des matériaux pour garantir une sécurité adéquate et une bonne durabilité. Ces choix sont donc largement influencés par les propriétés des matériaux de construction qui constituent la structure.

1.3.1- Acier de construction

L'acier présente une excellente capacité de résistance mécanique à la traction, avec des valeurs limites élevées pour son élasticité et sa résistance à la traction. Tous les éléments en construction métallique utilisés dans ce projet sont de nuance S275, ce qui signifie que leur résistance à la traction (f_y) est de 275 N/mm². Le module d'élasticité longitudinale de l'acier est de 21000 daN/mm². En compression, l'acier a un comportement similaire à celui en traction, avec un diagramme contrainte-déformation symétrique par rapport à l'origine, à l'exception des éventuels phénomènes d'instabilité.

b) Pour les pièces fortement sollicitées, les assemblages sont réalisés au moyen de boulons à haute résistance HR de classe 8.8 et 10.9 (c'est-à-dire avec des rondelles pour développer une forte résistance au glissement relatif des pièces à assembler par frottement mutuel des pièces) ; ainsi que des boulons ordinaires de classe 4.6 et 4.8 pour les autres pièces.

1.3.2- Béton armé et brique :

a) Pour les fondations et le plancher, on utilisera du béton armé qui est un matériau obtenu en enrobant dans le béton des aciers appelés « les armatures », disposées de telle façon à équilibrer les efforts auxquels le béton résiste mal par lui-même, c'est-à-dire les efforts de traction, ou bien à renforcer le béton pour résister aux efforts de compression s'il ne peut, à lui seul, accomplir ce rôle. Le béton destiné au béton armé se différencie du béton ordinaire par son dosage et par la grosseur des granulats employés.

Comme on avait dit précédemment, les poteaux reposent sur un massif en béton armé, cela nous incite à utiliser un béton contrôlé dosé à 350 kg/m³ de ciment. Le dosage qui est le poids, exprimé

en kilogramme, de ciment utilisé pour 1 m³ de béton mis en œuvre (pour le béton armé, le dosage est généralement compris entre 300 et 400 kg)

La résistance caractéristique à 28 jours d'âge f_{c28} du béton utilisé est de :

$$f_{c28} = 25 \text{ MPa} = 2,5 \text{ daN/mm}^2$$

La contrainte admissible de compression $\bar{\sigma}_b$ du béton est : $\bar{\sigma}_b = 0,85 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$

γ_b : coefficient de sécurité, dans les situations normales, elle a pour valeur $\gamma_b = 1,5$

$$\text{D'où } \bar{\sigma}_b = 0,85 \frac{2,5}{1,5} = 14,17 \text{ MPa} \Rightarrow \bar{\sigma}_b = 14,17 \text{ MPa} = 1,417 \text{ daN/mm}^2$$

b) Pour le mur édifié sous le bardage, des briques creuses de terre cuite sont utilisées. Ces briques ont des trous placés horizontalement parallèlement au plan de pose, avec des joints verticaux décalés d'assise en assise. Cette disposition permet d'obtenir une cohésion du mur et une meilleure répartition et transmission des charges.

1.4- Règlements utilisés

Les règlements utilisés dans l'étude de cette structure sont:

- Règles neige et vent (RNVA2013) D.T.R-C2.47.
- Charges permanentes et surcharges d'exploitation D.T.R-B.C-22.
- Règles parasismique algériennes (RPA99 version 2003) D.T.R-B.C-2.48.
- Règles de conception et de calcul des structures en acier (CCM97) - D.T.R-B.C-2.44.
- Règles de calcul des fondations superficielles D.T.R-B.C-2.33.

CHAPITRE 2 Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

2- Action de la neige sur la toiture de la halle métallique Charges de neige :

Le calcul de la charge climatique de neige dépend de la situation géographique et de l'altitude du lieu. Il se fait conformément à la réglementation «Règlement Neige et Vent» *RNV99–version 2013*. La charge caractéristique de la neige par unité de surface est donnée par la formule suivante :

$$S = \mu * S_k \text{ KN/m}^2 \dots\dots\dots (2.1)$$

S : Charge caractéristique de neige par unité de surface (en KN/m²)

S_k : Charge de neige sur le sol en [kN/m²]

μ : Coefficient d'ajustement des charges ou coefficient de forme

Nb : Il n'est pas nécessaire de calculer les charges de neige suspendues en débord des toitures, car cette charge doit être prise en compte seulement pour les constructions situées à plus de **1000m**

CHAPITRE 2

Calcul des surcharges climatiques de neige et de vent (selon les Règles (RNV 99/2013))

d'altitude, ce qui n'est pas le cas dans notre étude.

Charge de neige S_k sur le sol

La valeur de S_k varie suivant la localisation géographique et suivant l'altitude du lieu considéré.

a) Influence de la localisation géographique

La halle métallique est construite à Bordj Bou Arréridj, qui fait partie de la zone B selon les zones de neige définis par la RNV 99/2013, d'où on a la formule suivante :

Pour la zone B :
$$S_k = \frac{0,04 \cdot H + 10}{100} \dots\dots\dots (2.2)$$

H : altitude par rapport au niveau de la mer du site considéré (en m).

b) Influence de l'altitude

Le site se trouve à une altitude de 880 m au dessus de la mer.

$$H = 880 \text{ m} \Rightarrow S_k = \frac{0,04 * 880 + 10}{100} \Rightarrow S_k = 0,452 \text{ KN/m}^2 = 45,2 \text{ daN/m}^2$$

2.1- Valeur du coefficient de forme de la toiture (μ)

Elle est en fonction de la forme de la toiture. On a une toiture en pente de 10,42% (c'est-à-dire: $\alpha = 5,95^\circ$) à deux versants, sans obstacle de retenue ; (μ) s'obtient du Tableau des coefficients de forme pour une toiture à 2 versants avec une valeur unique de α

$$0^\circ < \alpha = 5,95^\circ < 30^\circ ; \text{ on a : } \mu = 0,8$$

D'où la charge caractéristique de neige S est comme suit:

$$S = 0,8 \cdot 45,2 \Rightarrow S = 36,16 \text{ daN/m}^2.$$

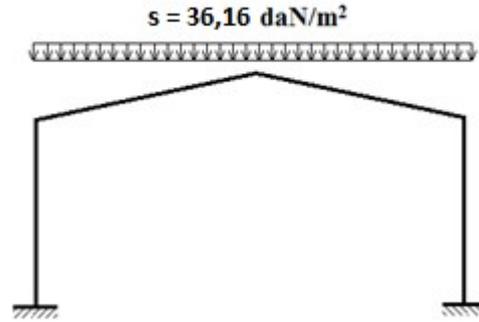


Figure 2.1: Surcharge de Neige sur la toiture

2.1.1- Action du vent sur la halle métallique

Le déplacement de l'air à tendance à éliminer ces déséquilibres de pression, par conséquent, produit un mouvement de masse d'air appelé "vent" qui est également conditionné de manière égale par un soulagement terrestre. Pour cela, une étude approfondie doit être développée pour la détermination des diverses actions dues au vent et dans toutes les directions possibles.

Les actions du vent appliquées aux parois dépendent de :

- ❖ La direction.
- ❖ L'intensité.
- ❖ La région.
- ❖ Le site d'implantation de la structure et leur environnement.
- ❖ La forme géométrique et les ouvertures de la structure.

Les effets du vent sont étudiés conformément à la réglementation « Règlement neige et Vent »

RNV99-version 2013 sont applicables car notre structure a une hauteur totale $H=9.25\text{m} < 200 \text{ m}$.

Le calcul doit être effectué séparément pour chacune des directions perpendiculaires aux différentes parois de la structure. Pour notre cas, on a une halle métallique de forme rectangulaire donc on considèrera les deux directions du vent qui sont :

- La direction du vent perpendiculaire au long-pan (**sens V_1**)
- La direction du vent perpendiculaire au pignon (**sens V_2**)

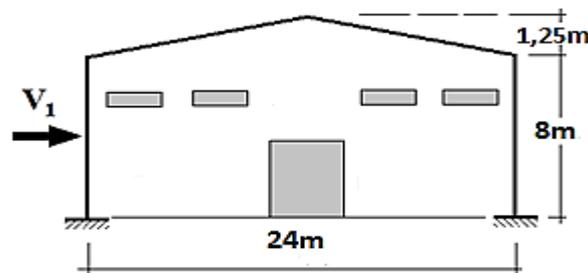


Figure 2.2: Vent perpendiculaire au long-pan

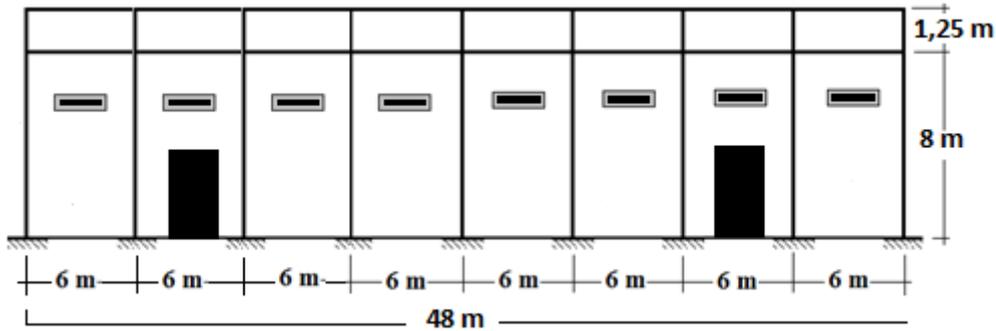


Figure 2.3: Vent perpendiculaire au pignon

La pression (q_j) due au vent sur la surface de l'élément j est donnée par la formule suivante :

$$q_j = C_d * W(z_j) \text{ en [N/m}^2] \dots\dots\dots (2.3)$$

C_d : coefficient dynamique de la construction

$W(z_j)$: pression nette exercée sur l'élément de surface j , calculée à la hauteur z_j de l'élément, elle est donnée par :

$$W(z_j) = q_{dyn}(z_j) * [C_{pe} - C_{pi}] \text{ en [N/m}^2] \dots\dots\dots (2.4)$$

où q_{dyn} : pression dynamique du vent calculée à la hauteur z_j

C_{pe} : coefficient de pression extérieure

C_{pi} : coefficient de pression intérieure.

2.1.2- Détermination du coefficient dynamique C_d

Le coefficient dynamique C_d dépend du type de matériau de la construction ainsi que sa hauteur totale. Pour un bâtiment métallique de hauteur inférieure à 15m. On prend :

$$C_d = 1 \quad (\text{chap.3}\S 3.2 - \text{RNV}/2013)$$

2.2- Détermination de la pression dynamique du vent q_{dyn}

La pression dynamique q_{dyn} à la hauteur de référence z_e est donnée par (§2.3.1- RNV/2013) :

$$q_{dyn}(z_e) = q_{réf} * C_e(z_e) \text{ en [N/m}^2] \dots\dots\dots (2.5)$$

où $q_{réf}$: pression dynamique de référence (en N/m^2),

$C_e(z_e)$: coefficient d'exposition au vent, La valeur de la pression dynamique de référence $q_{réf}$ est en fonction de la zone de vent du lieu d'implantation. Bordj Bou Arreridj fait partie de la **zone II**

$$\Rightarrow q_{réf} = 435 \text{ N/m}^2 \text{ (Tableau 2.2, RNV99/2013)}$$

2.2.1- Hauteur de référence z_e

- Pour les murs au vent des bâtiments à parois verticales, la hauteur de référence z_e est déterminée selon la figure 2.1 de RNV99/ 2013. Dans notre cas, la hauteur des parois verticales (h) est inférieure à la longueur ou la largeur (b) de la halle métallique étudiée, c'est à dire ($h < b$), alors, la structure doit être considérée comme un tout et il n'est plus nécessaire de la subdiviser en éléments de surface j horizontaux $\Rightarrow z_e = h = 8m$;
- Pour les murs sous le vent et parallèles au vent, z_e est prise égale à la hauteur (h) de la halle métallique.
- Pour la toiture, z_e est prise égale à la hauteur maximale de la halle métallique, $z_e=h=9.25m$.

2.2.1- Coefficient d'exposition au vent C_e

Le coefficient d'exposition C_e tient compte des effets de la rugosité du terrain, de la topographie du site et de la hauteur au dessus du sol. En outre, il tient compte de la nature turbulente du vent. $C_e(z)$ est donné par l'expression ci-contre :

$$C_e(z) = C_t^2(z) * C_r^2(z) * [1 + 7 I_v(z)] \dots\dots\dots(2.6)$$

où:

C_t est le coefficient de topographie,

C_r est le coefficient de rugosité,

I_v est l'intensité de la turbulence,

z (en m) est la hauteur considérée.

a) Coefficient de topographie C_t

Le coefficient de topographie $C_t(z)$ prend en compte l'accroissement de la vitesse du vent lorsque celui-ci souffle sur des obstacles tels que les collines et les dénivellations isolées.

Notre halle métallique est sise sur un site plat:

$$(\theta < 0,05 \Rightarrow C_t(z) = 1 \text{ [Fomule 2.4-RNV99/2013]})$$

b) Facteur de terrain K_T

La halle métallique est située dans une zone industrielle de **catégorie II** d'où les valeurs suivantes :

Tableau 2.1. Facteur de terrain

Catégorie de terrain	K_T	z_o (m)	z_{min} (m)	ϵ
II	0,19	0,05	2	0,52

z_o : paramètre de rugosité,

z_{min} : hauteur minimale,

ϵ : coefficient utilisé pour le calcul du coefficient C_d .

CHAPITRE 2 Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

c) Coefficient de rugosité C_r :

Le coefficient de rugosité $C_r(z)$ traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent. Il est défini par la loi logarithmique népérienne(chap.2 §2.4.4-RNV/2013):

● **Pour les parois verticales :**

$$z = 8 \text{ m} \Rightarrow z_{\min} = 2 \text{ m} \quad z = 8 \text{ m} \quad 200\text{m}$$

$$\text{Donc} \quad C_r(z) = K_T * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\Rightarrow C_r(8\text{m}) = 0,19 * \ln\left(\frac{8}{0,05}\right) = 0,964$$

● **Pour la toiture :**

$$z = 9.25 \text{ m} \Rightarrow z_{\min} = 2 \text{ m} \quad z = 9.25 \text{ m} \quad 200 \text{ m} \quad \text{Donc} \quad C_r(z) = K_T * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

$$\Rightarrow C_r(9.25\text{m}) = 0,19 * \ln\left(\frac{9.25}{0.05}\right) = 0,992$$

d) Intensité de turbulence I_v :

Elle est donnée par la formule suivante (§2.4.6 -RNV99/2013):

$$\text{Pour } Z > Z_{\min} = 2\text{m} \quad \rightarrow \quad I_v(z) = \frac{1}{C_t(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \dots\dots\dots (2.8)$$

● **Pour les parois verticales ($z = 8 \text{ m}$)**

$$I_v(8\text{m}) = \frac{1}{1 * \ln\left(\frac{8}{0,05}\right)} = 0,197$$

● **Pour la toiture ($z = 9.25 \text{ m}$)**

$$I_v(9.25\text{m}) = \frac{1}{1 * \ln\left(\frac{9.25}{0.05}\right)} = \mathbf{0,192}$$

◆ **Valeurs du coefficient d'exposition au vent C_e**

Tableau 2.2. Valeurs du coefficient d'exposition au vent C_e

Coefficients	C_t	C_r	I_v	$C_e(z)$
Parois verticales	1	0,964	0,197	2,21
Toiture	1	0,992	0,192	2,30

◆ **Valeurs de la pression dynamique du vent q_{dyn}**

Finalement, les valeurs de la pression dynamique q_{dyn} sont résumées dans le Tableau suivant:

Tableau 2.3. Valeurs de la pression dynamique

	$Z_e(m)$	C_t	C_r	I_v	C_e	$q_{réf} (N/m^2)$	$q_{dyn} (N/m^2)$
Parois verticales	8	1	0,964	0,197	2,21	435	962,40
Toiture	9,25	1	0,992	0,192	2,30	435	1000,50

CHAPITRE 2 Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

2.2.2.1 Détermination des coefficients de pression extérieure C_{pe} et intérieure C_{pi}

2.2.2.2 Coefficients de pression extérieure C_{pe} :

Comme notre construction est à base rectangulaire, le coefficient de pression extérieure C_{pe} dépend alors de la valeur de la surface chargée S (en m^2) de la paroi considérée, tel que :

$$\begin{aligned}
 C_{pe} &= C_{pe1} && \text{si} && S \leq 1m^2 \\
 C_{pe} &= C_{pe1} + (C_{pe10} - C_{pe1}) \log_{10}(S) && \text{si} && 1m^2 < S < 10m^2 \\
 C_{pe} &= C_{pe10} && \text{si} && S \geq 10 m^2 \dots\dots\dots(2.9)
 \end{aligned}$$

❖ Vent perpendiculaire au long-pan (sens V1) :

a)- Parois verticales: $\theta = 0^\circ$:

$b = 48m$; $d = 24m$; $h = 8m$; $e = \min(b, 2xh) = \min(48, 2x8) = 16m$

où **b** désigne la dimension du coté perpendiculaire au vent (en m)

d : dimension du coté parallèle au vent (en m)

e : excentricité (en m).

On a : **$d = 24m > e = 16m$**

On divise donc, les parois verticales selon la légende du §5.1.2- chap.5-RNV99/2013) comme suit:

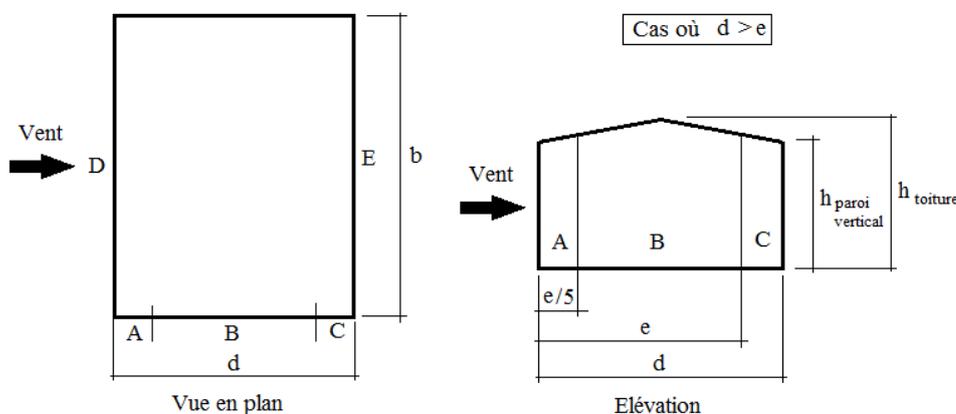


Figure 2.4. Légende pour les parois verticales

Par conséquent, les coefficients de pression extérieure C_{pe} pour chaque zone sont donnés au tableau suivant :

CHAPITRE 2 Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

Tableau 2.4. Valeurs de surface et de C_{pe} pour chaque zone des parois verticales (sens V_1)

Zone	A	B	C	D	E
Surface (m ²)	25,6	102,40	64	384	384
C_{pe}	-1	-0,8	-0,5	+0,8	-0,3

La figure suivante illustre la répartition des C_{pe} pour les parois verticales :

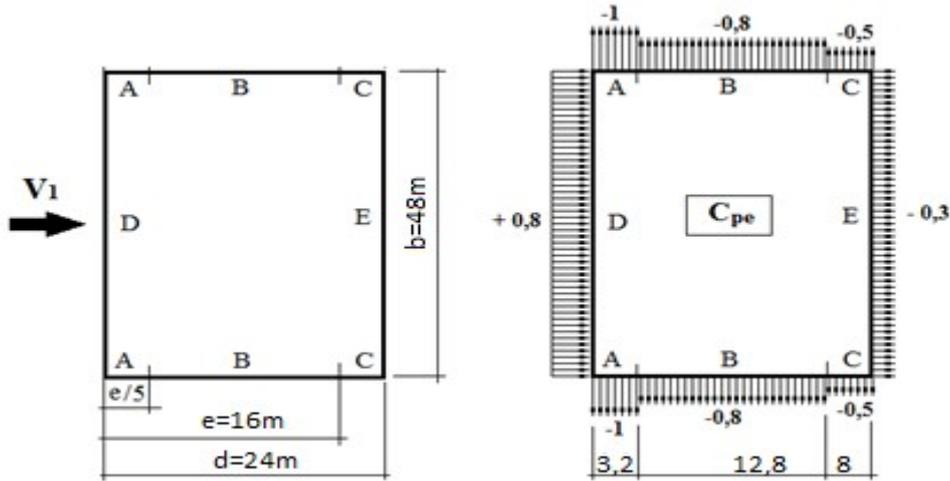


Figure 2.5. Répartition des C_{pe} pour les parois verticales (sens V_1)

b)- Toiture: $\theta = 0^\circ$:

La direction du vent V_1 est perpendiculaire aux génératrices de la toiture d'où l'angle $\theta = 0^\circ$

On a : $\theta = 0^\circ$; $\alpha=5.95^\circ$; $b=48m$; $d=24$; $h=9,25m$

$e = \min (b ; 2h) = \min (48 ; 2 \times 9,25) = 18,50m$

Dans ce cas, on a cinq zones F, G, H, J et I qui sont présentées à la figure suivante :

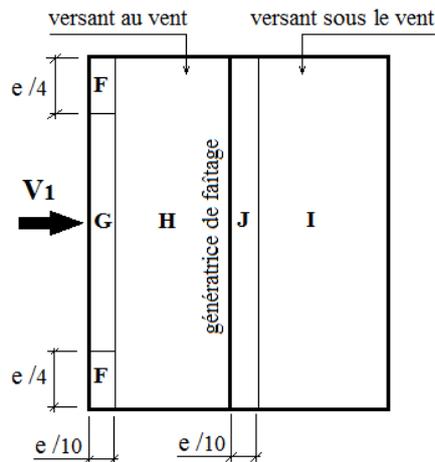


Figure 2.6. Zones de pression pour la toiture (sens V_1)

CHAPITRE 2 Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

Les surfaces des zones F, G, H, J et I sont données par le tableau suivant :

Tableau 2.5. Valeurs des surfaces des zones de vent de la toiture (sens V1)

Zone	F		G		H		J		I	
Dimension Géométrique (m)	$e/10$	$e/4$	$e/10$	$b - \frac{2e}{4}$	$\frac{d}{2} - \frac{e}{10}$	b	$e/10$	b	$\frac{d}{2} - \frac{e}{10}$	b
	1,85	4,625	1,85	38,75	10,15	48	1,85	48	10,15	48
Surface (m ²)	8,556		71,687		487,20		88,80		487,20	

La surface de chaque zone est $\geq 10m^2$, donc : $C_{pe} = C_{pe10}$ (Voir §5.1.1.2 - RNV99/2013).

- Pour des valeurs de α situées entre 5° et 15° les valeurs de C_{pe} sont déterminées par une interpolation linéaire entre les deux valeurs de $C_{pe}(5^\circ)$ et $C_{pe}(15^\circ)$ en appliquant la relation suivante:

$$C_{pe}(\alpha) = C_{pe}(5^\circ) + \left[\frac{\alpha - 5^\circ}{15^\circ - 5^\circ} (C_{pe}(15^\circ) - C_{pe}(5^\circ)) \right] \dots\dots\dots (2.10)$$

- Par simplification, on adopte les valeurs de C_{pe} pour l'angle (5°) qui est plus proche à la pente de notre toiture ($\alpha = 5,95^\circ$).

Tableau 2.6. Valeurs de C_{pe} pour chaque zone de la toiture (sens V1)

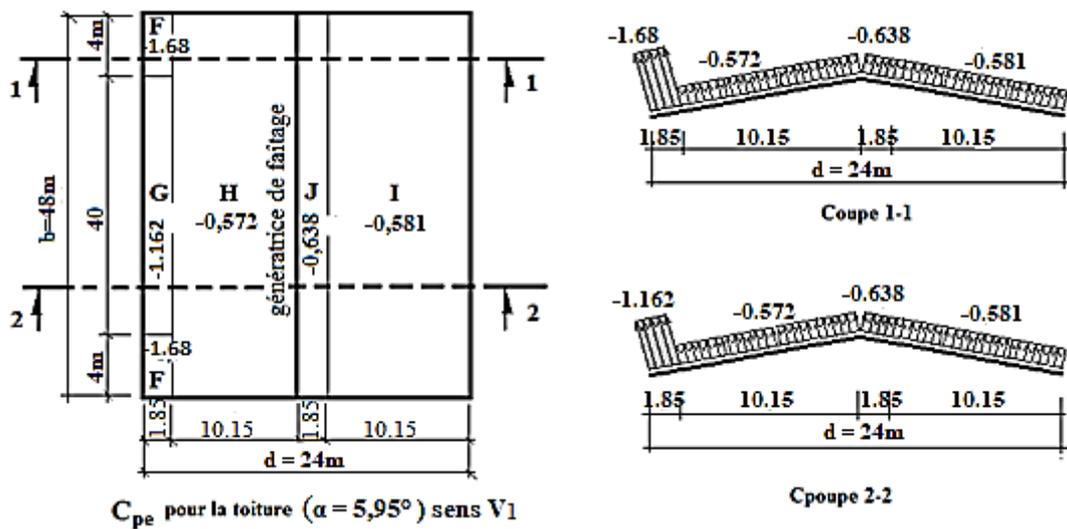


Figure 2.7. Valeurs de C_{pe} pour chaque zone de la toiture (sens V1)

CHAPITRE 2 Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

❖ **Vent perpendiculaire au pignon (Sens V₂) :**

a)- Parois verticales: $\theta = 90^\circ$

Pour la direction V₂ du vent, on a :

$$b = 24\text{m} ; d = 48\text{m} ; h = 9.25\text{m} ; e = \min(b, 2h) = \min(24, 2 \times 9.25) = 18.50\text{m}.$$

On voit bien que $d > e$, donc les parois verticales parallèles au vent V₂ seront subdivisées en trois zones A, B et C comme l'indique la figure 2.4 précédente.

Les surfaces des zones A, B, C, D, et E et les valeurs de C_{pe} correspondant à ces zones sont portées sur le tableau suivant :

Tableau 2.7. Valeurs des surfaces et C_{pe} des zones de vent pour les parois verticales (sens V₂)

Zone	A		B		C		D		E	
Dimension Géométrique (m)	e/5	h	e-e/5	h	d-e	h	b	h	b	h
	3,70	9,25	14,80	9,25	29,5	9,25	24	9,25	24	9,25
Surface (m ²)	34,225		136,90		272,875		222		222	
C _{pe} = C _{pe10}	-1		-0,8		-0,5		+0,8		-0,3	

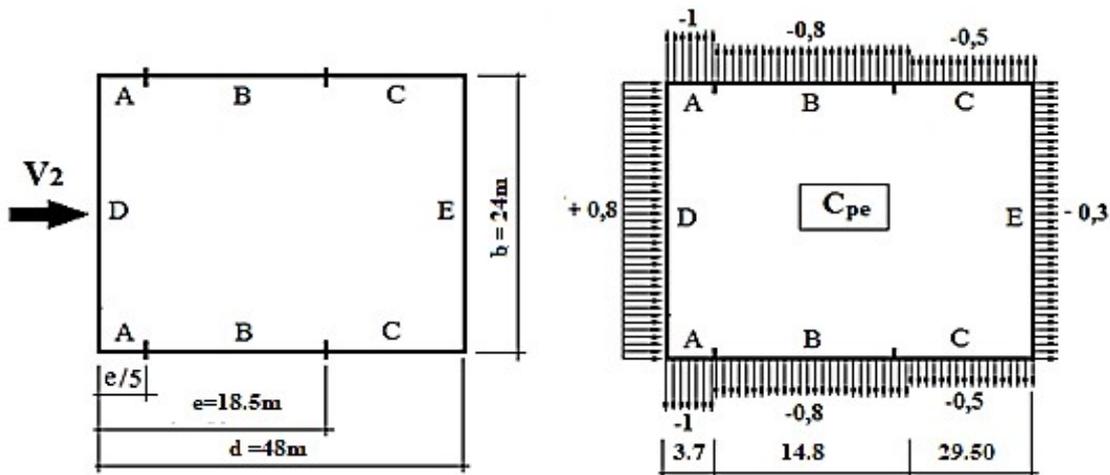


Figure 2.8. Zones de pression et répartition des C_{pe} pour les parois verticales (sens V₂)

b)- Toiture: $\theta = 90^\circ$

La direction du vent est parallèle aux génératrices de la toiture donc $\theta = 90^\circ$

$$\text{On a : } \alpha = 5.95^\circ ; b = 24\text{m} ; d = 48\text{m} ; h = 9,25\text{m}$$

$$e = \min(b ; 2h) = \min(24 ; 2 \times 9,25) = 18.50\text{m}$$

Selon le paragraphe (§5.1.8.1-RNV99/2013), on a quatre zones F, G, H et I qui sont présentées à la figure 2.9 suivante :

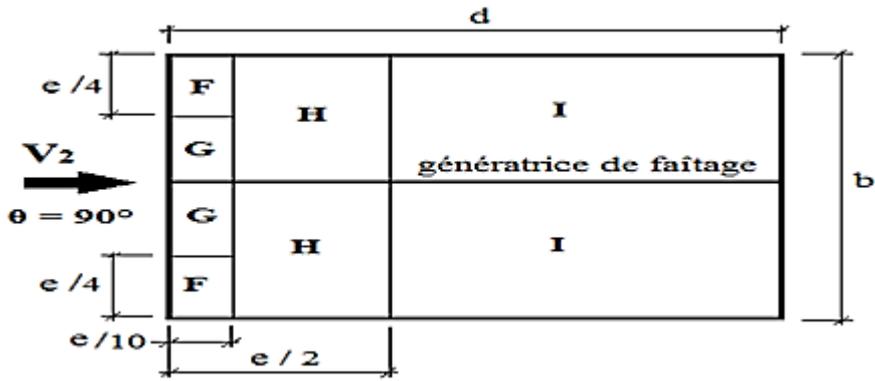


Figure 2.9. Zones de pression pour la toiture (sens V2)

Les surfaces des zones F, G, H et I sont données par le tableau suivant :

Tableau 2.8: Valeurs des surfaces des zones de vent pour la toiture (sens V2)

Zone	F		G		H		I	
Dimension Géométrique (m)	e/10	e/4	e/10	b-2e/4	e/2 - e/10	b	d- e/2	b
	1,85	4,625	1,85	14,75	7,40	24	38,75	24
Surface (m ²)	8,556		27,287		177,60		930	

N.B.: Pour toutes les zones, la surface de chacune est $\geq 10m^2$, donc : $C_{pe} = C_{pe10}$

- Pour des valeurs de α situées entre 5° et 15° les valeurs de C_{pe} sont déterminées par une interpolation linéaire entre les deux valeurs de $C_{pe}(5^\circ)$ et $C_{pe}(15^\circ)$.
- pente de notre toiture ($\alpha = 5,95^\circ$) sens V_1

Le tableau suivant donne les valeurs de C_{pe} de chaque zone :

Tableau 2.9: Valeurs de C_{pe} pour chaque zone de la toiture (sens V2)

Zone	F	G	H	I
$C_{pe} = C_{pe10}$	-1,613	-1,30	-0,691	-0,591

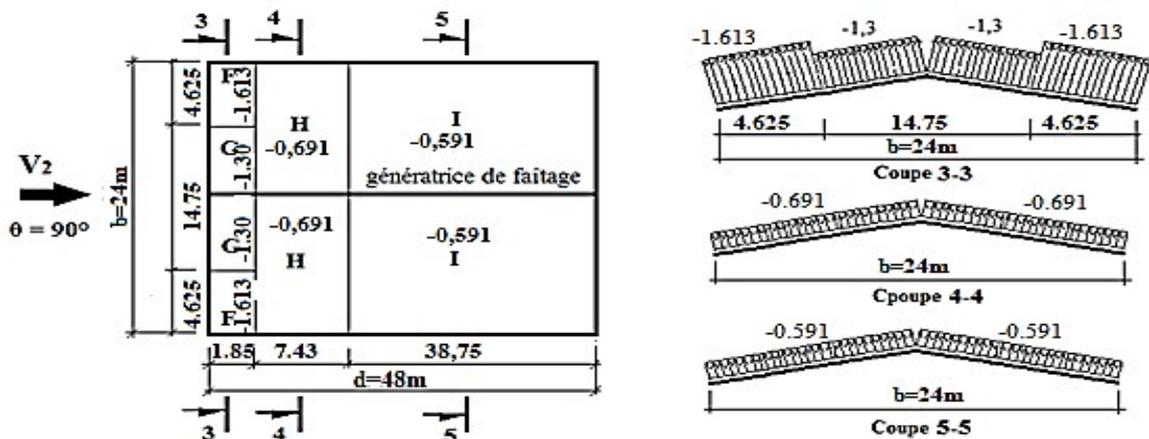


Figure 2.10. Zones de pression et répartition des C_{pe} pour la toiture (sens V2)

2.2.2.3- Coefficients de pression intérieure C_{pi} :

Pour les bâtiments sans face dominante, le coefficient de pression intérieure C_{pi} est déterminé à partir de (la figure 5.14 - RNV99/2013) avec (h) la hauteur du bâtiment, (d) sa profondeur et μ_p l'indice de perméabilité donné par:

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures où } C_{pe} \leq 0}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}}$$

La sommes des surfaces de toutes les ouvertures :

long-pan: $\theta = 0^\circ$

8 fenêtres = $8*(1*2.5) = 20m^2$

2portes = $2(1.1*2.1) = 4.62m^2$

long-pan: $\theta = 180^\circ$

8fenêtres = $8*(1*2.5) = 20 m^2$

4fenêtres = $4*(1*1.5) = 6m^2$

pignon: $\theta = 90^\circ$

4fenêtres = $4*(1*1.5) = 6m^2$

1portes = $(4*5) = 20 m^2$

pignon: $\theta = 270^\circ$

1portes = $(4*5) = 20m^2$

La sommes des surfaces de toutes les ouvertures = $96.62 m^2$

Vent perpendiculaire au long-pan (sensV1) : $\theta = 0^\circ$

ong-pan: $\theta = 0^\circ$

8 fenêtres = $8*(1*2.5) = 20m^2$

2portes = $2(1.1*2.1) = 4.62 m^2$

pignon: $\theta = 270^\circ$

1portes = $(4*5) = 20m^2$

4fenêtres = $4*(1*1.5) = 6m^2$

pignon: $\theta = 90^\circ$

4fenêtres = $4*(1*1.5) = 6m^2$

1portes = $(4*5) = 20 m^2$

La sommes des ouvertures où $C_{pe} \leq 0 = 76.62$

$$\Rightarrow \mu_p = \frac{76.62}{96.62} = 0.79$$

D'autre part, on a : $h/d = 9.25 / 24 = 0,385 < 0.25 \Rightarrow$

Donc, le coefficient de pression intérieure C_{pi} doit être calculé par une interpolation linéaire :

$$C_{pi}\left(\mu_p; \frac{h}{d}\right) = C_{pi}(\mu_p; 0,25) + \left[\frac{\frac{h}{d} - 0,25}{1 - 0,25} (C_{pi}(\mu_p; 1) - C_{pi}(\mu_p; 0,25)) \right]$$

$$C_{pi}(0.79; 0.385) = C_{pi}(0.79; 0,25) + \left[\frac{\frac{h}{d} - 0,25}{1 - 0,25} (C_{pi}(0.79; 1) - C_{pi}(0.79; 0,25)) \right]$$

$$C_{pi}(0.79; 0.385) = -0.19 + \left[\frac{0.385 - 0,25}{1 - 0,25} (-0.30 - (-0,19)) \right]$$

$$C_{pi}(0.79; 0.385) = -0.19 + \left[\frac{0.385 - 0,25}{1 - 0,25} (-0.11) \right]$$

$$C_{pi} \approx -0.21$$

CHAPITRE II Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

Vent perpendiculaire au pignon (sens V2) : $\theta = 90^\circ \theta = 270^\circ$

long-pan: : $\theta = 0^\circ$

$$8 \text{ fen\^etres} = 8 \cdot (1 \cdot 2.5) = 20 \text{ m}^2$$

$$2 \text{ portes} = 2 \cdot (1.1 \cdot 2.1) = 4.62 \text{ m}^2$$

long-pan: : $\theta = 180^\circ$

$$8 \text{ fen\^etres} = 8 \cdot (1 \cdot 2.5) = 20 \text{ m}^2$$

pignon: $\theta = 270^\circ$

$$1 \text{ portes} = (4 \cdot 5) = 20 \text{ m}^2$$

$$4 \text{ fen\^etres} = 4 \cdot (1 \cdot 1.5) = 6 \text{ m}^2$$

La somme des surfaces de toutes les ouvertures = 70.62 m²

$$\Rightarrow \mu_p = \frac{70.62}{96.62} = 0.73$$

D'autre part, on a : $a = h/d = 9.25/48 = 0.19 < 0.25$

Le coefficient de pression intérieure C_{pi} doit être calculé par une interpolation linéaire :

$$C_{pi} = -0.13$$

◆ **Vent perpendiculaire au long-pan (Sens V1) :**

a) Parois verticales :

Le tableau 2.9 donne les valeurs de pression q_j sur les parois verticales pour le sens V1:

Tableau 2.9: Valeurs pression sur les parois verticales pour le Sens V1

surface	cpe	cpi	cpe-cpi	q_p daN/m ²	W daN/m ²	W /ml
D	0,8	-0,210	1,010	100,180	101,182	607,090
E	-0,3		-0,090		-9,016	-54,097
A	-1,0		-0,790		-79,142	-474,853
B	-0,8		-0,590		-59,106	-354,637
C	-0,5		-0,290		-29,052	-174,313

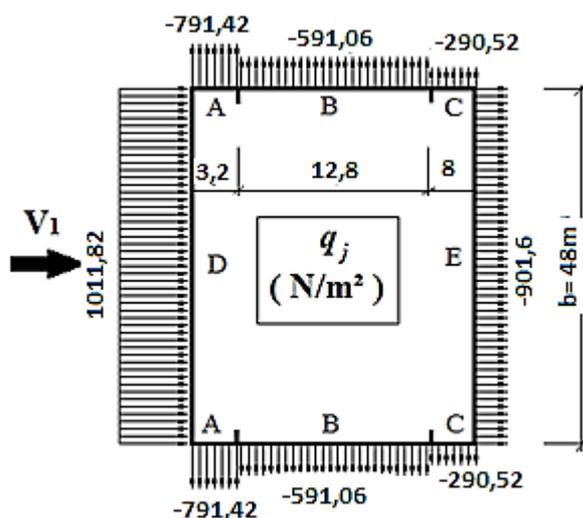


Figure 2.11. Répartition des pressions sur les parois verticales pour le Sens V1

b) Toitures :

CHAPITRE II Calcul des surcharge climatiques de neige et vent

Tableau 2.10: Valeurs de pression sur les parois verticales pour le Sens V1

$\theta = 0^\circ$ (direction du vent) perpendiculaire a long pan

surface	cpe	Cpi	cpe-cpi	qp daN/m ²	W daN/m ²	W /ml
F	-1,680	-0,210	-1,470	100,180	-147,275	-883,648
G	-1,162		-0,952		-95,371	-572,227
H	-0,572		-0,362		-36,215	-217,290
I	-0,581		-0,371		-37,167	-223,000
J	-0,638		-0,428		-42,877	-257,262
J	-0,638		-0,428		-0,428	-42,877
surface	cpe	Cpi	cpe-cpi	qp daN/m ²	W daN/m ²	W /ml
F	-1,680	-0,130	-1,550	100,180	-155,289	-931,735
G	-1,162		-1,032		-103,386	-620,314
H	-0,572		-0,442		-44,229	-265,376
I	-0,581		-0,451		-45,181	-271,087
J	-0,638		-0,508		-50,891	-305,348
J	-0,638		-0,508		-0,508	-50,891

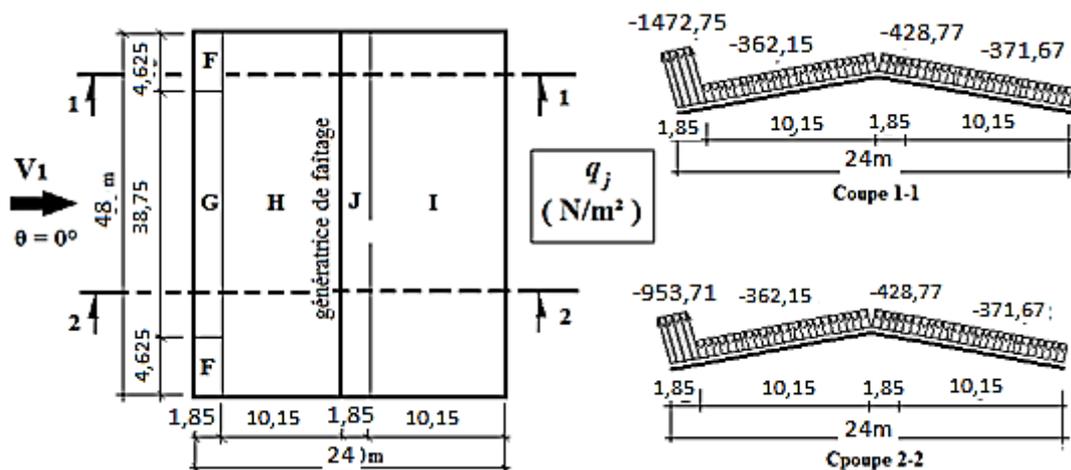


Figure 2.12. Répartition des pressions sur la toiture pour le **Sens V1**

❖ **Vent perpendiculaire au pignon (sens V_2) :**

a)-Parois verticales :

Tableau 2.11 : donne les valeurs de pression q_j sur les parois verticales pour le sens V_2 :

surface	cpe	cpi	cpe-cpi	q_p daN/m ²	W dN/m²	W /ml
D	0,8	-0,130	0,930	100,180	93,167	559,004
E	-0,3		-0,170		-17,031	-102,183
A	-1		-0,870		-87,156	-522,939
B	-0,8		-0,670		-67,121	-402,723
C	-0,5		-0,370		-37,067	-222,399

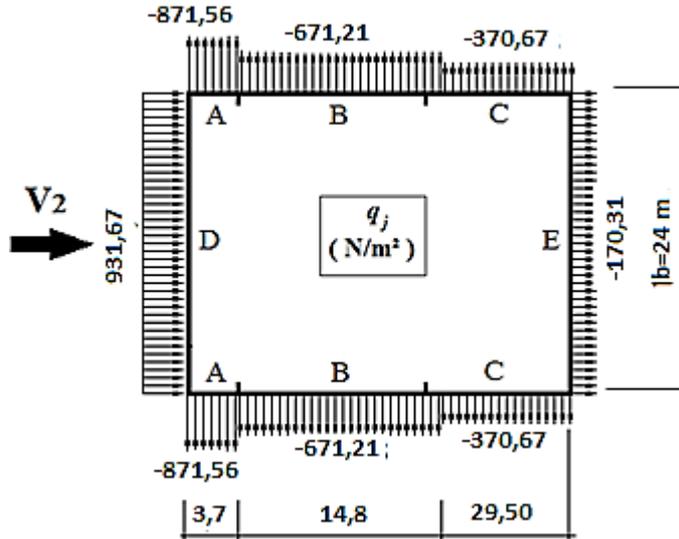


Figure 2.13. Répartition des pressions sur les parois verticales pour le Sens V_2

b)- Toiture :

Tableau 2.12 donne les valeurs de pression q_j sur la toiture pour le sens V_2

alpha = 5,95°

TOITURE $\theta = 90^\circ$ (direction du vent) PERPENDICULAIRE AU PINGNON

surface	cpe	cpi	cpe-cpi	q_p daN/m ²	W dN/m²	W /ml
F sup	-1,613	-0,210	-1,403	100,180	-140,530	-843,178
F inf	-1,613		-1,403		-140,530	-843,178
G	-1,300		-1,090		-109,196	-655,176
H	-0,691		-0,481		-48,136	-288,819
I	-0,591		-0,381		-38,118	-228,711
surface	cpe	cpi	cpe-cpi	q_p daN/m ²	W dN/m²	W /ml
F sup	-1,613	-0,130	-1,483	100,180	-148,544	-891,264
F inf	-1,613		-1,483		-148,544	-891,264
G	-1,300		-1,170		-117,210	-703,263
H	-0,691		-0,561		-56,151	-336,905
I	-0,591		-0,461		-46,133	-276,797

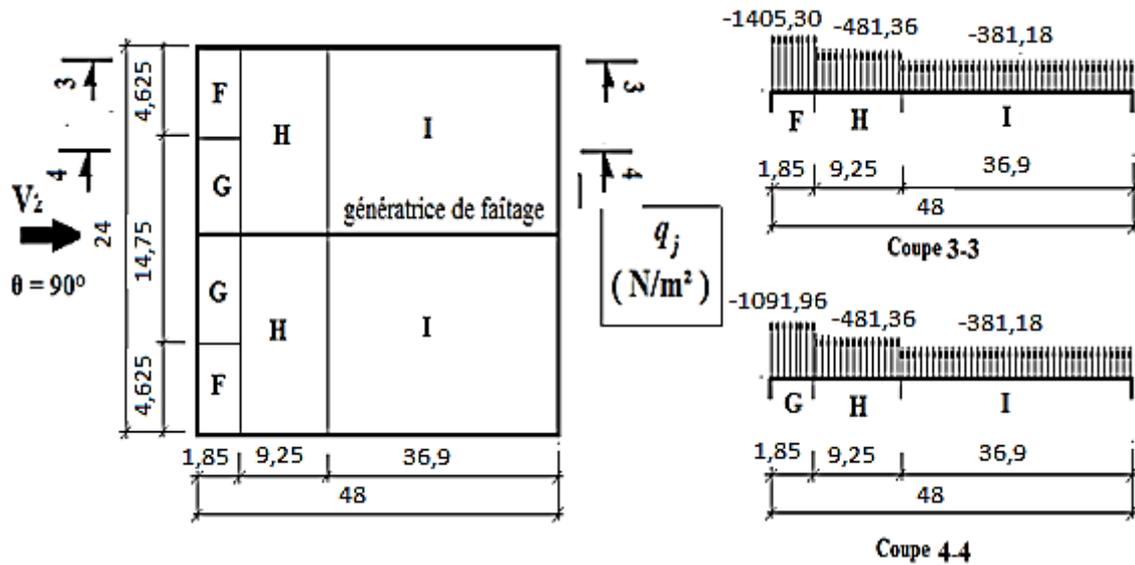


Figure 2.14. Répartition des pressions sur la toiture pour le Sens V2

Calcul des forces de frottement

Dans le cas des structures allongées ou élancées, on tient compte d’une force complémentaire due aux frottements qui s’exerce sur les parois parallèles à la direction du vent au-delà d’une distance des bords au vent égale à la plus petite des valeurs (2b) et (4h) avec :

- *d* : dimension (en m) de la construction parallèle au vent.
- *b* : dimension (en m) de la construction perpendiculaire au vent.
- *h* : hauteur (en m) de la construction.

La force de frottement F_{fr} est donnée par la formule suivante : $F_{fr} = \sum (q_p(z) \times C_{fr} \times S_{fr})$
 $= \sum (q_p(z) \times C_{fr} \times S_{fr})$

Avec :

- S_{fr} : (en m²) l’aire de l’élément de surface considérée.
- $q_p(z)$: (en daN/m²) la pression dynamique du vent à la hauteur *h* considérée.
- C_{fr} : le coefficient de frottement pour l’élément de surface considérée.

Pour un état de surface très rugueux (nervures), $C_{fr} = 0.04$.

Vent perpendiculaire au long pan :

On a : $d=24m, b=48m, h=9.25m$.

Conditions :

1. $db \geq 3bd \geq 3 : 2448 = 0.5 < 34824 = 0.5 < 3$
2. $dh \geq 3hd \geq 3 : 249.25 = 2.59 < 39.2524 = 2.59 < 3$

Les deux conditions ne sont pas satisfaites, donc la force de frottement n’existe pas.

• **Vent perpendiculaire au pignon :**

On a : $d=48\text{m}$; $b=24\text{m}$; $h=9.25\text{m}$.

$$d/b \geq 3$$

$$48/24 = 2 < 3$$

$$d/h \geq 3$$

$$48/9.25 = 5.19$$

L'une des conditions est satisfaite donc la force du frottement existe.

Calcul de l'air de frottement S_{fr} :

$$\text{Min}(2b, 4h) = \text{Min}(2 \times 24 = 48, 4 \times 9.25 = 37) = 37 \text{ m}$$

$$S_{fr} = [((12/\cos 5.95) \times 2) + (2 \times 8)] \times (48 - 37) = 441,43 \text{ m}^2$$

La force de frottement est :

$$F_{fr} = 100,18 \times 0,04 \times 441,43 = 1768,89 \text{ daN}$$

Analyse des résultats :

a) Parois verticales :

❖ **Sens V_1**

• Pour le long-pan :

On prendra en compte la valeur de $q_j' = + 1011,82 \text{ N/m}^2$

• Pour le pignon :

En faisant la moyenne des pressions de vent, on a :

$$q_j' = \frac{-475,06 - 333,25 - 120,54}{3} = -557,667 \text{ N/m}^2$$

❖ **Sens V_2**

• **Pour le long-pan :** $q_j = \{-871,56 - 671,21 - 370,67\}$ over $\{3\} = - 637,81 \text{ N/m}^2$

• **Pour le pignon :** on prendra $q_j'' = +931,67 \text{ N/m}^2$

D'où, la charge de vent normal V_n qui agit sur long-pan est : $V_n = q_j' = + 1011,82 \text{ N/m}^2$

Et celle du pignon est $V_n = q_j'' = + 931,67 \text{ N/m}^2$

b) **Toiture :**

❖ **Sens V_1**

En faisant la moyenne des charges de vent agissant sur le versant le plus sollicité de la toiture, on obtient :

$$q_j' = \frac{-883,648 - 257,262}{2} = -570,455 \text{ N/m}^2$$

❖ **Sens V_2**

En faisant la même procédure que précédente, on a :

$$q_j'' = \frac{-843,178 - 336,905}{2} = -590,041 \text{ N/m}^2$$

Donc, le cas le plus défavorable donne la charge du vent normal V_n au niveau de la toiture, d'où :

$$V_n = q_j'' = -590,041 \text{ N/m}^2$$

Schémas récapitulatifs

Après avoir calculé les surcharges climatiques de vent en respectant *la RNV 99/2013*, nous allons récapituler ici les surcharges de vent qu'on prendra en compte dans le prochain calcul.

❖ Vent perpendiculaire au Long-pan (sens V_1) :

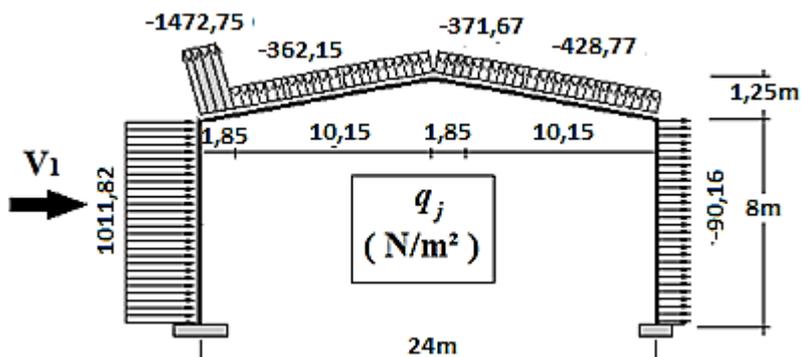


Figure 2.15. Surcharges de vent pour (sens V_1)

❖ Vent perpendiculaire au Pignon (sens V_2) :

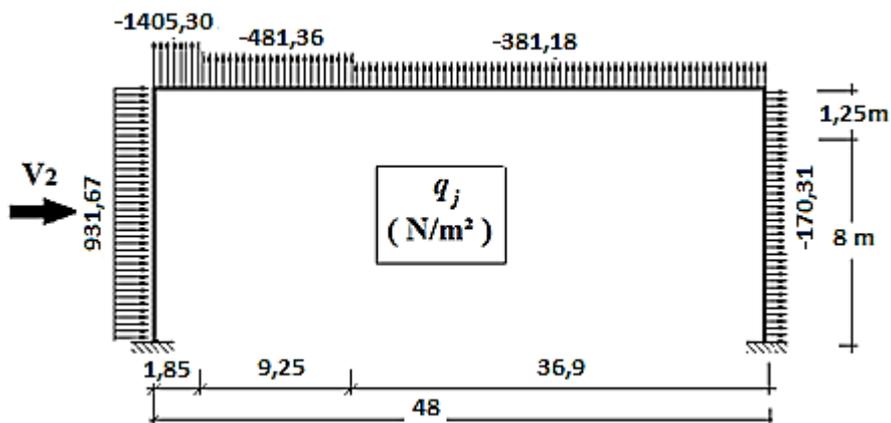


Figure 2.16. Surcharges de vent pour (sens V_2)

CHAPITRE 3

Calcul des éléments la charpente métallique

3.1. Introduction :

Le pré dimensionnement est une étape cruciale dans la conception d'une charpente métallique. Il consiste à déterminer les critères prennent en compte la résistance des matériaux, les charges permanentes et variables, ainsi que les conditions d'appui. L'Eurocode 03 fournit des recommandations pour les formules utilisés dans la vérification des calculs.

3.1.1. Etudes des pannes :

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. Elles sont disposées parallèlement à la ligne de faitage et réalisées soit en profilés formés à chaud en (I), ou bien en (U) comme prise dans cette étude.

3.1.2. Principe de dimensionnement :

Les pannes fonctionnent en flexion déviée car elles sont posées inclinées d'un angle α , qui est égale à la pente des versants de la toiture. Elles sont en effet soumises à :

- Une charge verticale : le poids propre de la panne et de la couverture appliqué à son centre de gravité suivant la verticale, cette charge est décomposée en une composante f parallèle à l'âme de la panne et une autre composante t parallèle aux semelles.

- Une charge oblique : due au vent parallèle à l'âme de la panne.

Les pannes sont dimensionnées par le calcul pour satisfaire simultanément :

- Aux conditions de résistance (ELU : flexion + cisaillement) ;
- Aux conditions de déversement (ELU : déversement) ;
- Aux conditions de la flèche (ELS).

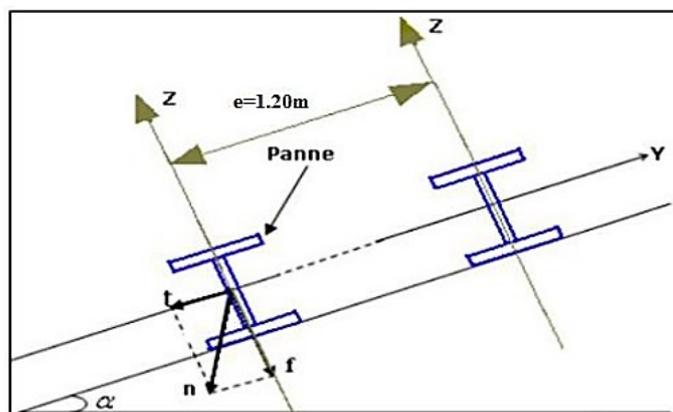


Figure 3.1- Orientation des charges sur les pannes.

3.1.3 Détermination des charges et surcharges :

a) Les charges permanentes : (selon le DTR .b1.c.2.2)

- Poids de couverture (panneaux sandwichs) 12daN/m2.
- Poids propre d'accessoire d'attache.....5daN /m2.
- Poids propre de la panne estimé(IPE140)12,64dN/m2.

$G = (P \text{ couverture} + P \text{ accessoire}) * e + P \text{ panne}$

e : espacement entre les pannes (e= 2.1m)

$G1 = ((12 + 5) * 2,001) + 12,64) * 6 = (46,65 * 6) \text{ daN/m}^2 \Rightarrow G1 = 279,94 \text{ Kg/ml.}$

b) Surcharge d'entretien P_{eq} :

Dans le cas des toitures inaccessible on considère uniquement dans les calculs une charge d'entretien qui est égale au poids d'un ouvrier et de son assistant et qui est équivalente a deux charges concentrées de 100 kg chacune située à 1/3 et 2/3 de la portée de la panne

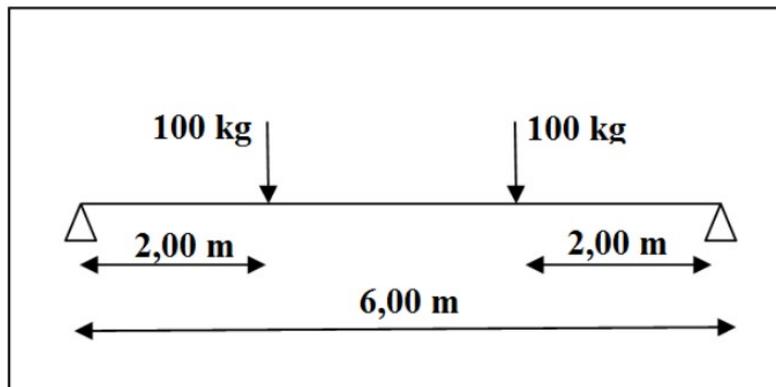


Figure3.2Schéma statique sous charge d'entretien

$M_{max} = 100 \times 2 = 200 \text{ daN.m}$

La charge uniformément répartie (P_{eq}) due à la surcharge d'entretien est obtenue en égalisant les deux moments max dues à P_{eq} aux charges ponctuelles P.

$M_{max} = \frac{PL}{3} = \frac{P_{eq}L^2}{8}$

$P_{eq} = \frac{8}{3} \times \frac{P}{L} = \frac{8}{3} \times \frac{100}{3} \Rightarrow P_{eq} = 44.44 \text{ daN/ml}$

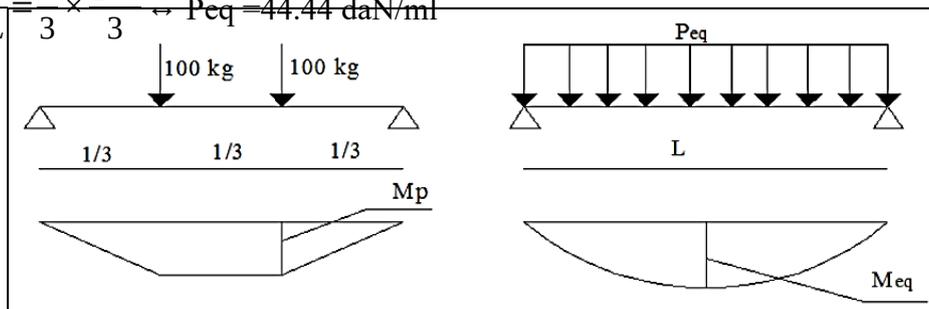


Figure 3.3 Moment due à la charge d'entretien

CHAPITRE 3

Calcul des éléments la charpente métallique

c) Surcharge climatique du vent V (perpendiculaire au versant) :

Les pannes intermédiaires se trouvent dans les zones H et I

$$V = -590,041 \text{ N/m}^2 = -59,004 \text{ daN/m}^2$$

$$\text{Donc } V = -59,004 \times 2,01 = -123,908 \text{ daN/ml}$$

d) Surcharge climatique de la neige :

$$N = 361 \text{ N/m}^2 = 36,16 \text{ daN/m}^2$$

$$N = 36,16 \times 2,001 = 72,03 \text{ daN/ml}$$

3.1.4. Combinaisons de charge les plus défavorables

● Les charges et surcharges appliquées :

$$G = 46,65 \text{ daN/ml}$$

$$P_{eq} = 44,44 \text{ daN/ml}$$

$$V = -123,908 \text{ daN/ml}$$

$$N = 72,68 \text{ daN/ml}$$

3.1.5 Pré dimensionnement :

Combinaisons des charges les plus défavorables :

◆ ELS

Action vers le bas ↓ :

$$Q_{sd1} = G + P_{eq} = 46,81 + 44,44 = 91,25 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{sd2} = G + N = 46,81 + 72,68 = 119,49 \text{ daN/ml}$$

Action vers le haut ↑ :

$$Q_{sd3} = G \cos \alpha - V = 46,81 \cos(5,95) - 123,908 = -77,35 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{sd} = \text{Max}(Q_{sd1}, Q_{sd2}, Q_{sd3})$$

$$Q_{sd} = 77,35 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{zsd} = Q_{sd} \cos(\alpha) = 77,35 \cos(5,95) = 76,933 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{ysd} = Q_{sd} \sin(\alpha) = 77,35 \sin(5,95) = 8,018 \text{ daN/ml}$$

Le pré dimensionnement se fait par la condition de la flèche :

L = 6 m : longueur du Panne

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{V \times (l)^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384 \times 3} \times \frac{Q_{zsd} \times (l)^4}{E} = \frac{5}{384 \times 3} \times \frac{128,5 \times (600)^4 \times 10^{-2}}{2,1 \times 10^6} = 344,19 \text{ cm}^4$$

Donc on choisit IPE140

CHAPITRE III Calcul des éléments la charpente métallique

Ces caractéristiques sont :

$$\begin{aligned} I_y &= 541,2 \text{ cm}^4 & W_{ply} &= 88,3 \text{ cm}^3 \\ I_z &= 44,9 \text{ cm}^4 & W_{plz} &= 19,2 \text{ cm}^3 \\ A &= 16,4 \text{ cm}^2 & W_{ely} &= 77,3 \text{ cm}^3 \\ H &= 14 \text{ cm} & W_{elz} &= 12,3 \text{ cm}^3 \\ G &= 12,9 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Donc le poids propre réel G :

$$G = [(P_{\text{accessoire}} + P_{\text{couverture}}) \times e] + PP_{\text{panne}}$$

e : espacement entre les pannes est : e = 2.001m

$$G = [(12 + 5) \times 2,01] + 12,64 = 46,65 \text{ daN/m}^2$$

Action vers le bas ↓ :

$$Qsd_1 = 1,35G + 1,5Peq = 1,35 \times 46,65 + 1,5 \times 44,44 = 129,36 \text{ daN/ml}$$

$$Qsdz = 1,35G + 1,5N = 1,35 \times 46,65 + 1,5 \times 72,68 = 171,99 \text{ daN/ml}$$

Action vers le haut ↑ :

$$Qsd_1 = G \cos \alpha - 1,5V = 46,65 \cos(5,95) - 1,5 \times 171,99 = -211,58 \text{ daN/ml}$$

$$Qsdz = 1,35 G \sin \alpha = 1,35 \times 46,65 \sin(5,95) = 6,52 \text{ daN/ml}$$

Les combinaisons les plus défavorables à retenir par les calculs :

Résistance en section :

$$Qsd = 211,58 \text{ daN/ml}$$

$$Qsd_z = Qsd \cos \alpha = 5,95 = 210,44 \text{ daN/ml}$$

$$M_{y.sd} = \frac{Qsdz \times L^2}{8} = \frac{210,44 \times 6^2}{8} = 946,98 \text{ daN/ml}$$

$$Qsd_y = Qsd \sin \alpha = 210,44 \times \sin 5,95 = 21,81 \text{ daN/ml}$$

$$M_{z.sd} = \frac{Qsdy \times L^2}{8} = \frac{21,81 \times 6^2}{8} = 98,16 \text{ daN/ml}$$

Déversement de l'élément : la semelle inférieure comprimée non retenue latéralement

$$Q_{zsd} : 211,58 \text{ daN/ml} \leftrightarrow M_{y.sd} = \frac{Q_{zsd} \times L^2}{8} = \frac{211,58 \times 6^2}{8} = 952,11 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{y sd} : 6,52 \text{ daN/ml} \leftrightarrow M_{z.sd} = \frac{Q_{y sd} \times L^2}{8} = \frac{6,52 \times 6^2}{8} = 29,34 \text{ daN/ml}$$

3.1.6 Vérification à la sécurité :

La vérification de la sécurité ne peut pas se faire d'une manière empirique, elle se base sur des règles de calcul bien précises qui utilisent des notions innovées, tant sur le plan technique, méthode de calcul que sur le plan normatif (annexe nationale codification européenne...).

Vérification à l'état limite ultime :

Par tâtonnement, on choisit le profilé IPE140 dont les caractéristiques géométriques sont:

Profilé	h mm	b mm	tw mm	tf mm	r mm	d mm	Wpl,y Cm ³	Wpl,z Cm ³	Avz Cm ²	Avy Cm ²	Iz Cm ⁴	Iy Cm ⁴
IPE140	140	73	4.7	6.9	7	112.2	88.3	19.3	7.64	8.76	44.9	5.41

Tableau 3.1 : Données géométrique de profilé IPE 140

3.1.7 Vérification à la flexion :

Les pannes travaillent à la flexion déviée. Pour ce cas de flexion travaillant suivant les deux axes «Y-Y et Z-Z », l’Euro code 3 recommande l’utilisation de la même méthode exposée dans l’article 5.4.8 pour la flexion composée

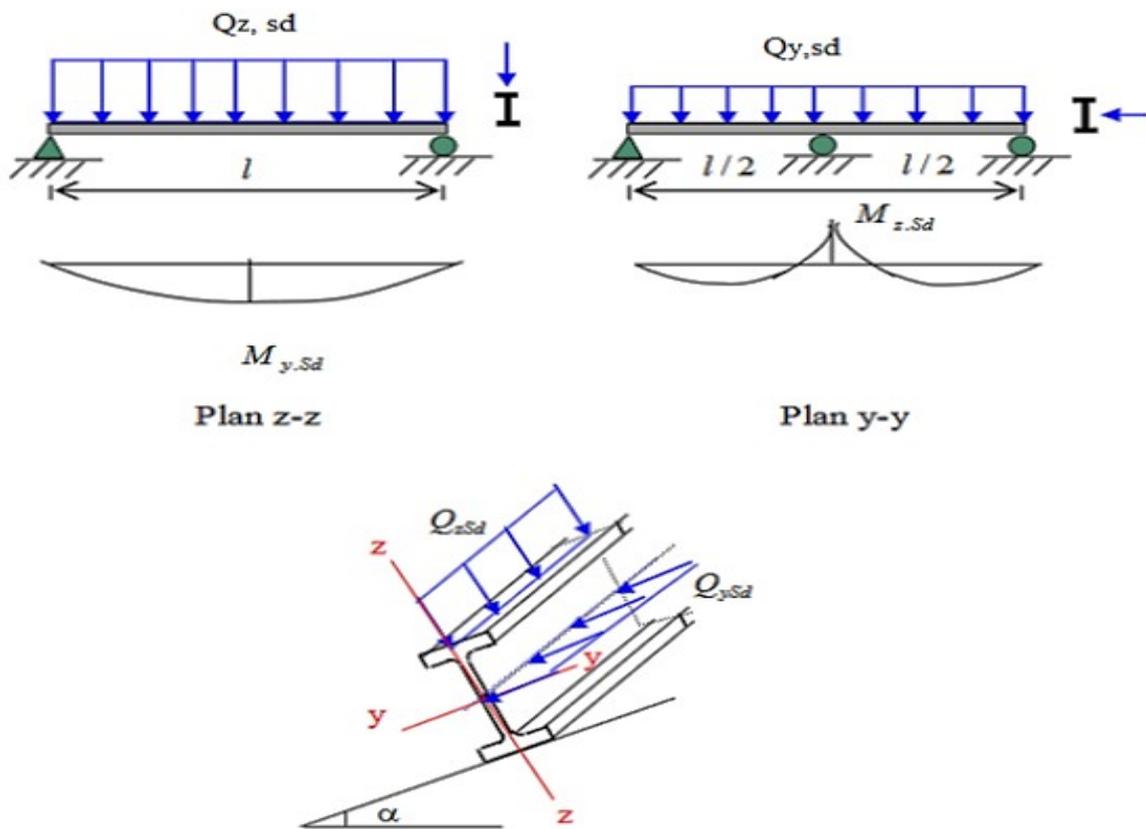


Figure 3.4 : Panne de toiture en flexion

Calcul en plasticité (section de class 1 et 2) :

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{ply.rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right)^\beta \leq 1.0$$

Ou α et β sont des constantes qui placent en sécurité si elles sont prises égale à l’unité ,mais qui peuvent prendre les valeurs suivantes :

- Section I et H : $\alpha=2$ et $\beta=5$ $n \geq 1$
 Avec $n = N_{sd}/N_{pl.rd} = 0 \rightarrow \beta=1$

Class de section

$$Class\ de\ la\ semelle: \frac{C}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10 \epsilon$$

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

$$\frac{b/2}{t_f} = \frac{73/2}{6.9} = 5,28 \leq 10 \rightarrow \text{semelle de class 1}$$

Class de l'âme :

$$\frac{d}{t_w} \leq 72 \epsilon \rightarrow \frac{112,2}{4,7} = 23,8 \leq 72 \rightarrow \text{Ame de class 1}$$

La section est de class 1 : Domaine plastique

Caractéristique géométrique de l'IPE140

$$W_{el.y} = 77,3 \text{ cm}^3$$

$$W_{el.z} = 12,3 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl.y} = 88,3 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl.z} = 19,2 \text{ cm}^3$$

$$M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl.y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88,3 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 1886,4 \text{ daN} \cdot m$$

$$M_{plz.Rd} = \frac{W_{pl.z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19,2 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 410,18 \text{ daN} \cdot m$$

Remarque : dans notre cas l'effort normal (Nsd=0) donc $\beta = 1$

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{ply.rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right)^\beta \leq 1.0$$

$$\left(\frac{952,11}{1886,4} \right)^2 + \left(\frac{98,16}{410,18} \right)^1 = 0,49 \leq 1.0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

3.1.8 Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement est donnée par les formules suivantes :

$$V_{ysd} \leq V_{plysd} \quad V_{plysd} = \frac{A_{vy} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{zsd} \leq V_{plzsd} \quad V_{plzsd} = \frac{A_{vz} (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{vy} = 10,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} = 7,6 \text{ cm}^2$$

$$V_{zsd} = \frac{Q_{zsd} \times l}{2} = \frac{210,44 \times 6}{2} = 631,32 \text{ daN}$$

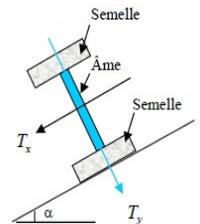
$$V_{ysd} = 0,625 Q_{ysd} \times (l) = 0,625 \times 21,81 \times 6 = 79,76 \text{ daN}$$

$$V_{plysd} = \frac{10,6 (235 / \sqrt{3})}{1,1} = 13074,3 \text{ daN}$$

$$V_{plzsd} = \frac{7,6 (235 / \sqrt{3})}{1,1} = 9374,06 \text{ daN}$$

$$V_{ysd} = 79,76 \text{ daN} \leq V_{plysd} = 13074,3 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

$$V_{zsd} = 638,25 \text{ daN} \leq V_{plzsd} = 9374,06 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$



3.1.9 Vérification au déversement :

Déversement = Flambement latéral + Rotation de la section transversale.

- Semelle supérieure :

La semelle supérieure qui est comprimée sous l'action des charges verticales descendantes est susceptible de déverser. Vu qu'elle est fixée à la toiture il n'y a donc pas risque de déversement.

- Semelle inférieure :

La semelle inférieure qui est comprimée sous l'action du vent de soulèvement est susceptible de déverser du moment quelle est libre tout au long de sa portée.

Calcul de moment ultime :

$$Q_{sd1} = G \cos \alpha - 1,5 V = 46,65 \cos(5,95) - 1,5 \times 171,99 = -211,58 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{sd2} = 1,35 G \sin \alpha = 1,35 \times 46,65 \sin(5,95) = 6,528 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{zsd} : 211,58 \text{ daN/ml} \leftrightarrow M_{y.sd} = \frac{Q_{zsd} \times L^2}{8} = \frac{211,58 \times 6^2}{8} = 952,11 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{ysd} : 6,528 \text{ daN/ml} \leftrightarrow M_{z.sd} = \frac{Q_{ysd} \times L^2}{8} = \frac{6,528 \times 6^2}{8} = 29,37 \text{ daN/ml}$$

$$M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl.y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88,3 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 1886,4 \text{ daN.m} \quad M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl.z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19,2 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 404,7 \text{ daN.m}$$

$$M_{ysd} \leq M_{bRd} = \chi_{ci} \times \beta_w \times \frac{w_{ply} \times f_y}{\gamma_{M1}} \text{ EC3 Art 5.5.2(7)}$$

Calcul de moment résistant au déversement

$$M_{bRd} = \chi_{ci} \times \beta_w \times \frac{w_{ply} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$\beta_w = 1$ pour les sections de classes 1 et classes 2

χ_{ci} : Coefficient de réduction en fonction de $\bar{\lambda}_{ci}$

$$\bar{\lambda}_{ci} = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = \left[\frac{\lambda_{ci}}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5}$$

M_{cr} : est \leq moment critique au déversement

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{(KL)^2} \left\{ \left[\left(\frac{K}{K_w} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 G I_t}{2 E I_z} + (C_2 Z_g - C_3 Z_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 Z_g - C_3 Z_j) \right\} \text{ (EC3)}$$

C_1, C_2, C_3 : facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement.

$C_1 = 1,132, C_2 = 0,459, C_3 = 0,525$; EC3 Tab F.1.2

CHAPITRE III Calcul des éléments la charpente métallique

K et K_w : les facteurs de longueur effective avec : $K=1$ appui simple , $K_w=1$; EC3 Tab F.1.2

L = 600 cm

$$Z_g = Z_a - Z_s$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_a = -7 \text{ cm sous } \leq \text{vent} . Z_a = 7 \text{ cm sous la charge verticale} \\ Z_s = 0 \text{ section doublement symétrique EC 3 figure F . 1 . 1 . } Z_j = 0 \text{ section doublement symétrique EC 3 Art F . 1 . 1} \end{array} \right\}$$

$$Z_g = Z_a - Z_s = -7 \text{ cm sous } \leq \text{vent} \quad Z_g = Z_a - Z_s = 7 \text{ cm sous la charge verticale}$$

$$I_w = 1988,5 \text{ cm}^6 = 1988,5 \times 10^{-12} \text{ m}^6$$

$$I_z = 44,9 \text{ cm}^4 = 44,9 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_t = 2,45 \text{ cm}^4 = 2,45 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa} = 2,1 \times 10^8 \text{ KN/m}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

$$Z_g = -0,07 \text{ m}$$

$$M_{cr} = \frac{1,132 \times \pi^2 \times 2,1 \times 44,9}{(1 \times 6)^2} \left[\left[\left(\frac{1}{1} \right)^2 \times \frac{1988,5 \times 10^{-4}}{44,9} + \frac{(1 \times 6)^2 \times 80770 \times 10^{-5} \times 2,45}{2 \times 2,1 \times 44,9} + ((0,459 \times -0,07) - 0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$M_{cr} = 9,32 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\bar{\lambda}_i = \sqrt{\frac{1 \times 88,3 \times 10^{-3} \times 235}{9,32}} = 1,49 \geq 0,4 \text{ Donc il y a risque de déversement}$$

Profilé laminé ; $\alpha_i = 0,21$;
On calcul x_i

$$x_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha_i (\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + 0,21 (1,49 - 0,2) + 1,49^2 \right] = 1,74$$

$$x_i = \frac{1}{1,74 + \sqrt{1,74^2 - 1,49^2}} = 0,37$$

$$M_{bRd} = 0,37 \times 1 \times \frac{88,3 \times 10^{-3} \times 235}{1,1} = 6,97 \text{ KN/m}$$

$M_y \cdot sd = 9,62 \text{ KN/m} \leq M_{bRd} = 6,97 \text{ KN/m} \dots \dots \dots \text{Non vérifiée}$

CHAPITRE 3 Calcul des éléments la charpente métallique

Le déversement n'est pas vérifié donc on adopte des liernes, les résultats de la nouvelle vérification sont donnés comme suite :

Dimensionnement des pannes (avec des liernes) :

Résistance en section :

$$Q_{sd} = 211,58 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{sdz} = Q_{sd} \cos \alpha = 5,95 = 210,44 \text{ daN/ml}$$

$$M_{y.sd} = \frac{Q_{sdz} \times L^2}{8} = \frac{210,44 \times 6^2}{8} = 946,98 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{sd y} = Q_{sd} \sin \alpha = 211,58 \times \sin 5,95 = 21,93 \text{ daN/ml}$$

$$M_{z.sd} = \frac{Q_{sdy} \times L^2}{8} = \frac{21,93 \times 3^2}{8} = 24,67 \text{ daN/ml}$$

Déversement de l'élément : la semelle inférieure comprimée non retenue latéralement

$$Q_{zsd} : 211,58 \text{ daN/ml} \quad \leftrightarrow \quad M_{y.sd} = \frac{Q_{zsd} \times L^2}{8} = \frac{211,58 \times 6^2}{8} = 962,14 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{ysd} : 6,528 \text{ daN/ml} \quad \leftrightarrow \quad M_{z.sd} = \frac{Q_{ysd} \times L^2}{8} = \frac{6,528 \times 3^2}{8} = 7,34 \text{ daN/ml}$$

Vérification à la sécurité :

Vérification à l'état limite ultime :

Vérification à la flexion :

Calcul en plasticité (section de classe 1 et 2) :

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{ply.rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right)^\beta \leq 1.0$$

Caractéristique géométrique de l'IPE140

$$W_{el.y} = 77,3 \text{ cm}^3$$

$$W_{el.z} = 12,3 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl.y} = 88,3 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl.z} = 19,2 \text{ cm}^3$$

$$M_{ply.Rd} = \frac{W_{pl.y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88,3 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 1886,4 \text{ daN.m}$$

$$M_{plz.Rd} = \frac{W_{pl.z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19,2 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 410,18 \text{ daN.m}$$

Remarque : dans notre cas l'effort normal ($N_{sd}=0$) donc $\beta=1$

$$\left(\frac{M_{y\,sd}}{M_{ply\,rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z\,sd}}{M_{plz\,rd}}\right)^\beta \leq 1.0$$

$$\left(\frac{946,98}{1886,4}\right)^2 + \left(\frac{21,93}{410,18}\right)^1 = 0,30 \leq 1.0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement est donnée par les formules suivantes :

$$V_{y\,sd} \leq V_{ply\,sd} \quad V_{ply\,sd} = \frac{A_{vy} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{Y_{M0}}$$

$$V_{z\,sd} \leq V_{plz\,sd} \quad V_{plz\,sd} = \frac{A_{vz} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{Y_{M0}}$$

$$A_{vy} = 10,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} = 7,6 \text{ cm}^2$$

$$V_{z\,sd} = \frac{Q_{z\,sd} \times l}{2} = \frac{211,58 \times 6}{2} = 634,74 \text{ daN}$$

$$V_{y\,sd} = 0,625 Q_{y\,sd} \times (l/2) = 0,625 \times 21,27 \times 3 = 39,88 \text{ daN}$$

$$V_{ply\,sd} = \frac{10,6(235/\sqrt{3})}{1,1} = 13074,3 \text{ daN}$$

$$V_{plz\,sd} = \frac{7,6(235/\sqrt{3})}{1,1} = 9374,06 \text{ daN}$$

$$V_{y\,sd} = 39,88 \text{ daN} \leq V_{ply\,sd} = 13074,3 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

$$V_{z\,sd} = 634,74 \text{ daN} \leq V_{plz\,sd} = 9374,06 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Vérification au déversement :

$$M_{y\,sd} \leq M_{bRd} = x_c \times \beta_w \times \frac{w_{ply} \times f_y}{Y_{M1}} \text{ EC 3 Art 5.5.2(7)}$$

Calcul de moment résistant au déversement

$$M_{bRd} = x_c \times \beta_w \times \frac{w_{ply} \times f_y}{Y_{M1}}$$

$\beta_w = 1$ pour les sections de classes 1 et classes 2

x_c : Coefficient de réduction en fonction de $\bar{\lambda}_c$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = \left[\frac{\lambda_c}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5}$$

M_{cr} : est \leq moment critique au déversement

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{(KL)^2} \left\{ \left[\left(\frac{K}{K_w} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 G I_t}{2 E I_z} + (C_2 Z_g - C_3 Z_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 Z_g - C_3 Z_j) \right\}$$

C_1, C_2, C_3 : facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement.

$C_1 = 1,132$, $C_2 = 0,459$, $C_3 = 0,525$; **EC3 Tab F.1.2**

K et K_w : les facteurs de longueur effective avec : $K=1$ appui simple, $K_w=1$; **EC3 Tab F.1.2**

Donc $\Rightarrow L = 300 \text{ cm} = 3\text{m}$

$$Z_g = Z_a - Z_s$$

$$\{ Z_a = -7 \text{ cm sous } \leq \text{vent} . Z_a = 7 \text{ cm sous la charge verticale} \}$$

$$\{ Z_s = 0 \text{ section doublement symétrique EC 3 figure F .1.1} . Z_j = 0 \text{ section doublement symétrique EC 3 Art F .1.1} \}$$

$$Z_g = Z_a - Z_s = -7 \text{ cm sous } \leq \text{vent} \quad Z_g = Z_a - Z_s = 7 \text{ cm sous la charge verticale}$$

$$I_w = 1988,5 \text{ cm}^6 = 1988,5 \times 10^{-12} \text{ m}^6$$

$$I_z = 44.9 \text{ cm}^4 = 44.9 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_t = 2,45 \text{ cm}^4 = 2,45 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$E = 2,1 \times 10^5 \text{ MPa} = 2,1 \times 10^8 \text{ KN/m}$$

$$Z_g = -0,07 \text{ m}$$

$$M_{cr} = \frac{1,132 \times \pi^2 \times 2,1 \times 44,9}{(1 \times 3)^2} \left\{ \left[\left(\frac{1}{1} \right)^2 \times \frac{1988,5 \times 10^{-4}}{44,9} + \frac{(1 \times 3)^2 \times 80770 \times 10^{-5} \times 2,45}{2 \times 2,1 \times 44,9} + ((0,459 \times -0,07) - 0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - ((0,459 \times -0,07) - 0) \right\}$$

$$M_{cr} = 18,35 \text{ KN} . \text{m}$$

$$\bar{\lambda}_i = \sqrt{\frac{1 \times 88,3 \times 10^{-3} \times 235}{18,35}} = 1,06 \geq 0,4 \text{ Donc il y a risque de diversement}$$

Profilé laminé ; $\alpha_i = 0,21$;

On calcul x_i

$$x_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha_i (\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + 0,21 (1,06 - 0,2) + 1,06^2 \right] = 1,15$$

$$x_i = \frac{1}{1,15 + \sqrt{1,15^2 - 1,06^2}} = 0,62$$

$$M_{bRd} = 0,62 \times 1 \times \frac{88,3 \times 10^{-3} \times 235}{1,1} = 11,69 \text{ KN/m}$$

$$M_y \cdot sd = 9,62 \text{ KN/m} \leq M_{bRd} = 11,69 \text{ KN/m} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

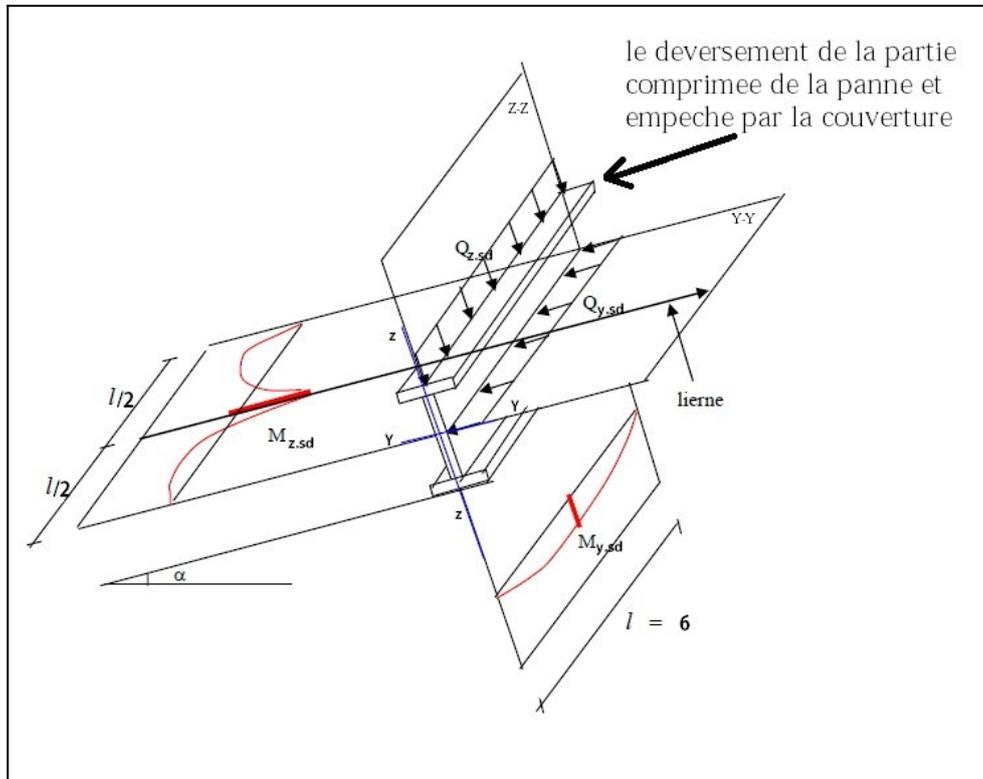


Figure 3.4. présentation les charges et les moments

3.2.3 Vérification à l'état limite de service :

3.2.4 Vérification à la flèche :

Action vers le bas ↓ :

$$Q_{sd1} = G + Peq = 46,65 + 44,44 = 91,09 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{sd2} = G + N = 46,65 + 72,68 = 119,33 \text{ daN/ml}$$

Action vers le haut ↑ :

$$Q_{sd3} = G \cos \alpha - V = 46,65 \cos \cos(5,95) - 123,908 = -77,50 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{sd} \text{ Max}(Q_{sd1}, Q_{sd2}, Q_{sd3})$$

$$Q_{sd} = 119,33 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{zsd} = Q_{sd} \cos \cos(\alpha) = 119,33 \cos \cos(5,95) = 118,68 \text{ daN/ml}$$

$$Q_{ysd} = Q_{sd} \sin \sin(\alpha) = 119,33 \sin \sin(5,95) = 12,36 \text{ daN/ml}$$

Condition de vérification :

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

- Flèche vérification (suivant zz')

Sur deux appuis :

$$f_{ad} = \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{118,68 \times 10^{-2} \times 600^4}{2,1 \times 10^6 \times 541,2} = 1,7 \text{ cm}$$

$f = 1,9 \text{ cm} \leq f_{ad} = 3 \text{ cm}$ vérifiée

- Flèche vérification (suivant yy')

Sur trois appuis :

$$f_{ad} = \frac{l/2}{200} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{12,36 \times 10^{-2} \times 300^4}{2,1 \times 10^6 \times 44,9} = 0,24 \text{ cm}$$

$f_y = 0,24 \text{ cm} \leq f_{ad} = 1,5 \text{ cm}$ vérifiée

Conclusion : le profilé choisit L’**IPE140** convient pour les pannes

3.3.1 Calcul des liernes

3.3.2 Introduction :

Les liernes sont des tirants qui fonctionnent en traction. Elles sont généralement formées de barres rondes ou de petites cornières. Leur rôle principal est d’éviter la déformation latérale des pannes. Compte tenu de la faible inertie transversale des pannes, et dès lorsque la pente des versants (α) atteint 8 à 10%, l’effet de la charge Q_x (perpendiculaire à l’âme de la panne) devient préjudiciable et conduit à des sections de pannes importantes, donc onéreuses.

La solution consiste à réduire la portée transversale des pannes en les reliant entre elles par des liernes (tirants), situés à mi - portée. Chaque fois que les pannes en profilés sont disposées normalement au versant, il convient de les entretoiser par un ou plusieurs cours de liernes en fer rond ou en cornière. Ces liernes, reliés entre elles au niveau du faîtage, permettent d’éviter la déformation latérale des pannes, très préjudiciable au bon aspect de la couverture.

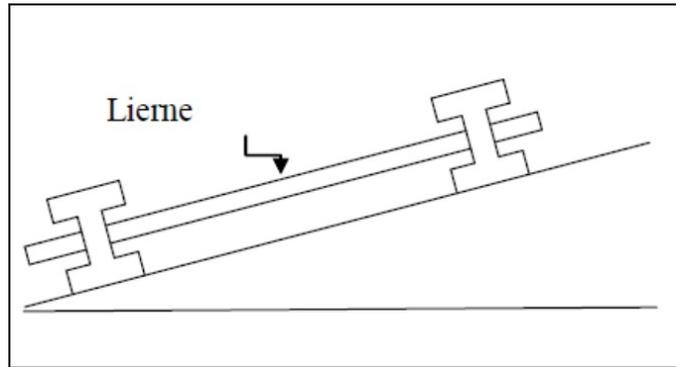


Figure.3.5. Présentation d'une lierne

3.3.3 Dimensionnement des liernes :

La réaction R au niveau du lierne :

$$R = 1,25 Q_y \times \frac{l}{2}$$

$Q_y = 23,92 \text{ daN/ml}$

$$R = 1,25 \times 21,93 \times \frac{6}{2} = 82,2 \text{ daN}$$

Effort de traction dans le tronçon de lierne L1 provenant de la panne sablière :

$$T_1 = \frac{R}{2} = \frac{82,2}{2} = 41,11 \text{ daN}$$

Effort dans le tronçon L2 :

$$T_2 = R + T_1 = 82,2 + 41,11 = 123,31 \text{ daN}$$

Effort dans le tronçon L3 :

$$T_3 = R + T_2 = 82,2 + 123,31 = 205,51 \text{ daN}$$

Effort dans le tronçon L4 :

$$T_4 = R + T_3 = 82,2 + 205,5 = 287,71 \text{ daN}$$

Effort dans les diagonales L5 :

$$2 T_5 \sin \theta = T_4 \rightarrow T_5 = \frac{T_4}{2 \sin \theta} = \frac{287,71}{2 \sin(33,82)} = 250,61 \text{ daN}$$

$$\theta = \left(\frac{2,01}{3} \right) = 33,82^\circ$$

3.3.4 Calcul de la section des liernes :

Le tronçon le plus sollicité est L4.

$$N_{sd} = T_4 \leq \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{T_4 \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{278,98 \times 1,1}{2350} = 0,13 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,13}{\pi}} = 0,4$$

Soit une barre ronde de diamètre : $\varphi = 10 \text{ mm}$.

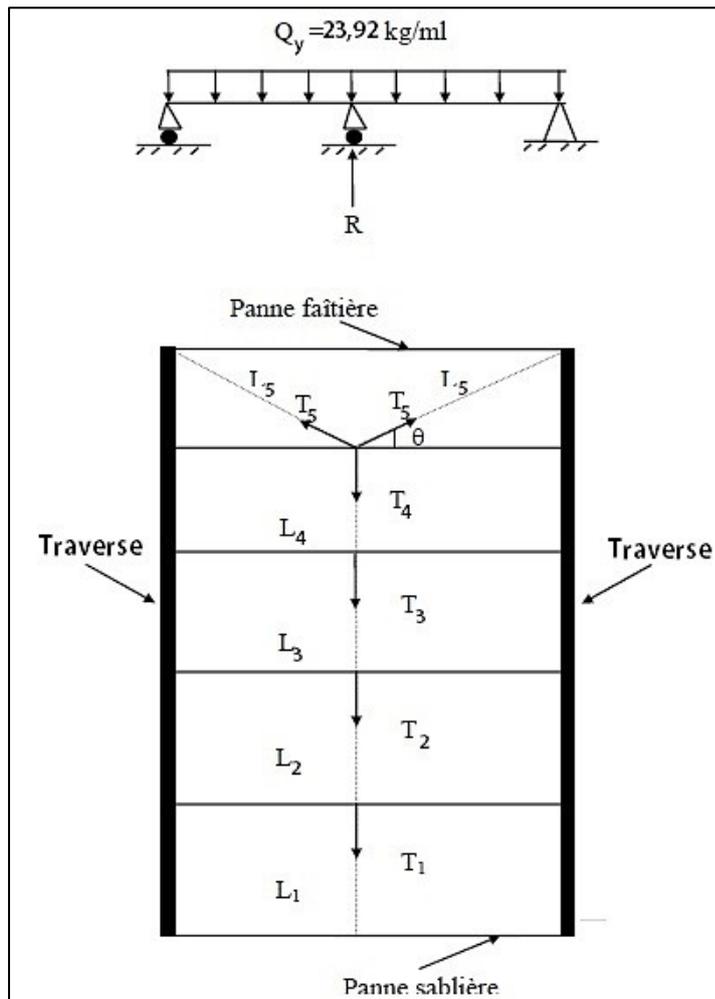


Figure.3.6. Présentation d'un lierne

3.4.1 Calcul de l'échantignolle :

Introduction :

L'échantignolle est un dispositif de fixation qui permet de fixer les pannes sur les fermes ou les traverses de portiques. Elle s'oppose aux charges tangentielles dues aux poids des charges permanentes et de la neige. Elle s'oppose aussi à l'action de soulèvement due au vent. Elles sont fixées soit par boulonnage soit par soudage.

Calcul des charges revenant à l'échantignolle :

Effort de soulèvement :

$$Q_{sdz} = G \cos \alpha - 1,5 V = 43,05 \cos(5,95) - 1,5 \times 171,1 = -213,81 \text{ daN/ml}$$

Effort suivant rampant :

$$Q_{sdy} = 1,35 G \sin \alpha = 1,35 \times 43,05 \sin(5,71) = 5,78 \text{ daN/ml}$$

Effort suivant rampant :

$$Q_{sdy} = 1,35 G \sin \alpha = 1,35 \times 43,05 \sin \sin(5,71) = 5,78 \text{ daN/ml}$$

L'excentrement « t » est limité par la condition suivante :

$$2\left(\frac{b}{2}\right) \leq t \leq 3\left(\frac{b}{2}\right)$$

Pour un IPE140 → b = 7,3 cm et h = 14 cm

$$2\left(\frac{7,3}{2}\right) = 7,3 \text{ cm} \leq t \leq 3\left(\frac{7,3}{2}\right) = 10,95 \text{ cm}$$

Soit t = 9 cm.

Echantignolle de rive :

$$R_z = Q_{zsd} \left(\frac{l}{2}\right) = 213,81 \times \left(\frac{6}{2}\right) = 641,43 \text{ daN}$$

$$R_y = Q_{ysd} \left(\frac{l}{2}\right) = 5,78 \times \left(\frac{6}{2}\right) = 17,34 \text{ daN}$$

Echantignolle intermédiaire :

$$R_z = 641,43 \times 2 = 1282,86 \text{ daN}$$

$$R_y = 17,34 \times 2 = 34,68 \text{ daN}$$

Calcul de moment du reversement :

$$M_R = R_z \times t + R_y \times \left(\frac{h}{2}\right)$$

$$M_R = 1282,86 \times 9 + 34,68 \times \left(\frac{14}{2}\right) = 11788,5 \text{ daN} \cdot \text{cm}$$

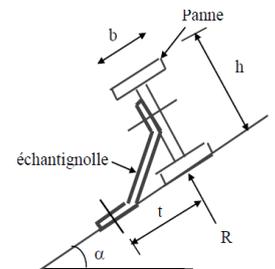


Figure3.7: Echantignolle

3.4.2 Dimensionnement de l'échantignolle :

Flexion simple

Remarque : Généralement les échantignolle sont des éléments formes à froid. La classe de section est au moins de classe 3.

$$M_{sdy} \leq M_{el.rd}$$

$M_{el.rd}$: Moment de résistance élastique de la section brute.

$$M_{el.rd} = \frac{W_{el} \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

Calcul de l'épaisseur de l'échantignolle :

$$\sigma \leq \frac{M_R}{W_{el}} \Rightarrow W_{el} \leq \frac{M_R}{\sigma} \Rightarrow W_{el} \leq \frac{M_R \times \gamma_{M0}}{f_y}$$

$$W_{el} \leq \frac{11788,5 \times 1,1}{2350} = 5,51 \text{ cm}^3$$

$$\text{on a } W_{el} = \frac{b e^2}{6} \Rightarrow \text{section rectangulaire}$$

$$e \geq \sqrt{\frac{6 W_{el}}{a}} = \sqrt{\frac{6 \times 5,51}{17}} = 1,39 \text{ cm}$$

En prend e = 1,5cm

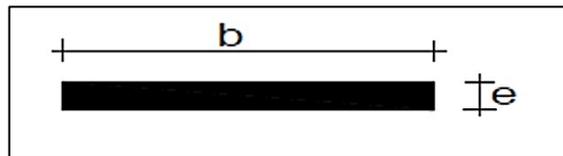


Figure.3.8: Dimensions de l'échantignolle

Remarque :

La largeur de l'échantignolle ($a = 17 \text{ cm}$) est calculée après avoir dimensionné la semelle supérieur de la traverse IPE360 $\rightarrow b=170\text{mm}$

3.5.1 Calcul des lisses de bardages

3.5.2 Introduction :

Les lisses de bardages sont constituées des poutrelles (IPE, UAP,UPE) ou des profils minces pliés. Disposées horizontalement, elles se portent sur les poteaux de portiques ou éventuellement sur des potelets intermédiaires. L'entre axe des lisses est déterminé par la portée admissible des bacs de bardage.

Les lisses, destinées à reprendre les efforts du vent sur le bardage, sont posées naturellement pour présenter leur inertie maximale dans le plan horizontal.

La lisse fléchit verticalement en outre, sous l'effet de son poids propre et du poids du bardage qui lui est associé, et de ce fait fonctionne à la flexion déviée.

3.5.3 Détermination des charges et surcharges :

$h = 9,25m \rightarrow 6$ (nombre espacement)

H poteau = 8 m

Donc $n = 4 \rightarrow e = 1,15m$

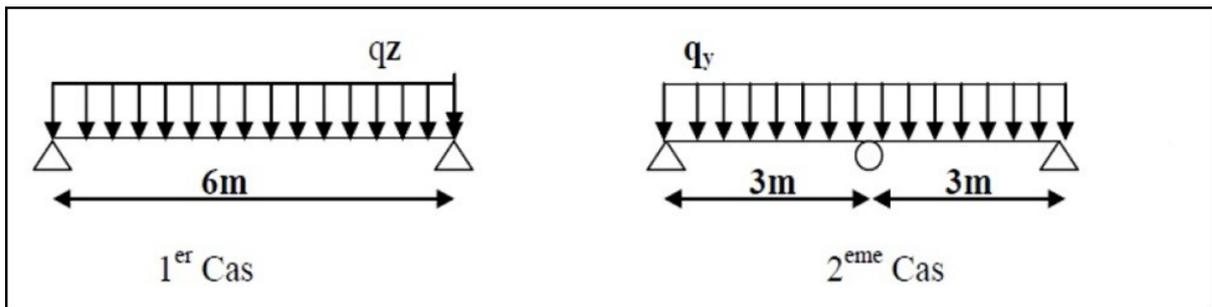


Figure 4.1 les schémas statiques de la lisse dans les deux plans y-y et z-z.

Les charges permanentes

- ◆ Poids propre de bardage (TN40)... 12kg/m²
 - ◆ Poids propre d'accessoires d'attache 5 kg/m²
 - Poids propre de la lisse on suppose un (UPN120)... 13,4kg/ml
- $G = [(P_{accessoires} + P_{bardage}) \times e]$
- $G = [(12 + 5) \times 1,5] + 13,4 = 38,9 \text{ Kg/ml}$

Surcharge climatique due au vent

On calcul les lisses avec la valeur max obtenue lors de l'étude au vent direction V1.

$$V = 1,011 \text{ KN/m}^2$$

$$V = 1,011 \times 1,5 = 1,51 \text{ KN/ml}$$

3.5.5 Combinaisons d'action :

ELU :

$$Q_y = 1,35 G = 1,35 \times 0,389 = 0,525 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = 1,5 V = 1,5 \times 1,51 = 3,01 \text{ KN/ml}$$

ELS :

$$Q_y = G = 0,389 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = V = 1,51 \text{ KN/ml}$$

3.5.6 Pré dimensionnement

Le pré dimensionnement se fait par la condition de la flèche :

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{V \times (l)^4}{E \times I_z}$$

- Flèche vérification (suivant zz')

Sur deux appuis :

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{V \times (l)^4}{E \times I_z} \leq \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384 \times 3} \times \frac{V \times (l)^4}{E} = \frac{5}{384 \times 3} \times \frac{1,51 \times (600)^4 \times 10^{-1}}{2,1 \times 10^5}$$

$$I_y \geq 321,42 \text{ cm}^4$$

On choisit **UAP130**

Ses caractéristiques sont :

$$I_y = 364 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 43,2 \text{ cm}^4$$

$$A = 17 \text{ cm}^2$$

$$H = 12 \text{ cm}$$

$$G = 13,4 \text{ kg/m}$$

Le poids propre réel G :

$$G = [(P_{accessoires} + P_{bardage}) \times e] + PP_{UPN}$$

$$G = [(12 + 5) \times 1,5] + 13,4 = 38,9 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0,389 \text{ KN/ml}$$

3.5.7 Dimensionnement des lisses

Les combinaisons de calcul :

$$Q_y = 1,35 G = 1,35 \times 0,389 = 0,525 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = 1,5 V = 1,5 \times 1,51 = 2,265 \text{ KN/ml}$$

3.5.8 Détermination des sollicitations

$$\text{Sous } \leq \text{Vent} \Rightarrow M_{ysd} = \frac{Q_{zsd} \times l^2}{8} = \frac{2,265 \times 6^2}{8} = 10,19 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Sous } \leq \text{poid propre} \Rightarrow M_{zsd} = \frac{Q_{ysd} \times l^2}{8} = \frac{0,525 \times 6^2}{8} = 2,3 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

3.5.9 Vérification de la résistance des lisses :

Condition de résistance :

La condition à vérifier est

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{ply.rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right)^\beta \leq 1.0 \text{ EC 03 Art 5.4.8.1 (11)}$$

On a : UAP 130 \Rightarrow classe 1

$$\alpha = 2, \beta_w = 1 \text{ (pour les section de classe 1 et 2)}$$

$$M_{ply.rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{83,51 \times 23,5 \times 10^{-2}}{1,1} = 17,84 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$M_{plz.rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{25,65 \times 23,5 \times 10^{-2}}{1,1} = 5,47 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

$$\left(\frac{8,1}{17,84} \right)^2 + \left(\frac{2,2}{5,47} \right)^1 = 0,6 \leq 1.0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

3.5.9 Vérification à L'ELS

Combinaisons de calcul

3.6.1 ELS :

$$Q_y = G = 0,3624 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = V = 1,2 \text{ KN/ml}$$

3.6.2 Vérification la flèche :

La Vérification la flèche se fait par la condition de la flèche :

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I}$$

- (suivant zz')

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I_y}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{1,2 \times (6)^4}{2,1 \times 459,56} \times 10^2 = 2,1 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

- (suivant yy')

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I_z}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{0,3624 \times (6)^4}{2,1 \times 51,34} \times 10^2 = 5,67 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm} \dots\dots \text{non vérifiée}$$

Conclusion : La flèche n'est pas Vérifiée, donc on adopte des liernes

CHAPITRE 3

Calcul des lisses de bardages

3.6.3 Dimensionnement des lisses (avec des liernes) :

Détermination des sollicitations :

$$\text{Sous } \leq \text{Vent} \Rightarrow M_{ysd} = \frac{Q_{zsd} \times l^2}{8} = \frac{1,8 \times 6^2}{8} = 8,1 \text{ KN} \cdot \text{m} \quad \text{Sous } \leq \text{poid propre} \Rightarrow M_{zsd} = \frac{Q_{ysd} \times (l/2)^2}{8} = \frac{0,489 \times 3^2}{8} = 0,55$$

3.6.4 Vérification de la résistance des lisses (avec des liernes):

3.6.5 Condition de résistance :

La condition à vérifier est

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{ply.rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right)^\beta \leq 1.0 \text{ EC 03 Art 5.4.8.1 (11)}$$

$$\left(\frac{8,1}{17,84} \right)^2 + \left(\frac{0,55}{5,47} \right)^1 = 0,31 \leq 1.0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

3.6.6 Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement est donnée par les formules suivantes :

$$V_{ysd} \leq V_{plysd} \quad V_{plysd} = A_{vy} \times \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{zsd} \leq V_{plzsd} \quad V_{plzsd} = A_{vz} \times \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{vy} = 10,45 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} = 8,52 \text{ cm}^2$$

$$V_{zsd} = \frac{1,5 \times Q_{zsd} \times l}{2} = \frac{1,5 \times 1,8 \times 6}{2} = 8,1 \text{ kN}$$

$$V_{ysd} = 0,625 \times Q_{ysd} \times (l/2) = 0,625 \times 0,4455 \times 3 = 0,83 \text{ kN}$$

$$V_{plysd} = \frac{10,45 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,1} = 128,89 \text{ kN}$$

$$V_{plzsd} = \frac{8,52 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,1} = 105,08 \text{ kN}$$

$$V_{ysd} = 0,83 \text{ kN} \leq V_{plysd} = 128,89 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

$$V_{zsd} = 8,1 \text{ kN} \leq V_{plzsd} = 105,08 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

3.6.7 Vérification au diversement :

➤ **Sous le vent de dépression :**

Calcul de l'élancement réduit vis-à-vis de déversement $\bar{\lambda}_c$:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = \left[\frac{\lambda_c}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5}$$

$$\lambda_i = \frac{\frac{l_z}{i_z}}{(C_1)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{l_z}{i_z} \frac{h}{t_f} \right)^2 \right]^{0,25}}$$

$$\lambda_i = \frac{\frac{300}{1,71}}{(1,132)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\frac{300}{1,71}}{\frac{13}{0,95}} \right)^2 \right]^{0,25}} = 94,83$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$\Rightarrow \lambda_1 = 93,9 \beta_w = 1$ (pour les section de classe 1 et 2)

$$\bar{\lambda}_i = \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5} = \left[\frac{94,83}{93,9} \right] (1)^{0,5} = 1,01 \geq 0,4 \text{ Il ya un risque de déversement .}$$

Remarque : Pour les Sections en U, quelque soit l'axe de flambement, on choisit la courbe de flambement C

A partir de la courbe de flambement C $\rightarrow \alpha = 0,49$

x_i : Coefficient de réduction en fonction de $\bar{\lambda}_i$

$$x_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha_i (\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + 0,49 (1,01 - 0,2) + 1,01^2 \right] = 1,208$$

$$x_i = \frac{1}{1,208 + \sqrt{1,208^2 - 1,01^2}} = 0,53$$

$$M_{bRd} = x_i \times \beta_w \times \frac{w_{ply} \times f_y}{Y_{M1}}$$

$$M_{bRd} = 0,53 \times 1 \times \frac{83,51 \times 10^{-3} \times 235}{1,1} = 9,45 \text{ KN.m}$$

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{bRd}} \right) + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right) \leq 1.0$$

$$\left(\frac{8,1}{9,45} \right) + \left(\frac{0,55}{5,47} \right) = 0,96 \leq 1.0 \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

3.7.1 Vérification à L'ELS

Combinaisons de calcul :

ELS :

$$Q_y = G = 0,3624 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = V = 1,2 \text{ KN/ml}$$

Vérification la flèche :

La Vérification la flèche se fait par la condition de la flèche :

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I}$$

- (suivant zz')

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I_y}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{1,2 \times (6)^4}{2,1 \times 459,56} \times 10^2 = 2,1 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm} \dots \dots \text{vérifiée}$$

- (suivant yy')

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I_z}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{0,3624 \times (3)^4}{2,1 \times 51,34} \times 10^2 = 0,35 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ cm} \dots \dots \text{vérifiée}$$

3.7.2 Dimensionnement des liernes :

Calcul des liernes de long pannes :

$$R = 1,25(1,35G) \times \frac{l}{2}$$

G=36,24daN/ml

$$R = 1,25 \times (1,35 \times 36,24) \times \frac{6}{2} = 183,46 \text{ daN}$$

Effort de traction dans le tronçon de lierne L1 provenant de la lisse inferieur :

$$T_1 = \frac{R}{2} = \frac{183,46}{2} = 91,73 \text{ daN}$$

Effort de traction dans le tronçon de lierne L2 :

$$T_2 = R + T_1 = 183,46 + 91,73 = 275,19 \text{ daN}$$

Effort de traction dans le tronçon de lierne L3 :

$$T_3 = R + T_2 = 183,46 + 275,19 = 458,65 \text{ daN}$$

Effort dans les diagonales L4 :

$$2 T_4 \sin \theta = T_3 \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{2 \sin \theta} = \frac{458,65}{2 \sin (9,46)} = 1395,26 \text{ daN}$$

$$\theta = \left(\frac{0,5}{3} \right) = 9,46^\circ$$

CHAPITRE 3

Calcul des lisses de bardages

Calcul de la section des liernes :

Le tronçon le plus sollicité est L4.

$$N_{sd} = T_4 \leq \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{T_4 \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{1395,26 \times 1,1}{2350} = 0,65 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,65}{\pi}} = 0,9$$

Soit une barre ronde de diamètre : $\varphi = 10 \text{ mm}$.

3.5.4 Surcharge climatique due au vent

On calcule les lisses avec la valeur max obtenue lors de l'étude au vent direction V2.

$$V = 0,557 \text{ KN/m}^2$$

$$V = 0,557 \times 1,5 = 0,836 \text{ KN/ml}$$

3.5.5 Combinaisons d'action :

ELU :

$$Q_y = 1,35 G = 1,35 \times 0,33 = 0,4455 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = 1,5 V = 1,5 \times 0,836 = 1,254 \text{ KN/ml}$$

ELS :

$$Q_y = G = 0,33 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = V = 0,836 \text{ KN/ml}$$

3.5.6 Pré dimensionnement

Le pré dimensionnement se fait par la condition de la flèche :

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{V \times (l)^4}{E \times I_z}$$

- Flèche vérification (suivant zz')

Sur deux appuis :

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{V \times (l)^4}{E \times I_z} \leq \frac{l}{200} = \frac{400}{200} = 2 \text{ cm}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384 \times 3} \times \frac{V \times (l)^4}{E} = \frac{5}{384 \times 3} \times \frac{0,836 \times (400)^4 \times 10^{-1}}{2,1 \times 10^5}$$

$$I_y \geq 44,23 \text{ cm}^4$$

On choisit UAP 130

Ses caractéristiques sont :

$$I_y = 107,13 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 21,33 \text{ cm}^4$$

$$A = 10,67 \text{ cm}^2$$

$$H = 8 \text{ cm}$$

$$G = 8.38 \text{ kg/m}$$

CHAPITRE 3

Calcul des lisses de bardages

Le poids propre réel G :

$$G = [(P_{\text{accessoires}} + P_{\text{bardage}}) \times e] + PP_{\text{UPA}}$$

$$G = [(11 + 4) \times 1,5] + 8,38 = 30,88 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0,31 \text{ KN/ml}$$

3.5.7 Dimensionnement des lisses

Les combinaisons de calcul :

$$Q_y = 1,35 G = 1,35 \times 0,31 = 0,4185 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = 1,5 V = 1,5 \times 0,836 = 1,254 \text{ KN/ml}$$

3.5.8 Détermination des sollicitations

$$\text{Sous } \leq \text{Vent} \Rightarrow M_{y\text{sd}} = \frac{Q_{z\text{sd}} \times l^2}{8} = \frac{1,254 \times 4^2}{8} = 2,508 \text{ KN.m}$$

$$\text{Sous } \leq \text{poid propre} \Rightarrow M_{z\text{sd}} = \frac{Q_{y\text{sd}} \times l^2}{8} = \frac{0,4185 \times 4^2}{8} = 0,837 \text{ KN.m}$$

3.5.9 Vérification de la résistance des lisses :

Condition de résistance :

La condition à vérifier est

$$\left(\frac{M_{y\text{sd}}}{M_{\text{ply.rd}}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{z\text{sd}}}{M_{\text{plz.rd}}} \right)^\beta \leq 1.0 \text{ EC 03 Art 5.4.8.1 (11)}$$

On a : UAP 80 \Rightarrow classe 1

$$\alpha = 2, \beta_w = 1 \text{ (pour les section de classe 1 et 2)}$$

$$M_{\text{ply.rd}} = \frac{W_{\text{ply}} \times f_y}{Y_{M0}} = \frac{31,87 \times 23,5 \times 10^{-2}}{1,1} = 6,81 \text{ KN.m}$$

$$M_{\text{plz.rd}} = \frac{W_{\text{plz}} \times f_y}{Y_{M0}} = \frac{13,70 \times 23,5 \times 10^{-2}}{1,1} = 2,93 \text{ KN.m}$$

$$\left(\frac{2,508}{6,81} \right)^2 + \left(\frac{0,837}{2,93} \right)^1 = 0,42 \leq 1.0 \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

3.6.1 Vérification à L'ELS

Combinaisons de calcul

ELS :

$$Q_y = G = 0,31 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = V = 0,836 \text{ KN/ml}$$

3.6.2 Vérification la flèche :

La Vérification la flèche se fait par la condition de la flèche :

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{0.836 \times (4)^4}{2,1 \times 107,13} \times 10^2 = 1,24 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{400}{200} = 2 \text{ cm} \dots\dots \text{vérifiée}$$

● (suivant yy')

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I_z}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{0,31 \times (4)^4}{2,1 \times 21,33} \times 10^2 = 2,31 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{400}{200} = 2 \text{ cm} \dots\dots \text{non vérifiée}$$

Conclusion : La flèche n'est pas Vérifiée, donc on adopte des liernes

3.6.3 Dimensionnement des lisses (avec des liernes) :

Détermination des sollicitations :

$$\text{Sous } \leq \text{Vent} \Rightarrow M_{ysd} = \frac{Q_{zsd} \times l^2}{8} = \frac{1,254 \times 4^2}{8} = 2,508 \text{ KN} \cdot \text{m} \text{ Sous } \leq \text{poid propre} \Rightarrow M_{zsd} = \frac{Q_{ysd} \times (l/2)^2}{8} = \frac{0,4185 \times 2^2}{8}$$

3.6.4 Vérification de la résistance des lisses (avec des liernes):

Condition de résistance :

La condition à vérifier est

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{ply.rd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right)^\beta \leq 1.0 \text{ EC 03 Art 5.4.8.1 (11)}$$

$$\left(\frac{2,508}{6,81} \right)^2 + \left(\frac{0,21}{2,93} \right)^1 = 0,21 \leq 1.0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

4.6.3- Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement est donnée par les formules suivantes :

$$V_{ysd} \leq V_{plysd} \quad V_{plysd} = A_{vy} \times \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{Y_{M0}}$$

$$V_{zsd} \leq V_{plzsd} \quad V_{plzsd} = A_{vz} \times \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{Y_{M0}}$$

$$A_{vy} = 7,20 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} = 4,51 \text{ cm}^2$$

$$V_{zsd} = \frac{1,5 \times Q_{zsd} \times l}{2} = \frac{1,5 \times 0,4185 \times 4}{2} = 1,26 \text{ kN}$$

$$V_{ysd} = 0,625 \times Q_{ysd} \times \left(\frac{l}{2} \right) = 0,625 \times 1,254 \times 2 = 1,57 \text{ kN}$$

$$V_{plysd} = \frac{7,20 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,1} = 88,81 \text{ kN}$$

$$V_{plzsd} = \frac{4,51 \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}} \right)}{1,1} = 55,63 \text{ kN}$$

$$V_{ysd} = 1,57 \text{ kN} \leq V_{plysd} = 88,81 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

$$V_{zsd} = 1,26 \text{ kN} \leq V_{plzsd} = 55,63 \text{ KN} \dots\dots\dots \text{v\u00e9rifi\u00e9e}$$

CHAPITRE 3

Calcul des lisses de bardages

3.6.9 V\u00e9rification au diversement :

Sous le vent de d\u00e9pression :

Calcul de l'\u00e9lancement r\u00e9duit vis-\u00e0-vis de d\u00e9versement $\bar{\lambda}_i$:

$$\bar{\lambda}_i = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5}$$

$$\lambda_i = \frac{\frac{l_z}{i_z}}{(C_1)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{l_z}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0,25}}$$

$$\lambda_i = \frac{\frac{200}{1,41}}{(1,132)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{200}{\frac{1,41}{0,8}} \right)^2 \right]^{0,25}} = 73,11$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\Rightarrow \lambda_1 = 93,9 \beta_w = 1 \text{ (pour les section de classe 1 et 2)}$$

$$\bar{\lambda}_i = \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5} = \left[\frac{73,11}{93,9} \right] (1)^{0,5} = 0,78 \geq 0,4 \text{ Il ya un risque de d\u00e9versement.}$$

Remarque : Pour les Sections en U, quelque soit l'axe de flambement, on choisit la courbe de flambement **C**

A partir de la courbe de flambement **C** $\rightarrow \alpha = 0,49$

x_i : Coefficient de r\u00e9duction en fonction de $\bar{\lambda}_i$

$$x_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha_i (\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + 0,49 (0,78 - 0,2) + 0,78^2 \right] = 0,95$$

$$x_i = \frac{1}{0,95 + \sqrt{0,95^2 - 0,78^2}} = 0,67$$

$$M_{bRd} = x_i \times \beta_w \times \frac{w_{ply} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{bRd} = 0,67 \times 1 \times \frac{31,87 \times 10^{-3} \times 235}{1,1} = 4,56 \text{ KN.m}$$

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{bRd}} \right) + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plz.rd}} \right) \leq 1,0$$

$$\left(\frac{2,508}{4,56}\right) + \left(\frac{0,837}{2,93}\right) = 0,84 \leq 1,0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

CHAPITRE 3

Calcul des lisses de bardages

3.7.1 Vérification à L'ELS

Combinaisons de calcul :

ELS :

$$Q_y = G = 0,31 \text{ KN/ml}$$

$$Q_z = V = 0,836 \text{ KN/ml}$$

Vérification la flèche :

La Vérification la flèche se fait par la condition de la flèche :

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I}$$

- (suivant zz')

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I_y}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{0,836 \times (4)^4}{2,1 \times 107,13} \times 10^2 = 1,24 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{400}{200} = 2 \text{ cm} \dots\dots \text{vérifiée}$$

- (suivant yy')

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{Q_s \times (l)^4}{E \times I_z}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{0,31 \times (2)^4}{2,1 \times 21,33} \times 10^2 = 0,15 \text{ cm} \leq \frac{l}{200} = \frac{200}{200} = 1 \text{ cm} \dots\dots \text{vérifiée}$$

3.7.2 Dimensionnement des liernes :

Calcul des liernes de pignon :

$$R = 1,25(1,35G) \times \frac{l}{2}$$

$G = 31 \text{ daN/ml}$

$$R = 1,25 \times (1,35 \times 31) \times \frac{4}{2} = 104,62 \text{ daN}$$

Effort de traction dans le tronçon de lierne L₁ provenant de la lisse inférieur :

$$T_1 = \frac{R}{2} = \frac{104,62}{2} = 52,31 \text{ daN}$$

Effort de traction dans le tronçon de lierne L₂ :

$$T_2 = R + T_1 = 104,62 + 52,31 = 156,93 \text{ daN}$$

Effort de traction dans le tronçon de lierne L₃ :

$$T_3 = R + T_2 = 104,62 + 156,93 = 261,5 \text{ daN}$$

Effort dans les diagonales L₄ :

$$2T_4 \sin \theta = T_3 \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{2 \sin \theta} = \frac{261,5}{2 \sin(21,8)} = 352,07 \text{ daN}$$

$$\theta = \left(\frac{0,8}{2} \right) = 21,8^\circ$$

CHAPITRE 3

Calcul des lisses de bardages

3.8.6 Calcul de la section des liernes :

Le tronçon le plus sollicité est L4.

$$N_{sd} = T_4 \leq \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{T_4 \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{352,07 \times 1,1}{2350} = 0,16 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,16}{\pi}} = 0,45 \text{ cm}$$

Soit une barre ronde de diamètre : $\varphi = 10 \text{ mm}$.

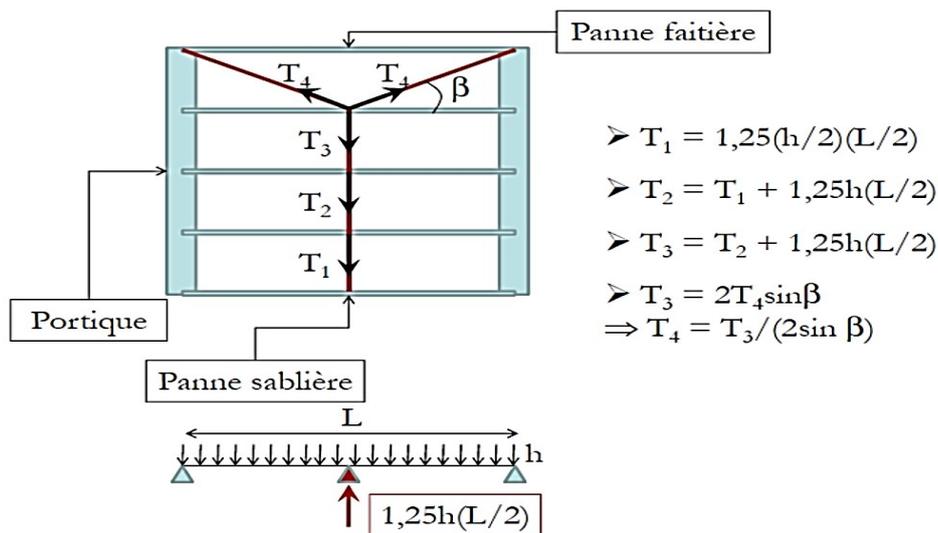


Figure 4.2 représentation des efforts

3.9.2 Introduction :

Les potelets sont des éléments en profilé laminé, qui ont pour rôle de transmettre les différents efforts horizontaux à la poutre au vent et les efforts verticaux vers le sol. Sous l’action du vent, le potelet travaille à la flexion composée. En effet, la flexion est provoquée par les efforts dus au vent transmis par les bardages et les lisses. Cette flexion peut aussi bien se produire soit vers l’intérieur de la construction sous l’effet des surpressions, soit vers l’extérieur de la construction sous l’effet des dépressions. Quant à la compression, celle-ci est due à son poids propre, au poids du bardage et à celui des lisses qui lui sont attachées.

Par conséquent le potelet risque de :

- Subir une flèche importante sous les pressions due au vent
- Flamber lorsqu’il est très élancé
- Déverser sous les dépressions dus au vent.

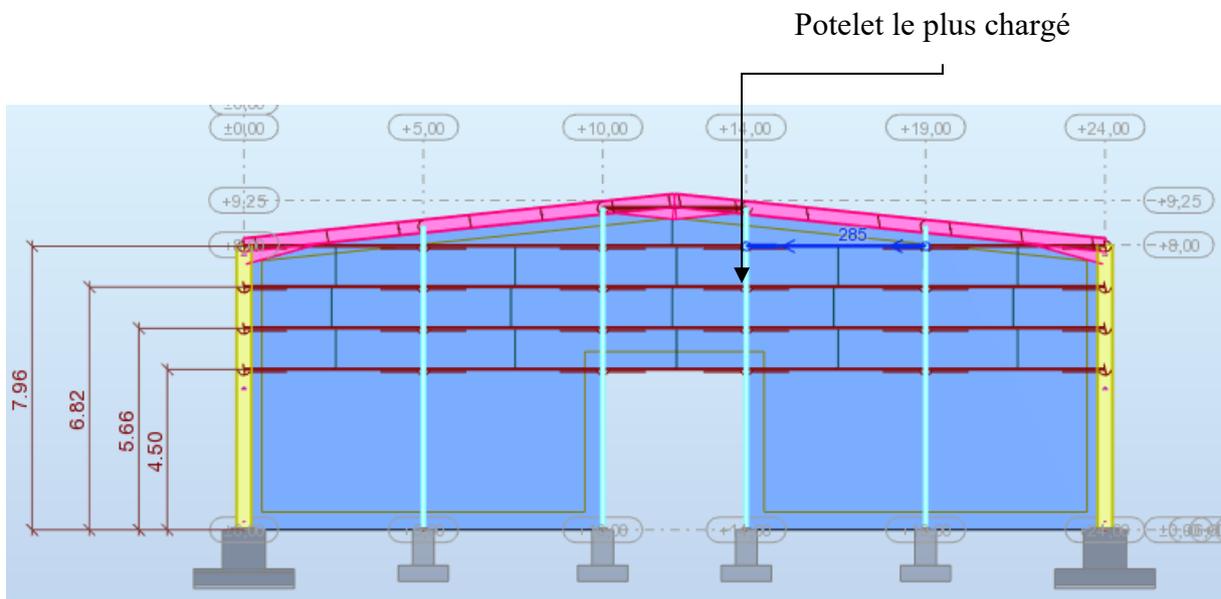


Figure5.1 : Schéma statique du potelet

3.9.3 Charges permanentes G :(verticale concentrée)

- Bardage (TN40)12daN/m²
- Poids propre de la lisse (UAP130).....13,1daN/ml
- Accessoires de pose5daN/m²

La longueur de la lisse et de : L = 6,00m,et le nombre des lisses supporter par le potelet N =4 lisses.

La surface tributaire revenant au potelet le plus chargé :S=5 × 9,04=39,2 m² L’entraxe des potelets: e=5 m et 4m

$$G = (Plisse \times L_{lisse} \times N_{lisse}) + (P_{bardage} + P_{lisses} + P_{accessoires}) \times S$$

$$G = (13.4 \times 6 \times 4) + (12 + 5) \times (6 \times 9,04)$$

$$G = (13.4 \times 6 \times 4) + (12 + 5) \times (6 \times 9,04) = 1243,68 \text{ daN}$$

3.9.4 Surcharge climatique V (vent) :

$$\text{Vent} \dots \dots \dots V = 93,167 \text{ daN/m}^2$$

$$V = 93,167 \times 4 = 372.668 \text{ daN/ml}$$

3.9.5 Dimensionnement du potelet :

Sous la condition de flèche :

$L = 9,04\text{m}$: longueur du Potelet le plus chargé

$$f \leq f_{ad} \text{ avec } f_{ad} = \frac{l}{200} = \frac{904}{200} = 4,52 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{V \times (l)^4}{E \times I_z}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384 \times 4.52} \times \frac{V \times (l)^4}{E} = \frac{5}{384 \times 4,52} \times \frac{372.668 \times (904)^4 \times 10^{-2}}{2,1 \times 10^6} = 3414,10 \text{ cm}^4$$

Soit un **IPE240**

$$I_y = 3892 \text{ cm}^4 \quad W_{ply} = 367 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 284 \text{ cm}^4 \quad W_{plz} = 73.9 \text{ cm}^3$$

$$A = 39.1 \text{ cm}^2 \quad W_{ely} = 324 \text{ cm}^3$$

$$H = 24 \text{ cm} \quad W_{elz} = 37.24 \text{ cm}^3$$

$$G = 30,7 \text{ kg/m}$$

3.9.6 Vérification de la section à la résistance :

Sous la flexion :

$M_{c.Rd}$: Ou est le moment résistant qui dépend de la classe de la section.

$$M_{y.sd} \leq M_{c.Rd}$$

$$M_{c.Rd} = M_{ply.rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{367 \times 23,5}{1,1} = 7840,45 \text{ daN} \cdot \text{m} = 78,40 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_{z.sd} = 1,5 V = 1,5 \times 372.668 = 559,002 \text{ daN/m}$$

$$M_{y.sd} = \frac{Q_{z.sd} \times l^2}{8} = \frac{559,002 \times 9,04^2}{8} = 5710,31 \text{ daN} \cdot \text{m} = 57,1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y.sd} = 57,1 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq M_{c.Rd} = 78,40 \text{ kN} \cdot \text{m} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Sous l'effort normal :

si $N_{sd} \leq \min \{ 0,25 N_{pl.Rd}, (0,5 A_w f_y / \gamma_{M0}) \}$ Il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

$$N_{sd} = 1,35 G = 1,35 \times 1243,68 = 1678,96 \text{ daN}$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{39,1 \times 2750}{1,1} = 97750 \text{ daN}$$

$$0,25 N_{pl.Rd} = 0,25 \times 97750 = 24437,5 \text{ daN}$$

$$A_w = A - 2 b t_f = 39,1 - (2 \times 12 \times 0,98) = 15,58 \text{ cm}$$

$$\frac{0,5 A_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 13.16 \times 2750}{1,1} = 19475 \text{ daN}$$

$$N_{sd} \leq \min \{ 24437,5 \text{ daN}, 19475 \text{ daN} \}$$

$$N_{sd} = 1678,96 \text{ daN} \leq 19475 \text{ daN} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Donc pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

3.9.7 Vérification de l'élément aux instabilités :

Le potelet est sollicité à la flexion (due au vent) et à la compression (due à son poids propre, Aux poids des bacs de bardage et des lisses) .En aucun cas, il ne supporte la toiture (il est assujéti au portique par appui glissant).il travaille la flexion composée.

La vérification aux instabilités est donnée par la formule suivante :

Flexion composée avec risque de déversement :

$$\frac{N_{sd}}{x_z N_{pl.Rd}} + \frac{K_i M_{y.sd}}{x_i M_{ply.rd}} \leq 1,0$$

Calcul du coefficient de réduction minimal pour le flambement x_{min} :

$$x_{min} = \min(x_y, x_z)$$

Flambement par rapport a' l'axe fort **y-y** (dans le plan du portique) :

α : facteur d'imperfection correspondant à la courbe de flambement appropriée, donne par le Tableau 5.5.1 de l'Euro code 3.

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{904}{9,97} = 90,67$$

$\beta_A = 1$ pour les sections de class 1,2 et 3

$$\lambda_1 = \pi \left[\frac{E}{f_y} \right]^{0,5} = \pi \left[\frac{2,1 \times 10^4}{23,5} \right]^{0,5} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} (\beta_A)^{0,5} = \frac{90,67}{93,9} (1)^{0,5} = 0,96$$

Courbe de flambement : (voire tableau 1)

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 > 1,2$$

Axe de flambement **y-y** → courbe de flambement a ; $\alpha=0,21$ (tableau 3).

$$\begin{aligned} \phi_y &= 0,5 \left[1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] \\ \phi_y &= 0,5 \left[1 + 0,21(0,96 - 0,2) + 0,96^2 \right] = 1,04 \end{aligned}$$

$$x_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

$$x_y = \frac{1}{1,04 + \sqrt{1,04^2 - 0,96^2}} = 0,86$$

Flambement par rapport a' l'axe fort **z-z** (hors du plan du portique) :

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{115}{2,69} = 42,75$$

$\beta_A = 1$ pour les sections de class 1,2 et 3

$$\lambda_1 = \pi \left[\frac{E}{f_y} \right]^{0,5} = \pi \left[\frac{2,1 \times 10^4}{23,5} \right]^{0,5} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} (\beta_A)^{0,5} = \frac{42,75}{93,9} (1)^{0,5} = 0,45$$

Courbe de flambement : (voire tableau 1)

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2 > 1,2$$

Axe de flambement **z-z** → courbe de flambement b ; $\alpha=0,34$ (tableau 3).

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + \alpha_z (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right]$$

$$\phi_z = 0,5 \left[1 + 0,34 (0,45 - 0,2) + 0,45^2 \right] = 0,643$$

$$x_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}}$$

$$x_z = \frac{1}{0,643 + \sqrt{0,643^2 - 0,45^2}} = 0,90$$

$$x_{min} = \min(x_y, x_z) = \min(0,86, 0,90)$$

$$x_{min} = 0,86$$

Calcul de l'élanement réduit vis-à-vis de déversement $\bar{\lambda}_i$:

$$\bar{\lambda}_i = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5}$$

$$\lambda_i = \frac{\frac{l_z}{i_z}}{(C_1)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\frac{l_z}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0,25}}$$

$$\lambda_i = \frac{\frac{115}{2,69}}{(1,132)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\frac{115}{2,69}}{\frac{22}{0,92}} \right)^2 \right]^{0,25}} = 53,03 \Rightarrow \text{avec } \lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_i = \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5} = \left[\frac{53,03}{93,9} \right] (1)^{0,5} = 0,56 \geq 0,4 \text{ Il ya un risque de déversement.}$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + \alpha_i (\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$$

$$\phi_i = 0,5 \left[1 + 0,21 (0,56 - 0,2) + 0,56^2 \right] = 0,69 \leq 1,0$$

$$x_i = \frac{1}{\phi_i + \sqrt{\phi_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$$

$$x_i = \frac{1}{0,69 + \sqrt{0,69^2 - 0,56^2}} = 0,91 < 1$$

Calcul de coefficient k :

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{ply} - W_{ely}}{W_{ely}}$$

$$\mu_y = 1,14 (2 \times 1,3 - 4) + \frac{285,4 - 252}{252} = -1,46$$

Avec $\mu_y = -1,46 \leq 0,9$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{sd}}{x_y \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{-1,46 \times 1143,50}{0,57 \times 33,4 \times 2350} = 1,03$$

Avec $k_y = 1,03 \leq 1,5$

β_{My} : est un facteur de moment uniforme équivalent pour le flambement.
Poutre simplement appuyée avec une charge uniformément répartie :

$$\beta_{My}=1,3$$

$$\mu_c = 0,15 \bar{\lambda}_z \beta_{MLT} - 0,15 = 0,15 \times 0,64 \times 1,3 - 0,15 = -0,025 < 0,9$$

$$k_c = 1 - \frac{\mu_c \cdot N_{sd}}{x_z \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{-0,025 \times 1143,50}{0,83 \times 33,4 \times 2350} = 1$$

β_{MLT} : est un facteur de moment uniforme équivalent pour le déversement.

Poutre simplement appuyée avec une charge uniformément répartie :

$$\beta_{MLT}=1,3 \text{ (Tableau4)}$$

$$N_{sd} = 1143,50 \text{ daN}$$

$$M_{y.sd} = \frac{1,5 V \times l^2}{8} = \frac{1,5 \times 222,64 \times 9,8^2}{8} = 4009,18 \text{ daN} \cdot m = 40,09 \text{ kN} \cdot m$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33,4 \times 2350}{1,1} = 71354,54 \text{ daN}$$

$$M_{ply.rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{285,4 \times 23,5}{1,1} = 6097,18 \text{ daN} \cdot m = 60,97 \text{ kN} \cdot m$$

Vérification au flambement :

$$\frac{N_{sd}}{x_{min} N_{pl.Rd}} + \frac{K_y M_{y.sd}}{M_{ply.rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1143,50}{0,57 \times 71354,54} + \frac{1,03 \times 4009,18}{6097,18} = 0,70 \leq 1,0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Vérification au déversement :

$$\frac{N_{sd}}{x_z N_{pl.Rd}} + \frac{K_c M_{y.sd}}{x_c M_{ply.rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{1143,50}{0,83 \times 71354,54} + \frac{1 \times 4509,07}{0,91 \times 6097,18} = 0,74 \leq 1,0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

3.9.8 Conclusion :

⇒ L’IPE240 convient comme potelet.

Chapitre4 : Etude sismique

Chapitre4 : Etude sismique

4.1 Introduction :

Le but du calcul parasismique est d'estimer les valeurs caractéristiques les plus défavorables de la réponse sismique et de déterminer ou de dimensionner les éléments de résistance à fin de garantir la sécurité des occupants et d'assurer la pérennité de l'ensemble de l'ouvrage.

Dans notre étude on a notre ouvrage est régulier en plan et en élévation donc on applique la méthode statique équivalente conformément aux règles parasismiques RPA99 (corrigé 2003).

4.2 Principe de calcul :

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique. Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal. Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques.

Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux des plans horizontaux de la structure.

4.3 Calcul l'effort sismique dans la structure I :

4.3.1- Effort sismique à la base de la structure :

La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

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

Avec:

A: coefficient d'accélération de zone (tableau 4.1).

R: coefficient de comportement de la structure (tableau 4.3).

Q: facteur de qualité (tableau 4.4).

D : facteur d'amplification dynamique moyen.

A: Donné par le tableau (4.1) suivant la zone sismique et le groupe d'usage de bâtiment.

W : poids total de la structure

7.3.2- Détermination les coefficients de la force sismique totale :

a) Coefficient d'accélération de zone :A

Notre structure se situe en zone sismique (II) ; groupe d'usage de bâtiment (groupe 2) ; sol Meuble (S3).

Donc : $A = 0.15$

b) Coefficient d'amplification dynamique moyen : D

D : Fonction de la catégorie de site, le facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T)

$$D = \left\{ \begin{array}{l} 2.5\eta \text{ si } 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \text{ si } T_2 \leq T \leq 0.3S \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{5}{3}} \text{ si } T \geq 0.3S \end{array} \right.$$

η : Facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5%).

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0.7$$

ξ : Pourcentage d'amortissement de la structure (tableau 4.2).

$$\xi = 4\% \quad \Rightarrow \quad \eta = \sqrt{\frac{7}{2+4}} = 1.08.$$

T_1, T_2 : Périodes caractéristique associées à la catégorie de site.

$$\text{Site meuble } S_3 \Rightarrow T_2 = 0.5 \text{ sec}, T_1 = 0.15 \text{ sec}$$

Groupe d'usage 2, zone sismique II $\Rightarrow A = 0.15$

- Estimation de la période fondamentale T de la structure :

La valeur de la période fondamentale T de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou .

$$\text{On a } T = C_t (h_n)^{\frac{3}{4}}$$

- h_N : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N) ;
 $h_n = 9,25 \text{ m}$

- C_T : Coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau (4.6) Portique auto stable en acier sans remplissage en maçonnerie : $C_T = 0.05$

$$T = 0,05 \times (9,25)^{\frac{3}{4}} = 0,28 \text{ sec}$$

$$T = 0.280 \leq T \leq T_2 \Rightarrow D = 2.5\eta$$

$$D = 2.5\eta = 2.5 \times 1.08 = 2.7.$$

b) Coefficient R :

R : Fonction du système de contreventement sa valeur unique est donnée par le tableau (4.3)

Sens transversal : $R_x = 4$: Portiques auto stables ordinaires

Sens longitudinal : $R_y = 3$: ossature contreventée par des palées triangulées en V.

c) Coefficient Q :

Q : Facteur de qualité

Le facteur de qualité de la structure est fonction de:

- . La redondance et de la géométrie des structures qui la constituent.
- . La régularité en plan et en élévation.
- . La qualité du contrôle de la structure.

La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum_1^6 P_q$ (RPA, 4.4)

P_q La pénalité à retenue selon que le critère de qualité q "est satisfait ou non", sa valeur est donné au tableau (4.4)

Tableau 3.1 : critère q

Critère q	Observé	p_q
1-conditions minimal sur la file de contreventements	Oui	0
2-redondance en plan	Non	0.05
3-régularité en plan	Oui	0
4-régularité en élévation	Non	0.05
5-contrôle de qualité de matériaux	Oui	0
6-contrôle de la qualité de l'exécution	Oui	0

$$Q = 1 + 0.1 = 1.1$$

4.3.3 Poids total de la structure (W) :

W: Est égal à la somme des poids à chaque niveau

$$W = \sum_0^1 W_i \text{ avec } W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

- W_{Gi} : Poids due aux charges permanentes celle des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure.

- W_{Qi} : Charges d'exploitations

- β : Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation (donnée par le tableau 4-5 RPA).

=> $\beta = 0.5$; (Cas 4 : entrepôts, hangars)

Poids des éléments:

Tableau 3.2: Poids des éléments

Profilé	Type	Poids unitaire en kg/m	Poids total kg
Poteaux	IPE450	77,60	5303
Potelets	IPE240	30,70	1993,82
Traverses	IPE400	66,30	5895
Poutres sablières	HEA140	24,70	1194
Diagonales de contreventement horizontales	Cornières L70X70X7	7,31	440,53
Diagonales de contreventement Vertical	Cornières L50X50X5	3,73	440,53
Lisses	UAP 130	15,41	1341
Pannes	IPE 140	12,90	4644
Bardage	TN40+Accessoires 11daN/m2 + 4daN/m2	15	11850
Couverture	TN40+Accessoires 11daN/m2 + 4daN/m2	15	9015

Poids du aux charges permanentes : $W_{Gi} = 42685,77 \text{ dan}$

La charge d'exploitation :

$W_{Qi} = 200 \text{ dan}$

Cumul des poids :

$$W = W_{Gi} + 0.5 W_{Qi}$$

$$W = 42685,77 + 0.5(200) = 42785,77 \text{ (dan)}$$

$$\text{Sens longitudinale : } V_y = \frac{0.15 \times 2.7 \times 1.1}{3} \times 42785,77 = 6353,69 \text{ dan}$$

$$\text{Sens transversal : } V_x = \frac{0.15 \times 2.7 \times 1.1}{4} \times 42785,77 = 4765,27 \text{ dan}$$

4.3.4 Distribution de la résultante des forces sismiques selon la hauteur :

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes

$$V = F_t + \sum_1^2 F_i$$

Avec $F_t = 0.7 \times T \times V$ ou $T < 0.7 \text{ sec} \Rightarrow F_t = 0$

$$F_i = \frac{(V - F_t) W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

F_i : Effort horizontal revenant au niveau i ;

h_i : niveau ou s'exerce la force

niveau	$w_i (t)$	$h_i (m)$	$w_i \cdot h_i$	$V_y (t)$	$V_x (t)$
1	42,78577	8	385,07	6,35	4,76

4.3.4.1- Sens longitudinal :

$$F_y = \frac{V_y \cdot (W \cdot h)}{W \cdot h} = 6,35 t$$

4.3.4.2- Sens transversal :

$$F_x = \frac{V_x \cdot (W \cdot h)}{W \cdot h} = 4,76 t$$

Les sollicitations dues au vent plus défavorable (sens V1 pignon) :

$$V_{\text{vent}} = 333.25 \text{ N/m}^2 = 33.325 \text{ daN/m}^2 \dots\dots\dots (\text{chapitre 02})$$

$$V_{\text{vent}} = 333.25 \times \text{Stoiture}$$

$$V_{\text{vent}} = 333.25 \times 601$$

$$V_{\text{vent}} = 200283.25 \text{ N} = 200.283 \text{ kN}$$

$$V_{\text{vent}} > V_x$$

$$V_{\text{vent}} > V_y$$

4.4 -conclusion :

Les sollicitations dues au vent sont plus importantes que celles dues au séisme, ainsi nous retiendrons uniquement l'action du vent pour le dimensionnement des portiques et du contreventement de l'ouvrage.

CHAPITRE 5

Calcul de portique

Chapitre5 : Calcul de portique

5.1- Calcul de portique

Le calcul est effectué par le logiciel ROBOT millenium, les notes de calcul sont données par famille on s'intéressant, pour chaque famille, à l'élément le plus sollicité.

Nous avons exposé dans ce chapitre, ce que nous avons jugé le plus important

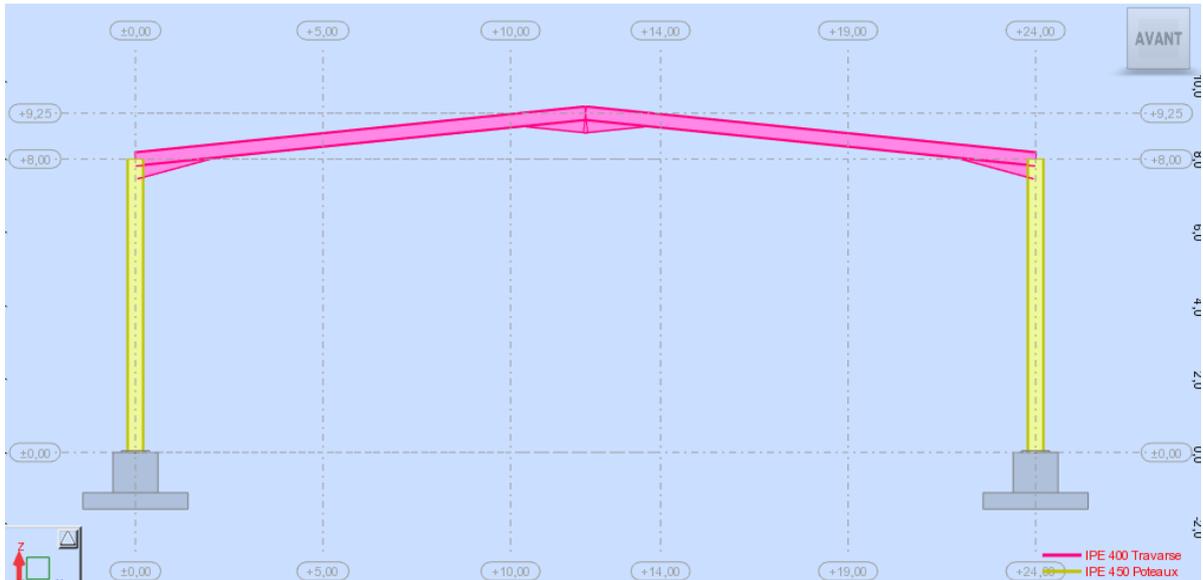


Figure5.1 : Vue de portique

5.2- Caractéristiques des barres :

Tableau5.1 : Caractéristiques des barres

	Nom de la section	A_y [cm ²]	I_x [Cm ⁴]	I_y [Cm ⁴]	I_z [Cm ⁴]
Poteaux	IPE450	72,73	36,20	16265,60	1043,45
Traverses	IPE400	72,73	36,20	16265,60	1043,45

5.3- Caractéristiques des Matériaux :

Tableau5.2 : Caractéristiques d'acier

	Matériaux	E [MPa]		G [MPa]	ν	L_x [1/°C]	ρ [daN/m ³]	Re [MPa]
1	Acier E28	210000,00		80800,00	0,3	0,0	7701,0	235,0

Tableau5.3: Coordonner des nœuds dans le portique

Nœud	X [m]	Z [m]	Code de l'appui	Appui
1	0,0	0,0	bbb	Encastrement
2	20,0	0,0	bbb	Encastrement
3	0,0	9,0	/	/
4	20,0	9,0	/	/
5	10,0	10,0	/	/

5.4- Donnée des barres :

Tableau5.4 :coordonné d es barres dans le portique

Barre	Nœud 1	Nœud 2	Section	Matériau	Gamma (DEG)	Type de barre	élément de construction
4	1	3	IPE 450	ACIER E24	0,0	poteau	Barre
3	2	4	IPE 450	ACIER E24	0,0	poteau	Barre
22	3	5	IPE 400	ACIER E24	0,0	poutre	Barre
21	6	38	IPE 400	ACIER E24	0,0	poutre	Barre

5.5- Charges sur le portique :

charge permanent :

Tableau5.5 : les charges permanentes dans portique 1

	Profile	Type	Poid unitaire	Poid total
Sur traverse	Couverture (Tole nervure)	TN40+accessoire	16 dan/m ²	90 dan/m
	Panne	IPE140	12.9 dan/m	77,4 dan/m
Sur le poteau	Lisse	UAP 130	13.74 dan/m	54,96dan
	Sablière	HEA 140	19,9 dan/m	19,9 dan/m
	Bardage	TN40+accessoire	15 dan/m ²	90 dan/m

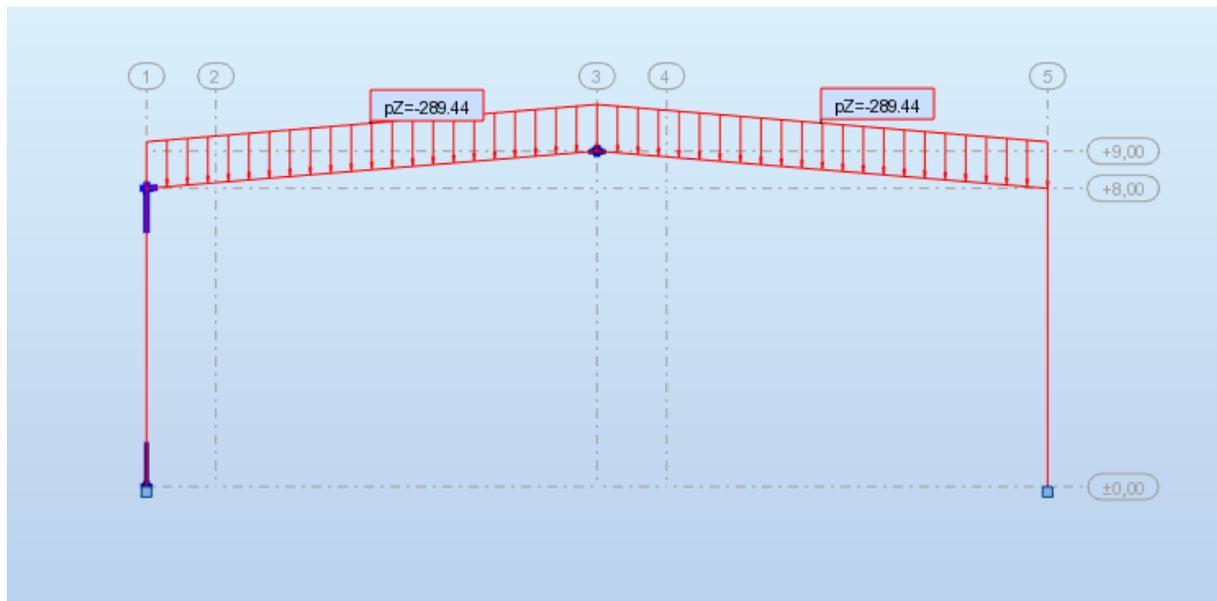


Figure 5.2 : Présentation de la charge permanente

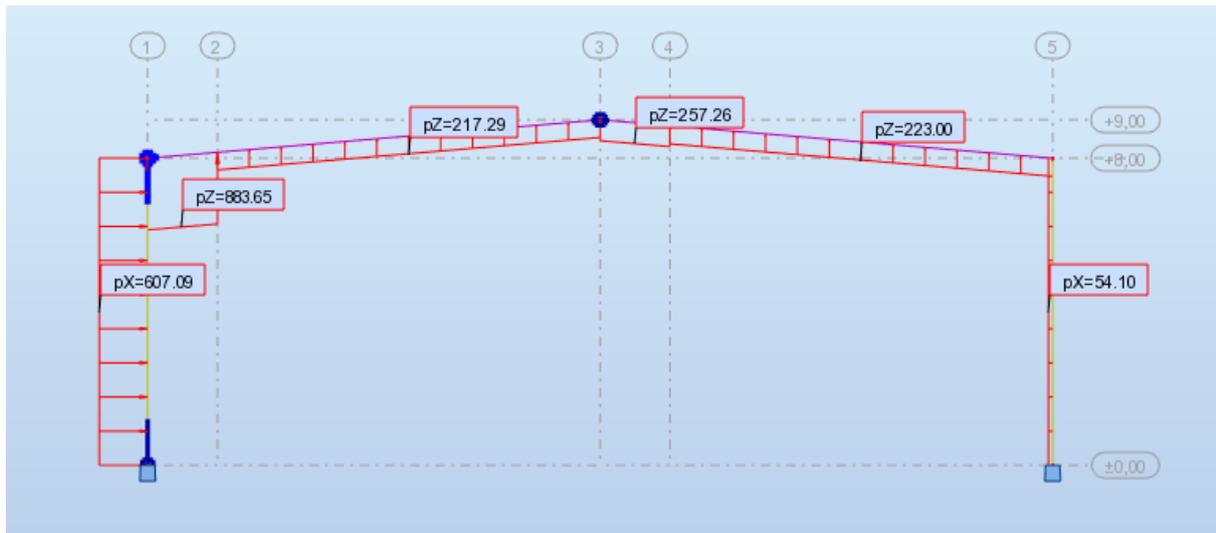


Figure 5.3 : Présentation de la charge du vent

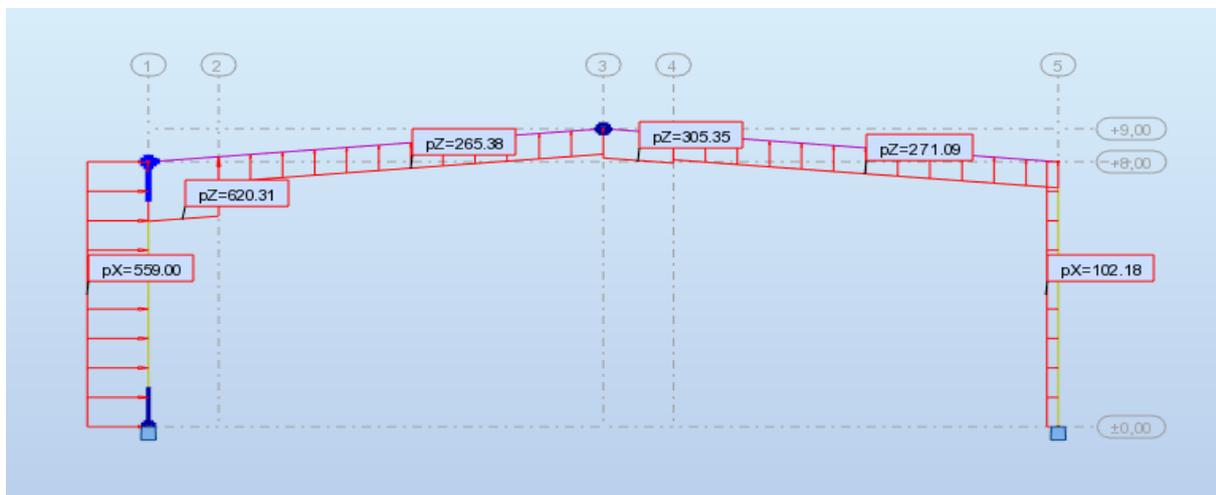


Figure 5.4 : Présentation de la charge de neige

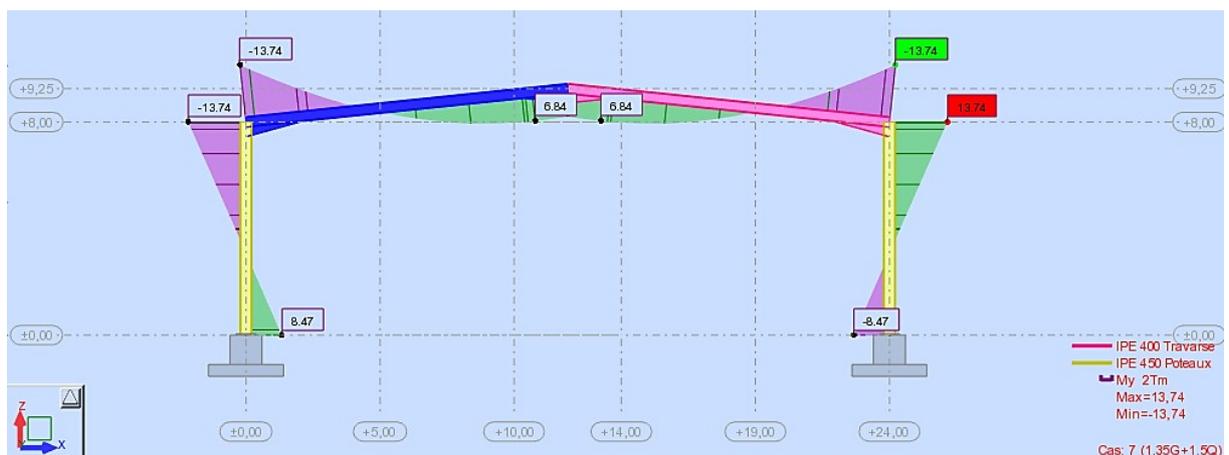


Figure 5.5 : présentation du Moment max et min

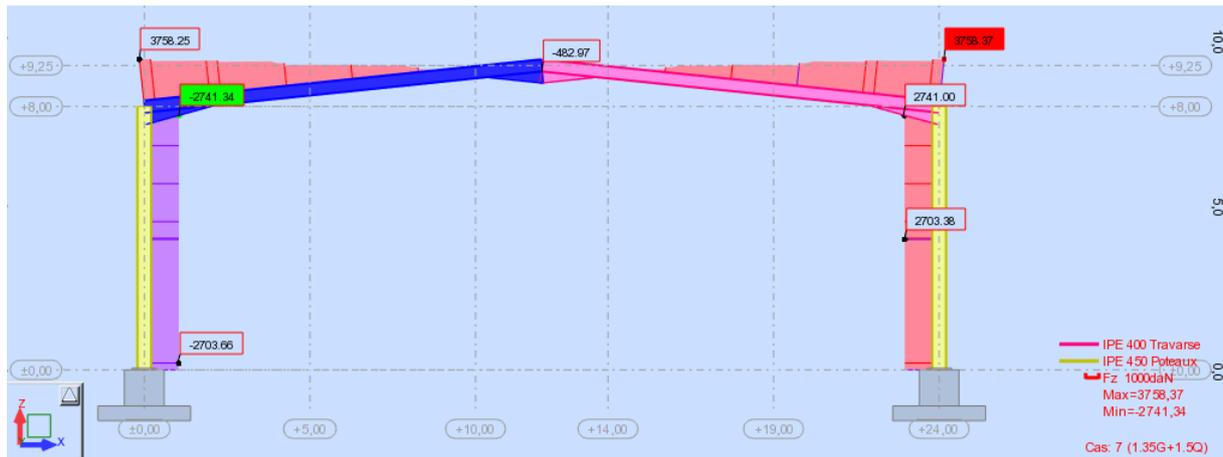


Figure 7.6 : présentation de l'effort tranchant Fz

5.6- Efforts extrêmes globaux :

Tableau 7.6 : Les efforts défavorables dans le portique

	Fx [dan]	FZ [dan]	MY [dan.m]
MAX	6697,34	5706,55	16121,45
Barre	6	4	6
Nœud	2	4	4
Cas	9 (C)	9 (C)	9(C)
MIN	2804,25	-5706,55	-16121,45
Barre	3	3	4
Nœud	5	3	4
Cas	9 (C)	9 (C)	9 (C)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 19 Traverse IPE400_19

POINT: 1

COORDONNEE: x = 0.99 L = 11.92 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 15 1.35G+1.5Q+1.30S 1*1.35+2*1.50+3*1.30

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 400 Travarse

h=71.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=18.0 cm	Ay=48.60 cm ²	Az=41.68 cm ²	Ax=135.07 cm ²
tw=0.9 cm	Iy=86811.30 cm ⁴	Iz=1975.54 cm ⁴	Ix=71.76 cm ⁴
tf=1.4 cm	Wply=2745.95 cm ³	Wplz=231.50 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = -2.41 T	My,Ed = 0.55 T*m	Mz,Ed = 1.72 T*m	Vy,Ed = 0.00 T
Nt,Rd = 281.13 T	My,pl,Rd = 77.00 T*m	Mz,pl,Rd = 6.49 T*m	Vy,T,Rd = 67.20 T
	My,c,Rd = 77.00 T*m	Mz,c,Rd = 6.49 T*m	Vz,Ed = 0.30 T
	MN,y,Rd = 77.00 T*m	MN,z,Rd = 6.49 T*m	Vz,T,Rd = 61.39 T
			Tt,Ed = 0.18 T*m
			Classe de la section = 1

PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.3.(1))
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.27 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)

$\tau_{y,Ed}/(\tau_{fy}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.34 < 1.00$ (6.2.6)

$\tau_{z,Ed}/(\tau_{fy}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.22 < 1.00$ (6.2.6)

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL):

$u_y = 0.4 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 6.0 \text{ cm}$ Vérfié

Cas de charge décisif: 45 G+W2+0.9S (1+5)*1.00+3*0.90

$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 6.0 \text{ cm}$ Vérfié

Cas de charge décisif: 42 G+W1 (1+4)*1.00



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 20 Traverse IPE400_20

POINT: 1

COORDONNEE: x = 0.99 L = 11.92 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 15 1.35G+1.5Q+1.30S 1*1.35+2*1.50+3*1.30

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 400 Traverse

h=71.9 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=18.0 cm	Ay=48.60 cm ²	Az=41.68 cm ²	Ax=135.07 cm ²
tw=0.9 cm	Iy=86811.30 cm ⁴	Iz=1975.54 cm ⁴	Ix=71.76 cm ⁴
tf=1.4 cm	Wply=2745.95 cm ³	Wplz=231.50 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = -2.41 T	My,Ed = 0.55 T*m	Mz,Ed = -1.72 T*m	Vy,Ed = 0.00 T
Nt,Rd = 281.13 T	My,pl,Rd = 77.00 T*m	Mz,pl,Rd = 6.49 T*m	Vy,T,Rd = 67.20 T
	My,c,Rd = 77.00 T*m	Mz,c,Rd = 6.49 T*m	Vz,Ed = 0.30 T
	MN,y,Rd = 77.00 T*m	MN,z,Rd = 6.49 T*m	Vz,T,Rd = 61.39 T
			Tt,Ed = -0.18 T*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N,Ed/Nt,Rd = 0.01 < 1.00$ (6.2.3.(1))
 $(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.27 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.00 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $Tau,ty,Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.34 < 1.00$ (6.2.6)
 $Tau,tz,Ed/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.22 < 1.00$ (6.2.6)

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL):

uy = 0.4 cm < uy max = L/200.00 = 6.0 cm Vérfié

Cas de charge décisif: 45 G+W2+0.9S (1+5)*1.00+3*0.90

uz = 0.1 cm < uz max = L/200.00 = 6.0 cm Vérfié

Cas de charge décisif: 42 G+W1 (1+4)*1.00



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 1 Poteau_1

POINT: 3

COORDONNEE: x = 1.00 L = 8.00 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 19 1.35G+1.5Q+1.5W2+1.3S 1*1.35+(2+5)*1.50+3*1.30

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 450 Poteaux

h=45.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=19.0 cm	Ay=63.21 cm ²	Az=50.84 cm ²	Ax=98.82 cm ²
tw=0.9 cm	Iy=33742.90 cm ⁴	Iz=1675.86 cm ⁴	Ix=67.18 cm ⁴
tf=1.5 cm	Wply=1701.79 cm ³	Wplz=276.38 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 0.28 T	My,Ed = 0.04 T*m	Mz,Ed = 0.04 T*m	Vy,Ed = -2.03 T
Nc,Rd = 277.11 T	My,Ed,max = 0.63 T*m	Mz,Ed,max = -0.62 T*m	Vy,T,Rd = 94.86 T
Nb,Rd = 145.22 T	My,c,Rd = 47.72 T*m	Mz,c,Rd = 7.75 T*m	Vz,Ed = 0.77 T
	MN,y,Rd = 47.72 T*m	MN,z,Rd = 7.75 T*m	Vz,T,Rd = 78.49 T
			Tt,Ed = -0.13 T*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 8.00 m	Lam_y = 0.93
Lcr,y = 14.95 m	Xy = 0.71
Lamy = 80.90	kzy = 0.42



en z:

Lz = 8.00 m	Lam_z = 1.12
Lcr,z = 4.00 m	Xz = 0.52
Lamz = 97.13	kzz = 0.78

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(fy/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.18 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(fy/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.11 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$\lambda_{y} = 80.90 < \lambda_{y,max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 97.13 < \lambda_{z,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N,Ed/(Xy * N,Rk/gM1) + k_{yy} * My,Ed,max/(XLT * My,Rk/gM1) + k_{yz} * Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.06 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N,Ed/(Xz * N,Rk/gM1) + k_{zy} * My,Ed,max/(XLT * My,Rk/gM1) + k_{zz} * Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.07 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

$v_x = 0.8 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/150.00 = 5.3 \text{ cm}$ Vérfié

Cas de charge décisif: 42 G+W1 (1+4)*1.00

$v_y = 0.2 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/150.00 = 5.3 \text{ cm}$ Vérfié

Cas de charge décisif: 43 G+W2 (1+5)*1.00

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 2 Poteau IPE450_2

POINT: 3

COORDONNEE: x = 1.00 L = 8.00 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 19 1.35G+1.5Q+1.5W2+1.3S 1*1.35+(2+5)*1.50+3*1.30

MATERIAU:

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 450 Poteaux

h=45.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=19.0 cm	Ay=63.21 cm ²	Az=50.84 cm ²	Ax=98.82 cm ²
tw=0.9 cm	Iy=33742.90 cm ⁴	Iz=1675.86 cm ⁴	Ix=67.18 cm ⁴
tf=1.5 cm	Wply=1701.79 cm ³	Wplz=276.38 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{,Ed} = 0.28 T	M _{y,Ed} = -0.03 T*m	M _{z,Ed} = 0.04 T*m	V _{y,Ed} = -2.03 T
N _{c,Rd} = 277.11 T	M _{y,Ed,max} = -0.63 T*m	M _{z,Ed,max} = -0.62 T*m	V _{y,T,Rd} = 94.66 T
N _{b,Rd} = 145.22 T	M _{y,c,Rd} = 47.72 T*m	M _{z,c,Rd} = 7.75 T*m	V _{z,Ed} = -0.77 T
	MN _{y,Rd} = 47.72 T*m	MN _{z,Rd} = 7.75 T*m	V _{z,T,Rd} = 78.40 T
			T _{t,Ed} = 0.13 T*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

L _y = 8.00 m	Lam _y = 0.93
L _{cr,y} = 14.95 m	X _y = 0.71
Lam _y = 80.90	k _{zy} = 0.42



en z:

L _z = 8.00 m	Lam _z = 1.12
L _{cr,z} = 4.00 m	X _z = 0.52
Lam _z = 97.13	k _{zz} = 0.78

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

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

$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))

$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.02 < 1.00$ (6.2.6-7)

$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.6-7)

$\tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.18 < 1.00$ (6.2.6)

$\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.12 < 1.00$ (6.2.6)

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{y} = 80.90 < \lambda_{max} = 210.00$ $\lambda_{z} = 97.13 < \lambda_{max} = 210.00$ STABLE

$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.06 < 1.00$ (6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.07 < 1.00$ (6.3.3.(4))

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

$v_x = 0.8 \text{ cm} < v_{x,max} = L/150.00 = 5.3 \text{ cm}$

Vérfié

Cas de charge décisif: 42 G+W1 (1+4)*1.00

$v_y = 0.2 \text{ cm} < v_{y,max} = L/150.00 = 5.3 \text{ cm}$

Vérfié

Cas de charge décisif: 43 G+W2 (1+5)*1.00

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: [NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009](#), [Eurocode 3: Design of steel structures.](#)

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 254 CAEH70*70*7_254 **POINT:** 1

COORDONNEE: x = 0.00 L = 0.00 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 14 G+1.5W2 1*1.00+5*1.50

MATERIAU:

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION: CAE 70x7

$h = 7.0 \text{ cm}$

$g_{M0} = 1.00$

$g_{M1} = 1.00$

$b = 7.0 \text{ cm}$

$A_y = 4.90 \text{ cm}^2$

$A_z = 4.90 \text{ cm}^2$

$A_x = 9.40 \text{ cm}^2$

$t_w = 0.7 \text{ cm}$

$I_y = 42.30 \text{ cm}^4$

$I_z = 42.30 \text{ cm}^4$

$I_x = 1.52 \text{ cm}^4$

$t_f = 0.7 \text{ cm}$

$W_{ely} = 8.41 \text{ cm}^3$

$W_{elz} = 8.41 \text{ cm}^3$

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{Ed} = 4.77 \text{ T}$

$N_{c,Rd} = 26.36 \text{ T}$

$N_{b,Rd} = 26.36 \text{ T}$

Classe de la section = 3



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.18 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL):

$$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.6 \text{ cm}$$

Vérifié

Cas de charge décisif: 41 G+S (1+2)*1.00

$$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.6 \text{ cm}$$

Vérifié

Cas de charge décisif: 40 G 1*1.00



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: *Vérification des pièces*

FAMILLE:

PIECE: 37 IPE 240 potelets_37

POINT: 2

COORDONNEE: x = 0.26 L = 2.25 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 19 1.35G+1.5Q+1.5W2+1.3S 1*1.35+(2+5)*1.50+3*1.30

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 240 potelets

h=24.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=12.0 cm

Ay=27.32 cm²

Az=19.15 cm²

Ax=39.12 cm²

tw=0.6 cm

Iy=3891.63 cm⁴

Iz=283.63 cm⁴

Ix=12.95 cm⁴

tf=1.0 cm

Wply=366.65 cm³

Wplz=73.92 cm³

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N_{Ed} = 1.75 T

M_{y,Ed} = 4.83 T*m

M_{z,Ed} = 0.00 T*m

V_{y,Ed} = -0.00 T

N_{c,Rd} = 109.70 T

M_{y,Ed,max} = 6.08 T*m

M_{z,Ed,max} = 0.00 T*m

V_{y,c,Rd} = 44.22 T

N_{b,Rd} = 24.59 T

M_{y,c,Rd} = 10.28 T*m

M_{z,c,Rd} = 2.07 T*m

V_{z,Ed} = 1.34 T

M_{N,y,Rd} = 10.28 T*m

M_{N,z,Rd} = 2.07 T*m

V_{z,c,Rd} = 31.00 T

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 8.52 m Lam_y = 0.69
 Lcr,y = 5.96 m Xy = 0.85
 Lamy = 59.80 kyy = 1.02



en z:

Lz = 8.52 m Lam_z = 1.93
 Lcr,z = 4.50 m Xz = 0.22
 Lamz = 167.12 kyz = 0.58

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.02 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.22 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))
 $V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.04 < 1.00$ (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{y} = 59.80 < \lambda_{max} = 210.00$ $\lambda_{z} = 167.12 < \lambda_{max} = 210.00$ STABLE
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.62 < 1.00$ (6.3.3.(4))
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.38 < 1.00$ (6.3.3.(4))

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

$v_x = 0.8 \text{ cm} < v_{x,max} = L/150.00 = 5.7 \text{ cm}$ Vérifié
Cas de charge décisif: 42 G+W1 (1+4)*1.00
 $v_y = 0.8 \text{ cm} < v_{y,max} = L/150.00 = 5.7 \text{ cm}$ Vérifié
Cas de charge décisif: 45 G+W2+0.9S (1+5)*1.00+3*0.90

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: [NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009](#), [Eurocode 3: Design of steel structures](#).

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 45 Panne IPE140_45

POINT: 3

COORDONNEE: x = 0.49 L = 2.94 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 19 1.35G+1.5Q+1.5W2+1.3S 1*1.35+(2+5)*1.50+3*1.30

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 140 Panne

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.3 cm	Ay=11.16 cm ²	Az=7.65 cm ²	Ax=16.43 cm ²
tw=0.5 cm	ly=541.22 cm ⁴	lz=44.92 cm ⁴	lx=2.46 cm ⁴
tf=0.7 cm	Wply=88.34 cm ³	Wplz=19.25 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 0.03 T	My,Ed = 0.08 T*m	Mz,Ed = -0.00 T*m	Vy,Ed = 0.00 T
Nc,Rd = 46.07 T	My,Ed,max = 0.08 T*m	Mz,Ed,max = 0.02 T*m	Vy,T,Rd = 18.05 T
Nb,Rd = 26.21 T	My,c,Rd = 2.48 T*m	Mz,c,Rd = 0.54 T*m	Vz,Ed = 0.00 T
	MN,y,Rd = 2.48 T*m	MN,z,Rd = 0.54 T*m	Vz,T,Rd = 12.37 T
	Mb,Rd = 1.56 T*m		Tt,Ed = 0.00 T*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 0.00	Mcr = 1.83 T*m	Courbe,LT -	XLT = 0.61
Lcr,upp=3.00 m	Lam_LT = 1.16	fi,LT = 1.13	XLT,mod = 0.63

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$kzy = 0.52$$



en z:

Lz = 3.00 m	Lam_z = 1.04
Lcr,z = 1.50 m	Xz = 0.57
Lamz = 90.72	kzz = 1.00

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.4.(1))
 (My,Ed/MN,y,Rd)^2.00 + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^1.00 = 0.00 < 1.00 (6.2.9.1.(6))
 Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)
 Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6-7)
 Tau,ty,Ed/(fy/(sqrt(3))*gM0) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)
 Tau,tz,Ed/(fy/(sqrt(3))*gM0) = 0.00 < 1.00 (6.2.6)
Contrôle de la stabilité globale de la barre:
 Lambda,z = 90.72 < Lambda,max = 210.00 STABLE
 My,Ed,max/Mb,Rd = 0.05 < 1.00 (6.3.2.1.(1))
 N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + kzz*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.06 < 1.00 (6.3.3.(4))

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL):

uy = 0.1 cm < uy max = L/200.00 = 3.0 cm Vérifié
Cas de charge décisif: 44 G+0.9W1+0.9S+0.9Q 1*1.00+(2+3+4)*0.90
 uz = 0.2 cm < uz max = L/200.00 = 3.0 cm Vérifié
Cas de charge décisif: 43 G+W2 (1+5)*1.00



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

Profil correct !!!

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des pièces

FAMILLE:

PIECE: 173 LSP UAP 130_173

POINT: 3

COORDONNEE: x = 0.51 L = 3.06 m

CHARGEMENTS:

CHAPITRE VII

Calcul de portique

MATERIAU:

ACIER E28 $f_y = 275.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION: UAP 130

$h=13.0$ cm	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=5.5$ cm	$A_y=11.98$ cm ²	$A_z=8.52$ cm ²	$A_x=17.50$ cm ²
$tw=0.6$ cm	$I_y=459.56$ cm ⁴	$I_z=51.34$ cm ⁴	$I_x=4.15$ cm ⁴
$tf=0.9$ cm	$W_{ely}=70.70$ cm ³	$W_{elz}=13.76$ cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{,Ed} = 0.00$ T	$M_{y,Ed} = -0.00$ T*m	$M_{z,Ed} = -0.02$ T*m	$V_{y,Ed} = -0.01$ T
$N_{c,Rd} = 49.07$ T	$M_{y,Ed,max} = -0.00$ T*m	$M_{z,Ed,max} = 0.05$ T*m	$V_{y,T,Rd} = 19.27$ T
$N_{b,Rd} = 26.25$ T	$M_{y,c,Rd} = 1.98$ T*m	$M_{z,c,Rd} = 0.39$ T*m	$V_{z,Ed} = -0.00$ T
			$V_{z,T,Rd} = 13.74$ T
			$T_{t,Ed} = 0.00$ T*m
			Classe de la section = 3



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$k_{zy} = 1.00$$



en z:

$$L_z = 3.00$$
 m

$$L_{cr,z} = 1.50$$
 m

$$\lambda_{mz} = 87.58$$

$$\lambda_{mz} = 1.01$$

$$X_z = 0.53$$

$$k_{zz} = 1.00$$

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau}_{z,Ed} + \text{Tau}_{tz,Ed})^2} / (f_y/gM0) = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.1.(5))$$

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

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

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

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

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$\lambda_{mz} = 87.58 < \lambda_{mz,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{,Ed} / (X_{min} \cdot N_{Rk} / gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max} / (X_{LT} \cdot M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.12 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL):

$$u_y = 0.3$$
 cm < $u_{y,max} = L/200.00 = 3.0$ cm

Vérfifié

Cas de charge décisif: 43 G+W2 (1+5)*1.00

$$u_z = 0.0$$
 cm < $u_{z,max} = L/200.00 = 3.0$ cm

Vérfifié

Cas de charge décisif: 43 G+W2 (1+5)*1.00



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

Profil correct !!!

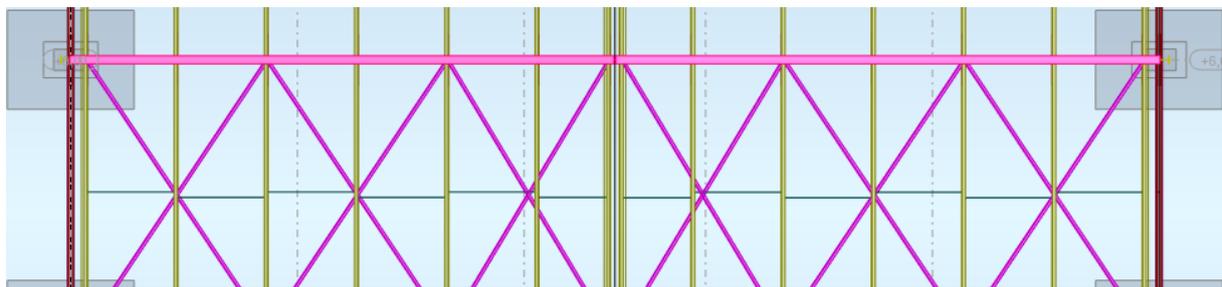
6.1- Introduction :

Les contreventements sont des éléments stabilisateurs principaux d'une structure, ils sont soumis a des forces situées essentiellement dans leurs plan entres autres : effet du vent, action sismique, action horizontale des ponts roulants

Dans notre structure l'effet de vent le plus défavorable donc tous les calculs de ces éléments fais par l'action du vent.

6.2- Calcul de la poutre au vent en pignon :

(a) À pignon (20 m) :



CHAPITRE 6

Etude de stabilités et contreventements

6.3
F =

$w = 55,66 \text{ daN/m}$

Avec $F_{FRi} = 0 \text{ daN}$

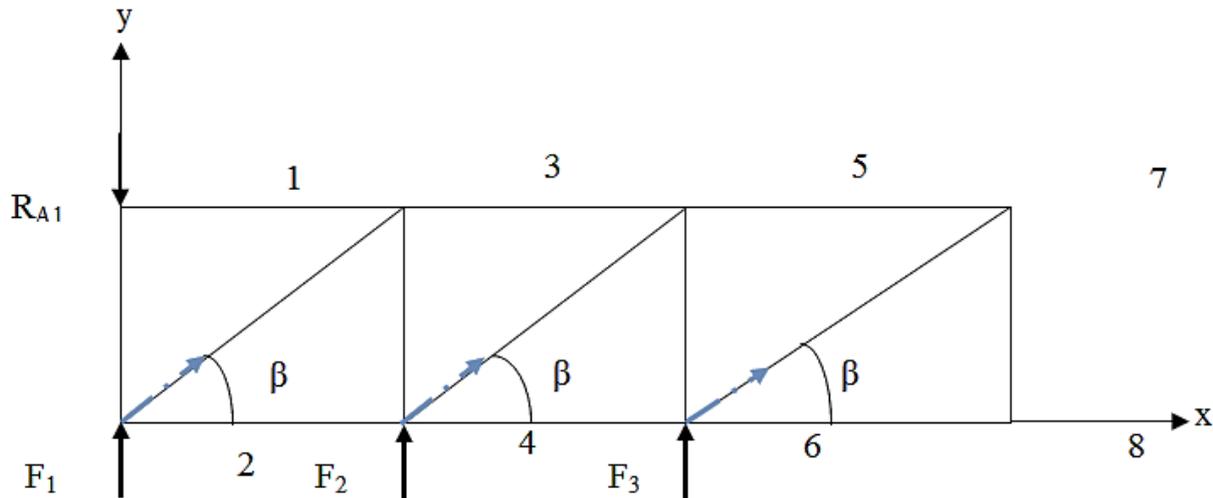
- nœuds (1, 6) : $F_1 = W_1 \times S_1 = 55,66 \times 9,2 = 512,1 \text{ daN}$
- nœuds (2, 5) : $F_2 = W_1 \times S_2 = 55,66 \times 37,6 = 2092,82 \text{ daN}$
- nœuds (3, 4) : $F_3 = W_1 \times S_3 = 55,66 \times 39,2 = 2181,87 \text{ daN}$

6.4- Réactions R_{A1} et R_{B1} :

$$R_{A1} = R_{B1} = \sum F_{1+2+3} = 4786,8 \text{ daN}$$

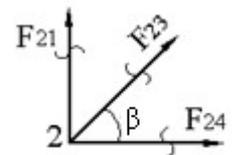
6.5- Calcule de la diagonale :

$$\beta = \text{arctg } 6/4 = 56.3^\circ$$



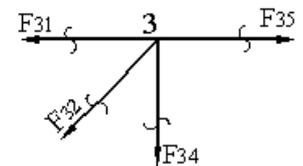
Nœud 1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{X} : F_{13} = 0 \end{array} \right.$$



Nœud 2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{X} : F_{24} = -F_{23} \cos \beta = -2850,86 \text{ daN} \end{array} \right.$$

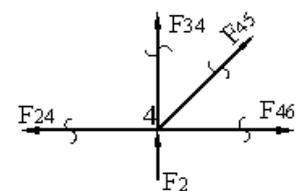


Nœud 3 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{X} : F_{35} = F_{32} \cos \beta = 2850,86 \text{ daN} \end{array} \right.$$

Nœud 4 :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{X} : F_{46} = F_{45} \cos \beta = 2850,86 \text{ daN} \end{array} \right.$$



Le diagonale le plus sollicité est F_{23} , avec : $N_{sd} = 5138,14 \text{ daN}$

$$\left\{ \begin{array}{l} A \geq \frac{N_{sd}}{f_y} = \frac{51.38}{23.5} = 2.2 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

il faut vérifier que :

$$A = 7.79 \text{ cm}^2 \geq 2.2 \text{ cm}^2$$

Cornière : $L \times 80 \times 80 \times 5$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_{M0} = 1 \end{array} \right.$$

avec : $f_y = 275 \text{ N/mm}$

6.7- Palée de stabilité pour hangar :

6.7.1- Disposition :

Une palée de stabilité disposée symétriquement sur les 2 files de poteaux entre les Portique.

6.7.2- Hypothèses de calcul

- Barres articulées aux nœuds
- Charges appliquées aux nœuds
- Barres sollicitées en traction ou en compression
- Palée articulée

6.7.3- Calcul des diagonales :

$R_B = 4786,8 \text{ daN}$

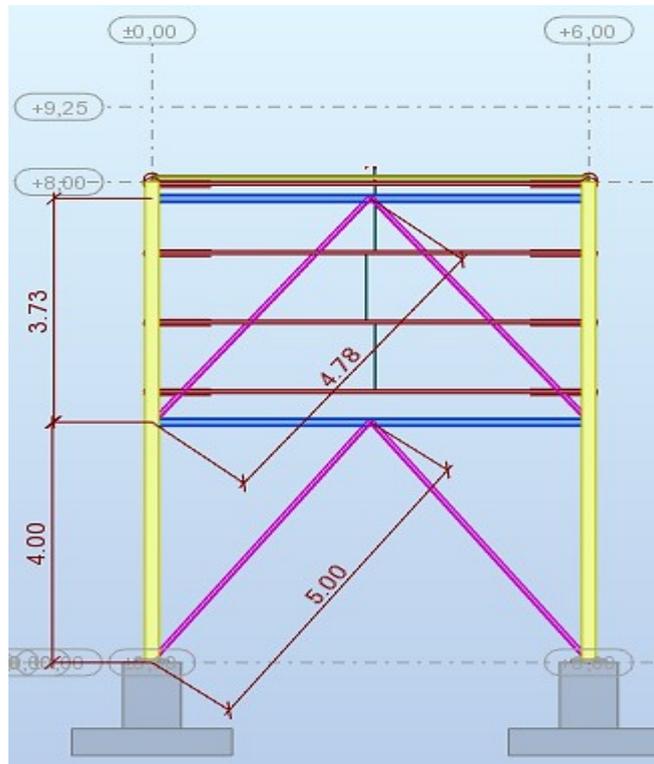


Figure6.2 : Schéma statique des contreventements de long pont

Calcul des angles des diagonales

$\alpha = 59.04^\circ$

$\beta = 53.13^\circ$

Calcul les langueurs des diagonales

$D_1 = \sqrt{(5)^2 + (3)^2} = 5.83 \text{ m}$

$D_2 = D_3 = \sqrt{(4)^2 + (3)^2} = 5 \text{ m}$

6.8- Vérification des diagonales D₁ et D₂ à la traction :

a) Pour le diagonal D₁ :

$$R_B = 4786,8 \text{ daN}$$

$$2 \cos \alpha N_{sd} = R_B \quad \Rightarrow \quad N_{sd} = R_B / 2 \cos \alpha = 3989 \text{ daN}$$

b) Pour le diagonal D₂

$$N_{sd} = \frac{R_B}{2 \cos \alpha \cos \beta} = \frac{4786,8}{2 \cos 30^\circ \cos 53.13^\circ} = 3989 \text{ daN}$$

La force Maximum dans Le diagonal D₁ :

il faut vérifier que :

$$\left\{ \begin{aligned} A &\geq \frac{N_{sd}}{f_y} = \frac{3989}{23.5} = 1.7 \text{ cm}^2 \end{aligned} \right.$$

$$A \geq 1.7 \text{ cm}^2$$

Donc pour la palée de stabilité on prendra un profiler : UAP130

$$A = 10,67 \text{ cm}^2$$

6.9- Vérification à la traction des diagonales :

On vérifie $N_{sd} < N_{Rd}$

$$N_{Rd} = \min (N_{pl}; N_u; N_{net}) = N_{pl}$$

$$Y_{M0} = 1.1; f_y = \frac{235 \text{ N}}{\text{mm}^2}; \quad A = 10.67 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl} = \frac{A \cdot f_y}{Y_{M0}} = 25074.5 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 3989 \text{ daN} < N_{Rd} = N_{pl} = 25074.5 \text{ daN}$$

Donc la traction des diagonales est vérifiée.

6.10- Calcul poutre sablière :

6.10.1- Généralité :

La sablière est la panne qui se trouve à la retombée de la traverse, elle s'assemble le plus souvent sur les poteaux, elle est placée dans l'axe des long pans, elle est généralement constituée par une poutre en H, la distance entre les appuis est l'entraxe entre les poteaux (6mètres).

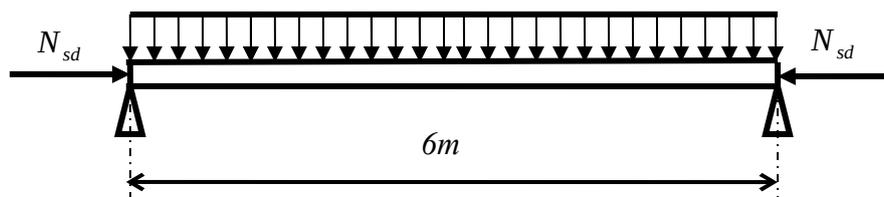


Figure6.3 : présentation la sablière

$$N_{sd} = R_B = 4786,8 \text{ daN}$$

6.10.2- Pré dimensionnement :

$$N_{t, sd} \leq N_{PL, Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\left\{ A \geq \frac{N_{sd} 47,868}{f_y 23.5} = 2 \text{ cm}^2 \right.$$

$$\left(\beta_A = 1 ; \epsilon = 1 \right)$$

soit HEA 140 : section de classe 1 : acier (S275)

6.10.3- Conditions de la résistance :

6.10.4.1- Vérification de la poutre sablière au flambement :

Si en doit tenir compte le risque de flambement, et la vérification à faire est comme suit :

$$N_{tsd} \leq X_{\phi} \times \beta_A \times A \times \frac{f_y}{\gamma_{m1}}$$

Avec : $\bar{\lambda}_{max} = \max(\bar{\lambda}_y; \bar{\lambda}_z)$

- Calcul de $\bar{\lambda}_y$ et $\bar{\lambda}_z$:

$$\lambda_y = \frac{l_{by}}{i_y} = 122,7 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \sqrt{\beta_A} = 1,31$$

$$\lambda_z = \frac{l_{bz}}{i_z} = 198,67 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \sqrt{\beta_A} = 2,12$$

Donc :

$\bar{\lambda}_z = 2,12 > 0.2$ il y a le risque de flambement

Calcul de x_{ϕ} :

$$\bar{\lambda}_{\phi} = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = \left[\frac{\lambda_{\phi}}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5}$$

$$\lambda_{\phi} = \frac{l_z}{i_z} \left[(C_1)^{0,5} \left(1 + \frac{1}{20} \left(\frac{l_z}{h} \frac{i_z}{t_f} \right)^2 \right) \right]^{0,25}$$

$$\lambda_c = \frac{\frac{600}{3,02}}{(1,132)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{\frac{600}{3,02}}{\frac{11,4}{0,8}} \right)^2 \right]^{0,25}} = 103 \Rightarrow \text{avec } \lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_i = \left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1} \right] (\beta_w)^{0,5} = \left[\frac{103}{93,9} \right] (1)^{0,5} = 1,1 \geq 0,4 \text{ Il ya un risque de déversement.}$$

$$\varnothing_i = 0,5 \left[1 + \alpha_i (\bar{\lambda}_i - 0,2) + \bar{\lambda}_i^2 \right]$$

$$\varnothing_i = 0,5 \left[1 + 0,21 (0,56 - 0,2) + 0,56^2 \right] = 1,2$$

$$x_i = \frac{1}{\varnothing_i + \sqrt{\varnothing_i^2 - \bar{\lambda}_i^2}}$$

$$x_i = \frac{1}{1,2 + \sqrt{1,2^2 - 1,1^2}} = 0,6 < 1$$

$$N_{t_{sd}} = R B = 4786,8 \text{ daN}$$

$$N_{t_{sd}} = 4786,8 \text{ daN} < 0,6 \times 1 \times 25,3 \times \frac{23,5}{1,1} = 324,3 \text{ daN} \Rightarrow \text{vérifier}$$

Vérification de flexion et compressions :

Il faut vérifier que :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{K_y M_{y.sd}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{K_z M_{z.sd}}{W_{pl,z} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

Avec : $\gamma_{M1} = 1,1$ et $M_{z.sd} = 0$

- Calcul de $\bar{\lambda}_y$ et $\bar{\lambda}_z$:

$$\lambda_y = \frac{l_{by}}{i_y} = 122,7 \Rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \sqrt{\beta_A} = 1,31 \Rightarrow \chi_y = 0,43$$

$$\lambda_z = \frac{l_{bz}}{i_z} = 198,67 \Rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \sqrt{\beta_A} = 2,12 \Rightarrow \chi_z = 0,2 \quad (\text{min})$$

- Calcul de k_y :

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2 \beta_{My} - 4) + \frac{W_{ply} - W_{ely}}{W_{ely}}$$

$$\mu_y = 1,31 (2 \times 1,3 - 4) + \frac{119,5 - 106,3}{106,3} = -1,71$$

Avec $\mu_y = -1,71 \leq 0,9$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1 - \frac{-1,71 \times 4786,8}{0,43 \times 25,3 \times 2350} = 1,32$$

6.10.3.2- Vérification au flambement :

$$N_{sd} = 4786,8 \text{ daN}$$

$$M_{y.sd} = \frac{(1,35 G \text{ HEA } 140) \times l^2}{8} = \frac{1,35 \times 19,9 \times 6^2}{8} = 120,89 \text{ daN} \cdot m$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{27,5 \times 2350}{1,1} = 54050 \text{ daN}$$

$$M_{ply.rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{119,5 \times 27,5}{1,1} = 2553 \text{ daN} \cdot m$$

$$\frac{N_{sd}}{x_{min} N_{pl.Rd}} + \frac{K_y M_{y.sd}}{M_{ply.rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{4786,8}{0,2 \times 54050} + \frac{1,32 \times 120,89}{2553} = 0,51 \leq 1,0 \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Donc : HEA 140 convient comme panne sablière.

CHAPITRE 7

Traitement surfaces et procédure de soudage

MANDATAIRE DESIGNE PAR LE MAITRE D'OUVRAGE :

N° Contrat :	Statut de Distribution : Pour information	Numérotation Maitre d'Ouvrage :
--------------	---	---------------------------------

Espace réservé aux tampons (Revue et validation du document - si nécessaire) :

Historique des Révisions :

Rev.	St.	Description de la révision	Auteur	Vérfié	Contrôlé	Approuvé	Date
00	PI	Pour information					05-12-2021

Titre : **PROCÉDURE DE PEINTURE POUR CHARPENTE MÉTALLIQUE**

N° Projet	Emetteur	Équipe de l'émetteur CQ	Numérotation du Constructeur
-----------	----------	-----------------------------------	------------------------------

Nom et logo Fournisseur :	Numérotation du Fournisseur
---------------------------	-----------------------------

Type doc DOC	Classe Confidentielle	Dérivé de	Echelle 1:1	Format A4	Page 001	De 001	Suit F 023
------------------------	-----------------------	-----------	-----------------------	---------------------	--------------------	------------------	----------------------

Constructeur :	MANDATAIRE DESIGNE :
----------------	----------------------

7.1- Objet :

Cette procédure a pour objet de définir les techniques chronologiques de contrôle qualité des opérations de sablage, peinture et galvanisation à chaud, des produits en charpente métallique.

7.2- Domaine d'application :

La présente procédure s'applique à la structure contrôle qualité et les unités de production sablage, peinture et galvanisation à chaud.

7.3- Définitions et Abréviations :**8.3.1- Définitions :**

La Qualité : l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou service qui lui confèrent son aptitude à satisfaire des exigences.

Contrôle Qualité : contrôle de la conformité par rapport aux exigences.

Surface de référence : Surface d'une pièce à l'intérieur de laquelle un certain nombre de contrôles doit être effectué.

8.3.2- Abréviations :

CM : Charpente métallique

QC : Contrôle qualité

VT : Contrôle visuel

DFT : Épaisseur sec de revêtement

WFT : Épaisseur humide de revêtement

AT : Test d'adhérence

HR : Humidité relative

PG : Produit galvanisé

PN : Produit noir

ME : Mesure d'épaisseur

GDS : Gestion de stock.

7.4- Responsabilité :

Le manager CQ est responsable de l'élaboration et le suivi de la mise en œuvre de cette procédure.

Le responsable des ateliers Sablage/Peinture et Galvanisation à Chaud, les inspecteurs et les contrôleurs sont responsables de son application.

7.5- Documents de références :

- ISO 9001 V 2015 : Systèmes de management de la qualité — Exigences
- ISO 8501-1 V 2007 : Évaluation visuelle de la propreté d'un subjectile.
- ISO 8502-3 V 2017 : Évaluation de la poussière sur les surfaces d'acier préparées.
- ISO 8502-4 V 2017 : Principe directeurs pour estimer la probabilité de condensation.
- ISO 8502-6 V 2020 : Extraction des contaminants solubles en vue de l'analyse.
- ISO 8502-9 V 2020 : Méthode in situ pour la détermination des sels solubles dans l'eau par conductimétrie

- ISO 8503-1 V 2015 : Caractéristiques de rugosité des subjectiles d'acier décapés.
- ISO 19840 V 2012 : Mesure et critères d'acceptation de l'épaisseur d'un feuillet sec sur des surfaces rugueuses.

- ISO 16276-1 V 2015 : Évaluation et critères d'acceptation — Essai de traction.
- ISO 16276-2 V 2015 : Évaluation et critères d'acceptation — Essai de quadrillage.
- ISO 2409 V 2007 : Peintures et vernis — Essai de quadrillage.

- ISO 1461 V 2009 : Galvanisation à chaud sur acier — Spécifications et méthodes d'essai.
 - ISO 14713-1 V 2017 : Revêtements de zinc — Principes généraux de conception et résistance à la corrosion.
 - ISO 14713-2 V 2009 : Revêtements de zinc — Galvanisation à chaud.
 - Spécification technique de peinture : OMC-GG-001-005.
- 7.6- Dispositifs de mesure et contrôle :**
Voir tableau 01, ci-dessous :

Tableau 7.1 : Diapositifs de mesure et contrôle

Ite m	Désignation	Fonction
01	Mesureur DPM	Mesure les conditions climatiques
02	Mesureur SPG	Mesure de rugosité
03	Mesureur SST	Mesure la concentration des sels solubles
04	Loupe graduée	Mesure le taux de poussière
05	Appareil d'arrachement	Contrôle de l'adhésion par arrachement
06	Paige à lame	Contrôle de l'adhésion par quadrillage
07	Jauge d'épaisseur humide WFT	Mesure d'épaisseur à l'état humide
08	Jauge d'épaisseur sèche DFT	Mesure d'épaisseur à l'état sec
09	Mètre : 3, 5 et 8m	Contrôle dimensionnel
10	Pied à coulisse	Contrôle perçage
11	Régllette métallique 20cm	Contrôle de grugeage et chanfrein.

7.7.1- Partie I : Sablage et Peinture :

7.7.1.1- Préparation de surface par sablage :

Il est nécessaire de choisir une méthode adéquate de décapage, soit par utilisation d'un système centrifuge (grenailleuse automatique au niveau de l'unité Charpente Métallique), soit par air comprimé avec récupération de la grenaille par aspiration (unité de Sablage et Peinture), tout en assurant les conditions d'exploitation appropriées pour obtenir l'état requis de préparation du subjectile.

Le type d'abrasif, c'est-à-dire la taille de ses particules et leur distribution, leur forme (angulaire et sphérique ou mélange des deux), leur dureté, leur masse volumique et leur comportement au choc, sont importants pour déterminer l'état de propreté, la vitesse de nettoyage et le profil de surface obtenu après décapage du subjectile.

L'air comprimé utilisé pour le décapage doit être parfaitement sec et exempt de toutes traces d'huiles.

7.7.1.2- Contrôle avant Sablage :**a) Degré de rouille :**

Il est nécessaire de déterminer le degré de rouille de la pièce à décaper, selon les méthodes décrites dans la norme ISO 8501-1, quatre (04) degrés de rouille sont spécifiés, désignés respectivement par A, B, C et D.

Ces degrés de rouille sont définis par des descriptions écrites (voir Tableau 02).

Des exemples de clichés représentatifs de ces degrés de rouille sont joints à l'Annexe 01 de cette procédure.

Tableau 7.2 : Degré de rouille

Degré	Descriptions
A	Subjectile d'acier largement recouvert de calamine adhérente mais avec un peu ou pas du tout de rouille
B	Subjectile d'acier qui a commencé à rouiller et d'où la calamine a commencé à s'écailler
C	Subjectile d'acier où la calamine a disparu sous l'action de la rouille ou peut en être détaché par grattage mais qui présente quelques chancre de rouille observables à l'œil nu
D	Subjectile d'acier où la calamine a disparu sous l'action de la rouille et qui présente de nombreux chancre de rouille observables à l'œil nu

b) Conditions climatiques :

Aucun décapage ne doit être effectué si :la température en surface de l'acier est inférieure à 3 °C au point de rosée.

Si l'humidité relative est supérieure ou égale à 85 %, les conditions peuvent être défavorables à la mise en peinture car le point de rosée n'est qu'à 2,5°C au maximum.

Si l'humidité relative est apparemment satisfaisante (HR = 80%, le point de rosée étant à 3,4°C), il convient de s'assurer que les conditions climatiques ne changeront pas pendant un temps approprié, souvent dans les 6 h qui suivent, afin d'assurer la non apparition de la rosée.

La prise de la température ambiante, l'humidité de l'air ainsi que la température de surface des pièces à décaper, sont effectuées avant chaque étape du processus de peinture à l'aide d'un appareil Posi Tector DPM (Dew Point Meter).

7.7.1.3- Contrôle après Sablage :**a) Degré de propreté :**

La préparation de surface par décapage est désignée par les lettres «Sa». Les descriptions des degrés de décapage sont indiquées dans le Tableau 03.

Le décapage est réalisé selon la demande et exigences clients définis dans un cahier de charge ou une spécification, conformément à la norme ISO 8501-1.

Une comparaison visuelle entre la surface de subjectile décapée par projection d'abrasif et les clichés photographiques de la norme ISO 8501-1, doit être effectuée pour déterminer le degré de décapage (voir Annexe 02).

Tableau 7.3 : Degré de décapage (Annexe 02).

Degré	Descriptions
Sa 1 Décapage léger	Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse et de saleté ainsi que des matériaux peu adhérents tels que calamine, rouille, peinture et matériaux étrangers. Voir photographies B Sa 1, C Sa 1 et D Sa 1.
Sa 2 Décapage soigné	Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse et de saleté, et de la plus grande partie de la calamine, de la rouille, des revêtements de peinture et des matières étrangères. Les agents de contamination résiduels doivent être bien adhérents. Voir photographies B Sa 2, C Sa 2 et D Sa 2.
Sa 2½ Décapage très soigné	Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse et de saleté, ainsi que de tous matériaux tels que calamine, rouille, peinture et matériaux étrangers. Toute trace restante de contamination doit ne laisser que de légères marques sous forme de taches ou de traînées. Voir photographies A Sa 2½, B Sa 2½, C Sa 2½ et D Sa 2½.
Sa 3 Décapage jusqu'à propreté de l'acier Évaluée visuellement	Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse et de saleté, ainsi que de tous matériaux tels que calamine, rouille, peinture et matériaux étrangers. Elle doit présenter une couleur métallique uniforme. Voir photographies A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 et D Sa 3.

b) Rugosité de surface :

La rugosité des surfaces décapées est évaluée selon les critères de la norme ISO 8503-1, à l'aide d'un instrument PosiTector-SPG, on mesure la rugosité de surface et on compare les résultats par rapport au Tableau 03, cette technique s'applique qu'aux surfaces présentant un degré de préparation Sa 2½ et Sa 3 selon l'ISO 8501-1.

Il est nécessaire de déterminer la classe de rugosité de la surface décapée, afin de choisir la valeur de correction correspondante, comme défini dans la norme ISO 19840 et qu'elle sera prise en considération lors de la mesure finale du film sec (DFT).

Tableau7.4 : Classe de rugosité, valeurs et tolérances

Classe de rugosité	Valeur de rugosité nominale (µm)	Tolérance (µm)
Fin	25 - 40	3 - 5
Moyen	40 - 70	5 - 10
Grossier	70 - 100	10 - 15

c)Taux de sels sur la surface décapée :

Le principe de mesure selon la norme ISO 8502-6 est basé sur une pastille adhésive avec un compartiment central prévu pour contenir un solvant (l'eau distillée) ; La pastille est fixée à la surface d'où les contaminants solubles dans l'eau doivent être éliminés. L'eau est injectée dans le compartiment à l'aide d'une seringue puis aspirée de nouveau dans la seringue. Cette opération est répétée et l'eau dissout les sels présent en surface.

La solution est analysée conformément à l'ISO 8502-9, la teneur maximale en impuretés solubles sur la surface d'essai, ne doit pas dépasser une conductivité mesurée à une teneur en NaCl de 50 mg/m2.

d) Taux de poussière sur la surface décapée :

Après décapage, la grenaille ainsi que toutes les poussières sont enlevées par soufflage à l'air ou par brossage.

Le principe de détermination du taux de poussière résiduelle selon la norme ISO 8502-3 est le suivant :

- Un ruban adhésif sensible à la pression est appuyé sur la surface d'acier préparée pour la mise en peinture.
- Le ruban, avec la poussière qui y adhère, est ensuite retiré et placé sur une planche de visualisation d'une couleur contrastante avec celle de la poussière, est examiné visuellement.
- La quantité de poussière adhérant au ruban est évaluée par comparaison visuellement conformément aux références visuelles jointes à l'Annexe 03.
- La dimension des particules de poussière est évaluée visuellement à l'aide d'une loupe graduée et conformément au Tableau 04.

Tableau 7.5: Catégories de dimension des particules de poussière

Catégorie	Description des particules de poussière
0	Particules non visibles sous un grossissement de 10 x
1	Particules visibles sous un grossissement de 10 x, mais pas avec une vision normale ou corrigée (Particules de moins de 50 µm de diamètre)
2	Particules peine visibles avec une vision normale ou corrigée (Particules d'un diamètre compris entre 50 µm et 100 µm)
3	Particules bien visibles avec une vision normale ou corrigée (Particules d'un diamètre allant jusqu'à 0,5 mm)
4	Particules d'un diamètre compris entre 0,5 mm et 2,5 mm)
5	Particules d'un diamètre supérieur à 2,5 mm)

7.7.2- Application de la peinture :

a) Réception de la peinture :

Les produits de peintures doivent être fournis dans leurs emballages originaux et accompagnés d'un certificat de conformité ou fiche technique.

A leur réception, le QC doit assurer :

-La vérification de l'état physique ; emballage, date d'expiration et étiquetage.

-La vérification de la fiche technique de peinture.

-La vérification du système de peinture utilisé : désignation, composition chimique et code couleur.

-La vérification de diluant : compatibilité avec la peinture, date d'expiration et emballage.

b) Mode opératoire d'application :

Le système de protection choisit par rapport aux exigences clients, et conformément à la spécification technique du projet : OMC-GG-001-005.

Les différentes couches de peintures sont appliquées à l'aide d'un pistolet sous pression (Airless) ; Pour les zones inaccessibles et les coins on utilise un pinceau ou un rouleau.

Les délais de recouvrement entre les différentes couches du système ainsi que le délai entre l'application de la dernière couche et la mise en service devront être respectés, conformément aux prescriptions des fiches techniques des peintures.

c) Contrôle pendant l'application de la peinture :

Conditions climatiques :

Avant et au moment d'application de la peinture, les conditions climatiques suivantes doivent être respectées selon les exigences de la norme ISO 8502-4 :

- HR < 85 % ou convenable avec les fiches techniques de fournisseur,

- Température du substrat > Point de rosée : +3°C,

- Température du substrat < Température maximale du substrat indiqué sur la fiche technique de fournisseur.

- Température ambiante dans l'intervalle des températures minimale/maximale indiqué sur la fiche technique de fournisseur.

Ces paramètres sont cruciaux dans la réalisation de la peinture anticorrosion. En cas de non-respect, des défauts pourraient apparaître dans le temps sur la peinture. La performance est également altérée par un non-respect des paramètres d'application.

Préparation peinture et subjectile :

Le système de peinture choisit par rapport aux exigences clients, sera appliquées conformément aux règles prescrites sur les fiches techniques.

Durant la préparation de la peinture, le QC doit assurer la :

- La vérification des proportions de mélange durcisseur/peinture.

- La vérification de la compatibilité de diluant avec la peinture.

- La bonne agitation de la peinture à l'aide d'un mixeur.

- La vérification des délais de mûrissement, selon fiche technique.

Les subjectiles doivent être préparés par opération de masquage sur les zones de contacts, à l'aide d'un tirant ou un ruban adhésif.

Aspect visuel :

L'application de la peinture doit être uniforme et continue, la surface peinte doit présenter un fini esthétique lisse et doit être exempte de : cloques, décoloration, craquelures, écaillages, coulisses, égratignures, bulles, cratères, et fissures ou failles de peinture.

L'inspection visuelle s'effectue à une distance raisonnable (1m) sous un éclairage normal (environ 500 lux) sur les zones de contrôle.

Épaisseur à l'état humide (WFT) :

Le WFT est contrôlé régulièrement au cours de l'application et sur toutes les couches de peinture, dans le cadre d'un autocontrôle réalisé par le peintre et validé par le QC. Cette vérification est réalisée à l'aide d'une jauge d'épaisseur humide selon les critères de la norme ISO 2808.

a) Contrôle après séchage de la peinture :

Épaisseur à l'état sec (DFT) :

Le DFT de chaque couche, ou le TDFT du système de peinture est assuré à l'aide d'un appareil électromagnétique (Posi Tector 6000).

L'appareil doit être calibré avant chaque utilisation à l'aide des cales étalons sur un support lisse.

Un plan d'échantillonnage définit le nombre de mesures à effectuer sur l'aire de contrôle conformément aux exigences de la norme ISO 19840, doit être respecté (voir Tableau 05).

Pour l'acceptation de contrôle, les critères applicables sont de la norme ISO 19840.

Tableau 7.6 : Plan d'échantillonnage des mesures DFT

Aire/longueur de l'aire de contrôle (m² ou m)	Nombre minimal de mesures	Nombre maximal admissible de mesures pouvant être validées
jusqu'à 1	5	1
de 1 non compris à 3	10	2
de 3 non compris à 10	15	3
de 10 non compris à 30	20	4
de 30 non compris à 100	30	6
au-delà de 100	Ajouter 10 par tranche supplémentaire de 100 m ² , ou de 100 m ou partie de ces valeurs	20 % du nombre minimal de mesures

Test d'adhérence par quadrillage :

La méthode d'essai par quadrillage est applicable si l'épaisseur sec du système de peinture est inférieure à 250 µm.

Le principe de l'essai de quadrillage nécessite que soit pratiqué sur la peinture un réseau d'incisions allant jusqu'au substrat de façon à produire des carrés de dimensions identiques. L'espacement des incisions et donc les dimensions des carrés sont déterminés en fonction de l'épaisseur de la peinture à évaluer. Du ruban adhésif est appliqué avec fermeté, afin d'enlever les carrés de peinture mal fixés, une fois les incisions pratiquées.

Un plan d'échantillonnage définissant le nombre minimum d'essais à réaliser de façon aléatoire sur les aires de contrôle (voir Tableau 06).

Le résultat de l'essai est exprimé sous la forme d'un classement en fonction des dommages observés, conformément à l'ISO 2409 et l'ISO 16267-2 (voir Annexe 04).

Tableau 7.8 : Nombre minimal d'essais de quadrillage.

Aire de contrôle (m²)	Nombre d'essais valides
≤ 1 000	1 pour chaque aire de 200 m ² ou par partie la composant

>1 000	5, plus 1 pour chaque aire supplémentaire de 1 000 m ² ou partie la composant ^(a)
^(a) La subdivision en aires de contrôle plus petites est recommandée.	

Test d'adhérence par arrachement :

La méthode d'essai par arrachement est applicable si l'épaisseur sec du système de peinture est supérieur à 250 µm.

L'essai permet l'évaluation de la résistance du revêtement à la rupture, lors de l'application d'un effort perpendiculaire constant sur des plots d'essai collés à l'aide d'une colle appropriée sur le système de peinture à l'effet de provoquer une rupture. Cette force est mesurée par un appareillage.

Un plan d'échantillonnage définissant le nombre minimum d'essais à réaliser de façon aléatoire sur les aires de contrôle (voir Tableau 07).

Pour l'acceptation de contrôle, les critères applicables sont de la norme ISO 16267-1.

Tableau 7.9 : Nombre minimal d'essais d'arrachement.

Aire de contrôle (m ²)	Nombre de mesurages valides
≤ 1 000	3 plots pour chaque zone ou partie de zone de 250 m ²
>1 000	12 plots, plus 1 pour chaque aire supplémentaire de 1 000 m ² ou partie la composant ^(a)
^(a) La subdivision en aires de contrôle plus petites est recommandée.	

7.7.3- Stockage et mise à disposition :

La libération des pièces peintes est assurée par l'inspecteur QC au niveau de l'unité sablage et peinture, après séchage complet du système de peinture appliqué.

Le stockage, la manipulation et le transport des éléments peints doit être exécuté de façon à ne pas détériorer le revêtement de peinture.

Le chargement des éléments dans les camions doit être prévu de façon à empêcher la dégradation de la protection anticorrosive, en particulier par l'action des sangles ou des élingues sous autres.

Reconditionnement :

Les surfaces non revêtues à reconditionner par le galvaniseur ne doivent pas dépasser plus de 0,5 % de la surface totale de la pièce. Aucune surface non revêtue à reconditionner ne doit mesurer plus de 10 cm². Si des surfaces non revêtues ont une superficie plus importante, la pièce doit être galvanisée de nouveau, sauf accord par dérogation entre le client et le galvaniseur.

Le reconditionnement doit se faire par application d'une peinture dont la teneur en pigments à base de poussière de zinc est conforme à la norme ISO 3549. L'épaisseur de revêtement des zones reconditionnées doit être d'au moins 100 µm.

Le traitement doit inclure l'élimination de tout oxyde, le nettoyage ainsi que tout prétraitement nécessaire pour garantir l'adhérence.

7.8- Libération des produits finis :

Dans le but d'assurer une bonne expédition, la libération d'un produit fini peint ou galvanisé à la structure GDS doit être autorisée par le QC au moyen d'une fiche de « Mise à Disposition des Produits Finis » indiquant : le client, la désignation des produits, la quantité, le poids,...

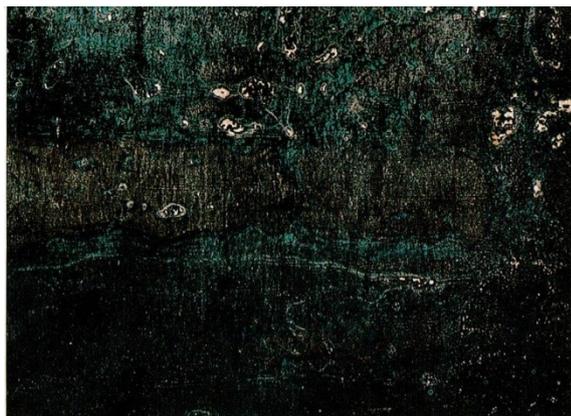
La fiche de « Mise à Disposition des Produits Finis », est établie par le QC et validée par les trois (03) parties : contrôle qualité, production et GDS. Elle est ensuite transmise à la structure commerciale.

7.9- Enregistrements :

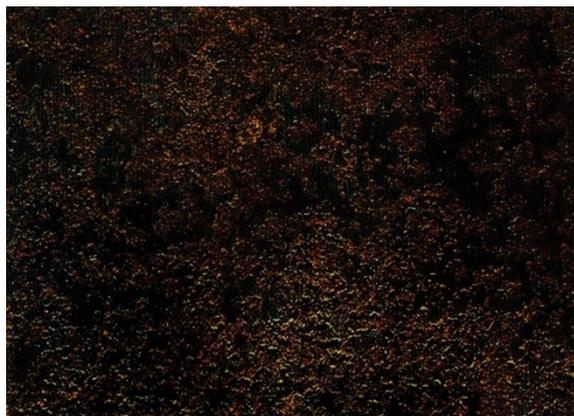
Item	Intitulé	Code
01	Fiche contrôle peinture	EN-CQ-09
02	PV de Sablage et peinture	EN-CQ-26
03	PV test d'arrachement	EN-CQ-28
04	PV test de quadrillage	EN-CQ-29
05	Fiche contrôle galvanisation	EN-CQ-20
06	Mise à disposition produit fini	EN-CQ-21

CHAPITRE 7 Traitement surfaces et procédure desoudage

Annexe 01 : Clichés représentatifs des degrés de rouille / ISO5801-1



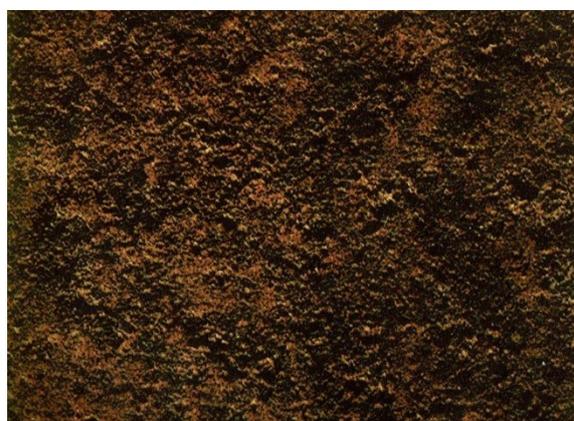
A



B



C



D

Annexe 02 : Clichés représentatifs des degrés de décapage / ISO5801-1



B Sa 1



B Sa 2



B Sa 2 $\frac{1}{2}$



B Sa 3



C Sa 1



C Sa 2



C Sa 2 ¹/₂

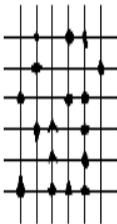
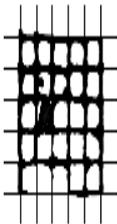


C Sa 3

Annexe 03 : Références visuelles correspondant aux catégories de quantité de poussière / ISO5802-3

	1
	2
	3
	4
	5

Annexe 04 : Classification des résultats de test de quadrillage

Classification	La description	Apparence de la surface de la zone de coupe transversale à partir de laquelle un écaillage s'est produit (Exemple pour six coupes parallèles)
0	Les bords des coupes sont complètement lisses; aucun des carrés du treillis n'est détaché.	-
1	Détachement des petits flocons du revêtement aux intersections des découpes. Une zone de coupe transversale ne dépassant pas 5% est affectée.	
2	Le revêtement s'est écaillé le long des bords et / ou aux intersections des découpes. Une zone de coupe transversale supérieure à 5%, mais pas supérieure à 15%, est affectée.	
3	Le revêtement s'est écaillé le long des bords des découpes en partie ou en totalité en gros rubans, et / ou il s'est écaillé en partie ou en totalité sur différentes parties des carrés. Une zone de coupe transversale supérieure à 15%, mais pas supérieure à 35%, est affectée.	
4	Le revêtement s'est écaillé le long des bords des découpes en gros rubans et / ou certains carrés se sont détachés partiellement ou totalement. Une zone de coupe transversale supérieure à 35%, mais pas supérieure à 65%, est affectée.	
5	Tout degré d'écaillage qui ne peut même pas être classé par classification 4.	-

7.2.1 Introduction

Les structures métalliques sont largement utilisées dans le domaine de la construction en raison de leur durabilité et de leur grande résistance. Pour garantir la sécurité de ces structures, un soudage de haute qualité est essentiel. Cette recherche détaillera les procédures de soudage, les différents défauts de soudage, et les méthodes de contrôle utilisées pour assurer la qualité du soudage.

7.2.2 Procédures de Soudage pour les Structures Métalliques

7.2.2.1 Préparation Avant le Soudage

Nettoyage et Préparation des Surfaces

1. Nettoyage des Surfaces : Les surfaces des pièces à souder doivent être nettoyées pour éliminer toute saleté, graisse, peinture ou autres contaminants. Utilisez une brosse métallique, un solvant ou un dégraissant.
2. Sécher les Surfaces : Assurez-vous que les surfaces des pièces à souder sont sèches et exemptes d'humidité.
3. Ponçage : Si nécessaire, meulez ou poncez les surfaces des pièces à souder pour obtenir une surface propre et lisse.

Chanfreinage

1. Chanfreinage des Angles : Le chanfreinage est nécessaire pour les joints de soudure d'angle et bout à bout d'une épaisseur supérieure à 3 mm.
2. Angle de Chanfreinage : L'angle de chanfreinage doit être compris entre 30 et 60 degrés, selon l'épaisseur du métal et le type de joint de soudure.
3. Profondeur de Chanfreinage : La profondeur du chanfreinage doit être égale à environ 1/3 de l'épaisseur du métal.

Assemblage des Pièces Métalliques

1. Positionnement Correct : Assemblez les pièces métalliques à souder dans la position correcte.
2. Fixation des Pièces : Utilisez des pinces, des serre-joints ou d'autres dispositifs de fixation pour maintenir les pièces métalliques en place pendant le soudage.
3. Ajustement du Joint de Soudure : Assurez-vous que le joint de soudure est bien ajusté et qu'il n'y a pas de gaps.

7.2.3 Sélection des Paramètres de Soudage

Choix du Procédé de Soudage

1. Procédé Courant : Le procédé de soudage le plus courant pour les structures métalliques est le soudage à l'arc électrique.

2. Types de Soudage à l'Arc:

- Soudage à l'arc manuel avec électrode enrobée (SMAW)
- Soudage à l'arc sous gaz (MIG/MAG)
- Soudage à l'arc TIG

3. Facteurs de Sélection : Le choix du procédé de soudage dépend de plusieurs facteurs, tels que le type de métal, l'épaisseur du métal, la position de soudage et la qualité de soudure requise.

7.2.4 Choix du Type d'Électrode ou de Fil d'Apport

1. Compatibilité du Matériau : Le type d'électrode ou de fil d'apport doit être compatible avec le matériau des pièces métalliques à souder.

2. Classification : Les électrodes et fils d'apport sont classés selon un système de numérotation qui indique leur composition chimique et leurs propriétés mécaniques.

3. Normes de Soudage : Consultez les tableaux de correspondance dans les normes de soudage et chez les fabricants d'électrodes et de fils d'apport.

7.2.5 Choix de l'Intensité de Courant

1. Adaptation à l'Épaisseur : L'intensité de courant doit être adaptée à l'épaisseur du métal et au type de joint de soudure.

2. Sélection de l'Intensité: Utilisez des tableaux de sélection de l'intensité de courant disponibles dans les normes de soudage et chez les fabricants d'électrodes et de fils d'apport.

3. Règle Générale : Utilisez une intensité de courant de 30 à 40 ampères par millimètre d'épaisseur du métal.

7.2.6 Choix de la Tension de Soudage

1. Adaptation à l'Intensité : La tension de soudage doit être adaptée à l'intensité de courant et au type d'électrode ou de fil d'apport.

2. Sélection de la Tension : Utilisez des tableaux de sélection de la tension de soudage disponibles dans les normes de soudage et chez les fabricants d'électrodes et de fils d'apport.

3. Règle Générale : Utilisez une tension de soudage de 20 à 25 volts pour le soudage à l'arc manuel avec électrode enrobée et de 15 à 20 volts pour le soudage à l'arc sous gaz.

7.2.7 Soudage

Amorçage de l'Arc

1. Initialisation : Amorcez l'arc électrique en touchant la pièce métallique avec l'électrode ou en frappant l'électrode contre la pièce métallique.

2. Soudage sous Gaz : Pour le soudage à l'arc sous gaz, amorcez l'arc en abaissant le fil d'apport sur la pièce métallique et en déchargeant un court courant électrique.

Maintien de l'Arc

1. Distance de l'Arc : Maintenez l'arc électrique à une distance constante de la pièce métallique.
2. Déplacement de l'Électrode : La distance de l'arc doit être comprise entre 3 et 6 mm, selon le type d'électrode ou de fil d'apport et l'intensité de courant. Déplacez l'électrode ou le fil d'apport le long du joint de soudure à une vitesse constante.

7.3 Les Défauts de Soudage dans les Structures Métalliques

7.3.1 Principaux Types de Défauts

7.3.1.1 Fissures

1. Définition : Les fissures sont des discontinuités dans le métal qui peuvent se produire à la surface ou à l'intérieur du joint de soudure.
2. Causes : Elles sont généralement causées par des contraintes de traction excessives, un refroidissement trop rapide du métal ou la présence d'impuretés dans le métal.
3. Impact : Les fissures peuvent réduire considérablement la résistance du joint de soudure et entraîner la rupture de la structure.

7.3.1.2 Porosités

Définition : Les porosités sont de petits trous ou cavités dans le métal du joint de soudure.

Causes : Elles sont généralement causées par la présence de gaz dans le métal fondu, qui s'échappe en se solidifiant.

Impact : Les porosités peuvent réduire la résistance du joint de soudure et permettre à l'humidité et aux agents corrosifs de pénétrer dans le métal.

7.3.1.2 Inclusions

Définition : Les inclusions sont des impuretés non métalliques, telles que des oxydes, des scories ou des fragments de tungstène provenant de l'électrode, qui se retrouvent piégées dans le métal du joint de soudure.

Impact : Elles peuvent réduire la résistance du joint de soudure et entraîner la formation de fissures.

7.3.1.3 Retassures

Définition : Les retassures sont des zones de faible section dans le métal du joint de soudure.

Causes: Elles sont généralement causées par une contraction insuffisante du métal lors du refroidissement.

Impact : Les retassures peuvent réduire la résistance du joint de soudure et être une source de fissuration.

7.3.1.4 Défauts de Pénétration

Définition : Les défauts de pénétration se produisent lorsque le métal d'apport ne pénètre pas suffisamment dans le métal de base.

Causes : Cela peut être causé par une mauvaise technique de soudage, un courant de soudage trop faible ou une mauvaise préparation des bords des pièces à souder.

Impact : Les défauts de pénétration peuvent réduire considérablement la résistance du joint de soudure.

7.3.1.5 Défauts de Forme

Définition: Les défauts de forme sont des défauts géométriques du joint de soudure, tels que des cordons de soudure irréguliers, des surcharges ou des sous-charges.

Causes : Ils peuvent être causés par une mauvaise technique de soudage ou par des paramètres de soudage inadéquats.

Impact : Les défauts de forme peuvent réduire la résistance du joint de soudure et être inesthétiques.

7.4 Prévention des Défauts de Soudage

1. Procédures Appropriées : Utilisez des procédures de soudage qui ont été développées et testées pour le type de métal, l'épaisseur du métal et le type de joint de soudure.
2. Équipement Adéquat : Assurez-vous d'utiliser un équipement de soudage en bon état et bien entretenu.
3. Paramètres Appropriés : Sélectionnez les paramètres de soudage appropriés pour le type de métal, l'épaisseur du métal

7.5- Critères d'acceptation

Les éléments soudés doivent répondre aux exigences spécifiées aux articles 10 et 11.

Les critères d'acceptation relatifs aux défauts des soudures doivent être les suivants, avec référence à l'EN ISO 5817, à l'exception de «Défaut de raccordement» (505) et «Micro manque de fusion» (401) qui n'ont pas à être pris en compte. Toutes les exigences complémentaires concernant la géométrie et le profil de la soudure doivent être prises en compte.

— EXC1 Niveau de qualité D

— EXC2 Niveau de qualité C en général sauf niveau de qualité D pour «Caniveau» (5011, 5012), «Débordement» (506), «Amorçage accidentel» (601) et «Retassure ouverte de cratère» (2025)

— EXC3 Niveau de qualité B

— EXC4 Niveau de qualité B+ qui est le niveau de qualité B avec les exigences complémentaires données dans le Tableau

Tableau9.2 : Exigences complémentaires pour le niveau de qualité

Défaut d'alignement (507)	$h < 0,05 t$, mais max. 2 mm
Retassure à la racine (515)	non autorisée
Exigences supplémentaires pour les tabliers de ponts ^{a), b)}	
Porosité et soufflures (2011, 2012 et 2014)	Seuls les petites soufflures isolées sont acceptables.
Nid de soufflures (localisé) (2013)	Total des soufflures : 2 %
Soufflure allongée, soufflure vermiculaire (2015 et 2016)	Pas de soufflures allongées
Mauvais assemblage en soudure d'angle (617)	Les soudures transversales doivent être contrôlées en totalité, léger réajustage à la racine seulement acceptable localement. $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$, mais max. 1 mm
Caniveau (5011)	a) soudures bout à bout : seulement acceptable localement $h \leq 0,5 \text{ mm}$ b) soudures d'angle : inacceptable si transversal à la direction de la contrainte. Les caniveaux doivent être éliminés par meulage.
Défauts multiples dans une coupe transversale quelconque (n° 4.1)	non autorisés
Inclusions solides (300)	non autorisées
a) Les symboles sont définis dans l'EN ISO 5817.	
b) Ces exigences sont supplémentaires à B+.	

Désignation des défauts		Limites des imperfections ^{a)}
Caniveau (5011, 5012)		non autorisé
Soufflures (2011 à 2014)	Soudures bout à bout	$d \leq 0,1 s$, mais max. 2 mm
	Soudures d'angle	$d \leq 0,1 a$, mais max. 2 mm
Inclusions solides (300)	Soudures bout à bout	$h \leq 0,1 s$, mais max. 1 mm $l \leq s$, mais max. 10 mm
	Soudures d'angle	$h \leq 0,1 a$, mais max. 1 mm $l \leq a$, mais max. 10 mm

ETUDE FONDATION ET ASSEMBLAGE

équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction, les soudures ne présentent généralement pas de redondances importantes et les assemblages constituent donc le point de passage obligé pour les sollicitations régnant dans les différents composants structurels, en cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est en cause.

Il existe plusieurs modes d'assemblages fondamentaux utilisés dans la construction métallique, dont les principaux modes sont :

- Le rivetage
- Le boulonnage
- Le soudage
- Le collage

Il faut noter que parmi les plusieurs avantages de la construction métallique est que la majorité des éléments sont assemblés par boulonnage. Ainsi cet avantage permet d'usiner presque tous les éléments d'une structure dans l'atelier avant de les transporter sur site et de les assembler. Dans ce chapitre on va faire le calcul des connexions boulonnées HR. Il existe deux types de boulons :

- Les boulons ordinaires : non précontraints, ce type d'assemblage, de moins en moins utilisé aujourd'hui, est pratiquement réservé aux constructions provisoires, donc démontables, ou aux constructions sommaires et secondaires.
- Les boulons HR : présente le même aspect qu'un boulon ordinaire, un boulon HR (Haute Résistance) est constitué d'acier à haute limite élastique et comporte une rondelle incorporée à la tête. Donc le coefficient de frottement (μ) entre les éléments d'une connexion joue un rôle prépondérant.

8.11 Assemblage poteau Traverse :

Introduction :

L'assemblage poteau – traverse est réalisé à l'aide d'une platine boulonnée à la traverse et au poteau.

L'assemblage est sollicité par un moment fléchissant, effort tranchant et un effort Normal.

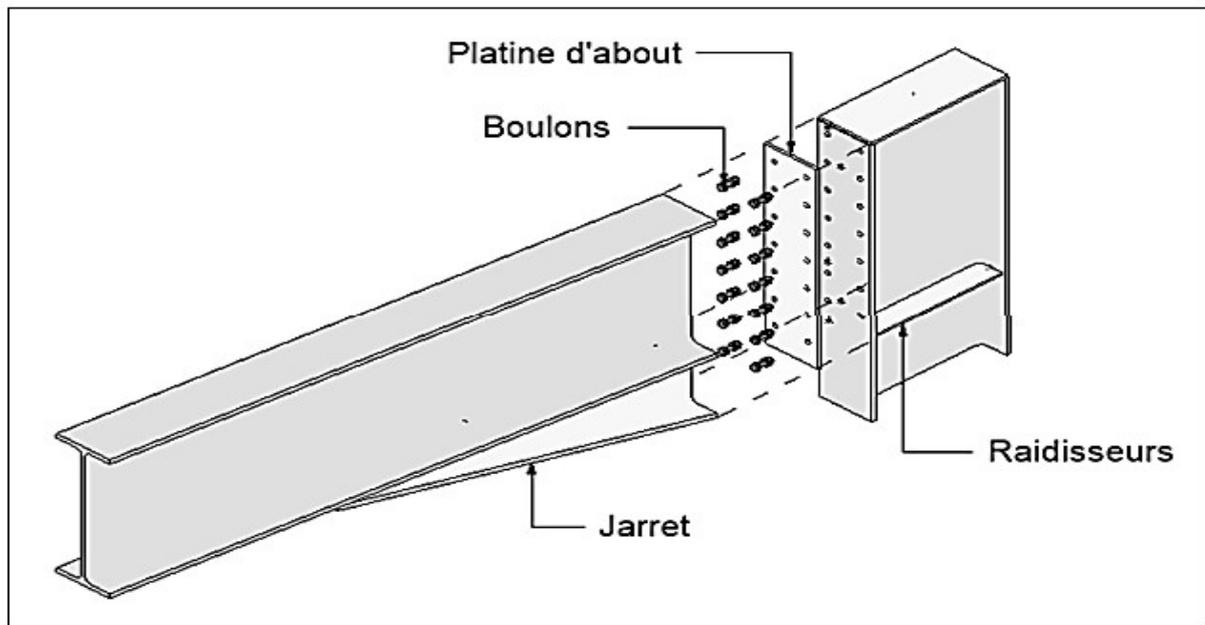


Figure9.1: Représentation de l'assemblage Poteau Traverse

8.3.2- L'effort sollicitant :

$$V_{sd} = -6016.84 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = -2818.24 \text{ daN}$$

$$M_{sd} = 16121.45 \text{ daN.m}$$

On choisit des boulons de classe **HR 8.8**

Nombre de boulons = 16

Nombre de files : $n = 2$

Poteau **IPE 450**

Traverse : **IPE 400**

8.3.3- Détermination des efforts dans les boulons :

Nous considérons uniquement les boulons tendus, c'est à dire les 4 rangées supérieures des Boulons

$$d1 = 360 \text{ mm} , d2 = 440 \text{ mm} , d3 = 520 \text{ mm} , d4 = 600 \text{ mm}$$

$$\sum di^2 = d1^2 + d2^2 + d3^2 + d4^2$$

$$\sum di^2 = 360^2 + 440^2 + 520^2 + 600^2 = 0,954 m^2$$

$$Ni = \frac{Msd \times di}{\sum di^2}$$

$$N1 = \frac{16121.45 \times 0.36}{0,954} = 6083.57 \text{ Dan}$$

$$N2 = \frac{16121.45 \times 0.44}{0,954} = 7435.47 \text{ Dan}$$

$$N3 = \frac{16121.45 \times 0.52}{0,954} = 8787.37 \text{ Dan}$$

$$N4 = \frac{16121.45 \times 0.6}{0,954} = 10139.28 \text{ Dan}$$

8.3.4- Dimensionnement des boulons :

Il faut vérifier que :

$$N1 \leq n \times Fp$$

Avec: $Fp = 0,7 \times fub \times As$

$$As \geq \frac{N1}{0,7 \times fub \times n} = \frac{101392.8}{0,7 \times 800 \times 2} = 90.53 \text{ mm}^2$$

On choisit un boulon M16 classe HR 8.8

$$A = 201 \text{ mm}^2, d0 = 18 \text{ mm}$$

8.4- Condition de résistance des boulons :

8.4.1- Distance entre axe des boulons :

entre axe des boulons

$$P1 \geq 2,2 d0 \quad ; P2 \geq 3 d0$$

$$P1 \geq 2,2 \times 18 = 39.6 \text{ mm} \quad ; P2 \geq 3 \times 18 = 54 \text{ mm}$$

• Pince longitudinale : • Pince transversale :

$$e1 \geq 1,2 d0 \quad e2 \geq 1,5 d0$$

$$e1 \geq 1,2 \times 18 = 21.6 \text{ mm} \quad e2 \geq 1,5 \times 18 = 27 \text{ mm}$$

On prend :

$$e1 = 22 \text{ mm} \quad e2 = 27 \text{ mm}$$

$$P1 = 40 \text{ mm} \quad P2 = 54 \text{ mm}$$

8.4.2- Moment résistant effectif de l'assemblage :

$$Mrd = \frac{Fp \times \sum di^2}{d1} > Msd$$

$$Fp = 0,7 \times fub \times As \Rightarrow Fp = 0,7 \times 800 \times 201 = 112560 \text{ N} \text{ Par boulon}$$

Et $\Rightarrow 11256 \times 2 = 225120 \text{ N}$ pour chaque rangers.

$$Mrd = \frac{225120 \times 0,954}{0,7} = 306806.4 \text{ N.m} = 30680.64 \text{ Dan.m} > Msd = 16121.45 \text{ Dan.m} \Rightarrow \text{vérifiée}$$

8.4.3- Résistance d'un boulon à l'interaction cisaillement-traction :

8.4.3.1- Assemblages résistant au glissement à l'état limite ultime

$$V_{sd} \leq V_R = \frac{K_s \times \mu \times n \times (F_p - 0.8 F_{t.sd})}{\gamma_{Ms}}$$

Avec :

μ = coefficient de frottement des surfaces assemblées.

$K_s = 1$ si les trous sont normaux.

n = nombre d'interfaces de frottement.

$$F_{t.sd} = \frac{N_1}{n} = \frac{10139.28}{2} = 5069.64 \text{ Dan}$$

8.4.3.2- Effort de cisaillement sollicitant par boulon :

$$V_{sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{6016.84}{16} = 376.05 \text{ Dan}$$

8.4.3.3- Effort résistant de l'interaction cisaillement-traction sollicitant par boulant :

$$\Rightarrow VR = \frac{1 \times 2 \times 0.3 \times (5069.64 - (0.8 \times 5069.64))}{1.25} = 486.69 \text{ Dan}$$

$V_{sd} = 376.05 \text{ Dan} < VR = 486.69 \text{ Dan} \Rightarrow$ La condition vérifiée

8.4.3.4- Vérification au poinçonnement :

Il faut vérifier que :

$$B_{prd} > F_{t.sd}$$

B_{prd} : Est la résistance au cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon.

$F_{t.sd}$: L'effort de traction par boulon à l'état limite ultime.

$$B_{prd} = 0,6 \times \pi \times dm \times tp \times \frac{f_{\mu}}{\gamma_{Mb}}$$

tp : Épaisseur de la plaque sous la tête du boulon ou de l'écrou

dm : Diamètre moyen de la tête du boulon ou de l'écrou (plus petite des deux valeurs).

Tableau 9.3:Section de calcul du boulon de la partie lisse et de la partie filetée

d (mm)	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
dm (mm)	18,3	20,5	23,7	24,6	29,1	32,4	34,5	38,8	44,2	49,6
A (mm ²)	78,5	113,1	153,9	201	254,5	314	380	452	572	707
A_s (mm ²)	58	84,3	115	157	192	245	303	353	459	561

$$B_{prd} = 0,6 \times 3,14 \times 2,46 \times 1,9 \times \frac{36}{1,25}$$

$$\Rightarrow B_{prd} = 253,61 \text{ KN}$$

Donc : $B_{prd} = 253607,5 \text{ N} > Ft, = 50696,4 \text{ N} \Rightarrow$ **La condition vérifiée.**

il faut vérifier que :

$$F_{V, sd} \leq F_{b, Rd} = 2,5 \times \alpha \times d \times t_p \times \frac{f_u}{\gamma_{Mb}}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{P_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) \qquad \alpha = \min\left(\frac{22}{54}, \frac{40}{54} - \frac{1}{4}, \frac{800}{360}, 1\right) = 0,4 \text{ mm}$$

$$F_{brd} = 2,5 \times 0,4 \times 1,6 \times 19 \times \frac{36}{1,25}, \quad F_{brd} = 875,52 \text{ KN} > 3,7605 \text{ KN} \Rightarrow$$
 La condition vérifiée.
 Il n'ya pas risque de rupture par pression diamétrale.

8.4.3.5- Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone tendue :

On doit vérifier que :

$$F_{vsd} \leq F_{tRd}$$

Avec :

$$F_{t, Rd} = t_w \times b_{eff} \times \frac{f_y}{\gamma_{m0}}$$

Ou :

$F_{t, Rd}$: Résistance de l'âme du poteau a la traction.

t_w : Épaisseur de l'âme du poteau.

$b_{eff} = P$: Entraxe des rangées de boulons.

$$F_{t, Rd} = 0,8 \times 10 \times \frac{235}{1,1}$$

$$F_{t, Rd} = 1709,1 \text{ KN}$$

$$F_v = \frac{M_{sd}}{h - t_f}$$

$$F_v = \frac{16121,45}{0,36 - 0,0127} = 46419,38 \text{ Dan} = 464,19 \text{ Kn}$$

→ **La Condition est vérifiée**

8.4.3.6- Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone cisailée :

On doit vérifier que :

$$FV \leq V_{Rd}$$

$$V_{Rd} = 0,58 \times f_y \times h \times \frac{t_w}{\gamma_{m0}}$$

$$V_{Rd} = 0,58 \times 235 \times 360 \times \frac{8}{1,1} = 356858,18 \text{ N}$$

$$F_v = \frac{M_{sd}}{h - t_f} = \frac{16121,45}{0,36 - 0,0127} = 46419,378 \text{ Dan} = 464193,78 \text{ N}$$

$$F_v = 464,19 \text{ KN} > 356,82 \text{ KN}$$

⇒ Nécessité de poser une fourrure d'âme de chaque côté épaisseur 16mm

D'ou :

$$t_w = 0.8 + 32 = 40 \text{ mm}$$

$$V_R = 0.58 \times 235 \times 360 \times \frac{40}{1.1} = 1784290.91 \text{ N}$$

$$V_R = 1784.290 \text{ N} > 464.19 \text{ KN}$$



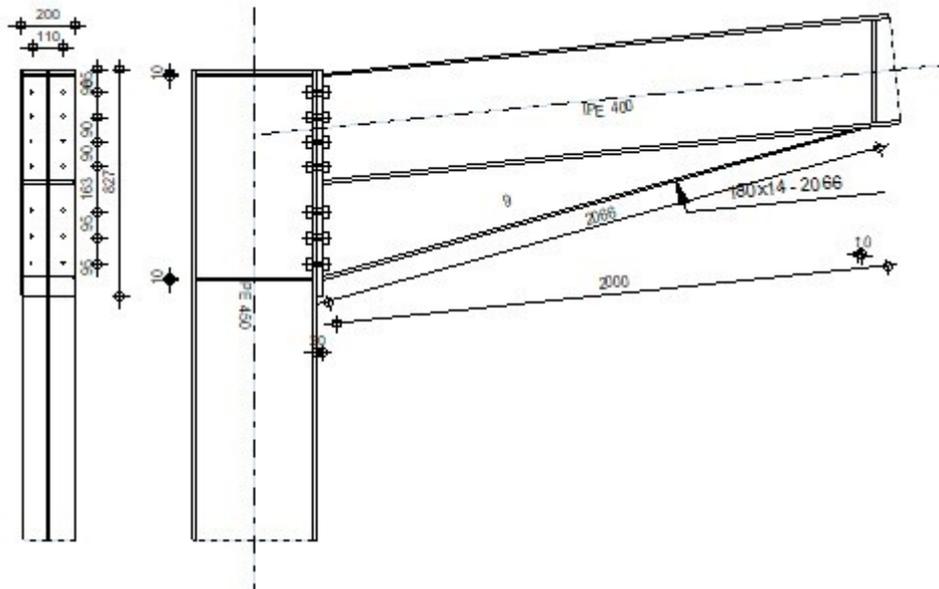
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017

Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



Ratio
0,75



GÉNÉRAL

Assemblage N°: 1
 Nom de l'assemblage : Angle de portique
 Noeud de la structure: 6
 Barres de la structure: 3, 21

GÉOMÉTRIE

POTEAU

Profilé: IPE 450

Barre N°: 3

$\alpha =$	-90,0	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	450	[mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	190	[mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	9	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	15	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	21	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau

Profilé: IPE 450
 $A_c = 98,82$ [cm²] Aire de la section du poteau
 $I_{xc} = 33742,90$ [cm⁴] Moment d'inertie de la section du poteau
 Matériau: ACIER E28
 $f_{yc} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance

POUTRE

Profilé: IPE 400
 Barre N°: 21
 $\alpha = 5,9$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_b = 400$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_f = 180$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wb} = 9$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{fb} = 14$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_b = 21$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $r_b = 21$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_b = 84,46$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{xb} = 23128,40$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre
 Matériau: ACIER E28
 $f_{yb} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance

BOULONS

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon
 $d = 20$ [mm] Diamètre du boulon
 Classe = HR 8.8 Classe du boulon
 $F_{tRd} = 15876,00$ [daN] Résistance du boulon à la traction
 $n_h = 2$ Nombre de colonnes des boulons
 $n_v = 7$ Nombre de rangées des boulons
 $h_1 = 85$ [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
 Ecartement $e_i = 110$ [mm]
 Entraxe $p_i = 90; 90; 90; 163; 95; 95$ [mm]

PLATINE

$h_p = 827$ [mm] Hauteur de la platine
 $b_p = 200$ [mm] Largeur de la platine
 $t_p = 20$ [mm] Epaisseur de la platine
 Matériau: ACIER E28
 $f_{yp} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance

JARRET INFÉRIEUR

$w_d = 180$ [mm] Largeur de la platine
 $t_{fd} = 14$ [mm] Epaisseur de l'aile
 $h_d = 350$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_{wd} = 9$ [mm] Epaisseur de l'âme
 $l_d = 2000$ [mm] Longueur de la platine
 $\alpha = 15,6$ [Deg] Angle d'inclinaison
 Matériau: ACIER
 $f_{ybu} = 23500000,00$ [daN/m²] Résistance

RAIDISSEUR POTEAU

Supérieur

$h_{su} =$	421	[mm]	Hauteur du raidisseur
$b_{su} =$	90	[mm]	Largeur du raidisseur
$t_{hu} =$	10	[mm]	Epaisseur du raidisseur

Matériau: ACIER
E28

$$f_{ysu} = \frac{27500000,0}{0} \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance}$$

Inférieur

$h_{sd} =$	421	[mm]	Hauteur du raidisseur
$b_{sd} =$	90	[mm]	Largeur du raidisseur
$t_{hd} =$	10	[mm]	Epaisseur du raidisseur

Matériau: ACIER
E28

$$f_{ysu} = \frac{27500000,0}{0} \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance}$$

SOUDURES D'ANGLE

$a_w =$	10	[mm]	Soudure âme
$a_f =$	10	[mm]	Soudure semelle
$a_s =$	10	[mm]	Soudure du raidisseur
$a_{fd} =$	10	[mm]	Soudure horizontale

COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

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

EFFORTS

Etat limite: ultime

Cas: 15: 1.35G+1.5Q+1.30S 1*1.35+2*1.50+3*1.30

$M_{b1,Ed} =$	$\frac{29704,7}{1}$	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed} =$	9020,16	[daN]	Effort tranchant dans la poutre droite
$N_{b1,Ed} =$	$\frac{-}{6038,45}$	[daN]	Effort axial dans la poutre droite
$M_{c1,Ed} =$	$\frac{29704,7}{1}$	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poteau inférieur
$V_{c1,Ed} =$	6038,45	[daN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur
$N_{c1,Ed} =$	$\frac{-}{9020,16}$	[daN]	Effort axial dans le poteau inférieur

RÉSULTATS

RÉSISTANCES DE LA POUTRE

COMPRESSION

$A_b =$ 84,46 [cm²] Aire de la section EN1993-1-1:[6.2.4]

$$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$N_{cb,Rd} = \frac{232265,0}{0}$ [daN] Résistance de calcul de la section à la compression EN1993-1-1:[6.2.4]

CISAILLEMENT

$A_{vb} =$ 72,79 [cm²] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$$V_{cb,Rd} = \frac{115571,2}{3} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de calcul de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]}$$

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

FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$$W_{plb} = \frac{1307,1}{5} \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{Facteur plastique de la section} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]}$$

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

$$M_{b,pl,Rd} = \frac{35946,6}{3} \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts)} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]}$$

FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$$W_{pl} = \frac{2555,6}{5} \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{Facteur plastique de la section} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

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

$$M_{cb,Rd} = \frac{70280,5}{1} \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance de calcul de la section à la flexion} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

AILE ET AME EN COMPRESSION

$$M_{cb,Rd} = \frac{70280,5}{1} \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance de calcul de la section à la flexion} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

$$h_f = 738 \text{ [mm]} \quad \text{Distance entre les centres de gravité des ailes} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

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

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{95183,6}{1} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'aile et de l'âme comprimées} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

AME OU AILE DU RENFORT EN COMPRESSION - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$$\beta = 5,9 \text{ [Deg]} \quad \text{Angle entre la platine d'about et la poutre}$$

$$\gamma = 15,6 \text{ [Deg]} \quad \text{Angle d'inclinaison du renfort}$$

$$b_{eff,c,wb} = 281 \text{ [mm]} \quad \text{Largeur efficace de l'âme à la compression} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$A_{vb} = 42,69 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\omega = 0,84 \quad \text{Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{21970762,4}{2} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte de compression maximale dans l'âme} \quad \text{[6.2.6.2.(2)]}$$

$$k_{wc} = 0,90 \quad \text{Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression} \quad \text{[6.2.6.2.(2)]}$$

$$A_s = 17,14 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.4]}$$

$$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0} + A_s f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{c,wb,Rd1} = \frac{517590,1}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

Flambement:

$$d_{wb} = 331 \text{ [mm]} \quad \text{Hauteur de l'âme comprimée} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$\lambda_p = 1,20 \quad \text{Elancement de plaque} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$\rho = 0,70 \quad \text{Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$\lambda_s = 6,22 \quad \text{Elancement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$\chi = 1,00 \quad \text{Coefficient de flambement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1} + A_s \chi f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{c,wb,Rd2} = \frac{430325,3}{7} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

Résistance de l'aile du renfort

$$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0,8 \gamma_{M0})$$

$$F_{c,wb,Rd3} = \frac{83531,2}{5} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'aile du renfort} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

Résistance finale:

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$$

$$F_{c,wb,Rd,low} = \frac{83531,2}{5} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

RÉSISTANCES DU POTEAU

PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$$M_{b1,Ed} = \frac{29704,7}{1} \text{ [daN*m]} \quad \text{Moment fléchissant dans la poutre droite} \quad \text{[5.3.(3)]}$$

$$M_{b2,Ed} = 0,00 \text{ [daN*m]} \quad \text{Moment fléchissant dans la poutre gauche} \quad \text{[5.3.(3)]}$$

PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$M_{b1,Ed} =$	$\frac{29704,7}{1}$	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed} =$	$6038,45$	[daN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed} =$	$0,00$	[daN]	Effort tranchant dans le poteau supérieur	[5.3.(3)]
$z =$	630	[mm]	Bras de levier	[6.2.5]
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$				
$V_{wp,Ed} =$	$\frac{44119,5}{7}$	[daN]	Panneau d'âme en cisaillement	[5.3.(3)]
$A_{vs} =$	$50,84$	[cm ²]	Aire de cisaillement de l'âme du poteau	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$A_{vc} =$	$50,84$	[cm ²]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$d_s =$	787	[mm]	Distance entre les centres de gravités des raidisseurs	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,fc,Rd} =$	$\frac{278,4}{4}$	[daN*m]	Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} =$	$\frac{130,6}{3}$	[daN*m]	Résistance plastique du raidisseur transversal supérieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sti,Rd} =$	$\frac{130,6}{3}$	[daN*m]	Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} \cdot f_{y,wc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd}) / d_s)$				
$V_{wp,Rd} =$	$\frac{73693,2}{5}$	[daN]	Résistance du panneau d'âme au cisaillement	[6.2.6.1]
$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$	$0,60 < 1,00$		vérifié	(0,60)

AME EN COMPRESSION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$t_{wc} =$	9	[mm]	Epaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} =$	260	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} =$	$50,84$	[cm ²]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	$0,88$		Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	$\frac{17586138,7}{3}$	[daN/m ²]	Contrainte de compression maximale dans l'âme	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	$1,00$		Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression	[6.2.6.2.(2)]
$A_s =$	$18,06$	[cm ²]	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$				
$F_{c,wc,Rd1} =$	$\frac{108656,5}{9}$	[daN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wc} =$	379	[mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	$1,13$		Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\rho =$	$0,73$		Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_s =$	$6,73$		Elancement du raidisseur	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$\chi_s =$	$1,00$		Coefficient de flambement du raidisseur	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$				
$F_{c,wc,Rd2} =$	$\frac{92730,2}{5}$	[daN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

Résistance finale:

$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$				
$F_{c,wc,Rd} =$	$\frac{92730,2}{5}$	[daN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

AME EN TRACTION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$t_{wc} =$	9	[mm]	Epaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} =$	260	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} =$	$50,84$	[cm ²]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	$0,88$		Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	$\frac{17586138,7}{3}$	[daN/m ²]	Contrainte de compression maximale dans l'âme	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	$1,00$		Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression	[6.2.6.2.(2)]
$A_s =$	$18,06$	[cm ²]	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$				

$$F_{c,wc,Rd1} = 108578,7 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Flambement:

$$d_{wc} = 379 \text{ [mm]} \quad \text{Hauteur de l'âme comprimée} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_p = 1,13 \quad \text{Elancement de plaque} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\rho = 0,73 \quad \text{Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_s = 6,73 \quad \text{Elancement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$\chi_s = 1,00 \quad \text{Coefficient de flambement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = 92702,3 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wc,Rd,upp} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$$

$$F_{c,wc,Rd,upp} = 92702,3 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - SEMELLE DU POTEAU

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	34	-	40	-	90	210	195	195	195	195	148	148	148
2	34	-	40	-	90	210	184	184	184	180	90	90	90
3	34	-	40	-	90	210	184	184	184	180	90	90	90
4	34	-	40	-	127	210	184	184	184	253	127	127	127
5	34	-	40	-	129	210	184	184	184	258	129	129	129
6	34	-	40	-	95	210	184	184	184	190	95	95	95
7	34	-	40	-	95	210	205	205	205	200	161	161	161

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	39	-	45	-	90	247	232	232	232	214	170	170	170
2	39	-	45	-	90	247	214	214	214	180	90	90	90
3	39	-	45	-	90	247	214	214	214	180	90	90	90
4	39	-	45	-	127	247	214	214	214	253	127	127	127
5	39	-	45	-	129	247	214	214	214	258	129	129	129
6	39	-	45	-	95	247	214	214	214	190	95	95	95
7	39	-	45	-	95	247	214	214	214	219	154	154	154

m – Distance du boulon de l'âme

m_x – Distance du boulon de l'aile de la poutre

e – Pince entre le boulon et le bord extérieur

e_x – Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal

p – Entraxe des boulons

l_{eff,cp} – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires

l_{eff,nc} – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires

l_{eff,1} – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1

l_{eff,2} – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2

l_{eff,cp,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires

l_{eff,nc,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires

l_{eff,1,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1

l_{eff,2,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE À LA COMPRESSION

$$N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{cb,Rd} 2 F_{c,wb,Rd,low}, 2 F_{c,wc,Rd,low}, 2 F_{c,wc,Rd,upp})$$

$$N_{j,Rd} = 167062,5 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la compression} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,04 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,04)$$

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE À LA FLEXION

$F_{t,Rd} = 15876,0$ [daN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$B_{p,Rd} = 26749,7$ [daN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$ – résistance de la semelle du poteau à la flexion

$F_{t,wc,Rd}$ – résistance de l'âme du poteau à la traction

$F_{t,ep,Rd}$ – résistance de la platine fléchie à la flexion

$F_{t,wb,Rd}$ – résistance de l'âme à la traction

$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$ [6.2.6.4] , [Tab.6.2]

$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$ [6.2.6.3.(1)]

$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$ [6.2.6.5] , [Tab.6.2]

$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$ [6.2.6.8.(1)]

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1

F_{t1,Rd,comp} - Formule	F_{t1,Rd,comp}	Composant
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	25049,15	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(1)} = 25049,15$	25049,15	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(1)} = 46587,42$	46587,42	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(1)} = 31752,00$	31752,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 54944,60$	54944,60	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 53499,56$	53499,56	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta = 73693,25$	73693,25	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} = 92730,25$	92730,25	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} = 95183,61$	95183,61	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} = 83531,25$	83531,25	Ame de la poutre - compression

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2

F_{t2,Rd,comp} - Formule	F_{t2,Rd,comp}	Composant
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	16566,58	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(2)} = 24617,34$	24617,34	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(2)} = 44345,28$	44345,28	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(2)} = 30810,78$	30810,78	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 50562,56$	50562,56	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 53499,56$	53499,56	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 73693,25 - 25049,15$	48644,10	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 92730,25 - 25049,15$	67681,10	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 95183,61 - 25049,15$	70134,46	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 83531,25 - 25049,15$	58482,10	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 41615,74 - 25049,15$	16566,58	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 54959,02 - 25049,15$	29909,86	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 50040,18 - 25049,15$	24991,03	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 61590,82 - 25049,15$	36541,67	Ame de la poutre - traction - groupe

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 3

F_{t3,Rd,comp} - Formule	F_{t3,Rd,comp}	Composant
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	14930,19	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(3)} = 24617,34$	24617,34	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(3)} = 44345,28$	44345,28	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(3)} = 30810,78$	30810,78	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 50562,56$	50562,56	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 53499,56$	53499,56	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 73693,25 - 41615,74$	32077,51	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 92730,25 - 41615,74$	51114,51	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 95183,61 - 41615,74$	53567,88	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 83531,25 - 41615,74$	41915,51	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 31496,78 - 16566,58$	14930,19	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 43503,74 - 16566,58$	26937,16	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 57364,12 - 41615,74$	15748,39	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 69716,93 - 41615,74$	28101,19	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 44468,13 - 16566,58$	27901,55	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 42570,00 - 16566,58$	26003,42	Ame de la poutre - traction - groupe

F_{t3,Rd,comp} - Formule	F_{t3,Rd,comp}	Composant
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 72274,25 - 41615,74$	30658,51	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 82875,82 - 41615,74$	41260,08	Ame de la poutre - traction - groupe

Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t3,Rd} = F_{t2,Rd} h_3/h_2$$

$$F_{t3,Rd} = 14018,5 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4

F_{t4,Rd,comp} - Formule	F_{t4,Rd,comp}	Composant
$F_{t4,Rd} = \text{Min}(F_{t4,Rd,comp})$	18058,96	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(4)} = 24617,34$	24617,34	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(4)} = 44345,28$	44345,28	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(4)} = 30810,78$	30810,78	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 50562,56$	50562,56	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 53499,56$	53499,56	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{ti,Rd} = 73693,25 - 55634,29$	18058,96	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 92730,25 - 55634,29$	37095,96	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 95183,61 - 55634,29$	39549,33	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 83531,25 - 55634,29$	27896,96	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 37883,62 - 14018,55$	23865,07	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 50913,89 - 14018,55$	36895,34	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 53632,01 - 30585,13$	23046,88	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 66549,02 - 30585,13$	35963,89	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 79499,36 - 55634,29$	23865,07	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 84820,25 - 55634,29$	29185,96	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 46996,90 - 14018,55$	32978,35	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 51202,25 - 14018,55$	37183,70	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 69230,97 - 30585,13$	38645,84	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 72487,25 - 30585,13$	41902,12	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 97037,09 - 55634,29$	41402,80	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 112793,07 - 55634,29$	57158,78	Ame de la poutre - traction - groupe

Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 15031,7 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t4,Rd} = F_{t2,Rd} h_4/h_2$$

$$F_{t4,Rd} = 11470,5 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 5

F_{t5,Rd,comp} - Formule	F_{t5,Rd,comp}	Composant
$F_{t5,Rd} = \text{Min}(F_{t5,Rd,comp})$	6588,45	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(5)} = 24617,34$	24617,34	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(5)} = 44345,28$	44345,28	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(5)} = 30810,78$	30810,78	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 50562,56$	50562,56	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 53499,56$	53499,56	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^4 F_{ti,Rd} = 73693,25 - 67104,80$	6588,45	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 92730,25 - 67104,80$	25625,45	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 95183,61 - 67104,80$	28078,81	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 83531,25 - 67104,80$	16426,45	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 44707,92 - 11470,52$	33237,41	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 58149,47 - 11470,52$	46678,95	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 60456,31 - 25489,07$	34967,25	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 72194,68 - 25489,07$	46705,61	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 76204,70 - 42055,65$	34149,05	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 82931,15 - 42055,65$	40875,50	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 102072,05 - 67104,80$	34967,25	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 95141,00 - 67104,80$	28036,20	Ame du poteau - traction - groupe

F_{t5,Rd,comp} - Formule	F_{t5,Rd,comp}	Composant
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 49698,88 - 11470,52$	38228,37	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 60425,75 - 11470,52$	48955,23	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 71932,95 - 25489,07$	46443,88	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 81710,75 - 25489,07$	56221,68	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 94167,01 - 42055,65$	52111,36	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 102995,75 - 42055,65$	60940,10	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 121973,13 - 67104,80$	54868,33	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 143301,57 - 67104,80$	76196,77	Ame de la poutre - traction - groupe

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 6

F_{t6,Rd,comp} - Formule	F_{t6,Rd,comp}	Composant
$F_{t6,Rd} = \text{Min}(F_{t6,Rd,comp})$	0,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(6)} = 24617,34$	24617,34	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(6)} = 44345,28$	44345,28	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(6)} = 30810,78$	30810,78	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(6)} = 50562,56$	50562,56	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 53499,56$	53499,56	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^5 F_{ti,Rd} = 73693,25 - 73693,25$	0,00	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^5 F_{tj,Rd} = 92730,25 - 73693,25$	19037,00	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^5 F_{tj,Rd} = 95183,61 - 73693,25$	21490,36	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^5 F_{tj,Rd} = 83531,25 - 73693,25$	9838,00	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 39195,99 - 6588,45$	32607,54	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 52360,54 - 6588,45$	45772,09	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 61331,22 - 18058,96$	43272,26	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 72872,25 - 18058,96$	54813,28	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 77079,61 - 32077,51$	45002,10	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 83443,80 - 32077,51$	51366,29	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 92828,00 - 48644,10$	44183,90	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 91412,68 - 48644,10$	42768,59	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 118695,35 - 73693,25$	45002,10	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 100494,13 - 73693,25$	26800,88	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 47516,52 - 6588,45$	40928,07	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 52976,00 - 6588,45$	46387,55	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 72279,36 - 18058,96$	54220,39	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 82893,25 - 18058,96$	64834,29	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 94513,42 - 32077,51$	62435,91	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 104178,25 - 32077,51$	72100,74	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 116747,49 - 48644,10$	68103,39	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 125463,25 - 48644,10$	76819,15	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 144553,61 - 73693,25$	70860,36	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 165769,07 - 73693,25$	92075,82	Ame de la poutre - traction - groupe

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

TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h _j	F _{tj,Rd}	F _{t,fc,Rd}	F _{t,wc,Rd}	F _{t,ep,Rd}	F _{t,wb,Rd}	F _{t,Rd}	B _{p,Rd}
1	675	25049,15	25049,15	46587,42	31752,00	54944,60	31752,00	53499,56
2	585	16566,58	24617,34	44345,28	30810,78	50562,56	31752,00	53499,56
3	495	14018,55	24617,34	44345,28	30810,78	50562,56	31752,00	53499,56
4	405	11470,52	24617,34	44345,28	30810,78	50562,56	31752,00	53499,56
5	242	6588,45	24617,34	44345,28	30810,78	50562,56	31752,00	53499,56
6	147	-	24617,34	44345,28	30810,78	50562,56	31752,00	53499,56
7	52	-	25455,38	48648,08	30810,78	50562,56	31752,00	53499,56

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

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

$$M_{j,Rd} = \frac{39790,1}{4} \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,75 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,75)$$

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT

$\alpha_v =$	0,60	Coefficient pour le calcul de $F_{v,Rd}$	[Tableau 3.4]
$\beta_{Lf} =$	0,92	Coefficient réducteur pour les assemblages longs	[3.8]
$F_{v,Rd} =$	$12475,7$ 7	[daN] Résistance d'un boulon au cisaillement	[Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,max} =$	$15876,0$ 0	[daN] Résistance d'un boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,int} =$	$23652,0$ 0	[daN] Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,ext} =$	$23652,0$ 0	[daN] Résistance du boulon de rive en pression diamétrale	[Tableau 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	31752,00	-862,64	25049,15	18700,06	17837,42	14939,32
2	31752,00	-862,64	16566,58	12367,53	11504,89	18493,79
3	31752,00	-862,64	14018,55	10465,33	9602,70	19561,50
4	31752,00	-862,64	11470,52	8563,14	7700,50	20629,21
5	31752,00	-862,64	6588,45	4918,50	4055,87	22674,96
6	31752,00	-862,64	0,00	0,00	-862,64	24951,53
7	31752,00	-862,64	0,00	0,00	-862,64	24951,53

$F_{tj,Rd,N}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

$F_{tj,Ed,N}$ – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

$F_{tj,Rd,M}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

$F_{tj,Ed,M}$ – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

$F_{tj,Ed}$ – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

$F_{vj,Rd}$ – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$

$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$

$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$

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

$V_{j,Rd} = n_h \sum_1^n F_{vj,Rd}$

[Tableau 3.4]

$V_{j,Rd} =$ $146201,8$
5 [daN] Résistance de l'assemblage au cisaillement

[Tableau 3.4]

$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$

0,06 < 1,00

vérifié

(0,06)

RÉSISTANCE DES SOUDURES

$A_w =$	225,91	[cm ²]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
$A_{wy} =$	92,16	[cm ²]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	133,75	[cm ²]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	146106,68	[cm ⁴]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} =$	$5773115,61$	[daN/m ²]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(6)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	$5489287,03$	[daN/m ²]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
$\tau_{\parallel} =$	674383,10	[daN/m ²]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,85		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp,max}^2 + 3*(\tau_{\perp,max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$			$11546231,21 <$ $38117647,06$	vérifié (0,30)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$			$11040537,41 <$ $38117647,06$	vérifié (0,29)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u / \gamma_{M2}$			$5773115,61 <$ 29160000,00	vérifié (0,20)

RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

$t_{wash} =$	4	[mm]	Épaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	14	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	20	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	60	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$K_{10} =$	7	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	h _j	k ₃	k ₄	k ₅	k _{eff,j}	k _{eff,j} h _j	k _{eff,j} h _j ²
					Somme	29,07	1453,54
1	675	2	11	20	1	9,31	628,53
2	585	1	7	11	1	5,29	309,58
3	495	1	7	11	1	4,48	221,67
4	405	2	9	15	1	4,88	197,59
5	242	2	10	15	1	2,96	71,72
6	147	1	7	11	1	1,39	20,51
7	52	3	12	18	1	0,76	3,95

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

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

$$z_{eq} = 500 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 6 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 50,8 / 4 \quad [cm^2] \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 1,00 \quad \text{Paramètre de transformation} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 500 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 4 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en cisaillement} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en compression} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 12188396,8 / 0 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,36 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = 8979776,2 / 5 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

Classification de l'assemblage par rigidité.

$$S_{j,rig} = 3220550,5 / 4 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 201284,41 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

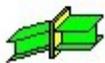
S_{j,ini} B S_{j,rig} RIGIDE

COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

PANNEAU D'AME DU POTEAU EN CISAILLEMENT

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio
0,75



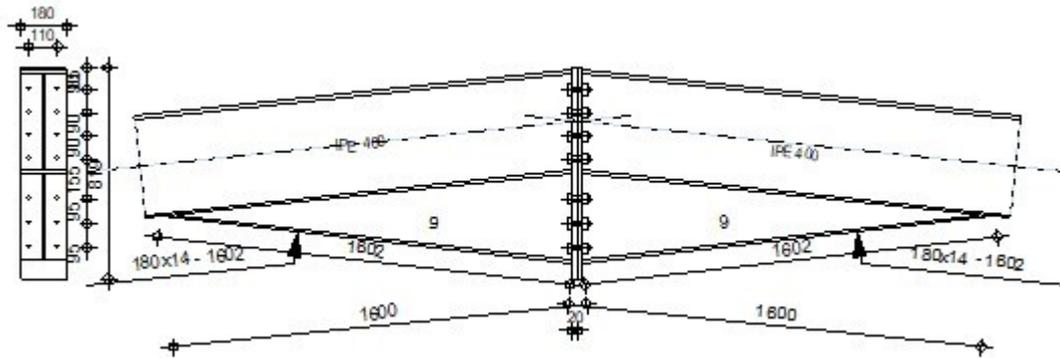
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017

Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



Ratio
0,32



GÉNÉRAL

Assemblage N°: 2
 Nom de l'assemblage : Poutre - poutre
 Noeud de la structure: 38
 Barres de la structure: 21, 22

GÉOMÉTRIE

GAUCHE

POUTRE

Profilé: IPE 400
 Barre N°: 21
 $\alpha = -174,1$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_{bl} = 400$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_{tbl} = 180$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wbl} = 9$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{tbl} = 14$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_{bl} = 21$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_{bl} = 84,46$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{xbl} = 23128,40$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: ACIER
 E28

$f_{yb} = 27500000,0$ [daN/m²] Résistance

DROITE

POUTRE

Profilé: IPE 400
 Barre N°: 22
 $\alpha = -5,9$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_{br} = 400$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_{tbr} = 180$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wbr} = 9$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{tbr} = 14$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_{br} = 21$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_{br} = 84,46$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{xbr} = 23128,40$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: ACIER
 E28

$f_{yb} = 27500000,0$ [daN/m²] Résistance

BOULONS

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

$d =$	20 [mm]	Diamètre du boulon
Classe =	HR 8.8	Classe du boulon
$F_{tRd} =$	15876,00 [daN]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	2	Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	7	Nombre de rangées des boulons
$h_1 =$	85 [mm]	Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
Ecartement e_i =	110 [mm]	
Entraxe $p_i =$	90;90;90;155;95;95 [mm]	

PLATINE

$h_{pr} =$	819 [mm]	Hauteur de la platine
$b_{pr} =$	180 [mm]	Largeur de la platine
$t_{pr} =$	20 [mm]	Épaisseur de la platine

Matériau: ACIER E28

$f_{ypr} =$ 27500000,00 [daN/m²] Résistance

JARRET INFÉRIEUR

$w_{rd} =$	180 [mm]	Largeur de la platine
$t_{frd} =$	14 [mm]	Épaisseur de l'aile
$h_{rd} =$	350 [mm]	Hauteur de la platine
$t_{wrd} =$	9 [mm]	Épaisseur de l'âme
$l_{rd} =$	1600 [mm]	Longueur de la platine
$\alpha_d =$	6,6 [Deg]	Angle d'inclinaison

Matériau: ACIER E28

$f_{ybu} =$ 27500000,00 [daN/m²] Résistance

SOUDURES D'ANGLE

$a_w =$	10 [mm]	Soudure âme
$a_f =$	10 [mm]	Soudure semelle
$a_{fd} =$	10 [mm]	Soudure horizontale

COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

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

EFFORTS

Etat limite: ultime

Cas: 15: 1.35G+1.5Q+1.30S 1*1.35+2*1.50+3*1.30

$M_{b1,Ed} =$	14817,56 [daN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed} =$	-0,07 [daN]	Effort tranchant dans la poutre droite
$N_{b1,Ed} =$	10327,84 [daN]	Effort axial dans la poutre droite

RÉSULTATS

RÉSISTANCES DE LA POUTRE

COMPRESSION

$$A_b = 84,46 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.4]}$$

$$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$$N_{cb,Rd} = 232265,0 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de calcul de la section à la compression} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.4]}$$

CISAILLEMENT

$$A_{wb} = 72,79 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$V_{cb,Rd} = A_{wb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$$V_{cb,Rd} = 115571,2 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de calcul de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]}$$

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

FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$$W_{plb} = 1307,1 \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{Facteur plastique de la section} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]}$$

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

$$M_{b,pl,Rd} = 35946,6 \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts)} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]}$$

FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$$W_{pl} = 2528,8 \text{ [cm}^3\text{]} \quad \text{Facteur plastique de la section} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

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

$$M_{cb,Rd} = 69543,8 \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance de calcul de la section à la flexion} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

AILE ET AME EN COMPRESSION

$$M_{cb,Rd} = 69543,8 \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance de calcul de la section à la flexion} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

$$h_f = 739 \text{ [mm]} \quad \text{Distance entre les centres de gravité des ailes} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

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

$$F_{c,fb,Rd} = 94158,4 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'aile et de l'âme comprimées} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

AME OU AILE DU RENFORT EN COMPRESSION - NIVEAU DE L'AILE INFÉRIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$$\beta = 5,9 \text{ [Deg]} \quad \text{Angle entre la platine d'about et la poutre}$$

$$\gamma = 6,6 \text{ [Deg]} \quad \text{Angle d'inclinaison du renfort}$$

$$b_{eff,c,wb} = 263 \text{ [mm]} \quad \text{Largeur efficace de l'âme à la compression} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$A_{wb} = 42,69 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\omega = 0,86 \quad \text{Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$\sigma_{com,Ed} = 0,00 \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte de compression maximale dans l'âme} \quad \text{[6.2.6.2.(2)]}$$

$$k_{wc} = 1,00 \quad \text{Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression} \quad \text{[6.2.6.2.(2)]}$$

$$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{c,wb,Rd1} = 243321,0 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

Flambement:

$$d_{wb} = 331 \text{ [mm]} \quad \text{Hauteur de l'âme comprimée} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$\lambda_p = 1,16 \quad \text{Elancement de plaque} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$\rho = 0,71 \quad \text{Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{c,wb,Rd2} = 173963,1 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

Résistance de l'aile du renfort

$$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0,8 \gamma_{M0})$$

$$F_{c,wb,Rd3} = 83531,2 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'aile du renfort} \quad \text{[6.2.6.7.(1)]}$$

Résistance finale:

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$$

$$F_{c,wb,Rd,low} = 83531,2 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad \text{[6.2.6.2.(1)]}$$

PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	39	-	35	-	95	247	221	221	221	219	168	168	168
2	39	-	35	-	95	247	201	201	201	190	95	95	95
3	39	-	35	-	125	247	201	201	201	250	125	125	125
4	39	-	35	-	123	247	201	201	201	245	123	123	123
5	39	-	35	-	90	247	201	201	201	180	90	90	90
6	39	-	35	-	90	247	201	201	201	180	90	90	90
7	39	-	35	-	90	247	201	201	201	214	146	146	146

m	- Distance du boulon de l'âme
m _x	- Distance du boulon de l'aile de la poutre
e	- Pince entre le boulon et le bord extérieur
e _x	- Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
p	- Entraxe des boulons
l _{eff,cp}	- Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires
l _{eff,nc}	- Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires
l _{eff,1}	- Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1
l _{eff,2}	- Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2
l _{eff,cp,g}	- Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
l _{eff,nc,g}	- Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires
l _{eff,1,g}	- Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1
l _{eff,2,g}	- Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE À LA COMPRESSION

$$N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{ob,Rd} 2 F_{c,wb,Rd,low})$$

$$N_{j,Rd} = \frac{167062,5}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la compression} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,06 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,06)$$

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE À LA FLEXION

$$F_{t,Rd} = \frac{15876,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$B_{p,Rd} = \frac{36643,5}{4} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

F_{t,fc,Rd} – résistance de la semelle du poteau à la flexion

F_{t,wc,Rd} – résistance de l'âme du poteau à la traction

F_{t,ep,Rd} – résistance de la platine fléchie à la flexion

F_{t,wb,Rd} – résistance de l'âme à la traction

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd}) \quad [6.2.6.4] , [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd}) \quad [6.2.6.5] , [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.8.(1)]$$

RÉSISTANCE DE LA RANGÉE DE BOULONS N° 1

F _{t1,Rd,comp} - Formule	F _{t1,Rd,comp}	Composant
F _{t1,Rd} = Min (F _{t1,Rd,comp})	31275,31	Résistance d'une rangée de boulon
F _{t,ep,Rd(1)} = 31275,31	31275,31	Platine d'about - traction
F _{t,wb,Rd(1)} = 52250,79	52250,79	Ame de la poutre - traction
B _{p,Rd} = 73287,07	73287,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
F _{c,fb,Rd} = 94158,48	94158,48	Aile de la poutre - compression

RÉSISTANCE DE LA RANGÉE DE BOULONS N° 2

F _{t2,Rd,comp} - Formule	F _{t2,Rd,comp}	Composant
F _{t2,Rd} = Min (F _{t2,Rd,comp})	18034,35	Résistance d'une rangée de boulon
F _{t,ep,Rd(2)} = 29823,28	29823,28	Platine d'about - traction
F _{t,wb,Rd(2)} = 47606,31	47606,31	Ame de la poutre - traction
B _{p,Rd} = 73287,07	73287,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
F _{c,fb,Rd} - ∑ ₁ ¹ F _{ij,Rd} = 94158,48 - 31275,31	62883,17	Aile de la poutre - compression

F_{t2,Rd,comp} - Formule	F_{t2,Rd,comp}	Composant
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 49309,66 - 31275,31$	18034,35	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 62148,88 - 31275,31$	30873,57	Ame de la poutre - traction - groupe

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 3

F_{t3,Rd,comp} - Formule	F_{t3,Rd,comp}	Composant
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	24182,14	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(3)} = 29823,28$	29823,28	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 47606,31$	47606,31	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 73287,07$	73287,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 94158,48 - 49309,66$	44848,82	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 46146,14 - 18034,35$	28111,79	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 52030,00 - 18034,35$	33995,65	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 73491,81 - 49309,66$	24182,14	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 91711,38 - 49309,66$	42401,72	Ame de la poutre - traction - groupe

Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = \frac{22577,7}{2} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t3,Rd} = F_{t2,Rd} h_3/h_2$$

$$F_{t3,Rd} = \frac{15121,6}{9} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4

F_{t4,Rd,comp} - Formule	F_{t4,Rd,comp}	Composant
$F_{t4,Rd} = \text{Min}(F_{t4,Rd,comp})$	29727,13	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(4)} = 29823,28$	29823,28	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 47606,31$	47606,31	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 73287,07$	73287,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 94158,48 - 64431,35$	29727,13	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 48179,44 - 15121,69$	33057,75	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 58533,75 - 15121,69$	43412,06	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 70143,43 - 33156,04$	36987,39	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 81001,25 - 33156,04$	47845,21	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 97489,10 - 64431,35$	33057,75	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 120682,63 - 64431,35$	56251,28	Ame de la poutre - traction - groupe

Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = \frac{15482,3}{2} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t4,Rd} = F_{t2,Rd} h_4/h_2$$

$$F_{t4,Rd} = \frac{10369,4}{7} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 5

F_{t5,Rd,comp} - Formule	F_{t5,Rd,comp}	Composant
$F_{t5,Rd} = \text{Min}(F_{t5,Rd,comp})$	19357,66	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(5)} = 29823,28$	29823,28	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 47606,31$	47606,31	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 73287,07$	73287,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 94158,48 - 74800,82$	19357,66	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 45591,60 - 10369,47$	35222,13	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 50256,25 - 10369,47$	39886,78	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 69773,74 - 25491,16$	44282,58	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 79818,75 - 25491,16$	54327,59	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 91737,74 - 43525,51$	48212,23	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 102286,25 - 43525,51$	58760,74	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 119083,40 - 74800,82$	44282,58	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 141967,63 - 74800,82$	67166,81	Ame de la poutre - traction - groupe

Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t5,Rd} = F_{t1,Rd} h_5/h_1$$

$$F_{t5,Rd} = \frac{11362,4}{1} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t5,Rd} = F_{t2,Rd} h_5/h_2$$

$$F_{t5,Rd} = \frac{7610,1}{1} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 6

F_{t6,Rd,comp} - Formule	F_{t6,Rd,comp}	Composant
$F_{t6,Rd} = \text{Min}(F_{t6,Rd,comp})$	11747,55	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(6)} = 29823,28$	29823,28	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(6)} = 47606,31$	47606,31	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 73287,07$	73287,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 94158,48 - 82410,93$	11747,55	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 43188,60 - 7610,11$	35578,49	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 42570,00 - 7610,11$	34959,89	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 67185,90 - 17979,57$	49206,33	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 71541,25 - 17979,57$	53561,68	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 91368,04 - 33101,27$	58266,78	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 101103,75 - 33101,27$	68002,48	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 113332,04 - 51135,62$	62196,42	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 123571,25 - 51135,62$	72435,63	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 140677,71 - 82410,93$	58266,78	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 163252,63 - 82410,93$	80841,70	Ame de la poutre - traction - groupe

Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t6,Rd} = F_{t1,Rd} h_6/h_1$$

$$F_{t6,Rd} = \frac{7242,5}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t6,Rd} = F_{t2,Rd} h_6/h_2$$

$$F_{t6,Rd} = \frac{4850,7}{5} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 7

F_{t7,Rd,comp} - Formule	F_{t7,Rd,comp}	Composant
$F_{t7,Rd} = \text{Min}(F_{t7,Rd,comp})$	6896,80	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(7)} = 29823,28$	29823,28	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(7)} = 47606,31$	47606,31	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 73287,07$	73287,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^6 F_{ij,Rd} = 94158,48 - 87261,68$	6896,80	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(7+6)} - \sum_6^6 F_{ij,Rd} = 47303,09 - 4850,75$	42452,34	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(7+6)} - \sum_6^6 F_{ij,Rd} = 55730,65 - 4850,75$	50879,90	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(7+6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 68897,39 - 12460,86$	56436,54	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(7+6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 77015,65 - 12460,86$	64554,79	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(7+6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 92894,69 - 22830,33$	70064,37	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(7+6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 105986,90 - 22830,33$	83156,58	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 117076,84 - 37952,02$	79124,82	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 135549,40 - 37952,02$	97597,39	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(7+6+5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 139040,83 - 55986,37$	83054,46	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(7+6+5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 158016,90 - 55986,37$	102030,54	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(7+6+5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 166386,50 - 87261,68$	79124,82	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(7+6+5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 197698,29 - 87261,68$	110436,61	Ame de la poutre - traction - groupe

Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t7,Rd} = F_{t1,Rd} h_7/h_1$$

$$F_{t7,Rd} = \frac{3122,5}{9} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t7,Rd} = F_{t2,Rd} h_7/h_2$$

$$F_{t7,Rd} = \frac{2091,3}{9} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h _j	F _{tj,Rd}	F _{t,fc,Rd}	F _{t,wc,Rd}	F _{t,ep,Rd}	F _{t,wb,Rd}	F _{t,Rd}	B _{p,Rd}
1	683	31275,31	-	-	31275,31	52250,79	31752,00	73287,07

Nr	h _j	F _{tj,Rd}	F _{t,fc,Rd}	F _{t,wc,Rd}	F _{t,ep,Rd}	F _{t,wb,Rd}	F _{t,Rd}	B _{p,Rd}
2	588	18034,35	-	-	29823,28	47606,31	31752,00	73287,07
3	493	15121,69	-	-	29823,28	47606,31	31752,00	73287,07
4	338	10369,47	-	-	29823,28	47606,31	31752,00	73287,07
5	248	7610,11	-	-	29823,28	47606,31	31752,00	73287,07
6	158	4850,75	-	-	29823,28	47606,31	31752,00	73287,07
7	68	2091,39	-	-	29823,28	47606,31	31752,00	73287,07

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

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

$$M_{j,Rd} = \frac{45740,1}{2} \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,32 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,32)$$

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,92 \quad \text{Coefficient réducteur pour les assemblages longs} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = \frac{12502,9}{1} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance d'un boulon au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = \frac{15876,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance d'un boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = \frac{32400,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = \frac{32400,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon de rive en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

Nr	F _{tj,Rd,N}	F _{tj,Ed,N}	F _{tj,Rd,M}	F _{tj,Ed,M}	F _{tj,Ed}	F _{vj,Rd}
1	31752,00	-1475,41	31275,31	10131,67	8656,26	20136,45
2	31752,00	-1475,41	18034,35	5842,25	4366,84	22549,36
3	31752,00	-1475,41	15121,69	4898,69	3423,28	23080,14
4	31752,00	-1475,41	10369,47	3359,20	1883,79	23946,14
5	31752,00	-1475,41	7610,11	2465,30	989,90	24448,98
6	31752,00	-1475,41	4850,75	1571,41	96,00	24951,82
7	31752,00	-1475,41	2091,39	677,51	-797,90	25005,82

F_{tj,Rd,N} – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

F_{tj,Ed,N} – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

F_{tj,Rd,M} – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

F_{tj,Ed,M} – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

F_{tj,Ed} – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

F_{vj,Rd} – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum_{i=1}^n F_{vj,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$V_{j,Rd} = \frac{164118,7}{1} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

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

RÉSISTANCE DES SOUDURES

$$A_w = 226,00 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de toutes les soudures} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 92,16 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire des soudures horizontales} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wz} = 133,84 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire des soudures verticales} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$I_{wy} = 146256,93 \text{ [cm}^4\text{]} \quad \text{Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} = \frac{-}{2907178,72} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte normale dans la soudure} \quad [4.5.3.2(6)]$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{-}{2659984,81} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contraintes dans la soudure verticale} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{-}{-5,00} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte tangentielle} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\beta_w = 0,85 \quad \text{Coefficient de corrélation} \quad [4.5.3.2(7)]$$

$\sqrt{[\sigma_{\perp\max}^2 + 3*(\tau_{\perp\max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	5814357,45 < 38117647,06	vérifié	(0,15)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	5319969,63 < 38117647,06	vérifié	(0,14)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	2907178,72 < 29160000,00	vérifié	(0,10)

RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

$t_{\text{wash}} =$	4	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{\text{head}} =$	14	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{\text{nut}} =$	20	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	59	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$K_{10} =$	7	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	h _j	k ₃	k ₄	k ₅	k _{eff,j}	k _{eff,j} h _j	k _{eff,j} h _j ²
					Somme	88,88	4444,44
1	683	∞	∞	20	4	27,29	1864,23
2	588	∞	∞	11	3	17,94	1055,23
3	493	∞	∞	15	4	17,31	853,51
4	338	∞	∞	14	3	11,75	397,48
5	248	∞	∞	11	3	7,35	182,38
6	158	∞	∞	11	3	4,68	74,10
7	68	∞	∞	17	4	2,57	17,51

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

$$z_{\text{eq}} = \sum_j k_{\text{eff},j} h_j^2 / \sum_j k_{\text{eff},j} h_j \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$z_{\text{eq}} = 500 \quad [\text{mm}] \quad \text{Bras de levier équivalent}$$

$$k_{\text{eq}} = \sum_j k_{\text{eff},j} h_j / z_{\text{eq}} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$k_{\text{eq}} = 18 \quad [\text{mm}] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons}$$

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

$$S_{j,\text{ini}} = 93333250,5 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,\text{ini}} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 93333250,5 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

Classification de l'assemblage par rigidité.

$$S_{j,\text{rig}} = 3220550,5 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,\text{pin}} = 201284,41 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,\text{ini}} \geq S_{j,\text{rig}} \quad \text{RIGIDE}$$

COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

AILE ET AME DE LA POUTRE EN COMPRESSION

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio
0,32

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017

Calcul du Pied de Poteau encastré

Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



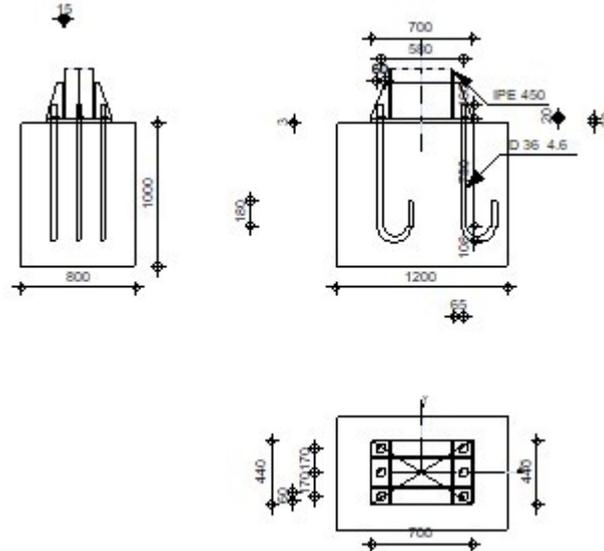
Ratio
0,56



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2017

Calcul du Pied de Poteau encastré

Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



GÉNÉRAL

Assemblage N°:	3
Nom de l'assemblage :	Pied de poteau encastré
Noeud de la structure:	5
Barres de la structure:	3

GÉOMÉTRIE

POTEAU

Profilé:	IPE 450
Barre N°:	3
$L_c =$	8,00 [m] Longueur du poteau
$\alpha =$	0,0 [Deg] Angle d'inclinaison
$h_c =$	450 [mm] Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	190 [mm] Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	9 [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	15 [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	21 [mm] Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	98,82 [cm ²] Aire de la section du poteau
$I_{yc} =$	33742,90 [cm ⁴] Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: ACIER
E28

$f_{yc} =$ 27500000,0 [daN/m²] Résistance

$f_{uc} =$ 40500000,0 [daN/m²] Résistance ultime du matériau

PLATINE DE PRESCELLEMENT

$l_{pd} = 700$ [mm] Longueur
 $b_{pd} = 440$ [mm] Largeur
 $t_{pd} = 30$ [mm] Epaisseur

Matériau: ACIER E28

$f_{ypd} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance
 $f_{upd} = 40500000,00$ [daN/m²] Résistance ultime du matériau

ANCRAGE

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

Classe = 4.6 Classe de tiges d'ancrage
 $f_{yb} = 24000000,00$ [daN/m²] Limite de plasticité du matériau du boulon
 $f_{ub} = 40000000,00$ [daN/m²] Résistance du matériau du boulon à la traction
 $d = 36$ [mm] Diamètre du boulon
 $A_s = 8,17$ [cm²] Aire de la section efficace du boulon
 $A_v = 10,18$ [cm²] Aire de la section du boulon
 $n_H = 2$ Nombre de colonnes des boulons
 $n_V = 3$ Nombre de rangées des boulons
Ecartement $e_{Hi} = 580$ [mm]
Entraxe $e_{Vi} = 170$ [mm]

Dimensions des tiges d'ancrage

$L_1 = 100$ [mm]
 $L_2 = 750$ [mm]
 $L_3 = 216$ [mm]
 $L_4 = 180$ [mm]

Platine

$l_{wd} = 60$ [mm] Longueur
 $b_{wd} = 60$ [mm] Largeur
 $t_{wd} = 20$ [mm] Epaisseur

RAIDISSEUR

$l_s = 700$ [mm] Longueur
 $w_s = 440$ [mm] Largeur
 $h_s = 250$ [mm] Hauteur
 $t_s = 15$ [mm] Epaisseur
 $d_1 = 38$ [mm] Grugeage
 $d_2 = 20$ [mm] Grugeage

COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} = 1,00$ Coefficient de sécurité partiel
 $\gamma_{M2} = 1,25$ Coefficient de sécurité partiel
 $\gamma_C = 1,50$ Coefficient de sécurité partiel

SEMELLE ISOLÉE

$L = 1200$ [mm] Longueur de la semelle
 $B = 800$ [mm] Largeur de la semelle
 $H = 1000$ [mm] Hauteur de la semelle

Béton

Classe BETON25

$f_{ck} = 2500000,0$ [daN/m²] Résistance caractéristique à la compression

Mortier de calage

$t_g = 3$ [mm] Epaisseur du mortier de calage
 $f_{ck,g} = 1200000,0$ [daN/m²] Résistance caractéristique à la compression

Mortier de calage

$t_g =$	30	[mm]	Epaisseur du mortier de calage
$C_{f,d} =$	0,30		Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton

SOUDURES

$a_p =$	12	[mm]	Plaque principale du pied de poteau
$a_s =$	12	[mm]	Raidisseurs

EFFORTS

Cas: 15: 1.35G+1.5Q+1.30S 1*1.35+2*1.50+3*1.30

$N_{j,Ed} =$	10018,00	[daN]	Effort axial
$V_{j,Ed,y} =$	-168,44	[daN]	Effort tranchant
$V_{j,Ed,z} =$	6005,55	[daN]	Effort tranchant
$M_{j,Ed,y} =$	18439,47	[daN*m]	Moment fléchissant
$M_{j,Ed,z} =$	-39,57	[daN*m]	Moment fléchissant

RÉSULTATS

ZONE COMPRIMÉE

COMPRESSION DU BETON

$$f_{cd} = \frac{1666666,6}{7} \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance de calcul à la compression} \quad \text{EN 1992-1:[3.1.6.(1)]}$$

$$f_j = \frac{1961632,9}{5} \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance de calcul du matériau du joint sous la plaque d'assise} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$c = t_p \sqrt{(f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{M0}))}$$

$$c = 65 \text{ [mm]} \text{ Largeur de l'appui additionnelle} \quad [6.2.5.(4)]$$

$$b_{eff} = 144 \text{ [mm]} \text{ Largeur efficace de la semelle de tronçon T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$l_{eff} = 320 \text{ [mm]} \text{ Longueur efficace de la semelle de tronçon en T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$A_{c0} = 461,34 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Zone de contact de la plaque d'assise avec la fondation} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$A_{c1} = \frac{3463,2}{6} \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de calcul maximale de la répartition de la charge} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$F_{rd,u} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3 * A_{c0} * f_{cd}$$

$$F_{rd,u} = \frac{210669,1}{6} \text{ [daN]} \text{ Résistance du béton à l'appui rigide} \quad \text{EN 1992-1:[6.7.(3)]}$$

$$\beta_j = 0,67 \text{ Coefficient réducteur pour la compression} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$f_{jd} = \beta_j * F_{rd,u} / (b_{eff} * l_{eff})$$

$$f_{jd} = \frac{3044318,9}{2} \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance de calcul du matériau du joint} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$A_{c,n} = \frac{2636,7}{1} \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de compression efficace} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

$$A_{c,y} = 809,68 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de flexion My} \quad [6.2.8.3.(1)]$$

$$A_{c,z} = \frac{1143,5}{8} \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de flexion Mz} \quad [6.2.8.3.(1)]$$

$$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} * f_{jd}$$

$$F_{c,Rd,n} = \frac{802697,4}{0} \text{ [daN]} \text{ Résistance du béton à la compression} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

$$F_{c,Rd,y} = \frac{246493,8}{7} \text{ [daN]} \text{ Résistance du béton à la flexion My} \quad [6.2.8.3.(1)]$$

$$F_{c,Rd,z} = \frac{348142,1}{5} \text{ [daN]} \text{ Résistance du béton à la flexion Mz} \quad [6.2.8.3.(1)]$$

AILE ET AME DU POTEAU EN COMPRESSION

$$CL = 1,00 \text{ Classe de la section} \quad \text{EN 1993-1-1:[5.5.2]}$$

$$W_{pl,y} = 6812,29 \text{ [cm}^3\text{]} \text{ Facteur plastique de la section} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]}$$

$$M_{c,Rd,y} = \frac{187337,9}{8} \text{ [daN*m]} \text{ Résistance de calcul de la section à la flexion} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.5]}$$

AILE ET AME DU POTEAU EN COMPRESSION

CL =	1,00	Classe de la section	EN 1993-1-1:[5.5.2]
h_{fy} =	479 [mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{fy}$			
$F_{c,fc,Rd,y} =$	$\frac{390859,2}{4}$ [daN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]
$W_{pl,z}$ =	3418,88 [cm ³]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{c,Rd,z} =$	$\frac{94019,2}{0}$ [daN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
h_{fz} =	227 [mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fc,Rd,z} = M_{c,Rd,z} / h_{fz}$			
$F_{c,fc,Rd,z} =$	$\frac{414744,3}{1}$ [daN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]

RESISTANCE DE LA SEMELLE DANS LA ZONE COMPRIMEE

$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$			
$N_{j,Rd} =$	$\frac{802697,4}{0}$ [daN]	Résistance de la semelle à l'effort axial	[6.2.8.2.(1)]
$F_{C,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$			
$F_{C,Rd,y} =$	$\frac{246493,8}{7}$ [daN]	Résistance de la semelle dans la zone comprimée	[6.2.8.3]
$F_{C,Rd,z} = \min(F_{c,Rd,z}, F_{c,fc,Rd,z})$			
$F_{C,Rd,z} =$	$\frac{348142,1}{5}$ [daN]	Résistance de la semelle dans la zone comprimée	[6.2.8.3]

ZONE TENDUE

RUPTURE DU BOULON D'ANCRAGE

$A_b =$	8,17 [cm ²]	Aire de section efficace du boulon	[Tableau 3.4]
$f_{ub} =$	$\frac{40000000,0}{0}$ [daN/m ²]	Résistance du matériau du boulon à la traction	[Tableau 3.4]
Beta =	0,85	Coefficient de réduction de la résistance du boulon	[3.6.1.(3)]
$F_{t,Rd,s1} = \text{beta} * 0.9 * f_{ub} * A_b / \gamma_{M2}$			
$F_{t,Rd,s1} =$	$\frac{20000,1}{6}$ [daN]	Résistance du boulon à la rupture	[Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,s} = F_{t,Rd,s1}$			
$F_{t,Rd,s} =$	$\frac{20000,1}{6}$ [daN]	Résistance du boulon à la rupture	

ARRACHEMENT DU BOULON D'ANCRAGE DU BETON

$f_{ck} =$	$\frac{2500000,0}{0}$ [daN/m ²]	Résistance caractéristique du béton à la compression	EN 1992-1:[3.1.2]
$f_{ctd} = 0.7 * 0.3 * f_{ck}^{2/3} / \gamma_C$			
$f_{ctd} =$	$\frac{119698,3}{2}$ [daN/m ²]	Résistance de calcul à la traction	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$\eta_1 =$	1,00	Coef. dépendant des conditions du bétonnage et de l'adhérence	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$\eta_2 =$	0,96	Coef. dépendant du diamètre du boulon d'ancrage	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$			
$f_{bd} =$	$\frac{258548,3}{6}$ [daN/m ²]	Adhérence de calcul admissible	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$h_{ef} =$	750 [mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$F_{t,Rd,p} = \pi * d * h_{ef} * f_{bd}$			
$F_{t,Rd,p} =$	$\frac{21930,8}{5}$ [daN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

RESISTANCE DU BOULON D'ANCRAGE A LA TRACTION

$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,s}, F_{t,Rd,p})$			
$F_{t,Rd} =$	$\frac{20000,1}{6}$ [daN]	Résistance du boulon d'ancrage à traction	

FLEXION DE LA PLAQUE DE BASE

Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$

$l_{eff,1} =$	326 [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} =$	326 [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]

$l_{eff,1} =$	326	[mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1	[6.2.6.5]
$m =$	81	[mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} =$	2015,23	[daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} =$	2015,23	[daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} =$	99000,0	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]
$F_{T,2,Rd} =$	55333,6	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode 2	[6.2.4]
$F_{T,3,Rd} =$	60000,4	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd,y} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$				
$F_{t,pl,Rd,y} =$	55333,6	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode à la traction	[6.2.4]

Moment fléchissant $M_{j,Ed,z}$

$l_{eff,1} =$	308	[mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1	[6.2.6.5]
$l_{eff,2} =$	308	[mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m =$	61	[mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$M_{pl,1,Rd} =$	1906,95	[daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]
$M_{pl,2,Rd} =$	1906,95	[daN*m]	Résistance plastique de la dalle pour le mode 2	[6.2.4]
$F_{T,1,Rd} =$	124183,7	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode 1	[6.2.4]
$F_{T,2,Rd} =$	52178,55	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode 2	[6.2.4]
$F_{T,3,Rd} =$	40000,32	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode 3	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd,z} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$				
$F_{t,pl,Rd,z} =$	40000,3	[daN]	Résistance de la dalle pour le mode à la traction	[6.2.4]

RESISTANCES DE SEMELLE DANS LA ZONE TENDUE

$F_{T,Rd,y} = F_{t,pl,Rd,y}$				
$F_{T,Rd,y} =$	55333,6	[daN]	Résistance de la semelle dans la zone tendue	[6.2.8.3]
$F_{T,Rd,z} = F_{t,pl,Rd,z}$				
$F_{T,Rd,z} =$	40000,3	[daN]	Résistance de la semelle dans la zone tendue	[6.2.8.3]

CONTRÔLE DE LA RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)		$0,01 < 1,00$	vérifié	(0,01)
$e_y =$	1841	[mm]	Excentricité de l'effort axial	[6.2.8.3]
$z_{c,y} =$	240	[mm]	Bras de levier $F_{C,Rd,y}$	[6.2.8.1.(2)]
$z_{t,y} =$	290	[mm]	Bras de levier $F_{T,Rd,y}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,y} =$	33694,3	[daN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion	[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)		$0,55 < 1,00$	vérifié	(0,55)
$e_z =$	4	[mm]	Excentricité de l'effort axial	[6.2.8.3]
$z_{c,z} =$	113	[mm]	Bras de levier $F_{C,Rd,z}$	[6.2.8.1.(2)]
$z_{t,z} =$	170	[mm]	Bras de levier $F_{T,Rd,z}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,z} =$	2657,4	[daN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion	[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)		$0,01 < 1,00$	vérifié	(0,01)
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$		$0,56 < 1,00$	vérifié	(0,56)

CISAILLEMENT

PRESSION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 0,44$	Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement	[Tableau 3.4]
$\alpha_{b,y} = 0,44$	Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$	[Tableau 3.4]
$k_{1,y} = 2,50$	Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement	[Tableau 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \cdot \alpha_{b,y} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = \frac{38368,4}{2} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise} \quad [6.2.2.(7)]$$

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$$\alpha_{d,z} = 0,53 \quad \text{Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\alpha_{b,z} = 0,53 \quad \text{Coef. pour les calculs de la résistance } F_{1,vb,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$k_{1,z} = 1,98 \quad \text{Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = \frac{36542,8}{9} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise} \quad [6.2.2.(7)]$$

CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE

$$\alpha_b = 0,37 \quad \text{Coef. pour les calculs de la résistance } F_{2,vb,Rd} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$A_{vb} = 10,18 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section du boulon} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$f_{ub} = \frac{40000000,0}{0} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Résistance du matériau du boulon à la traction} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad \text{Coefficient de sécurité partiel} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{11986,5}{1} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier} \quad [6.2.2.(7)]$$

GLISSEMENT DE LA SEMELLE

$$C_{f,d} = 0,30 \quad \text{Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton} \quad [6.2.2.(6)]$$

$$N_{c,Ed} = \frac{10018,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Effort de compression} \quad [6.2.2.(6)]$$

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$$

$$F_{f,Rd} = \frac{3005,4}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance au glissement} \quad [6.2.2.(6)]$$

CONTROLE DU CISAILLEMENT

$$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,y} = \frac{74924,4}{5} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement}$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,00)$$

$$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}) + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,z} = \frac{74924,4}{5} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement}$$

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

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,08 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,08)$$

CONTRÔLE DES RAIDISSEURS

Plaque trapézoïdale parallèle à l'âme du poteau

$$M_1 = 984,16 \text{ [daN}\cdot\text{m]} \quad \text{Moment fléchissant du raidisseur}$$

$$Q_1 = 15140,85 \text{ [daN]} \quad \text{Effort tranchant du raidisseur}$$

$$z_s = 66 \text{ [mm]} \quad \text{Position de l'axe neutre (à partir de la base de la plaque)}$$

$$I_s = 6689,58 \text{ [cm}^4\text{]} \quad \text{Moment d'inertie du raidisseur}$$

$$\sigma_d = 525572,27 \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte normale au contact du raidisseur et de la dalle} \quad \text{EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]}$$

$$\sigma_g = \frac{3152367,5}{6} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte normale dans les fibres supérieures} \quad \text{EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]}$$

$$\tau = \frac{4037559,5}{2} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte tangentielle dans le raidisseur} \quad \text{EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]}$$

$$\sigma_z = \frac{7012979,8}{8} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte équivalente au contact du raidisseur et de la dalle} \quad \text{EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]}$$

$$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp} / \gamma_{M0}) \leq 1.0 \text{ (6.1)} \quad 0,26 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,26)$$

Raidisseur perpendiculaire à l'âme (sur le prolongement des ailes du poteau)

$$M_1 = 442,15 \text{ [daN}\cdot\text{m]} \quad \text{Moment fléchissant du raidisseur}$$

$$Q_1 = 8039,08 \text{ [daN]} \quad \text{Effort tranchant du raidisseur}$$

$$z_s = 52 \text{ [mm]} \quad \text{Position de l'axe neutre (à partir de la base de la plaque)}$$

$$I_s = 7447,66 \text{ [cm}^4\text{]} \quad \text{Moment d'inertie du raidisseur}$$

$$\sigma_d = 129671,11 \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte normale au contact du raidisseur et de la dalle} \quad \text{EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]}$$

$$\sigma_g = \frac{1354516,3}{1} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte normale dans les fibres supérieures} \quad \text{EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]}$$

$M_1 =$	442,15	[daN*m]	Moment fléchissant du raidisseur	
$\tau =$	2143753,6	$\frac{6}{8}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle dans le raidisseur	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\sigma_z =$	3715353,8	$\frac{8}{4}$	[daN/m ²] Contrainte équivalente au contact du raidisseur et de la dalle	EN 1993-1-1:[6.2.1.(5)]
$\max(\sigma_g, \tau / (0.58), \sigma_z) / (f_{yp}/\gamma_{M0}) \leq 1.0$ (6.1)		0,14	< 1,00	vérifié (0,14)

SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE

$\sigma_{\perp} =$	1317918,4	$\frac{4}{7}$	[daN/m ²] Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	1317918,4	$\frac{4}{7}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{yII} =$	-8061,67		[daN/m ²] Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{zII} =$	137429,27		[daN/m ²] Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_w =$	0,85		Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\sigma_{\perp} / (0.9 * f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)		0,05	< 1,00	vérifié (0,05)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2))} / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		0,07	< 1,00	vérifié (0,07)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		0,06	< 1,00	vérifié (0,06)

SOUDURES VERTICALES DES RAIDISSEURS

Plaque trapézoïdale parallèle à l'âme du poteau

$\sigma_{\perp} =$	0,00		[daN/m ²] Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	0,00		[daN/m ²] Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	4263146,5	$\frac{5}{3}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle parallèle	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	0,00		[daN/m ²] Contrainte totale équivalente	[4.5.3.(7)]
$\beta_w =$	0,85		Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		0,19	< 1,00	vérifié (0,19)

Raidisseur perpendiculaire à l'âme (sur le prolongement des ailes du poteau)

$\sigma_{\perp} =$	1250586,7	$\frac{7}{8}$	[daN/m ²] Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	1250586,7	$\frac{7}{8}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	1339846,0	$\frac{0}{5}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle parallèle	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	3411954,2	$\frac{2}{1}$	[daN/m ²] Contrainte totale équivalente	[4.5.3.(7)]
$\beta_w =$	0,85		Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		0,09	< 1,00	vérifié (0,09)

SOUDURES HORIZONTALES DES RAIDISSEURS

Plaque trapézoïdale parallèle à l'âme du poteau

$\sigma_{\perp} =$	3568732,1	$\frac{1}{4}$	[daN/m ²] Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	3568732,1	$\frac{1}{4}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	3149144,2	$\frac{2}{0}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle parallèle	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	8983024,2	$\frac{2}{2}$	[daN/m ²] Contrainte totale équivalente	[4.5.3.(7)]
$\beta_w =$	0,85		Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)		0,24	< 1,00	vérifié (0,24)

Raidisseur perpendiculaire à l'âme (sur le prolongement des ailes du poteau)

$\sigma_{\perp} =$	2153214,1	$\frac{1}{6}$	[daN/m ²] Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} =$	2153214,1	$\frac{1}{6}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{II} =$	1877266,2	$\frac{2}{0}$	[daN/m ²] Contrainte tangentielle parallèle	[4.5.3.(7)]
$\sigma_z =$	5396082,8	$\frac{8}{8}$	[daN/m ²] Contrainte totale équivalente	[4.5.3.(7)]

Raidisseur perpendiculaire à l'âme (sur le prolongement des ailes du poteau)

$\sigma_{\perp} = \frac{2153214,1}{6}$	[daN/m ²]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\beta_w = 0,85$		Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\max(\sigma_{\perp}, \tau_{II} * \sqrt{3}, \sigma_z) / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)			$0,14 < 1,00$ vérifié (0,14)

RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$

$b_{eff} = 144$	[mm]	Largeur efficace de la semelle de tronçon T	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} = 320$	[mm]	Longueur efficace de la semelle de tronçon en T	[6.2.5.(3)]
$K_{13,y} = E_c * \sqrt{(b_{eff} * l_{eff})} / (1.275 * E)$			
$K_{13,y} = 26$	[mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$l_{eff} = 326$	[mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m = 81$	[mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$K_{15,y} = 0.425 * l_{eff} * t_p^3 / (m^3)$			
$K_{15,y} = 14$	[mm]	Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction	[Tableau 6.11]
$L_b = 359$	[mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	[Tableau 6.11]
$K_{16,y} = 1.6 * A_b / L_b$			
$K_{16,y} = 4$	[mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,y} = 0,50$		Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,y} = 16987670,2$	[daN*m]	Rigidité en rotation initiale	[Tableau 6.12]
$S_{j,rig,y} = 26572533,7$	[daN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$ SEMI-RIGIDE			[5.2.2.5.(2)]

Moment fléchissant $M_{j,Ed,z}$

$K_{13,z} = E_c * \sqrt{(A_{c,z})} / (1.275 * E)$			
$K_{13,z} = 40$	[mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$l_{eff} = 308$	[mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m = 61$	[mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$K_{15,z} = 0.425 * l_{eff} * t_p^3 / (m^3)$			
$K_{15,z} = 15$	[mm]	Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction	[Tableau 6.11]
$L_b = 359$	[mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	[Tableau 6.11]
$K_{16,z} = 1.6 * A_b / L_b$			
$K_{16,z} = 4$	[mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,z} = 2,24$		Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,z} = 21807971,2$	[daN*m]	Rigidité en rotation initiale	[6.3.1.(4)]
$S_{j,rig,z} = 1319739,75$	[daN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,z} > S_{j,rig,z}$ RIGIDE			[5.2.2.5.(2)]

COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

PLAQUE D'ASSISE A LA FLEXION

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,56

$L_c = 8,52$ [m] Longueur du poteau
 $I_{yc} = 3891,63$ [cm⁴] Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: ACIER
E28

$f_{yc} = 27500000,0$ [daN/m²] Résistance

$f_{uc} = 40500000,0$ [daN/m²] Résistance ultime du matériau

PLATINE DE PRESCELLEMENT

$l_{pd} = 360$ [mm] Longueur

$b_{pd} = 240$ [mm] Largeur

$t_{pd} = 20$ [mm] Epaisseur

Matériau: ACIER E28

$f_{ypd} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance

$f_{upd} = 40500000,00$ [daN/m²] Résistance ultime du matériau

ANCRAGE

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

Classe = 4.6 Classe de tiges d'ancrage

$f_{yb} = 24000000,00$ [daN/m²] Limite de plasticité du matériau du boulon

$f_{ub} = 40000000,00$ [daN/m²] Résistance du matériau du boulon à la traction

$d = 27$ [mm] Diamètre du boulon

$A_s = 4,59$ [cm²] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 5,73$ [cm²] Aire de la section du boulon

$n = 2$ Nombre de rangées des boulons

$e_v = 100$ [mm] Entraxe

Dimensions des tiges d'ancrage

$L_1 = 100$ [mm]

$L_2 = 600$ [mm]

$L_3 = 100$ [mm]

Plaque d'ancrage

$l_p = 100$ [mm] Longueur

$b_p = 100$ [mm] Largeur

$t_p = 20$ [mm] Epaisseur

Matériau: ACIER E28

$f_y = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance

Platine

$l_{wd} = 40$ [mm] Longueur

$b_{wd} = 50$ [mm] Largeur

$t_{wd} = 15$ [mm] Epaisseur

COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} = 1,00$ Coefficient de sécurité partiel

$\gamma_{M2} = 1,25$ Coefficient de sécurité partiel

$\gamma_C = 1,50$ Coefficient de sécurité partiel

SEMELLE ISOLÉE

$L = 800$ [mm] Longueur de la semelle

$B = 600$ [mm] Largeur de la semelle

$H = 1200$ [mm] Hauteur de la semelle

Béton

Classe BETON25

$f_{ck} = 2500000,0$ [daN/m²] Résistance caractéristique à la compression

Mortier de calage

$t_g = 30$ [mm] Epaisseur du mortier de calage

$f_{ck,g} = 1200000,0$ [daN/m²] Résistance caractéristique à la compression

$C_{f,d} = 0,30$ Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton

SOUDURES

$a_p = 12$ [mm] Plaque principale du pied de poteau

EFFORTS

Cas: 14: G+1.5W2 1*1.00+5*1.50

$N_{j,Ed} = -451,72$ [daN] Effort axial

$V_{j,Ed,y} = 0,30$ [daN] Effort tranchant

$V_{j,Ed,z} = 2889,16$ [daN] Effort tranchant

RÉSULTATS

ZONE COMPRIMÉE

COMPRESSION DU BETON

$f_{cd} = 1666666,6$ [daN/m²] Résistance de calcul à la compression EN 1992-1:[3.1.6.(1)]

$f_j = 2618914,0$ [daN/m²] Résistance de calcul du matériau du joint sous la plaque d'assise [6.2.5.(7)]

$c = t_p \sqrt{(f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{M0}))}$

$c = 37$ [mm] Largeur de l'appui additionnelle [6.2.5.(4)]

$b_{eff} = 85$ [mm] Largeur efficace de la semelle de tronçon T [6.2.5.(3)]

$l_{eff} = 195$ [mm] Longueur efficace de la semelle de tronçon en T [6.2.5.(3)]

$A_{c0} = 164,90$ [cm²] Zone de contact de la plaque d'assise avec la fondation EN 1992-1:[6.7.(3)]

$A_{c1} = 1484,0$ [cm²] Aire de calcul maximale de la répartition de la charge EN 1992-1:[6.7.(3)]

$F_{rd,u} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3 * A_{c0} * f_{cd}$

$F_{rd,u} = 82449,3$ [daN] Résistance du béton à l'appui rigide EN 1992-1:[6.7.(3)]

$\beta_j = 0,67$ Coefficient réducteur pour la compression [6.2.5.(7)]

$f_{jd} = \beta_j * F_{rd,u} / (b_{eff} * l_{eff})$

$f_{jd} = 333333,3$ [daN/m²] Résistance de calcul du matériau du joint [6.2.5.(7)]

$A_{c,n} = 447,76$ [cm²] Aire de compression efficace [6.2.8.2.(1)]

$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} * f_{jd}$

$F_{c,Rd,n} = 149252,0$ [daN] Résistance du béton à la compression [6.2.8.2.(1)]

RESISTANCE DE LA SEMELLE DANS LA ZONE COMPRIMEE

$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$

$N_{j,Rd} = 149252,0$ [daN] Résistance de la semelle à l'effort axial [6.2.8.2.(1)]

CONTRÔLE DE LA RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24) $0,00 < 1,00$ **vérifié** (0,00)

CISAILLEMENT

PRESSION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 0,80$	Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement	[Tableau 3.4]
$\alpha_{b,y} = 0,80$	Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$	[Tableau 3.4]
$k_{1,y} = 2,50$	Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement	[Tableau 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \cdot \alpha_{b,y} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = \frac{35193,1}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise} \quad [6.2.2.(7)]$$

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 0,90$	Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement	[Tableau 3.4]
$\alpha_{b,z} = 0,90$	Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$	[Tableau 3.4]
$k_{1,z} = 2,50$	Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement	[Tableau 3.4]

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = \frac{39340,8}{6} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise} \quad [6.2.2.(7)]$$

CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE

$\alpha_b = 0,37$	Coef. pour les calculs de la résistance $F_{2,vb,Rd}$	[6.2.2.(7)]
$A_{vb} = 5,73 \text{ [cm}^2\text{]}$	Aire de la section du boulon	[6.2.2.(7)]
$f_{ub} = 40000000,0 \text{ [daN/m}^2\text{]}$	Résistance du matériau du boulon à la traction	[6.2.2.(7)]
$\gamma_{M2} = 1,25$	Coefficient de sécurité partiel	[6.2.2.(7)]

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$$F_{2,vb,Rd} = \frac{6742,4}{1} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier} \quad [6.2.2.(7)]$$

$\alpha_M = 2,00$	Coef. dépendant de l'ancrage du boulon dans la fondation	CEB [9.3.2.2]
$M_{Rk,s} = 69,57 \text{ [daN}\cdot\text{m]}$	Résistance caractéristique de l'ancrage à la flexion	CEB [9.3.2.2]
$l_{sm} = 54 \text{ [mm]}$	Longueur du bras de levier	CEB [9.3.2.2]
$\gamma_{Ms} = 1,20$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.2]

$$F_{v,Rd,sm} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / (l_{sm} \cdot \gamma_{Ms})$$

$$F_{v,Rd,sm} = \frac{2167,1}{5} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement - avec bras de levier} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

RUPTURE DU BETON PAR EFFET DE LEVIER

$N_{Rk,c} = 10874,6 \text{ [daN]}$	Résistance de calc. pour le soulèvement	CEB [9.2.4]
$k_3 = 2,00$	Coef. dépendant de la longueur de l'ancrage	CEB [9.3.3]
$\gamma_{Mc} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$$

$$F_{v,Rd,cp} = \frac{10069,1}{4} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du béton à l'effet de levier} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

ECRASEMENT DU BORD DU BETON

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$V_{Rk,c,y}^0 = 38507,4 \text{ [daN]}$	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4. (a)]
$\psi_{A,V,y} = 0,91$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.3.4]
$\psi_{h,V,y} = 1,00$	Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation	CEB [9.3.4.(c)]
$\psi_{s,V,y} = 0,97$	Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement	CEB [9.3.4. (d)]
$\psi_{ec,V,y} = 1,00$	Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB [9.3.4. (e)]
$\psi_{\alpha,V,y} = 1,00$	Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	CEB [9.3.4.(f)]
$\psi_{ucr,V,y} = 1,00$	Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB [9.3.4. (g)]
$\gamma_{Mc} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y}^0 \cdot \psi_{A,V,y} \cdot \psi_{h,V,y} \cdot \psi_{s,V,y} \cdot \psi_{ec,V,y} \cdot \psi_{\alpha,V,y} \cdot \psi_{ucr,V,y} / \gamma_{Mc}$$

$$F_{v,Rd,c,y} = \frac{15711,0}{2} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du béton pour l'écrasement du bord} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$V_{Rk,c,z}^0 = 61073,4 \text{ [daN]}$	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4. (a)]
$\psi_{A,V,z} = 0,49$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.3.4]
$\psi_{h,V,z} = 1,00$	Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation	CEB [9.3.4.(c)]

$V_{Rk,c,z} = 61073,4$	[daN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4. (a)]
$\psi_{s,V,z} = 0,85$		Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement	CEB [9.3.4. (d)]
$\psi_{ec,V,z} = 1,00$		Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB [9.3.4. (e)]
$\psi_{\alpha,V,z} = 1,00$		Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	CEB [9.3.4. (f)]
$\psi_{ucr,V,z} = 1,00$		Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB [9.3.4. (g)]
$\gamma_{Mc} = 2,16$		Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z} \cdot \psi_{A,V,z} \cdot \psi_{h,V,z} \cdot \psi_{s,V,z} \cdot \psi_{ec,V,z} \cdot \psi_{\alpha,V,z} \cdot \psi_{ucr,V,z} / \gamma_{Mc}$			
$F_{v,Rd,c,z} = 11740,3$	[daN]	Résistance du béton pour l'écrasement du bord	CEB [9.3.1]

GLISSEMENT DE LA SEMELLE

$C_{f,d} = 0,30$		Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed} = 451,7$	[daN]	Effort de compression	[6.2.2.(6)]
$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$			
$F_{f,Rd} = 135,52$	[daN]	Résistance au glissement	[6.2.2.(6)]

CONTROLE DU CISAILLEMENT

$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{f,Rd}$			
$V_{j,Rd,y} = 4469,8$	[daN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,00)$			
$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{f,Rd}$			
$V_{j,Rd,z} = 4469,8$	[daN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,65 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,65)$			
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,65 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,65)$			

SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE

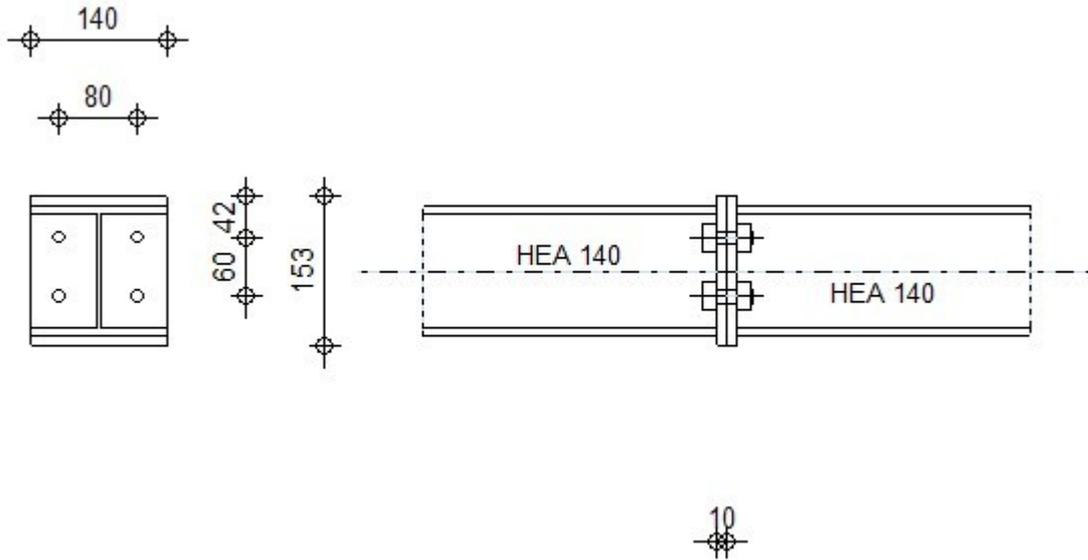
$\sigma_{\perp} = 21976,60$	[daN/m ²]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} = 21976,60$	[daN/m ²]	Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{yII} = 52,91$	[daN/m ²]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{zII} = 546195,49$	[daN/m ²]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_w = 0,85$		Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,00)$			
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,00 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,00)$			
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$			

COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

FONDATION EN PRESSION DIAMETRALE

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio $0,65$



GÉNÉRAL

Assemblage N°: 5
 Nom de l'assemblage : Poutre - poutre
 Noeud de la structure: 216
 Barres de la structure: 167, 168

GÉOMÉTRIE

GAUCHE

POUTRE

Profilé: HEA 140
 Barre N°: 167
 $\alpha = -180,0$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_{bl} = 133$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_{tbl} = 140$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wbl} = 6$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{tbl} = 9$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_{bl} = 12$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_{bl} = 31,42$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{xbl} = 1033,13$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: ACIER
 E28

$f_{yb} = 27500000,0$ [daN/m²] Résistance

DROITE

POUTRE

Profilé:	HEA 140		
Barre N°:	168		
$\alpha =$	-0,0	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_{br} =$	133	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
$b_{br} =$	140	[mm]	Largeur de la section de la poutre
$t_{wbr} =$	6	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
$t_{fbr} =$	9	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
$r_{br} =$	12	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$A_{br} =$	31,42	[cm ²]	Aire de la section de la poutre
$I_{xbr} =$	1033,13	[cm ⁴]	Moment d'inertie de la poutre
Matériau:	ACIER E28		
$f_{yb} =$	27500000,0	[daN/m ²]	Résistance

BOULONS

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

$d =$	14	[mm]	Diamètre du boulon
Classe =	HR 8.8		Classe du boulon
$F_{TRd} =$	7452,00	[daN]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	2		Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	2		Nombre de rangées des boulons
$h_1 =$	42	[mm]	Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
Ecartement e_i =	80	[mm]	
Entraxe $p_i =$	60	[mm]	

PLATINE

$h_{pr} =$	153	[mm]	Hauteur de la platine
$b_{pr} =$	140	[mm]	Largeur de la platine
$t_{pr} =$	10	[mm]	Epaisseur de la platine
Matériau:	ACIER E28		
$f_{ypr} =$	27500000,00	[daN/m ²]	Résistance

SOUDURES D'ANGLE

$a_w =$	7	[mm]	Soudure âme
$a_f =$	7	[mm]	Soudure semelle

COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

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

EFFORTS

Etat limite: ultime

Cas: 15: 1.35G+1.5Q+1.30S 1*1.35+2*1.50+3*1.30

$M_{b1,Ed} =$	141,06	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed} =$	125,76	[daN]	Effort tranchant dans la poutre droite
$N_{b1,Ed} =$	489,72	[daN]	Effort axial dans la poutre droite

$M_{b1,Ed} = 141,06$ [daN*m] Moment fléchissant dans la poutre droite

RÉSULTATS

RÉSISTANCES DE LA POUTRE

TRACTION

$A_b = 31,42$ [cm²] Aire de la section EN1993-1-1:[6.2.3]

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

$N_{tb,Rd} = 86405,0$ [daN] Résistance de calcul de la section à la traction EN1993-1-1:[6.2.3]

CISAILLEMENT

$A_{vb} = 10,13$ [cm²] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$V_{cb,Rd} = 16079,5$ [daN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$ $0,01 < 1,00$ **vérifié** (0,01)

FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 173,50$ [cm³] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

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

$M_{b,pl,Rd} = 4771,2$ [daN*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 173,50$ [cm³] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

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

$M_{cb,Rd} = 4771,2$ [daN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 4771,2$ [daN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_f = 125$ [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

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

$F_{c,fb,Rd} = 38323,2$ [daN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m _x	e	e _x	p	l _{eff,cp}	l _{eff,nc}	l _{eff,1}	l _{eff,2}	l _{eff,cp,g}	l _{eff,nc,g}	l _{eff,1,g}	l _{eff,2,g}
1	29	-	30	-	60	184	195	184	195	152	148	148	148
2	29	-	30	-	60	184	155	155	155	152	107	107	107

m – Distance du boulon de l'âme

m_x – Distance du boulon de l'aile de la poutre

e – Pince entre le boulon et le bord extérieur

e_x – Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal

p – Entraxe des boulons

l_{eff,cp} – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires

l_{eff,nc} – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires

l_{eff,1} – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1

l_{eff,2} – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2

l_{eff,cp,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires

l_{eff,nc,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires

l_{eff,1,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1

l_{eff,2,g} – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE À LA TRACTION

$F_{t,Rd} = 7452,00$ [daN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$B_{p,Rd} = 12825,2$ [daN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$$N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$$

$$N_{j,Rd} = \frac{29808,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la traction} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE À LA FLEXION

$$F_{t,Rd} = 7452,00 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$B_{p,Rd} = \frac{12825,2}{4} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$F_{t,fc,Rd}$ – résistance de la semelle du poteau à la flexion

$F_{t,wc,Rd}$ – résistance de l'âme du poteau à la traction

$F_{t,ep,Rd}$ – résistance de la platine fléchée à la flexion

$F_{t,wb,Rd}$ – résistance de l'âme à la traction

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd}) \quad [6.2.6.4], [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd}) \quad [6.2.6.5], [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.8.(1)]$$

RÉSISTANCE DE LA RANGÉE DE BOULONS N° 1

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t1,Rd,comp}$	Composant
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	12064,46	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(1)} = 12064,46$	12064,46	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 27873,62$	27873,62	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 25650,48$	25650,48	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} = 38323,29$	38323,29	Aile de la poutre - compression

RÉSISTANCE DE LA RANGÉE DE BOULONS N° 2

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t2,Rd,comp}$	Composant
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	8926,62	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(2)} = 11124,14$	11124,14	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 23416,77$	23416,77	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 25650,48$	25650,48	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 38323,29 - 12064,46$	26258,84	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 20991,08 - 12064,46$	8926,62	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 38628,59 - 12064,46$	26564,13	Ame de la poutre - traction - groupe

TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	97	12064,46	-	-	12064,46	27873,62	14904,00	25650,48
2	37	8926,62	-	-	11124,14	23416,77	14904,00	25650,48

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

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

$$M_{j,Rd} = \frac{1495,2}{9} \text{ [daN*m]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,09 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,09)$$

RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{v,Rd} = 6650,12 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance d'un boulon au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 7452,00 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance d'un boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = \frac{11340,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = \frac{10584,0}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance du boulon de rive en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	14904,00	244,86	12064,46	1138,11	1382,97	12418,71
2	14904,00	244,86	8926,62	842,10	1086,96	12607,39

$F_{tj,Rd,N}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

$F_{tj,Ed,N}$ – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

$F_{tj,Rd,M}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

$F_{tj,Ed,M}$ – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

$F_{tj,Ed}$ – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

$F_{tj,Rd,N}$ – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

$F_{vj,Rd}$ – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum_1^n F_{vj,Rd}$$

[Tableau 3.4]

$$V_{j,Rd} = \frac{25026,1}{0} \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement}$$

[Tableau 3.4]

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,01 < 1,00$$

vérifié

$$(0,01)$$

RÉSISTANCE DES SOUDURES

$$A_w = 47,95 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de toutes les soudures} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 35,07 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire des soudures horizontales} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wz} = 12,88 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire des soudures verticales} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$I_{wy} = 1512,18 \text{ [cm}^4\text{]} \quad \text{Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} = \frac{563853,4}{6} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte normale dans la soudure} \quad [4.5.3.2(6)]$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{405548,7}{5} \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contraintes dans la soudure verticale} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\tau_{\parallel} = 97639,29 \text{ [daN/m}^2\text{]} \quad \text{Contrainte tangentielle} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\beta_w = 0,85 \quad \text{Coefficient de corrélation} \quad [4.5.3.2(7)]$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp,max}^2 + 3*(\tau_{\perp,max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \frac{1127706,92}{38117647,06} < \text{vérifié} \quad (0,03)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad \frac{828540,54}{38117647,06} < \text{vérifié} \quad (0,02)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2} \quad \frac{563853,46}{29160000,00} < \text{vérifié} \quad (0,02)$$

RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

$$t_{wash} = 3 \text{ [mm]} \quad \text{Epaisseur de la plaquette} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{head} = 10 \text{ [mm]} \quad \text{Hauteur de la tête du boulon} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{nut} = 14 \text{ [mm]} \quad \text{Hauteur de l'écrou du boulon} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$L_b = 37 \text{ [mm]} \quad \text{Longueur du boulon} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$k_{10} = 5 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficient de rigidité des boulons} \quad [6.3.2.(1)]$$

RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	h _j	k ₃	k ₄	k ₅	k _{eff,j}	k _{eff,j} h _j	k _{eff,j} h _j ²
					Somme	2,19	18,09
1	97	∞	∞	5	2	1,68	16,22
2	37	∞	∞	4	1	0,51	1,87

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

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

$$Z_{eq} = 83 \text{ [mm]} \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

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

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

$$S_{j,ini} = \frac{379889,7}{3} \text{ [daN*m]} \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = \frac{379889,7}{3} \text{ [daN*m]} \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

Classification de l'assemblage par rigidité.

$$S_{j,rig} = \frac{289276,4}{0} \text{ [daN*m]} \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 18079,78 \text{ [daN*m]} \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \text{ B } S_{j,rig} \text{ RIGIDE}$$

COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,09

8.5- Etude des fondations :

Les fondations d'une construction sont les parties de l'ouvrage qui sont en contact directe avec le sol. Elles transmettent les charges de la superstructure au sol, c'est pourquoi elles constituent une partie très importante puisque de leur bonne conception et réalisation découle la bonne tenue de l'ensemble de la structure. Le dimensionnement des fondations est fait selon le règlement BAEL91

8.5.1- Efforts sollicitant :

Les efforts sollicitant sur la liaison « Pieds de poteau » les plus défavorables calculés Par le logiciel ROBOT sont :

L'ELU :

Mu=- 16504.29 dan.m

Nu=-416.14 dan

8.5.2- 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.

Cordons de soudure :

• Semelle **IPE 450** :

as= 0.7 * tf= 0.7*12,7=8.89 mm on prend **as =9mm**

• Ame **IPE 450** :

aa= 0.7 * tw= 0.7*8=5.6mm on prend **aa =6 mm**

Surface de la platine :

a≥ ha+(2aa)→ a≥ 360+2*6=372 mm

b≥ ha+(2as)→ b≥ 170+2*9=188mm

on prend a=720mm b= 340mm

9.5.3- Epaisseur de la platine :

$$t \geq \frac{\sqrt{3\delta}}{\delta_e} \times \mu$$

u=135mm

$$\delta = \frac{N}{a \times b} = \frac{416,14}{340 \times 720} = 0,0017 \text{ Dan/m}^2$$

$$t \geq \frac{\sqrt{3 \times 0,0017}}{24} \times 135 = 0,41 \text{ mm}$$

L'épaisseur est faible et pour des raisons pratiques on opte pour une épaisseur : $t = 25 \text{ mm}$.

On doit vérifier aussi que :

$$\delta \cdot b \frac{u^2}{2} < M_e$$

Avec :

Me est Le moment résistant élastique de la platine

$$M_e = \delta_e \frac{1}{V} \frac{1}{V} = \frac{b \times t \times t}{V}$$

$$\delta \cdot b \frac{u^2}{2} = 0,0017 \times 72 \times \frac{(13,5)^2}{2} = 11,15 \text{ dan.m}$$

$$M_e = 24 \times \frac{72 \times 25^2}{6} = 180000 \text{ dan.m}$$

Donc $11,15 \text{ dan.cm} \leq 180000 \text{ dan.cm}$ **Condition vérifiée**

$$\sigma_{sol} = 2 \text{ bar} = 0,2 \text{ MPa} = 20000 \text{ daN/m}^2$$

8.6.2- Choix du type de fondations :

Les éléments de fondation transmettent les charges au sol soit directement (cas des semelles reposant sur le sol ou cas des radiers) soit par l'intermédiaire d'autres organes (cas des semelles sur pieux par exemple), on distingue les différents types de fondations

1. Fondation superficielle :
2. Semelle isolée sous Poteau.
3. Semelle filante continue sous mur.
4. Semelle filante sous plusieurs poteaux.
5. Radiers généraux ou nervurés.
6. Fondation profonde (semelle sous pieux).

8.6.3 • Choix des fondations :

-Un certain nombre des problèmes se pose, lorsqu'il s'agit de choisir un type de fondation, qui dépend essentiellement de la contrainte du sol.

-Le choix du type de fondation se fait suivant trois paramètres : La nature et le poids de la superstructure.

-La qualité et la quantité des charges appliquées sur la construction La qualité du sol de fondation.

Donc son calcul ne peut être effectuée que lorsqu'on connaît :

-La superstructure et ces charges.

On dimensionne la semelle sous l'effort « N » et la valeur de la contrainte admissible du sol

$$\frac{N_u}{S} \leq \delta_{sol}$$

Avec :

Nu : effort normal a l'état ultime

S : surface de la semelle en contact ave

Σ_{sol} : contrainte admissible du sol.

A : petite dimension de la semelle.

B : grande dimension de la semelle.

$$\frac{N_u}{S} \leq \delta_{sol} \Rightarrow \frac{N_u}{\delta_{sol}} \leq S$$

Suivant l'inégalité de la justification de l'état ultime de résistance vis-à-vis du sol.

$$\frac{N_u}{S} \leq \delta_{sol} \Rightarrow \frac{N_u}{\delta_{sol}} < B^2 \Rightarrow B \geq \sqrt{\frac{N_u}{\delta_{sol}}}$$

Le dimensionnement de la section de la semelle se fera selon logiciel de ROBOT :

a=b=45cm \Rightarrow A=B \Rightarrow semelle carré

Mu=- 16504.29 dan.m

Nu=-416.14 dan

Calcul du longueur (B) de la semelle :

$$B \geq \sqrt{\frac{416,14}{20000}} = 0,14 m$$

On adopte B=1.6m

Par homothéties :

$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B} \Rightarrow a \cdot B = A \cdot b \Rightarrow A = \frac{B \cdot a}{b} = \frac{1,6 \times 0,8}{0,8} = 1,6 m$$

On adopte A= 1.6m

8.6.3- Calcul de la hauteur (h) de la semelle :

$$d = \frac{B-b}{4} \Rightarrow \frac{160-80}{4} = 20 cm$$

On adopte d=50cm

h-d' < B-b \Rightarrow 55-5=50cm < B-b=160-80=80cm ...CV

$$e_0 = \frac{M_u}{N_u} \leq \frac{B}{6} \Rightarrow e_0 = \frac{16504,29}{416,14} = 39,66 m \geq \frac{1,6}{6} = 0,26 m$$

Diagramme triangulaire

Donc on vérifie :

$$\delta_2 = \frac{2N}{3\left(\frac{B}{2} - e_0\right) \times B} \leq \delta_{sol}$$

$$\frac{2 \times 416,14}{3\left(\frac{1,6}{2} - 39,66\right) \times 1,6} = 4,46 \frac{Dan}{m^2} < \delta_{sol} = 20000 \frac{Dan}{m^2}$$

Condition vérifiée

8.6.4- Calcul de ferrailage :

Le calcul se fait à L'ELU et la vérification à L'ELS :

Pour (A'), nous allons utiliser la méthode « console »

$$\delta d = \frac{B + 0,35b - 3e_0}{3\left(\frac{B}{2} - e_0\right)} \times \delta_2$$

$$\delta d = \frac{1,6 + 0,35 \times 0,8 - 3 \times 39,66}{3(0,8 - 39,66)} \times 4,46 = 4,48 \text{ dan/m}^2$$

$$M_d = B \left(\frac{b}{2} - 0,35 \times b \right)^2 \times \left(\frac{\delta_d + 2\delta_2}{6} \right)$$

$$M_d = 1,6 \times (0,8 - 0,35 \times 0,8)^2 \times \left(\frac{4,48 + 2 \times 4,46}{6} \right) = 2,89 \text{ Dan} \times \text{m}$$

$$A' = \frac{M_d}{z \times \delta_{bc}}$$

$$A' = \frac{289}{45 \times 3480} = 1,84 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \quad \text{donc on adopte } A' = 5T10 = 3,93 \text{ cm}^2$$

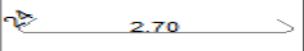
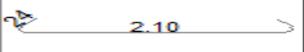
Pour (A), nous allons utiliser la méthode des bielles avec une charge fictive...(Q)

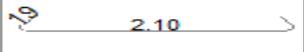
$$\varphi = N_u \times \left(1 + \frac{3e_0}{B} \right)$$

$$416,14 \times \left(1 + \frac{3(39,66)}{1,6} \right) = 31361,35 \text{ dan}$$

$$A = \frac{\varphi(A-a)}{8 \times d \times \delta_{bc}}$$

$$A = \frac{31361,35(160-80)}{8 \times 45 \times 3480} = 2,02 \text{ cm}^2 \quad ; \text{Donc on adopte } A = 9T8 = 3,96 \text{ cm}^2$$

Pos.	Armature		Code	Forme
①	13HA 14	l=3.21	00	
②	17HA 14	l=2.61	00	
③	14HA 12	l=3.10	00	

Pos.	Armature		Code	Forme
④	18HA 12	l=2.50	00	
⑤	22HA 12	l=1.97	11	
⑥	9HA 8	l=3.95	31	

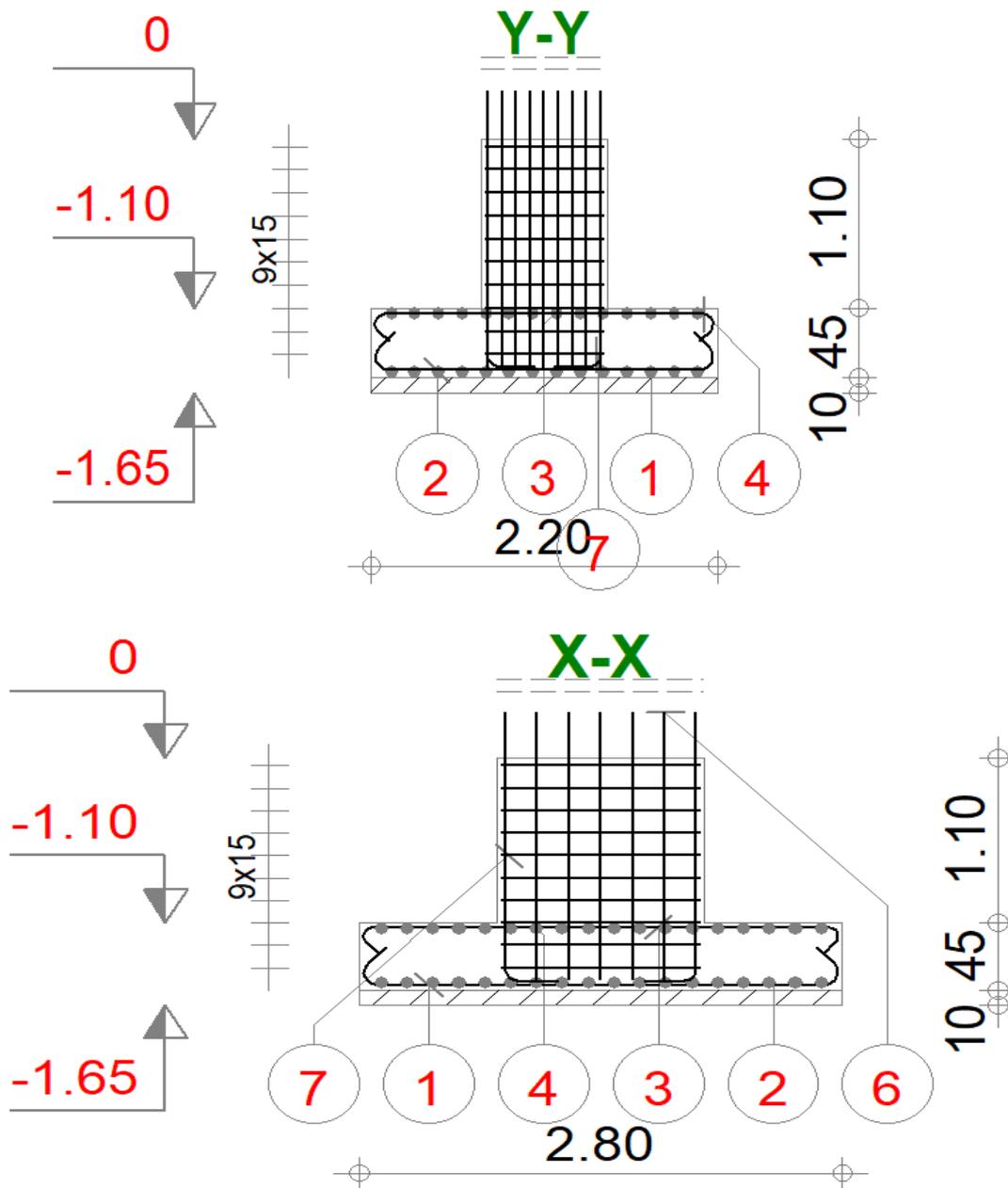


Figure 9.2: ferrailage des semelles isolées

1 Semelle isolée: Semelle33

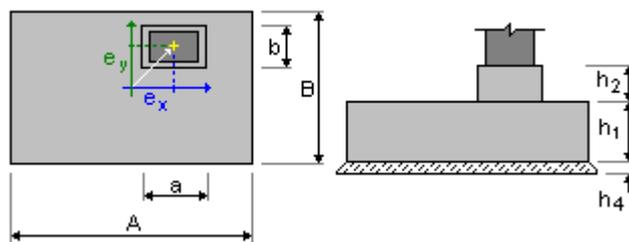
Nombre: 1

1.1 Données de base

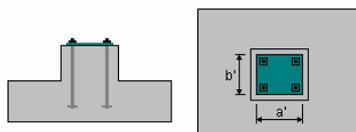
1.1.1 Principes

- Norme pour les calculs géotechniques : DTU 13.12
- Norme pour les calculs béton armé : BAEL 91 mod. 99
- Forme de la semelle : homothétique

1.1.2 Géométrie:



A	= 2,80 (m)	a	= 1,20 (m)
B	= 2,20 (m)	b	= 0,80 (m)
h1	= 0,50 (m)	ex	= 0,00 (m)
h2	= 1,00 (m)	ey	= 0,00 (m)
h4	= 0,10 (m)		



a'	= 78,0 (cm)
b'	= 48,0 (cm)
c1	= 5,0 (cm)
c2	= 3,0 (cm)

1.1.3 Matériaux

- Béton : BETON25; résistance caractéristique = 25,00 MPa
Poids volumique = 2501,36 (kG/m³)
- Armature longitudinale : type HA 400 résistance caractéristique = 400,00 MPa
- Armature transversale : type HA 400 résistance caractéristique = 400,00 MPa
- Armature additionnelle: : type HA 400 résistance caractéristique = 400,00 MPa

1.1.4 Chargements:

Charges sur la semelle:

Cas	Nature	Groupe N (T)	Fx (T)	Fy (T)	Mx (T*m)	My (T*m)		
1.35G+1.5Q		de calcul(Structurelle)		----	2,65	0,01	0,22	0,01
-0,00								
CAL.1	de calcul	----	1,92	0,01	0,16	0,01	-0,00	
G+S	de calcul	----	1,96	0,01	0,16	0,00	-0,00	
G+W1	de calcul	----	2,46	2,24	1,01	-0,12	6,25	
G+W2	de calcul	----	4,13	-0,34	1,30	-0,09	-0,37	
G+0.9W1+0.9S+0.9Q	de calcul			----	2,90	0,99	-0,12	5,63
G+W2+0.9S	de calcul			----	4,60	1,36	-0,10	-0,36
G+0.9Q+0.9W1	de calcul			----	2,44	0,93	-0,11	5,62
G+0.9Q+0.9W2	de calcul			----	3,94	1,19	-0,08	-0,33
G+0.9Q+0.9W2+0.9S	de calcul			----	4,41	1,25	-0,09	-0,33
G+0.9W1+0.9S	de calcul			----	2,87	0,99	-0,12	5,63
G+0.9W2+0.9S	de calcul			----	4,38	1,25	-0,09	-0,33

Charges sur le talus:

Cas	Nature	Q1 (T/m ²)
-----	--------	---------------------------

1.1.5 Liste de combinaisons

1/ ELU : 1.35G+1.5Q N=2,65 Mx=0,01 My=-0,00 Fx=0,01 Fy=0,22

2/	ELS : G N=1,92 Mx=0,01 My=-0,00 Fx=0,01 Fy=0,16
3/	ELS : G+S N=1,96 Mx=0,00 My=-0,00 Fx=0,01 Fy=0,16
4/	ELS : G+W1 N=2,46 Mx=-0,12 My=6,25 Fx=2,24 Fy=1,01
5/	ELS : G+W2 N=4,13 Mx=-0,09 My=-0,37 Fx=-0,34 Fy=1,30
6/	ELS : G+0.9W1+0.9S+0.9Q N=2,90 Mx=-0,12 My=5,63 Fx=2,02 Fy=0,99
7/	ELS : G+W2+0.9S N=4,60 Mx=-0,10 My=-0,36 Fx=-0,33 Fy=1,36
8/	ELS : G+0.9Q+0.9W1 N=2,44 Mx=-0,11 My=5,62 Fx=2,01 Fy=0,93
9/	ELS : G+0.9Q+0.9W2 N=3,94 Mx=-0,08 My=-0,33 Fx=-0,31 Fy=1,19
10/	ELS : G+0.9Q+0.9W2+0.9S N=4,41 Mx=-0,09 My=-0,33 Fx=-0,30 Fy=1,25
11/	ELS : G+0.9W1+0.9S N=2,87 Mx=-0,12 My=5,63 Fx=2,02 Fy=0,99
12/	ELS : G+0.9W2+0.9S N=4,38 Mx=-0,09 My=-0,33 Fx=-0,30 Fy=1,25
13/*	ELU : 1.35G+1.5Q N=2,65 Mx=0,01 My=-0,00 Fx=0,01 Fy=0,22
14/*	ELS : G N=1,92 Mx=0,01 My=-0,00 Fx=0,01 Fy=0,16
15/*	ELS : G+S N=1,96 Mx=0,00 My=-0,00 Fx=0,01 Fy=0,16
16/*	ELS : G+W1 N=2,46 Mx=-0,12 My=6,25 Fx=2,24 Fy=1,01
17/*	ELS : G+W2 N=4,13 Mx=-0,09 My=-0,37 Fx=-0,34 Fy=1,30
18/*	ELS : G+0.9W1+0.9S+0.9Q N=2,90 Mx=-0,12 My=5,63 Fx=2,02 Fy=0,99
19/*	ELS : G+W2+0.9S N=4,60 Mx=-0,10 My=-0,36 Fx=-0,33 Fy=1,36
20/*	ELS : G+0.9Q+0.9W1 N=2,44 Mx=-0,11 My=5,62 Fx=2,01 Fy=0,93
21/*	ELS : G+0.9Q+0.9W2 N=3,94 Mx=-0,08 My=-0,33 Fx=-0,31 Fy=1,19
22/*	ELS : G+0.9Q+0.9W2+0.9S N=4,41 Mx=-0,09 My=-0,33 Fx=-0,30 Fy=1,25
23/*	ELS : G+0.9W1+0.9S N=2,87 Mx=-0,12 My=5,63 Fx=2,02 Fy=0,99
24/*	ELS : G+0.9W2+0.9S N=4,38 Mx=-0,09 My=-0,33 Fx=-0,30 Fy=1,25

1.2 Dimensionnement géotechnique

1.2.1 Principes

Dimensionnement de la fondation sur:

- Capacité de charge
- Glissement
- Renversement
- Soulèvement

1.2.2 Sol:

Contraintes dans le sol: $\sigma_{ELU} = 0.38 \text{ (MPa)}$ $\sigma_{ELS} = 0.25 \text{ (MPa)}$

Niveau du sol: $N_1 = 0,00 \text{ (m)}$

Niveau maximum de la semelle: $N_a = 0,00 \text{ (m)}$

Niveau du fond de fouille: $N_f = -1,50 \text{ (m)}$

Argiles et limons fermes

- Niveau du sol: 0.00 (m)
- Poids volumique: 2039.43 (kG/m³)
- Poids volumique unitaire: 2692.05 (kG/m³)
- Angle de frottement interne: 30.0 (Deg)
- Cohésion: 0.02 (MPa)

1.2.3 États limites

Calcul des contraintes

Type de sol sous la fondation: uniforme

Combinaison dimensionnante **ELU : 1.35G+1.5Q N=2,65 Mx=0,01 My=-0,00**

Fx=0,01 Fy=0,22

Coefficients de chargement: **1.35** * poids de la fondation
1.35 * poids du sol

Résultats de calculs: au niveau du sol

Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: Gr = 27,96 (T)

Renversement

Autour de l'axe OX
Combinaison dimensionnante **ELU : 1.35G+1.5Q N=2,65 Mx=0,01 My=-0,00**
Fx=0,01 Fy=0,22
Coefficients de chargement: **1.00** * poids de la fondation
1.00 * poids du sol
Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: Gr = 20,71 (T)
Charge dimensionnante:
Nr = 23,36 (T) Mx = -0,32 (T*m) My = 0,02 (T*m)
Moment stabilisateur: M_{stab} = 25,70 (T*m)
Moment de renversement: M_{renv} = 0,33 (T*m)
Stabilité au renversement: 78.33 > 1

Autour de l'axe OY
Combinaison défavorable: **ELU : 1.35G+1.5Q N=2,65 Mx=0,01 My=-0,00**
Fx=0,01 Fy=0,22
Coefficients de chargement: **1.00** * poids de la fondation
1.00 * poids du sol
Poids de la fondation et du sol au-dessus de la fondation: Gr = 20,71 (T)
Charge dimensionnante:
Nr = 23,36 (T) Mx = -0,32 (T*m) My = 0,02 (T*m)
Moment stabilisateur: M_{stab} = 32,70 (T*m)
Moment de renversement: M_{renv} = 0,02 (T*m)
Stabilité au renversement: 1805 > 1

1.3 Dimensionnement Béton Armé

1.3.1 Principes

- Fissuration : peu préjudiciable
- Milieu : non agressif
- Prise en compte de la condition de non-fragilité : oui

1.3.2 Analyse du poinçonnement et du cisaillement

Poinçonnement

Combinaison dimensionnante **ELU : 1.35G+1.5Q N=2,65 Mx=0,01 My=-0,00**
Fx=0,01 Fy=0,22
Coefficients de chargement: **1.00** * poids de la fondation
1.00 * poids du sol
Charge dimensionnante:
Nr = 23,36 (T) Mx = -0,32 (T*m) My = 0,02 (T*m)
Longueur du périmètre critique: 5,57 (m)
Force de poinçonnement: 1,04 (T)
Hauteur efficace de la section heff = 0,50 (m)
Contrainte de cisaillement: 0,00 (MPa)
Contrainte de cisaillement admissible: 0,75 (MPa)
Coefficient de sécurité: 204.5 > 1

1.3.3 Ferrailage théorique

Semelle isolée:

Aciers inférieurs:

ELS : G+W1 N=2,46 Mx=-0,12 My=6,25 Fx=2,24 Fy=1,01

$$M_y = 3,25 \text{ (T*m)} \quad A_{sx} = 4,40 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$\text{ELS : G+W2+0.9S N=4,60 } M_x=-0,10 \text{ } M_y=-0,36 \text{ } F_x=-0,33 \text{ } F_y=1,36 \\ M_x = 1,47 \text{ (T*m)} \quad A_{sy} = 4,40 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$A_s \text{ min} = 4,40 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

Aciers supérieurs:

$$\text{ELS : G+W1 N=2,46 } M_x=-0,12 \text{ } M_y=6,25 \text{ } F_x=2,24 \text{ } F_y=1,01 \\ M_y = -2,16 \text{ (T*m)} \quad A'_{sx} = 4,40 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$\text{ELS : G+W1 N=2,46 } M_x=-0,12 \text{ } M_y=6,25 \text{ } F_x=2,24 \text{ } F_y=1,01 \\ M_x = -0,04 \text{ (T*m)} \quad A'_{sy} = 4,40 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

$$A_s \text{ min} = 0,00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

Fût:

$$\text{Armature longitudinale } A = 19,40 \text{ (cm}^2) \quad A_{\text{min.}} = 19,20 \text{ (cm}^2)$$

$$A = 2 * (A_{sx} + A_{sy})$$

$$A_{sx} = 3,64 \text{ (cm}^2) \quad A_{sy} = 6,06 \text{ (cm}^2)$$

1.3.4 Ferrailage réel

2.3.1 Semelle isolée:

Aciers inférieurs:

En X:

$$14 \text{ HA } 400 \text{ } 12 \text{ } l = 3,16 \text{ (m)} \quad e = 1*-0,98 + 13*0,15$$

En Y:

$$18 \text{ HA } 400 \text{ } 14 \text{ } l = 2,67 \text{ (m)} \quad e = 1*-1,27 + 17*0,15$$

Aciers supérieurs:

En X:

$$14 \text{ HA } 400 \text{ } 14 \text{ } l = 3,27 \text{ (m)} \quad e = 1*-0,98 + 13*0,15$$

En Y:

$$18 \text{ HA } 400 \text{ } 14 \text{ } l = 2,67 \text{ (m)} \quad e = 1*-1,27 + 17*0,15$$

2.3.2 Fût

Armature longitudinale

Attentes

Armature longitudinale

$$22 \text{ HA } 400 \text{ } 12 \text{ } l = 2,60 \text{ (m)} \quad e = 1*-0,37 + 1*0,01 + 5*0,14 + 1*0,01$$

2 Quantitatif:

- Volume de Béton = 4,04 (m³)
- Surface de Coffrage = 9,00 (m²)

- Acier HA 400
 - Poids total = 275,73 (kG)
 - Densité = 68,25 (kG/m³)
 - Diamètre moyen = 12,5 (mm)
 - Liste par diamètres:

Diamètre	Longueur (m)	Poids (kG)
8	36,26	14,31
12	101,38	90,04
14	141,77	171,38

8.7- CALCUL DES LONGRINES :

Les longrines ont pour rôle de relier les semelles entre elles, elles sont soumises à un effort de traction. Une longrine est posée directement sur un béton de propreté pour empêcher la pollution du béton frais de la longrine par le sol support lors du coulage du béton. Le béton de propreté offre également un support uniforme à la longrine.

8.7.1- Dimensionnement des longrines :

Selon le RPA99, pour un sol de type S3 les dimensions minimales de la section transversale des longrines sont : 30 cm x 40 cm.

Les longrines doivent être calculées pour résister à la traction sous l'action d'une force égale à

$$F = \max (N/\alpha; 20 \text{ KN})$$

Avec :

N : Egale à la valeur maximale des charges verticales de gravité apportées par les points d'appui solidarisés.

α : Coefficient fonction de la zone sismique et de la catégorie de site considérée, pour les sols S3 et zone sismique IIa ($\alpha = 12$).

- Ferrailage :

ELU :

$$N_u = 416.14 \text{ dan}$$

$$F_u = \max(N_u / \alpha ; 20 \text{ KN})$$

$$F_u = 416.14 / 12 = 34.68 \text{ dan}$$

$$F_u = \max (0.34 \text{ KN} ; 20 \text{ KN}) \text{ on prend } F_u = 20 \text{ KN}$$

Le RPA99 exige une section minimale

$$A_s = 0,6\% B = (0,6 / 100) (25 \times 30) = 4.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{on adopte : } 6 \text{ T12} = 6,78 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilités :

$$A_s \geq 0,23 (f_t / f_e) b d$$

$$A_s \geq 0,23 (2.1 / 400) 25 \times 27 = 0.81 \text{ cm}^2$$

$$A_s \geq 0.81 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

L'espace des cadres :

$$St \leq \min (20 \text{ cm}, 15\varnothing) \Rightarrow St \leq \min (20 \text{ cm}, 15 \times 1, 2)$$

$$St \leq \min (20 \text{ cm}, 18 \text{ cm})$$

On adopter: $St = 15 \text{ cm}$.

Les armatures transversales :

On choix forfaitairement : $\varnothing t = 8 \text{ mm}$.

$$As = 2.01 \text{ cm}^2$$

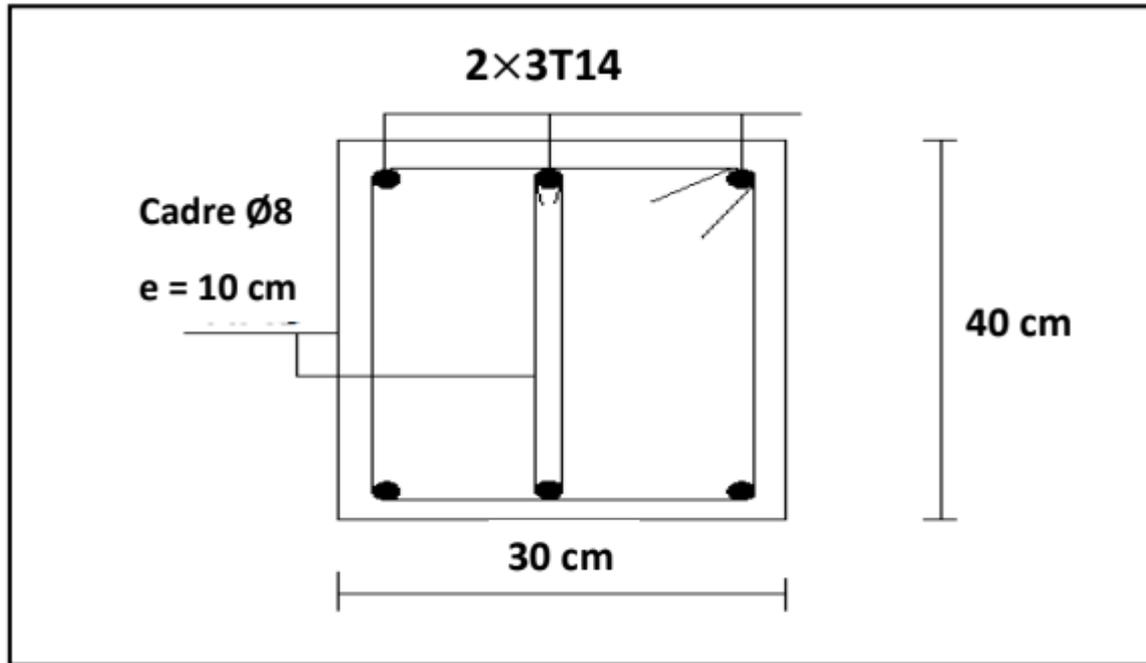


Figure9.3: ferrailage des longrines

Annexe 04 : Valeur de χ en fonction de $\bar{\lambda}$

Coefficients de réduction				
$\bar{\lambda}$	Valeurs de χ pour la courbe de flambement			
	a	b	c	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de mettre en évidence le processus de conception et calcul d'une halle d'exposition en construction métallique, à savoir : pannes et lisses support de l'enveloppe, portiques avec traverses à âme pleine, poutre au vent et palée de stabilité, assemblages soudés et boulonnés des portiques, et les fondations.

Dans le choix des profilés et les dimensionnements, on a essayé de tenir en compte le plan économique en utilisant des liernes pour les pannes, des suspentes pour les lisses, des clés et jarrets pour les portiques, des raidisseurs pour les bases de poteau.

Les calculs reposent sur les notions de résistances des matériaux, et d'autre part sur la réglementation algérienne actuelle RNV99/2013 pour les effets de la neige et du vent, RPA99/2003 pour les actions sismiques, CM97 pour les dimensionnements des barres, les vérifications des pièces et les assemblages.

A nos jours, la construction métallique est de plus en plus utilisée vu ses avantages (bâtiments industriels, entrepôts,...) et devient même incontournable pour les ouvrages de grandes portées (pont, hangar d'avion,...)

Grâce à ce projet, nous avons pu élargir et enrichir nos connaissances, en particulier dans le domaine de la charpente métallique malgré que nous avons rencontré quelques difficultés dans les calculs.

Nous n'avons pas eu le privilège de bien exploiter ce sujet du fait de nos insuffisances en la matière mais le peu dont nous avons parlé demeure à plus d'un titre et exploitable pour ceux qui voudront s'intéresser au sujet du même type afin de le poursuivre car ce n'est pas fini.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Règlement neige et vent : Document Technique Réglementaire DTR B-C 2.48, Ministère de l'habitat, 1999.
- Règles Parasismiques Algériennes : RPA99/Version 2003. Document Technique
- Réglementaire DTR B-C 2.48, Centre National de recherche Appliquée en Génie Parasismique, 2003.
- Charges permanentes et surcharges d'exploitations. Document Technique Réglementaire DTR B-C 2.2, Ministère de l'Urbanisme et de la Construction, 1989.
- Calcul des éléments résistants d'une construction métallique selon l'Eurocode 3.
- Office des publications universitaires, 2009.
- Calcul des Eléments Résistants d'une Construction Métallique. Lahlou Dahmani.
- Office des publications universitaires, 2012.
- Calcul des Structures Métalliques selon l'Eurocode 3. *Jean Morel* .cinquième tirage Eyrolles Paris, 2002.
- Règles de Calcul des fondations superficielles. Document Technique Réglementaire
- DTR B-C 2.2, Ministère de l'Equipement et de logement, 1992.
- B.A.E.L 91 Béton Armé aux Etats limites, troisième tirage, Eyrolles Paris, 1997.
- PFE Étude d'une halle métallique avec traverses à âme pleine à usage d'exposition Réalisé par : Mansouri Djelal et Bouzok Mehdi Nejmeddine.
- La norme européenne NF EN 1090-2+A1.