

N° Ordre /FT/UMBB/2020

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

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Mémoire de Master

Filière : Génie Mécanique

Option : Ouvrages Métalliques et Chaudronneries

Etude et conception d'un hall de
maintenance navale en charpente métallique
équipé d'un pont roulant de 30 T et un
espace d'utilité.

Promoteur :

Mr.Meskine Mohamed

Présenté par :

Melle Sifi Racha

Mr Berrezag Abdel bassat

Encadreur :

Mr.Sizid Aziz

Promotion 2020/2021

Dédicaces

Je dédie entièrement ce travail à mes très chers parents : mes piliers, mes exemples et ma plus grande force.

A mon cher frère Youcef et à la meilleure des sœurs Rania qui font de mon univers une merveilleuse.

Sifi Racha

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier Allah le tout puissant, créateur des cieux et de la terre, de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ce travail de fin de Master.

Je souhaite adresser toute ma gratitude à notre encadreur Mr MESKINE Mohamed, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Mes chaleureux remerciements s'adressent à tous les enseignants de la faculté qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires. Qu'ils puissent trouver dans ce travail le témoignage de ma sincère gratitude et profond respect.

Je tiens à remercier également, les membres du jury qui nous font un grand honneur d'évaluer ce travail.

Mes remerciements chaleureux à l'ensemble des personnes de la Société BATICIC, Mr Aziz sizid.

Chacun a pris le temps de répondre à nos questions et de lever nos interrogations tout au long du stage, permettant ainsi à notre mémoire d'arriver à terme.

Un grand merci à ma famille et plus particulièrement à mes très chers parents pour leur présence, leur soutien, leur aide et surtout pour leur amour : tout ce que j'espère c'est qu'ils soient fiers de moi aujourd'hui.

Merci à toutes mes tantes, oncles, cousins et cousines pour m'avoir encouragé et épaulé durant toutes mes études.

Je souhaite exprimer particulièrement ma reconnaissance à mes amis :

Mezali Hassina Amel, Ainalouane Hind, Gadi Malak, Derouech Menel, Mekelelleche abdEl Fatah, Berrezag Abdel Bassat, qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel, leur accompagnement et leur amitié durant ces années d'études.

Enfin, je souhaite à tous les lecteurs de ce mémoire de découvrir l'intérêt de ce travail qui m'a animé tout au long de cette recherche.

A tous, je présente mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.

Particulièrement je remercie mon binôme Berrezag Abdel Bassat d'avoir accomplis ce travail

Sifi Racha

Dédicaces

Je dédie entièrement ce travail à mes très chers parents : mes piliers, mes exemples et ma plus grande force.

A mon cher frère Abdel Rahmen , ainsi que ma frangine qui ma soutenue durant tout mon parcours.

Berrezag abdel Bassat

Remerciements

Tout d'abord je tiens à remercier Allah le tout puissant, créateur des cieux et de la terre, de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ce travail de fin de Master.

Je souhaite adresser toute ma gratitude à notre encadreur Mr MESKINE Mohamed, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Mes chaleureux remerciements s'adressent à tous les enseignants de la faculté qui nous ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires. Qu'ils puissent trouver dans ce travail le témoignage de ma sincère gratitude et profond respect.

Je tiens à remercier également, les membres du jury qui nous font un grand honneur d'évaluer ce travail.

Mes remerciements chaleureux à l'ensemble des personnes de la Société BATICIC, Mr Aziz sizid.

Je souhaite exprimer particulièrement ma reconnaissance à mes amis :

Ould Mohammedi Merouane , Bchairia Hakim , Sifi Racha qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel, leur accompagnement et leur amitié durant ces années d'études.

Enfin, je souhaite à tous les lecteurs de ce mémoire de découvrir l'intérêt de ce travail qui m'a animé tout au long de cette recherche.

A tous, je présente mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.

Particulièrement je remercie mon Binôme Sifi Racha d'avoir accomplis ce travail

Berrezag abdel Bassat

Sommaire

Chapitre I présentation

I.1	Introduction	1
I.2	Description architecturale de l'ouvrage:.....	1
I.2.1	Données géométrique de l'ouvrage.....	1
I.2.2.	Dimension géométrique	1
I.2.3	Situation du projet donné concernant le site.....	3
I.3	Caractéristique de sol :.....	3
I.4	Ossature de la structure :	3
I.4.1	La toiture.....	3
I.4.2	Les façades	3
I.5	Les propriétés de l'acier :.....	3
I.6.	Les action prises en compte	4
I.7.	Elements structure.....	5
I.8	Unités utilisées	5
I.9	Règlements utilisée	5

Chapitre II étude climatique

II.	Introduction	6
II.1	Etude de la neige	6
II.2	Etude du vent.....	7
II.2.1	Détermination des différents paramètres ou coefficient de la région	7
a.	Effet de la région (q_{ref})	7
b.	Effet de site	7

c. Coefficient topographie	7
d. Calcul de coefficient dynamique	7
e. Calcul de la pression dynamique de pointe	7
f. Calcul du coefficient d'exposition.....	8
II.2.2 Détermination de coefficient de pression extérieure Cpe	9
II.2.3 Détermination de coefficient de pression intérieure Cpi	18
II.2.4 Détermination la pression du au vent qj	20
II.2.5 Détermination l'effet du frottement	24
II.3 Conclusion.....	24

Chapitre III les éléments secondaires

III. Introduction.....	25
III.1 Dimensionnement des pannes	25
➤ Pour le hall de maintenance	
a.1 Evaluation des charges	26
a.2 Charges et surcharges par mètre linéaire revenant à la panne intermédiaire	27
a.3 La projection des Charges	28
a.4 les Combinaisons de Charge	28
a.5 Vérification de la flèche	29
a.5.1 La vérification de la flèche suivant l'axe y-y	29
a.5.2 La vérification de la flèche suivant l'axe y-y.....	29
a.6 Vérification de la flexion bi-axiale (ELU)	30
a.7 Vérification au cisaillement (ELU)	31
a.8 Vérification au déversement	31
➤ Pour l'espace d'utilité	
a.1 Evaluation des charges	32
b.2 Evaluation des charges	33
b.3 Les combinaisons de Charge	33
b.4 Vérification de la stabilité de la panne	33
III.2 Dimensionnement des potelets	34
a. Potelets 1	
a.1 évaluation des charges et surcharges	35

a.2 Charges et surcharges par mètre linéaire	35
a.3 les Combinaisons de Charge les plus défavorables	36
a.4 Vérification de la flèche.....	36
a.4.1 La vérification de la flèche suivant l'axe y-y	36
a.5 Vérification de la flexion bi-axiale (ELU)	36
a.6 Vérification de la résistance au moment fléchissant et l'effort bi-axial	37
a.7 Vérification au flambement	37
b. Potelet 2	
b.1 évaluation des charges et surcharges	39
b.2 Charges et surcharges par mètre linéaire	39
b.3 les Combinaisons de Charge les plus défavorables	39
III.3 Dimensionnement des lisses.....	41
➤ Lisse de bardage du pignon	
a.1 Evaluation des charges	41
a.2 Charges par mètre linéaire	42
a.3 les Combinaisons de Charge les plus défavorables	42
a.4 Vérification de la flèche	42
a.4.1 La vérification de la flèche suivant l'axe z-z	42
a.4.2 La vérification de la flèche suivant l'axe y-y	42
a.5 Vérification de la flexion bi-axiale (ELU).....	43
a.6 Vérification au cisaillement (ELU).....	43
a.7 Vérification au déversement	44
➤ Lisse de bardage du long pant	45
b.1 Evaluation des charges	45
b.2 Charges par mètre linéaire	45
b.3 les Combinaisons de Charge les plus défavorables	45
III.4 Dimensionnement des liernes	
➤ Face pignon	
c.1 Calcul de la réaction R	47
c.2 Calcul les efforts de traction T_i	47

c.3 Détermination de diamètre du rond	47
➤ Face long pant	
d.1 Calcul de la réaction R	48
d.2 Calcul les efforts de traction T_i	48
d.3 Détermination de diamètre du rond	49
III.5 Conclusion.....	50

Chapitre IV Chemin de roulement

IV.1 Introduction.....	51
IV.2 Caractéristique du pont roulant	51
IV.3 Le classement et coefficient de pont roulant	52
a. Classement du pont roulant	52
b. Coefficients	52
IV.4 Calcul de la poutre de roulement PDR	52
a. Réactions des galets d'un pont roulant	52
b. Réactions horizontales transversales.....	53
IV.5 Pré-dimensionnement de la poutre de roulement	54
a. Vérification de la flèche.....	54
b. Vérification de moment fléchissant max	55
c. Effort tranchant max	55
IV.6 Choix du rail	56
1. Dimensions du rail de pont roulant	56
2. Dimension du crapaud	56
IV.7 Vérification de la flèche pour HEB 550.....	57
1. Flèche verticale	57
2. Flèche horizontale	57
IV.8 Dimensionnement de la poutre de freinage (Raidisseurs)	57
IV.9 Détermination de la poutre d'inertie (Raidisseurs)	57
IV.10 Vérification de la flèche après renforcement	57
IV.11 Evaluation des charges	57
1. Charge vertical	57
2. Charges horizontales transversales	57

IV.12 Evaluation des charges	59
• Les combinaisons de charges	59
• Vérification de la flexion bi-axiale	60
• Vérification de l'effort tranchant	61
• Vérification de moment fléchissant et de l'effort axial	61
• Vérification au moment fléchissant (déversement)	62
• Moment critique M_{cr}	62
• L'élancement	62
• Coefficient de réduction	62
• Vérification de la résistance à l'écrasement	63
• Vérification de la résistance à l'enfoncement local (poinçonnement)	63
IV.13 Conclusion	64

Chapitre V contreventement et stabilité

V.1 Introduction	65
V.2 Rôle des systèmes de contreventement	65
V.3 Calculs de la poutre au vent en pignon	65
VI.3 Evaluation des efforts horizontaux	66
a. Calculs de l'effort dans la diagonale	67
b. Calcul de la section brute	67
c. Vérification des diagonales à la traction	67
V.4 Calculs des palées de stabilité en X.....	67
a. Vérification des diagonales à la traction	68
V.5 Dimensionnement de la panne sablière	68
a. Vérification de la panne à la compression	68
b. Calcul de coefficient de réduction χ	69

Chapitre VI Etude du portique

VI.1 Généralité.....	70
VI.2 Calcul des portiques	70
a- Pour les poteaux du hall de maintenance	70
b- Pour les poteaux de l'espace d'utilité	73
c- Vérification des diagonales des poteaux	74
b. Vérification des diagonales de la ferme	75
c. Vérification des membrures	76

d. Vérification des montants de la ferme77

Chapitre VI les assemblages

VII.1 Introduction.....79

- Fonctionnement par obstacle79
- Fonctionnement par adhérence79

VII.2 Assemblages des stabilités.....79

- a. Résistance des boulons79
- b. Vérification de la pression diamétrale.....80
- c. Vérification du gousset a la pression diamétrale80
- d. Vérification du profilé à la traction80

VII.4 Assemblages ferme poteau80

- La membrure supérieure80

VIII.1 Vérification de la pression diamétrale.....81

- a. Vérification de la pression diamétrale de cornière 90*9.....81
- b. Vérification de la pression diamétrale du poteau HEB 500.....81
- c. Vérification des éclisses81
- La membrure inférieure81
- d. Vérification de la pression diamétrale.....82
- e. Vérification de la pression diamétrale de cornière 90*9.....82
- f. Vérification de la pression diamétrale du poteau HEB 500.....82
- g. Vérification des éclisses82

VII.4 Assemblages poteau sablière.....83

VII.5 Assemblages poteaux.....86

Conclusion générale

Liste des tableaux

Chapitre 2 : étude climatique

Tableau : II.1- valeurs des coefficients du site.....	7
Tableau : II.2- Valeurs de la pression dynamique de référence.....	8
Tableau : II.3- définition catégories de terrain.....	8
Tableau : II.4 Tableau de Récapitulation des Résultats.....	9
Tableau : II.5 Cpe10 pour les parois verticales de bâtiments à base rectangulaire	10
Tableau : II.6 Coefficient de pression extérieur pour toiture à versants multiples.....	12
Tableau : II.9 Coefficient de pression extérieur pour toiture à versants multiples.....	14
Tableau : II.10 Cpe10 pour les parois verticales de bâtiments à base rectangulaire.....	16
Tableau : II.11 Coefficient de pression extérieur pour toiture à un versant.....	17
Tableau : II.12 Coefficient de pression extérieur pour toiture à un versant	18
Tableau : II.13 Pressions Qj sur la paroi verticale.....	20
Tableau : II.14 Pressions Qj sur la toiture	20
Tableau : II.15 Pressions Qj sur la toiture	21
Tableau : II.16 Pressions Qj sur la paroi verticale.....	21
Tableau : II.17 Pressions Qj sur la toiture	21
Tableau : II.18 Pressions Qj sur la toiture	22
Tableau : II.19 Pressions Qj sur la paroi verticale.....	22
Tableau : II.20 Pressions Qj sur la toiture	22
Tableau : II.21 Pressions Qj sur la toiture	23
Tableau : II.22 Pressions Qj sur la paroi verticale.....	23
Tableau : II.23 Pressions Qj sur la toiture	23
Tableau : II.24 Pressions Qj sur la toiture	24

Chapitre 3 : Les éléments secondaires

Tableau III.1 : Caractéristique de HEA 160.....	26
---	----

Tableau III.2 : projection des charges.....	28
Tableau III.3 : les combinaisons de charges.....	29
Tableau III.4 : décomposition des charges et surcharge.....	32
Tableau III.5 : projection des charges.....	33
Tableau III.6 : les combinaisons de charges.....	33
Tableau III.7 : tableau récapitulative	33
Tableau III.8 : récapitulatifs des vérifications	34
Tableau III.9 : Caractéristique de HEB 800.....	35
Tableau III.10 : les combinaisons des charges.....	36
Tableau III.11 : Caractéristique de IPE 400	39
Tableau III.12 : les combinaisons des charges.....	39
Tableau III.13 : tableau qui résume les vérifications	40
Tableau III.14 : Caractéristique de UPN 160.....	42
Tableau III.15 : les combinaisons des charges.....	42
Tableau III.16 : Caractéristique de UPN 140.....	45
Tableau III.17 : les combinaisons des charges.....	45
Tableau III.18 : tableau récapitulatif des vérifications	46

Chapitre 4 : chemin de roulement

Tableau IV.1 : caractéristique et dimensions du pont roulant	51
Tableau IV.2 : Classements des ponts roulants.....	52
Tableau IV.3 : Coefficients de majoration dynamique.....	52
Tableau IV.4 : Les valeurs des réactions du pont roulant.....	54
Tableau IV.5 : caractéristiques et dimension de HEB550	51
Tableau IV.6 : caractéristique des rails.....	56
Tableau IV.7 : dimensions du crapaud	56
Tableau IV.8 : caractéristique du profilé.....	57
Tableau IV.9 : tableau récapitulatif des chargess.....	59
Tableau IV.10 : les combinaisons des charges verticales.....	59
Tableau IV.11 : les combinaisons des charges verticales (les moments).....	60
Tableau VI.12: les combinaisons des charges horizontales transversales.....	60
Tableau IV.13: les combinaisons des charges horizontales transversales.....	60

Liste des figures

Chapitre 1 : présentation de sujet

Figure I.1 : Vue en perspective de la structure.....	1
Figure I.2 : Vue suivant long pont coté espace d'utilité	2
Figure I.3 : Vue suivant Long pont (hangar).....	2
Figure I.4 : Vue sur pignon fermé (postérieure-Fille20).....	2
Figure I.5 : vue sur pignon principal file (1).....	2
Figure I.6 : diagramme effort/déformation de l'acier.....	4

Chapitre 2 : étude climatique

Figure II.1 : direction du vent.....	9
Figure II.2 : légende pour les parois verticales.....	10
Figure II.3 : légende pour les parois verticales.....	10
Figure II.4 : légende pour la toiture à versants multiples.....	12
Figure II.5 : direction du vent.....	12
Figure II.6 : légende pour les parois verticales.....	12
Figure II.7 : légende pour les parois verticales	13
Figure II.8 : Légende pour la toiture à versants multiple.....	14
Figure II.9 : direction du vent.....	15
Figure II.10 : légende pour les parois verticales.....	15
Figure II.11 : légende pour les parois verticales.....	16
Figure II.12 : légende pour la toiture à un versant.....	17
Figure II.13 : légende pour la toiture à deux versants.....	18
Figure II.14 Cpi pour les bâtiments sans cloisons intérieures.....	19

Chapitre 3 : les éléments secondaires.

Figure : III.1 Disposition d'une panne sur un versant	25
Figure : III.2 les charges agissant sur la panne.....	26
Figure III.3 : schéma statique des charges permanentes.....	27
Figure III.4 : schéma statique de pannes sous charge de V.....	27
Figure III.5 : schéma statique de pannes sous surcharge de S.....	27
Figure III.6 : schéma statique de la poutre équivalente.....	28
Figure III.7 : Disposition des potelets	35
Figure III.8 : Disposition des lisses	41
Figure III.9 : disposition des liernes du pignon.....	48
Figure III.10 : disposition des liernes du long pont	49

Chapitre 4 : chemin de roulement

Figure IV.1 : schéma du pont roulant	51
Figure IV.2 : Disposition des réactions des galets sur la PDR	54
Figure IV.3 : Disposition des réactions des galets sur la PDR	55
Figure IV.4 : Schéma représentant les réactions.....	55
Figure IV.5 : Schéma (PDR+Rail).....	56
Figure IV.6 : Renforcement de la PDR.....	57

Chapitre5 : contreventement et stabilité

Figure V.1 : schéma statique de la poutre au vent.....	66
Figure V.2 : isolation du nœud 1.....	67
Figure V.3 schéma du palet de stabilité.....	67
Figure V.4 : schéma statique de la panne sablière.....	68

Chapitre6 : étude du portique

Figure VI.1 : vue du portique.....	70
------------------------------------	----

Chapitre7 : les assemblages

Figure VII.1 : schéma détails de l'assemblage poteau sablière.....	83
Figure VII.2 : schéma de l'assemblage.....	83
Figure VII.3 : Schéma détails de l'assemblage poteaux.....	86
Figure VII.4 : Schéma de l'assemblage	87

Notations utilisées

Majuscules latines :

A	Section brute d'une pièce.
A_{net}	Section nette d'une pièce.
A_w	Section de l'âme.
A_p	Surface portante.
A_s	Aire de la Section résistante a la traction du boulon.
E	Module d'élasticité longitudinale.
F	Force en générale.
F_p	Force de calcul précontrainte.
F_s	Résistance d'un boulon au glissement.
$F_{t.rd}$	Résistance d'un boulon en traction.
$F_{b.rd}$	Résistance a la pression diamétrale.
G	La charge permanent.
I	Moment d'inertie.
K_c	Coefficient de Rigidité poteaux.
K_{ij}	Coefficients de Rigidités des poutres.
$K_{y,z}$	Coefficient de flambement- flexion.
L	Langueur.
M_{sd}	Moment fléchissant.
M_{rd}	Moment résistant par unité de longueur dans la plaque d'assise.
M_{pl}	Moment plastique.
M_{cr}	Moment critique.
N_{sd}	effort normal.
$N_{t sd}$	effort normal de traction.
$N_{c sd}$	effort normal de compression.
N_{pl}	effort normal plastique.
N_u	effort normal ultime.
N_j	Force d'adhérence avec le béton.
Q	charge d'exploitation.
W_{pl}	Module de résistance plastique.
W_{el}	Module de résistance élastique.

Minuscules latines :

b	Largeur de l'âme.
b_{eff}	Largeur efficace.
c_i	Coefficients.
d	entraxe.
d_0	diamètre de perçage des trous de boulon.
f	flèche d'une poutre.
f_y	Limite d'élasticité d'un acier.
f_{yb}	Limite d'élasticité d'un boulon.
f_u	Contrainte de rupture d'une pièce.
f_{ub}	Contrainte de rupture d'un boulon.

f_{ck}	résistance caractéristique en compression sur cylindre du béton.
f_j	résistance de contact de la liaison.
f_{cd}	valeur de calcul de la résistance en compression sur cylindre du béton de fondation.
h	hauteur.
i	Rayon de giration.
k_w	Facteur de longueur.
k_s	Coefficient fonction de la dimension des trous de perçage.
k_j	Facteur de concentration.
n	Nombre de boulon.
m	Nombre de plants de cisaillement.
r_c	Rayon de raccordement âme /semelle du poteau.
t_w	Epaisseur de l'âme
t_f	Epaisseur de la semelle.
t_{wc}	Epaisseur âme poteau.
t_{fc}	Epaisseur âme semelle.
t_p	Epaisseur platine.
v_i	Distance de la fibre inférieure à l'axe neutre d'une section.
v_s	Distance de la fibre extrême supérieure à l'axe neutre d'une section.

Minuscules grecques :

χ_{LT}	Coefficient de réduction de déversement.
χ	Coefficient de réduction de flambement.
β_w	Facteur de corrélation.
β_M	Facteur de moment uniforme équivalent.
β_j	Coefficient relatif à la liaison.
γ_C	Coefficient de sécurité sur les propriétés du béton.
$\gamma_{M i}$	Coefficient de sécurité.
γ_{Mb}	Coefficient de sécurité de boulon.
γ_{MS}	Coefficient partiel de sécurité.
$\bar{\lambda}_{LT}$	Élancement de déversement.
$\bar{\lambda}$	Elancement.
ϕ_{LT}	Rotation de déversement.
ϕ	Rotation.
α_{LT}	Facteur d'imperfection pour le déversement.
α	Facteur d'imperfection.
μ	Coefficient de frottement.
σ	Contrainte normale.
τ_e	Contrainte limite de cisaillement en élasticité.
ε	Coefficient de réduction élastique de l'acier $\varepsilon = \left(\frac{235}{f_y} \right)^{0.5}$.
η	Facteurs de distribution.
ψ	Rapport de contraintes.

PRESENTATION
DU SUJET

I.1 Introduction

Notre projet consiste à étudier et dimensionner un bâtiment industriel (HANGAR avec un pont roulant et un espace d'utilité) destiné pour la maintenance navale dont la structure est en charpente métallique avec toiture à multiples versants. Ce projet sera implanté à ARZEW, la commune se situe dans la wilaya d'Oran.

I.2 Description architecturale de l'ouvrage:

A. Données géométriques de l'ouvrage

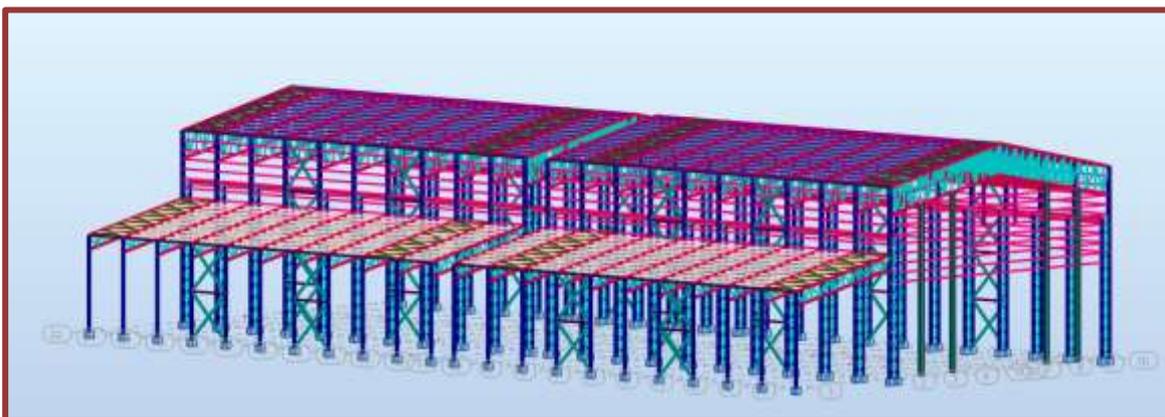


Figure I.1 : Vue d'ensemble en 3D.

B. Dimension géométrique

A) Hangar

Longueur totale = 124 m.
 Largeur totale = 42 m.
 Hauteur totale au faitage = 28.2 m.
 Longueur totale = 124 m

B) Espacement

Hauteur du pôteau = 12 m.
 Hauteur totale au faitage = 15.2.
 Largeur totale = 18 m.
 Longueur totale = 124 m

Toiture multiple d'une pente de 20 % et un angle d'inclinaison de 11.30°

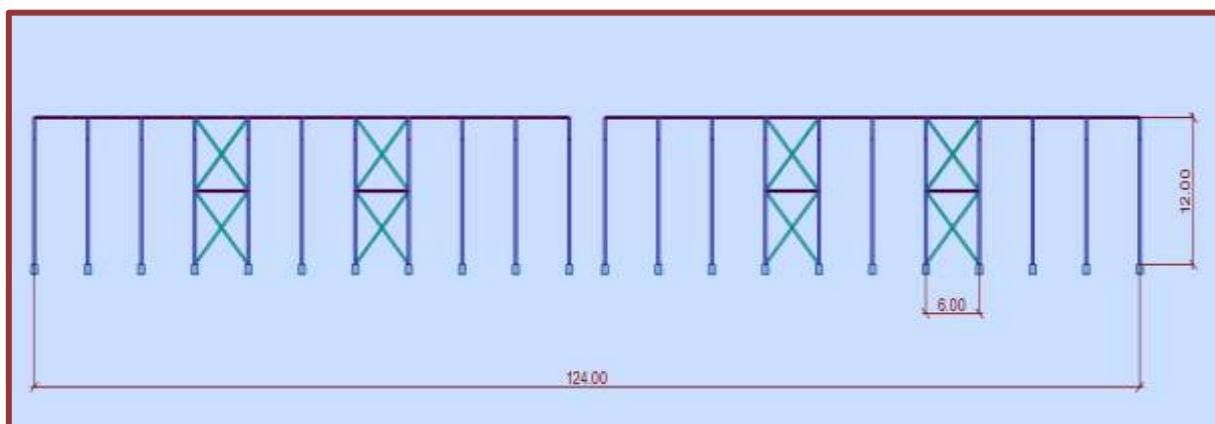


Figure I.2 : Vue sur la façade latérale coté espace d'utilité

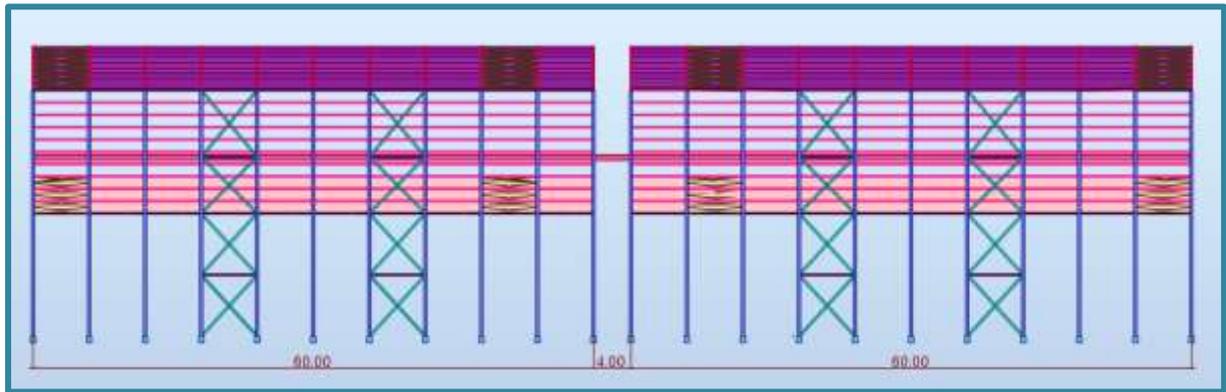


Figure I.3 : Vue sur la façade latérale

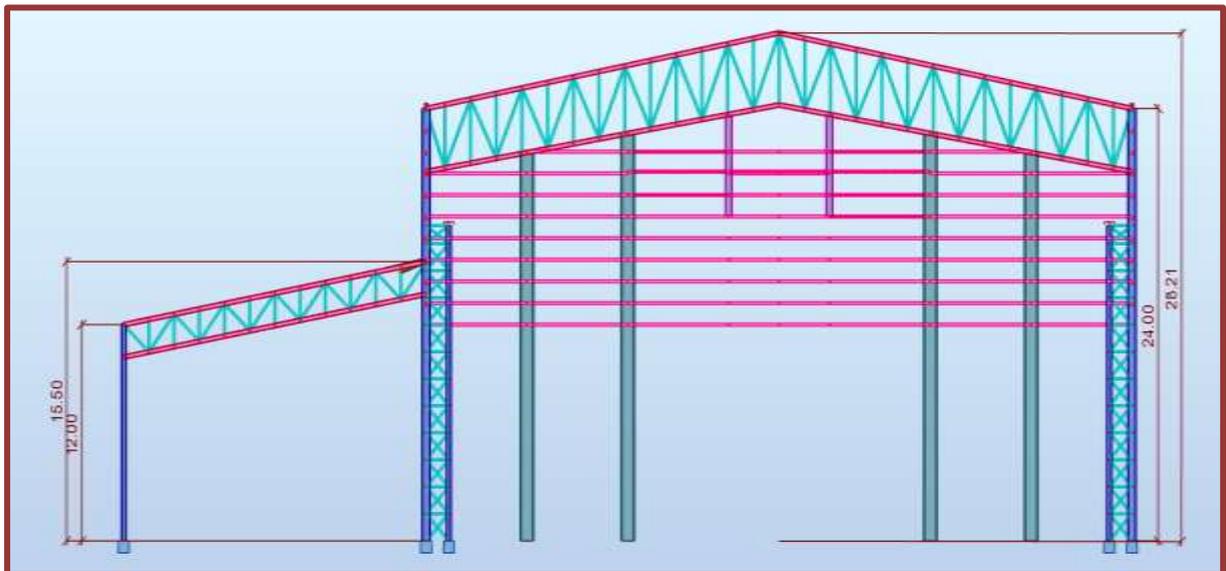


Figure I.4 : Vue sur le pignon fermé

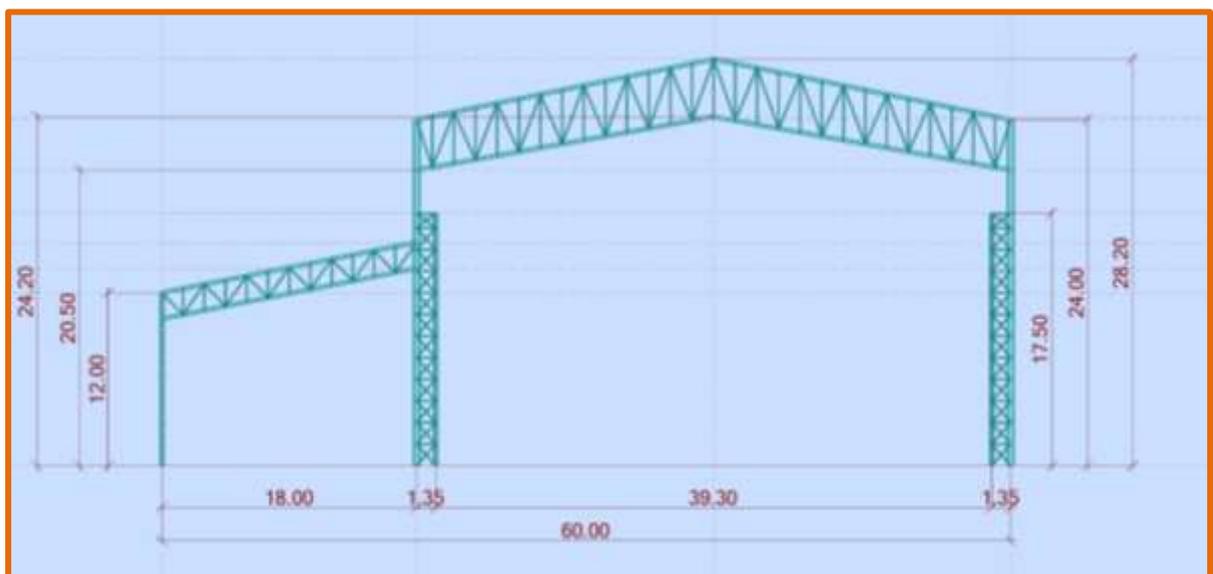


Figure I.5 : vue sur le pignon ouvert

C. Situation du projet donnée concernant le site

- Cette structure sera implantée à ARZEW, wilaya d'Oran
- Altitude géographique : 6 m
- Zone de neige : B
- Région de vent : II
- Zone sismique : IIb

I.3 Caractéristique du sol :

Les études faites sur le sol (rapport préliminaire de sol) : Notre terrain est un site rocheux d'où

- La Catégorie de terrain 0
- Site plat : $ct=1$

I.4 Ossature de la structure :

L'ossature de l'ouvrage sera constituée par des portiques métalliques et des contreventements qui assurent la stabilité verticale et horizontale

I.4.1 La toiture : La toiture sera faite en charpente métallique.

Le projet contient une toiture inclinée à deux versants pour le hangar et une toiture inclinée à un seul versant pour l'espace d'utilité, elle est constituée de bacs de couverture en panneaux sandwichs reposant sur des pannes en HEA.

I.4.2 Les façades : Les façades sont réalisées avec des panneaux sandwichs fixées aux lisses de bardages pour l'isolation thermique, avec un soubassement de 12m en maçonnerie

I.5 Les propriétés de l'acier :

Les nuances d'acier et leurs résistances sont données par l'Eurocodes ainsi que le DTR, Pour cette structure on choisit la nuance S355 qui est considérée la meilleure propriété de ductilité.

L'acier qu'on a choisi doit satisfaire les conditions suivantes :

- 1) Le rapport $f_u/f_y > 1,2$.
- 2) La déformation ultime doit être supérieure de 20 fois la déformation élastique ($\epsilon_{eu} > 20\epsilon_y$).
- 3) La rupture d'allongement relatif ultime ϵ_{eu} doit être supérieure ou égale à 15%.

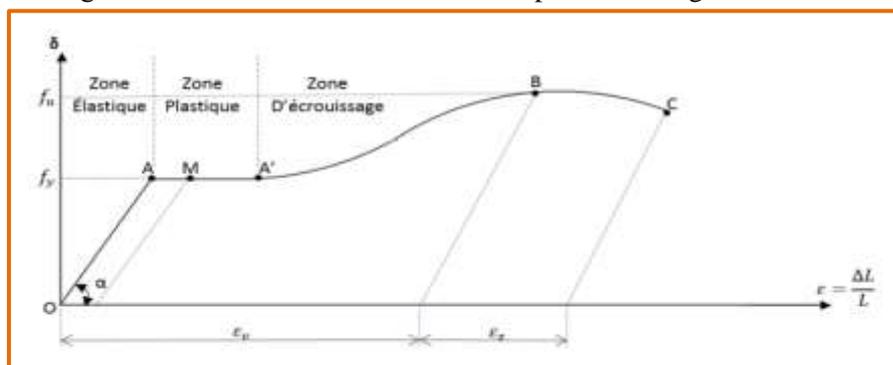


Figure I.6 : diagramme effort/déformation de l'acier.

Les propriétés mécaniques de l'acier sont :

- 1) Masse volumique : 7850kg/m³
- 2) Module d'élasticité longitudinal : $E=210000\text{Mpa}$.
- 3) Module d'élasticité transversale $G=E/2(1+\nu)$
- 4) Coefficient de poisson : $\nu= 0,3$.
- 5) $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ (limite élastique)
- 6) $F_u = 490 \text{ N/mm}^2$ (la résistance à la traction)

I.6. Les action prises en compte

Une action est une force applique à la structure ou une déformation imposée, déplacements d'appuis, effets thermique.

Les actions sont classées en fonction de leur variation dans le temps :

- Actions permanentes (G) : dont l'intensité est constante ou très peu variable dans le temps, ou varie dans le même sens en tendant vers une limite, tel que : Poids propre de la structure, Poussée des terres et liquides.
- Actions variables (Q) : dont l'intensité varie fréquemment et de façon importante dans le temps tel que : Charge d'exploitation, Charge climatique (Neige(S), Vent(V)). , Charge appliquée en cour d'exécution.
- Action accidentelle : Ce sont des actions qui ne surviennent que rarement durant la vie de l'ouvrage mais dont les conséquences peuvent être très néfastes, si des dispositions ne sont pas prises lors de la conception et de la réalisation de l'ouvrage. Parmi ces actions, on peut répertorier : L'action sismique notée E, Le choc, l'incendie, l'explosion, ...etc.

I.7. Limite des flèches :

Notre structure est constituée d'une ossature en acier doit être dimensionnée de manière que les flèches restent dans les limites appropriées à l'usage et à l'occupation en visage du bâtiment et à la nature des matériaux de remplissage devant être apportés la valeur limite recommandée pour les flèches verticales résumées dans le tableau 4.1 page 19 du CCM97 comme suit :

Tableau I.1 : valeur recommandée pour les flèches verticales.

Conditions	F
Toiture en générale	L/200
toiture supportant fréquemment du personnel autre que celle d'entretien	L/250

I.8 Eléments structure

a) Eléments principaux de la structure

- Pôteaux HEA
- Fermes :

Membrure supérieure double UPN

Membrure inférieure double UPN

Diagonale double UPN

- Stabilité horizontale cornière 150*15
- Stabilité verticale HEA 240
- Poutre de roulement HEB

b) Les éléments secondaires

- Pannes HEA
- Lisses de bardages UPN
- Potelets HEB
- Liernes tube de $\phi=9$ cm

I.9 Unités utilisées

Les unités utilisées dans cette Note de calcul sont les suivantes :

- Mètre (**m**) pour les dimensions de le hangar, des travées et des dimensions des éléments.
- Centimètre carré (**cm²**) pour les sections d'acier
- (**daN/m²**) pour les charges appliquées (G. Q. S. etc...)
- (**daN.m**) pour les moments fléchissant
- **daN** pour les charges concentrées

I.10 Règlements utilisés :

Les règlements utilisés pour la réalisation de cette étude sont :

- ✓ EUROCODE 3 : pour l'étude et la vérification de l'ossature métallique
- ✓ RPA99/V2003 : Règles parasismique Algériennes
- ✓ RNV/2013 : Règles neige et vent (D.T.R-B.C-2.33)
- ✓ NV65 : neige et vent 65
- ✓ EUROCODE 8 : pour le calcul des assemblages

ETUDE
CLIMATIQUE

II. Introduction

Dans ce chapitre on va évaluer les différentes sollicitations climatiques qui subissent l'ouvrage, dont les surcharges climatiques : le vent et la neige.

Ces surcharges ont une influence sur la stabilité de la construction. Ce qui nécessite une étude approfondie qui doit être menée pour la détermination des valeurs de ces différentes actions.

Cette étude sera menée conformément au règlement algérien RNVA2013. Ce document fournit les principes généraux et les procédures pour évaluer ces actions sur l'ensemble d'une construction et sur ses parties.

II.1 Etude de la neige

La surcharge de la neige dépend de la région et de l'altitude

La charge de neige par unité de surface en projection horizontale de toitures ou de toute autre surface soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule suivante :

$$S = \mu \cdot S_k \text{ (KN/m}^2\text{)} \quad \text{(RNV2013 §3.1.1 page 18)}$$

S_k : la charge de neige sur le sol, en fonction de l'altitude et de la zone de neige (KN/m²)

μ : coefficient d'ajustement des charges en fonction de la forme de toiture.

Notre construction est située à ARZEW (Oran), donc c'est la zone B de neige.

(RNV 2013 tableau page 39)

$$\text{Zone B alors } S_k = \frac{0.04Hg + 10}{100} \quad \text{(RNV2013 §4 page 21)}$$

$$\left. \begin{array}{l} S = 0.0816 \\ \mu = 0.8 \end{array} \right\} \Rightarrow S = \mu \cdot S_k = 0.0816 \text{ (KN/m}^2\text{)} = \mathbf{8.16 \text{ (daN/m}^2\text{)}}$$

• Pour l'espace d'utilité

On a une toiture à un versant le coefficient de forme est donnée par le tableau 1 du RNV 2013

Pour une pente comprise entre 0° et 15° : $0 \leq \alpha = 11.30^\circ \leq 15$ $\mu = 0,8$

Avec H : l'altitude par rapport au niveau de la mer en (m) du site considéré $H=6m$

$$S_k = \frac{0.04 \times 6 + 10}{100} = \mathbf{0.102 \text{ (daN/m}^2\text{)}}$$

• Pour le hall de maintenance

On a une toiture à deux versants le coefficient de forme est donné par le tableau 1 du RNV2013

Pour une pente comprise entre 0° et 15° : $0 \leq \alpha = 11.30^\circ \leq 15$ $\mu = 0,8$

$$\left. \begin{array}{l} S = 0.0816 \\ \mu = 0.8 \end{array} \right\} \Rightarrow S = \mu * Sk = 0.0816 \text{ (KN/m}^2\text{)} = \mathbf{8.16 \text{ (daN/m}^2\text{)}}$$

II.2 Etude du vent

II.2.1 Détermination des différents paramètres ou coefficient de la région :

a. Effet de la région (q_{ref}) :

Selon RNVA 2013 notre projet est une structure implanté dans la commune D'ARZEW la wilaya d'ORAN qui est classé en zone II, dont la pression de la référence est :

$$q_{ref} = 435 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \text{(RNV2013 Ch.2 § 2.3 page 50)}$$

b. Effet de site :

Le site du projet se trouve à ARZEW, willaya d'Oran

Tableau : II.1- valeurs des coefficients du site

Zone II	Catégorie de terrain 0	Ze (m)	Zmin (m)	ε	Nature du site est Rocheux
Q _{ref} =435 N/m ²	KT=0.156	0.003	1	0.038	Ct= 1

c. Coefficient topographie :

Le site est plat, Ct=1

d. Calcul de coefficient dynamique Cd

Le coefficient dynamique Cd prend en compte les effets de réduction dus à la corrélation imparfaite de la pression exercée sur les parois et les effets de renforcement dus à la composante de turbulence avec une fréquence proche de la fréquence fondamentale de la structure

$$\diamond \text{ Fréquence fondamentale : } n_{1,x} = \frac{0.5}{\sqrt{f}} \quad \text{[Hz]}$$

Avec f [en mm] est la flèche de la structure du au poids propre appliqué dans la direction de vibration.

$$F = \frac{Hp}{150} = 0.16$$

$$\text{Avec } n_{1,x} = \frac{0.5}{\sqrt{0.16}} = 1.25 \text{ Hz}$$

$$n_{1,x} < 5 \text{ Hz donc } C_d = 1$$

(R.N.V2013 P64-§3.2)

e. Calcul de la pression dynamique de pointe

la pression dynamique de pointe $Q_p(z_e)$ à la hauteur de référence Z_e est donnée par :

$$Q_p(z_e) = Q_{ref} * C_e(z_e) \text{ (N/m}^2\text{)} \quad \text{(RNVA2013, ch 2 § 2.3 p50)}$$

Avec :

C_e : coefficient d'exposition.

Q_{ref} : est la pression dynamique de référence [N/m²].

(Annexe 1 page 109)

Tableau : II-2- Valeurs de la pression dynamique de référence

Zone	Qref (N/m ²)
I	375
II	435
III	500
IV	575

f. Calcul du coefficient d'exposition

$$C_e(z) = C_t^2(z) * C_r^2(z) * [1 + 7 (I_v(z))] \quad \text{(RNVA2013, Ch.2, § 3.3.2, page 58).}$$

Avec :

K_T : le facteur de terrain.

C_r : coefficient de rugosité.

C_t : coefficient de topographie.

$Z(m)$: la hauteur considérée.

Tableau : II.3- définition catégories de terrain

Catégorie de terrain	K_t	Z_e (m)	Z_{min} (m)	ϵ
0 [Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer]	0.156	0.003	1	0.038

g. Détermination de l'intensité de la turbulence I_v :

L'intensité de la turbulence est définie comme étant l'écart type de la turbulence divisé par la vitesse moyenne du vent et est donnée par l'équation suivante :

pour $Z > Z_{min}$:
$$I_v = \frac{1}{C_t(z) * \ln \frac{z}{z_0}}$$

pour $Z < Z_{min}$:
$$I_v = \frac{1}{C_t(z) * \ln \frac{Z_{min}}{z_0}} \quad \text{(R.N.VA 2013- P57)}$$

Ou : - $C_{t(z)}$ est le coefficient de topographie.

- Z_0 (en m) est le paramètre de rugosité.

- Z_{min} est la hauteur minimale.

Tableau : II.4 Tableau de Récapitulation des Résultats

Coefficient Hauteur	Cr (z)	Ce (z)	Qp	Iv	Q ref daN/m ²
Z1 = 12	1.29	4.50	1.95	0.120	0.435
Z2 = 15.2	1.33	4.58	1.99	0.117	0.435
Z3 = 24	1.40	4.73	2.05	0.111	0.435
Z4 = 28.2	1.42	4.77	2.07	0.109	0.435

II.2.2 Détermination de coefficient de pression extérieure Cpe :

Les coefficients de pression extérieure Cpe applicables aux bâtiments et aux parties de bâtiments dépendent de la dimension de la surface chargée A, qui est la surface de la construction produisant l'action du vent dans la section à calculer.

- $C_{ep} = C_{pe1}$ $\rightarrow S \leq 1m^2$
- $C_{pe} = C_{pe1} + (C_{pe10} - C_{pe1}) \log_{10}(S)$ $\rightarrow 1m^2 < S < 10m^2$
- $C_{pe} = C_{pe10}$ $\rightarrow S \geq 10m^2$

Tel que : S est la surface chargée de la paroi considérée en (m²).

❖ Vent perpendiculaire au long pan v1

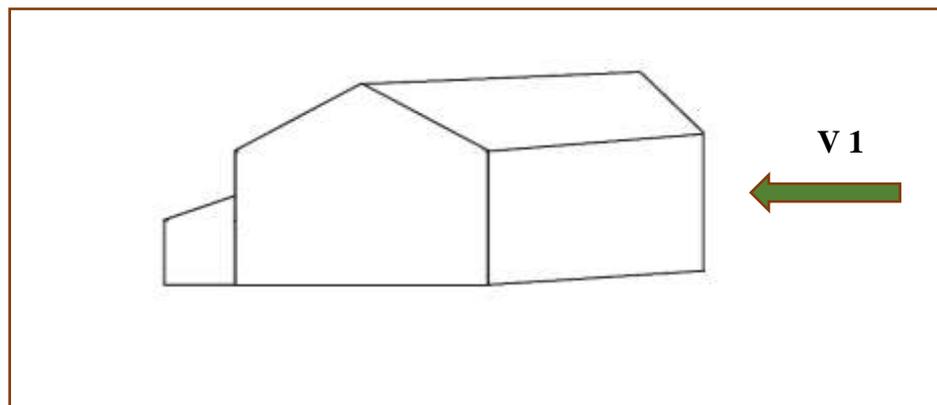


Figure II.1 : direction du vent

- Pour les parois verticales :

Pour cette direction du vent on a : b=124m, d=60m, h=24m

$$e = \min [b, 2h] = 48m$$

donc on aura :

$$d = 60m > e = 48m.$$

Selon R.N.V.A2013 figure 5.1 page 80 il convient de diviser les parois comme suite :

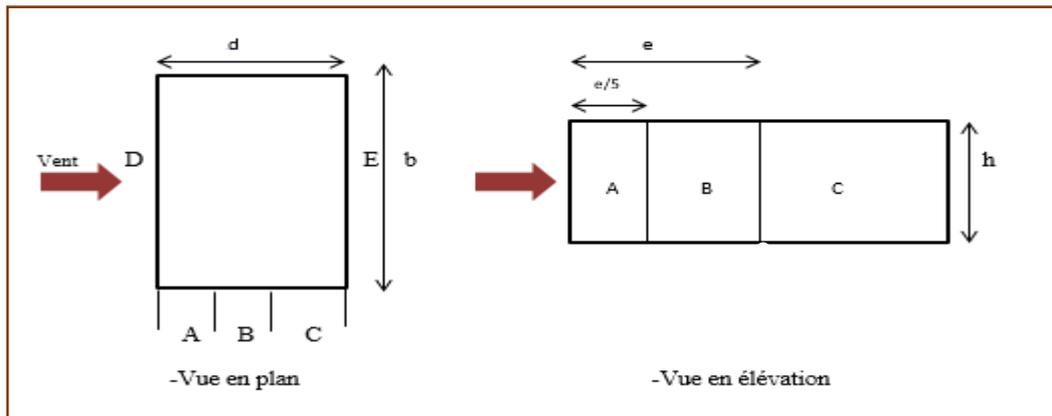


Figure II.2 : légende pour les parois verticales

Calcul des sections :

$$S_a = e/5 * h = 9.6 * 24 = 230.4 \text{ m}^2$$

$$S_b = (e - e/5) * h = 38.4 * 24 = 921.6 \text{ m}^2$$

$$S_c = (d - e) * h = 12 * 24 = 288 \text{ m}^2$$

$$S_d = S_e = b * h = 124 * 24 = 2976 \text{ m}^2$$

Si $S \geq 10\text{m}^2$ \longrightarrow $C_{pe} = C_{pe10}$ (R.N.V.A2013 Ch.5, §5.1.1.2)

On obtient du R.N.V.A2013 tableau 5.1 page 81

Tableau : II.5 Cpe10 pour les parois verticales de bâtiments à base rectangulaire

Zone	A	B	C	D	E
Cpe 10	-1	-0.8	-0.5	0.8	-0.3

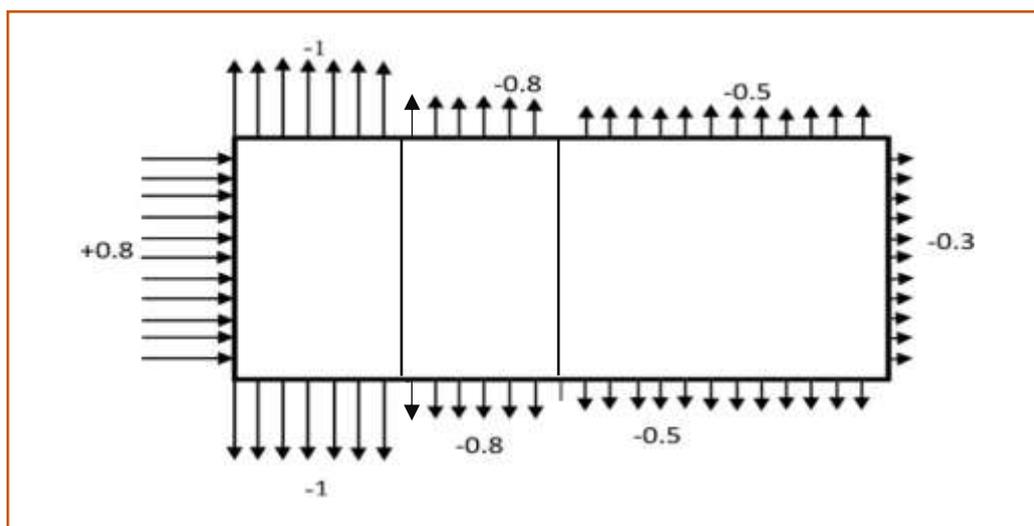


Figure II.3 : légende pour les parois verticales

- Pour la toiture :

Pour cette direction du vent on a : $b=124\text{m}$, $d=60\text{m}$, $d'=18\text{m}$, $h=28.2\text{m}$

$e = \min [b, 2h] = 56.4\text{m}$ on a donc : $d=60\text{m} > e=56.4\text{m}$.

On considère la toiture comme étant une toiture à versants multiples.

Les coefficients de pression s'obtiennent comme de la figure 5.7 R.N.V.A2013 p90

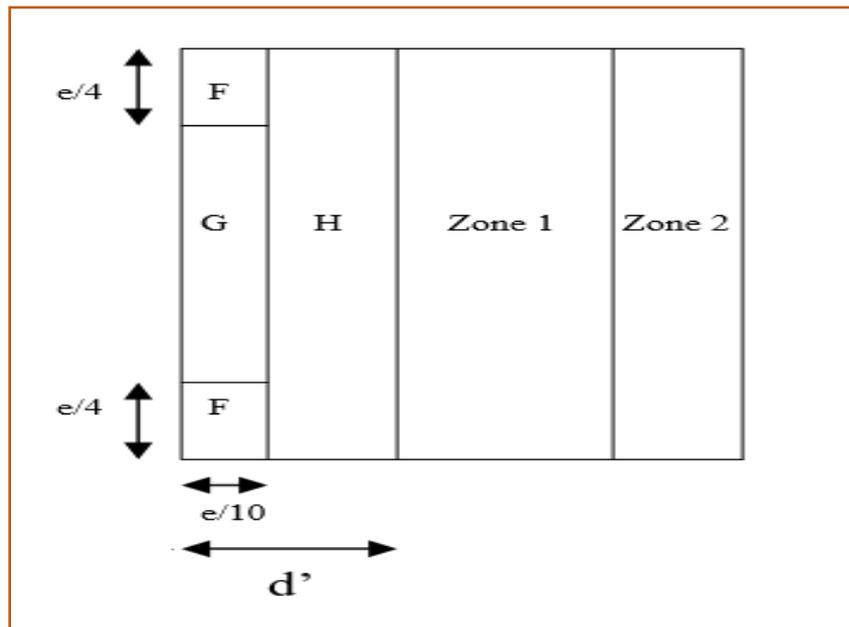


Figure II.4 : légende pour la toiture à versants multiples

Calcul des sections :

$$S_f = e/4 * e/10 = 79.52 \text{ m}^2$$

$$S_b = e/10 * (b - [2 * (e/4)]) = 540.32 \text{ m}^2$$

$$S_c = (d' - e/10) * h = 1904.64 \text{ m}^2$$

Si $S \geq 10\text{m}^2$ \longrightarrow $C_{pe} = C_{pe10}$ (R.N.V.A2013 Ch.5, §5.1.1.2)

De R.N.V.A2013 tableau 5.3 page 84 et par interpolation on obtient les coefficients de pression suivants :

L'interpolation : notre angle égale 11.30 du tableau on obtient l'intervalle suivant $5^\circ < \alpha = 11.30 < 15^\circ$

$$\frac{\alpha(5^\circ) - \alpha(15^\circ)}{cpe(5^\circ) - cpe(11.30^\circ)} = \frac{\alpha(5^\circ) - \alpha(11.30^\circ)}{cpe(5^\circ) - cpe(11.30^\circ)}$$

$$A.N : \frac{5 - 15}{-1.7 - (-0.9)} = \frac{5 - 11.3}{5 - cpe 11.3}$$

On obtient les résultats suivants :

Tableau : II.6 Coefficient de pression extérieure pour toiture à versants multiples

Zone Cpe	F	G	H	Zone 1	Zone 2
Cas de dépression	-1.196	-0.948	-0.411	-1	-0.6
Cas de surpression	0.126	0.126	0.126	-1	-0.6

❖ Vent perpendiculaire au long pan v2

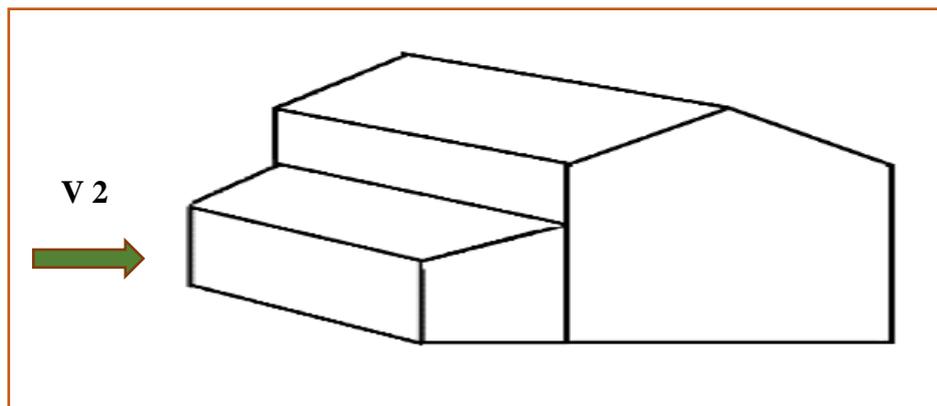


Figure II.5 : direction du vent

- Pour les parois verticales :

Pour cette direction du vent on a : $b=124m$, $d=60m$, $h=24m$

$e = \min [b.2h]=48m$ donc on aura : $d=60m > e=48m$.

Selon R.N.V.A2013 figure 5.1 page 80 il convient de diviser les parois comme suite :

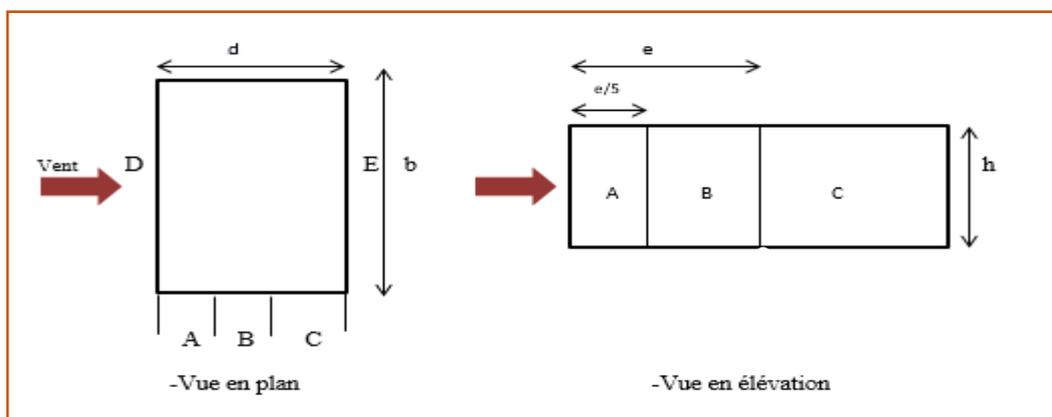


Figure II.6 : légende pour les parois verticales

Calcul des sections :

$$S_a = e/5 * h = 9.6 * 24 = 230.4 \text{ m}^2$$

$$S_b = (e - e/5) * h = 38.4 * 24 = 921.6 \text{ m}^2$$

$$S_c = (d - e) * h = 12 * 24 = 288 \text{ m}^2$$

$$S_d = S_e = b * h = 124 * 24 = 2976 \text{ m}^2$$

Si $S \geq 10\text{m}^2$ \longrightarrow $C_{pe} = C_{pe10}$ (R.N.V.A2013 Ch.5, §5.1.1.2)

On obtient du R.N.V.A2013 tableau 5.1 page 81

Tableau : II.7 Cpe10 pour les parois verticales de bâtiments à base rectangulaire

Zone	A	B	C	D	E
Cpe 10	-1	-0.8	-0.5	0.8	-0.3

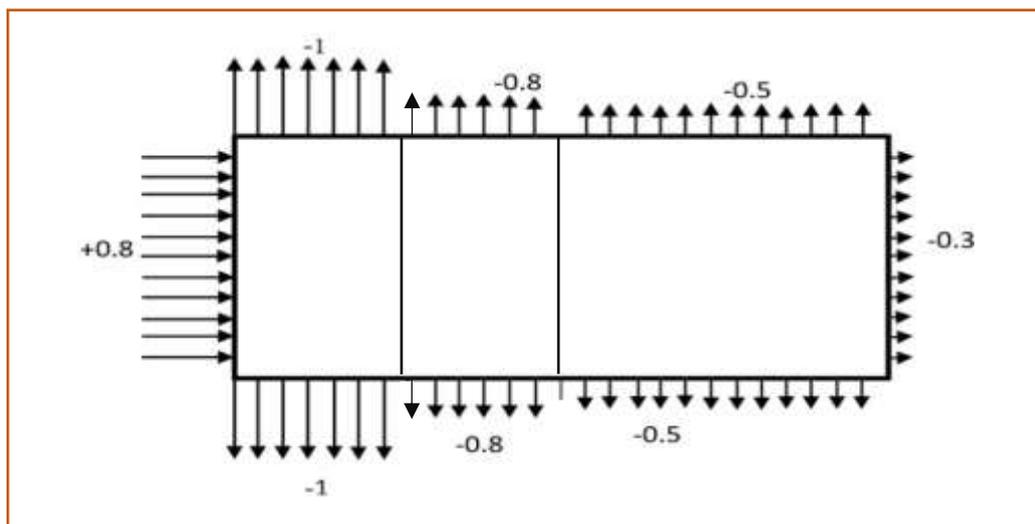


Figure II.7 : légende pour les parois verticales

- Pour la toiture :

Pour cette direction du vent on a : $b=124\text{m}$, $d=60\text{m}$, $d'=18\text{m}$, $h=28.2\text{m}$

$$e = \min [b, 2h] = 56.4\text{m} \quad \text{on a donc :} \quad d = 60\text{m} > e = 56.4\text{m}.$$

On considère la toiture comme étant une toiture à versants multiples.

Les coefficients de pression s'obtiennent comme de la figure 5.7 R.N.V.A2013 p90

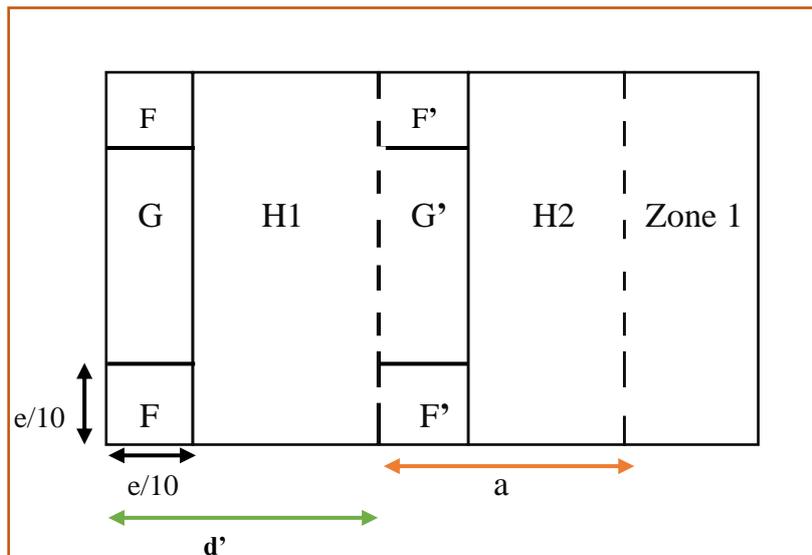


Figure II.8 : Légende pour la toiture à versants multiples

Calcul des sections :

$$S_f = S_{f'} = e/4 * e/10 = 79.52 \text{ m}^2$$

$$S_G = S_{G'} = e/10 * (b - [2 * (e/4)]) = 540.32 \text{ m}^2$$

$$S_{H1} = (d' - e/10) * b = 1532.64 \text{ m}^2$$

$$S_{H2} = (a - e/10) * b = 1904.64 \text{ m}^2$$

$$S_{zone1} = (d - (a + d')) * b = 2604 \text{ m}^2$$

Si $S \geq 10\text{m}^2$ \longrightarrow $C_{pe} = C_{pe10}$ (R.N.V.A2013 Ch.5, §5.1.1.2)

De R.N.V.A2013 tableaux page 84/87 et par interpolation on obtient les coefficients de pression suivants :

Tableau : II.8 Coefficient de pression extérieur pour toiture à versants multiples

Zone Cpe	F / F'	G	H	H2	Zone 1
Cas de dépression	-1.196	-0.948	-0.411	-0.411	-1
Cas de surpression	0.126	0.126	0.126	0.126	-1

❖ Vent sur pignon V3

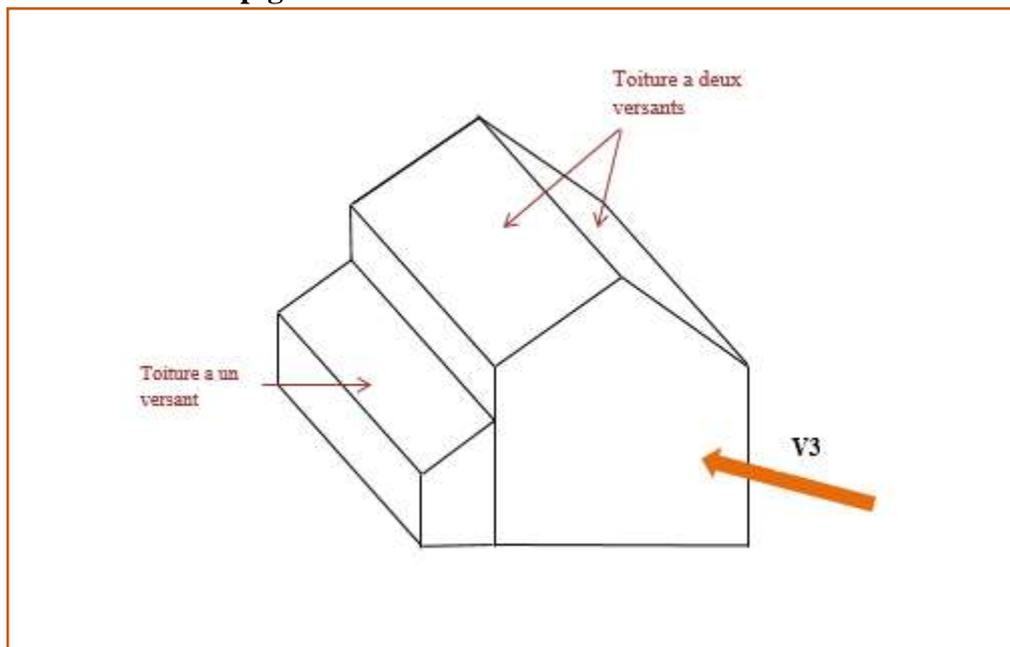


Figure II.9 : direction du vent

- Pour les parois verticales :

Pour cette direction du vent on a : $b=60m$, $d=124m$, $h=24m$

$e = \min [b, 2h] = 48m$

donc on aura :

$d = 124m > e = 48m$.

Selon R.N.V.A2013 figure 5.1 page 80 il convient de diviser les parois comme suite :

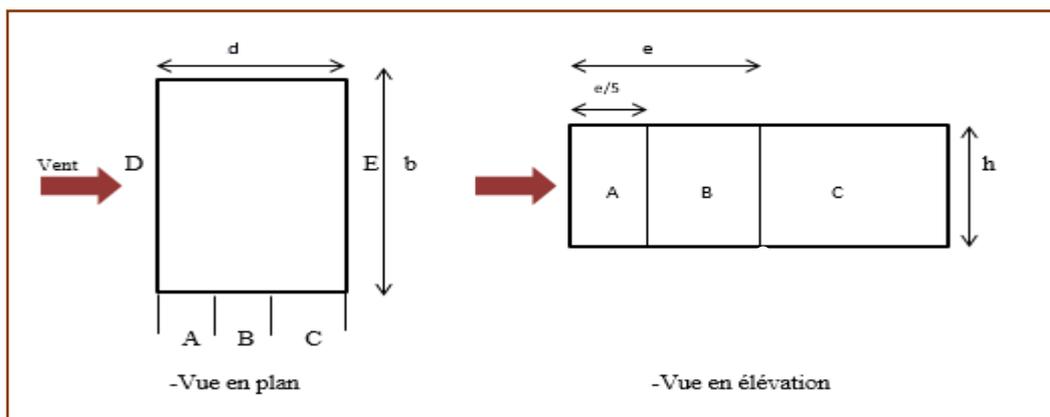


Figure II.10 : légende pour les parois verticales

Calcul des sections :

$$S_a = e/5 * h = 9.6 * 24 = 230.4 \text{ m}^2$$

$$S_b = (e - e/5) * h = 38.4 * 24 = 921.6 \text{ m}^2$$

$$S_c = (d - e) * h = 76 * 24 = 1824 \text{ m}^2$$

$$S_d = S_e = d * h = 124 * 24 = 2976 \text{ m}^2$$

Si $S \geq 10\text{m}^2$ \longrightarrow $C_{pe} = C_{pe10}$ (R.N.V.A2013 Ch.5, §5.1.1.2)

On obtient du R.N.V.A2013 tableau 5.1 page 81

Tableau : II.9 Cpe10 pour les parois verticales de bâtiments à base rectangulaire

Zone	A	B	C	D	E
Cpe 10	-1	-0.8	-0.5	0.8	-0.3

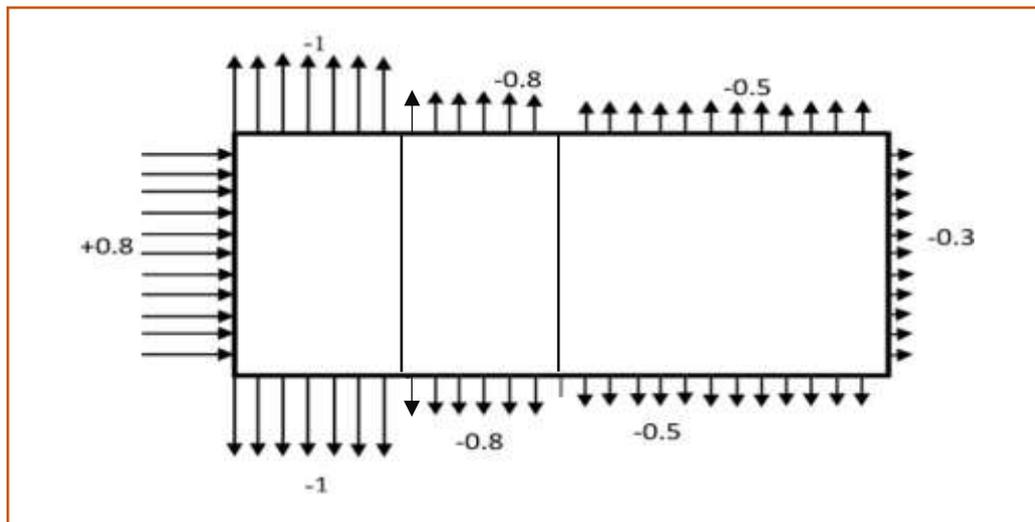


Figure II.11 : légende pour les parois verticales

- Pour la toiture :

Pour cette direction du vent on a : $b=60\text{m}$, $d=124\text{m}$, $h=28.2\text{m}$

$$e = \min [b, 2h] = 56.4\text{m}$$

On a donc : $d=124\text{m} > e=56.4\text{m}$.

On a deux types de toitures dans notre structure :

- Toiture à deux versants
- Toiture à un versant

1. Toiture à un versant

Le vent est parallèle au génératrice donc $\theta = 90^\circ$

Les coefficients de pression s'obtiennent comme de la figure 5.7 R.N.V.A2013 p90

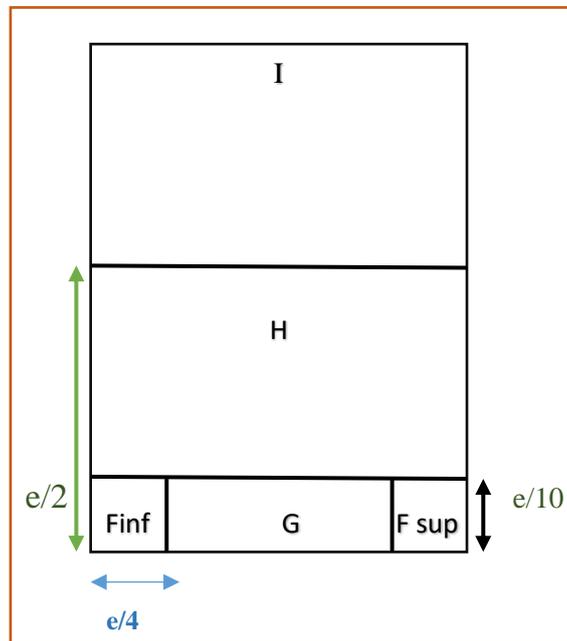


Figure II.12 : légende pour la toiture à un versant

Calcul des sections :

$$S_F = e/4 * e/10 = 79.52 \text{ m}^2$$

$$S_G = (d-e/4)*e/10 = 540.32 \text{ m}^2$$

$$S_H = (e/2 - e/10)* b = 2797 \text{ m}^2$$

$$S_I = (b-e/2)*d = 3943.2 \text{ m}^2$$

Si $S \geq 10\text{m}^2$ \longrightarrow $C_{pe} = C_{pe10}$ (R.N.V.A2013 Ch.5, §5.1.1.2)

De R.N.V.A2013 tableau 5.3.b page 85 et par interpolation on obtient les coefficients de pression suivants :

Tableau : II.10 Coefficient de pression extérieur pour toiture à un versant

Zone Cpe	F	G	H	I
Cpe 10	-1.785	-1.863	-0.726	-0.626

2. Toiture à deux versants

Le vent est parallèle au génératrice donc $\theta = 90^\circ$

Les coefficients de pression s'obtiennent comme de la figure 5.7 R.N.V.A2013 p90

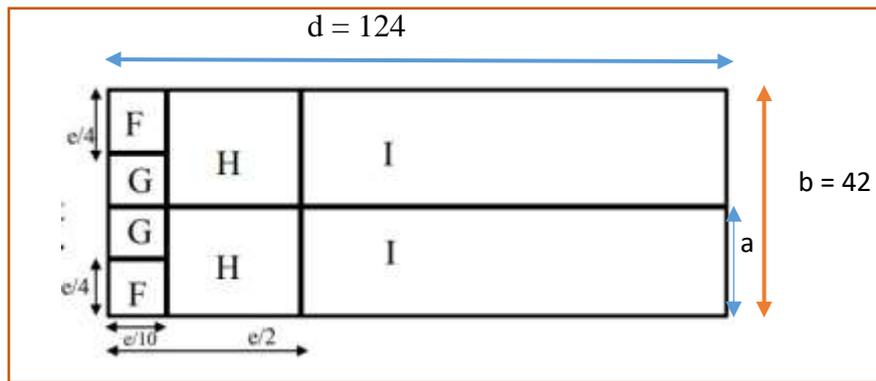


Figure II.13 : légende pour la toiture à deux versants

Calcul des sections :

$$S_F = e/4 * e/10 = 79.52 \text{ m}^2$$

$$S_G = (b - (2 * e/8)) * e/10 = 89.67 \text{ m}^2$$

$$S_H = (e/2 - e/4) * a = 676.8 \text{ m}^2$$

$$S_I = (d - e/2) * a = 2874 \text{ m}^2$$

Si $S \geq 10 \text{ m}^2$ \longrightarrow $C_{pe} = C_{pe10}$ (R.N.V.A2013 Ch.5, §5.1.1.2)

De R.N.V.A2013 tableau 5.4 page 87 et par interpolation on obtient les coefficients de pression suivants :

Tableau : II.11 Coefficient de pression extérieur pour toiture à un versant

Zone Cpe	F	G	H	I
Cpe 10	-1.411	-1.3	-0.970	-0.537

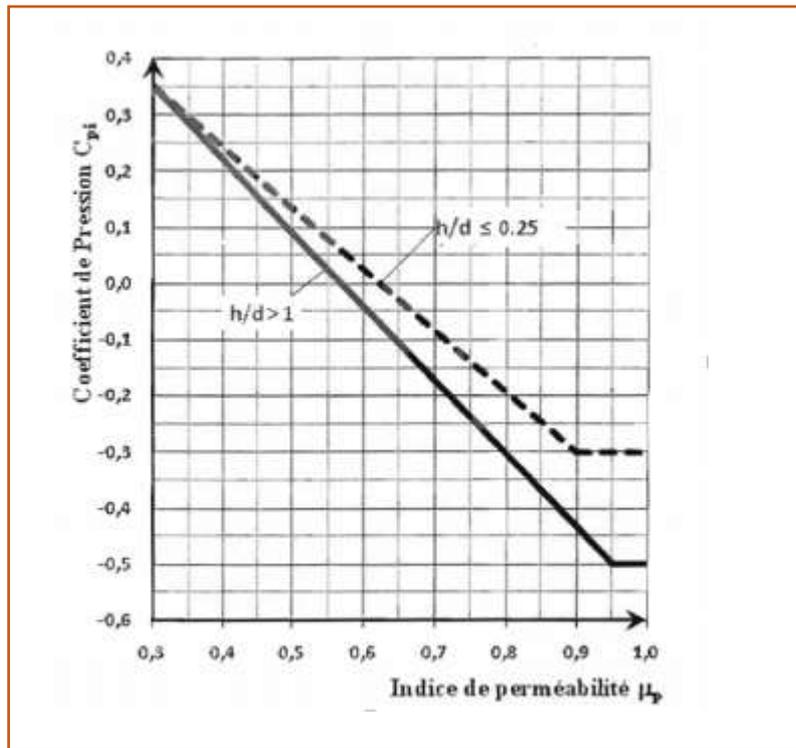
II.2.3 Détermination de coefficient de pression intérieur Cpi :

Pour les bâtiments sans face dominante, le coefficient de pression intérieur est déterminé à partir de la figure 5.14 du R.N.V.A2013 avec :

H : la hauteur du bâtiment au faitage

μ_p : l'indice de perméabilité qui est donné par :

$$\mu_p = \frac{\sum \text{des surfaces des ouvertures sous le vent ou parallèles au vent}}{\sum \text{des surfaces de toutes les ouvertures}}$$

Figure II.14 C_{pi} pour les bâtiments sans cloisons intérieures

Notre structure possède

- une ouverture de 42m sur 28.2 m au pignon1 (le hall de maintenance)
- une ouverture de 18m/18m au pignon 2 (le hall de maintenance)

a) vent perpendiculaire au long pant V1 et V2

L'indice de perméabilité est :

$$\mu_p = \frac{18 \cdot 18 + (42 \cdot 28.2)}{(18 \cdot 18) + (42 \cdot 28.2)} = 1$$

Et : $h/d = 0.47$ $0.25 < 0.47 < 1$

Par interpolation on calcule le C_{pi}

$$C_{pi} = c_{pi}(0.25) + \frac{c_{pi}(1) - c_{pi}(0.25)}{0.75} \times \left(\frac{h}{d} - 0.25 \right) \quad \text{C}_{pi} = -0.35$$

b) vent perpendiculaire au pignon 2

L'indice de perméabilité est :

$$\mu_p = \frac{18 \cdot 18}{(18 \cdot 18) + (42 \cdot 28.2)} = 0.78$$

Et : $h/d = 0.22$ $0.22 < 0.25$

Par interpolation on calcule le C_{pi}

$$C_{pi} = c_{pi}(0.25) + \frac{c_{pi}(1) - c_{pi}(0.25)}{0.75} \times \left(\frac{h}{d} - 0.25 \right) \quad C_{pi} = -0.16$$

c) vent perpendiculaire au pignon 1

L'indice de perméabilité est :

$$\mu_p = \frac{18 \times 18}{(18 \times 18) + (42 \times 28.2)} = 0.21$$

Par extrapolation on calcule le C_{pi}
 Les points choisis : (0.3 ; 0.35) / (0.5 ; 0.15) / (0.21 ; y)

C_{pi} = 0.55

II.2.4 Détermination la pression du au vent q_j

La pression due au vent est présenté dans le tableau suivant :

$$q_j = C_d \times W(z_j)$$

Vent sur long pant V1

- Parois verticale

Tableau : II.12 Pressions Q_j sur la paroi verticale

	Q _{dyn} daN/m ²	C _{pe}	C _{pi}	C _{pe} - C _{pi}	W(z _j)	C _d	Q _j daN/m ²
A	162,25	-1	-0,35	-0,65	-105,4625	1	-105,4625
B	162,25	-0,8	-0,35	-0,45	-73,0125	1	-73,0125
C	162,25	-0,5	-0,35	-0,15	-24,3375	1	-24,3375
D	162,25	0,8	-0,35	1,15	186,5875	1	186,5875
E	162,25	-0,3	-0,35	0,05	8,1125	1	8,1125

- Toiture multiple

Cas de dépression

Tableau : II.13 Pressions Q_j sur la toiture

	Q _{dyn} daN/m ²	C _{pe}	C _{pi}	C _{pe} - C _{pi}	W(z _j)	C _d	Q _j daN/m ²
F	163,99	-1,196	-0,35	-0,846	138,73554	1	138,73554
G	163,99	-0,948	-0,35	-0,598	-98,06602	1	-98,06602
H	163,99	-0,411	-0,35	-0,061	-10,00339	1	-10,00339
ZONE 1	163,99	-1	-0,35	-0,65	-106,5935	1	-106,5935
ZONE 2	163,99	-0,6	-0,35	-0,25	-40,9975	1	-40,9975

Cas de surpression

Tableau : II.14 Pressions Q_j sur la toiture

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
F	163,99	0,126	-0,35	0,476	78,05924	1	78,05924
G	163,99	0,126	-0,35	0,476	78,05924	1	78,05924
H	163,99	0,126	-0,35	0,476	78,05924	1	78,05924
ZONE 1	163,99	-1	-0,35	-0,65	-106,5935	1	-106,5935
ZONE 2	163,99	-0,6	-0,35	-0,25	-40,9975	1	-40,9975

Vent sur long pant V2

- Parois verticale

Tableau : II.15 Pressions Q_j sur la paroi verticale

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
A	162,25	-1	-0,35	-0,65	-105,4625	1	-105,4625
B	162,25	-0,8	-0,35	-0,45	-73,0125	1	-73,0125
C	162,25	-0,5	-0,35	-0,15	-24,3375	1	-24,3375
D	162,25	0,8	-0,35	1,15	186,5875	1	186,5875
E	162,25	-0,3	-0,35	0,05	8,1125	1	8,1125

- Toiture multiples

Cas de dépression

Tableau : II.16 Pressions Q_j sur la toiture

Pour cette partie d'étude notre structure subie l'effet de décrochement sur l'espace d'utilité $cpe = -0.5$

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
F	163,99	-1,696	-0,35	-0,846	-138,73554	1	-138,73554
G	163,99	-1,448	-0,35	-1,098	-180,06102	1	-180,06102
H1	163,99	-0,911	-0,35	-0,561	-91,99839	1	-91,99839
F'	163,99	-1,196	-0,35	-0,846	-138,73554	1	-138,73554
G'	163,99	-0,948	-0,35	-0,598	-98,06602	1	-98,06602
H2	163,99	-0,411	-0,35	-0,061	-10,00339	1	-10,00339
ZONE 1	163,99	-1	-0,35	-0,65	-106,5935	1	-106,5935

Cas de surpression

Tableau : II.17 Pressions Qj sur la toiture

Pour cette partie d'étude notre structure subie l'effet de décrochement sur l'espace d'utilité $cpe = +0.8$

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
F	163,99	0,926	-0,35	0,476	78,05924	1	78,05924
G	163,99	0,926	-0,35	1,276	209,25124	1	209,25124
H1	163,99	0,926	-0,35	1,276	209,25124	1	209,25124
F'	163,99	0,126	-0,35	0,476	78,05924	1	78,05924
G'	163,99	0,126	-0,35	0,476	78,05924	1	78,05924
H2	163,99	0,126	-0,35	0,476	78,05924	1	78,05924
ZONE 1	163,99	-1	-0,35	-0,65	-106,5935	1	-106,5935

Vent sur pignon V3

Pour Cpi = -0,16

- Parois verticale

Tableau : II.18 Pressions Qj sur la paroi verticale

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
A	162,25	-1	-0,16	-0,84	-136,29	1	-136,29
B	162,25	-0,8	-0,16	-0,64	-103,84	1	-103,84
C	162,25	-0,5	-0,16	-0,34	-55,165	1	-55,165
D	162,25	0,8	-0,16	0,96	155,76	1	155,76
E	162,25	-0,3	-0,16	-0,14	-22,715	1	-22,715

- Toiture à un versant

Tableau : II.19 Pressions Qj sur la toiture

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
F inf	163,99	-1,785	-0,16	-1,625	-266,48375	1	-266,48375
F sup	163,99	-1,785	-0,16	-1,625	-266,48375	1	-266,48375
G	163,99	-1,863	-0,16	-1,703	-279,27497	1	-279,27497
H	163,99	-0,726	-0,16	-0,566	-92,81834	1	-92,81834
I	163,99	-0,626	-0,16	-0,466	-76,41934	1	-76,41934

- Toiture à deux versants

Tableau : II.20 Pressions Qj sur la toiture

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
F	163,99	-1,411	-0,16	-1,251	-205,15149	1	-205,15149
G	163,99	-1,3	-0,16	-1,14	-186,9486	1	-186,9486
H	163,99	-0,97	-0,16	-0,81	-132,8319	1	-132,8319
I	163,99	-0,537	-0,16	-0,377	-61,82423	1	-61,82423

Pour Cpi = 0.55

- Parois verticale

Tableau : II.21 Pressions Qj sur la paroi verticale

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
A	162,25	-1	0,55	-1,55	-251,4875	1	-251,4875
B	162,25	-0,8	0,55	-1,35	-219,0375	1	-219,0375
C	162,25	-0,5	0,55	-1,05	-170,3625	1	-170,3625
D	162,25	0,8	0,55	0,25	40,5625	1	40,5625
E	162,25	-0,3	0,55	-0,85	-137,9125	1	-137,9125

- Toiture à un versant

Tableau : II.22 Pressions Qj sur la toiture

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj DaN/m ²
A	162,25	-1	0,55	-1,55	-251,4875	1	-251,4875
B	162,25	-0,8	0,55	-1,35	-219,0375	1	-219,0375
C	162,25	-0,5	0,55	-1,05	-170,3625	1	-170,3625
D	162,25	0,8	0,55	0,25	40,5625	1	40,5625
E	162,25	-0,3	0,55	-0,85	-137,9125	1	-137,9125

- Toiture à deux versants

Tableau : II.23 Pressions Q_j sur la toiture

	Qdyn daN/m ²	Cpe	Cpi	Cpe -Cpi	W(zj)	Cd	Qj daN/m ²
F	163,99	-1,411	0,55	-1,961	-321,58439	1	-321,58439
G	163,99	-1,3	0,55	-1,85	-303,3815	1	-303,3815
H	163,99	-0,97	0,55	-1,52	-249,2648	1	-249,2648
I	163,99	-0,537	0,55	-1,087	-178,25713	1	-178,25713

II.2.5 Détermination l'effet du frottement

Les effets de frottement du vent sur la surface peuvent être négligés lorsque :

$$2(d*h) < 4(2*b*h)$$

(R.N.V.A2013 Ch.2, §2.6.3 page 59)

Vent sur long pant donc

$$D = 60$$

$$B = 124$$

$$H = 28.2$$

On obtient $6993.6 \text{ m}^2 < 13536 \text{ m}^2$

Vent sur pignon donc

$$D = 124$$

$$B = 60$$

$$H = 28.2$$

On obtient $3384 \text{ m}^2 < 27974.4 \text{ m}^2$

La condition est vérifiée donc l'effet de frottement est négligeable

II.3 Conclusion

Dans cette partie une étude climatique profonde a été effectuée avec prise en compte de l'effet de décrochement sur l'espace d'utilité afin de déterminer le cas le plus défavorable de l'action du vent. Ces résultats vont nous permettre de bien dimensionner les éléments de la structure dans les chapitres qui suivent

*ETUDE DES
ELEMENTS
SECONDAIRES*

III. Introduction

Dans cette partie, on étudie les éléments secondaires de la construction qui comporte trois divisions :

- les pannes
- les potelets
- les lisses de bardage

Chaque division comprend :

- le principe de dimensionnement.
- vérification de la résistance aux sollicitations dont elles sont soumises.
- Vérification à la stabilité sous charge pondérées et non pondérée.

III.1 Dimensionnement des pannes

Les pannes sont disposées normalement à la ligne de pente des versants et prennent appui sur les fermes ou portiques.

Leur écartement est évidemment en fonction de la couverture qu'elles reçoivent. Elles sont le plus couramment prévues en I ou en H, quelque fois en U, ou avec des profils en tôles pliées, plus rarement maintenant en treillis.

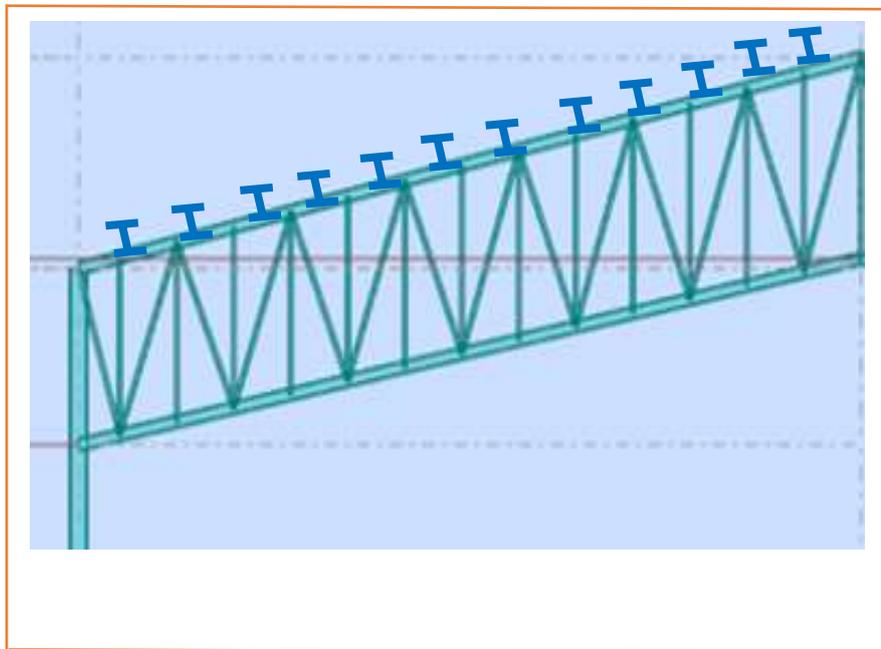


Figure : III.1 Disposition d'une panne sur un versant

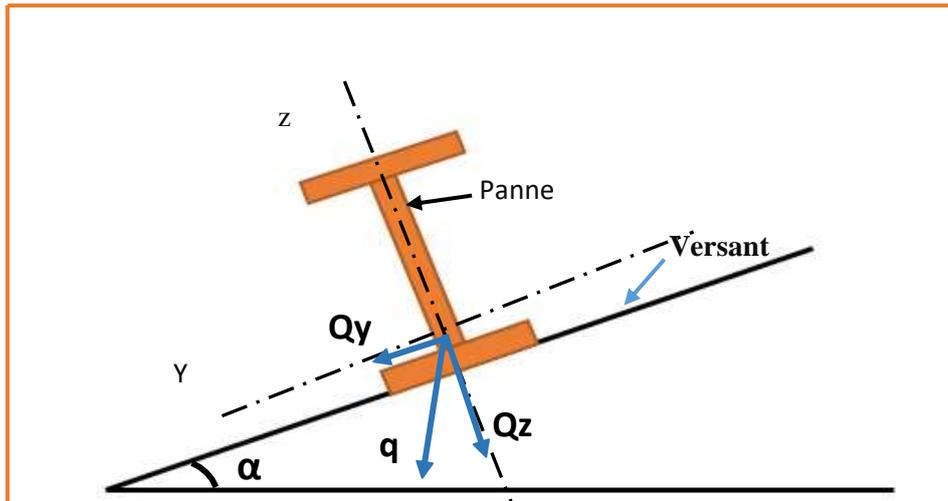


Figure : III.2 les charges agissant sur la panne

➤ **Pour le hall de maintenance**

Sur chaque versant on dispose de

- 13 pannes
- L'espace entre panne $d = 1.54\text{m}$
- Chaque panne repose sur deux appuis simples espacés de $L = 6\text{ m}$
- L'angle d'inclinaison de notre versant et de $\alpha = 11.30^\circ$

a.1 Evaluation des charges

➤ Charge permanente : G

Poids de la toiture on a un panneau sandwich (TL 75) $G1 = 17.6\text{ daN/m}^2$

Poids des accessoires $G2 = 3\text{ daN/m}^2$

Poids propre de la panne estimé : HEA 160 $G3 = 30.4\text{ daN/m}$

La charge permanente $G = d * (G1 + G2) + G3 = \mathbf{61.124\text{ daN/m}}$

Tableau III.1 : Caractéristique de HEA 160

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _{pl.y} (cm ³)	I _z (cm ⁴)	i _z (cm)	W _{pl.z} (cm ³)
38.8	1673	6.57	245	616	3.98	118
h (mm)	B (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	r (mm)	D (mm)	M (Kg/m)
152	160	6	9	15	122	30.4

➤ surcharges d'entretien : Q

On a deux charges concentrées de 100 kg située à 1/3 et 2/3 de la portée de la poutre

➤ Charge climatique

1- Charge due au vent $V = -321.58 \text{ daN/m}$

2- Effet de la neige $S = 8.16 \text{ daN/m}$

a.2 Charges et surcharges par mètre linéaire revenant à la panne intermédiaire :

➤ Charge permanente : G (par m² de la couverture)

$$G = d \cdot (G1 + G2) + G3 = 61.124 \text{ daN/mL}$$

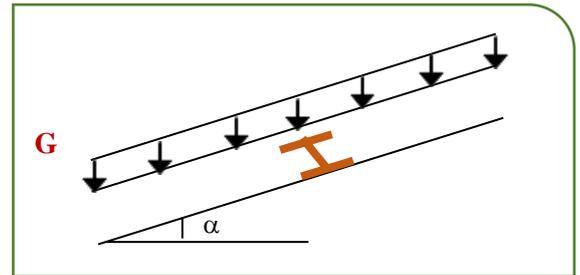


Figure III.3 : schéma statique des charges permanentes

➤ Charge climatique

1- Charge due au vent

$$V = -321.58 \cdot 1.54 = -495.23 \text{ daN/mL}$$

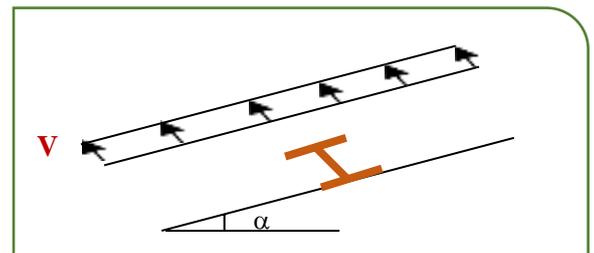


Figure III.4 : schéma statique de pannes sous charge de V

2- Effet de la neige

$$S = 8.16 \cdot 1.54 = 12.56 \text{ daN/mL}$$

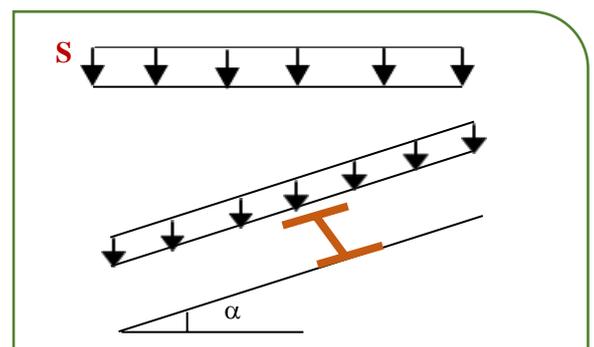


Figure III.5 : schéma statique de pannes sous surcharge de S

➤ surcharges d'entretien : Q

La charge uniformément répartie Q due aux surcharges d'entretien est obtenue en égalisant les deux moments maximaux du à Q et aux charges ponctuelles Q'

$$M_{\max} = Q' \cdot L/3 = Ql^2/8$$

$$p = 8 \times 100/3 \times 6 = 44.44 \text{ daN/ml}$$

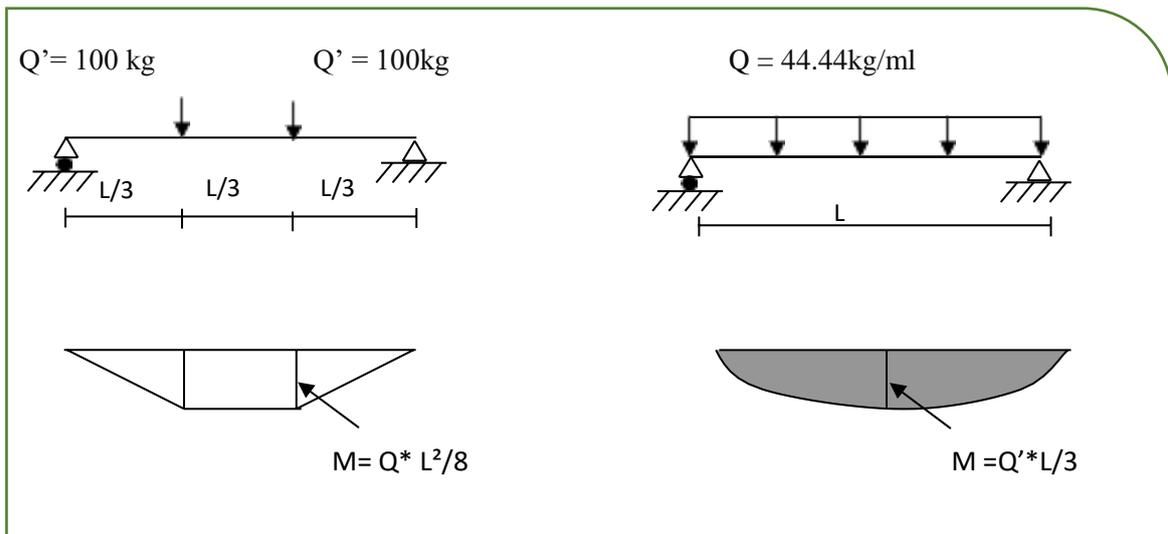


Figure III.6 : schéma statique de la poutre équivalente

a.3 La projection des Charges :

Tableau III.2 : projection des charges

Charge	Projection sur ZZ'	Projection sur YY'
G	60,91	12,17
Q	43,57	8,70
S	12,32	2,46
W	-495,23	-495,23

a.4 les Combinaisons de Charge :

A ELU

- ✓ 1.35G + 1.5Q
- ✓ 1.35G + 1.5 S
- ✓ G + 1.5W
- ✓ 1.35G + 1.5*0.9 (Q+S+W)

A ELS

- G + Q
- * G + S
- * G + W
- * G + 0.9(5Q+S+W)

Tableau III.3 : les combinaisons de charges

combinaisons	ELS zz'	combinaisons	ELS yy'
G + Q	104,49	G + Q	20,88
G + S	73,242	G+S	14,63
G + W	-434,31	G+(0,9*(S+Q))	22,22
G + (0,9*(Q+W+S))	-334,47	/	
combinaisons	ELU zz'	combinaisons	ELU yy'
1,35G + 1,5Q	147,60	1,35G +1,5 Q	29,49
1,35G + 1,5S	100,72	G1,35+1,5S	20,12
G + 1,5 W	-681,93	G1,35+(0,9*1,5*(S+Q))	31,51
1,35G + 1,5(0,9*(Q+W+S))	-510,85	/	

a.5 Vérification de la flèche

Le pré dimensionnement se fait par la condition de la flèche à l'ELS : $\delta_{max} \leq \delta_{adm}$

$$\delta_{max} = \frac{5 \times Qu \times l^4}{384 \times E \times Iy} \leq \delta_{adm} = \frac{l}{200}$$

a.5.1 La vérification de la flèche suivant l'axe y-y

$$\delta_y = \frac{5 \times 22,22 \times 6^4}{384 \times 21 \times 10^9 \times 616 \times 10^{-8}} = 0,002 \text{ m} \leq \delta_{adm} = 0,03 \text{ m} \quad \Rightarrow \text{vérifiée}$$

a.5.2 La vérification de la flèche suivant l'axe z-z

$$\delta_z = \frac{5 \times 434,31 \times 6^4}{384 \times 21 \times 10^9 \times 1673 \times 10^{-8}} = 0,02 \text{ m} \leq \delta_{adm} = 0,03 \text{ m} \quad \Rightarrow \text{vérifiée}$$

a.5.3 La vérification de la résultante

$$\delta_{max} = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_z^2} = 0,02 \text{ m} \leq \delta_{adm} = 0,03 \text{ m}$$

a.6 Vérification de la flexion bi-axiale (ELU) :

Dans notre cas on doit vérifier :

$$\left(\frac{My.sd}{Mypl.rd}\right)^\alpha + \left(\frac{Mz.sd}{Mzpl.rd}\right)^\beta \leq 1$$

Avec $\alpha = 2$ et $\beta=1$ pour les profilé en H, en absence de l'effort normal

❖ Détermination de la classe du profilé

$$\text{Ame} : \frac{d}{tw} = \frac{122}{6} = 20.33 \leq 72\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} \Rightarrow \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 \quad ; \text{ donc l'âme est de classe 1}$$

$$\text{Semelle} : \frac{c}{tw} = \frac{(b-tw-2r)}{2tf} = \frac{124}{18} = 6.88 \leq 10\varepsilon \quad ; \text{ Donc la semelle est de classe 1}$$

Donc notre profilé est de classe 1

❖ Moments réduit :

$$M_{ply.rd} = \frac{Wply \times fy}{\gamma_{m0}} = \frac{245 \times 10^{-6} \times 3.55 \times 10^7}{1.1} = 7906.81 \text{ daN.m}$$

$$M_{plz.rd} = \frac{Wplz \times fy}{\gamma_{m0}} = \frac{118 \times 10^{-6} \times 3.55 \times 10^7}{1.1} = 3808.18 \text{ daN.m}$$

❖ Moments fléchissant :

Axe z-z

$$M_{y.sd} = \frac{Qz \times l^2}{8} = \frac{681.93 \times 6^2}{8} = 3068.68 \text{ daN.m}$$

Axe y-y

$$M_{z.sd} = \frac{Qy \times l^2}{8} = \frac{31.51 \times 6^2}{8} = 141.80 \text{ daN.m}$$

$$\left(\frac{3068.68}{7906.81}\right)^2 + \left(\frac{141.80}{3808.18}\right)^1 = 0.18 \leq 1 \quad \longrightarrow \quad \text{Vérifiée}$$

a.6 Vérification au cisaillement (ELU) :

On doit vérifier la formule suivante

$$V_{sd} \max \leq V_{pl} \quad \text{(Eurocode.3 p158)}$$

$$V_{sd} = \max(V_{sdy} | V_{sdz}) \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{sdy} = \frac{Q_y \times l}{2} = \frac{31.51 \times 6}{2} = 94.53 \text{ daN} \\ V_{sdz} = \frac{Q_z \times l}{2} = \frac{681.93 \times 6}{2} = 2045.79 \text{ daN} \end{array} \right.$$

$$V_{sd} \max = 2045.79 \text{ daN}$$

$$V_{pl,rd} = A_v \times \frac{f_y}{\gamma_{m0} \sqrt{3}} \quad \longrightarrow \quad A_v = A - 2(b \times t_f) + (t_w + 2r) \times t_f = 13.24 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,rd} = 24669,65 \text{ daN}$$

la condition est vérifiée $V_{pl} > V_{sd} \max$

a.8 Vérification au déversement :

Le déversement est un phénomène d'instabilité qui se manifeste par une déformation latérale de la partie comprimée de la section sous l'action de vent de soulèvement

$$M_{sd} \max \leq M_{brd} \quad \text{[Eurocode.3 p176]}$$

Avec :

- M_{brd} = moment résistant au déversement $M_{B,rd} = \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times M_{ply} \times f_y}{\gamma_{m1}}$
- χ_{LT} = coefficient de réduction pour le déversement
- La classe du profile est de classe 1 donc $\gamma_{m1} = 1,1$ et $\beta_w = 1$
- $M_{sd} \max = M_{y,sd} = 3068.68 \text{ DaN.m}$

❖ Moment critique M_{cr} :

$$M_{cr} = \frac{C1 \times \pi^2 \times I_z}{(k \times l)^2} \times \sqrt{\left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{I_w}{I_z} + \frac{(K \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C2 \times Z_g)^2 \right]} - (C2 \times Z_g) = 7376,43 \text{ daN}$$

- $C1 = 1.132$ et $C2 = 0.45$
- $k = k_w = 1$
- $G = 87077 \text{ DaN/mm}$
- $Z_g = -76 \text{ mm}$ (centre de cisaillement)
- $l = 6000 \text{ mm}$

❖ L'élançement de déversement λ_{lt} :

$$\lambda_{lt} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = 1.08 > 0,4 \text{ il y'a risque de déversement}$$

❖ Coefficient de réduction :

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\varphi_{lt} + (\varphi_{lt}^2 + \lambda_{lt}^2)^{0.5}} \quad ; \quad \chi_{lt} = 0.47$$

On a : $\varphi_{lt} = 0,5 \times (1 + 0,21(\lambda_{lt} - 0,2) + \lambda_{lt}^2) = 1.18$

❖ Moment résistant au déversement M_{brd}

$$M_{brd} = \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times M_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m1}} = 4789.34 \text{ DaN/m}$$

$$M_{brd} = 4789.34 \text{ DaN/m} > M_{sd,y} = 3068.68 \text{ DaN.m}$$

➡ La stabilité au déversement de la panne est vérifiée, on adopte pour HEA 160

➤ **Pour l'espace d'utilité**

Sur le versant on dispose de

- 12 pannes
- L'espacement entre pannes $d = 1.5\text{m}$
- Chaque panne repose sur deux appuis simples espacés de $L = 6\text{ m}$
- L'angle d'inclinaison de notre versant et de $\alpha = 11.30^\circ$

On prend pour la couverture un panneau sandwich (TL75), avec une estimation de panne HEA180

Pour cette étude on va réutiliser les mêmes vérifications précédentes celles de la partie du hall de maintenance les résultats vont être résumés comme suite :

b.1 Evaluation des charges

Tableau III.4 : décomposition des charges et surcharge

charge et surcharge	Valeur	Valeur en mL
G	66.25	66,25
Q	100	44,44
S	8.16	11,42
W	-456.56	-684,84

b.2 Evaluation des charges

Tableau III.5 : projection des charges

Charge	Projection sur ZZ'	Projection sur YY'
G	64.96	12.81
Q	43.57	8.70
S	12.00	2.39
W	-495,23	-495,23

b.3 Les combinaisons de Charge

Tableau III.6 : les es ccombinaisons dcharges

combinaison	ELU zz' daN/m	combinaison	ELU yy'
1,35G + 1,5Q	153,07	G + Q	30,58
1,35G + 1,5S	105,70	G1,35+1,5S	21,12
G + 1,5 W	-619,87	G1,35+(0,9*1,5*(S+Q))	32,518
1,35G+ 1,5*0,9*(Q+W+S)	-453,61	/	
combinaison	ELS zz'	combinaison	ELS yy'
G + Q	108,54	G + Q	21,68
G + S	76,96	G+S	15,37
G + W	-391,59	G+(0,9*(S+Q))	22,97
G + (0,9*(Q+W+S))	-295,91	/	

b.4 Vérification de la stabilité de la panne

Tableau III.7 : tableau récapitulative

La loi	Résultats	
$\delta_z = \frac{5 \times Qz \times l^4}{384 \times E \times Iy}$	0.001 m	$\delta_{max} = \sqrt{\delta y^2 + \delta z^2} = 0.019 \text{ m} \leq \delta_{adm} = 0.03 \text{ m}$
$\delta_y = \frac{5 \times Qy \times l^4}{384 \times E \times Iy}$	0.01 m	
$M_{ply,rd} = \frac{Wply \times fy}{\gamma m0}$	10488,63 daN.m	$\left(\frac{My.sd}{Mypl.rd}\right)^\alpha + \left(\frac{Mz.sd}{Mzpl.rd}\right)^\beta$ $= 0.19 \leq 1 \rightarrow \text{condition vérifiée}$
$M_{ply,rd} = \frac{Wplz \times fy}{\gamma m0}$	5034,54 daN.m	
$M_{y,sd} = \frac{Qz \times l^2}{8}$	4330.32 daN.m	
$M_{y,sd} = \frac{Qy \times l^2}{8}$	146.15 daN.m	

Tableau III.8 : récapitulatifs des vérification

La loi	Résultats	
$V_{sdy} = \frac{Qy \times l}{2}$	97.43 daN.m	La condition $V_{pl} > V_{sd \max}$ est vérifiée
$V_{sdz} = \frac{Qz \times l}{2}$	2886.88 daN.m	
$V_{pl,rd} = A_v \times \frac{f_y}{\gamma_{m0} \sqrt{3}}$	27054.63 daN	
$\lambda_{lt} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{ply} \times f_y}{M_{cr}}}$	1.09	Mb,rd = 4330 daN/m > Msd,y = 6282.69 daN.m  La stabilité au déversement de la panne est vérifiée, on adopte pour HEA 180
$\chi_{lt} = \frac{1}{\varphi_{lt} + (\varphi_{lt}^2 + \lambda_{lt}^2)^{0.5}}$	0.599	
$\varphi_{lt} = \sqrt{1 + 0,21(\lambda_{lt} - 0,2) + \lambda_{lt}^2}$	1.19	
$M_{brd} = \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times M_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m1}}$	6282.69 daN. m	

III.2 Dimensionnement des potelets

Les potelets sont des éléments verticaux évidés, non accolée à une paroi. Ils sont souvent utilisés en I ou en H.

Le rôle principal des potelets est d’être un support vertical de lisse de bardage.

Le potelet le plus sollicité à des caractéristiques suivantes :

- L’écartement entre les potelets : d=6m.
- Chargement uniforme suivant les deux axes.
- Les potelets sont articulés en tête et articulés pied.
- hauteur de potelets 1 L =25.19 m.
- hauteur potelets 2 : L =9.5 m
- poids propre d’une lisses : G = 18.9 daN/m.
- poids du bardage (LL 45 viscache) : 15.5 daN/m²
- acier utilisé S355 JR.

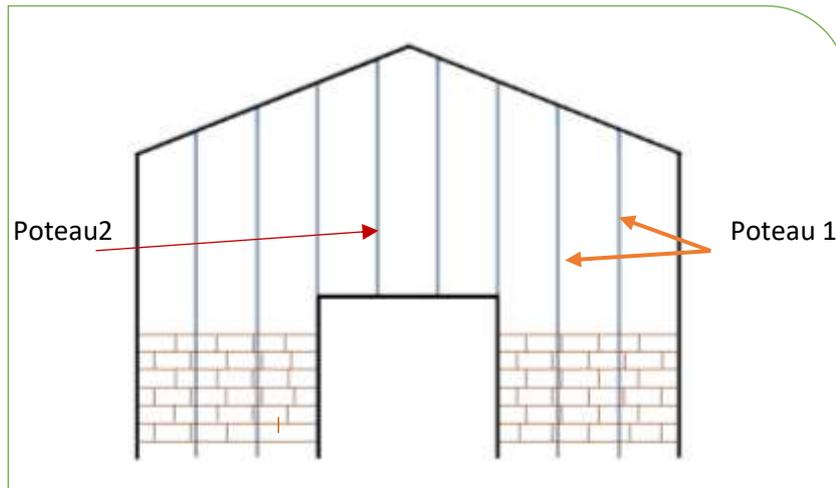


Figure III.6 : Disposition des potelets

➤ Pour le hall de maintenance

a. Potelets 1

a.1 évaluation des charges et surcharges

- Charge permanente : G

Poids de la toiture on a un panneau sandwich (LL 45) G1= 13 daN/m²

Poids des accessoiresG2 = 2 daN/m²

Poids propre du potelets estimé : HEB 800G3 = 262.3 daN/m

Tableau III.9 : Caractéristique de HEB 800

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _{pl,y} (cm ³)	I _z (cm ⁴)	i _z (cm)	W _{pl,z} (cm ³)
334	359.1*10 ³	32.8	10229	14904	6.68	1553
h (mm)	B (mm)	t _w (mm)	t _r (mm)	r (mm)	D (mm)	M (Kg/m)
800	300	17.5	33	30	674	26203

- Charge climatique due au vent : V = -251,48 daN/m²

a.2 Charges et surcharges par mètre linéaire :

- Charge permanente : G (par m² du bardage)

$$G = G(\text{panneau} \cdot \text{ent} \cdot h) + \text{Glisse} (\text{poids} \cdot \text{nbr lisse} \cdot \text{ent}) + G(\text{poids} \cdot h) = 8988.437 \text{ daN/mL}$$

- Charge climatique due au vent

❖ Moments réduit :

$$M_{ply.rd} = \frac{wply \times fy}{\gamma m0} = \frac{10229 \times 10^{-6} \times 3.55 \times 10^7}{1.1} = 330117.72 \text{ daN.m}$$

❖ Moments fléchissant :

Axe z-z

$$M_{y.sd} = \frac{Qz \times l^2}{8} = \frac{681.93 \times 6^2}{8} = 179519.78 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd.max} \leq M_{pl.r} \quad \Rightarrow \quad \text{Vérifiée}$$

a.7 Vérification de la résistance au moment fléchissant et l'effort bi-axial :

On doit vérifier la formule suivante

$$N_{sd} \max \leq \min (0.25 N_{pl.rd} ; 0.5 (\frac{Aw \times fy}{\gamma m0}))$$

- $N_{sd} = 1.35G = 1.35 \times 8988.43 = 12134.38 \text{ daN}$

- $N_{plrd} = \frac{A \times fy}{\gamma m0} = \frac{334 \times 3550}{1.1} = 1077909.09 \text{ DaN}$

$$\Rightarrow \quad 0.25 N_{pl.rd} = 269477.27 \text{ daN}$$

$$\frac{0.5Aw \times fy}{\gamma m0} = \frac{0.5(A - Av) \times 2750}{1.1} = \frac{0.5(334 - 223.57) \times 3550}{1.1} = 168147.15 \text{ DaN}$$

$$N_{sdmax} = 12134.38 \leq \min(269477.27 \text{ DaN}; 168147.15 \text{ DaN})$$

$$N_{sdmax} = 12134.38 \text{ DaN} \leq 168147.15 \text{ DaN} \quad \Rightarrow \quad \text{la condition est vérifiée}$$

L'effort normal peut être négligé é par rapport à le moment de résistance

a.8 Vérification au flambement : $\frac{Nsd}{\chi_{min} \times Nplrd} + \frac{ky \times Msdy}{Mplrd} \leq 1$

- $\chi_{min} = \min (\chi_y ; \chi_z)$

On a $\chi_{lt} = \frac{1}{\varphi_{lt} + (\varphi_{lt}^2 - \lambda_{lt}^2)^{0.5}}$ et : $\varphi_{lt} = \sqrt{1 + 0,21(\lambda_{lt} - 0,2) + \lambda_{lt}^2}$

$$\lambda = \left(\frac{\lambda y}{\lambda 1} \right) (\beta A)^{0.5} \quad / \quad \beta_A = 1$$

- Pour YY' :

$$\lambda_1 = 76.38$$

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = \frac{2519}{32,8} = 76.79$$

$$\checkmark \bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{76,39}{76,79} = 1.00$$

Courbe de flambement :

$$\frac{h}{b} = \frac{80}{30} = 2.66 \geq 1.2$$

$$yy' \rightarrow a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$t_f = 33 \leq 40 \text{ mm}$$

$$zz' \rightarrow b \rightarrow \alpha = 0.34$$

$$\checkmark \varphi_{lt} = 1.08$$

$$\checkmark \chi_{ly} = 0.66$$

- Pour ZZ' :

$$\lambda_1 = 76.39$$

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = \frac{120}{6,68} = 17.96 \quad / l_f = \text{espacement entre lisse}$$

$$\checkmark \bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{17,96}{76,35} = 0.23$$

Courbe de flambement :

$$\frac{h}{b} = \frac{80}{30} = 2.66 \geq 1.2$$

$$yy' \rightarrow a \rightarrow \alpha = 0.21$$

$$t_f = 33 \leq 40 \text{ mm}$$

$$zz' \rightarrow b \rightarrow \alpha = 0.34$$

$$\checkmark \varphi_{lt} = 0.53$$

$$\checkmark \chi_{lz} = 0.98$$

Alors : $\chi_{\min} = \chi_y = 0.66$

- Coefficient k :

$$\mu_y = \lambda_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{ply} \times W_{ely}}{W_{ely}} = -1.26$$

$$\Rightarrow \beta_{My} = 1.3 \text{ appuis simple}$$

(Eurocode3 p 186)

$$K_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 0.98$$

$$k_y \leq 1.5$$

vérifiée

Vérification de la condition :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times N_{plrd}} + \frac{k_y \times M_{sdy}}{M_{plrd}} \leq 1$$

$$0.55 \leq 1 \quad \text{Vérifiée}$$

➤ Donc le profilés HEB 800 est vérifié pour le potelet 1

b. Le poteles 2 : on reprend les mêmes vérifications précédentes.

- L'acier utilisé S25JR

b.1 évaluation des charges et surcharges

- Charge permanente : G

Poids de la toiture on a un panneau sandwich (LL 45) G1= 13 daN/m²

Poids des accessoiresG2 = 2 daN/m²

Poids propre du potelets estimé : IPE 400G3 = 262.3 daN/m

Tableau III.11 : Caractéristique de IPE 400

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _{pl,y} (cm ³)	I _z (cm ⁴)	i _z (cm)	W _{pl,z} (cm ³)
72.7	16266	15	1019	1043	3.79	191
h (mm)	B (mm)	t _w (mm)	t _r (mm)	r (mm)	D (mm)	M (Kg/m)
360	170	0.8	1.27	18	29.86	57.1

- Charge climatique due au vent : V = -251,48 daN/m²

b.2 Charges et surcharges par mètre linéaire :

- Charge permanente : G (par m² du bardage)

$$G = G(\text{panneau} \cdot e \cdot h) + G_{\text{lisse}} (\text{poids} \cdot \text{nbr lisse} \cdot \text{ent}) + G(\text{poids} \cdot h) = 2923.55 \text{ daN/mL}$$

- Charge climatique due au vent

$$V = - 251,48 \cdot 6 = - 1508.88 \text{ daN/mL}$$

b.3 les Combinaisons de Charge les plus défavorables :

A ELU	A ELS
✓ 1.35G + 1.5Q	* G + Q

Tableau III.11 : les combinaisons des charges

Axe	Combinaison	ELU (daN/m)	combinaison	ELS (daN/m)
Zz'	1,35G+1,5V (G=0)	2263,32	G+V (G=0)	1508,88
Yy'	1,35G+1,5V (V=0)	3946,7925	G+V(V=0)	2923,55

Comb	ELU	comb2	ELS dan,m
1,35g+1,5v (G=0)	2263,32	G+V (G=0)	1508,88
1,35G+1,5V (V=0)	3946,7925	G+V(V=0)	2923,55

Tableau III.12 : tableau qui résume les vérifications

La loi	Résultats	
$\delta z = \frac{5 \times Q_z \times l^4}{384 \times E \times I_y}$	0.03 m	$\delta_{max} = 0.03 \text{ m} \leq \delta_{adm} = 0.12 \text{ m}$
$M_{ply.rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}}$	42180.45 daN.m	$M_{sd.max} \leq M_{pl.r}$ 26019.15 ≤ 42180.45
$M_{y.sd} = \frac{Q_z \times l^2}{8}$	26019.15 daN.m	→ La condition est vérifiée
$N_{sd} = 1.35G$	4396.88 daN	$N_{sd.max} \leq \min (0.25 N_{pl.rd} ; 0.5 (\frac{A_w \times f_y}{\gamma_{m0}}))$
$N_{plrd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}}$	272704.54 daN	$N_{sdmax} = 4396.88 \text{ daN} \leq 63602.79 \text{ DaN}$
$\frac{0.5 A_w \times f_y}{\gamma_{m0}}$	63602.79 daN	→ La condition est vérifiée
$0.25 N_{plrd}$	68176.13 daN	
$\bar{\lambda}_y = \left(\frac{\lambda_y}{\lambda_1} \right) (\beta A)^{0.5}$	0.76	$\chi_{min} = \min (\chi_y ; \chi_z)$
$\chi_{ly} = \frac{1}{\varphi_{ly} + (\varphi_{ly}^2 + \lambda_{ly}^2)^{0.5}}$	0.81	Donc $\chi_{min} = \chi_y = 0.81$
$\varphi_{ly} = \sqrt{1 + 0,34(\lambda_{ly} - 0,2) + \lambda_{ly}^2}$	0.84	
$\bar{\lambda}_z = \left(\frac{\lambda_z}{\lambda_1} \right) (\beta A)^{0.5}$	0.39	
$\chi_{lz} = \frac{1}{\varphi_{lz} + (\varphi_{lz}^2 + \lambda_{lz}^2)^{0.5}}$	0.92	
$\varphi_{lz} = \sqrt{1 + 0,21(\lambda_{lz} - 0,2) + \lambda_{lz}^2}$	0.61	
$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{ply} \times W_{ely}}{W_{ely}}$	-0.93	$k_y \leq 1.5$ → vérifiée
$K_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y}$	0.98	
$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{plrd}} + \frac{k_y \times M_{sdy}}{M_{plrd}} \leq 1$	0.62	$0.61 \leq 1$ → Vérifiée

➤ On opte pour le profilé IPE 400 pour poteles2

Remarque : on généralise le profilé IPE400 pour les poteles de l'espace d'utilité

III.3 Dimensionnement des lisses

Les lisses de bardages sont constituées de poutrelles (IPE, UAP) ou de profils minces pliés. Disposées horizontalement, elles 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.

Sur chaque face on dispose de

- 10 lisses
- L'espace des lisse $d = 1.20\text{ m}$
- Chaque lisse repose sur deux appuis simples espacés de $L = 6\text{ m}$
- Les lisses sont en acier S275

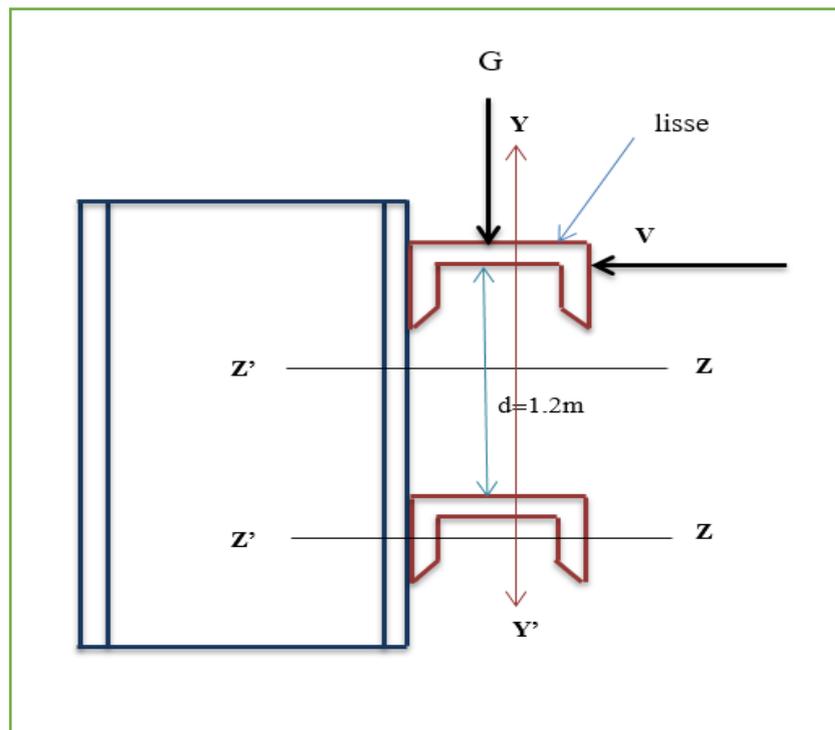


Figure III.7 : Disposition des lisses

➤ Lisse de bardage du pignon

a.1 Evaluation des charges

➤ Charge permanente : G

Poids du bardage (LL45)+ poids des accessoires $G1 = 15\text{ daN/m}^2$

Poids propre de la panne estimé : UPN 180G2 = 22.5 daN/m

La charge permanente G = d *(G1+G2) = **40.5 daN/m**

Tableau III.13 : Caractéristique de UPN 160

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _{pl.y} (cm ³)	I _z (cm ⁴)	i _z (cm)	W _{pl.z} (cm ³)
28	1350	6.95	179	114	2.02	42.9
h (mm)	B (mm)	t _w (mm)	t _r (mm)	r (mm)	D (mm)	M (Kg/m)
180	70	8	11	11	138	22.5

- Charge climatique due au vent : V = -251,48 daN/m²

a.2 Charges par mètre linéaire :

- Charge climatique due au vent V = - 251,48*1.2= - 301.77 daN/mL

Axe	Combinaison	ELU daN/m	Combinaison	ELS daN/m
Yy'	1,35G+1,5V	54.67	G+V	40.5
Zz'	1,35G+1,5V	452.66	G+V	301.77

a.3 les Combinaisons de Charge les plus défavorables :

- | | |
|----------------|---------|
| A ELU | A ELS |
| ✓ 1.35G + 1.5Q | * G + Q |

Tableau III.14 : les combinaisons des charges

a.4 Vérification de la flèche

Le pré dimensionnement se fait par la condition de la flèche à l'ELS : $\delta_{max} \leq \delta_{adm}$

$$\delta_{max} = \frac{5 \times Qu \times l^4}{384 \times E \times I_y} \leq \delta_{adm} = \frac{l}{200}$$

a.4.1 La vérification de la flèche suivant l'axe z-z

$$\delta_z = \frac{5 \times 301.77 \times 6^4}{384 \times 21 \times 10^9 \times 1350 \times 10^{-8}} = 0.026m \leq \delta_{adm} = 0.03m \quad \text{vérifiée}$$

a.4.2 La vérification de la flèche suivant l'axe y-y 

$$\delta_y = \frac{5 \times 40.5 \times 6^4}{384 \times 21 \times 10^9 \times 114 \times 10^{-8}} = 0.038 \leq \delta_{adm} = 0.03 \quad \text{non vérifiée} \quad \text{non vérifiée} \quad \text{non vérifiée}$$

L'UPN 160 ne vérifie pas la flèche suivant l'axe y-y donc on doit rajouter des liernes :

$$\delta_y = \frac{2.05 \times 40.5 \times 3^4}{384 \times 21 \times 10^9 \times 114 \times 10^{-8}} = 0.0009 \text{ m} \leq \delta_{add} = 0.015$$

a.5 Vérification de la flexion bi-axiale (ELU) :

DaNs notre cas on doit vérifier :

$$\left[\frac{N_{sd}}{N_{plrd}} \right] + \left[\frac{M_{sdy}}{M_{plrdy}} \right] + \left[\frac{M_{sdz}}{M_{plrdz}} \right] \leq 1$$

❖ Détermination de la classe du profilé

$$A_{me} : \frac{d}{tw} = \frac{136}{7} = 19.42 \leq 72\epsilon$$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \Rightarrow \epsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 \quad ; \text{ donc l'âme est de classe 1}$$

$$\text{Semelle} : \frac{c}{tw} = \frac{(b-tw-r)}{2tf} = \frac{51}{22} = 2.31 \leq 10\epsilon ; \text{ Donc la semelle est de classe 1}$$

Donc notre profilé est de classe 1

❖ Moments réduits :

$$M_{ply,rd y} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{179 \times 10^{-6} \times 3.55 \times 10^7}{1.1} = 4453.63 \text{ DaN.m}$$

$$M_{ply,rd z} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{42.9 \times 10^{-6} \times 3.55 \times 10^7}{1.1} = 1136 \text{ DaN.m}$$

❖ Moments fléchissant :

Axe z-z

$$M_{y,sd} = \frac{Q_z \times l^2}{8} = \frac{452.66 \times 6^2}{8} = 2036.98 \text{ DaN.m}$$

Axe y-y

$$M_{z,sd} = \frac{Q_y \times l^2}{8} = \frac{54.67 \times 3^2}{8} = 61.50 \text{ DaN.m}$$

$$\left[\frac{2036.98}{1384.5} \right] + \left[\frac{246.03}{5776.81} \right] = 0.51 \leq 1 \quad \Rightarrow \text{ La condition est vérifiée}$$

a.6 Vérification au cisaillement (ELU) :

On doit vérifier la formule suivante

$$V_{sd} \max \leq V_{pl}$$

(Eurocode.3 p158)

$$V_{sd} = \frac{Q_y \times l}{2} = \frac{54.67 \times 3}{2} = 1357.99 \text{ DaN}$$

• $V_{sd} = \max(V_{sdy} | V_{sdz})$

$$V_{sdz} = \frac{Q_z \times l}{2} = \frac{452.66 \times 6}{2} = 82.01 \text{ DaN}$$

$$V_{sd} \text{ max} = 1357.99 \text{ DaN}$$

$$V_{pl,rd} = A_v \times \frac{f_y}{\gamma_{m0} \sqrt{3}} \implies A_v = A - 2(b \times t_f) + (t_w + 2r) \times t_f = 13.34 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,rd} = 2486063.69 \text{ DaN}$$

La condition $V_{pl} > V_{sd} \text{ max}$ est vérifiée

a.7 Vérification au déversement :

Le déversement est un phénomène d'instabilité qui se manifeste par une déformation latérale de la partie comprimée de la section sous l'action de vent de soulèvement

$$M_{sd} \text{ max} \leq M_{brd} \quad [\text{Eurocode.3 p176}]$$

Avec :

- M_{brd} = moment résistant au déversement $M_{B,rd} = \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times M_{ply} \times f_y}{\gamma_{m1}}$
- χ_{LT} = coefficient de réduction pour le déversement
- La classe du profile est de classe 1 donc $\gamma_{m1} = 1,1$ et $\beta_w = 1$
- $M_{sd} \text{ max} = M_{y,sd} = 3068.68 \text{ DaN.m}$

❖ Moment critique M_{cr} :

$$M_{cr} = \frac{C1 \times \pi^2 \times I_z}{(k \times l)^2} \times \sqrt{\left[\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 + \frac{I_w}{I_z} + \frac{(K \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C2 \times Z_g)^2 \right]} - (C2 \times Z_g) = 4268,97 \text{ DaN}$$

- $C1 = 1.132$ et $C2 = 0.45$
- $k = k_w = 1$
- $G = 87077 \text{ DaN/mm}$
- $Z_g = -80 \text{ mm}$ (centre de cisaillement)
- $l = 3000 \text{ mm}$

❖ L'élancement de déversement λ_{lt} :

$$\lambda_{lt} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = 1.07 > 0,4 \text{ il y'a risque de déversement}$$

❖ Coefficient de réduction :

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\varphi_{lt} + (\varphi_{lt}^2 + \lambda_{lt}^2)^{0.5}} \quad ; \quad \chi_{lt} = 0.61$$

On a : $\varphi_{lt} = 0,5 \times (1 + 0,21(\lambda_{lt} - 0,2) + \lambda_{lt}^2) = 1.16$

❖ Moment résistant au déversement M_{brd}

$$M_{brd} = \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times M_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{m1}} = 2742.66 \text{ DaN/m}$$

$$M_{b.rd} = 2742.66 \text{ DaN.m} > M_{sd,y} = 2036.98 \text{ DaN.m}$$

→ Le déversement est vérifié, on adopte UPN 160 avec liernes pour les lisses du pignon

➤ Lisse de bardage du long pant

b.1 Evaluation des charges

➤ Charge permanente : G

Poids du bardage + poids des accessoires G1= 15 DaN/m²

Poids propre de la panne estimé : UPN 140 G2 = 16.4 DaN/m

La charge permanente G = d *(G1+G2) = 35.9 daN/m

Tableau III.15 : Caractéristique de UPN 140

A (cm ²)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _{pl,y} (cm ³)	I _z (cm ⁴)	i _z (cm)	W _{pl,z} (cm ³)
20.4	605	5.45	103	62.7	1.75	28.3
h (mm)	B (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	r (mm)	D (mm)	M (Kg/m)
140	60	7	10	10	100	16.4

- Charge climatique due au vent : V = - 186,58DaN/m²

b.2 Charges par mètre linéaire :

- Charge climatique due au vent V = - 186,58*1.2 = - 301.77 DaN/mL

b.3 les Combinaisons de Charge les plus défavorables :

- | | |
|----------------|---------|
| A ELU | A ELS |
| ✓ 1.35G + 1.5Q | * G + Q |

Tableau III.16 : les combinaisons des charges

Axe	Combinaison	ELU DaN/m	Combinaison	ELS DaN/m
Yy'	1,35G+1,5V	48.46	G+V	35.9
Zz'	1,35G+1,5V	335.84	G+V	223.89

Tableau III.17 : tableau qui résume les vérifications

La loi	Résultats	
$\delta_z = \frac{5 \times Q_z \times l^4}{384 \times E \times I_y}$	0.02	L'UPN 140 ne vérifie pas la flèche suivant l'axe y-y donc on doit rajouter des liernes : $\delta_y = 0.001 \leq \delta_{adm} = 0.015$
$\delta_y = \frac{5 \times Q_y \times l^4}{384 \times E \times I_y}$	0.04	
$\delta_y = \frac{2.05 \times Q_y \times (l/2)^4}{384 \times E \times I_y}$	0.001	
$M_{ply,rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}}$	3324.09 DaN.m	$\left[\frac{N_{sd}}{N_{plrd}} \right] + \left[\frac{M_{sdy}}{M_{plrdy}} \right] + \left[\frac{M_{sdz}}{M_{plrdz}} \right] \leq 1$ $0.2 \leq 1$ la condition est vérifiée
$M_{plz,rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{m0}}$	913.31 DaN.m	
$M_{y,sd} = \frac{Q_z \times l^2}{8}$	1511.29 DaN.m	
$M_{y,sd} = \frac{Q_y \times l^2}{8}$	54.53 DaN.m	
	145.39 DaN.m	
$V_{sdy} = \frac{Q_y \times l}{2}$		La condition $V_{pl} > V_{sd \max}$ est vérifiée
$V_{sdz} = \frac{Q_z \times l}{2}$	1007.53 DaN.m	
$V_{pl,rd} = A_v \times \frac{f_y}{\gamma_{m0} \sqrt{3}}$	2068226.12 DaN	
$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{ply} \times f_y}{M_{cr}}}$	1.04	$M_{b,rd} = 6639.90 \text{ DaN.m} > M_{sd,y} = 1511.29 \text{ DaN.m}$ Le déversement de la lisse est vérifié, on adopte pour UPN 140 avec liernes
$\chi_{lt} = \frac{1}{\varphi_{lt} + (\varphi_{lt}^2 + \bar{\lambda}_{lt}^2)^{0.5}}$	0.63	
$\varphi_{lt} = \sqrt{1 + 0.21(\bar{\lambda}_{lt} - 0.2) + \bar{\lambda}_{lt}^2}$	1.13	
$M_{brd} = \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times M_{ply} \times f_y}{\gamma_{m1}}$	6639.30 DaN.m	

III.4 Dimensionnement des liernes

➤ Face pignon

c.1 Calcul de la réaction R :

$Q_{uy} = 40.5 \text{ DaN/m}$

$R_1 = 1.25 \times Q_{uy} \times \frac{L}{2} = 151.87 \text{ DaN}$

c.2 Calcul les efforts de traction T_i :

Et pour tous les efforts de traction daNs chaque tronçon de lierne Li

Sont résumé comme suite $T_{i+1}=T_i+R$

- ❖ Lierne N°1 : $T_1 = \frac{R}{2} = \frac{151.87}{2} = \mathbf{75.93 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°2 : $T_2 = R+T_1 = \mathbf{227.81 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°3 : $T_3 = R+T_2 = \mathbf{379.68 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°4 : $T_4 = R+T_3 = \mathbf{531.56 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°5 : $T_5 = R+T_4 = \mathbf{683.43 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°6 : $T_6 = R+T_5 = \mathbf{835.31 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°7 : $T_7 = R+T_6 = \mathbf{987.18 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°8 : $T_8 = R+T_7 = \mathbf{1139.06 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°9 : $T_9 = R+T_8 = \mathbf{1290.93 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°10 : $T_{10} = R+T_9 = \mathbf{1442.81 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°11 : $2T_{11} \sin \theta = T_{10} \Rightarrow T_{11} = \frac{T_{10}}{2 \sin \theta}$ avec :
 $\tan \frac{d}{l/2} = \frac{1.2}{3} = 0.4$ Donc $\theta = \mathbf{21.8^\circ}$
- ❖ $T_{11} = \mathbf{3797.14 \text{ DaN}}$

c.3 Détermination de diamètre du rond :

Traction simple : $N_{sd} \leq N_{trd} \Rightarrow N_{sd} = T_{11} = \mathbf{3797.14 \text{ DaN}}$

$$N_{trd} = N_{plrd} = \frac{A \times f_y}{\gamma m_0} \Rightarrow A = \frac{T_{11} \times \gamma m_0}{f_y} = \frac{3797.14 \times 1.1}{35.5} = \mathbf{117.65 \text{ mm}^2}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \geq \mathbf{117.65 \text{ mm}^2} \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{117.65 \times 4}{\pi}} = \mathbf{12.24 \text{ mm}}$$

Donc il faut prendre un rond de diamètre $d = \mathbf{14 \text{ mm}}$

➤ Face long pant

d.1 Calcul de la réaction R :

$Q_{uy} = \mathbf{35.9 \text{ DaN/m}}$

$R_1 = 1.25 Q_{uy} \times \frac{L}{2} = \mathbf{134.62 \text{ DaN}}$

d.2 Calcul les efforts de traction Ti :

Et pour tous les efforts de traction daNs chaque tronçon de lierne Li

Sont résumé comme suite $T_{i+1}=T_i+R$

- ❖ Lierne N°1 : $T_1 = \frac{R}{2} = \frac{151.87}{2} = \mathbf{67.31 \text{ DaN}}$
- ❖ Lierne N°2 : $T_2 = R+T_1 = \mathbf{201.93 \text{ DaN}}$

- ❖ Lierne N°3 : $T_3 = R + T_2 = 336.56 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°4 : $T_4 = R + T_3 = 471.18 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°5 : $T_5 = R + T_4 = 605.81 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°6 : $T_6 = R + T_5 = 740.43 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°7 : $T_7 = R + T_6 = 875.06 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°8 : $T_8 = R + T_7 = 1009.68 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°9 : $T_9 = R + T_8 = 1144.31 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°10 : $T_{10} = R + T_9 = 1278.93 \text{ DaN}$
- ❖ Lierne N°11 : $2T_{11} \sin \theta = T_{10} \Rightarrow T_{11} = \frac{T_{10}}{2 \sin \theta}$ avec :

$$\tan \frac{d}{l/2} = \frac{1.2}{3} = 0.4 \quad \text{Donc } \theta = 21.8^\circ$$
- ❖ $T_{11} = 3365.86 \text{ DaN}$

d.3 Détermination de diamètre du rond :

Traction simple : $N_{sd} \leq N_{trd} \Rightarrow N_{sd} = T_{11} = 3365.86 \text{ DaN}$

$$N_{trd} = N_{plrd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} \Rightarrow A = \frac{T_{11} \times \gamma_{m0}}{f_y} = \frac{3797.14 \times 1.1}{35.5} = 104.29 \text{ mm}^2$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \geq 104.29 \text{ mm}^2 \Rightarrow d \geq \sqrt{\frac{104.29 \times 4}{\pi}} = 11.52 \text{ mm}$$

Donc il faut prendre un rond de diamètre $d = 12 \text{ mm}$

III.5 Conclusion

Après le dimensionnement et la vérification des conditions selon l'eurocode3 (à l'ELU et ELS) de chaque élément secondaire avec les sollicitations des effets climatiques ; les profilés les plus sollicités sont les suivants :

- Pour le hall de maintenance
 - ✓ Les pannes : HEA160
 - ✓ Les lisses : UPN 160 avec liernes
 - ✓ Les potelets : HEB 800 et IPE 400
- Pour l'espace d'utilité
 - ✓ Les pannes : HEA180
 - ✓ Les lisses : UPN 140 avec liernes
 - ✓ Les potelets : IPE 400

*CHEMIN DE
ROULEMENT*

IV.1 Introduction

Le pont roulant est un appareil de levage et de manutention qui assure l’approvisionnement de l’atelier, salles des machines de la moyenne et de la grosse industrie.

Ils ont des caractéristiques fixes qui sont fournies par le constructeur, les calculs consistent donc à dimensionner et à vérifier la poutre de roulement, qui reprend les charges verticales fixes et mobiles et les forces horizontales longitudinales dues au freinage du pont, ainsi que la poutre de freinage, qui reprend les efforts de freinages transversaux.

IV.2 Caractéristique du pont roulant

N : puissance du pont

B : poids du pont

K : poids du chariot

L : la portée du pont roulant

e : écartement des galets de translation

Tableau IV.1 : caractéristique et dimensions du pont roulant

Puissance	Portée	Poids			Dimension					
		N	L	a	B	C	e			
T	m	T	T	T	T	m	m	T		m
30	38	65	12	77	30	38	2.4	65	0.2	5.1

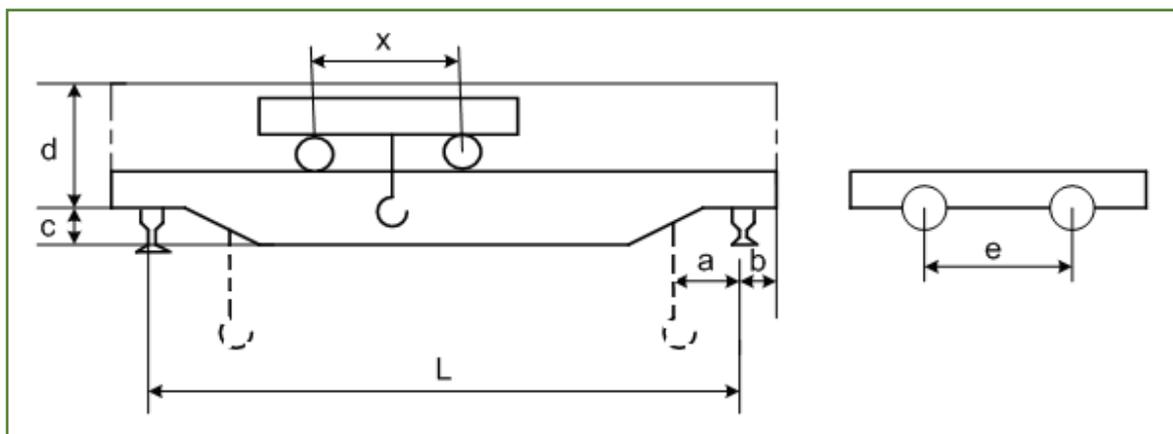


Figure IV.1 : schéma du pont roulant

IV.3 Le classement et coefficient de pont roulant :

a. Classement pont roulant

Suivant les conditions d'utilisation :

- **B** : Utilisation régulière en service intermittent
- **2** : Soulèvement de charges variant de zéro (0) à la charge nominale

D'où le groupe en fonction de ces caractéristiques :

Tableau IV.2 : Classements des ponts roulants

I	A-1	A-2	B1	C-1
II	A-3	B-2	-	C-2
III	-	B-3	-	C-3

b. Coefficients :

- **C** : coefficient d'adhérence d'un galet sur son rail
- φ : Coefficient de majoration dynamique des réactions verticale

Tableau IV.3 : Coefficients de majoration dynamique

Groupe du pont roulant	Chemin de roulement φ_1	Support de chemin de roulement φ_2	C
Pont atelier à crochet «II»	1,15	1,05	0,2

IV.4 Calcul de la poutre de roulement PDR

a. Réactions des galets d'un pont roulant :

- Charge verticales :

R max : charge maximale statique

$$R \text{ max} = 35923.5 \text{ daN}$$

R min : charge minimale statique

$$R \text{ min} = 17576 \text{ daN}$$

R1 max : charge maximale dynamique

$$R1 \text{ max} = \varphi_1 \times \text{max R} = 41312.02 \text{ daN}$$

R1 min : charge minimale dynamique

$$R1 \text{ min} = \varphi_1 \times \text{min R} = 20212.4 \text{ daN}$$

- Charges horizontal longitudinale :

R2 max : Charge maximale

$$R2 \text{ max} = c \times R \text{ max} = 0.2 \times 35923.5 = 7184.7 \text{ daN}$$

R2 min : Charge minimale

$$R2 \text{ min} = c \times R \text{ min} = 0.2 \times 17576 = \mathbf{3515.2 \text{ daN}}$$

➤ Charges horizontales transversales

R3 max : Charge maximale.

R3 min : Charge minimale.

b. Réactions horizontales transversales

❖ Chariot au milieu de la portée du pont :

$$R_{3\text{max}} = \pm \left\{ 0,024(N + K + B) \frac{L}{e} + 0,021(N + K) \right\} / n$$

$$R_{3\text{max}} = \pm \left\{ 0,024(300 + 120 + 650) \frac{38}{5.1} + 0,021(300 + 120) \right\} / 2$$

$$R_{3\text{max}} = \pm \mathbf{100.08 \text{ N}} = \pm \mathbf{10008 \text{ daN}}$$

$$R_{3\text{max}} = \pm \left\{ 0,024(N + K + B) \frac{L}{e} - 0,021(N + K) \right\} / n$$

$$R_{3\text{min}} = \pm \left\{ 0,024(300 + 120 + 650) \frac{38}{5.1} - 0,021(300 + 120) \right\} / 2$$

$$R_{3\text{min}} = \pm \mathbf{91.26 \text{ N}} = \pm \mathbf{9126 \text{ daN}}$$

❖ Chariot à la distance minimale du chemin de roulement

$$R_{3\text{max}} = \pm \left\{ 0,0052(N + K + 5B) \frac{L}{e_1} + 0,021(N + K) \right\} / n$$

$$R_{3\text{max}} = \pm \left\{ 0,0052(300 + 120 + 5 \times 650) \frac{38}{5.1} + 0,021(300 + 120) \right\} / 2$$

$$R_{3\text{max}} = \pm \mathbf{75.50 \text{ T}} = \pm \mathbf{7550 \text{ daN}}$$

$$R_{3\text{min}} = \pm \left\{ 0,0052(N + K + 5B) \frac{L}{e_1} - 0,021(N + K) \right\} / n$$

$$R_{3\text{min}} = \pm \left\{ 0,0052(300 + 120 + 5 \times 650) \frac{38}{5.1} - 0,021(300 + 120) \right\} / 2$$

$$R_{3\text{min}} = \pm \mathbf{66.68 \text{ N}} = \pm \mathbf{6668 \text{ daN}}$$

Donc les réactions d'un galet du pont roulant sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 : Les valeurs des réactions du pont roulant

Réaction	R	R1	R2	R3
Max daN	35923.5	41312.02	7184.7	10008
Min daN	17576	20212.4	3515.2	9126

IV.5 Pré-dimensionnement de la poutre de roulement :

a. Vérification de la flèche

- Travée de $l = 6\text{m}$ (sur deux appuis simple)
- Distance entre galets $e = 5.1\text{ m}$
- On propose **HEB 550** pour notre poutre de roulement

Tableau IV.5 : caractéristiques et dimension de HEB450

h (cm)	b(cm)	t_w (cm)	t_f (cm)	r (cm)	D (cm)	M (Kg/m)
55	30	1	1.75	2.7	363	1994
A (cm ²)	I_y (cm ⁴)	i_y (cm)	$W_{pl,y}$ (cm ³)	I_z (cm ⁴)	i_z (cm)	$W_{pl,z}$ (cm ³)
254	136700	23.2	5591	13077	7.17	1341

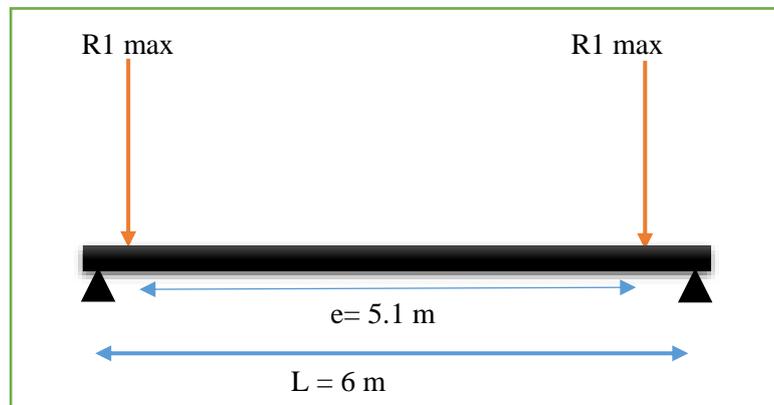


Figure IV.2 : Disposition des réactions des galets sur la PDR

La vérification de la flèche se fait par la condition de la flèche à l'ELS : $\delta_{max} \leq \delta_{adm}$

- La Flèche admissible : $\delta_{add} = \frac{l}{750}$
- La Flèche max : On a : $\frac{e}{L} = \frac{5.1}{6} = 0.85\text{ m} \geq 0.654\text{ m}$

$$\delta_{\max} = \frac{R1_{\max} \times l^3}{48 \times E \times I_y} = \frac{41312.02 \times 6^3}{48 \times 21 \times 10^9 \times 136700 \times 10^{-8}} = 0.0015 \text{ m} \leq \delta_{\text{add}} = \frac{l}{750} = 0.008 \text{ m} \Rightarrow \text{v\u00e9rifi\u00e9e}$$

b. V\u00e9rification de moment fl\u00e9chissant max :

On a : $e > 0,586L$ Et $e = 5.1 \text{ m} > 0,586 \times 6 = 3,51 \text{ m}$

Donc le th\u00e9or\u00e8me de barr\u00e9 n'est pas applicable. La position la plus d\u00e9favorable de $R_{V_{\max}}$ est mi trav\u00e9e de la 1\u00e8re poutre et l'autre sur la 2\u00e8me poutre.

$$M_{\text{sd}} = \frac{R1_{\max} \times l}{4} = 61968.03 \text{ daN}$$

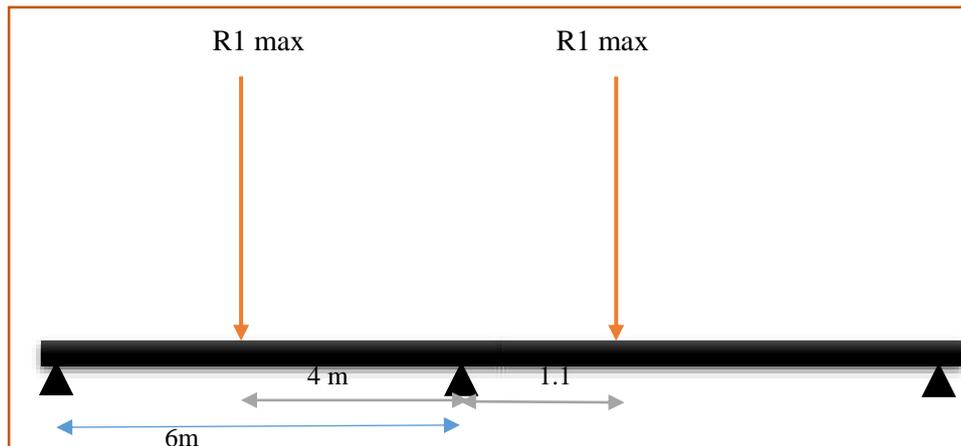


Figure IV.3 : Disposition des r\u00e9actions des galets sur la PDR

c. Effort tranchant max

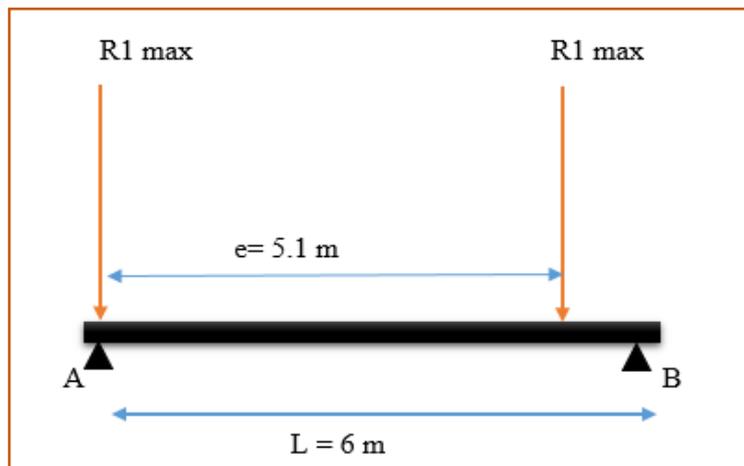


Figure IV.4 : Sch\u00e9ma repr\u00e9sentant les r\u00e9actions.

$$2R_{\max} = R_A + R_B$$

Le moment par rapport à B : $M_B = R_A \cdot L - R_{1\max} \cdot L - R_{1\max} (L - e) = 0$.

$$T_{\max} = R_A = \frac{2R_{1\max} \times L - R_{\max} \times e}{L} = 35152 \text{ daN}$$

IV.6 Choix du rail :

Pour notre cas, on a un pont roulant de 30T (puissance de levage), donc on va utiliser des rails qui ont une grande inertie.

Pour notre cas :

$R_{\max} = 41312.02 \text{ daN} \rightarrow D = 800\text{mm}$ (Le diamètre de galet) $\rightarrow H = 95\text{m} \rightarrow$ donc on choisit le rail **A100**

1. Dimensions du rail de pont roulant :

Tableau IV.6 : caractéristique des rails.

désignation	Surface (cm ²)	poids (Kg/m)	I _z (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	W _z (cm ³)	W _y (cm ³)	H (mm)	K (mm)
A100	95.6	75.2	888	1360	170	136	95	100

2. Dimension du crapaud

Tableau IV.7 : dimensions du crapaud

Designation	2trous		B	a	b	c	d	g	h	j	K
	Long	Poids(g)	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
A100	140	1385	112.5	70	25	45	21	10	26.5	26	33.5

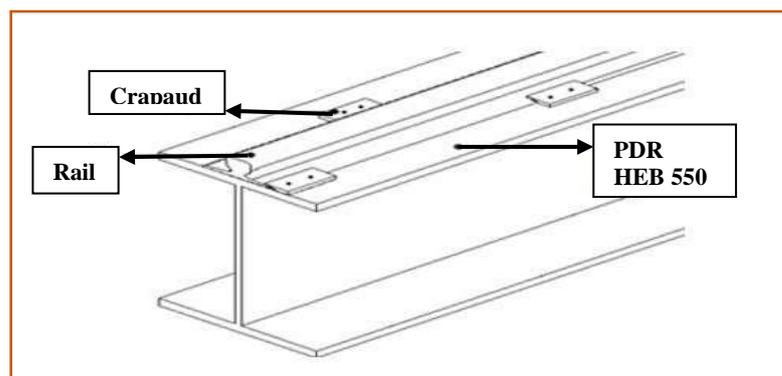


Figure IV.5 : Schéma (PDR+Rail)

IV.7 Vérification de la flèche pour HEB 550

1. Flèche verticale :

$$G = G_{HEA550} + G_{rail (A100)} = 75.2 + 199.4 = 274.6 \text{ daN}$$

$$\delta_{max} = \frac{R1_{max} \times l^3}{48 \times E \times I_y} + \frac{5 \times Qu \times l^4}{384 \times E \times I_y} \leq \delta_{add} = \frac{l}{750}$$

$$\delta_{max} = 0.0015 + 0.00016 = 0.0017 \text{ m} \leq \delta_{add} = 0.008 \text{ m} \Rightarrow \text{vérifiée}$$

2. Flèche horizontale :

Les forces transversales appliquées à la voie de roulement sont dues au freinage du chariot, au levage oblique de la charge, aux irrégularités de la voie de roulement et à la marche en crabe du pont roulant. Elles sont transmises à la poutre par les galets du pont roulant à la travée du rail de roulement.

On tient compte seulement de la semelle supérieure qui est la plus sollicitée à R3 max.

$$\delta_{max} = \frac{R3_{max} \times l^3}{48 \times E \times I_z(\text{semelle})} \leq \delta_{add} = \frac{l}{750}$$

Avec : $I_z(\text{semelle}) = \frac{t_f \times b^3}{12} = 3937.5 \text{ cm}^4$ donc $\delta_{max} = 0.05 \text{ m} \geq \delta_{add} = 0.008 \text{ m}$

➡ La flèche horizontale n'est pas vérifiée, alors on doit augmenter l'inertie de la semelle supérieure du HEB en soudant de part et d'autre des bords de la semelle des cornières

IV.8 Dimensionnement de la poutre de freinage (Raidisseurs)

Tableau IV.8 : caractéristique du profilé

Profile	A (cm ²)	d (cm)	M(kg/m)	Iy (cm ⁴)
L150×150×12	43	4.25	33.8	898

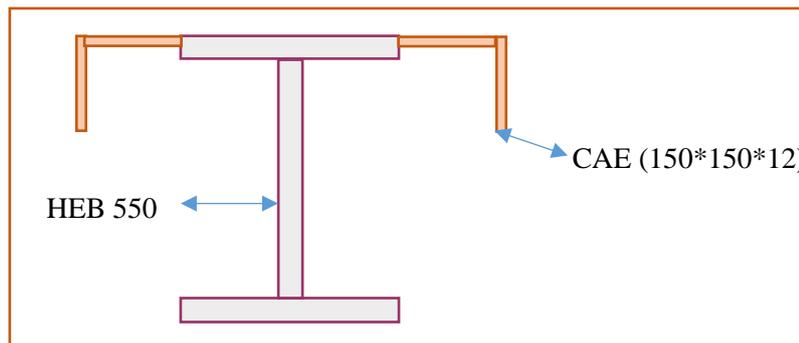


Figure IV.6 : Renforcement de la PDR.

IV.9 Détermination de la poutre d'inertie (Raidisseurs)

- $S_1 \times X_G = S_2 \times (L - X_G)$
 Avec : $X_G = \frac{S_2 \times L}{S_1 + S_2} \Rightarrow \begin{matrix} S_1 = 52.5 \text{ cm}^2 \\ S_2 = 43 \text{ cm}^2 \\ L = 24.25 \text{ cm} \end{matrix} \Rightarrow X_G = 10.91 \text{ cm}$
- $I_{eq} = I_{semelle} + 2I_{CAE} + S_1(2X_g)^2 + 2S_2(L - X_G)^2$
 $I_{eq} = 39215.23 \text{ cm}^4$

IV.10 Vérification de la flèche après renforcement

$$\delta_{max} = \frac{R_{3max} \times l^3}{48 \times E \times I_{eq}(semelle)} \leq \delta_{add} = \frac{l}{750}$$

$$\delta_{max} = 0.005 \text{ m} \leq \delta_{add} = 0.008 \text{ m} \Rightarrow \text{vérifiée}$$

- ❖ La flèche résultante :

$$\delta_{max} = \sqrt{\delta_v^2 + \delta_h^2}$$

$$\delta_{mas} = \sqrt{0.0054^2 + 0.00017^2} = 0.0057 \text{ m} \leq 0.008 \text{ m} \Rightarrow \text{vérifiée}$$

IV.11 Evaluation des charges

1. Charge vertical

- Moment fléchissant : $M_{sd} = \frac{R_{1max} \times l}{4} = 61968.03 \text{ daN.m}$
- Effort tranchant : $T_{max} = R_A = 35152 \text{ daN}$

2. Charges horizontales transversales :

- ❖ Moment fléchissant M_{max}

En utilisant les lignes d'influence.

$$M(x) = x \left(1 - \frac{x}{l}\right) \times R_{3max}$$

$$M\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{l}{2} \left(1 - \frac{l/2}{l}\right) \times R_{3max}$$

$$M\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{6}{2} \left(1 - \frac{6/2}{6}\right) \times = 15012 \text{ daN.m}$$

$$M_{max} = 15012 \text{ daN.m}$$

- ❖ L'effort tranchant T_{MAX} : $T_{max} = R_{3max} = 10008 \text{ daN}$

❖ Charges horizontales longitudinales :

$$N=R_{2max} = 7184.7 \text{ daN}$$

Donc on résumé les charges dans le tableau suivant :

Tableau IV.9 : tableau récapitulatif des charges

charges	verticales	Hor/ Trans	Hor / Long
Ra	11622		0
Rb	40977		0
Mmax	17671,33	3790,5	0
Tmax	35089	19816	0
N			14182

IV.12 Evaluation des charges

- Les combinaisons de charges

❖ Les charges verticales :

A) permanente

✓ charge de rail	75,2 daN/m
✓ charge de PDR	211,9 daN/m
✓ charge appliqués sur passerelle	21,19 daN/m

$$G = 75.2 + 211.9 + 21.19 \text{ } \mathbf{308,29 \text{ daN}}$$

$$M_G = G.l^2/8 = \mathbf{1387,305 \text{ daN.m}}$$

B) variable

Mmax	17671,33	dan
Tmax	35089	dan

- Les combinaisons des charges verticales :

Tableau IV.10 : les combinaisons des charges verticales

	Combinaison des efforts	Résultat
ELU	$1,35G + 1,5T_{max}$	53049.69 daN
ELS	$G + T_{max}$	35397.29 daN

- Les combinaisons des charges verticales : (les moments)

Tableau IV.11 : les combinaisons des charges verticales (les moments)

	Combinaison des moments	Résultat
ELU	$1,35(M_G) + 1.5M_{max}$	28379.85 daN
ELS	$M_G + M_{max}$	19058.63 daN

❖ Les charges horizontales:

A) Transversales :

$$T_{max} = R_A = 19816 \text{ daN}$$

$$M_{max} = 3790.5 \text{ daN}$$

- Les combinaisons des charges horizontales transversales :

Tableau VI.12: les combinaisons des charges horizontales transversales

	Combinaison des efforts	Résultat
ELU	$1,5 T_{max}$	29724 daN
ELS	T_{max}	3790.5

- Les combinaisons des charges horizontales transversales (les moments):

Tableau IV.13: les combinaisons des charges horizontales transversales (les moments)

	Combinaison des moments	Résultat
ELU	$1,5 M_{max}$	5685.75 daN.m
ELS	M_{max}	3790.5 daN

❖ Longitudinale :

$$N = R2_{max} = 14182 \text{ daN.m}$$

• Vérification de la flexion bi-axiale :

Pour cette vérification on utilise la condition suivante :

$$\left(\frac{My.sd(v)}{Myel.rd}\right)^\alpha + \left(\frac{Mz.sd(t)}{Mzel.rd}\right)^\beta \leq 1$$

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

• sections en I et H : $\alpha=2$ et $\beta=5n \geq 1$ et $n=N/N_{pl}$

❖ Détermination de la classe de profilé :

$$Ame : \frac{d}{tw} = \frac{48.6}{1.55} = 31.35 \text{ cm} \leq 72\epsilon \quad ; \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81$$

Donc l'âme est de classe 1

$$\text{Semelle : } \frac{c}{tw} = \frac{(b-tw-2r)}{2tf} = \frac{230.5}{60} = 3.84 \leq 10\epsilon$$

Donc la semelle est de classe 1

→ Le profilé est de classe 1 → $\gamma_{m0} = 1.1$

$M_{y,sd}$: moment fléchissant maximal vertical $M_{y,sd} = 25585.87 \text{ daN.m}$
 $M_{z,sd}$: moment fléchissant maximal transversal $M_{z,sd} = 127709.35 \text{ daN.m}$

- $M_{ely,rd} = \frac{W_{ely} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2896 \times 10^{-6} \times 2.75 \times 10^7}{1.1} = 20735227.27 \text{ daN.m}$
- $M_{elz,rd} = \frac{W_{elz} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{631 \times 10^{-6} \times 2.75 \times 10^7}{1.1} = 15942998.33 \text{ daN.m}$

$$\left(\frac{25585.87}{20735227.27} \right)^2 + \left(\frac{127709.35}{15942998.33} \right)^1 = 0.92 \leq 1 \rightarrow \text{Vérifiée}$$

• **Vérification de l'effort tranchant :**

Pour cette vérification on utilise la condition suivante :

$$V_{sdmax} \leq V_{pl,rd} \dots\dots\dots (EC.3 p158)$$

- $V_{sd,1}$: l'effort tranchant vertical $V_{sd,1} = 35152 \text{ daN}$
- $V_{sd,2}$: l'effort tranchant transversal $V_{sd,2} = 3790.5 \text{ daN}$

$$\bullet V_{pl,rd} = A_v \times \frac{f_y}{\gamma_{m0} \sqrt{3}} \Rightarrow \bullet A_v = A - 2(b \times t_f) + (t_w + 2r) \times t_f$$

$$\bullet A_v = 255.75 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,rd} = 476530.47 \text{ daN}$$

La condition :

$$V_{sdmax} \leq V_{pl,rd} \rightarrow 35152 \text{ daN} \leq 476530.47 \text{ daN} \rightarrow \text{Vérifiée}$$

• **Vérification de moment fléchissant et de l'effort axial :**

$$\left(\frac{M_{sd}}{M_{el,rd}} \right) + \left(\frac{N_{sd}}{N_{el,rd}} \right) \leq 1$$

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • L'axe (y-y') $M_{y,sd} = 28296.32 \text{ daN.m}$ $M_{el,rdy} = 160427.72 \text{ daN.m}$ $N_{sd} = 7184.73 \text{ daN}$ | <ul style="list-style-type: none"> • L'axe (z-z') $M_{z,sd} = 5685.75 \text{ daN.m}$ $M_{el,rdz} = 28141.8 \text{ daN.m}$ $N_{sd} = 7184.7 \text{ daN}$ |
|--|--|

$$N_{el.rdy} = \frac{AfY}{\gamma M0} = 90170 \text{ daN}$$

$$N_{el.rdy} = \frac{AfY}{\gamma M0} = 90170 \text{ daN}$$

$$\left(\frac{28296.3}{160427.72}\right) + \left(\frac{7184.73}{90170}\right) = 0.25 \leq 1$$

$$\left(\frac{5685.75}{28141.81}\right) + \left(\frac{7184.73}{90170}\right) = 0.28 \leq 1$$

→ La loi est vérifiée pour les deux axes

• Vérification au moment fléchissant (déversement) :

Pour cette vérification on utilise la condition suivante : (EC3 ; Formule 5.48 page 176)

$$M_{sd,MAX} \leq M_{b,rd}$$

- $M_{y,sd} = 28296.32 \text{ daN}\cdot\text{m}$

- $M_{B,rd} = \frac{\lambda_{it} \times \beta_w \times w_{ply} \times f_y}{\gamma_{m1}}$ Avec : HEB 550 ⇒ classe 1 ⇒ $\gamma_{m1} = 1.1$

• Moment critique M_{cr} :

$$M_{cr} = \frac{C1 \times \pi^2 \times E \times Iz}{(k \times l)^2} \times \sqrt{\left[\left(\frac{k}{kw}\right)^2 + \frac{Iw}{Iz} + \frac{(K \times L)^2 \times G \times It}{\pi^2 \times E \times Iz} + (C2 \times Zg)^2\right]} - (C2 \times Zg)$$

- $C1 = 1.132$ et $C2 = 0$ (cas de charge transversale)
- $k = kw = 1$ (appuis simple)
- $G = 87077 \text{ daN/mm}$
- $Zg = 0 \text{ mm}$ (centre de cisaillement)
- $l = 6000 \text{ mm}$

$$M_{cr} = 310823.50 \text{ daN/m}$$

• L'elancement λ_{it} :

$$\lambda_{it} = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} = 0.79$$

• Coefficient de réduction :

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\varphi l t + (\varphi l t^2 - \lambda l t^2)^{0.5}} \quad \text{ou : } \varphi_{lt} = 0.5 (1 + 0.21 (\lambda l t - 0.2) + \lambda l t^2)$$

On obtient : $\varphi l t = 0.88$

$$\chi_{lt} = 0.94$$

$$M_{B,rd} = 143666.7 \text{ daN/m}$$

$$M_{sdmax} = 28296.3 \text{ daN.m} \leq M_{B,rd} = 143666.7 \text{ daN/m} \quad \Rightarrow \text{vérifiée}$$

- Vérification de la résistance à l'écrasement :

$$R_{sd} < R_{y,Rd}$$

Avec :

$$R_{sd} = R_{max} = 35923.68 \text{ daN}$$

$$R_{y.sd} = S_y t_w f_{yw} / \gamma_{M1}$$

$$S_y = k_R \times \left[\frac{I_f + I_R}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} \times [1 - (\gamma_{m0} \times \delta_{fed} / f_y)^2]^{0.5}$$

$$\bullet I_f = \frac{b \times t_f^3}{12} = \frac{30 \times 2.9^3}{12} = 60.97 \text{ cm}^4$$

$$\bullet \delta_{fed} = \frac{M_{max}}{W_{ely}} = \frac{28296.3}{4971} = 5.69 \text{ daN/m}^2$$

$$\bullet k_R = 3.25 \text{ (cas rail monté direct sur semelle)}$$

$$S_y = 122.55 \text{ cm}$$

$$R_y = 593253.4 \text{ daN}$$

$$35923.68 \text{ daN} < 593253.4 \text{ daN} \quad \Rightarrow \text{Vérifiée}$$

- Vérification de la résistance à l'enfoncement local (poinçonnement) :

La condition est :

$$\blacktriangleright F_{sd} \leq R_{a,Rd} \quad * \frac{F_{sd}}{F_{aRd}} + \frac{M_{sd}}{M_{cRd}} \leq 1.5$$

$$F_{sd} = R_{max} = 35923.6 \text{ daN}$$

$$R_{a,Rd} = \frac{0.5(t_w)^2 \times (E \cdot f_{yw})^{0.5} \times \left[(t_f/t_w)^{0.5} + 3(t_w/t_f) \times (S_s/d) \right]}{\gamma_{m1}}$$

$$R_{a,Rd} = 170722.64 \text{ daN}$$

 La loi $F_{sd} \leq R_{a.Rd}$
 $35923.6 \text{ daN} \leq 170722.64 \text{ daN}$ est vérifiée

➤ $M_{sd} \leq M_{c.Rd}$

$M_{sd} = 28296.32 \text{ daN}$

$M_{c.rd} = M_{elrdy} = 160427.72 \text{ daN.m}$

$M_{sd} \leq M_{c.rd}$

$28296.32 \text{ daN} \leq 160427.72 \text{ daN.m}$  Vérifiée

➤ $\frac{F_{sd}}{F_{aRd}} + \frac{M_{sd}}{M_{cRd}} \leq 1.5$

$\frac{35923.6}{170722.64} + \frac{28296.32}{160427.72} = 0.38 \text{ m} \leq 1.5 \text{ m}$  Vérifiée

IV.13 Conclusion :

Les chemins de roulement sont sollicités par des charges fortes, généralement concentriques et mobiles. Le profile **HEB 550** résiste aux différentes charges roulantes verticales, il nécessite un renforcement pour supporter les charges horizontales, donc on l'adopte comme poutre de roulement.

*ETUDE DE
CONTREVENTEMENT
ET STABILITES*

V.1 Introduction :

Les stabilités et les contreventements, ont pour fonction principale de reprendre et de transmettre aux fondations les efforts dus aux forces horizontales sollicitant un ouvrage, ainsi que limiter les déplacements horizontaux des portiques.

L'importance des stabilités et des contreventements est très grande, elle représente le facteur principal de la sécurité d'un ouvrage.

V.2 Rôle des systèmes de contreventement

Les contreventements ont pour fonctions principales de :

- ✓ Reprendre et de transmettre jusqu'aux fondations les efforts dus aux actions latérales ou horizontales causées par : le vent, le séisme, les forces de freinage de ponts roulant, les explosions, les chocs de véhicules, la poussée des terres...
- ✓ Empêcher de grandes déformations (ou de limiter les déplacements horizontaux) sous l'effet de ces actions.
- ✓ Jouer un rôle important vis-à-vis des phénomènes d'instabilité en réduisant les risques de flambement et de déversement. En effet, ils diminuent les longueurs de flambement des poteaux, et ils constituent parfois des appuis latéraux intermédiaires pour les membrures comprimées de poutres et de portiques vis-à-vis du déversement.
- ✓ Possèdent un rôle important dans les problèmes de vibration de la construction, dans son ensemble ou dans des éléments élancés de cette construction et ce, en modifiant la période fondamentale. Ce qui permet d'éviter le phénomène de résonance.

V.3 Calculs de la poutre au vent en pignon

La transmission des efforts sur le pignon passe successivement du bardage aux lisses, aux potelets puis à la traverse du portique, cette dernière n'est pas rigide transversalement, il est nécessaire de la stabiliser en construisant un dispositif dans le plan de la toiture.

La poutre contreventée sera calculée comme une poutre à treillis reposant sur deux appuis et soumise aux réactions horizontales des potelets ; auxquels on adjoint les efforts d'entraînement.

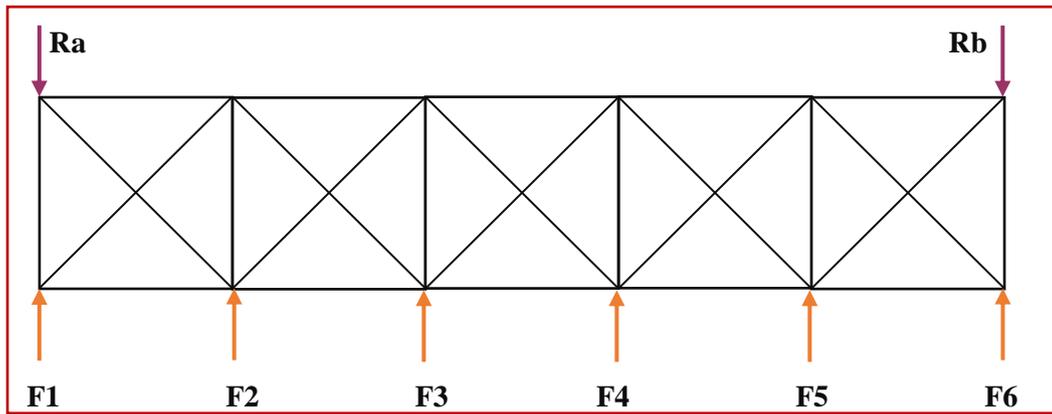


Figure V.1 : schéma statique de la poutre au vent

a. Evaluation des efforts horizontaux :

On a : $F = (Q^{\max} \times S_i) + F_r/n$

S_i : Surface afférente de chaque force.

$S_i = e_i \times (h_i / 2)$

N : nombre de nœuds

e_i : Entre axes.

h_i : Hauteur de chaque poteaux.

La force d'entraînement F_r est la force de frottement pour la toiture, dans notre cas la force du frottement est négligeable (voir chapitre 2)

$Q = 321.56 \text{ daN / m}^2$ zone D cas vent sur pignon

On trouve les efforts suivants

- $F_1 = 7012.95 \text{ daN}$
- $F_2 = 15535.19 \text{ daN}$
- $F_3 = 17423.71 \text{ daN}$
- $F_4 = 18586.03 \text{ daN}$
- $F_5 = 16447.72 \text{ daN}$
- $F_6 = 6796.79 \text{ daN}$

Avec une réaction : $R_a = R_b = \frac{(F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5) \times 2 + F_6}{2} = 78404.02 \text{ daN}$

b. Calculs de l'effort dans la diagonale :

$$\text{tg } \alpha = \frac{6}{4.25} = 1.41 \Rightarrow \alpha = 54.68$$

$$N_{sd} = \frac{Ra - F1}{\sin \alpha} = 88137.1 \text{ daN}$$

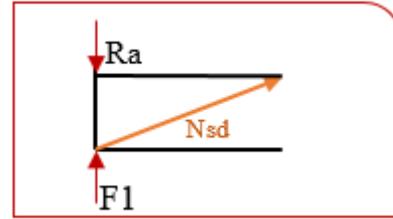


Figure V.2 : isolation du nœud 1

c. Calcul de la section brute

Condition de résistance $N_{sd} \leq N_{plrd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}}$

$$A = \frac{N_{sd} \times \gamma_{m0}}{f_y} = 35.25 \text{ cm}^2$$

On opte pour CAE 150*150*15

d. Vérification des diagonales à la traction

$$N_{sd} \leq N_{trd} \Rightarrow N_{trd} = \min (N_{pl}, N_u, N_{net})$$

✓ $N_{pl} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = 115250 \text{ daN}$

✓ $N_u = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{m2}} = 130960.8 \text{ daN}$

✓ $N_{net} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{m0}} = 105750 \text{ daN}$

La condition $N_{sd} \leq N_{trd} = N_{net}$ est vérifiée $\Rightarrow 88137.1 \text{ daN} \leq 105750 \text{ daN}$

V.4 Calculs des palées de stabilité en X

Les palées de stabilités sont destinées à assurer la stabilité des parois ou files d'ossature, vis des efforts horizontaux qui peuvent les solliciter :

- Vent.
- Effets des séismes.
- Flambement et déversement.
- Force de frottements Le dimensionnement s'effectue en négligent les diagonales comprimées en admettant qu'elles flambent, dans ce cas tous les efforts sont repris par les diagonales tendues
 - l'angle des diagonales : $\alpha = 45$
 - longueur de la diagonale : $D = 8.48 \text{ m}$

a. Vérification des diagonales à la traction

On vérifie la condition suivante :

$$N_{sd} \leq N_{trd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}}$$

- N_{sd} due à la charge de vent et la force de freinage

du pont roulant

- $N_{sd} = \sum \frac{F_i}{\sin \alpha} = 163244.20 \text{ daN}$

- $A = \frac{N_{sd} \times \gamma_{m0}}{f_y} = 50.58 \text{ cm}^2$

On opte pour HEA 240

La condition $N_{sd} \leq N_{trd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}}$

163244.20 daN ≤ 247855 daN → vérifiée

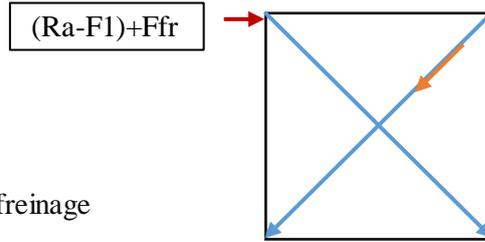


Figure V.3 schéma du palet de stabilité

V.5 Dimensionnement de la panne sablière

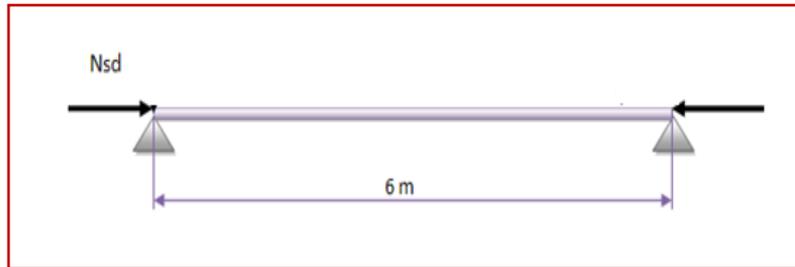


Figure V.4 : schéma statique de la panne sablière

$N_{sd} = (Ra-F1) * 1.5 \dots ELU$

$N_{sd} = 107086.60 \text{ daN}$ due au vent

a. Vérification de la panne à la compression

On propose un HEA 180

La condition de la résistance au flambement est : $N_{sd} \leq N_{b,Rd} = \chi \times \beta_A \times A \times f_y / \gamma_{m0}$

b. Calcul de coefficient de réduction χ

a $\chi_{lt} = \frac{1}{\varphi_{lt} + (\varphi_{lt}^2 - \lambda_{lt}^2)^{0.5}}$ et : $\varphi_{lt} = \sqrt{1 + 0,21(\lambda_{lt} - 0,2) + \lambda_{lt}^2}$

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda_y}{\lambda_1}\right) (\beta_A)^{0.5} / \beta_A = 1$$

- Pour YY' :

$$\lambda_y = \frac{l_f}{i_y} = 53.57$$

- Pour ZZ' :

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = 91.18$$

Courbe de flambement :

$$\frac{h}{b} = 1 \leq 1.2$$

$$t_f = 17.5 \leq 40 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \rightarrow \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0.81 \quad \lambda_1 = \pi \left[\frac{E}{f_d} \right]^{0.5} = 76.05$$

$\lambda_z > \lambda_y \Rightarrow$ Risque de flambement suivant l'axe Z-Z.

Courbe de flambement $\rightarrow c \rightarrow \alpha = 0.49$

- $\varphi_{lt} = 1.6$
- $\chi_{lt} = 0.3$

\rightarrow Nsd = **107086.60 daN** \leq Nbrd = **144710.9 daN** ; condition vérifiée

ETUDE PORTIQUE

VI.1 Généralité

Le but de tous calculs de structures est de vérifier tous les éléments aux sollicitations afin d’assurer la stabilité globale de l’ossature.

L’étude des portiques nécessite au préalable l’évaluation de toutes les charges (permanentes, d’exploitations, sismiques et climatiques) qui lui seraient appliquées. Son calcul est fait sous les combinaisons d’actions les plus défavorables auxquelles il pourrait être soumis durant toute la période d’exploitation de l’ouvrage.

VI.2 Calcul des portiques

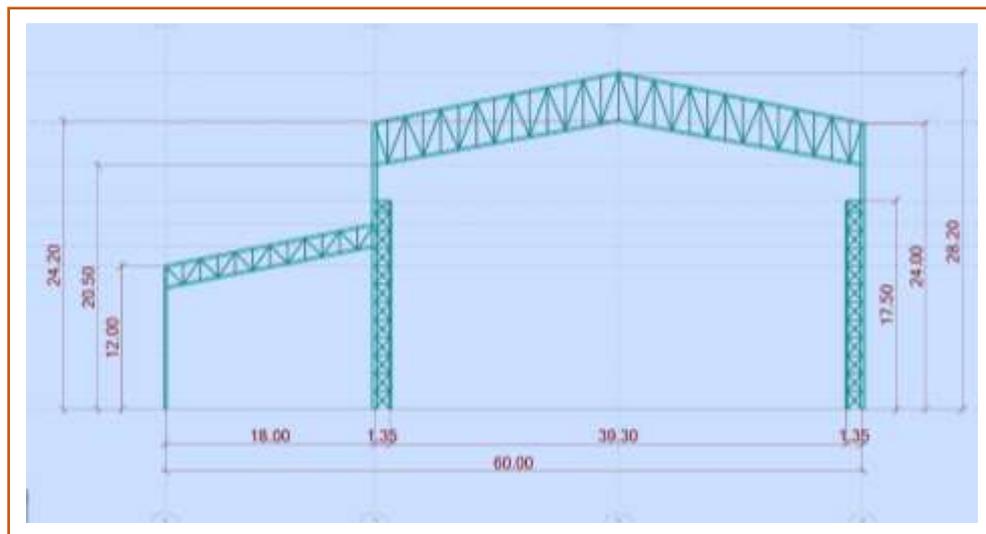


Figure VI.1 : vue du portique

a- Pour les poteaux du hall de maintenance

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:** 1 **COORDONNEE:** x = 0.00 L = 24.00 m

CHARGEMENTS:
 Cas de charge décisif: 10 1.35G+1.5(0.9(N+Q+P) (1+2+4+5)*1.35

MATERIAU:
 ACIER E36 fy = 35500000.00 daN/m2



PARAMETRES DE LA SECTION: HEB 500

h=50.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=30.0 cm	Ay=182.09 cm ²	Az=89.82 cm ²	Ax=238.64 cm ²
tw=1.5 cm	Iy=107176.00 cm ⁴	Iz=12623.90 cm ⁴	Ix=540.10 cm ⁴
tf=2.8 cm	Wply=4814.57 cm ³	Wplz=1291.65 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{Ed} = 187358.23 daN	My _{Ed} = -17070.20 daN*m
N _{c,Rd} = 847172.00 daN	My _{Ed,max} = 26353.71 daN*m
N _{b,Rd} = 286375.33 daN	My _{c,Rd} = 170917.24 daN*m
V _{z,Ed} = 5222.94 daN	
MN _{y,Rd} = 156242.36 daN*m	V _{z,c,Rd} = 184094.48 daN
Classe de la section = 1	



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

b- PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 12.00 m	Lam _y = 0.52
Lcr,y = 8.40 m	Xy = 0.92
Lamy = 39.64	kyy = 0.85



en z:

Lz = 12.00 m	Lam _z = 1.51
Lcr,z = 8.40 m	Xz = 0.34
Lanz = 115.49	kzy = 0.34

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

N _{Ed} /N _{c,Rd} = 0.22 < 1.00 (6.2.4.(1))
My _{Ed} /My _{c,Rd} = 0.10 < 1.00 (6.2.5.(1))
My _{Ed} /MN _{y,Rd} = 0.11 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
V _{z,Ed} /V _{z,c,Rd} = 0.03 < 1.00 (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

Lambda _y = 39.64 < Lambda _{max} = 210.00	Lambda _z = 115.49 < Lambda _{max} = 210.00
--	---

STABLE

N_{Ed}/(Xy*N_{Rk}/gM1) + kyy*My_{Ed,max}/(XLT*My_{Rk}/gM1) = 0.37 < 1.00 (6.3.3.(4))

N_{Ed}/(Xz*N_{Rk}/gM1) + kzy*My_{Ed,max}/(XLT*My_{Rk}/gM1) = 0.71 < 1.00 (6.3.3.(4))

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

vx = 2.9 cm < vx max = L/500.00 = 4.8 cm Vérfié

Cas de charge décisif: 14 G+N+P (1+4+5)*1.00 Vérfié

vy = 0.0 cm < vy max = L/500.00 = 4.8 cm

Cas de charge décisif: 12 G+Q+P (1+2+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: 50 Poteau p r_50

POINT: 7

COORDONNEE: x = 1.00 L =

17.50 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 6 1.35G+1.5Q+1.5P (1+5)*1.35+2*1.50

MATERIAU:

ACIER E36 fy = 35500000.00 daN/m²



PARAMETRES DE LA SECTION: HEB 400

h=40.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=30.0 cm	Ay=157.55 cm ²	Az=69.98 cm ²	Ax=197.78 cm ²
tw=1.4 cm	Iy=57680.50 cm ⁴	Iz=10819.00 cm ⁴	Ix=357.00 cm ⁴
tf=2.4 cm	Wply=3231.74 cm ³	Wplz=1104.04 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 109138.11 daN	My,Ed = -6408.87 daN*m	
Nc,Rd = 702119.00 daN	My,Ed,max = -6408.87 daN*m	
Nb,Rd = 120956.99 daN	My,c,Rd = 114726.77 daN*m	Vz,Ed = -2737.11 daN
	MN,y,Rd = 112139.98 daN*m	Vz,c,Rd = 143430.55

daN

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 18.00 m	Lam_y = 0.69
Lcr,y = 9.00 m	Xy = 0.85
Lamy = 52.70	kyy = 1.12



en z:

Lz = 18.00 m	Lam_z = 2.23
Lcr,z = 12.60 m	Xz = 0.17
Lamz = 170.36	kzy = 0.30

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.16 < 1.00$ (6.2.4.(1))
$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.06 < 1.00$ (6.2.5.(1))
$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.06 < 1.00$ (6.2.9.1.(2))
$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.02 < 1.00$ (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{y} = 52.70 < \lambda_{y,max} = 210.00$	$\lambda_{z} = 170.36 < \lambda_{z,max} = 210.00$	STABLE
$N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) = 0.24 < 1.00$ (6.3.3.(4))		
$N_{Ed}/(X_z * N_{Rk}/gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) = 0.92 < 1.00$ (6.3.3.(4))		

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

$v_x = 2.4 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/500.00 = 3.5 \text{ cm}$ Vérfifié
Cas de charge décisif: 13 G+V+P (1+3+5)*1.00
 $v_y = 0.0 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/500.00 = 3.5 \text{ cm}$ Vérfifié
Cas de charge décisif: 12 G+Q+P (1+2+5)*1.00

Profil correct !!!

b. Pour les pôteaux de l'espace d'utilité

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 piéces

FAMILLE:

PIECE: 3 Poteau b_3 **POINT:** 1

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 10 1.35G+1.5(0.9(N+Q+P) (1+2+4+5)*1.35

MATERIAU:

ACIER E36 $f_y = 35500000.00 \text{ daN/m}^2$



PARAMETRES DE LA SECTION: HEB 300

$h=30.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=30.0 \text{ cm}$	$A_y=126.20 \text{ cm}^2$	$A_z=47.43 \text{ cm}^2$	$A_x=149.08 \text{ cm}^2$
$tw=1.1 \text{ cm}$	$I_y=25165.70 \text{ cm}^4$	$I_z=8562.83 \text{ cm}^4$	$I_x=185.77 \text{ cm}^4$
$tf=1.9 \text{ cm}$	$W_{ply}=1868.67 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=870.14 \text{ cm}^3$	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{,Ed} = 10492.81 \text{ daN}$	$M_{y,Ed} = -706.11 \text{ daN*m}$	
$N_{c,Rd} = 529234.00 \text{ daN}$	$M_{y,Ed,max} = -706.11 \text{ daN*m}$	
$N_{b,Rd} = 89700.57 \text{ daN}$	$M_{y,c,Rd} = 66337.79 \text{ daN*m}$	$V_{z,Ed} = 81.46 \text{ daN}$
	$M_{N,y,Rd} = 66337.79 \text{ daN*m}$	$V_{z,c,Rd} = 97212.22$

daN

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$L_y = 18.00 \text{ m}$ $Lam_y = 1.27$
 $L_{cr,y} = 12.60 \text{ m}$ $X_y = 0.44$
 $L_{amy} = 96.98$ $k_{yy} = 0.99$



en z:

$L_z = 18.00 \text{ m}$ $Lam_z = 2.18$
 $L_{cr,z} = 12.60 \text{ m}$ $X_z = 0.17$
 $L_{anz} = 166.25$ $k_{zz} = 0.51$

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.02 < 1.00 \text{ (6.2.4.(1))}$

$M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.5.(1))
 $V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{b,y} = 96.98 < \lambda_{b,max} = 210.00$ $\lambda_{b,z} = 166.25 < \lambda_{b,max} = 210.00$ STABLE
 $N_{d,Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.06 < 1.00$ (6.3.3.(4))
 $N_{d,Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/\gamma_{M1}) = 0.12 < 1.00$ (6.3.3.(4))

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

$v_x = 0.6 \text{ cm} < v_{x,max} = L/500.00 = 2.4 \text{ cm}$ Vérifié
Cas de charge décisif: 13 G+V+P (1+3+5)*1.00
 $v_y = 0.0 \text{ cm} < v_{y,max} = L/500.00 = 2.4 \text{ cm}$ Vérifié
Cas de charge décisif: 12 G+Q+P (1+2+5)*1.00

Profil correct !!!

c. Vérification des diagonales des poteaux

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: 209 diagonale poteau_209 **POINT:** 7

COORDONNEE: x = 1.00 L = 1.35 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 10 1.35G+1.5(0.9(N+Q+P) (1+2+4+5)*1.35

MATERIAU:

ACIER E28 $f_y = 27500000.00 \text{ daN/m}^2$



PARAMETRES DE LA SECTION: 2 UPN 120

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=12.5 cm	Ay=19.80 cm ²	Az=16.80 cm ²	Ax=34.00 cm ²
tw=0.7 cm	Iy=736.00 cm ⁴	Iz=275.77 cm ⁴	Ix=8.30 cm ⁴
tf=0.9 cm	Wply=145.20 cm ³	Wplz=80.24 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{d,Ed} = 6707.45 \text{ daN}$ $M_{y,Ed} = 172.54 \text{ daN}\cdot\text{m}$
 $N_{c,Rd} = 93500.00 \text{ daN}$ $M_{y,Ed,max} = 172.54 \text{ daN}\cdot\text{m}$
 $N_{b,Rd} = 90030.13 \text{ daN}$ $M_{y,c,Rd} = 3993.00 \text{ daN}\cdot\text{m}$ $V_{z,Ed} = 132.39 \text{ daN}$
 $M_{N,y,Rd} = 3972.45 \text{ daN}\cdot\text{m}$ $V_{z,c,Rd} = 26673.58$
 daN

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 1.35 m
Lcr,y = 0.68 m
Lamy = 14.51
Lam_y = 0.17
Xy = 1.00
kyy = 0.98



en z:

Lz = 1.35 m
Lcr,z = 0.68 m
Lanz = 23.70
Lam_z = 0.27
Xz = 0.96
kzy = 0.52

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.07 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.04 < 1.00$ (6.2.5.(1))
 $M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.04 < 1.00$ (6.2.9.1.(2))
 $V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.00 < 1.00$ (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{da,y} = 14.51 < \lambda_{da,max} = 210.00$ $\lambda_{da,z} = 23.70 < \lambda_{da,max} = 210.00$ STABLE
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.11 < 1.00$ (6.3.3.(4))
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.10 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Profil correct !!!

d. Vérification des diagonales de la ferme

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: 206 diagonal_206

POINT: 1

COORDONNEE: x = 0.00 L =

0.00 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V +1.35P (1+5)*1.00+3* 1.50

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 27500000.00 daN/m²



PARAMETRES DE LA SECTION: 2 UPN 120

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=12.5 cm	Ay=19.80 cm ²	Az=16.80 cm ²	Ax=34.00 cm ²
tw=0.7 cm	Iy=736.00 cm ⁴	Iz=275.77 cm ⁴	Ix=8.30 cm ⁴
tf=0.9 cm	Wply=145.20 cm ³	Wplz=80.24 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{Ed} = 35169.25 daN	M _{y,Ed} = -265.57 daN*m	
N _{c,Rd} = 93500.00 daN	M _{y,Ed,max} = 339.74 daN*m	
N _{b,Rd} = 41689.78 daN	M _{y,c,Rd} = 3993.00 daN*m	V _{z,Ed} = 126.63 daN
	M _{N,y,Rd} = 3428.06 daN*m	V _{z,c,Rd} = 26673.58

daN

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 3.63 m Lam_y = 0.72
 Lcr,y = 2.91 m Xy = 0.71
 Lamy = 62.44 kyy = 1.30



en z:

Lz = 3.63 m Lam_z = 1.17
 Lcr,z = 2.91 m Xz = 0.45
 Lamz = 102.01 kzy = 0.75

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

N,Ed/Nc,Rd = 0.38 < 1.00 (6.2.4.(1))
 My,Ed/My,c,Rd = 0.07 < 1.00 (6.2.5.(1))
 My,Ed/MN,y,Rd = 0.08 < 1.00 (6.2.9.1.(2))
 Vz,Ed/Vz,c,Rd = 0.00 < 1.00 (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

Lambda,y = 62.44 < Lambda,max = 210.00 Lambda,z = 102.01 < Lambda,max = 210.00 STABLE
 N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + kyy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.64 < 1.00 (6.3.3.(4))
 N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + kzy*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) = 0.91 < 1.00 (6.3.3.(4))

Profil correct !!!

e. Vérification des membrures

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: 179 membrure _179

POINT: 7

COORDONNEE: x = 0.15 L =

3.11 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V +1.35P (1+5)*1.00+3* 1.50

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 27500000.00 daN/m2



PARAMETRES DE LA SECTION: 2 UPN 260

h=26.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=19.5 cm	Ay=50.40 cm2	Az=52.00 cm2	Ax=96.60 cm2
tw=1.0 cm	Iy=9640.00 cm4	Iz=1568.32 cm4	Ix=51.00 cm4
tf=1.4 cm	Wply=884.00 cm3	Wplz=300.43 cm3	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 74489.76 daN	My,Ed = -819.76 daN*m	
Nc,Rd = 265650.00 daN	My,Ed,max = 15636.83 daN*m	
Nb,Rd = 236730.42 daN	My,c,Rd = 24310.00 daN*m	Vz,Ed = -1186.48 daN
	MN,y,Rd = 22398.57 daN*m	Vz,c,Rd = 82561.09 daN

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 1.60 m
Lcr,y = 1.44 m
Lamy = 14.41

Lam_y = 0.17
Xy = 1.00
kyy = 0.95



en z:

Lz = 1.60 m
Lcr,z = 1.44 m
Lanz = 35.74

Lam_z = 0.41
Xz = 0.89
kzy = 0.51

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.28 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} = 0.03 < 1.00$ (6.2.5.(1))
 $M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.04 < 1.00$ (6.2.9.1.(2))
 $V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.01 < 1.00$ (6.2.6.(1))

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{da,y} = 14.41 < \lambda_{da,max} = 210.00$ $\lambda_{da,z} = 35.74 < \lambda_{da,max} = 210.00$ STABLE
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.89 < 1.00$ (6.3.3.(4))
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.64 < 1.00$ (6.3.3.(4))

Profil correct !!!

f. Vérification des montants de la ferme

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: 86 mantant _86

POINT: 7

COORDONNEE: x = 1.00 L =

4.00 m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V +1.35P (1+5)*1.00+3* 1.50

MATERIAU:

ACIER E28 fy = 27500000.00 daN/m2



PARAMETRES DE LA SECTION: 2 UPN 120

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=12.5 cm	Ay=19.80 cm2	Az=16.80 cm2	Ax=34.00 cm2
tw=0.7 cm	Iy=736.00 cm4	Iz=275.77 cm4	Ix=8.30 cm4
tf=0.9 cm	Wply=145.20 cm3	Wplz=80.24 cm3	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{Ed} = 19236.17 daN	M _{y,Ed} = -0.01 daN*m	
N _{c,Rd} = 93500.00 daN	M _{y,Ed,max} = 0.04 daN*m	
N _{b,Rd} = 36581.40 daN	M _{y,c,Rd} = 3993.00 daN*m	V _{z,Ed} = -0.01 daN
	M _{N,y,Rd} = 3823.99 daN*m	V _{z,c,Rd} = 26673.58

daN

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$L_y = 4.00 \text{ m}$$

$$L_{cr,y} = 3.20 \text{ m}$$

$$L_{my} = 68.78$$

$$\lambda_{my} = 0.79$$

$$X_y = 0.67$$

$$k_{yy} = 1.19$$



en z:

$$L_z = 4.00 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 3.20 \text{ m}$$

$$L_{mz} = 112.36$$

$$\lambda_{mz} = 1.29$$

$$X_z = 0.39$$

$$k_{zy} = 0.67$$

FORMULES DE VERIFICATION:**Contrôle de la résistance de la section:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.21 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

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

$$M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(2))$$

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

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$\lambda_{my} = 68.78 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \lambda_{mz} = 112.36 < \lambda_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.31 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) = 0.53 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Profil correct !!!

*ETUDE DES
ASSEMBLAGES*

VII.1 Introduction :

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces sans générer de sollicitations parasites notamment de torsion. On distingue deux types de fonctionnement.

- **Fonctionnement par obstacle :**

C'est le cas des boulons ordinaires non précontraints dont les tiges reprennent les efforts et fonctionnent en cisaillement.

- **Fonctionnement par adhérence :**

Dans ce cas la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact. Cela concerne le soudage et le boulonnage par les boulons à haute résistance.

Dans notre projet nous aurons recours à trois types d'assemblages :

- Assemblages soudés.
- Assemblage par boulons ordinaires.
- Assemblage par boulons H-R.

VII.2 Assemblages des stabilités

Cet assemblage est sollicité par les efforts suivants :

Effort normal due à $G+1.5w$

On utilise 16 boulons HR 10.9 classe M20

$N_{sd} = V_{sd}$ **16324.2 daN**

$V_{sd1} =$ **81622.1 daN** pour un plan de cisaillement

a. Résistance des boulons

Assemblage sollicité au cisaillement

Condition de la résistance : $F_{V, sd} \leq F_{V, Rd}$

La résistance au cisaillement d'un boulon HR 10.9 M20 cisailé dans la partie filetée est donnée par:

$$F_{V, Rd} = \frac{0.6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}}$$

$A_s =$ **254 mm²**

$F_u = 10 \times 10 =$ **100 daN/mm²**

$\gamma_{m2} = 1.25$

$F_{v, rd} =$ **12192 daN**

On a deux plans de cisaillement

$$F_{v.sd} = N_{sd} / n \implies n : \text{nombre de boulons par plan}$$

$$F_{v.sd} = 816324.2 / 8 = \mathbf{10202.76 \text{ daN}}$$

$$F_{v.sd} = \mathbf{10202.76 \text{ daN}} \leq F_{v.rd} = \mathbf{12192 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

b. Vérification de la pression diamétrale

Condition de la résistance : $F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{Mb}}$$

$$\alpha = e_1 / d_0 = \mathbf{0.4}$$

$$F_{b.rd} = \mathbf{19200 \text{ daN}} \geq F_{v.sd} = \mathbf{10202.76 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

c. Vérification du gousset à la pression diamétrale

$$F_{b.rd} = \mathbf{19200 \text{ daN}} \geq F_{v.sd} = \mathbf{10202.76 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

d. Vérification du profilé à la traction

$$N_{sd} \leq N_{trd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times F_u}{\gamma_{m0}}$$

$$A_{net} = A_{\text{HEB 550}} + A_{\text{boulon}} = \mathbf{66.72 \text{ cm}^2}$$

$$N_{sd} = \mathbf{163244 \text{ daN}} \leq N_{trd} = \mathbf{244995.84 \text{ daN}}$$

VII.3 Assemblages ferme poteau

• La membrure supérieure

Assemblage sollicité par un effort axial **10207.04 daN**

Condition de la résistance : $F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$

La résistance au cisaillement d'un boulon HR 8.8 M 18 cisailé dans la partie fileté est donnée par :

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}}$$

$$A_s = \mathbf{192 \text{ mm}^2}$$

$$F_u = 8 \times 10 = \mathbf{80 \text{ daN/mm}^2}$$

$$\gamma_{m2} = \mathbf{1.25}$$

$$F_{v.rd} = \mathbf{7372.8 \text{ daN}}$$

On a 2 plans de cisaillement

$$V_{sd} = F_{v.rd} / 2 \implies n : \text{nombre de boulons par plan} = 5$$

$$V_{sd1} = V_{sd} / n = 5103.52 / 5 = \mathbf{1020.70 \text{ daN}}$$

$$V_{sd} = \mathbf{1020.70 \text{ daN}} \leq V_{rd} = \mathbf{7372.8 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

a. Vérification de la pression diamétrale

$$\text{Condition de la résistance : } F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{Mb}}$$

$$\alpha = e_1 / d_0 = \mathbf{0.3}$$

$$t = 12$$

$$F_{b,Rd} = \mathbf{10368 \text{ daN}} \geq F_{v,sd} = \mathbf{3509.71 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

b. Vérification de la pression diamétrale de cornière 90*9

$$t = 9$$

$$F_{b,Rd} = \mathbf{7776 \text{ daN}} \geq F_{v,sd} = \mathbf{1020.7 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

c. Vérification de la pression diamétrale du pôteau HEB 500

$$t = 28$$

$$F_{b,Rd} = \mathbf{24192 \text{ daN}} \geq F_{v,sd} = \mathbf{1020.7 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

d. Vérification des éclisses

$$N_{sd} \leq N_{trd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times F_u}{\gamma_{m0}}$$

$$A_{net} = A_{\text{HEB 550}} + A_{\text{boulon}} = \mathbf{137.9 \text{ cm}^2}$$

$$N_{sd1} = \text{effort axial} / n = \mathbf{9359.23 \text{ daN}}$$

$$N_{sd1} = \mathbf{5103.52 \text{ daN}} \leq N_{trd} = \mathbf{27304.2 \text{ daN}} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

• La membrure inférieure

Assemblage sollicité par un effort axial **7085.44.04 daN**

$$\text{Condition de la résistance : } F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$$

La résistance au cisaillement d'un boulon HR 8.8 M 18 cisailé dans la partie filetée est donnée par :

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}}$$

$$A_s = \mathbf{192 \text{ mm}^2}$$

$$F_u = 8 \times 10 = \mathbf{80 \text{ daN/mm}^2}$$

$$\gamma_{m2} = 1.25$$

$$F_{v,rd} = 7372.8 \text{ daN}$$

On a 2 plans de cisaillement

$$V_{sd} = F_{v,rd} / 2 \implies n : \text{nombre de boulons par plan} = 4$$

$$V_{sd1} = V_{sd} / n = 3542.72 / 4 = 885.68 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 885.68 \text{ daN} \leq V_{rd} = 7085.44 \text{ daN} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

e. Vérification de la pression diamétrale

Condition de la résistance : $F_{b, Sd} \leq F_{b, Rd}$

$$F_{b, Rd} = \frac{2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t}{\gamma_{Mb}}$$

$$\alpha = e_1 / d_0 = 0.3$$

$$t = 12$$

$$F_{b, rd} = 10368 \text{ daN} \geq F_{v, sd} = 885.68 \text{ daN} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

f. Vérification de la pression diamétrale de cornière 90*9

$$t = 9$$

$$F_{b, rd} = 7776 \text{ daN} \geq F_{v, sd} = 885.68 \text{ daN} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

g. Vérification de la pression diamétrale du pôteau HEB 500

$$t = 28$$

$$F_{b, rd} = 24192 \text{ daN} \geq F_{v, sd} = 885.68 \text{ daN} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

h. Vérification des éclisses

$$N_{sd} \leq N_{trd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times F_u}{\gamma_{m0}}$$

$$A_{net} = A_{HEB 550} + A_{boulon} = 137.9 \text{ cm}^2$$

$$N_{sd1} = \text{effort axial} / n = 3542.72 \text{ daN}$$

$$N_{sd1} = 3542.722 \text{ daN} \leq N_{trd} = 27304.2 \text{ daN} \implies \text{la condition est vérifiée}$$

VII.4 Assemblages poteau sablière

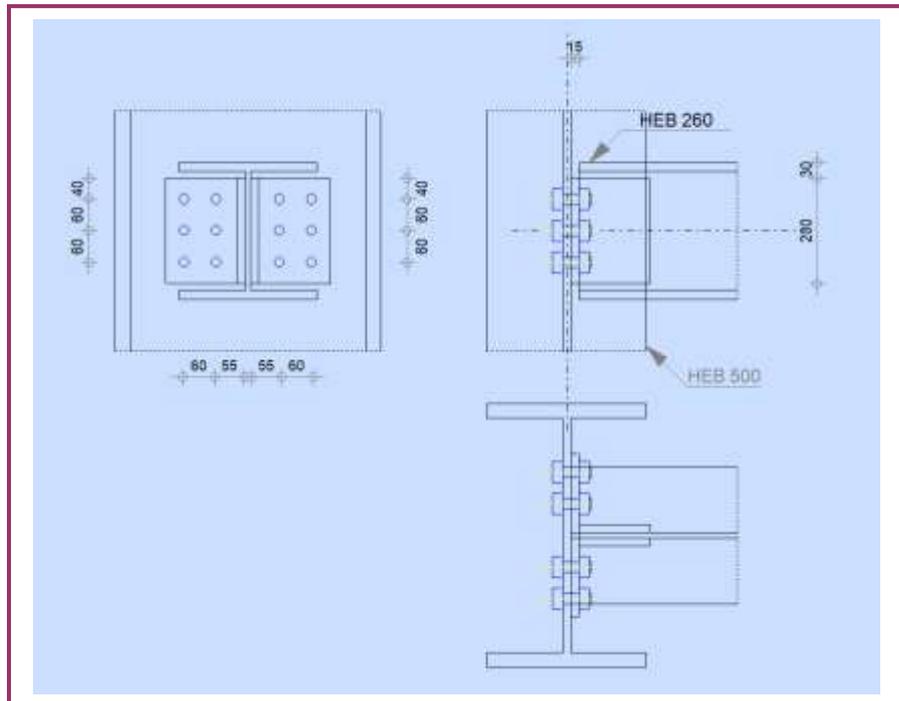


Figure VII.1 : schéma détails de l'assemblage poteau sablière

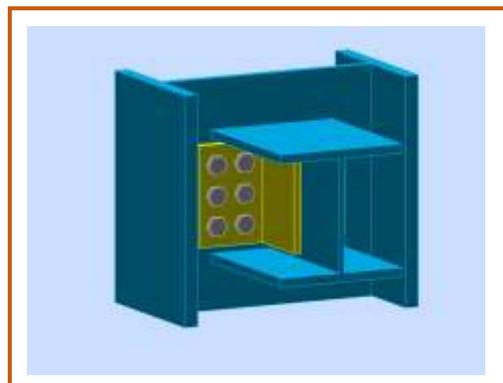


Figure VII.2 : schéma de l'assemblage

GENERAL

Assemblage N°: 7

Nom de l'assemblage : Poutre-poteau (âme)

GEOMETRIE

POTEAU

Profilé: HEB 500

Matériau: ACIER E36

Profilé: HEB 500

$f_{yc} = 35500000,00$ [daN/m²] Résistance de calcul

POUTRE

Profilé: HEB 260

Matériau: ACIER E36

$f_{db} = 35500000,00$ [daN/m²] Résistance de calcul

CORNIERE

Profilé: CAE 150x15

Matériau: ACIER E28

$f_{dk} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance de calcul

BOULONS

BOULONS ASSEMBLANT LE POTEAU A LA CORNIERE

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

Classe = 6.9 Classe du boulon

$d = 20$ [mm] Diamètre du boulon

$k = 2$ Nombre de colonnes des boulons

$w = 3$ Nombre de rangées des boulons

SOUDURES

$a_{ab} = 5$ [mm] Soudures assemblant la cornière à la poutre

COEFFICIENTS DE MATERIAU

$\gamma_{M0} = 1,00$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]

$\gamma_{M2} = 1,25$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]

EFFORTS

Cas: Calculs manuels

$N_{b,Ed} = 107086,00$ [daN] Effort axial

$V_{b,Ed} = 0,00$ [daN] Effort tranchant

$M_{b,Ed} = 0,00$ [daN*m] Moment fléchissant

RESULTATS

BOULONS ASSEMBLANT LE POTEAU A LA CORNIERE

FORCES AGISSANT SUR LES BOULONS DANS L'ASSEMBLAGE POTEAU - CORNIERE

$F_{x,Ed} =$	0,00 [daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	
$F_{z,Ed} =$	0,00 [daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	
$F_{Ed} =$	0,00 [daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} =$	10918,26 [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} =$	12478,02 [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]

$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	0,00 < 10918,26	vérifié	(0,00)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	0,00 < 12478,02	vérifié	(0,00)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	0,00 < 9047,79	vérifié	(0,00)

Traction des boulons

$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	8923,83 < 10584,00	vérifié	(0,84)
--------------------------	--------------------	---------	--------

Action simultanée de l'effort de traction et de cisaillement dans le boulon

$F_{v,Ed} =$	0,00 [daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/(1.4 \cdot F_{t,Rd}) \leq 1.0$	0,60 < 1,00	vérifié	(0,60)

RESISTANCE DES SOUDURES

SOUDURES D'ANGLE ENTRE LA CORNIERE ET LA POUTRE

$\sigma =$	14240159,57 [daN/m ²]	Contrainte résultante	
$\sigma \leq f_{vw,d}$	14240159,57 < 22007233,79	vérifié	(0,65)

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,84

VII.5 Assemblages poteaux

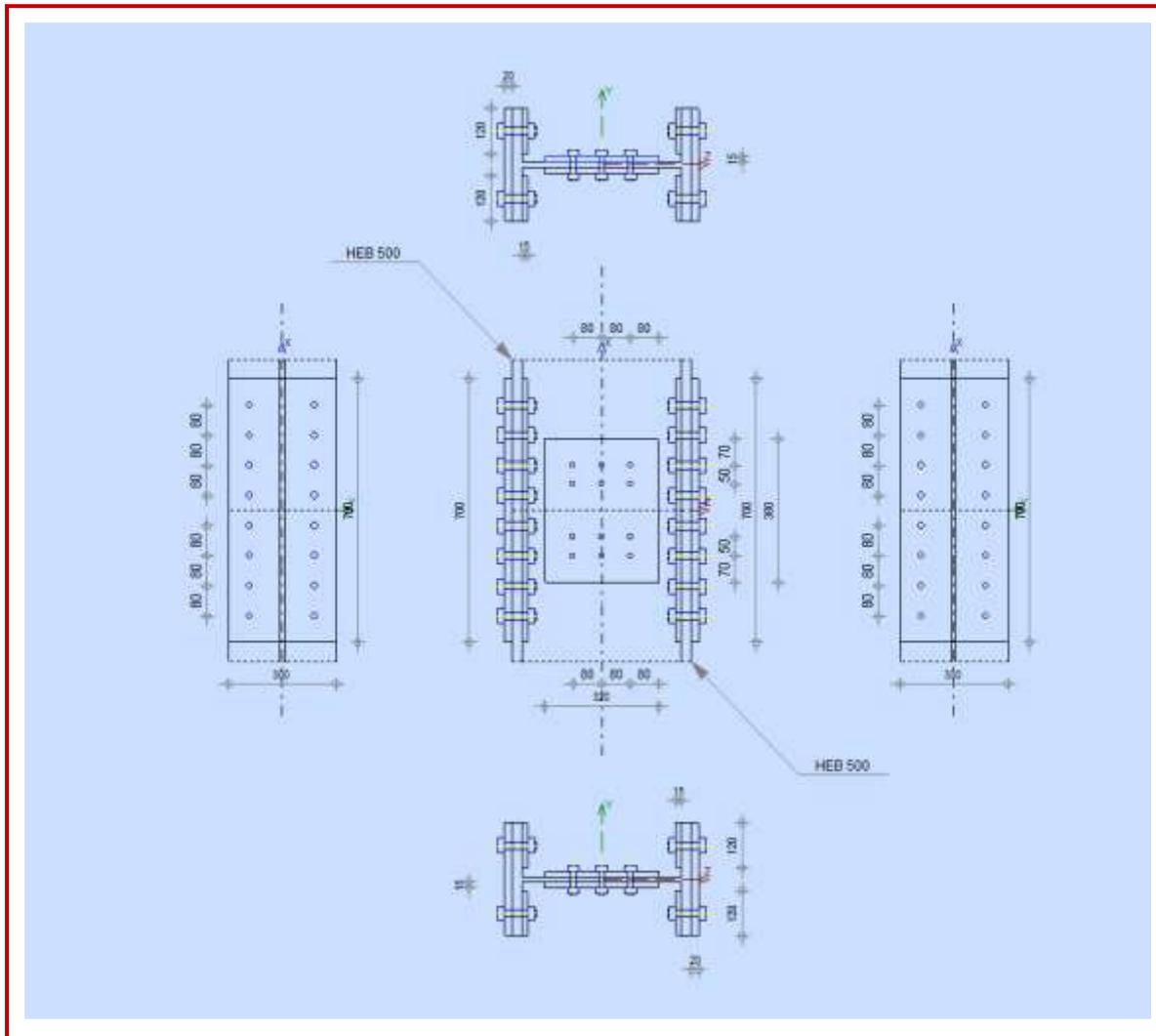


Figure VII.3 : Schéma détails de l'assemblage poteaux

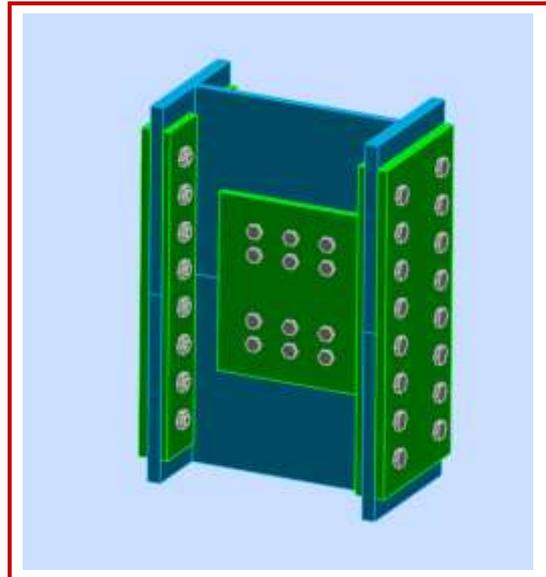


Figure VII.4 : Schéma de l'assemblage

GENERAL

Assemblage N°: 1

Nom de l'assemblage: Epissure du poteau

POTEAU INFERIEUR

Profilé: HEB 500

$h_{c1} = 500$ [mm] Hauteur de la section de la poutre

$b_{fc1} = 300$ [mm] Largeur de la section de la poutre

$t_{wc1} = 15$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre

$t_{fc1} = 28$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre

$r_{c1} = 27$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre

$A_{c1} = 238,64$ [cm²] Aire de la section de la poutre

$I_{yc1} = 107176,00$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: ACIER E36

$f_{yc1} = 35500000,00$ [daN/m²] Résistance

$f_{uc1} = 49500000,00$ [daN/m²]

POTEAU SUPERIEUR

Profilé: HEB 500

$h_{c2} = 500$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_{fc2} = 300$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wc2} = 15$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{fc2} = 28$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_{c2} = 27$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_{c2} = 238,64$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{yc2} = 107176,00$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: ACIER E36

$f_{yc2} = 35500000,00$ [daN/m²] Résistance
 $f_{uc2} = 49500000,00$ [daN/m²]

ÉCLISSE D'AME

Type: de deux côtés

$l_{pw} = 380$ [mm] Longueur de la platine
 $h_{pw} = 320$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_{pw} = 15$ [mm] Épaisseur de la platine

Matériau: ACIER E28

$f_{ypw} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance de calcul
 $f_{upw} = 40500000,00$ [daN/m²] Résistance à la traction

PLATINE EXTERNE DROITE

$l_{pe} = 700$ [mm] Longueur de la platine
 $h_{pe} = 300$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_{pe} = 20$ [mm] Épaisseur de la platine

Matériau: ACIER E28

$f_{ype} = 27500000,00$ [daN/m²] Résistance de calcul
 $f_{upe} = 40500000,00$ [daN/m²] Résistance à la traction

PLATINE INTERNE DROITE

$l_{pi} =$ 700 [mm] Longueur de la platine
 $h_{pi} =$ 120 [mm] Hauteur de la platine
 $t_{pi} =$ 15 [mm] Épaisseur de la platine
Matériau: ACIER E28
 $f_{ypi} =$ 27500000,00 [daN/m²] Résistance de calcul
 $f_{upi} =$ 40500000,00 [daN/m²] Résistance à la traction

PLATINE EXTERNE GAUCHE

$l_{pe} =$ 700 [mm] Longueur de la platine
 $h_{pe} =$ 300 [mm] Hauteur de la platine
 $t_{pe} =$ 20 [mm] Épaisseur de la platine
Matériau: ACIER E28
 $f_{ype} =$ 27500000,00 [daN/m²] Résistance de calcul
 $f_{upe} =$ 40500000,00 [daN/m²] Résistance à la traction

PLATINE INTERNE GAUCHE

$l_{pi} =$ 700 [mm] Longueur de la platine
 $h_{pi} =$ 120 [mm] Hauteur de la platine
 $t_{pi} =$ 15 [mm] Épaisseur de la platine
Matériau: ACIER E28
 $f_{ypi} =$ 27500000,00 [daN/m²] Résistance de calcul
 $f_{upi} =$ 40500000,00 [daN/m²] Résistance à la traction

PAROI INFERIEURE**BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AME A L'AME DU POTEAU**

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

OUT:Catégorie d'assemblage A

Classe = HR 8.8 Classe du boulon
 $d =$ 16 [mm] Diamètre du boulon

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

$d_0 =$	18	[mm]	Diamètre du trou de boulon
$A_s =$	1,57	[cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
$A_v =$	2,01	[cm ²]	Aire de la section du boulon
$f_{yb} =$	64000000,00	[daN/m ²]	Limite de plasticité du boulon
$f_{ub} =$	90000000,00	[daN/m ²]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	2		Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	3		Nombre de rangées des boulons
$e_1 =$	80	[mm]	Niveau du premier boulon
$p_2 =$	50	[mm]	Ecartement
$p_1 =$	80	[mm]	Entraxe

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE DROITE DU POTEAU

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

OUT:Catégorie d'assemblage A

Classe =	HR 8.8		Classe du boulon
$d =$	20	[mm]	Diamètre du boulon
$d_0 =$	22	[mm]	Diamètre du trou de boulon
$A_s =$	2,45	[cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
$A_v =$	3,14	[cm ²]	Aire de la section du boulon
$f_{yb} =$	64000000,00	[daN/m ²]	Limite de plasticité du boulon
$f_{ub} =$	90000000,00	[daN/m ²]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	1		Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	4		Nombre de rangées des boulons
$e_1 =$	40	[mm]	Niveau du premier boulon
$p_1 =$	80	[mm]	Entraxe

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE GAUCHE DU POTEAU

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

OUT:Catégorie d'assemblage A

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

Classe =	HR 8.8	Classe du boulon
d =	20 [mm]	Diamètre du boulon
d ₀ =	22 [mm]	Diamètre du trou de boulon
A _s =	2,45 [cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
A _v =	3,14 [cm ²]	Aire de la section du boulon
f _{yb} =	64000000,00 [daN/m ²]	Limite de plasticité du boulon
f _{ub} =	90000000,00 [daN/m ²]	Résistance du boulon à la traction
n _h =	1	Nombre de colonnes des boulons
n _v =	4	Nombre de rangées des boulons
e ₁ =	40 [mm]	Niveau du premier boulon
p ₁ =	80 [mm]	Entraxe

PAROI SUPERIEURE

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AME A L'AME DU POTEAU

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

OUT:Catégorie d'assemblage A

Classe =	HR 8.8	Classe du boulon
d =	16 [mm]	Diamètre du boulon
d ₀ =	18 [mm]	Diamètre du trou de boulon
A _s =	1,57 [cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
A _v =	2,01 [cm ²]	Aire de la section du boulon
f _{yb} =	64000000,00 [daN/m ²]	Limite de plasticité du boulon
f _{ub} =	90000000,00 [daN/m ²]	Résistance du boulon à la traction
n _h =	2	Nombre de colonnes des boulons
n _v =	3	Nombre de rangées des boulons
e ₁ =	80 [mm]	Niveau du premier boulon
p ₂ =	50 [mm]	Ecartement
p ₁ =	80 [mm]	Entraxe

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE DROITE DU POTEAU

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

OUT:Catégorie d'assemblage A

Classe =	HR 8.8	Classe du boulon
d =	20 [mm]	Diamètre du boulon
d ₀ =	22 [mm]	Diamètre du trou de boulon
A _s =	2,45 [cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
A _v =	3,14 [cm ²]	Aire de la section du boulon
f _{yb} =	64000000,00 [daN/m ²]	Limite de plasticité du boulon
f _{ub} =	90000000,00 [daN/m ²]	Résistance du boulon à la traction
n _h =	1	Nombre de colonnes des boulons
n _v =	4	Nombre de rangées des boulons
e ₁ =	40 [mm]	Niveau du premier boulon
p ₁ =	80 [mm]	Entraxe

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE GAUCHE DU POTEAU

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

OUT:Catégorie d'assemblage A

Classe =	HR 8.8	Classe du boulon
d =	20 [mm]	Diamètre du boulon
d ₀ =	22 [mm]	Diamètre du trou de boulon
A _s =	2,45 [cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
A _v =	3,14 [cm ²]	Aire de la section du boulon
f _{yb} =	64000000,00 [daN/m ²]	Limite de plasticité du boulon
f _{ub} =	90000000,00 [daN/m ²]	Résistance du boulon à la traction
n _h =	1	Nombre de colonnes des boulons
n _v =	4	Nombre de rangées des boulons
e ₁ =	40 [mm]	Niveau du premier boulon
p ₁ =	80 [mm]	Entraxe

COEFFICIENTS DE MATERIAU

$\gamma_{M0} = 1,00$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]

$\gamma_{M2} = 1,25$ Coefficient de sécurité partiel [2.2]

EFFORTS

Cas: Calculs manuels

ETAT LIMITE: ULTIME

$N_{Ed1} = 67,20$ [daN] Effort axial

$V_{y,Ed1} = 71254,00$ [daN] Effort tranchant

$V_{z,Ed1} = 0,00$ [daN] Effort tranchant

$M_{y,Ed1} = 4046,30$ [daN*m] Moment fléchissant

$M_{Vz,Ed1} = 0,00$ [daN*m] Moment fléchissant

$N_{Ed2} = -10488,00$ [daN] Effort axial

$V_{y,Ed2} = -75477,00$ [daN] Effort tranchant

$V_{z,Ed2} = 0,00$ [daN] Effort tranchant

$M_{y,Ed2} = 4140,00$ [daN*m] Moment fléchissant

$M_{Vz,Ed2} = 0,00$ [daN*m] Moment fléchissant

RESULTATS

PAROI INFERIEURE

Effort axial

Platine	A_i [cm ²]	EFFORTS EQUIVALENTS N_i [daN]	EFFORTS EQUIVALENTS $N_i(M_{y,Ed})$ [daN]	Force résultante $N_{Ed,i}$ [daN]
	$A_{pw} = 96,00$	22,40	-	$N_{Ed,pw} = 22,40$
	$A_{pfue} = 60,00$	14,00	5155,68	$N_{Ed,pfue} = 5169,68$
	$A_{pfui} = 36,00$	8,40	2551,84	$N_{Ed,pfui} = 2560,24$

Platine	A_i [cm ²]	EFFORTS EQUIVALENTS N_i [daN]	EFFORTS EQUIVALENTS $N_i(M_{y,Ed})$ [daN]	Force résultante $N_{Ed,i}$ [daN]
	$A_{pfi} = 36,00$	8,40	-2551,84	$N_{Ed,pfi} = -2543,44$
	$A_{pfi e} = 60,00$	14,00	-5155,68	$N_{Ed,pfi e} = -5141,68$

$$N_i = (N_{Ed} * A_i) / (2 * A_{wp} + A_{pfue} + 2 * A_{pfui} + 2 * A_{pfi} + A_{pfi e})$$

$$N_{Ed,i} = N_i + N_i(M_{y,Ed})$$

Effort tranchant Z

Platine	A_i [cm ²]	$V_{z,Ed,i}$ [daN]
	$A_{z,pw} = 96,00$	$V_{z,Ed,pw} = 0,00$

Effort tranchant Y

Platine	$A_{y,i}$ [cm ²]	$V_{y,Ed,i}$ [daN]
	$A_{y,fupe} = 60,00$	$V_{y,Ed,fupe} = 22266,88$
	$A_{y,fupi} = 36,00$	$V_{y,Ed,fupi} = 13360,13$
	$A_{y,flpi} = 36,00$	$V_{y,Ed,flpi} = 13360,13$
	$A_{y,flpe} = 60,00$	$V_{y,Ed,flpe} = 22266,88$

$$V_{y,i} = (V_{y,Ed} * A_{y,i}) / (A_{pfue} + 2 * A_{pfui} + 2 * A_{pfi} + A_{pfi e})$$

Moment fléchissant Y

Platine	$I_{y,i}$ [cm ⁴]	EFFORTS EQUIVALENTS $M_{y,i}$ [daN*m]	Force résultante $M_{y,Ed,i}$ [daN*m]
	$I_{y,pw} = 8192,00$	270,61	$M_{y,Ed,pw} = 270,61$
	$I_{y,pfue} = 40580,00$	1340,48	-
	$I_{y,pfui} = 16570,44$	547,37	-

Platine	$I_{y,i}$ [cm ⁴]	EFFORTS EQUIVALENTS $M_{y,i}$ [daN*m]	Force résultante $M_{y,Ed,i}$ [daN*m]
	$I_{y,pfii} = 16570,44$	547,37	-
	$I_{y,pfie} = 40580,00$	1340,48	-

$$M_{y,i} = (M_{y,Ed} * I_{y,i}) / (2 * I_{pw} + I_{pfue} + 2 * I_{pfui} + 2 * I_{pfii} + I_{pfie})$$

Moment fléchissant Z

Platine	$I_{z,i}$ [cm ⁴]	$M_{z,i}$ [daN*m]
	$I_{z,pfue} = 4500,00$	$M_{z,Ed,pfue} = 0,00$
	$I_{z,pfui} = 3348,00$	$M_{z,Ed,pfui} = 0,00$
	$I_{z,pfii} = 3348,00$	$M_{z,Ed,pfii} = 0,00$
	$I_{z,pfie} = 4500,00$	$M_{z,Ed,pfie} = 0,00$

$$M_i = (M_{z,Ed} * I_{z,i}) / (I_{z,pfue} + I_{z,pfui} + 2 * I_{z,pfii} + I_{z,pfie})$$

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AME A L'AME DU POTEAU

RESISTANCE DES BOULONS

$$F_{v,Rd} = 17371,7 \text{ [daN]} \text{ Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non filetée d'un } \quad F_{v,Rd} = 0,6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$$

= 5] boulon

Pression du boulon sur l'âme du poteau

Direction x

$$k_{1x} = 2,50 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{b,Rd} \quad k_{1x} = \min[2,8 * (e_1/d_0) - 1,7, 1,4 * (p_1/d_0) - 1,7, 2,5]$$

$$k_{1x} > 0,0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$\alpha_{bx} = 0,68 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bx} = \min[e_2/(3 * d_0), p_2/(3 * d_0) - 0,25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0,0 \quad 0,68 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd1x} = 15524,67 \text{ [daN]} \text{ Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$$

Direction z

$k_{1z} = 2,19$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$ $2,19 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{bz} = 1,00$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$ $1,00 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd1z} = 20109,76$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur la plaque

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{bx} = 0,68$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,68 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd2x} = 26280,00$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

$k_{1z} = 2,19$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$ $2,19 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{bz} = 1,00$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$ $1,00 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd2z} = 34041,60$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

ÉTAT LIMITE: ULTIME

cisaillement des boulons

$M_y = 270,61$ [daN*m] Moment fléchissant réel $M_y = M_{y,Ed,pw}$

$F_{xN} = 3,73$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de la force longitudinale sur la direction x $F_{xN} = |N_{Ed,pw}| / n_b$

$F_{xMy} = 737,60$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_y sur la direction x $F_{xMy} = |M_y| \cdot z_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$

$F_{zMy} = 230,50$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_y sur la direction z $F_{zMy} = |M_y| \cdot x_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$

$F_{xEd} = 741,33$ [daN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x $F_{xEd} = F_{xN} + F_{xMy}$

$$M_y = 270,61 \frac{[daN \cdot m]}{m} \text{ Moment fléchissant réel} \quad M_y = M_{y,Ed,pw}$$

$$F_{z,Ed} = 230,50 \text{ [daN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z} \quad F_{z,Ed} = F_{z,M_y}$$

$$F_{Ed} = 776,34 \text{ [daN] Effort tranchant résultant dans le boulon} \quad F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$$

$$F_{Rd,x} = 15524,67 \text{ [daN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x} \quad F_{Rd,x} = \min(F_{bRd1,x}, F_{bRd2,x})$$

$$F_{Rd,z} = 20109,76 \text{ [daN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z} \quad F_{Rd,z} = \min(F_{bRd1,z}, F_{bRd2,z})$$

$ F_{x,Ed} \leq F_{Rd,x}$	$ 741,33 < 15524,67$	vérifié	(0,05)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rd,z}$	$ 230,50 < 20109,76$	vérifié	(0,01)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$776,34 < 17371,75$	vérifié	(0,04)

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE DROITE DU POTEAU

RESISTANCE DES BOULONS

$$F_{v,Rd} = 27143,36 \text{ [daN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement} \quad F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$$

Pression du boulon sur l'aile du poteau

Direction x

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

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$\alpha_{bx} = 0,61 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 0,61 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd1x} = 33600,00 \text{ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$$

Direction y

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

$$k_{1y} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$\alpha_{by} = 0,91 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{b,Rd} \quad \alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$\alpha_{by} > 0.0$	$0,91 > 0,00$	vérifié
$F_{b,Rd1y} = 50400,00$ [daN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd1y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur la plaquette

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
----------------	---------------	---------

$\alpha_{bx} = 0,96$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,96 > 0,00$	vérifié
---------------------	---------------	---------

$F_{b,Rd2x} = 54552,27$ [daN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$
-------------------------------	---	--

Direction y

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

$k_{1y} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
----------------	---------------	---------

$\alpha_{by} = 0,91$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{by} > 0.0$	$0,91 > 0,00$	vérifié
---------------------	---------------	---------

$F_{b,Rd2y} = 51545,45$ [daN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$
-------------------------------	---	--

ÉTAT LIMITE: ULTIME

cisaillement des boulons

$e_0 = 160$ [mm]	Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons	$e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r - 1) \cdot p_1$
------------------	--	--

$M_z = \frac{5700,3}{2}$ [daN* m]	Moment fléchissant réel	$M_z = V_{y,Ed,pl} \cdot e_0$
--------------------------------------	-------------------------	-------------------------------

$F_{xN} = 946,72$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de la force longitudinale sur la direction x	$F_{xN} = N_{Ed,pl} / n_b$
-------------------------	--	------------------------------

$F_{yVy} = \frac{4453,3}{8}$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant V_y sur la direction y	$F_{y,Vy} = V_{y,Ed,pl} / n_b$
------------------------------------	--	----------------------------------

$F_{xMz} = \frac{3983,1}{4}$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_z sur la direction x	$F_{x,Mz} = M_z \cdot y_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$
------------------------------------	--	---

$F_{yMz} = \frac{5310,8}{6}$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_z sur la direction y	$F_{y,Mz} = M_z \cdot x_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$
------------------------------------	--	---

$F_{xEd} = \frac{4929,8}{7}$ [daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{xN} + F_{xMz}$
------------------------------------	--	-------------------------------

cisaillement des boulons

$e_0 = 160$ [mm] Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons $e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r - 1) \cdot p_1$

$F_{y,Ed} = 9764,23$ [daN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction y $F_{y,Mz} = F_{y,Vy} + F_{y,Mz}$

$F_{Ed} = 10938,18$ [daN] Effort tranchant résultant dans le boulon $F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2)}$

$F_{x,Rd} = 33600,00$ [daN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x $F_{x,Rd} = \min(F_{x,bRd1}, F_{x,bRd2})$

$F_{y,Rd} = 50400,00$ [daN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction y $F_{y,Rd} = \min(F_{y,bRd1}, F_{y,bRd2})$

$ F_{x,Ed} \leq F_{x,Rd}$	$ 4929,87 < 33600,00$	vérifié	(0, 15)
$ F_{y,Ed} \leq F_{y,Rd}$	$ 9764,23 < 50400,00$	vérifié	(0, 19)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$10938,18 < 27143,36$	vérifié	(0, 40)

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE GAUCHE DU POTEAU

RESISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 27143,36$ [daN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement $F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur l'aile du poteau

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ vérifié

$\alpha_{bx} = 0,61$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,61 > 0,00$ vérifié

$F_{b,Rd1x} = 33600,00$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

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

$k_{1y} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ vérifié

$\alpha_{by} = 0,91$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $0,91 > 0,00$ vérifié

$F_{b,Rd1y} = 50400,00$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur la plaquette

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{bx} = 0,96$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,96 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd2x} = 54552,27$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

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

$k_{1y} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{by} = 0,91$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $0,91 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd2y} = 51545,45$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

ETAT LIMITE: ULTIME

cisaillement des boulons

$e_0 = 160$ [mm] Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons $e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r - 1) \cdot p_1$

$M_z = \frac{5700,3}{2}$ [daN*m] Moment fléchissant réel $M_z = V_{y,Ed,pf} \cdot e_0$

$F_{x,N} = 941,12$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de la force longitudinale sur la direction x $F_{x,N} = |N_{Ed,pf}| / n_b$

$F_{y,Vy} = \frac{4453,3}{8}$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant V_y sur la direction y $F_{y,Vy} = |V_{y,Ed,pf}| / n_b$

$F_{x,Mz} = \frac{3983,1}{4}$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_z sur la direction x $F_{x,Mz} = |M_z| \cdot y_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$

$F_{y,Mz} = \frac{5310,8}{6}$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_z sur la direction y $F_{y,Mz} = |M_z| \cdot x_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$

$F_{x,Ed} = \frac{3042,0}{2}$ [daN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x $F_{x,Ed} = F_{x,N} + F_{x,Mz}$

$F_{y,Ed} = \frac{9764,2}{3}$ [daN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction y $F_{y,Ed} = F_{y,Vy} + F_{y,Mz}$

$e_0 = 160$ [mm]	Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons	$e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r_1 - 1) \cdot p_1$
$F_{Ed} = 10227,13$ [daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{xEd}^2 + F_{yEd}^2}$
$F_{xRd} = 33600,00$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{xRd} = \min(F_{x,bRd1}, F_{x,bRd2})$
$F_{yRd} = 50400,00$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction y	$F_{yRd} = \min(F_{y,bRd1}, F_{y,bRd2})$

$ F_{xEd} \leq F_{xRd}$	$ 3042,02 < 33600,00$	vérifié	(0,09)
$ F_{yEd} \leq F_{yRd}$	$ 9764,23 < 50400,00$	vérifié	(0,19)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$10227,13 < 27143,36$	vérifié	(0,38)

VERIFICATION DE LA SECTION POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC - [3.10]

POTEAU

Nr	Modèle	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [daN]	$V_{eff,Rd}$ [daN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Etat
1		13,48	135,84	22,40 (*1)	296603,37 (*)	0,00	vérifié
2		13,48	135,84	22,40 (*1)	296603,37 (*)	0,00	vérifié
3		26,97	17,98	22,40 (*1)	126478,34 (**)	0,00	vérifié
4		56,84	13,72	7573,79 (*2)	287328,98 (***)	0,03	vérifié

(*1) $V_0 = N_{wEd}$

(*2) $V_0 = N_{fuEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(**) $V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(***) $V_{effRd} = 2 \cdot [0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}]$

ÉCLISSE D'AME

Nr	Modèle	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [daN]	$V_{eff,Rd}$ [daN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Etat
1		13,95	29,25	11,20 (*1)	69533,60 (*)	0,00	vérifié

ÉCLISSE D'AME

Nr	Modèle	A _{nv} [cm ²]	A _{nt} [cm ²]	V ₀ [daN]	V _{eff,Rd} [daN]	V ₀ /V _{eff,Rd}	Etat
2		13,95	29,25	11,20 (*1)	69533,60 (*)	0,00	vérifié
3		27,90	18,60	11,20 (*1)	104561,20 (**)	0,00	vérifié

(*1) $V_0 = N_{wEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(**) $V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

PLATINE EXTERNE DROITE

Nr	Modèle	A _{nv} [cm ²]	A _{nt} [cm ²]	V ₀ [daN]	V _{eff,Rd} [daN]	V ₀ /V _{eff,Rd}	Etat
1		29,40	46,60	35627,00 (*1)	122170,77 (*)	0,29	vérifié
2		46,60	41,40	5169,68 (*2)	141055,44 (*)	0,04	vérifié
3		93,20	31,60	5169,68 (*2)	250358,87 (**)	0,02	vérifié

(*1) $V_0 = 0.5 \cdot V_{yEd1}$

(*2) $V_0 = N_{fueEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(**) $V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

PLATINE INTERNE DROITE

Nr	Modèle	A _{nv} [cm ²]	A _{nt} [cm ²]	V ₀ [daN]	V _{eff,Rd} [daN]	V ₀ /V _{eff,Rd}	Etat
1		34,95	7,35	2560,24 (*1)	67397,58 (*)	0,04	vérifié
2		34,95	7,35	2560,24 (*1)	67397,58 (*)	0,04	vérifié

(*1) $V_0 = N_{fuiEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

PLATINE EXTERNE GAUCHE

Nr	Modèle	Anv [cm2]	Ant [cm2]	V0 [daN]	Veff,Rd [daN]	V0 /Veff,Rd	Etat
1		29,40	46,60	35627,00 (*1)	122170,77 (*)	0,29	vérifié

(*1) $V_0 = 0.5 \cdot V_{yEd1}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

VERIFICATION DES SECTIONS AFFAIBLIES PAR LES TROUS - [5.4]

POTEAU

$A_t = 119,43 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la zone tendue de la section brute

$A_{t,net} = 104,50 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire nette de la zone de la section en traction

$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \leq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$ $0,79 < 0,90$ **vérifié**

$W = 4287,04 \text{ [cm}^3\text{]}$ Facteur élastique de la section

$W_{net} = 4287,04 \text{ [cm}^3\text{]}$ Facteur élastique de la section

$M_{c,Rdnet} = 152189,92 \text{ [daN}\cdot\text{m]}$ Résistance de calcul de la section à la flexion

$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$

$|M_0| \leq M_{c,Rdnet}$ $|4046,30| < 152189,92$ **vérifié** (0,03)

ÉCLISSE D'AME

$A_t = 24,11 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la zone tendue de la section brute

$A_{t,net} = 21,41 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire nette de la zone de la section en traction

$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \leq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$ $0,80 < 0,85$ **vérifié**

$W = 256,00 \text{ [cm}^3\text{]}$ Facteur élastique de la section

$W_{net} = 252,02 \text{ [cm}^3\text{]}$ Facteur élastique de la section

$M_{c,Rdnet} = 6930,59 \text{ [daN}\cdot\text{m]}$ Résistance de calcul de la section à la flexion

$M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$

$|M_0| \leq M_{c,Rdnet}$ $|135,30| < 6930,59$ **vérifié** (0,02)

PLATINE EXTERNE DROITE

$A = 60,00 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la zone tendue de la section brute

$A = h_{pi} \cdot t_{pi}$

$A_{net} = 42,40 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la section nette

$A_{net} = A - n_v \cdot d_0 \cdot t_{pi}$

$N_{pl,Rd} = 165000,00 \text{ [daN]}$ Résistance de calcul plastique de la section brute

$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$

$N_{u,Rd} = 123638,40 \text{ [daN]}$ Résistance ultime de la section nette à un effort normal

$N_{u,Rd} = 0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$

$A =$	60,00 [cm ²]	Aire de la zone tendue de la section brute	$A = h_{pi} * t_{pi}$
$F_{Ed} =$	5169,68 [daN]		$F_{Ed} = N_{Ed, pfue}$
$ F_{Ed} \leq N_{u,Rd}$	5169,68 < 123638,40	vérifié	(0,04)
$ F_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$	5169,68 < 165000,00	vérifié	(0,03)
$A_v =$	60,00 [cm ²]	Aire de la section efficace en cisaillement	$A_v = h_p * t_p$
$A_{v,net} =$	51,20 [cm ²]	Aire de la section efficace nette en cisaillement	$A_{v,net} = A_v - n_v * d_0 * t_p$
$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) * A_v$	51,20 > 40,74	vérifié	
$V_{pl,Rd} =$	95262,79 [daN]	Résistance plastique de calcul pour le cisaillement	$V_{pl,Rd} = (A_v * f_{yp}) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$
$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$	22266,88 < 95262,79	vérifié	(0,23)

PLATINE INTERNE DROITE

$A =$	36,00 [cm ²]	Aire de la zone tendue de la section brute	$A = 2 * h_{pi} * t_{pi}$
$A_{net} =$	4,80 [cm ²]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - n_v * d_0 * t_{pi}$
$N_{pl,Rd} =$	49500,00 [daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0}$
$N_{u,Rd} =$	13996,80 [daN]	Résistance ultime de la section nette à un effort normal	$N_{u,Rd} = 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$
$F_{Ed} =$	2560,24 [daN]		$F_{Ed} = N_{Ed, pfui}$
$ F_{Ed} \leq N_{u,Rd}$	2560,24 < 13996,80	vérifié	(0,37)
$ F_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$	2560,24 < 49500,00	vérifié	(0,10)
$A_v =$	18,00 [cm ²]	Aire de la section efficace en cisaillement	$A_v = h_p * t_p$
$A_{v,net} =$	11,40 [cm ²]	Aire de la section efficace nette en cisaillement	$A_{v,net} = A_v - n_v * d_0 * t_p$
$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) * A_v$	11,40 < 12,22	non vérifié	
$V_{pl,Rd} =$	18099,93 [daN]	Résistance plastique de calcul pour le cisaillement	$V_{pl,Rd} = (A_{v,net} * f_{yp}) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$
$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$	13360,13 < 18099,93	vérifié	(0,74)

PLATINE INTERNE GAUCHE

$A =$	36,00 [cm ²]	Aire de la zone tendue de la section brute	$A = 2 * h_{pi} * t_{pi}$
$A_{net} =$	4,80 [cm ²]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - n_v * d_0 * t_{pi}$
$N_{pl,Rd} =$	49500,00 [daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0}$
$N_{u,Rd} =$	13996,80 [daN]	Résistance ultime de la section nette à un effort normal	$N_{u,Rd} = 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$
$F_{Ed} =$	-2543,44 [daN]		$F_{Ed} = N_{Ed, pfle}$

$A =$	36,00 [cm ²]	Aire de la zone tendue de la section brute	$A=2 \cdot h_{pi} \cdot t_{pi}$
$ F_{Ed} \leq N_{u,Rd}$	-2543,44 < 13996,80	vérifié	(0,18)
$ F_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$	-2543,44 < 49500,00	vérifié	(0,05)
$A_v =$	18,00 [cm ²]	Aire de la section efficace en cisaillement	$A_v = h_p \cdot t_p$
$A_{v,net} =$	11,40 [cm ²]	Aire de la section efficace nette en cisaillement	$A_{v,net} = A_v \cdot n_v \cdot d_0 \cdot t_p$
$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) \cdot A_v$	11,40 < 12,22	non vérifié	
$V_{pl,Rd} = 18099,93$ [daN]	Résistance plastique de calcul pour le cisaillement		$V_{pl,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_{yp}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$	13360,13 < 18099,93	vérifié	(0,74)

PLATINE EXTERNE GAUCHE

$A =$	60,00 [cm ²]	Aire de la zone tendue de la section brute	$A = h_{pi} \cdot t_{pi}$
$A_{net} =$	42,40 [cm ²]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - n_v \cdot d_0 \cdot t_{pi}$
$N_{pl,Rd} = 165000,00$ [daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$
$N_{u,Rd} = 123638,40$ [daN]	Résistance ultime de la section nette à un effort normal		$N_{u,Rd} = 0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$
$F_{Ed} = -5141,68$ [daN]			$F_{Ed} = N_{Ed,pti}$
$ F_{Ed} \leq N_{u,Rd}$	-5141,68 < 123638,40	vérifié	(0,04)
$ F_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$	-5141,68 < 165000,00	vérifié	(0,03)
$A_v =$	60,00 [cm ²]	Aire de la section efficace en cisaillement	$A_v = h_p \cdot t_p$
$A_{v,net} =$	51,20 [cm ²]	Aire de la section efficace nette en cisaillement	$A_{v,net} = A_v \cdot n_v \cdot d_0 \cdot t_p$
$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) \cdot A_v$	51,20 > 40,74	vérifié	
$V_{pl,Rd} = 95262,79$ [daN]	Résistance plastique de calcul pour le cisaillement		$V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{yp}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$	22266,88 < 95262,79	vérifié	(0,23)

PAROI SUPERIEURE

Effort axial

Platine	A_i [cm ²]	EFFORTS EQUIVALENTS N_i [daN]	EFFORTS EQUIVALENTS $N_i(M_{y,Ed})$ [daN]	Force résultante $N_{Ed,i}$ [daN]
	$A_{pw} = 96,00$	-3496,00	-	$N_{Ed,pw} = -3496,00$
	$A_{pfue} = 60,00$	-2185,00	5275,07	$N_{Ed,pfue} = 3090,07$

Effort axial

Platine	A_i [cm ²]	EFFORTS EQUIVALENTS N_i [daN]	EFFORTS EQUIVALENTS $N_i(M_{y,Ed})$ [daN]	Force résultante $N_{Ed,i}$ [daN]
	$A_{pfui} = 36,00$	-1311,00	2610,94	$N_{Ed,pfui} = 1299,94$
	$A_{pfli} = 36,00$	-1311,00	-2610,94	$N_{Ed,pfli} = -3921,94$
	$A_{pfi e} = 60,00$	-2185,00	-5275,07	$N_{Ed,pfi e} = -7460,07$

$$N_i = (N_{Ed} \cdot A_i) / (2 \cdot A_{wp} + A_{pfue} + 2 \cdot A_{pfui} + 2 \cdot A_{pfli} + A_{pfi e})$$

$$N_{Ed,i} = N_i + N_i(M_{y,Ed})$$

Effort tranchant Z

Platine	A_i [cm ²]	$V_{z,Ed,i}$ [daN]
	$A_{z,pw} = 96,00$	$V_{z,Ed,pw} = 0,00$

Effort tranchant Y

Platine	$A_{y,i}$ [cm ²]	$V_{y,Ed,i}$ [daN]
	$A_{y,fupe} = 60,00$	$V_{y,Ed,fupe} = -23586,56$
	$A_{y,fupi} = 36,00$	$V_{y,Ed,fupi} = -14151,94$
	$A_{y,flpi} = 36,00$	$V_{y,Ed,flpi} = -14151,94$
	$A_{y,flpe} = 60,00$	$V_{y,Ed,flpe} = -23586,56$

$$V_{y,i} = (V_{y,Ed} \cdot A_{y,i}) / (A_{pfue} + 2 \cdot A_{pfui} + 2 \cdot A_{pfli} + A_{pfi e})$$

Moment fléchissant Y

Platine	$I_{y,i}$ [cm ⁴]	EFFORTS EQUIVALENTS $M_{y,i}$ [daN*m]	Force résultante $M_{y,Ed,i}$ [daN*m]
	$I_{y,pw} = 8192,00$	276,87	$M_{y,Ed,pw} = 276,87$
	$I_{y,pfue} = 40580,00$	1371,52	-

Moment fléchissant Y

Platine	$I_{y,i}$ [cm ⁴]	EFFORTS EQUIVALENTS $M_{y,i}$ [daN*m]	Force résultante $M_{y,Ed,i}$ [daN*m]
	$I_{y,pfui} = 16570,44$	560,05	-
	$I_{y,pfli} = 16570,44$	560,05	-
	$I_{y,pfle} = 40580,00$	1371,52	-

$$M_{y,i} = (M_{y,Ed} * I_{y,i}) / (2 * I_{pw} + I_{pfue} + 2 * I_{pfui} + 2 * I_{pfli} + I_{pfle})$$

Moment fléchissant Z

Platine	$I_{z,i}$ [cm ⁴]	$M_{z,i}$ [daN*m]
	$I_{z,pfue} = 4500,00$	$M_{z,Ed,pfue} = 0,00$
	$I_{z,pfui} = 3348,00$	$M_{z,Ed,pfui} = 0,00$
	$I_{z,pfli} = 3348,00$	$M_{z,Ed,pfli} = 0,00$
	$I_{z,pfle} = 4500,00$	$M_{z,Ed,pfle} = 0,00$

$$M_i = (M_{z,Ed} * I_{z,i}) / (I_{z,pfue} + I_{z,pfui} + 2 * I_{z,pfli} + I_{z,pfle})$$

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AME A L'AME DU POTEAU

RESISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 17371,7$ [daN Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non fileté d'un
= 5] boulon

$$F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$$

Pression du boulon sur l'âme du poteau

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{bx} = 0,68$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_2 / (3 * d_0), p_2 / (3 * d_0) - 0.25, f_{ub} / f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0,0$	$0,68 > 0,00$	vérifié
$F_{b,Rd1x} = 15524,67$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale		
$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$		

Direction z

$k_{1z} = 2,19$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
-----------------	--	--

$k_{1z} > 0,0$	$2,19 > 0,00$	vérifié
----------------	---------------	---------

$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bz} > 0,0$	$1,00 > 0,00$	vérifié
---------------------	---------------	---------

$F_{b,Rd1z} = 20109,76$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale		
$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$		

Pression du boulon sur la plaquette

Direction x

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

$k_{1x} > 0,0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
----------------	---------------	---------

$\alpha_{bx} = 0,68$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bx} > 0,0$	$0,68 > 0,00$	vérifié
---------------------	---------------	---------

$F_{b,Rd2x} = 26280,00$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale		
$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$		

Direction z

$k_{1z} = 2,19$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
-----------------	--	--

$k_{1z} > 0,0$	$2,19 > 0,00$	vérifié
----------------	---------------	---------

$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bz} > 0,0$	$1,00 > 0,00$	vérifié
---------------------	---------------	---------

$F_{b,Rd2z} = 34041,60$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale		
$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$		

ETAT LIMITE: ULTIME

cisaillement des boulons

$M_y = 276,87$ [daN* m]	Moment fléchissant réel	$M_y = M_{y,Ed,pw}$
----------------------------	-------------------------	---------------------

$F_{xN} = 582,67$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de la force longitudinale sur la direction x	$F_{xN} = N_{Ed,pw} / n_b$
-------------------------	--	------------------------------

$F_{xMy} = 754,68$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_y sur la direction x	$F_{xMy} = M_y \cdot z_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$
--------------------------	--	--

cisaillement des boulons

$M_y = 276,87 \frac{[daN \cdot m]}{m}$ Moment fléchissant réel $M_y = M_{y,Ed,pw}$

$F_{z,My} = 235,84 [daN]$ Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_y sur la direction z $F_{z,My} = |M_y| \cdot x_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$

$F_{x,Ed} = 1337,34 [daN]$ Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x $F_{x,Ed} = F_{xN} + F_{x,My}$

$F_{z,Ed} = 235,84 [daN]$ Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z $F_{z,Ed} = F_{z,My}$

$F_{Ed} = 1357,98 [daN]$ Effort tranchant résultant dans le boulon $F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$

$F_{Rd,x} = 15524,67 [daN]$ Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x $F_{Rd,x} = \min(F_{bRd1,x}, F_{bRd2,x})$

$F_{Rd,z} = 20109,76 [daN]$ Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z $F_{Rd,z} = \min(F_{bRd1,z}, F_{bRd2,z})$

$ F_{x,Ed} \leq F_{Rd,x}$	$ 1337,34 < 15524,67$	vérifié	(0,09)
$ F_{z,Ed} \leq F_{Rd,z}$	$ 235,84 < 20109,76$	vérifié	(0,01)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$1357,98 < 17371,75$	vérifié	(0,08)

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE DROITE DU POTEAU

RESISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 27143,36 [daN]$ Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement $F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur l'aile du poteau

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ vérifié

$\alpha_{bx} = 0,61$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,61 > 0,00$ vérifié

$F_{b,Rd1x} = 33600,00 [daN]$ Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d^2 \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

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

$k_{1y} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ vérifié

$\alpha_{by} = 0,91$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $0,91 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd1y} = 50400,00$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1y} = k_{1y} * \alpha_{by} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur la plaque

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{bx} = 0,96$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,96 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd2x} = 54552,27$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

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

$k_{1y} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ **vérifié**

$\alpha_{by} = 0,91$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$ $0,91 > 0,00$ **vérifié**

$F_{b,Rd2y} = 51545,45$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2y} = k_{1y} * \alpha_{by} * f_u * d * \sum t_i / \gamma_{M2}$

ÉTAT LIMITE: ULTIME

cisaillement des boulons

$e_0 = 160$ [mm] Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons $e_0 = e_{1b} + 0.5*(r - 1)*p_1$

$M_z = 6038,1$ [daN*m] Moment fléchissant réel $M_z = V_{y,Ed,pf} * e_0$

$F_{xN} = 528,78$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de la force longitudinale sur la direction x $F_{xN} = |N_{Ed,pf}| / n_b$

$F_{yVy} = 4717,3$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant Vy sur la direction y $F_{y,Vy} = |V_{y,Ed,pf}| / n_b$

$F_{xMz} = 4219,2$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment Mz sur la direction x $F_{x,Mz} = |M_z| * y_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$

$F_{yMz} = 5625,6$ [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment Mz sur la direction y $F_{y,Mz} = |M_z| * x_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$

$e_0 = 160$ [mm]	Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons	$e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r_1 - p_1)$
$F_{x,Ed} = 4747,9$ [daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{x,N} + F_{x,Mz}$
$F_{y,Ed} = 10342,93$ [daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction y	$F_{y,Mz} = F_{y,Vy} + F_{y,Mz}$
$F_{Ed} = 11380,67$ [daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2}$
$F_{x,Rd} = 33600,00$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{x,Rd} = \min(F_{x,bRd1}, F_{x,bRd2})$
$F_{y,Rd} = 50400,00$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction y	$F_{y,Rd} = \min(F_{y,bRd1}, F_{y,bRd2})$

$ F_{x,Ed} \leq F_{x,Rd}$	$ 4747,99 < 33600,00$	vérifié	(0, 14)
$ F_{y,Ed} \leq F_{y,Rd}$	$ 10342,93 < 50400,00$	vérifié	(0, 21)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$11380,67 < 27143,36$	vérifié	(0, 42)

BOULONS RACCORDANT UNE ECLISSE D'AILE A L'AILE GAUCHE DU POTEAU

RESISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 27143,36$ [daN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement $F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur l'aile du poteau

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ vérifié

$\alpha_{bx} = 0,61$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$ $0,61 > 0,00$ vérifié

$F_{b,Rd1x} = 33600,00$ [daN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Direction y

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

$k_{1y} > 0.0$ $2,50 > 0,00$ vérifié

$\alpha_{by} = 0,91$ Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{by} > 0.0$	$0,91 > 0,00$	vérifié
$F_{b,Rd1y} = 50400,00$ [daN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd1y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$

Pression du boulon sur la plaquette

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
----------------	---------------	---------

$\alpha_{bx} = 0,96$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,96 > 0,00$	vérifié
---------------------	---------------	---------

$F_{b,Rd2x} = 54552,27$ [daN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$
-------------------------------	---	--

Direction y

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

$k_{1y} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
----------------	---------------	---------

$\alpha_{by} = 0,91$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{by} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{by} > 0.0$	$0,91 > 0,00$	vérifié
---------------------	---------------	---------

$F_{b,Rd2y} = 51545,45$ [daN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2y} = k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_u \cdot d \cdot \sum t_i / \gamma_{M2}$
-------------------------------	---	--

ÉTAT LIMITE: ULTIME

cisaillement des boulons

$e_0 = 160$ [mm]	Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons	$e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r - 1) \cdot p_1$
------------------	--	--

$M_z = 6038,16$ [daN* m]	Moment fléchissant réel	$M_z = V_{y,Ed,pr} \cdot e_0$
-----------------------------	-------------------------	-------------------------------

$F_{x,N} = 1402,78$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de la force longitudinale sur la direction x	$F_{x,N} = N_{Ed,pr} / n_b$
---------------------------	--	-------------------------------

$F_{y,Vy} = 4717,31$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant V_y sur la direction y	$F_{y,Vy} = V_{y,Ed,pr} / n_b$
----------------------------	--	----------------------------------

$F_{x,Mz} = 4219,21$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_z sur la direction x	$F_{x,Mz} = M_z \cdot y_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$
----------------------------	--	---

$F_{y,Mz} = 5625,61$ [daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence du moment M_z sur la direction y	$F_{y,Mz} = M_z \cdot x_i / \sum (x_i^2 + y_i^2)$
----------------------------	--	---

cisaillement des boulons

$e_0 = 160$ [mm]	Excentrement de l'effort tranchant par rapport au centre de gravité d'un groupe de boulons	$e_0 = e_{1b} + 0.5 \cdot (r - 1) \cdot p_1$
$F_{x,Ed} = 2816,43$ [daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{x,N} + F_{x,Mz}$
$F_{y,Ed} = 10342,93$ [daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction y	$F_{y,Mz} = F_{y,Vy} + F_{y,Mz}$
$F_{Ed} = 10719,53$ [daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2)}$
$F_{x,Rd} = 33600,00$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{x,Rd} = \min(F_{x,bRd1}, F_{x,bRd2})$
$F_{y,Rd} = 50400,00$ [daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction y	$F_{y,Rd} = \min(F_{y,bRd1}, F_{y,bRd2})$
$ F_{x,Ed} \leq F_{x,Rd}$	$ 2816,43 < 33600,00$ vérifié	(0,08)
$ F_{y,Ed} \leq F_{y,Rd}$	$ 10342,93 < 50400,00$ vérifié	(0,21)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$10719,53 < 27143,36$ vérifié	(0,39)

VERIFICATION DE LA SECTION POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC - [3.10]

POTEAU

Nr	Modèle	A_{nv} [cm2]	A_{nt} [cm2]	V_0 [daN]	$V_{eff,Rd}$ [daN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Etat
1		56,84	13,72	4230,26 (*1)	287328,98 (***)	0,01	vérifié

(*1) $V_0 = N_{fuEd}$

(***) $V_{eff,Rd} = 2 \cdot [0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}]$

PLATINE EXTERNE DROITE

Nr	Modèle	A_{nv} [cm2]	A_{nt} [cm2]	V_0 [daN]	$V_{eff,Rd}$ [daN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Etat
1		29,40	46,60	-37738,50 (*1)	122170,77 (*)	0,31	vérifié
2		46,60	41,40	3090,07 (*2)	141055,44 (*)	0,02	vérifié
3		93,20	31,60	3090,07 (*2)	250358,87 (**)	0,01	vérifié

(*1) $V_0 = 0.5 \cdot V_{y,Ed2}$

(*2) $V_0 = N_{fueEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

(**) $V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

PLATINE INTERNE DROITE

Nr	Modèle	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [daN]	$V_{eff,Rd}$ [daN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Etat
1		34,95	7,35	1299,94 (*1)	67397,58 (*)	0,02	vérifié
2		34,95	7,35	1299,94 (*1)	67397,58 (*)	0,02	vérifié

(*1) $V_0 = N_{fuiEd}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

PLATINE EXTERNE GAUCHE

Nr	Modèle	A_{nv} [cm ²]	A_{nt} [cm ²]	V_0 [daN]	$V_{eff,Rd}$ [daN]	$ V_0 /V_{eff,Rd}$	Etat
1		29,40	46,60	-37738,50 (*1)	122170,77 (*)	0,31	vérifié

(*1) $V_0 = 0.5 \cdot V_{yEd2}$

(*) $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

VERIFICATION DES SECTIONS AFFAIBLIES PAR LES TROUS - [5.4]

POTEAU

$A_t = 102,82$ [cm²] Aire de la zone tendue de la section brute

$A_{t,net} = 90,50$ [cm²] Aire nette de la zone de la section en traction

$0.9 \cdot (A_{t,net} / A_t) \leq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$ $0,79 < 0,90$ **vérifié**

$W = 4287,04$ [cm³] Facteur élastique de la section

$W_{net} = 4287,04$ [cm³] Facteur élastique de la section

$M_{c,Rdnet} = 152189,92$ [daN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion $M_{c,Rdnet} = W_{net} \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$

$|M_0| \leq M_{c,Rdnet}$ $|4140,00| < 152189,92$ **vérifié** (0,03)

ÉCLISSE D'AME

$A_t = 7,84$ [cm²] Aire de la zone tendue de la section brute

$A_{t,net} = 7,84$ [cm²] Aire nette de la zone de la section en traction

$$0,9 \cdot (A_{t,net}/A_t) > (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0}) \quad 0,90 > 0,85 \quad \text{non vérifié}$$

$W = 256,00$ [cm³] Facteur élastique de la section

$M_{c,Rd} = 7040,00$ [daN*m] Résistance de calcul de la section à la flexion $M_{c,Rd} = W \cdot f_{yp} / \gamma_{M0}$

$$|M_0| \leq M_{c,Rd} \quad |138,44| < 7040,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

PLATINE EXTERNE DROITE

$A = 60,00$ [cm²] Aire de la zone tendue de la section brute $A = h_{pi} \cdot t_{pi}$

$A_{net} = 51,20$ [cm²] Aire de la section nette $A_{net} = A - n_v \cdot d_0 \cdot t_{pi}$

$N_{pl,Rd} = 165000,00$ [daN] Résistance de calcul plastique de la section brute $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$

$N_{u,Rd} = 149299,20$ [daN] Résistance ultime de la section nette à un effort normal $N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$

$F_{Ed} = 3090,07$ [daN] $F_{Ed} = N_{Ed,ptue}$

$$|F_{Ed}| \leq N_{u,Rd} \quad |3090,07| < 149299,20 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

$$|F_{Ed}| \leq N_{pl,Rd} \quad |3090,07| < 165000,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

$A_v = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace en cisaillement $A_v = h_p \cdot t_p$

$A_{v,net} = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace nette en cisaillement $A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0 \cdot t_p$

$$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) \cdot A_v \quad 0,00 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$V_{pl,Rd} = 0,00$ [daN] Résistance plastique de calcul pour le cisaillement $V_{pl,Rd} = (A_v \cdot f_{yp}) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$

$$|V_0| \leq V_{pl,Rd} \quad |-23586,56| > 0,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,00)$$

PLATINE INTERNE DROITE

$A = 36,00$ [cm²] Aire de la zone tendue de la section brute $A = 2 \cdot h_{pi} \cdot t_{pi}$

$A_{net} = 29,40$ [cm²] Aire de la section nette $A_{net} = A - n_v \cdot d_0 \cdot t_{pi}$

$N_{pl,Rd} = 99000,00$ [daN] Résistance de calcul plastique de la section brute $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$

$N_{u,Rd} = 85730,40$ [daN] Résistance ultime de la section nette à un effort normal $N_{u,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$

$F_{Ed} = 1299,94$ [daN] $F_{Ed} = N_{Ed,ptui}$

$$|F_{Ed}| \leq N_{u,Rd} \quad |1299,94| < 85730,40 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

$$|F_{Ed}| \leq N_{pl,Rd} \quad |1299,94| < 99000,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,01)$$

$A_v = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace en cisaillement $A_v = h_p * t_p$
 $A_{v,net} = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace nette en cisaillement $A_{v,net} = A_v - n_v * d_0 * t_p$

$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) * A_v$	0,00 > 0,00	vérifié	
--	-------------	---------	--

$V_{pl,Rd} = 0,00$ [daN] Résistance plastique de calcul pour le cisaillement $V_{pl,Rd} = (A_v * f_{yp}) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$

$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$	-14151,94 > 0,00	vérifié	(0,00)
------------------------	-------------------	---------	--------

PLATINE INTERNE GAUCHE

$A = 36,00$ [cm²] Aire de la zone tendue de la section brute $A = 2 * h_{pi} * t_{pi}$

$A_{net} = 29,40$ [cm²] Aire de la section nette $A_{net} = A - n_v * d_0 * t_{pi}$

$N_{pl,Rd} = 99000,00$ [daN] Résistance de calcul plastique de la section brute $N_{pl,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0}$

$N_{u,Rd} = 85730,40$ [daN] Résistance ultime de la section nette à un effort normal $N_{u,Rd} = 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$

$F_{Ed} = -3921,94$ [daN] $F_{Ed} = N_{Ed,plie}$

$ F_{Ed} \leq N_{u,Rd}$	-3921,94 < 85730,40	vérifié	(0,05)
--------------------------	----------------------	---------	--------

$ F_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$	-3921,94 < 99000,00	vérifié	(0,04)
---------------------------	----------------------	---------	--------

$A_v = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace en cisaillement $A_v = h_p * t_p$

$A_{v,net} = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace nette en cisaillement $A_{v,net} = A_v - n_v * d_0 * t_p$

$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) * A_v$	0,00 > 0,00	vérifié	
--	-------------	---------	--

$V_{pl,Rd} = 0,00$ [daN] Résistance plastique de calcul pour le cisaillement $V_{pl,Rd} = (A_v * f_{yp}) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$

$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$	-14151,94 > 0,00	vérifié	(0,00)
------------------------	-------------------	---------	--------

PLATINE EXTERNE GAUCHE

$A = 60,00$ [cm²] Aire de la zone tendue de la section brute $A = h_{pi} * t_{pi}$

$A_{net} = 51,20$ [cm²] Aire de la section nette $A_{net} = A - n_v * d_0 * t_{pi}$

$N_{pl,Rd} = 165000,00$ [daN] Résistance de calcul plastique de la section brute $N_{pl,Rd} = A * f_y / \gamma_{M0}$

$N_{u,Rd} = 149299,20$ [daN] Résistance ultime de la section nette à un effort normal $N_{u,Rd} = 0.9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$

$F_{Ed} = -7460,07$ [daN] $F_{Ed} = N_{Ed,plie}$

$ F_{Ed} \leq N_{u,Rd}$	-7460,07 < 149299,20	vérifié	(0,05)
--------------------------	-----------------------	---------	--------

$ F_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$	-7460,07 < 165000,00	vérifié	(0,05)
---------------------------	-----------------------	---------	--------

$A_v = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace en cisaillement $A_v = h_p * t_p$

$A_{v,net} = 0,00$ [cm²] Aire de la section efficace nette en cisaillement $A_{v,net} = A_v - n_v * d_0 * t_p$

$A_{v,net} \geq (f_{yp}/f_{up}) * A_v$	$0,00 > 0,00$	vérifié	
$V_{pl,Rd} = 0,00$ [daN]	Résistance plastique de calcul pour le cisaillement		$V_{pl,Rd} = (A_v * f_{yp}) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$
$ V_0 \leq V_{pl,Rd}$	$ -23586,56 > 0,00$	vérifié	(0,00)

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,74

CONCLUSION

GENERAL

Conclusion générale :

Le projet de fin d'étude que nous avons effectué au sein de BATICIC nous a permis d'enrichir nos connaissances théoriques et pratiques dans le domaine de la charpente métallique. Ainsi que d'approfondir nos connaissances dans l'utilisation de logiciel robot et l'application des nouvelles règles et calculs dans : Eurocode 3, Eurocodes 4, RNV2013, NV65, RPA99/ver.2003.

Le stage pratique nous a permis de développer nos idées de conception et de résolution des problèmes existants dans notre projet et d'avoir l'esprit de travail en groupe au sein d'une entreprise.

BIBLIOGRAPHIE

1. LES REGLEMENTS :

- EUROCODE 3 < calcul des structures en acier > Partie 1-1 < Règles générales et règles pour les bâtiments >
- EUROCODE 4 < calcul des structures mixtes acier- béton > Partie 1-1 < Règles générale et règles pour les bâtiments >
- REGLEMENT NEIGE ET VENT < RNVA (version 2013)>
- REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES < RPA 99 / version 2003>
- MEMOTECH STRUCTURE METALLIQUE < mise à jour 2004>
- DTR BC2.2 < charges permanentes et surcharges d'exploitation >
- NF P22-615 < poutres de roulement de pont roulants – déformations en service et tolérances >

2. LES LIVRES :

- JEAN MOREL < calcul des structures métalliques selon l'EUROCODE3>
- Manfred A.Hirt , Rolf Bez < construction métallique volume 10 >
- Lahlou DAHMANI < CALCUL DES ELEMENTS RESISTANTS D'UNE CONSTRUCTION METALLIQUE >

3. LES LOGICIELS :

- ROBOT STRUCTURELLE 2016

4. LES MEMOIRES :

- Mémoire de fin d'étude de master (SM) : étude et conception de deux hangars jumeles en r+2 avec deux ponts roulants de capacité de levage 10 tonnes.

Présenté par: Promoteur : Mr : BOUREDJOUANE Mohamed Mr : MESKINE .M Mr : BOUREDJOUANE Yassine Promotion :2016/2017

- Mémoire de fin d'étude de master (SM) : étude de la structure métallique d'une gare ferroviaire

Présenté par : Promoteur : Mr.KITOUS.Kamal Mr.Ouakli Ahmed Mr.MOULLA.Mazigh Co-Promoteur : Mr : MESKINE .M Promotion :2017/2018

- Mémoire de fin d'étude de master (CM) : études et conception d'un atelier mécanique avec deux ponts roulants et bloc administratif r+2

Présenté par: Promoteur : Mr: NASSIM Mr: MENAD. S Mr: KACI FARES
Promotion :2014

- Mémoire de fin d'étude de master (CM) : étude et conception d'un bâtiment industriel avec estacades

Présenté par: Promoteur : Mr : MESKINE .M Mr: MENAD. S Promotion :2006

5. Les sites internet :

- Freelem - Logiciel de calculs de structures gratuit basé sur la méthode des éléments finis
- Eurocode Design & Calculation Tools for Structural Engineers (eurocodeapplied.com)
- Cours génie civil - Outils, livres, exercices et vidéos|4geniecivil
- CMEC3 (google.com) • dimensionnement CdR (free.fr)
- Convert Units - Measurement Unit Converter
- <http://univ-bejaia.dz/jspui/>
- <https://www.dlubal.com/>