

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

Et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane MIRA- Bejaia

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Option : Structure

# MÉMOIRE FIN D'ÉTUDE

Thème:

Conception et calcul d'un hangar en charpente métallique avec pont roulant

Présenté par :

M. KERNOU Hanine

M. ZAREB Lotfi

Encadrant :

M. BANOUNE.B

Jury:

Présidente: Mme. Ouari

Examinateur: M. Ramdani

Promotion 2021/2022

## REMERCIEMENTS

Le présent mémoire que nous présentons et qui sanctionne la fin du cycle universitaire a été possible grâce à nos efforts durant des mois.

Toute fois nous ne pouvons pas passer sous silence l'apport d'autres personnes qui nous ont aidés de manière directe ou indirecte.

À cet effet nous présentons nos vifs remerciements à tous ce qui nous ont aidé de près ou de loin dans notre tâche.

# Table des matières

## Chapitre 01 :

1.1	Présentation du projet :.....	21
1.1.1	Données géométriques de la structure :.....	21
1.1.2	Localisations et diverses données du site :.....	22
1.2	Règlements techniques :.....	22
1.3	Matériaux utilisés :.....	23
1.3.1	L'acier :.....	23
1.3.2	Le béton :.....	23
1.4	Les assemblages :.....	23
1.4.1	Le boulonnage :.....	23
1.4.2	Le soudage :.....	24
1.5	Conception structurale :.....	24
1.5.1	Structures verticale (les façades) :.....	24
1.5.2	Structure horizontale (les toitures) :.....	24

## Chapitre 02 :

	INTRODUCTION :.....	26
2.1	Données relatives au site :.....	26
2.2	Coefficient dynamique :.....	26
2.3	Pression dynamique de pointe $q_p$ :.....	26
2.4	Coefficient de rugosité ( $C_r$ ) :.....	27
2.5	L'intensité de turbulence $I_v$ :.....	27
2.6	Coefficient d'exposition ( $C_e$ ) :.....	27
2.7	Coefficient de pression extérieur $C_{pe}$ :.....	28
2.8	Coefficient de pression intérieur :.....	32
2.9	Forces de frottements :.....	36
2.10	Action d'ensemble :.....	37
	Calcul de stabilité d'ensemble :.....	39
2.11	Détermination de l'action de la neige :.....	41
2.12	Détermination de l'action du sable :.....	41
2.13	Charge thermique (T) :.....	41
	Conclusion :.....	41

## Chapitre 03 :

	INTRODUCTION :.....	43
--	---------------------	----

# Table des matières

3.1 Panneau de couverture et de bardage :	43
3.2 Étude des pannes :	44
3.2.1 Principe de dimensionnement :	45
3.2.2 Évaluation des charges et surcharges :	46
3.2.3 Combinaisons des charges les plus défavorables :	49
3.4.2 Vérification à l'état limite ultime (ELU) :	50
Conclusion :	56
3.2.5 Vérification à l'état limite de service (ELS) :	56
Conclusion :	57
3.3 Étude des liernes de la toiture :	57
3.3.1 Dimensionnement des liernes :	58
3.3.2 Calcul de la section des liernes :	58
3.4 Étude de l'échantignole :	59
3.5 Étude des lisses de bardages :	60
3.5.1 Principe de dimensionnement :	61
3.5.2 Vérification de la lisse de long-pan :	61
Conclusion :	68
Conclusion :	69
3.5.3 Vérification de la lisse de pignon :	70
3.6 Calcul des chéneaux :	73
3.7 Étude des potelets :	74
3.7.1 Les données :	74
3.7.2 Calcul des charges et surcharges revenants au potelet (potelet du milieu) :	75
3.7.3 Dimensionnement du potelet :	75
3.7.4 Vérification de la section à la résistance :	76
3.7.5 Vérification de l'élément aux phénomènes instabilités :	77
Conclusion :	79
INTRODUCTION :	80
3.8 Dispositions des contreventements :	80
3.9 Calcul de la poutre au vent en pignon :	80
3.9.1 Effort du vent sur les pignons :	80
3.9.2 : Évaluation des efforts horizontaux en tête des potelets et des poteaux :	81
3.9.3 Vérification à la résistance ultime de la section nette :	82
Conclusion :	83
3.10 Calcul de palée de stabilité en long pan :	83
3.10.1 Vérification à la résistance ultime de la section nette :	85

# Table des matières

Conclusion :	85
<b>Chapitre 04 :</b>	
INTRODUCTION :	87
4.1. Caractéristiques des ponts roulants :	88
4.2 Classification des ponts roulants:	89
4.2.1 Coefficient et Classements des ponts roulants selon le CTICM	89
4.2.2 Description générale du calcul	89
4.2.3 Définition des charges	90
4.2.4 Calcul des réactions des galets du pont roulant	90
4.2.5 Le choix du rail de roulement	91
4.3 Pré dimensionnement de la poutre de roulement	92
4.3.1 Condition de la flèche	92
4.3.2 Vérification de la résistance de la poutre de roulement :	95
4.3.3 Résistance de l'âme à la charge transversale :	97
4.4 Calcul du support du chemin de roulement	98
Conclusion :	101
<b>Chapitre 05 :</b>	
INTRODUCTION :	103
5.1 Méthode de travail :	103
5.2 Étapes de modélisation :	104
5.2.1 Matériaux utilisé :	104
5.2.2 Profilé assimilé :	104
5.2.3 Chargements:	105
5.2.4 Combinaison d'action :	107
5.3 Vérifications des éléments :	108
5.4 Vérification de la traverse (IPE 360) :	108
5.5 Vérification des poteaux (HEA400)	112
Conclusion :	116
5.6 Vérification des éléments de stabilités	116
5.6.1 Vérification de la diagonale de la poutre au vent ( 2CAE 50×5)	117
Conclusion .	118
5.6.2 Vérification de la diagonale de palées de stabilité (2 UPN120)	118
Conclusion	118
5.5 Verification des potelets (HEA240):	119
5.8 Vérification des déplacements :	123

# Table des matières

## Chapitre 06 :

INTRODUCTION :	127
6.1 Assemblage poteau-traverse :	127
6.1.1 Vérification de la soudure de la semelle à la traction	129
6.1.2 Vérification de la soudure de l'âme au cisaillement	129
6.1.3 Détermination des efforts dans les boulons :	129
6.1.4 Détermination du diamètre requis des boulons	131
6.1.5 Effort de précontrainte dans le boulon	131
6.1.6 Vérification de l'assemblage a la flexion :	131
6.1.7 Vérification de l'assemblage au cisaillement :	131
6.1.8 Vérification de l'assemblage au poinçonnement :	132
6.1.9 Vérification de l'assemblage à la pression diamétrale :	132
6.2 Assemblage Traverse-Traverse :	134
6.2.1 Détermination des efforts dans les boulons :	135
6.2.4 Determinaton du diamètre requis des boulons	137
6.2.5 Effort de précontrainte dans le boulon	137
6.2.6 Vérification de l'assemblage a la flexion :	137
6.2.7 Vérification de l'assemblage au cisaillement :	137
6.2.8 Vérification de l'assemblage au poinçonnement :	138
6.2.9 Vérification de l'assemblage à la pression diamétrale :	138
6.3 Assemblage poteau-poutre sablière :	139
6.3.1 Assemblage poteau-poutre sablière (HEA120) :	139
6.3.1 Assemblage poteau-poutres sablière (HEA120 et HEA160) :	141
6.4.1 Vérification de la soudure de la semelle à la traction	144
6.4.2 Vérification de la soudure de l'âme au cisaillement	145
6.4.3 Détermination des efforts dans les boulons :	145
6.4.4 Détermination du diamètre requis des boulons	147
6.5 Assemblage du contreventement :	149
6.5.1 Assemblage de la diagonale du palée de stabilité	149
6.5.2 Assemblage de la diagonale de la poutre ou vent	152
6.6 Assemblage Panne-Traverse (Echantignole)	154
6.6.1 Résistance des boulons au cisaillement	154
6.6.2 Résistance des boulons à l'effort combinée traction-cisaillement	154
6.7 Calculs des attaches des lisses :	155
6.7.1 Calcul du boulon d'attache :	155
6.7.2 Soudure de cornière:	156

# Table des matières

6.8 Assemblage des pieds des potelets : .....	157
6.8 Assemblage des pieds des Poteaux :.....	158
6.8.1 Dimensionnement de la plaque d'assise :.....	159
6.8.2 Résistance du béton à la compression :.....	159
6.8.3 Résistance de calcul à l'écrasement du matériau de scellement :.....	159
6.8.4 Calcul de l'aire de la plaque : .....	159
6.8.5 Cordon de soudure .....	160
6.8.6 Calcul de la résistance à la flexion en présence de l'effort axial .....	160
6.8.7 Vérification de la résistance en flexion .....	162
6.8.8 Vérification de la résistance de tiges d'ancrage.....	162
6.8.9 Vérification de la tige d'ancrage à l'adhérence.....	162
6.8.10 Vérification de la bêche .....	163
<b>Chapitre 07 :</b>	
INTRODUCTION :.....	165
7.1 Choix du type de fondation :.....	165
7.1.1 Charges à considérer :.....	165
7.1.2 Dimensionnement de la semelle :.....	165
7.1.3 Calcul de ferrailage :.....	167
Conclusion : .....	168
7.2 Calcul des longrines: .....	169
7.2.1 Prédimensionnement .....	169
7.2.2 Ferrailages longitudinaux.....	169
7.2.3 Ferrailage transversal.....	169
<b>Conclusion générale :</b>	
Conclusion Générale.....	171

## Liste de figures

<b>Figure 1.1 :</b>	Vue 3D de l'ouvrage.	21
<b>Figure 1.2 :</b>	Localisation du site du projet.	22
<b>Figure 2.1 :</b>	Zones de vent pour les parois verticales (sensV1).	28
<b>Figure 2.2 :</b>	Zones de vent pour les versants de toiture (SensV1).	29
<b>Figure 2.3 :</b>	Zone de vent pour les parois verticales (sensV2).	30
<b>Figure 2.4 :</b>	Zone de vent pour les versants de toiture (sensV2).	31
<b>Figure 2.5 :</b>	La répartition de la pression aérodynamique sur les parois verticales, cas de vent dans le sens V1.	33
<b>Figure 2.6 :</b>	La répartition de la pression aérodynamique sur la toiture, cas de vent dans le sens V1.	34
<b>Figure 2.7 :</b>	La répartition de la pression aérodynamique sur les parois verticales, cas de vent dans le sens V2.	35
<b>Figure 2.8 :</b>	La répartition de la pression aérodynamique sur la toiture, cas de vent dans le sens V2.	35
<b>Figure 2.9:</b>	L'aire de l'élément de surface balayé par le vent	37
<b>Figure 2.10 :</b>	Force résultante FW	37
<b>Figure 2.11 :</b>	Représentation des charges provoquant un moment de renversement au long pan	39
<b>Figure 2.12 :</b>	Représentation des charges provoquant un moment de renversement au pignon	40
<b>Figure 3.1</b>	Caractéristiques géométriques et techniques du panneau de couverture et de bardage.	43
<b>Figure 3.2 :</b>	Disposition de la panne sur la toiture.	44
<b>Figure 3.3 :</b>	Disposition des pannes sur le versant de toiture.	45
<b>Figure 3.4 :</b>	Orientation des charges sur les pannes.	46
<b>Figure 3.5 :</b>	Schéma statique des pannes suivant les axes Y et Z.	46
<b>Figure 3.6 :</b>	Schéma statique des charges permanentes G sur les pannes.	47
<b>Figure 3.7 :</b>	Schéma statique des surcharges d'entretien E sur les pannes.	47
<b>Figure 3.8:</b>	Schéma statique des surcharges du vent sur la panne de 6m.	48
<b>Figure 3.9:</b>	Schéma statique des surcharges du vent sur la panne de 7.5m.	49
<b>Figure 3.10 :</b>	Panne de toiture en flexion sous les différents plans de chargement	51
<b>Figure 3.11:</b>	Déversement d'une panne de toiture.	53



## Liste de figures

<b>Figure 3.12 :</b>	Dispositions des liernes.	57
<b>Figure 3.13 :</b>	Disposition de l'échantignole	59
<b>Figure 3.14 :</b>	Disposition des lisses de bardages	61
<b>Figure 3.15 :</b>	La répartition des charges sur les lisses.	62
<b>Figure 3.16:</b>	Semelle comprimée susceptible de déverser.	65
<b>Figure 3.17:</b>	la charge supportée par la lierne de la lisse.	69
<b>Figure 3.18:</b>	Semelle comprimée soutenue sur toute sa longueur.	72
<b>Figure 3.19 :</b>	Coupe vertical sur le chéneau.	73
<b>Figure 3.20 :</b>	Disposition des potelets	74
<b>Figure 3.21 :</b>	Représentation des charges et surcharges sur le potelet.	75
<b>Figure 3.22 :</b>	Effort du vent sur les pignons.	80
<b>Figure 3.23 :</b>	Schéma statique de la poutre au vent	81
<b>Figure 3.24 :</b>	Schéma statique de la poutre au vent (effet de traction).	82
<b>Figure 3.25:</b>	Schéma statique de Palée de stabilité en long pan	83
<b>Figure 3.26 :</b>	Effort de traction dans la diagonale tendue.	84
<b>Figure 4.1 :</b>	Schéma 3D du pont roulant.	88
<b>Figure 4.2 :</b>	Schéma 2D du pont roulant	88
<b>Figure 4.3 :</b>	Moment max pour deux charges égales (Théorème de Barré).	90
<b>Figure 4.4 :</b>	Coupe transversale du rail.	91
<b>Figure 4.5 :</b>	Schéma de la poutre de roulement avec le rail	92
<b>Figure 4.6 :</b>	Schéma statique de la poutre de roulement.	93
<b>Figure 4.7:</b>	Illustrations des efforts appliqués sur la poutre de roulement	93
<b>Figure 4.8 :</b>	Schéma statique de la poutre de roulement sur deux appuis.	94
<b>Figure 4.9 :</b>	Illustration des galets sur la poutre de roulement.	97
<b>Figure 4.10 :</b>	Coupe verticale sur le support du chemin de roulement.	99
<b>Figure 4.11:</b>	Schéma statique du support de chemin de roulement.	99
<b>Figure 4.12 :</b>	Diagramme du moment fléchissant du support de chemin de roulement.	100
<b>Figure 4.13 :</b>	Coupe verticale sur la répartition des charges sur le support du Chemin de roulement.	101
<b>Figure 5.1 :</b>	Étape de modélisation à l'aide de logiciel ROBOT.	103

## Liste de figures

<b>Figure 5.2 :</b>	Cas de charge V1	105
<b>Figure 5.3 :</b>	Cas de charge V2.	105
<b>Figure 5.4:</b>	Cas de charge S.	106
<b>Figure 5.5 :</b>	Cas de charge T.	106
<b>Figure 5.6:</b>	Cas de charge Q.	107
<b>Figure 5.7 :</b>	Vue en 2D avec illustration de la traverse	108
<b>Figure 5.8 :</b>	Vue en 3D de la structure avec illustration des poteaux	112
<b>Figure 5.9 :</b>	Vue en 3D de la structure avec illustrations des diagonales des contreventements	117
<b>Figure 5.10 :</b>	Vue en 3D de la structure avec illustration des potelets	119
<b>Figure 5.11 :</b>	Valeur limite des flèches horizontales des bâtiments industriels.	123
<b>Figure 6.1:</b>	Vue en plan de l'assemblage poteau-traverse.	127
<b>Figure 6.2 :</b>	Désignation des entraxes et des pinces	128
<b>Figure 6.3 :</b>	la hauteur de la zone comprimée (Assemblage poteau-traverse).	130
<b>Figure 6.4:</b>	Vue en plan de l'assemblage traverse-traverse.	134
<b>Figure 6.5 :</b>	Désignation des entraxes et des pinces.	135
<b>Figure 6.6:</b>	La hauteur de la zone comprimée (Assemblage traverse -traverse).	136
<b>Figure 6.7:</b>	Vue en plan de l'assemblage Poteau-Poutre sablière (HEA120).	140
<b>Figure 6.8:</b>	Vue en plan de l'assemblage Poteau-deux Poutre sablière (HEA120 et HEA 160).	141
<b>Figure 6.9:</b>	Vue en plan de l'assemblage poteau- support de chemin de roulement	143
<b>Figure 6.10 :</b>	Désignation des entraxes et des pinces	144
<b>Figure 6.11 :</b>	La hauteur de la zone comprimée (Assemblage poteau- support de chemin de roulement).	146
<b>Figure 6.12:</b>	Vue en plan de l'assemblage de la diagonale du palée de stabilité	150
<b>Figure 6.13:</b>	Vue en plan de l'assemblage de la diagonale de la poutre ou vent.	153
<b>Figure 6.14:</b>	Vue en plan de l'assemblage panne-échantignole/ échantignole-traverse	154
<b>Figure 6.15:</b>	Assemblage cornière-lisse	155
<b>Figure 6.16:</b>	Soudure cornière-poteau	156
<b>Figure 6.17:</b>	Vue en plan de l'assemblage pied de potelet.	157
<b>Figure 6.18:</b>	Vue en plan de l'assemblage pied de poteau.	158

## Liste de figures

<b>Figure 6.19 :</b>	Illustration moment + effort normal	160
<b>Figure 6.20 :</b>	Illustration de la partie comprimée du pied de poteau	161
<b>Figure 7.1 :</b>	Coupe transversale d'une semelle isolée	166
<b>Figure 7.2:</b>	Dimensions de la semelle	166
<b>Figure 7.3:</b>	Schémas de Ferrailage des semelles	168
<b>Figure 7.4:</b>	Schéma de Ferrailage des longrines.	170

## Liste de tableaux

<b>Tableau 2.1 :</b>	Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieures pour les parois verticales (sens V1).	29
<b>Tableau 2.2 :</b>	Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieures pour les versants de toiture (sens V1).	30
<b>Tableau 2.3 :</b>	Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieures pour les parois verticales (sens V2).	31
<b>Tableau 2.4 :</b>	Les surfaces des zones pour les versants de toiture (sens V2).	31
<b>Tableau 2.5 :</b>	Les coefficients de pression extérieures pour les versants de toiture (sens V2).	32
<b>Tableau 2.6 :</b>	Valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales (sens V1).	33
<b>Tableau 2.7 :</b>	Valeurs de la pression aérodynamique sur la toiture (sens V1).	33
<b>Tableau 2.8 :</b>	Valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales (sens V2)	34
<b>Tableau 2.9 :</b>	Valeurs de la pression aérodynamique sur la toiture (sens V2).	35
<b>Tableau 2.10 :</b>	Valeurs Des forces horizontales et verticales (vent agissant sur le long pan)	38
<b>Tableau 2.11:</b>	Valeurs Des forces horizontales et verticales (vent agissant sur le pignon)	39
<b>Tableau 3.1:</b>	Caractéristiques géométriques de l'YPE 160	50
<b>Tableau 3.2:</b>	Caractéristiques géométriques de l'UPN 160	63
<b>Tableau 3.3:</b>	Caractéristiques géométriques de l'YPE 330	76
<b>Tableau 3.4:</b>	Coefficients minorateurs $\beta_2$ et $\beta_3$	83
<b>Tableau 4.1 :</b>	Caractéristiques du pont roulant.	88
<b>Tableau 4.2 :</b>	Caractéristiques géométriques du pont roulant.	89
<b>Tableau 4.3 :</b>	Coefficient et classement des ponts roulants.	89
<b>Tableau 4.4:</b>	Caractéristiques géométriques du rail.	92
<b>Tableau 4.5 :</b>	Caractéristiques du profilé HEA500.	93
<b>Tableau 4.6 :</b>	Caractéristiques du profilé IPE360.	100
<b>Tableau 5.1 :</b>	Récapitulatif des éléments utilisés	104
<b>Tableau 5.2:</b>	Caractéristiques du profilé IPE 360	108
<b>Tableau 5.3:</b>	Caractéristiques du profilé HEA 400	113

## Liste de tableaux

<b>Tableau 5.4 :</b>	Caractéristiques du profilé CAE (50x5)	117
<b>Tableau 5.5 :</b>	Caractéristiques du profilé UPN 120.	118
<b>Tableau 5.6:</b>	Caractéristiques du profilé HEA 240.	120
<b>Tableau 5.7 :</b>	Extrêmes globaux des Déplacements avec charge de vent	124
<b>Tableau 5.8 :</b>	Extrêmes globaux des Déplacement sans charge de vent.	124
<b>Tableau 5.9 :</b>	Récapitulatif des éléments adoptés	125
<b>Tableau 6.1:</b>	Caractéristiques du profilé HEA120.	163
<b>Tableau 7.1 :</b>	Extrêmes globaux des efforts à l'ELS et l'ELU.	165

# Glossaire

## Charges :

**G** : Charges permanentes.

**Q** : Surcharge d'exploitations.

**g** : Charge permanente uniformément répartie

**q** : Charge d'exploitation uniformément répartie

**E** : Charge d'entretien.

**V** : Surcharge climatique du vent.

**F<sub>fr</sub>** : Force de frottement.

## Solicitations

**Q<sub>y.Sd</sub>** : Charges appliquées dans le plan perpendiculaire à l'âme.

**Q<sub>z.Sd</sub>** : Charges appliquées dans le plan de l'âme.

**M<sub>y.Sd</sub>** : Moment fléchissant de calcul autour de l'axe yy causé par la charge **Q<sub>z.Sd</sub>**.

**M<sub>z.Sd</sub>** : Moment fléchissant de calcul autour de l'axe yy causé par la charge **Q<sub>y.Sd</sub>**.

**M<sub>cr</sub>** : Moment critique élastique de déversement.

**N<sub>Sd</sub>** : Effort normal.

**V<sub>y.Sd</sub>** : Effort tranchant dans le plan de la semelle.

**V<sub>z.Sd</sub>** : Effort tranchant dans le plan de l'ame.

**N<sub>t.Rd</sub>** : Résistance de calcul de la section à la traction.

**N<sub>pl.Rd</sub>** : Résistance plastique de la section brute.

**N<sub>u.Rd</sub>** : résistance ultime de la section nette au droit des trous de fixations .

**N<sub>c.Rd</sub>** : Effort de résistance à la compression .

**V<sub>pl.Rd</sub>** :résistance de la section à l'effort tranchant .

**M<sub>c.Rd</sub>** : Moment fléchissant de résistance .

**M<sub>ely.Rd</sub>** : Moment fléchissant de résistance élastique suivant yy.

**M<sub>elz.Rd</sub>** : Moment fléchissant de résistance élastique suivant zz.

**M<sub>ply.Rd</sub>** : Moment fléchissant de résistance plastique suivant yy.

**M<sub>plz.Rd</sub>** : Moment fléchissant de résistance plastique suivant zz.

## Glossaire

$M_{b.Rd}$  : Moment fléchissant de résistance au déversement .

$M_{v.Rd}$  : Moment fléchissant de résistance plastique réduit compte tenu de l'effort tranchant.

$M_{Ny.Rd}$  : Moment fléchissant de résistance plastique suivant yy réduit sous l'effet de l'effort normal.

$M_{Nz.Rd}$  : Moment fléchissant de résistance plastique suivant zz réduit sous l'effet de l'effort normal.

$F_p$  : Effort de précontrainte dans un boulon.

### Caractéristique du matériau :

$E$  : Module d'élasticité longitudinale.

$F_y$  : Limite élastique du matériau.

$F_u$  : Limite à la rupture du matériau ou résistance à la traction minimale spécifiée.

$\nu$  : Coefficient de poisson.

$G_c$  : module de cisaillement

### Contrainte-Déformation :

$q_p$  : Pression dynamique de pointe.

$q_{réf}$  : pression dynamique moyen de référence.

$W$  : pression aérodynamique.

$F_w$  : force aérodynamique résultante.

$G$  : Module d'élasticité transversale de l'acier

$f_y$  : Flèche suivant yy.

$f_z$  : Flèche suivant zz.

$f_{ub}$  : Contrainte de rupture d'un boulon.

$\epsilon$  : (**epsilon**) Déformation linéaire unitaire.

$\epsilon_y$  : Déformation correspondant à la limite d'élasticité.

$\sigma$  : (**sigma**) Contrainte normale.

$\sigma_K$  : Contrainte critique d'Euler.

$\tau$  : (**tau**) Contrainte tangentielle ou de cisaillement.

# Glossaire

## Caractéristique Géométriques des sections :

**A** : Section brute d'une pièce ( $\text{cm}^2$ ).

**A<sub>net</sub>** : Section nette d'une pièce ( $\text{cm}^2$ ).

**A<sub>v</sub>** : Aire de cisaillement ( $\text{cm}^2$ ).

**A<sub>w</sub>** : Section de l'âme d'une pièce ( $\text{cm}^2$ ).

**A<sub>s</sub>** : Section résistante de la tige d'un boulon en fond de filet ( $\text{cm}^2$ ).

**I<sub>T</sub>** : Moment d'inertie de torsion ( $\text{cm}^4$ ).

**I<sub>w</sub>** : Facteur de gauchissement d'une section ( $\text{cm}^4$ ).

**I<sub>y</sub>** : Moment d'inertie de flexion maximal suivant l'axe yy ( $\text{cm}^4$ ).

**I<sub>z</sub>** : Moment d'inertie de flexion minimal suivant l'axe zz ( $\text{cm}^4$ ).

**W<sub>ely</sub>** : Module de résistance élastique de la section suivant l'axe yy ( $\text{cm}^4$ ).

**W<sub>elz</sub>** : Module de résistance élastique de la section suivant l'axe zz ( $\text{cm}^4$ ).

**W<sub>ply</sub>** : Module de résistance plastique de la section suivant l'axe yy ( $\text{cm}^3$ ).

**W<sub>piz</sub>** : Module de résistance plastique de la section suivant l'axe zz ( $\text{cm}^3$ ).

**a** : Épaisseur utile (ou gorge) d'un cordon de soudure (mm).

**b** : Largeur d'une semelle de poutre (cm).

**d<sub>0</sub>** : Diamètre nominal des tiges des boulons (cm).

**h** : Hauteur d'une pièce en général (mm, cm).

**i** : Rayon de giration d'une section (mm, cm).

**l** : Longueur en général ou portée d'une poutre (mm, cm, m).

**l<sub>y</sub>** : Longueur de flambement suivant l'axe yy (mm, cm, m).

**l<sub>d</sub>** : Longueur de déversement d'une poutre (mm, cm, m).

**l<sub>z</sub>** : Longueur de flambement d'une poutre suivant zz (mm, cm, m).

**l, l<sub>0</sub>** : Longueur de l'élément.

**L** : Longueur de flambement latérale (pour le déversement) .

**R** : Rigidité d'une barre ( $\text{cm}^3$ ).

**t** : Épaisseur d'une pièce ou d'une tôle (mm, cm).

**t<sub>f</sub>** : Épaisseur d'une semelle de poutre (mm, cm).

**t<sub>w</sub>** : Épaisseur d'une âme de poutre (mm, cm).



## Glossaire

$\emptyset$  : Diamètre d'une section transversale (cm<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup>).

P : Poids propre.

### Coefficients et Grandeurs sans Dimensions

$C_e$  : Coefficient d'exposition aux vents.

$C_t$  : Coefficient topographique.

$C_r$  : Coefficient de rugosité.

$I_v$  : Intensité de turbulence.

$K_T$  : Facteur de terrain.

$C_{pe}$  : coefficient de pression extérieur.

$C_{pi}$  : coefficient de pression intérieur.

$K$  : Coefficient d'encastrement ou de rigidité poteau/poutre.

$k_s$  : Coefficient de dimension des trous perçage pour boulons.

$k_y$  et  $k_z$  : Coefficient de flambement flexion.

$k_\tau$  : Coefficient de voilement par cisaillement

$n = N / N_{pl}$  : ou nombre de boulons

$\beta_M$  : Facteur de moment uniforme équivalent (flambement)

$\beta_w$  : Facteur de corrélation (soudures)

$\epsilon$  : (**epsilon**) Coefficient de réduction élastique de l'acier

$\eta$  : (**êta**) Facteur de distribution de rigidités (flambement)

$\lambda$  : (**lambda**) Élancement.

$\bar{\lambda}$  : (**lambda barre**) Élancement réduit vis-à-vis du flambement .

$\lambda_{lim}$  : (**lambda limite**) Élancement limite .

$\lambda_{cr}$  : Élancement critique d'Euler

$\lambda_k$  : Élancement eulérien

$\lambda$  : Élancement réduit

$\lambda_{LT}$  : Élancement de déversement.

$\lambda_w$  : Élancement de l'âme d'un poutre

$\mu$  : (**mu**) Coefficient de frottement

## Glossaire

$\rho$  :(**rho**) Rendement d'une section

$\chi$  :(**chi**) Coefficient de réduction de flambement

$\chi_{LT}$  : Coefficient de réduction de déversement.

$\Psi$  : Coefficient de distribution de contraintes (**psi**).

### Base des poteaux :

$\beta_j$  :Coefficient du matériau de scellement.

**C** : Largeur d'appuis additionnelle pour les plaques d'assises.

**f<sub>jd</sub>**: Résistance de calcul a l'écrasement du matériau de scellement.

**f<sub>ck</sub>** :Résistance de béton à la compression.

**f<sub>cd</sub>** : Résistance de calcul à l'écrasement du béton.

**F<sub>v,Rd</sub>** : Résistance de calcul au cisaillement de scellement de la plaque d'assise du poteau.

Étant au crépuscule de notre formation académique (deuxième année master génie civil spécialité structure) -Université Abderrahmane Mira de Béjaïa-. Nous songeons à étudier un hangar afin de se confronter aux contraintes techniques du domaine professionnel, appliquer nos acquis théoriques et accroître notre esprit d'analyse.

Le hangar assujetti est destiné à divers usages, son ossature est entièrement métallique.

Les ossatures métalliques se distinguent par certains avantages tel que :

-La légèreté et le montage rapide et la facilité des transformations, c'est la raison pour laquelle ce hall a été conçu en charpente métallique.

Cependant ce matériau présente aussi quelques inconvénients qui sont principalement, la corrosion et sa faible résistance au feu donc une protection de toute la structure est indispensable.

Dans ce présent projet de fin d'étude (PFE), tous les calculs et dimensionnements sont régis par les différents documents techniques réglementaires (DTR) utilisés en Algérie.

# CHAPITRE 01 :

# Généralités

## 1.1 Présentation du projet :

Le présent projet est composé de deux hangars en charpente métallique séparés par un joint de rupture en raison de la nature différente de ces deux derniers.(présence d'un pont roulant dans un des deux hangar) .

**BREVE DESCRIPTION :** -Un premier hangar destiné à héberger des ateliers et les diverses commodités, doté d'un pont roulant d'une capacité de **12.5 tonnes**.

- Le deuxième hangar -avec mezzanine- est à usage de stockage composé de bureaux et de laboratoires.

L'ouvrage en question est situé à ADRAR à 1 KM de la RN n°1 en allant la ville de REGGANE.

Notre travail consiste à étudier et dimensionner le hangar doté d'un pont roulant.

### 1.1.1 Données géométriques de la structure :

Le hangar a une forme rectangulaire en plan, double versant et de **768.345 m<sup>2</sup>** de surface.

- Longueur : **42.45 m**.
- Largeur: **18.10 m**.
- Hauteur totale (au faitage) : **10.50 m**.
- La hauteur des poteaux : **9.00 m**.
- La hauteur la toiture : **01.50 m**.
- La pente du versant : **9,41 ° – 16.5% –**

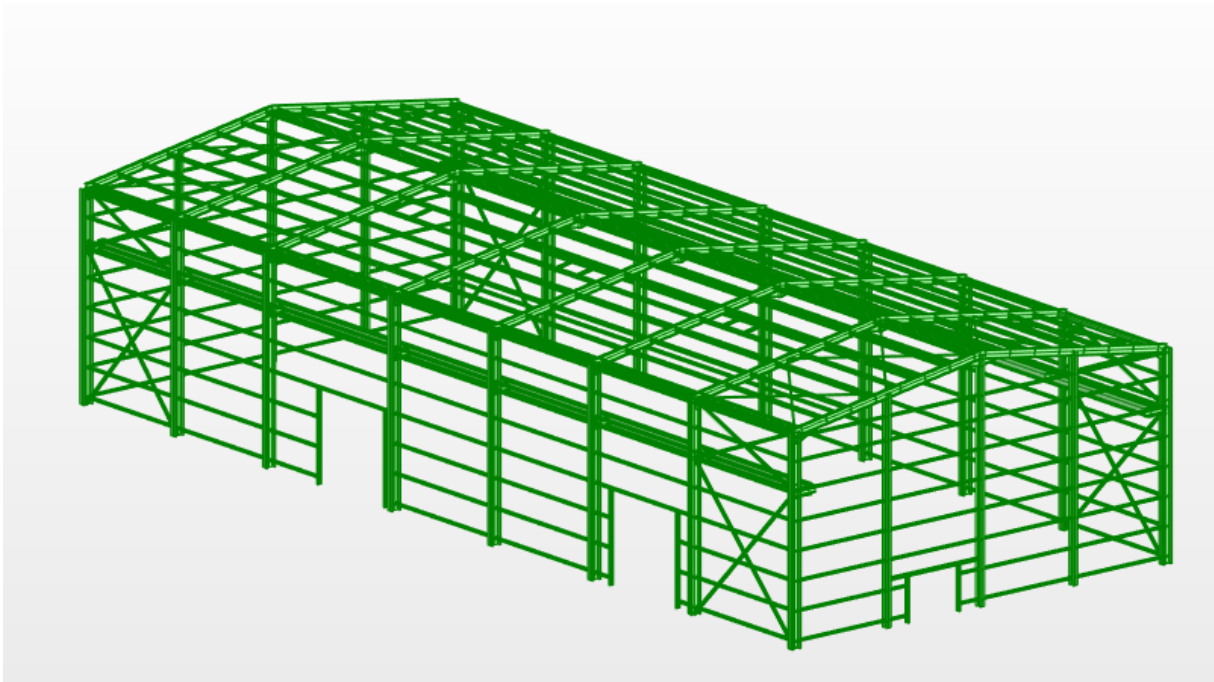


Figure 1.1 : Vue 3D de l'ouvrage.

### 1.1.2 Localisations et diverses données du site :

Le projet est implanté dans un terrain sableux avec une épaisseur dépassant les 03 mètres.

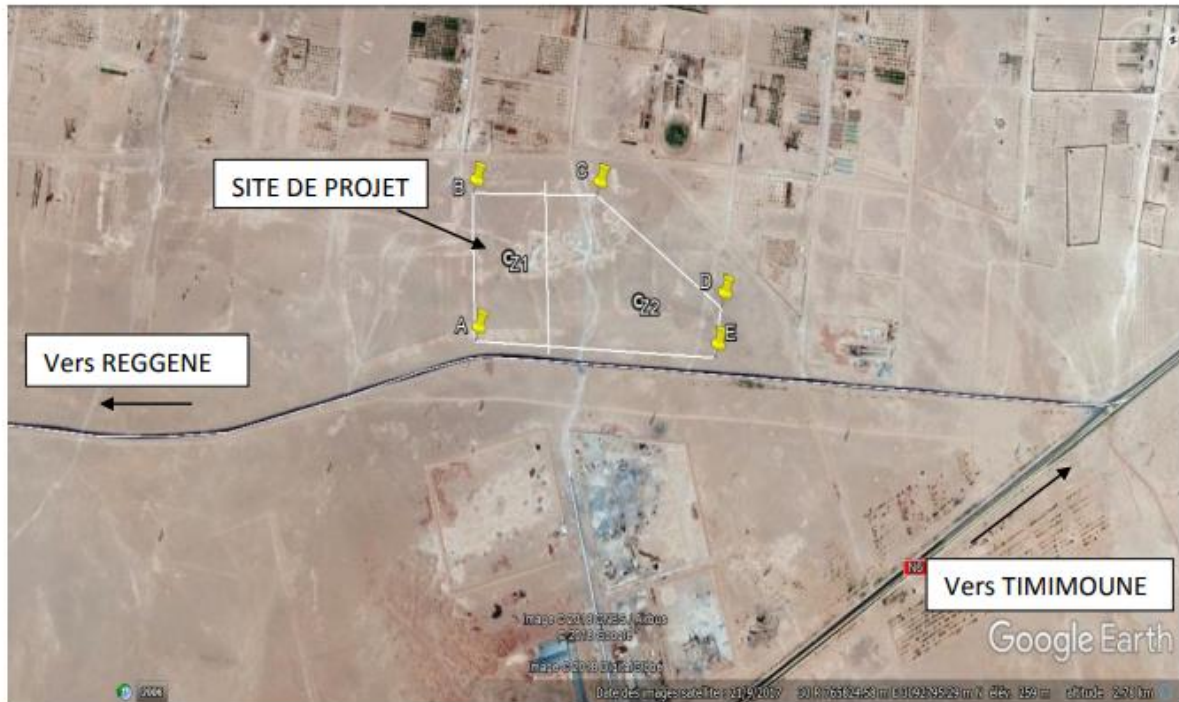


Figure 1.2 : Localisation du site du projet.

- La contrainte admissible du sol: **02 bars**. [Le terrain d'assise sur le quel reposera le hangar est égale à deux bars ]
- Altitude: **279 m**. [Données G.P.S]
- Zone de vent : **Zone 3**. [Tableau A.2 ; D.T.R C 2-4.7 page 34]
- Zone de sable : **Zone D**. [Tableau 5 ; D.T.R C 2-4.7 page 34]
- Zone de neige : **Zone D**. [Annexe 1 ; D.T.R C 2-4.7 page 36]
- Zone sismique : **Zone 0**. [Figure 3.1 page 23 D.T.R.-B C 2.48]

#### Données topographiques du site :

Le terrain réservé à ce projet est caractérisé par un terrain sub-accidenté avec une pente douce de direction S-N.

### 1.2 Règlements techniques:

- CCM97, [D.T.R.-B.C.-2.44] : Règlement de calcul algérien des constructions en acier.
- RPA 99 version 2003 ; [D.T.R.-B.C.-2.48] : Règlement parasismique Algérienne version 2003.
- RNV99 version 2013 ; [D.T.R.-C 2-4.7] : Règle définissant les efforts de la neige et du vent.
- DTR B.C.2.2 : Document technique règlement des charges permanentes et surcharges d'exploitations.

## 1.3 Matériaux utilisés :

### 1.3.1 L'acier :

L'acier est un matériau issu de la réduction du minerai de fer ou du recyclage de ferrailles. Le fer est un élément très répandu dans l'écorce terrestre dont il représente 5% mais on ne le trouve pas à l'état pur. Il est combiné avec d'autres éléments et mêlé à une gangue terreuse.

- Module d'élasticité :  $E = 210000 \text{ MPa}$
- La limite d'élasticité :  $F_y = 275 \text{ MPa}$
- La résistance à la traction :  $f_u = 430 \text{ MPa}$
- Poids volumique :  $\rho_a = 7850 \text{ KG/ m}^3$
- Module de cisaillement :  $G = 8 \times 10^4 \text{ MPa}$
- Le coefficient de poisson :  $\nu = 0,3$
- Coefficient de dilatation thermique :  $\alpha = 12 \times 10^{-6}$  à  $20^\circ \text{ Celsius}$ . [Zone D3 selon Annexe E CCM97]

#### 1.3.1.1 Ductilité :

L'acier de construction choisi doit satisfaire les conditions suivantes :

- La contrainte à la rupture en traction  $f_u$  doit être supérieur à 20% au moins à la limite d'élasticité  $f_y$
- L'allongement à la rupture  $\epsilon_u$  doit être supérieur à 15%
- L'allongement à la rupture  $\epsilon_u$  (correspondant à  $f_u$ ) doit être supérieur à 20 fois l'allongement  $\epsilon_y$  (correspondant à  $f_y$ ).

### 1.3.2 Le béton :

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulats, de sable, et d'eau aggloméré par un liant hydraulique (ciment), sa composition diffère selon la résistance voulue.

#### 1.3.2.1 Caractéristiques du béton :

- Résistance à la compression:  $F_{c28} = 25 \text{ MPa}$ .
- Résistance à la traction: :  $F_{t28} = 2.1 \text{ MPa}$ .
- Poids Volumique:  $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$ .

## 1.4 Les assemblages :

Un assemblage est un dispositif qui permet de retenir et 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.

### 1.4.1 Le boulonnage:

Le boulonnage est le moyen d'assemblage le plus utilisé en construction métallique du fait de sa facilité de mise en œuvre et des possibilités de réglage qu'il ménage sur site. On distingue deux types, boulons ordinaire et boulons Haute Résistance.

### 1.4.2 Le soudage :

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

## 1.5 Conception structurale:

### 1.5.1 Structures verticale (les façades) :

Les façades extérieures sont réalisées en panneaux sandwichs fixés aux lisses de bardages.

#### 1) Le long pan :

- Deux volets roulants de  $(4 \times 4) \text{ m}^2$
- Sept fenêtres de  $(0.5 \times 2) \text{ m}^2$ .

#### 2) Le pignon :

##### Façade 1 :

- Une porte  $(2 \times 2.5) \text{ m}^2$ .

##### Façade 2 :

- Quatre fenêtres  $(0.8 \times 0.8) \text{ m}^2$ .

### 1.5.2 Structure horizontale (les toitures) :

La toiture est à deux versants :

- Huit traverses avec un espacement maximal de 7,5 m et 18.10 m de portée.
- Des pannes supportant les panneaux sandwich.
- Des contreventements (poutres aux vent) pour rigidifier la toiture.
- Quatre extracteurs répartis sur un seul versant (fonctionnant par intermittence).



# CHAPITRE 02 :

# Étude

# climatique

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

### Introduction :

Ayant le projet implanté en zone 0 (sismicité négligeable), le vent est le risque majeur encourut par notre structure.

L'action du vent sera simulée dans les quatre directions orthogonales.

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

#### RNV99-version 2013.

Les actions du vent appliquées aux parois dépendent de :

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

L'effet du vent par unité de surface est donné par la formule suivante :

$$W_j = q_p \times C_d \times [C_{pe} - C_{pi}] \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$q_p$  : Pression dynamique de pointe.

$C_d$  : Coefficient dynamique.

$C_{pe}$  : Coefficient de pression extérieur.

$C_{pi}$  : Coefficient de pression intérieur.

### 2.1 Données relatives au site :

Le site du projet se trouve à REGGANE, willaya d'ADRAR (Annexe A.2)

- Zone III :  $q_{réf} = 500 \text{ N/m}^2$  [Tableau 2 .2 page 50 RNV 2013]
- Catégorie II, ( $K_T = 0,190, z_0 = 0.05\text{m}, z_{min} = 2\text{m}$ ) [Tableau 2.4 page 53 RNV 2013]
- Le coefficient de rugosité  $C_r = 01.016$  [2.3 page 53 RNV 2013]
- Nature du site : (Plat ; -pente douce-) :  $C_t = 1$  [2.4 page 54 RNV 2013]
- Intensité de turbulence :  $I_v = 0.187$  [formule (a) 2.5 page 57]

### 2.2 Coefficient dynamique :

Le coefficient dynamique  $C_d$  dépend de la hauteur et la largeur de la structure.

La structure du bâtiment étant une structure métallique, dont la hauteur inférieure à 15m (10.50 m), On prend :  $C_d = 1$  [3.2 page 62 RNV 2013]

### 2.3 Pression dynamique de pointe $q_p$ :

$$q_p(z_j) = q_{réf} \times C_e(z_j) \text{ [N/m}^2\text{]} \text{ [Formule 2.1 page 50 RNV 2013]}$$

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

$q_{réf}$  : La pression dynamique de référence pour les constructions permanentes, donnée en fonction de la zone du vent.

$C_e$  : Coefficient d'exposition au vent dépend du coefficient de rugosité( $C_r$ ), et du Coefficient de topographie( $C_t$ ).

$$C_{e(z)} = C_{t(z)}^2 \times C_{r(z)}^2 \times [1 + 7I_v(z)] \quad [2.2 \text{ page 51 RNV 2013}]$$

$Z_j$ : Hauteur de référence:  $Z_j = 10.50 \text{ m}$  [Figure 2.1 page 51 RNV 2013]

### 2.4 Coefficient de rugosité ( $C_r$ ) :

Le coefficient de rugosité traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent.

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{r(z)} = K_t \times \ln \left( \frac{z}{Z_0} \right) ; \quad z_{\min} \leq z \leq 200\text{m} \\ C_{r(z)} = K_t \times \ln \left( \frac{z_{\min}}{Z_0} \right) ; \quad z < z_{\min} \end{array} \right. \quad [\text{Formule 2.3 page 53 RNV 2013}]$$

On a :

$$z=10.50\text{m}; z_{\min} = 2 \text{ m pour } z_{\min} \leq z \leq 200\text{m}$$

$$\rightarrow C_{r(z)} = 01.016$$

### 2.5 L'intensité de turbulence $I_v$ :

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

$$I_{v(z)} = \frac{1}{C_t(z) \times \ln \left( \frac{z}{Z_0} \right)} \quad z > z_{\min} \quad [\text{Formule (a) 2.5 page 57 RNV 2013}]$$

$$\rightarrow I_{v(z)} = 0.187$$

### 2.6 Coefficient d'exposition ( $C_e$ ) :

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

En outre, il tient compte de la nature turbulente du vent.  $C_e(z)$  est donnée par :

$$C_{e(z)} = C_{t(z)}^2 \times C_{r(z)}^2 \times [1 + 7I_v(z)]$$

$$C_{e(z)} = 2.383$$

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

$$\rightarrow q_p(z) = 1191.7 \text{ N/m}^2$$

### 2.7 Coefficient de pression extérieur $C_{pe}$ :

Le coefficient de pression extérieur  $C_{pe}$  dépend de la forme géométrique de la base de la structure, et de la dimension de la surface chargée.

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

**N.B :** Conformément à l'article 5.1.1.2 page 80 RNV 2013 les valeurs du  $C_{pe}$  s'obtiennent à partir des formules suivantes :

$$C_{pe} = C_{pe.1} \quad S \leq 1\text{m}^2$$

$$C_{pe} = C_{pe.10} + (C_{pe.10} - C_{pe.1}) \times \log_{10}(S) \quad 1\text{m}^2 \leq S \leq 10\text{m}^2$$

$$C_{pe} = C_{pe.10} \quad S \geq 10\text{m}^2$$

**SENS  $V_1$  ( $\Theta=0^\circ$ ) : SUR LE LONG PAN :**

#### Parois verticales :

Pour cette direction du vent, les dimensions sont les suivantes :

- $b = 42.45 \text{ m}$
- $d = 18.10 \text{ m}$
- $h = 10.50 \text{ m}$
- $e = \min(b, 2h) = 21 \text{ m}$

$$\rightarrow e = 21 \text{ m} > d = 18.10 \text{ m}.$$

Conformément à l'article 5.1.2 page 80 (RNV 2013), il convient de diviser les parois de cette manière :

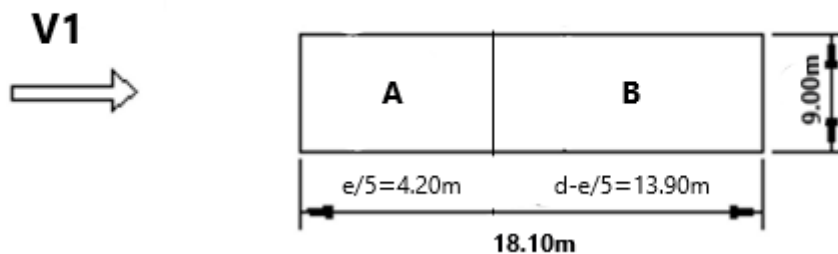


Figure 2.1 : Zones de vent pour les parois verticales (sens  $V_1$ ) .

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieure pour les parois verticales sont présentés dans le tableau suivant :

PAROIS	Parois latérales		Parois au vent	Parois sous le vent
	A'	B'	D	E
Surface (m <sup>2</sup> )	37.8	125.10	382.05	382.05
C <sub>pe</sub>	-1	-0.8	+0.8	-0.3

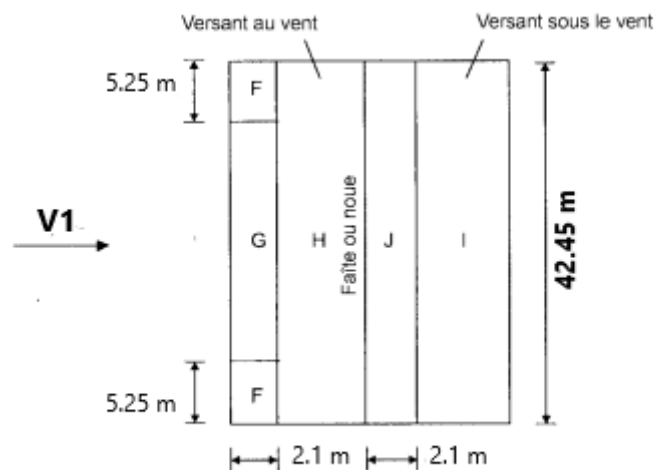
**Tableau 2.1** Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieures pour les parois verticales (sens V1).

### Toiture :

Pour cette direction du vent, les dimensions sont les suivantes :

- $b = 42.45 \text{ m}$
- $d = 18.10 \text{ m}$
- $h = 10.5 \text{ m}$
- $e = \min(b, 2h) = 21 \text{ m}$

Les zones pour les versants de toitures et les coefficients de pression extérieure qui y sont attachées, sont définies dans le **RNV2013 Chapitre 5, §5.1.5**, le cas d'une toiture à deux versants est celui de notre projet.



**Figure 2.2:** Zones de vent pour les versants de toiture (SensV1).

Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieure pour les versants de toiture sont présentés dans le tableau suivant :

Angle de pente $\alpha=9.41^\circ$					
Zone	F	G	H	J	I
Surface (m <sup>2</sup> )	11.025	67.095	295.0275	89.145	295.0275
C <sub>pe</sub>	-1.35	-1.02	-0.468	-0.776	-0.512

Tableau 2.2 Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieures pour les versants de toiture (sens V1).

NB : Les valeurs des coefficients de pression extérieures sont déterminées par une interpolation linéaire entre les deux valeurs de même Signe pour  $\alpha_0=5^\circ$  et  $\alpha_1=15^\circ$  tirées du tableau 5.4 page 87 (RNVA2013).

$$\text{Formule d'interpolation : } F(x) = F(x_0) + \frac{F(x_1)-F(x_0)}{x_1-x_0} \times (x - x_0)$$

**Sens V<sub>2</sub> et V<sub>4</sub>( $\theta=90^\circ$ ) SUR LE PIGNON :**

**Parois Verticales :**

Pour cette direction du vent, les dimensions sont les suivantes :

- b = 18.10 m
- d = 42.45m
- h = 9.00 m
- e = min (b, 2h) = 18.10m

→ e = 18.10 < d = 42.45m.

Conformément à l'article 5.1.2 page 80 (RNV 2013, il convient de diviser les parois de cette manière :

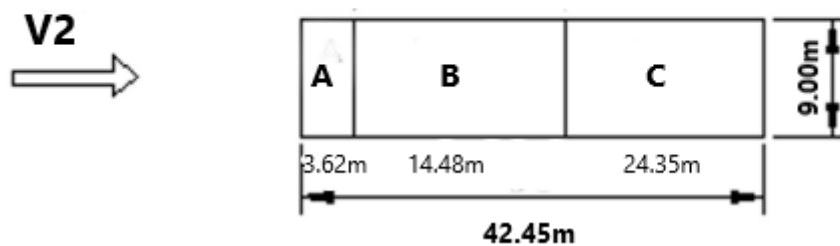


Figure 2.3 : Zone de vent pour les parois verticales (sensV2) .

Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieure pour les parois verticales sont présentés dans le tableau suivant

	Parois latérales			Paroi au vent	Paroi sous le vent
Parois	A	B	C	D	E
Surface (m <sup>2</sup> )	32.58	130.32	219.15	162.9	162.9
C <sub>pe</sub>	-1	-0.8	-0.5	+0.8	-0.3

Tableau 2.3 Les surfaces des zones et Les coefficients de pression extérieures pour les parois verticales  
Sens V2

**Toiture :**

Pour cette direction du vent, les dimensions sont les suivantes :

- b = 18.10 m
- d = 42.45m
- h = 10.5 m
- e = min (b, 2h) = 18.10m

Les zones pour la toiture et les coefficients de pression extérieure qui y sont attachées, sont définies dans le RNV2013 Chapitre 5, §5.1.5, le cas d’une toiture à deux versants est celui de notre projet

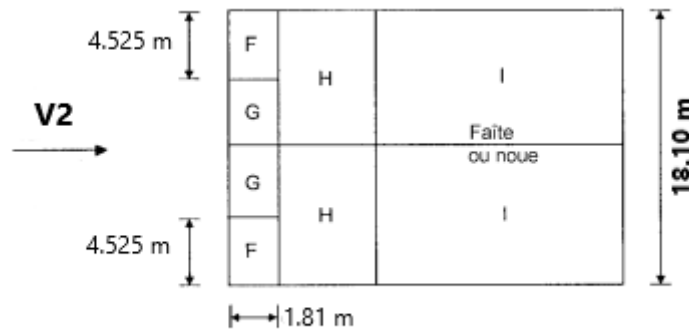


Figure 2.4: Zone de vent pour les versants de toiture (sensV2) .

Les surfaces des zones pour les versants de toiture sont présentées dans le tableau suivant :

Zone	F	G	H	I
S (m <sup>2</sup> )	08.19	08.19	65.52	302.27

Tableau 2.4 Les surfaces des zones pour les versants de toiture (sens V2).

Conformément à l’article 5.1.1.2 page 80 (RNV 2013). Les valeurs des C<sub>pe</sub> s’obtiennent selon la formule (5.1) page 80.

Angle de pente $\alpha=9.41^\circ$				
Zone	F	G	H	I
$C_{pe.1}$	-02.11	-02.00	-01.2	-0.556
$C_{pe.10}$	-01.47	-01.30	-0.656	-0.556

Zone	F	G	H	I
$C_{pe}$	-01.53	-01.36	-0.656	-0.556

Tableau 2.5 Les coefficients de pression extérieures pour les versants de toiture (sens V2).

NB: Les valeurs des coefficients de pression extérieures sont déterminées par une interpolation linéaire entre les deux valeurs de même Signe pour  $\alpha_0=5^\circ$  et  $\alpha_1=15^\circ$  tirées du tableau 5.4 page 87 (RNV2013).

$$\text{Formule d'interpolation : } F(x) = F(x_0) + \frac{F(x_1)-F(x_0)}{x_1-x_0} \times (x - x_0)$$

## 2.8 Coefficient de pression intérieur :

Vérification de la présence d'une face dominante conformément à l'article 5.2.1.4 page 96 RNV 2013.

$$\text{Face 01 } (\Theta=0^\circ) : \frac{39}{21.56} = 01.81 < 2$$

⇒ Absence de face dominante dans la structure.

Calcul de l'indice de perméabilité :

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

Sens  $V_1$  ( $\Theta=0^\circ$ ) :

$$\mu_p = 0.356$$

$$\frac{h}{d} = \frac{09}{18.10} = 0.497$$

D'après la figure 5.14 page 97 RNV2013.

$$0.25 < \frac{h}{d} < 1 \Rightarrow \text{Par Interpolation linéaire} \Rightarrow C_{pi} = \mathbf{0.270}$$

Calcul de la pression aérodynamique du vent :

a) Parois verticales :

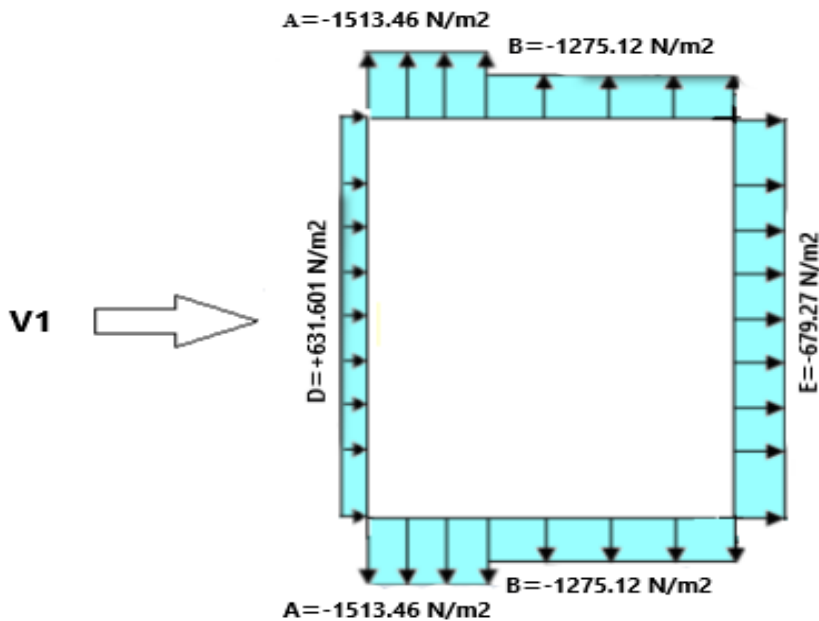


Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après :

Zone	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$[C_{pe}-C_{pi}]$	$W(z)$ [N/m <sup>2</sup> ]
A	-0.1	0.270	-1.27	<b>-1513.46</b>
B	-0.8	0.270	-1.07	-1275.12
D	+0.8	0.270	0.53	631.601
E	-0.3	0.270	-0.57	-679.27

**Tableau 2.6:** Valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales ( sens V1).

Les valeurs de  $W(z)$  (N/m<sup>2</sup>) sont représentées dans la figure suivante :



**Figure 2.5 :** La répartition de la pression aérodynamique sur les parois verticales, cas de vent dans le sens V1.

**b) Versants de toiture :**

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

Zone	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$[C_{pe}-C_{pi}]$	$W(z)$ [N/m <sup>2</sup> ]
F	-0.1.35	0.270	-1.62	<b>-1930.55</b>
G	-0.1.02	0.270	-1.29	-1537.293
H	-0.468	0.270	-0.738	-879.474
I	-0.512	0.270	-0.782	-931.91
J	-0.776	0.270	-1.05	-1251.285

**Tableau 2.7 :** valeurs de la pression aérodynamique sur la toiture( sens V1).

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

Les valeurs de  $W(z)$  (N/m<sup>2</sup>) sont représentées dans la figure suivante :

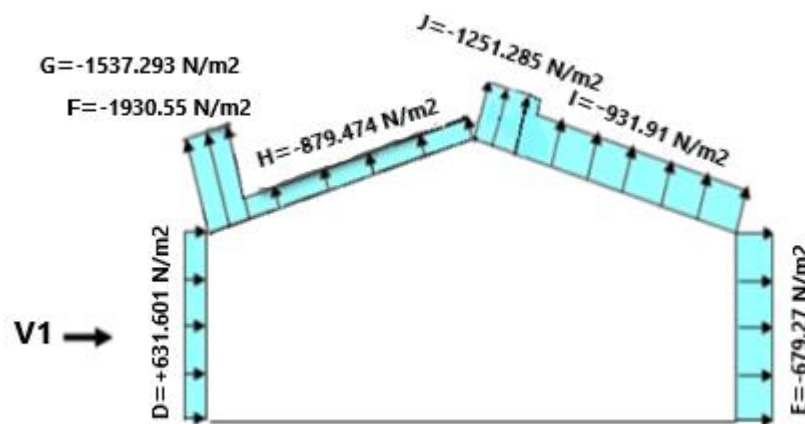


Figure 2.6: La répartition de la pression aérodynamique sur la toiture, cas de vent dans le sens V1.

Sens V2 ( $\theta=90^\circ$ ) :

$$\mu_p = 0.917$$

$$\frac{h}{d} = 0.21 < 0.25$$

D'après la figure 5.14 page 97 RNV 2013:  $C_{pi} = -0.3$ .

Calcul de la pression aérodynamique du vent :

a) Parois verticales :

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après

Zone	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$[C_{pe}-C_{pi}]$	$W(z)$ [N/m <sup>2</sup> ]
A	-0.1	-0.3	-0.7	-834.19
B	-0.8	-0.3	-0.5	-595.85
C	-0.5	-0.3	-0.2	-238.39
D	+0.8	-0.3	0.1.1	<b>1310.87</b>
E	-0.3	-0.3	0	0

Tableau 2.8 : Valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales (sens V2).

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

Les valeurs de  $W(z)$  ( $N/m^2$ ) sont représentées dans la figure suivante :

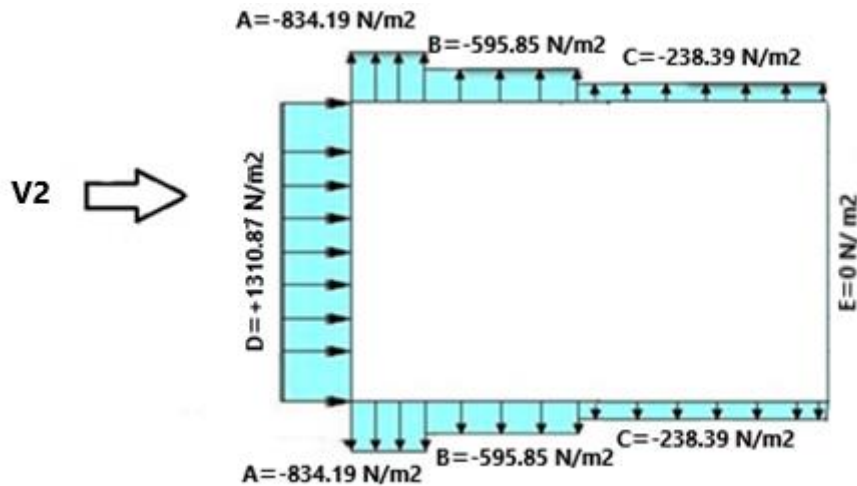


Figure 2.7 : La répartition de la pression aérodynamique sur les parois verticales, cas de vent dans le sens V2.

### b) Versants de toiture :

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après.

Zone	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$[C_{pe}-C_{pi}]$	$W(z)$ [ $N/m^2$ ]
F	-1.53	-0.3	-1.23	<b>-1465.79</b>
G	-1.36	-0.3	-1.06	-1263.20
H	-0.656	-0.3	-0.356	-424.25
I	-0.556	-0.3	-0.256	-305.07

Tableau 2.9 : valeurs de la pression aérodynamique sur la toiture ( sens V2).

Les valeurs de  $W(z)$  ( $N/m^2$ ) sont représentées dans la figure suivante :

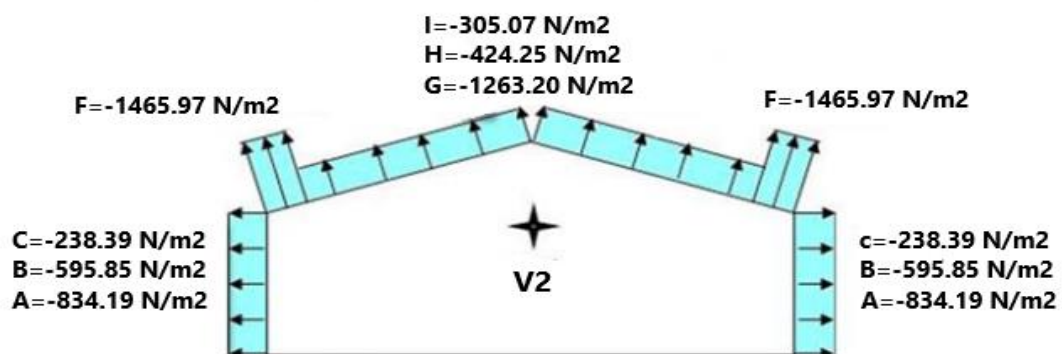


Figure 2.8 : La répartition de la pression aérodynamique sur la toiture, cas de vent dans le sens V2.

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

### 2.9 Forces de frottements :

Conformément à l'article 2.6.3 page 59 :

Surface des parois parallèles au vent :

$$\text{Long Pan} : 42.45 \times 9 \times 2 = 764.10 \text{ m}^2$$

$$\text{Toiture} : 2 \times 09.17 \times 42.45 = 778.533 \text{ m}^2$$

$$\sum \text{Surface des parois parallèle} = 1542.633 \text{ m}^2$$

Surface des parois perpendiculaires au vent :

$$\text{Pignon} : 18.10 \times 9 \times 2 = 325.8 \text{ m}^2$$

$$\text{Toiture} : 9.05 \times 01.50 \times 2 = 27.15 \text{ m}^2$$

$$\sum \text{Surface des parois perpendiculaire} = 352.95 \text{ m}^2$$

$$\frac{\sum \text{Surface des parois parallèle au vent}}{\sum \text{Surface des parois perpendiculaire au vent}} = 04.37 < 04$$

→ L'effet du frottement est pris en compte.

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

**d** : dimension (en m) de la construction parallèle au vent.

**b** : dimension (en m) de la construction perpendiculaire au vent.

**h** : hauteur (en m) de la construction.

La force de frottement  $F_{fr}$  est donnée par la formule suivante :

$$\mathbf{F}_{fr} = \sum (\mathbf{q}_{p(z)} \times \mathbf{C}_{fr} \times \mathbf{S}_{fr})$$

Avec :

**S<sub>fr</sub>**: (En m<sup>2</sup>) l'aire de l'élément de surface considérée.

**q<sub>p(z)</sub>** : (En (N/m<sup>2</sup>)) la pression dynamique du vent à la hauteur h considérée.

**C<sub>fr</sub>**: Le coefficient de frottement pour l'élément de surface considérée.

On a un état de surface très rugueux (nervures) alors  $C_{frj} = 0.04$ . [Tableau 2.8 page 59 RNV2013]

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

Aire de frottement :

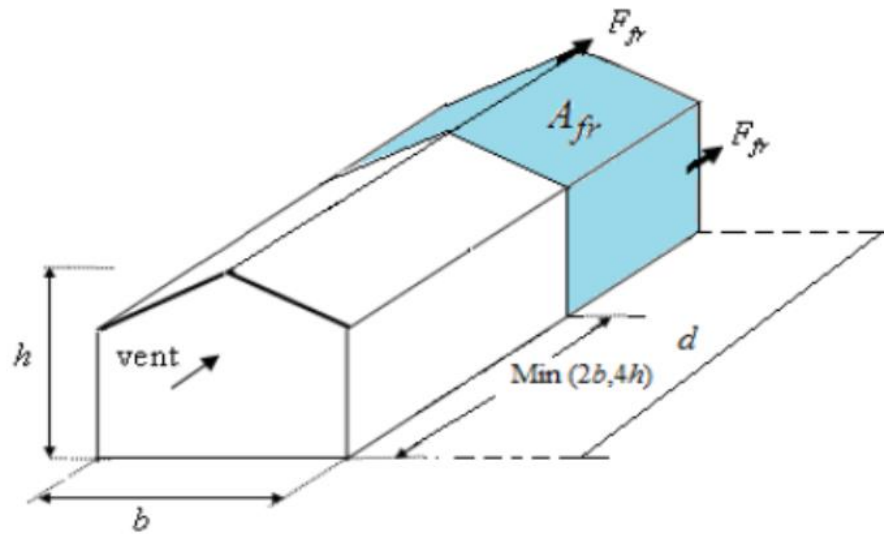


Figure 2.9 : l'aire de l'élément de surface balayé par le vent

Conformément à l'article 2.6.4 page 60, RNV2013

$$\text{Min}(2b, 4d) = 36.10 \text{ m}$$

$$S_{fr} = [(9.17 \times 2) + (2 \times 9)] \times (42.45 - 36.10) = 230.759 \text{ m}^2$$

$$F_{fr} = 230.759 \times 0.04 \times 1191.7 = 10999.82 \text{ N/m}^2$$

### 2.10 Action d'ensemble :

La force résultante R est donnée par :

$$R = \sum(W_{(z)i} \times S_i) + \sum F_{fr}$$

Avec :

$W_{(z)}$  (En  $\text{N/m}^2$ ) : pression statique du vent qui s'exerce sur un élément de surface i

$S_i$  (En  $\text{m}^2$ ) : l'aire de l'élément de surface i

$F_{fr}$  (En N) : les forces de frottements (d entrainement) éventuelles.

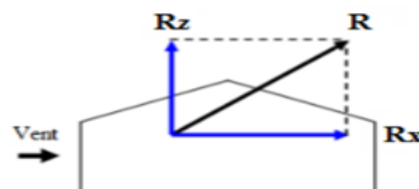


Figure 2.10 : Force résultante FW

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

Valeurs des forces horizontales et verticales :

A. Cas de vent perpendiculaire au long pan (V1) :

Direction du vent ( $\theta = 0^\circ$ ), Pente du versant :  $\alpha = 9.41^\circ$

Calcul des surfaces tributaires de chaque zone : (projection horizontale)

$$\text{ZONE F1 : } S(F_1) = 11.025 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE F2 : } S(F_2) = 11.025 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE G : } S(G) = 67.10 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE H : } S(H) = 295 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE J : } S(J) = 89.10 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE I : } S(I) = 295 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE D : } S(D) = 382.05 \text{ m}^2$$

Zone	Composante horizontales (Kn)	Composante verticale (Kn)
D	$382.05 \times 631.601 = 241.303$	0
E	$-679.27 \times 382.05 = -259.515$	0
F1	$-1930.55 \times 11.025 \times \text{tg}(9.41) = -3.527$	$-1930.55 \times 11.025 = -21.284$
F2	$-1930.55 \times 11.025 \times \text{tg}(9.41) = -3.527$	$-1930.55 \times 11.025 = -21.284$
G	$-1537.293 \times 67.10 \times \text{tg}(9.41) = -17.095$	$-1537.293 \times 67.10 = -103.167$
H	$-879.474 \times 295 \times \text{tg}(9.41) = -42.997$	$-879.474 \times 295 = -259.444$
I	$-931.91 \times 295 \times \text{tg}(9.41) = -45.56$	$-931.91 \times 295 = -274.913$
J	$-1251.285 \times 89.10 \times \text{tg}(9.41) = -18.476$	$-1251.285 \times 89.10 = -111.489$
Total	$R_x = -191.95$	$R_z = -791.581$

Tableau 2.10 : valeurs Des forces horizontales et verticales (vent agissant sur le long pan)

B. Cas de vent perpendiculaire au pignon (V2) :

Direction du vent ( $\theta = 90^\circ$ ), Pente du versant :  $\alpha = 9.41^\circ$

Calcul des surfaces tributaires de chaque zone : (projection horizontale)

$$\text{ZONE F1 : } S(F_1) = 08.19 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE F2 : } S(F_2) = 08.19 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE G : } S(G) = 16.38 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE H : } S(H) = 65.52 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE I : } S(I) = 302.27 \text{ m}^2$$

$$\text{ZONE D : } S(D) = 162.9 \text{ m}^2$$

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

Zone	Composante horizontales (Kn)	Composante verticale (Kn)
D	$1310.87 \times 162.9 = 213.54$	0
E	0	0
F1	0	$08.19 \times -1465.79 \times \cos(9.41) = -11.843$
F2	0	$08.19 \times -1465.79 \times \cos(9.41) = -11.843$
G	0	$08.19 \times -1263.20 \times \cos(9.41) = -10.206$
H	0	$65.52 \times -424.25 \times \cos(9.41) = -27.422$
I	0	$302.27 \times -305.07 \times \cos(9.41) = -90.97$
F <sub>fr</sub>	10.99	/
Total	R <sub>y</sub> =213.54	R <sub>z</sub> =-152.284

Tableau 2.11 : valeurs Des forces horizontales et verticales (vent agissant sur le pignon)

Calcul de stabilité d'ensemble :

A. Stabilité transversal (grande face au vent) :

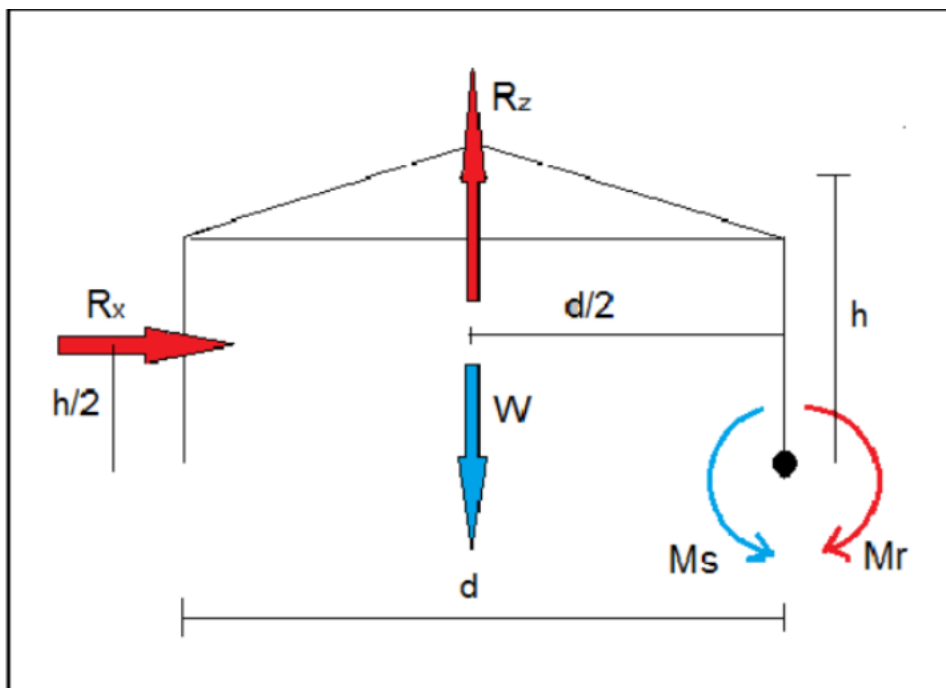


Figure 2.11 : représentation des charges provoquant un moment de renversement au long pan

Calcul du moment de renversement :

✚ Calcul du moment de renversement :

$$M_r = R_x \times \frac{h}{2} + R_z \times \frac{d}{2}$$

$$M_r = 191.95 \times 5.25 + 791.581 \times 9.05 = \mathbf{8171.54 \text{ Kn.m}}$$

✚ Calcul du moment stabilisant :

$$M_s = w \times \frac{d}{2}$$

Avec :

w : Poids total de la surface du hangar ( $w = 700 \text{ N/m}^2$ ).

## CHAPITRE 02 : Étude climatique

$$w = 700 \times S_{sol}$$

$$w = 700 \times 18.10 \times 42.45$$

$$w = 537841.5 \text{ N}$$

$$\mathbf{M_s = 4867.465 \text{ Kn. m}}$$

$M_s = 4867.465 \text{ Kn. m} < M_r = 8171.54 \text{ Kn. m}$  ...la stabilité transversale n'est pas vérifiée

$$w \geq \frac{M_r}{\frac{d}{2}} \rightarrow w = 902.93 \text{ Kn}$$

$\rightarrow M_r = 8171.54 \lll M_s = 902.93 \times 9.05 = 693761.75 \text{ Kn. m}$

La stabilité transversale est vérifiée

B. Stabilité longitudinale : petite face au vent :

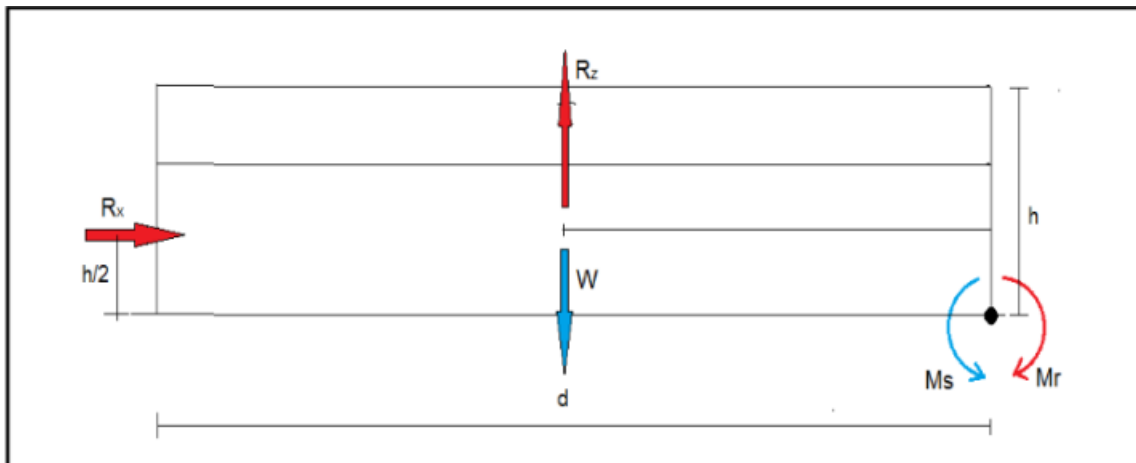


Figure 2.12 : représentation des charges provoquant un moment de renversement au pignon

✚ Calcul du moment de renversement :

$$M_r = R_x \times \frac{h}{2} + R_z \times \frac{d}{2}$$

$$\mathbf{M_r = 4353.31 \text{ Kn. m}}$$

✚ Calcul du moment stabilisant :

$$M_s = w \times \frac{d}{2}$$

$w$  : poids total de la surface du hangar ( $w = 700 \text{ N/m}^2$ ).

$$w = 700 \times S_{sol}$$

$$w = 700 \times 18.10 \times 42.45$$

$$w = 537841.5 \text{ N}$$

$$\mathbf{M_s = 11415.685 \text{ kn. m}}$$

$M_s = 11415.685 \text{ Kn. m} > M_r = 4353.31 \text{ Kn. m}$



## CHAPITRE 02 : Étude climatique

**Conclusion :**  $M_r < M_s$  : la stabilité longitudinale est vérifiée

### 2.11 Détermination de l'action de la neige :

Le calcul de la surcharge climatique de la neige est en fonction de la localisation géographique et de l'altitude du lieu.

Le présent ouvrage est implanté à la wilaya d'ADRAR commune de REGGANE. Cette dernière est considérée comme une zone D (**ANNEXE 1 RNV 2013**).

→ Pas de neige dans cette région

### 2.12 Détermination de l'action du sable :

La toiture est considérée inclinée et supérieure à 5% la charge à prendre en considération est les charges uniformément réparties le long des chéneaux (chéneaux en encorbellement).

→  $q_1 = 0.25 \text{ kn/ml}$ . (**Tableau 5 RNV 2013**).

### 2.13 Charge thermique (T) :

Le CCM97 stipule qu'une charge thermique doit être appliquée sur les structures situées à l'aire libre, le calcul de cette charge se fait de la sorte :

Données : (page 07 CCM97) :

-Température de la région (ayant le projet implanté en extrême sud) les températures varient entre (50°-30°) Celsius.

-Température au moment réalisation de l'ouvrage comprise entre (+10°, 25°) Celsius.

→  $T_{\max} - T_{\text{mréa}} = 50 - 25 = 25 \text{ °C}$

La charge thermique est appliquée sur le modèle de calcul suivant l'article **2.2.3.1 CCM97** sur les éléments exposés par rapport à la température de référence, soit + 25deg.

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons fourni les principes généraux et procédures pour déterminer les surcharges climatiques agissant sur la structure.

Les résultats serviront dans le dimensionnement et la modélisation de la structure (chargement des différents éléments « Pannes, et lisses de bardage »).

# CHAPITRE 03 :

## Étude des éléments

**Introduction :**

Les caractéristiques de notre structure étant définies, nous passons dans ce chapitre au pré dimensionnement des éléments secondaire de la structure.

**3.1 Panneau de couverture et de bardage :**

Dans le choix du panneau De couverture et de bardage nous serons contraints par la charge maximal du vent.

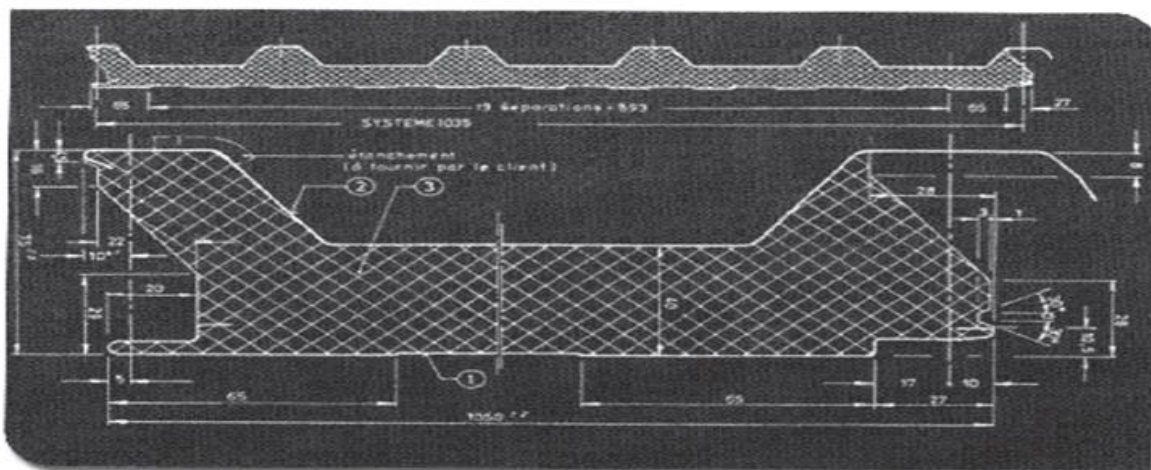
Toiture : Dépression en zone F ; **W = -1930.55N /m<sup>2</sup>**

Parois verticales : Dépression en zone A; **W = -1513.46N /m<sup>2</sup>** .

Pression en zone B; **W = 1310.87N /m<sup>2</sup>** .

Pour le choix de notre système de couverture et de bardage il s’est avéré qu’un panneau de type **TL 75** remplit correctement les critères de conception, à savoir :

- Assurer la fonction élémentaire de protection face aux intempéries
- Satisfaire les exigences acoustiques
- Satisfaire à l’exigence nationale imposée par les documents réglementaires relatifs aux charges de vent et aux autres charges d'exploitation.



- 1 Tôle de recouvrement lissée, épaisseur 0.55 mm ou 0.40 mm.
- 2 Tôle de recouvrement profilé trapézoïdal 35/207, épaisseur 0.75 mm ou 0.60 mm.
- 3 Mousse dure PUR sans CFC

Type	Longueur maximale (m)	Largeur standard (mm)	Epaisseur (mm)	Poids (Kg/m <sup>2</sup> )	Résistance a La conductibilité (m <sup>2</sup> .k/w)	Coefficient de transformation thermique (w/m <sup>2</sup> .k)
TL75	12	1035	75	14.2	2.32	0.40

**Figure 3.1** Caractéristiques géométriques et techniques du panneau de couverture et de bardage.

NB : pour plus de détails sur les Caractéristiques géométriques et techniques du panneau de couverture et de bardage voir l'annexe 01

### 3.2 Étude des pannes :

Les pannes sont des poutres destinées à transmettre les charges et surcharges s'appliquant sur la couverture à la traverse ou bien à la ferme. En outre, elles peuvent agir comme éléments comprimés en tant que partie du système de contreventement et participent à la stabilisation vis-à-vis du déversement de la traverse. Elles sont disposées parallèlement à la ligne de faitage et réalisées soit en profilés formés à chaud en (I), ou bien en (U), soit en profilés formés à froid en (Z), (U), ( $\Sigma$ ) ou en treillis pour les portées supérieures à 6m. Les pannes sont posées sur les traverses ou fermes et fixées par boulonnage, à l'aide d'échantignoles, la figure ci-dessous nous montre la disposition de la panne sur la toiture :

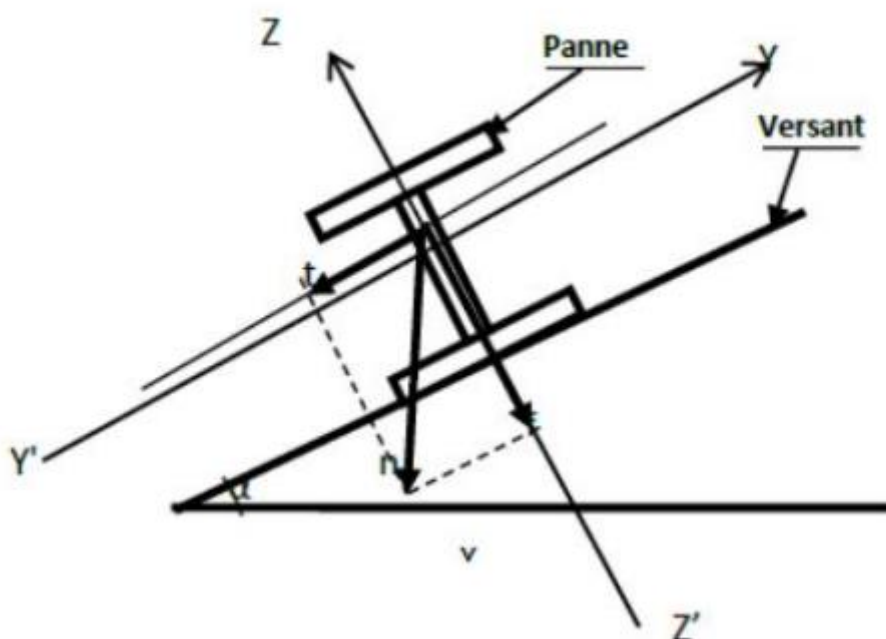


Figure 3.2 : Disposition de la panne sur la toiture.

**NB : Lors du dimensionnement de la panne il convient de calculer deux moments de flexion distinct selon les deux plans principaux d'inertie du profil.**

Donnée de calcul :

- Espacement entre deux pannes :  $e = 1.22\text{m}$
- Chaque panne repose sur 2 appuis de distance maximale :  $l = 7.5\text{m}$ .
- On dispose de 8 lignes de pannes sur chaque versant de toiture.

- La pente de chaque versant est :  $\alpha = 9.41^\circ$ .
- Poids propre de la couverture (panneaux sandwichs TL75) .....  $14.2\text{Kg/m}^2$
- Poids propre d'accessoires de pose.....  $3\text{Kg/m}^2$
- Poids propre de la panne (estimé IPE160).....  $15.8\text{Kg/ml}$
- Les pannes sont en acier S275.
- $f_y = 275\text{ N/mm}^2$  (La limite d'élasticité de l'acier)

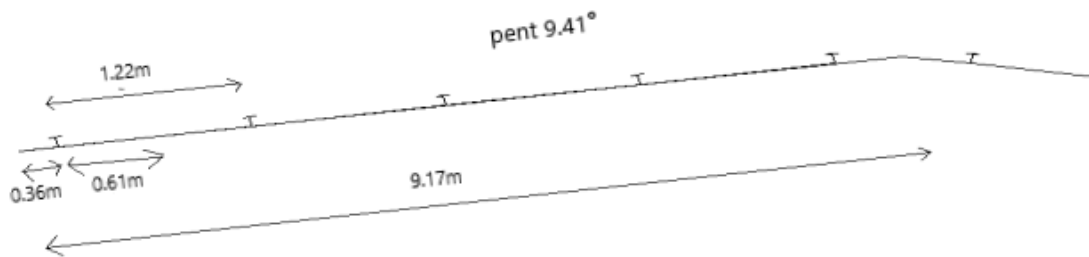


Figure 3.3 : Disposition des pannes sur le versant de toiture.

### 3.2.1 Principe de dimensionnement :

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

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

Les pannes sont dimensionnées par le calcul pour satisfaire simultanément :

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

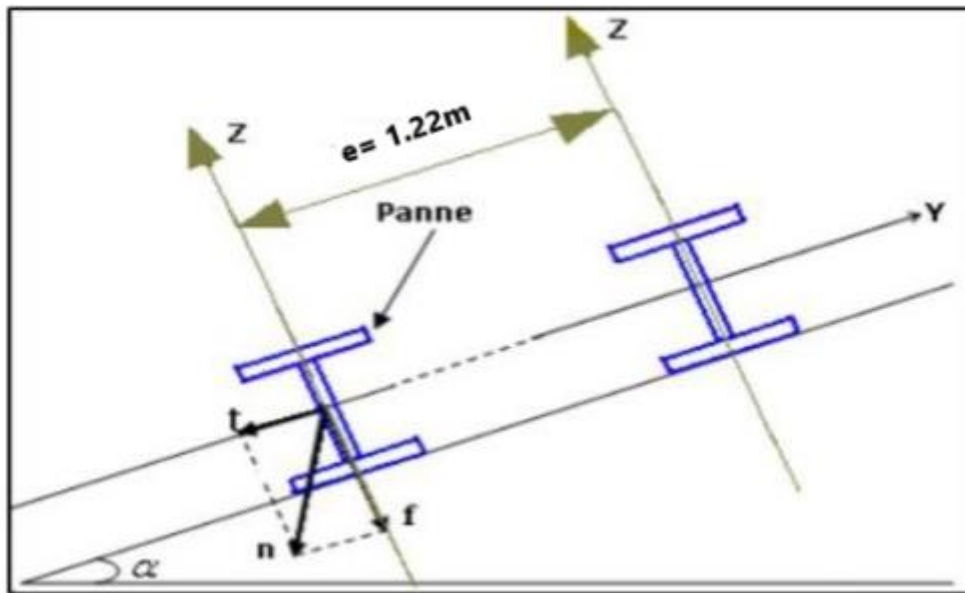


Figure 3.4 : Orientation des charges sur les pannes.

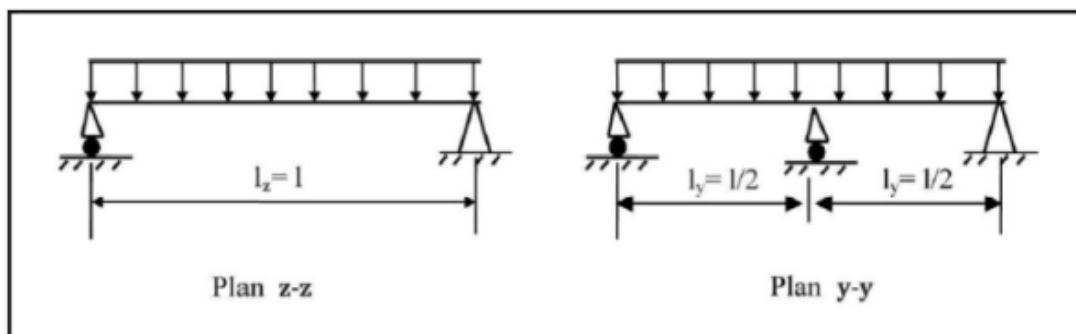


Figure 3.5 : Schéma statique des pannes suivant les axes Y et Z.

### 3.2.2 Évaluation des charges et surcharges :

#### Les charges permanentes (G) :

Elles comprennent le poids propre de la couverture et accessoires de pose, ainsi que le poids propre des pannes estimé.

$$G = (P_{\text{Couverture}} + P_{\text{Accessoires}}) \times e + P_{\text{panne}}$$

$$G = (14.2 + 3) \times 1.22 + 15.8$$

$$G = 36.784 \text{ Kg/ml}$$

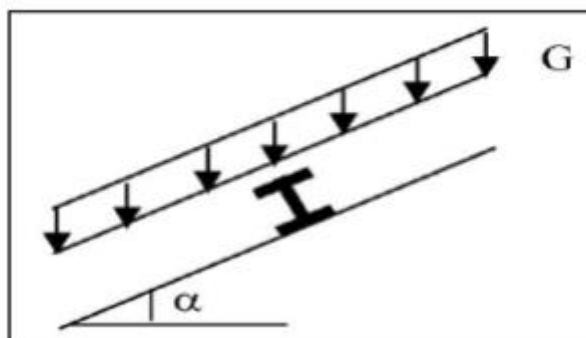


Figure 3.6 : Schéma statique des charges permanentes G sur les pannes.

- **Surcharges d'entretien (E) :**

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

[Article 7.3.1 page 24 D.T.R - B.C. 2.2 page 24]

$$M_{\max} = P \times \frac{1}{3} = \frac{ql^2}{8}$$

Pour la poutre de 6.00m:

$$q_{\text{eq}} = \frac{8 \times 100}{3 \times 6} = 44.44 \text{ kg / m}$$

Pour la poutre de 7.50m:

$$q_{\text{eq}} = \frac{8 \times 100}{3 \times 7.5} = 35.6 \text{ kg / m}$$

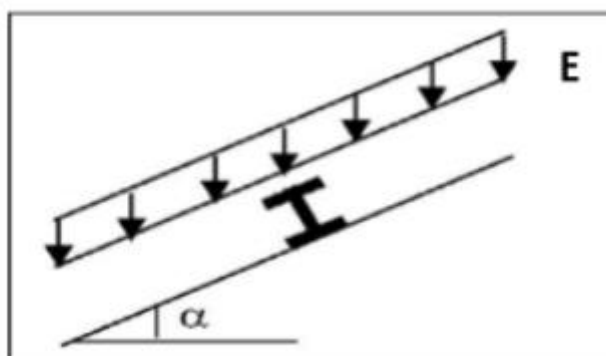
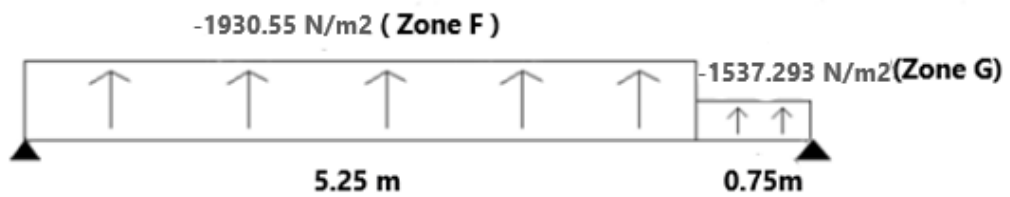


Figure 3.7 : Schéma statique des surcharges d'entretien E sur les pannes.

- **Surcharges du vent (V) :**

Pour la poutre de 6.00m :

Charge équivalente du vent sur une poutre de 6m dans la partie du toit où l'effet du vent est le plus défavorable :



$$V = \frac{-1.93 \times 5.25 - 1.54 \times 0.75}{6} = -1.88 \text{ Kn/m}^2 \dots\dots\dots \text{(Chapitre 2, tableau 2.7, zone F et G).}$$

$$V = -1.88 \times 1.22$$

$$V = -2.293 \text{ Kn/ml}$$

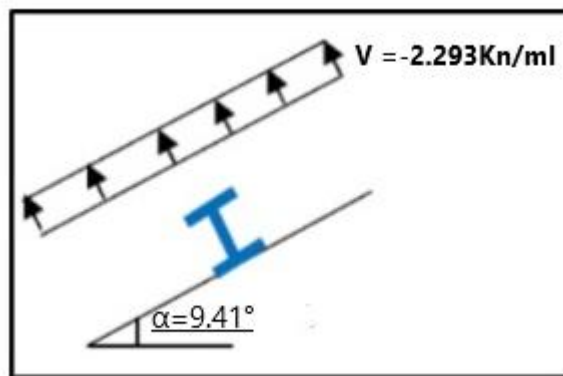


Figure 3.8: Schéma statique des surcharges du vent sur la panne de 6m.

Pour la panne de 7.50m :

Charge du vent sur une panne de 7.50m dans la partie du toit où l'effet du vent est le plus défavorable :

$$V = -1.54 \text{ Kn/m}^2 \dots\dots\dots \text{(Chapitre 2, tableau 2.7, zone G).}$$

$$V = -1.54 \times 1.22$$

$$V = -1.87 \text{ Kn/ml}$$



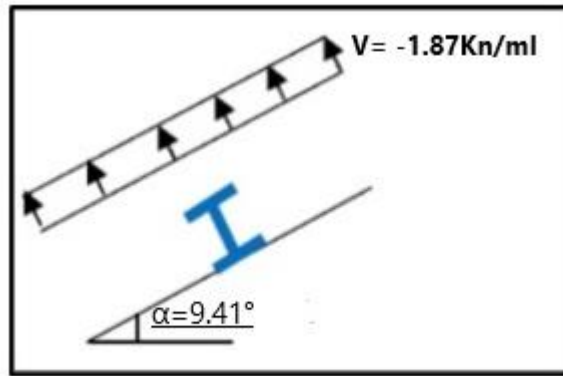


Figure 3.9: Schéma statique des surcharges du vent sur la panne de 7.5m.

### 3.2.3 Combinaisons des charges les plus défavorables :

- Action vers le bas :

Pour la panne de 6.00m :

$$Q_{sd,1} = 1.35G + 1.5E = 1.35 \times 0.3678 + 1.5 \times 0.4444 = 1.163 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{sd,2} = 1.35G + 1.5N = 1.35 \times 0.3687 + 1.5 \times 0 = 0.497 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{sd} = \max(Q_{sd,1}; Q_{sd,2}) = \max(1.163; 0.497) = \mathbf{1.163 \text{ Kn/ml}}$$

$$Q_{z,sd} = Q_{sd} \times \cos(\alpha) = 1.163 \times \cos(9.41) = 1.147 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{y,sd} = Q_{sd} \times \sin(\alpha) = 1.163 \times \sin(9.41) = 0.190 \text{ Kn/ml.}$$

Pour la panne de 7.50m :

$$Q_{sd,1} = 1.35G + 1.5E = 1.35 \times 0.3678 + 1.5 \times 0.356 = 1.03 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{sd,2} = 1.35G + 1.5N = 1.35 \times 0.3687 + 1.5 \times 0 = 0.497 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{sd} = \max(Q_{sd,1}; Q_{sd,2}) = \max(1.163; 0.497) = \mathbf{1.03 \text{ Kn/ml}}$$

$$Q_{z,sd} = Q_{sd} \times \cos(\alpha) = 1.03 \times \cos(9.41) = 1.016 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{y,sd} = Q_{sd} \times \sin(\alpha) = 1.03 \times \sin(9.41) = 0.168 \text{ Kn/ml.}$$

- Action vers le haut :

Pour la panne de 6.00m :

$$Q_{z,sd} = G \times \cos(\alpha) - 1.5V = 0.3678 \times \cos(9.41) - 1.5 \times 2.293 = -3.076 \text{ Kn/ml.}$$

Pour la panne de 7.50m :

$$Q_{z,sd} = G \times \cos(\alpha) - 1.5V = 0.3678 \times \cos(9.41) - 1.5 \times 1.87 = -2.442 \text{ Kn/ml.}$$

- Les combinaisons les plus défavorables à retenir pour les calculs
- Pour la vérification à la résistance de la section on travaillera avec :

$$Q_{z,sd} = 1.147 \text{ Kn/ml.} \quad Q_{y,sd} = 0.190 \text{ Kn/ml.}$$

- Pour la vérification au déversement de l'élément on travaillera avec :

$$Q_{z,sd} = -3.076 \text{ Kn/ml (Pour la panne de 6m).}$$

$$Q_{z,sd} = -2.442 \text{ Kn/ml (Pour la panne de 7.5m).}$$

$$Q_{y,sd} = 0.190 \text{ Kn/ml.}$$

### 3.4.2 Vérification à l'état limite ultime (ELU) :

Par tâtonnement on choisit le profilé suivant : IPE160

Données concernant ce profilé:

Profilé IPE160	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	r mm	d mm	W <sub>pl,y</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> cm <sup>3</sup>	A <sub>vz</sub> cm <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> cm <sup>4</sup>
	160	82	7.4	5	9	127.2	124	26.10	9.66	68.31	3.60	3.96× 10 <sup>3</sup>

Tableau 3.1: Caractéristiques géométriques de l'IPE 160.

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97**

-Classe de l'âme :  $\frac{d}{t_w} = \frac{145.2}{5} = 29.04 < 72\varepsilon = 66.24 \rightarrow$  âme de classe 1

-Classe de la semelle :  $\frac{c}{t_f} = \frac{41}{8} = 5.125 < 10\varepsilon = 9.2 \rightarrow$  semelle de classe 1

Avec :  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$

Donc la section globale est de classe 1  $\rightarrow$  Domaine plastique.

**NB : La vérification à la flexion et au cisaillement des pannes se maintient pour la panne 7.5m**

#### 1) vérification à la flexion :

S'agissant de flexion déviée, il faut vérifier que :

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{Ny,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{NZ,Rd}}\right)^\beta \leq 1 \dots\dots\dots (5.35 \text{ CCM97})$$

Où :

•  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes qui placent en sécurité si elles sont prises égale à l'unité, mais qui peuvent prendre les valeurs suivantes :

Sections en I et H :  $\alpha=2$  et  $\beta = 5n > 1$  ; avec :  $n = \frac{N}{N_{pl}}$

Dans notre cas l'effort normal  $N = 0$  donc  $\beta = 1$

- $M_{y,sd}$ : Moment fléchissant de calcul autour de l'axe y-y causé par la charge  $Q_{z,sd}$ .
- $M_{z,sd}$ : Moment fléchissant de calcul autour de l'axe z-z causé par la charge  $Q_{y,sd}$ .
- $M_{Ny,Rd}$ : Moment fléchissant de résistance plastique suivant l'axe y – y.
- $M_{Nz,Rd}$ : Moment fléchissant de résistance plastique suivant l'axe z – z.

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{1.147}{8} \times 7.5^2 = 8.064 \text{ Kn. ml.}$$

$$M_{z,sd} = \frac{Q_{y,sd}}{8} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{0.190}{8} \times \left(\frac{7.5}{2}\right)^2 = 0.334 \text{ Kn. ml.}$$

$$M_{Ny,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{124 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 31 \text{ Kn. ml.}$$

$$M_{Nz,Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26.10 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 6.525 \text{ Kn. ml.}$$

$$\rightarrow \left(\frac{M_{y,sd}}{M_{Ny,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{Nz,Rd}}\right)^\beta = \left(\frac{8.064}{31}\right)^2 + \left(\frac{0.334}{6.525}\right)^1 = 0.118 \leq 1 \dots\dots\dots\text{Condition vérifiée.}$$

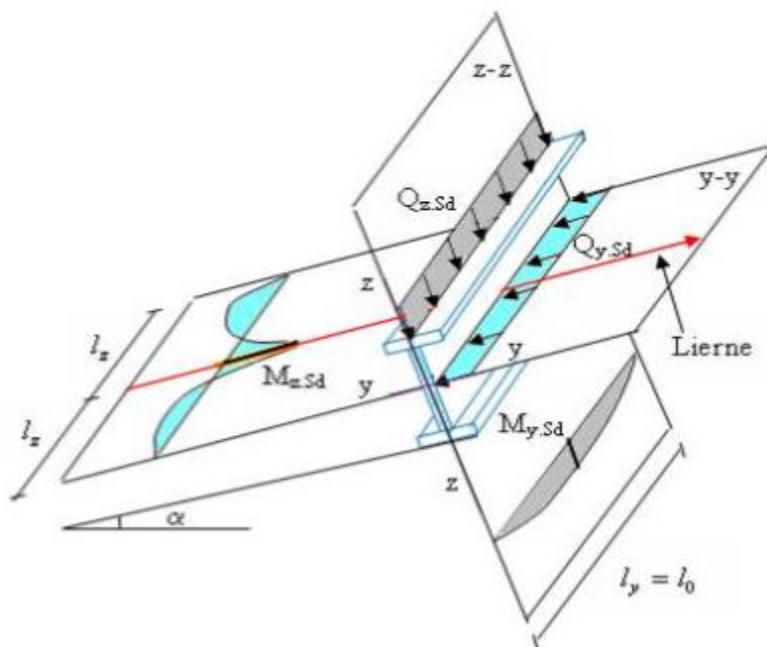


Figure 3.10 : Panne de toiture en flexion sous les différents plans de chargement

**2) Vérification au cisaillement :**

La vérification est donnée par la formules suivante:  $V_{sd} \leq V_{pl,rd}$  (5.20 CCM97)

$$V_{z,sd} \leq V_{plz,rd} ;$$

$$V_{y,sd} \leq V_{ply.rd}$$

$$V_{z,sd} = \frac{Q_{z,sd} \times l}{2} = \frac{1.147 \times 7.5}{2} = 4.30 \text{ Kn}$$

$$V_{plz.rd} = \frac{A_{vz} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{9.66 \times (275 / \sqrt{3})}{1.1} = 139.43 \text{ Kn}$$

$$V_{z,sd} < V_{plz.rd} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

$$V_{y,sd} = 0.625 \times Q_{y,sd} \times \left(\frac{l}{2}\right) = 0.625 \times 0.190 \times \left(\frac{7.5}{2}\right) = 0.445 \text{ Kn}$$

$$V_{ply.rd} = \frac{A_{vy} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{12.84 \times (275 / \sqrt{3})}{1.1} = 175.16 \text{ Kn}$$

$$V_{y,sd} < V_{ply.rd} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

**3) Stabilité au voilement par cisaillement :**

La résistance au voilement par cisaillement doit être vérifiée pour les âmes non raidies comme il est indiqué au **chapitre 5.6.1 page 89[CCM97]**.

Si  $d / t_w < 69 \epsilon$ , il n'est pas nécessaire de vérifier le voilement par cisaillement.

Le profilé étant un **IPE160**, on aura donc :

$$\frac{d}{t_w} = \frac{127.2}{5} = 25.44$$

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

$$\rightarrow \frac{d}{t_w} = 25.44 \leq 69 \epsilon = 63.48.$$

→ Donc il n'y a pas lieu de vérifier le voilement par cisaillement.

**4) Vérification au déversement :**

La semelle supérieure qui est comprimée sous l'action des charges descendantes est susceptible de déverser. Vu qu'elle est fixée à la toiture, il n'y a donc pas de risque de déversement contrairement à la semelle inférieure qui est comprimée sous l'action du vent de soulèvement et qui est quant à elle susceptible de déverser du moment qu'elle est libre tout au long de sa portée.

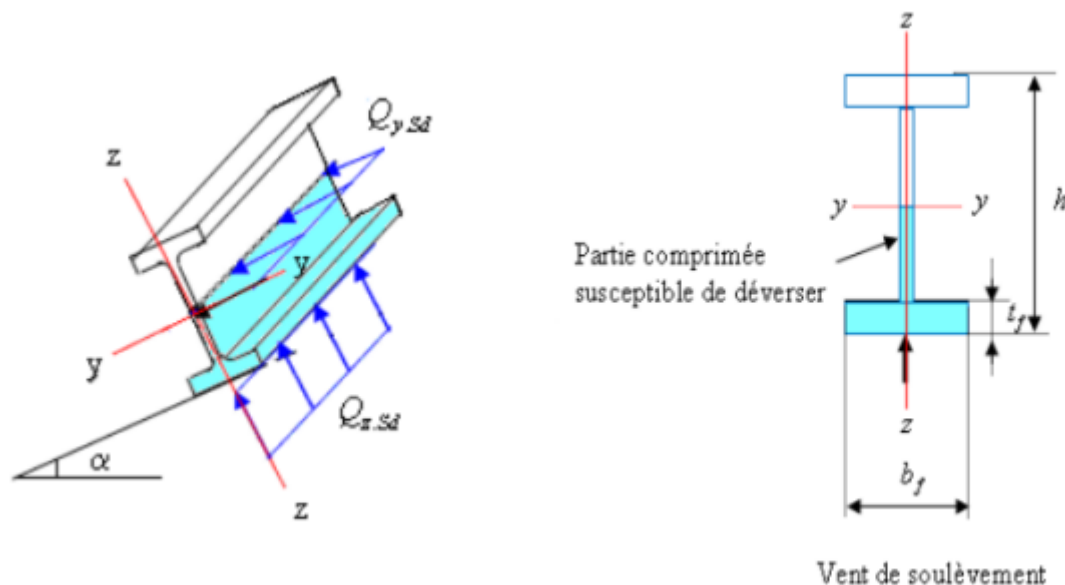


Figure 3.11: Déversement d'une panne de toiture.

Le CCM 97 donne la formule suivante pour la vérification du déversement d'un élément comprimé et fléchi :

$$M_{b,Rd} > M_{y,sd} \quad \text{Art 5.5.2 (5.48) CCM 97}$$

Pour la panne de 6.00m :

Action vers le haut:

$$Q_{z,sd} = -3.076 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{y,sd} = 0.190 \text{ Kn/ml.}$$

$$M_{z,sd} = \frac{Q_{y,sd}}{8} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{0.190}{8} \times \left(\frac{6}{2}\right)^2 = 0.2137 \text{ Kn . ml}$$

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = 13.842 \text{ Kn . ml}$$

$$M_{plz,Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26.10 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 6.525 \text{ Kn . ml.}$$

Calcul de  $M_{b,Rd}$ :

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \chi_{LT} \times M_{ply,Rd} \quad \text{5.48 CCM 97}$$

Avec :

$\beta_w=1$  pour les sections transversales de classe 1 ou 2

$M_{b,Rd}$ : Le moment résistant de déversement

$\chi_{LT}$ : C'est le coefficient de réduction pour le déversement, qui en fonction de l'élanement réduite  $\lambda_{LT}$  et coefficient d'imperfection  $\alpha_{LT}$ .

$\alpha_{LT} = 0.21$  Pour les profilés laminés.

Calcul du coefficient de réduction pour le déversement :  $\chi_{LT}$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{(\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 + \lambda_{lt}^2})} \quad \text{5. 49 CCM 97}$$

Calcul de l'élançement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_w} \quad \text{B.12 CCM97}$$

Avec :

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56$$

$$\lambda_{LT} = \frac{l/i_z}{c1^{0.5} \times [1 + \frac{1}{20} \times (\frac{l/i_z}{h/t_f})^2]^{0.25}} \quad \text{B.21 CCM97}$$

Avec :  $C_1 = 1.132$  ..... [Tableau B.1.2 CM97 page 144]

Pour IPE 160 :

$$i_z = 1.84 \text{ cm ; } h = 16 \text{ cm ; } t_f = 0.74 \text{ cm .}$$

$$l = l_z = 300 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \lambda_{LT} = \frac{l/i_z}{c1^{0.5} \times [1 + \frac{1}{20} \times (\frac{l/i_z}{h/t_f})^2]^{0.25}} = 109.448$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \frac{109.448}{85.56} \times \sqrt{1} = 1.30 > 0.4 \rightarrow \text{donc Ya un risque de déversement.}$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 1.46$$

$$\rightarrow \chi_{LT} = \frac{1}{(1.46 + \sqrt{1.46^2 - 1.3^2})} = 0.47 \leq 1$$

$$M_{bRd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 0.47 \times 1 \times \frac{124 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 14.57 \text{ Kn.m}$$

$$\rightarrow M_{bRd} = 14.57 \text{ Kn.m} > M_{y,sd} = 13.842 \text{ Kn.m} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée}$$

Pour la panne de 7.50m :

Action vers le haut:

$$Q_{z,sd} = -2.442 \text{ Kn/ml}$$

$$Q_{y,sd} = 0.190 \text{ Kn/ml}$$

$$M_{z,sd} = \frac{Q_{y,sd}}{8} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2 = \frac{0.190}{8} \times \left(\frac{7.5}{2}\right)^2 = 0.334 \text{ Kn.m}$$

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{2.442}{8} \times 7.5^2 = 17.17 \text{ Kn.m}$$

$$M_{plz,Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26.10 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 6.525 \text{ Kn.m}$$

Calcul de  $M_{b,Rd}$ :

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \chi_{LT} \times M_{ply,Rd} \quad 5.48 \text{ CCM 97}$$

Avec :

$\beta_w=1$  pour les sections transversales de classe 1 ou 2

$M_{b,Rd}$ : Le moment résistant de déversement

$\chi_{LT}$ : C'est le coefficient de réduction pour le déversement, qui en fonction de l'élançement réduite  $\lambda_{LT}$  et coefficient d'imperfection  $\alpha_{LT}$ .

$\alpha_{LT} = 0.21$  Pour les profilés laminés.

Calcul du coefficient de réduction pour le déversement :  $\chi_{LT}$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{(\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 + \lambda_{lt}^2})} \quad 5.49 \text{ CCM 97}$$

Calcul de l'élançement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_w} \quad B.12 \text{ CCM97}$$

Avec :

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon . \text{ Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56$$

$$\lambda_{LT} = \frac{l/i_z}{c1^{0.5} \times [1 + \frac{1}{20} \times (\frac{l/i_z}{h/t_f})^2]^{0.25}} \quad B.21 \text{ CCM97}$$

Avec :  $C_1 = 1.132$  ..... [Tableau B.1.2 CM97 page 144]

Pour IPE 160 :

$i_z = 1.84 \text{ cm}$  ;  $h = 16 \text{ cm}$  ;  $t_f = 0.74 \text{ cm}$  .

$l = l_z = 375 \text{ cm}$

$$\rightarrow \lambda_{LT} = \frac{l/i_z}{c1^{0.5} \times [1 + \frac{1}{20} \times (\frac{l/i_z}{h/t_f})^2]^{0.25}} = 125.41$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \frac{125.41}{85.56} \times \sqrt{1} = 1.46 > 0.4 \rightarrow \text{donc Ya un risque de déversement.}$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 1.69$$

$$\rightarrow \chi_{LT} = \frac{1}{(1.69 + \sqrt{1.69^2 - 1.46^2})} = 0.40 \leq 1$$

$$M_{bRd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 0.40 \times 1 \times \frac{124 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 12.40 \text{ Kn.m}$$

$$\rightarrow M_{bRd} = 12.40 \text{ Kn.m} < M_{y,sd} = 17.17 \text{ Kn.m} \dots \dots \dots \text{Condition non vérifiée}$$

1ere solution : on ajoute une deuxième lierne

2eme solution : on augmente la section.

→1ere solution :

$$l = l_z = 250\text{cm}$$

$$\rightarrow \lambda_{LT} = \frac{l/iz}{c^{10.5} \times [1 + \frac{1}{20} \times (\frac{l/iz}{h/ef})^2]^{0.25}} = 97.24$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \frac{97.24}{85.56} \times \sqrt{1} = 1.13 > 0.4 \rightarrow \text{donc Ya un risque de déversement.}$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 1.24$$

$$\rightarrow \chi_{LT} = \frac{1}{(1.24 + \sqrt{1.24^2 - 1.13^2})} = 0.57 \leq 1$$

$$M_{bRd} = X_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 0.57 \times 1 \times \frac{124 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = \mathbf{17.67 \text{ Kn.m}}$$

$$\rightarrow M_{bRd} = 17.67 \text{ Kn.m} > M_{y,sd} = 17.17 \text{ Kn.m} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée}$$

**Conclusion :**

Le profilé laminé choisit (IPE 160) est donc vérifié à l'état limite ultime.

**3.2.5 Vérification à l'état limite de service (ELS) :**

Vérification de la flèche :

Le calcul de la flèche se fait par la combinaison de charges et surcharges de services (non pondérés).

• Action vers le bas :

$$Q_{sd,1} = G + N = 0.3678 + 0 = 0.3678 \text{ kn/ml}$$

$$Q_{sd,2} = G + E = 0.3678 + 0.444 = 0.8118 \text{ Kn/ml}$$

$$Q_{sd} = \max(Q_{sd,1}; Q_{sd,2}) = \max(0.3678; 0.8118) = \mathbf{0.8118 \text{ Kn/ml}}$$

$$Q_{z,sd} = Q_{sd} \times \cos(\alpha) = 0.8118 \times \cos(9.41) = 0.8001 \text{ Kn/ml.}$$

$$Q_{y,sd} = Q_{sd} \times \sin(\alpha) = 0.8118 \times \sin(9.41) = 0.1327 \text{ Kn/ml.}$$

• Action vers le haut :

Pour la panne de 6.00m :

$$Q_{z,sd} = G \times \cos(\alpha) - V = 0.3678 \times \cos(9.41) - 2.293 = -1.9301 \text{ Kn/ml.}$$

Condition de vérification :

$$f_z \leq f_{adm}$$

$$f_y \leq f_{adm}$$

Flèche verticale suivant (Z-Z) sur deux appuis :

$$f_{adm} = \frac{1}{200} = \frac{600}{200} = 3.00 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_z \text{sd} \times l^4}{E \times I_y} = \frac{5}{384} \times \frac{1.9301 \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times 869.3} = 1.78 \text{ cm} \leq f_{adm} = 3.00 \text{ cm} \dots\dots\dots \mathbf{Vérifiée.}$$

Flèche latérale suivant (Y-Y) sur trois appuis :



$$f_{adm} = \frac{l/2}{200} = \frac{600/2}{200} = 1.5 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{2.05}{384} \times \frac{Q_y \text{ sd} \times (l/2)^4}{E \times I_z} = \frac{2.05}{384} \times \frac{0.1327 \times (600/2)^4}{2.1 \times 10^6 \times 68.3} = 0.04 \text{ cm} \leq f_{adm} = 1.5 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérfiée.}$$

Pour la panne de 7.50m :

• Action vers le haut :

$$Q_{z,sd} = G \times \cos(\alpha) - V = 0.3687 \times \cos(9.41) - 1.87 = -1.506 \text{ Kn/ml.}$$

Flèche verticale suivant (Z-Z) sur deux appuis :

$$f_{adm} = \frac{l}{200} = \frac{750}{200} = 3.75 \text{ cm.}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_z \text{ sd} \times l^4}{E \times I_y} = \frac{5}{384} \times \frac{1.506 \times 750^4}{2.1 \times 10^6 \times 869.3} = 3.39 \text{ cm} \leq f_{adm} = 3.75 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérfiée.}$$

Flèche latérale suivant (Y-Y) sur quatre appuis :

$$f_{adm} = \frac{l/3}{200} = \frac{750/3}{200} = 1.25 \text{ cm.}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{Q_y \text{ sd} \times (l/3)^4}{E \times I_z} = \frac{2.05}{384} \times \frac{0.1327 \times (750/3)^4}{2.1 \times 10^6 \times 68.3} = 0.02 \text{ cm} \leq f_{adm} = 1.25 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérfiée.}$$

Le profilé en IPE 160 est vérifié à l'état limite de service.

**Conclusion :**

Après avoir fait les vérifications à la résistance et à la flèche, on constate qu'on doit utiliser le profil IPE 160 comme des pannes isostatiques avec lierne.

**3.3 Étude des liernes de la toiture :**

Les liernes sont des tirants passant au milieu des pannes, travaillent en traction. Ce sont généralement des barres en fer rond, des cornières ou des tubes.

Elles ont les fonctions suivantes :

- En phase de montage du bâtiment, assurer la rectitude des pannes avant mise en place de la couverture
- En phase d'exploitation du bâtiment, apporter aux pannes un maintien latéral

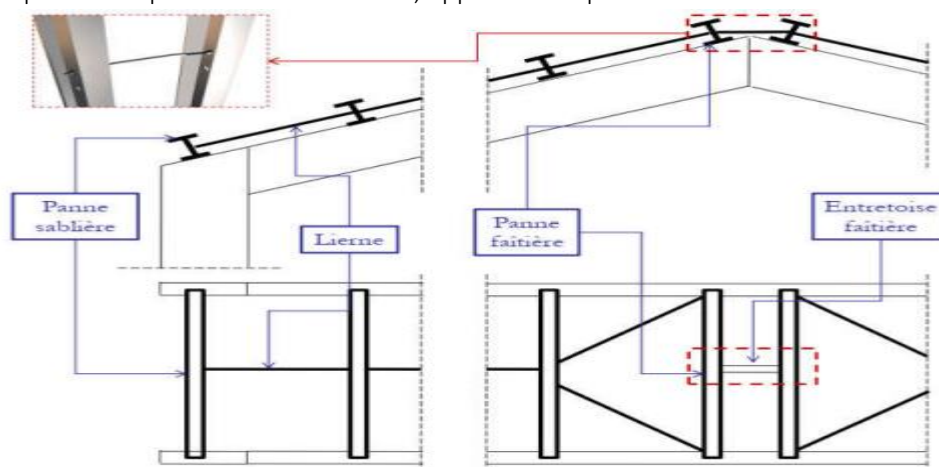
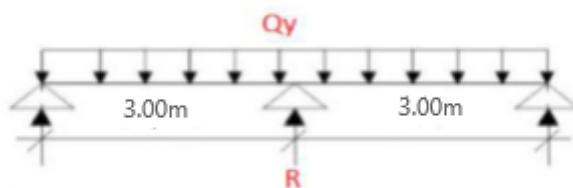


Figure 3.12 : Dispositions des liernes.

### 3.3.1 Dimensionnement des liernes :

La Réaction R au niveau du lierne :



$$R = 1.25 \times Q_{y,sd} \times \frac{1}{2} = 1.25 (0.190) \times \frac{6}{2} = 0.475 \text{ Kn.}$$

Effort de traction dans le tronçon de la lierne L<sub>1</sub> provenant de la panne sablière :

$$T_1 = \frac{R}{2} = \frac{0.475}{2} = 0.238 \text{ Kn.}$$

Effort dans les tronçons L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub>, L<sub>6</sub> :

$$T_n = R + T_{n-1}$$

$$T_2 = R + T_1 = 0.475 + 0.238 = 0.713 \text{ Kn.}$$

$$T_3 = R + T_2 = 0.475 + 0.713 = 1.188 \text{ Kn.}$$

$$T_4 = R + T_3 = 0.475 + 1.188 = 1.663 \text{ Kn.}$$

$$T_5 = R + T_4 = 0.475 + 1.663 = 2.138 \text{ Kn.}$$

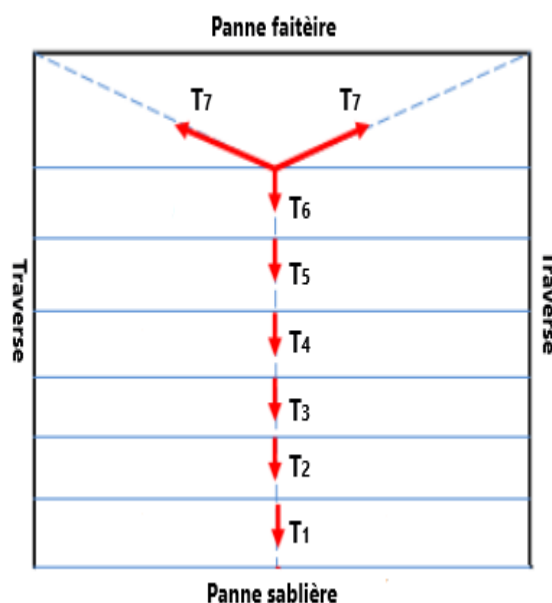
$$T_6 = R + T_5 = 0.475 + 2.138 = 2.613 \text{ Kn.}$$

→ Effort dans les diagonales L<sub>7</sub> :

$$2T_7 \times \sin(\theta) = T_6$$

$$T_7 = \frac{T_6}{2\sin(\theta)} + R. \text{ avec } \theta = \arctg \frac{1.22}{3} = 22.129^\circ$$

$$\rightarrow T_7 = \frac{2.613}{2\sin(22.129)} + 0.475 = 3.943 \text{ Kn.}$$



### 3.3.2 Calcul de la section des liernes :

Le tronçon le plus sollicité est L7 :

$$T_7 = N_{sd} = 3.943 \text{ Kn.}$$

Les liernes travaillent en traction  $N_{sd} \leq N_{pl,Rd}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A \geq \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{3.943 \times 1.1}{275 \times 10^3} = 0.1577$$

$$\rightarrow A \geq 0.1577 \text{ cm}^2.$$

$$A = \frac{\pi \times \phi^2}{4} \geq 0.1577 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow \phi^2 \geq \sqrt{\frac{0.1577 \times 4}{\pi}} = 0.448 \text{ cm}$$

Soit une barre ronde de diamètre  $\phi = 0.5\text{cm} = 5\text{ mm}$ .

Pour des raisons pratiques et pour plus de sécurité, on opte pour une barre ronde de diamètre  $\phi = 10\text{mm}$ .

### 3.4 Étude de l'échantignolle :

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

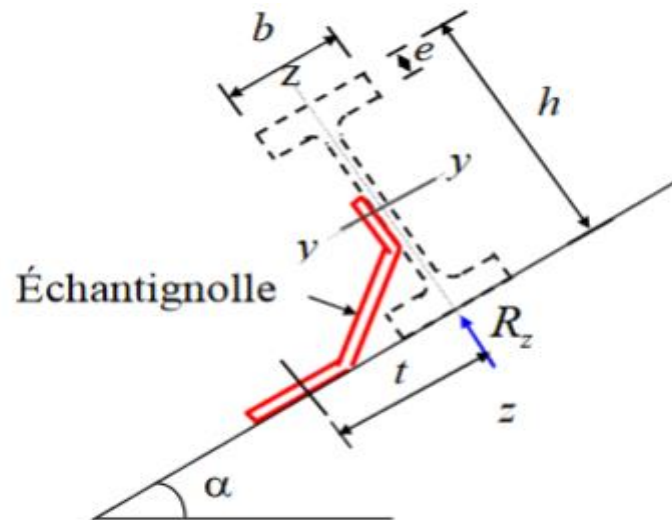


Figure 3.13 : Disposition de l'échantignolle.

Calcul des charges revenant à l'échantignolle :

Effort de soulèvement :

$$Q_{z,sd} = G \times \cos(\alpha) - 1.5V = 0.3678 \times \cos(9.41) - 1.5 \times 2.293 = -3.076 \text{ Kn/ml}$$

Effort suivant rampant :

$$Q_{y,sd} = 1.35G \times \sin(\alpha) = 1.35 \times 0.3678 \times \sin(9.41) = +0.081 \text{ Kn/ml}$$

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

$$2(b/2) \leq t \leq 3(b/2)$$

Pour l'IPÉ160 :  $b = 8.2\text{cm}$  ;  $h = 16\text{cm}$

→  $8.2 \leq t \leq 12.3$  → On adopte pour  $t = 10\text{cm}$ .

Échantignolle de rive :

$$R_z = Q_{z,sd} \times \frac{1}{2} = 3.076 \times \frac{7.5}{2} = 11.535 \text{ Kn}$$

$$R_y = Q_{y,sd} \times \frac{1}{2} = 0.081 \times \frac{7.5}{2} = 0.304 \text{ Kn}$$

Échantignolle intermédiaire :

$$R_z = 2 R_z = 2 \times 11.53 = 23.06 \text{ Kn}$$

$$R_y = 2 R_y = 2 \times 0.304 = 0.608 \text{ Kn}$$

Calcul du moment de renversement :

$$M_R = R_z \times t + R_y \times \frac{h}{2} = 23.06 \times 10 + 0.608 \times \frac{16}{2} = 235.464 \text{ Kn.cm} = 2.3546 \text{ Kn.m}$$

Dimensionnement de l'échantignole :

Dans la construction métallique, généralement les échantignoles sont des éléments formés à froid. La classe de la section est au moins une classe 3. Selon le CCM 97 la section transversale travaillant en flexion simple doit satisfaire la formule suivante :

$$M_{sd} \leq M_{el,Rd}$$

$$M_{sd} = M_R \dots\dots\dots (\text{le moment sollicitant}).$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} \dots\dots\dots (\text{le moment de résistance élastique de la section}).$$

$$M_{sd} = M_R \leq M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rightarrow W_{el} \geq \frac{M_R \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{2.3546 \times 1.1}{275 \times 10^3} = 9.42 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 9.42 \text{ cm}^3 .$$

$$W_{el} \geq \frac{b \times e^2}{6} . \text{ Pour les sections rectangulaires.}$$

$$\rightarrow e \geq \sqrt{\frac{6 \times w_{el}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 9.42}{15}} = 1.94 \text{ cm} , \text{ soit : } e = 20 \text{ mm.}$$

Remarque :

La largeur de l'échantignole ( b = 15 cm ) et pris en compte après avoir dimensionnée de la traverse. (Voir chapitre 05).

### 3.5 Étude des lisses de bardages :

Les lisses sont des poutrelles qui ont pour fonction de supporter les couvertures de façades (bardages) et les charges s'appliquent sur ces bardages (pression ou dépression du vent). Elles sont disposées horizontalement à l'entre-axe courant, portant sur les poteaux de portiques ou potelets intermédiaires. Elles sont réalisées soit en profilés laminés (IPE, UAP. UPN) ou en éléments formés par des tôles pliées.

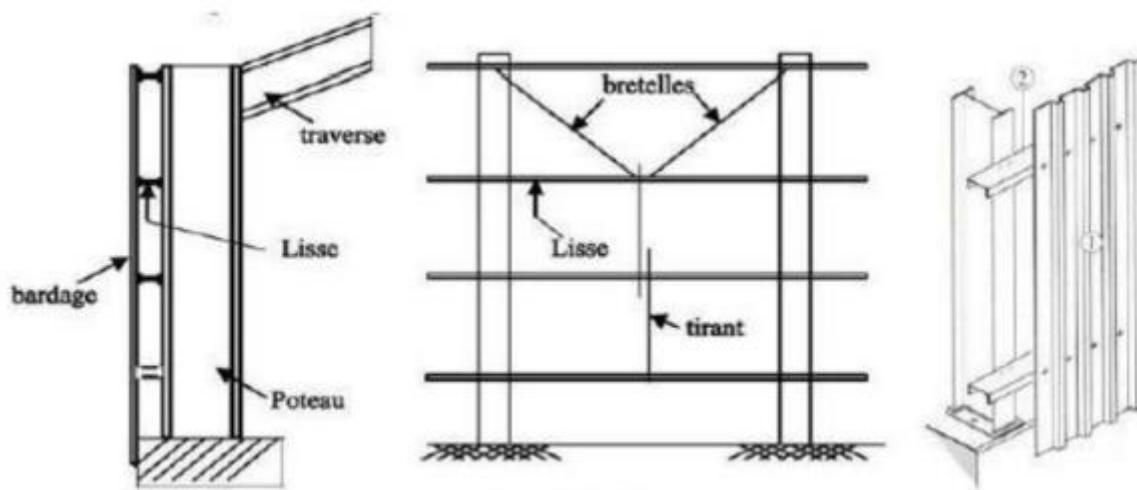


Figure 3.14 : Disposition des lisses de bardages.

### 3.5.1 Principe de dimensionnement :

Les lisses sont soumises à : la flexion autour de Z + flexion autour de Y. De ce fait, elles fonctionnent en flexion déviée (bi-axiale).

Pour dimensionner, on tiendra compte de la valeur la plus défavorable de la pression de vent exercée sur le long-pan et celle sur le pignon.

Comme dans le cas des pannes, les lisses aussi sont dimensionnées et calculées pour satisfaire simultanément aux :

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

### 3.5.2 Vérification de la lisse de long-pan :

Les données :

- Les lisses sont simplement appuyées sur deux poteaux de portée maximale  $L = 7.5m$
- L'entre axe des lisses  $e = 1.25m$
- Nombre des lisses pour chaque paroi ( $n = 8$ )
- Poids propre de la couverture (panneaux sandwichs TL75) .....  $14.2 \text{ Kg/m}^2$
- Poids propre d'accessoires de pose.....  $3 \text{ kg/m}^2$
- Poids propre de la lisse estimé (UPN160) .....  $19.20 \text{ kg/ml}$ .

#### 3.5.2.1 Évaluation des charges et surcharges :

a ) Charges permanentes :

$$G = (P_{\text{Couverture}} + P_{\text{Accessoires}}) \times e + P_{\text{lisse}}$$

$$G = (14.2 + 3) \times 1.25 + 19.20$$

$$G = 40.70 \text{ kg/ml} = 0.407 \text{ Kn/ml}$$

b) Surcharges climatiques du vent :

Pour la lisse de 6m:

$$V = \frac{-834.19 \times 3.62 - 595.85 \times 2.38}{6} = -739.648 \text{ N/m}^2 \quad (\text{Chapitre 2 tableau 2.7. Zone A et B})$$

$$V = -739.648 \times 1.25 = -924.56 \text{ N/m}^2$$

$$V = 0.925 \text{ Kn/ml (Dépression).}$$

Pour la lisse de 7.5m :

$$V = -679.27 \text{ N/m}^2 \quad (\text{Chapitre 2 tableau 2.5. Zone D})$$

$$V = -679.27 \times 1.25 = -849.087 \text{ N/m}^2$$

$$V = 0.85 \text{ Kn/ml (Dépression).}$$

3.5.2.2 Combinaison de charges les plus défavorables :

$$Q_{y,sd} = 1.35 G = 1.35 \times 0.407$$

$$Q_{y,sd} = \mathbf{0.550 \text{ Kn/ml}}$$

$$Q_{z,sd} = 1.5 V$$

$$Q_{z,sd} = \mathbf{1.387 \text{ Kn/ml}} \dots (\text{Pour la lisse de 6m})$$

$$Q_{z,sd} = \mathbf{1.275 \text{ Kn/ml}} \dots (\text{Pour la lisse de 7.5m})$$

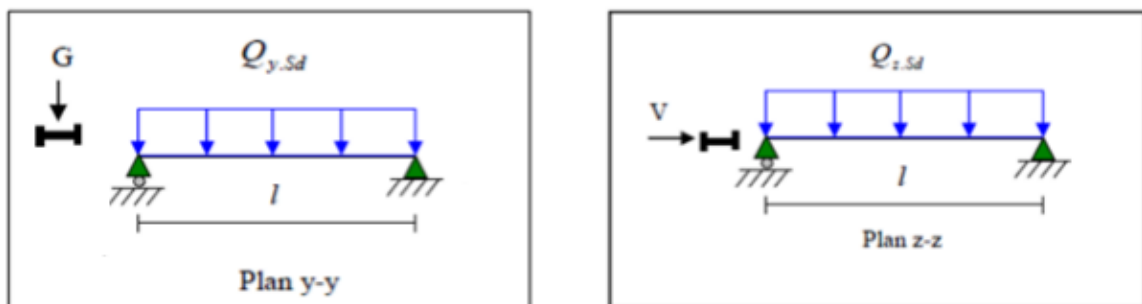


Figure 3.15 : La répartition des charges sur les lisses.

3.5.2.3 Vérification à l'état limite ultime (ELU) :

Par tâtonnement on choisit l'UPN 160

Données concernant ce profilé :

Profilé UPN160	Dimensions					Caractéristiques de calcul			
	h(mm)	b(mm)	tf(mm)	tw(mm)	d(mm)	Wpl.y(cm <sup>3</sup> )	Wpl.z(cm)	Avz(cm <sup>2</sup> )	Iz(cm <sup>4</sup> )
	160	65	10.5	7.5	115	138	35.2	12.6	85.3

Tableau 3.2: Caractéristiques géométriques de l'UPN 160

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97**

-Classe de l'âme :  $\frac{d}{t_w} = \frac{115}{7.5} = 15.33 < 72\varepsilon = 66.24 \rightarrow$  âme de classe 1

-Classe de la semelle :  $\frac{c}{t_f} = \frac{32.5}{10.5} = 3.095 < 10\varepsilon = 9.2 \rightarrow$  semelle de classe 1

Avec :  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$

Donc la section globale est de classe 1  $\rightarrow$  Domaine plastique.

**Vérification à la résistance en section :**

Dans la condition de résistance à l'ELU, il faut faire les vérifications suivantes :

**a.1) vérification à la flexion :**

Pour cette vérification on utilise la condition suivante pour les sections de classes 1 et 2

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{Ny,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{NZ,Rd}}\right)^\beta \leq 5.35 \text{ CCM97}$$

Où :

- $\alpha$  Et  $\beta$  sont des constantes qui placent en sécurité si elles sont prises égale à l'unité, mais qui peuvent prendre les valeurs suivantes :

Sections en U :  $\alpha=2$  et  $\beta = 5n > 1$  ; avec :  $n = \frac{N}{N_{pl}}$

Dans notre cas l'effort normal  $N = 0$  donc  $\beta = 1$

Pour la lisse de 6m :

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{1.387}{8} \times 6^2 = 6.241 \text{ Kn.ml}$$

$$M_{z,sd} = \frac{Q_{y,sd}}{8} \times l^2 = \frac{0.55}{8} \times 6^2 = 2.475 \text{ Kn.ml}$$

$$M_{Ny,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 34.5 \text{ Kn.ml}$$

$$M_{NZ,Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{35.2 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 8.8 \text{ Kn.ml}$$

$$\rightarrow \left(\frac{M_{y,sd}}{M_{Ny,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{NZ,Rd}}\right)^\beta = \left(\frac{6.241}{34.5}\right)^2 + \left(\frac{2.475}{8.8}\right)^1 = 0.33 \leq 1 \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Pour la lisse de 7.5m :

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{1.275}{8} \times 7.5^2 = 8.965 \text{ Kn.ml}$$

$$M_{z,sd} = \frac{Q_{y,sd}}{8} \times l^2 = \frac{0.55}{8} \times 7.5^2 = 3.867 \text{Kn. ml}$$

$$M_{Ny,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 34.5 \text{ Kn. ml}$$

$$M_{NZ,Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{35.2 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 8.8 \text{ Kn. ml}$$

$$\rightarrow \left( \frac{M_{y,sd}}{M_{Ny,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,sd}}{M_{NZ,Rd}} \right)^\beta = \left( \frac{8.965}{34.5} \right)^2 + \left( \frac{3.867}{8.8} \right)^1 = 0.51 \leq 1 \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

**a.2) Vérification au cisaillement :**

La vérification est donnée par la formule suivante:  $V_{sd} \leq V_{pl,rd}$  5.20 CCM97

$$V_{z,sd} \leq V_{plz,rd} ;$$

$$V_{y,sd} \leq V_{ply,rd} ;$$

Pour la lisse de 6.00m :

$$V_{z,sd} = \frac{Q_{z,sd} \times l}{2} = \frac{1.387 \times 6}{2} = 4.161 \text{ Kn}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{12.6 \times 10^{-4} \times (275 \times 10^3 / \sqrt{3})}{1.1} = 181.68 \text{ Kn}$$

$$V_{z,sd} < V_{plz,rd} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

$$V_{y,sd} = \frac{Q_{y,sd} \times l}{2} = \frac{0.55 \times 6}{2} = 1.65 \text{ Kn}$$

$$V_{ply,rd} = \frac{A_{vy} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{15 \times 10^{-4} \times (275 \times 10^3 / \sqrt{3})}{1.1} = 216.50 \text{ Kn}$$

$$V_{y,sd} < V_{ply,rd} \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

Pour la lisse de 7.50m :

$$V_{z,sd} = \frac{Q_{z,sd} \times l}{2} = \frac{1.275 \times 7.5}{2} = 4.781 \text{ Kn}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{12.6 \times 10^{-4} \times (275 \times 10^3 / \sqrt{3})}{1.1} = 181.86 \text{ Kn}$$

$$V_{z,sd} < V_{plz,rd} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

$$V_{y,sd} = \frac{Q_{y,sd} \times l}{2} = \frac{0.55 \times 7.5}{2} = 2.062 \text{ Kn}$$

$$V_{ply,rd} = \frac{A_{vy} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{Mo}} = \frac{15 \times 10^{-4} \times (275 \times 10^3 / \sqrt{3})}{1.1} = 216.50 \text{ Kn}$$

$$V_{y,sd} < V_{ply,rd} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

**a) Vérification au déversement :**

La semelle comprimée sous l'action du vent de dépression est susceptible de déverser du moment qu'elle est libre sur toute sa longueur.



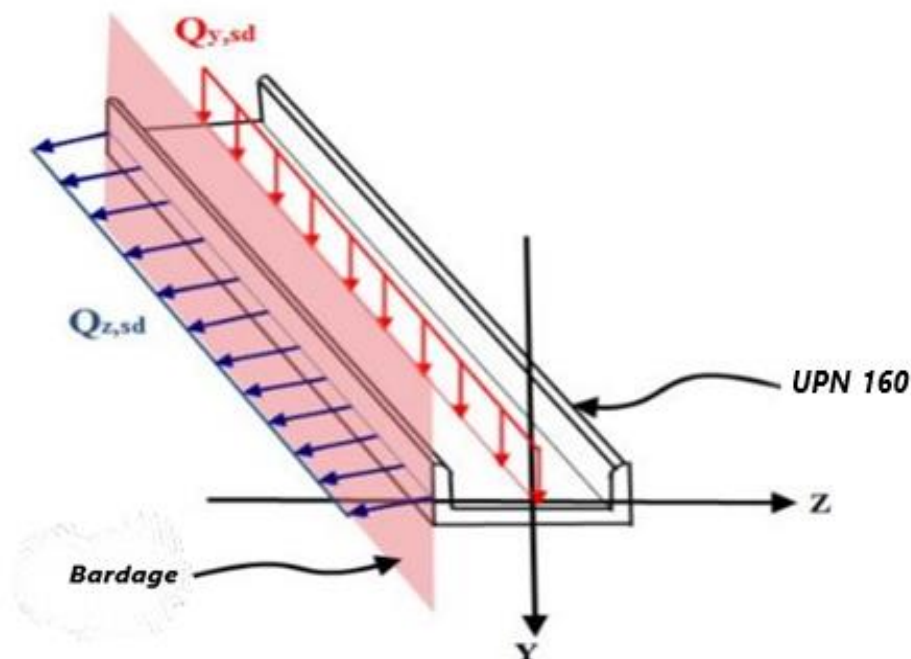


Figure 3.16 : Semelle comprimée susceptible de déverser.

Le CCM 97 donne la formule suivante pour la vérification du déversement d'un élément comprimé et fléchi :

$$M_{b,Rd} > M_{y,sd} \quad \text{Art 5.5.2(5.48) CCM 97.}$$

Pour la lisse de 6.00m :

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{1.387}{8} \times 6^2 = 6.241 \text{ Kn. ml}$$

$$M_{z,sd} = \frac{Q_{y,sd}}{8} \times l^2 = \frac{0.55}{8} \times 6^2 = 2.475 \text{ Kn. ml}$$

$$M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 34.5 \text{ Kn. ml}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \chi_{LT} \times M_{ply,Rd} \quad \text{5.48 CCM 97}$$

Avec :

$\beta_w=1$  pour les sections transversales de classe 1 ou 2

$M_{b,Rd}$ : Le moment résistant de déversement

$\chi_{LT}$ : C'est le coefficient de réduction pour le déversement, qui en fonction de l'élançement réduite  $\lambda_{LT}$  et coefficient d'imperfection  $\alpha_{LT}$ .

$\alpha_{LT} = 0.21$  Pour les profilés laminés.

Calcul du coefficient de réduction pour le déversement :  $\chi_{LT}$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{(\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 + \lambda_{lt}^2})} \quad \text{5.49 CCM 97}$$

Calcul de l'élançement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} \quad \text{B.13 CCM97}$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l^2} \times \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z}} \quad \text{B.6 CCM 97}$$

$M_{cr}$ : représente le moment critique élastique de déversement.

Avec :

$C_1 = 1.132$  (Charge uniformément répartie)      **tableau B 1.2 page 144 CCM 97.**

$E = 2.1 \times 10^4 \text{ Kn/cm}^2$ .....le module d'élasticité longitudinale de l'acier

$I_z = 85.3 \text{ cm}^4$ .....Moment d'inertie autour de l'axe Z

$I_w = 7.39 \times 10^3 \text{ cm}^6$ .....Facteur de gauchissement

$G = 8 \times 10^3 \text{ Kn/cm}^2$ .....le module d'élasticité transversale de l'acier

$I_t = 3.26 \text{ cm}^4$ .....Moment d'inertie de torsion

$l = l_z = 600 \text{ cm}$ .....longueur de flambement latérale

$$\rightarrow M_{cr} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 85.3}{600^2} \times \sqrt{\frac{7390}{85.3} + \frac{600^2 \times 8 \times 10^3 \times 3.26}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 85.3}} = \mathbf{1381.65 \text{ Kn.cm}}$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1 \times 138 \times 27.5}{1381.65}} = 1.65 > 0.4 \rightarrow \text{donc Ya un risque de déversement.}$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 2.0135$$

$$\rightarrow \chi_{LT} = \frac{1}{(2.0135 + \sqrt{2.0135^2 - 1.65^2})} = 0.315 \leq 1$$

$$M_{bRd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 0.315 \times 1 \times \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = \mathbf{10.867 \text{ Kn.m}}$$

$\rightarrow M_{bRd} = 10.867 \text{ Kn.m} > M_{y,sd} = 6.24 \text{ Kn.m}$  ..... Condition vérifiée.

Pour la lisse de 7.50m :

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{1.275}{8} \times 7.5^2 = 8.965 \text{ Kn.ml.}$$

$$M_{z,sd} = \frac{Q_{y,sd}}{8} \times l^2 = \frac{0.55}{8} \times 7.5^2 = 3.867 \text{ Kn.ml.}$$

$$M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 34.5 \text{ Kn.ml}$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \chi_{LT} \times M_{ply,Rd} \quad \text{5.48 CCM 97}$$

Avec :

$\beta_w = 1$  pour les sections transversales de classe 1 ou 2

$M_{b,Rd}$ : Le moment résistant de déversement

$\chi_{LT}$ : C'est le coefficient de réduction pour le déversement, qui en fonction de l'élançement réduite  $\bar{\lambda}_{LT}$  et coefficient d'imperfection  $\alpha_{LT}$ .

$\alpha_{LT} = 0.21$  Pour les profilés laminés.

Calcul du coefficient de réduction pour le déversement :  $\chi_{LT}$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{(\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 + \lambda_{lt}^2})} \quad \text{5. 49 CCM 97}$$

Calcul de l'élançement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$ :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{ply} \times f_y}{M_{cr}}} \quad \text{B.13 CCM97}$$

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l^2} \times \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z}} \quad \text{B.6 CCM 97}$$

$M_{cr}$ : représente le moment critique élastique de déversement.

Avec :

$C_1 = 1.132$  (Charge uniformément répartie)      **tableau B 1.2 page 144 CCM 97.**

$l = l_z = 750\text{cm}$ .....longueur de flambement latérale

$$\rightarrow M_{cr} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 85.3}{750^2} \times \sqrt{\frac{7390}{85.3} + \frac{750^2 \times 8 \times 10^3 \times 3.26}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 85.3}} = \mathbf{1077.054 \text{ Kn.cm}}$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1 \times 138 \times 27.5}{1077.054}} = 1.87 > 0.4 \rightarrow \text{donc Ya un risque de déversement.}$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 2.424$$

$$\rightarrow \chi_{LT} = \frac{1}{(2.424 + \sqrt{2.424^2 - 1.87^2})} = 0.252 \leq 1$$

$$M_{bRd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 0.252 \times 1 \times \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = \mathbf{8.694 \text{ Kn.m}}$$

$\rightarrow M_{b,Rd} = 8.694 \text{ Kn.m} < M_{y,sd} = 8.965 \text{ Kn.m}$  ..... **Condition non vérifiée.**

$\rightarrow$  la solution est de mettre une lierne à mi- travée

$l = l_z = 375\text{cm}$ .

$$M_{cr} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 85.3}{375^2} \times \sqrt{\frac{7390}{85.3} + \frac{375^2 \times 8 \times 10^3 \times 3.26}{\pi^2 \times 2.1 \times 10^4 \times 85.3}} = \mathbf{2440.53 \text{ Kn.cm}}$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1 \times 138 \times 27.5}{2440.53}} = 1.247 > 0.4 \rightarrow \text{donc Ya un risque de déversement.}$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 1.387$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{(1.387 + \sqrt{1.387^2 - 1.247^2})} = 0.501 \leq 1$$

$$M_{bRd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 0.501 \times 1 \times \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = \mathbf{17.284 \text{ Kn.m}}$$

→  $M_{b,Rd} = 17.284 \text{ Kn} \cdot \text{m} > M_{y,sd} = 8.965 \text{ Kn} \cdot \text{m}$  ..... Condition vérifiée.

**Conclusion :**

Le profilé laminé choisit **UPN 160** est donc vérifié à l'état limite ultime.

**3.5.2.4 Vérification à l'état limite de service (ELS) :**

Vérification de la flèche :

Le calcul de la flèche se fait par la combinaison de charge et surcharge de service (non pondérées).

$$Q = G + V$$

Condition de vérification :

$$f_z \leq f_{adm}$$

$$f_y \leq f_{adm}$$

Pour la lisse de 6.00 m :

**Flèche verticale suivant (Z-Z) sur deux appuis :**

$$f_{adm} = \frac{1}{200} = \frac{600}{200} = 3.00 \text{ cm.}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{v \times l^4}{E \times I_y} = \frac{5}{384} \times \frac{1.387 \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times 925} = 1.20 \text{ cm} < f_{adm} = 3.00 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

**Flèche latérale suivant (Y-Y) sur deux appuis :**

$$f_{adm} = \frac{1}{200} = \frac{600}{200} = 3.00 \text{ cm.}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{G \times l^4}{E \times I_z} = \frac{5}{384} \times \frac{0.55 \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times 85.3} = 5.18 \text{ cm} > f_{adm} = 3.00 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Non Vérifiée.}$$

→ la solution est de mettre une lierne à mi-travée

**Flèche latérale suivant (Y-Y) sur deux appuis :**

$$f_{adm} = \frac{1/2}{200} = \frac{600/2}{200} = 1.5 \text{ cm.}$$

$$f_y = \frac{2.05}{384} \times \frac{G \times l^4}{E \times I_z} = \frac{2.05}{384} \times \frac{0.55 \times 300^4}{2.1 \times 10^6 \times 85.3} = 0.132 \text{ cm} \leq f_{adm} = 1.5 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

Pour la lisse de 7.50m :

**Flèche verticale suivant (Z-Z) sur deux appuis :**

$$f_{adm} = \frac{1}{200} = \frac{750}{200} = 3.75 \text{ cm.}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{v \times l^4}{E \times I_y} = \frac{5}{384} \times \frac{1.275 \times 750^4}{2.1 \times 10^6 \times 925} = 2.70 \text{ cm} < f_{adm} = 3.00 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

**Flèche latérale suivant (Y-Y) sur trois appuis :**

$$f_{adm} = \frac{1/2}{200} = \frac{750/2}{200} = 1.88 \text{ cm.}$$

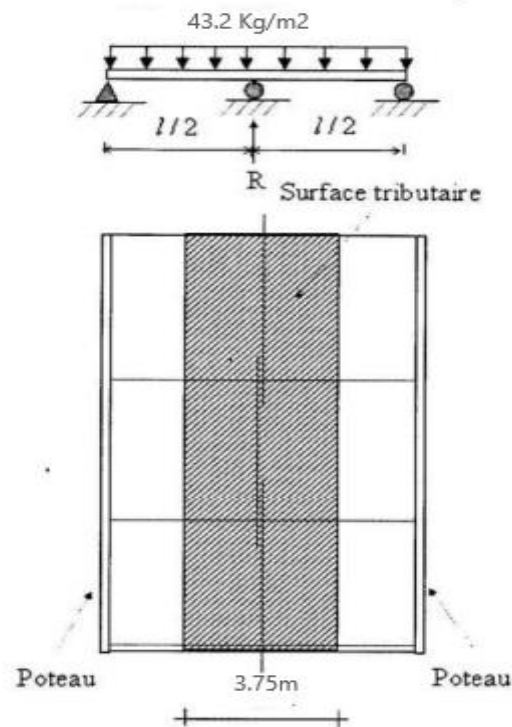
$$f_y = \frac{2.05}{384} \times \frac{G \times l^4}{E \times I_z} = \frac{2.05}{384} \times \frac{0.55 \times 375^4}{2.1 \times 10^6 \times 85.3} = 0.79 \text{ cm} \leq f_{adm} = 1.88 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

**Conclusion :**

Le profilé laminé choisit **UPN 160** est donc vérifié à l'état limite de service.

**3.5.2.5 Calcul de la section des liernes :**

**NB :** Deuxième méthode pour le calcul de la section des liernes.



**Figure 3.17:** la charge supportée par la lierne de la lisse.

La charge supportée par la lierne est :  $T = (1.35G) \times S$ .

S : la surface tributaire revenant au lierne

$$S = 9 \times 3.75 = 33.75 \text{ m}^2$$

$$G = (14.2 + 5) + \frac{19.2}{1.5} = 0.32 \text{ Kn / m}^2$$

$$\rightarrow T = (1.35 \times 0.32) \times 33.75 = 14.58 \text{ Kn}$$

$$A \geq \frac{T \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{14.58 \times 1.1}{275 \times 10^3} = 0.583 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{\pi \times \varnothing^2}{4} \geq 0.583 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow \varnothing \geq \sqrt{\frac{4 \times 0.583}{\pi}} = 0.86 \text{ cm}$$

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

### 3.5.3 Vérification de la lisse de pignon :

Les données :

- Les lisses sont simplement appuyées sur deux poteaux et trois potelets, de portées ( $l = 4.55\text{m}$  et  $l = 4.50\text{m}$ )
- L'entre axe des lisses  $e = 1.25\text{m}$
- Nombre des lisses pour chaque paroi ( $n = 8$ )
- Poids propre de la couverture (panneaux sandwichs TL75) .....  $14.2\text{Kg/m}^2$
- Poids propre d'accessoires de pose.....  $3\text{ kg/m}^2$
- Poids propre de la lisse estimé (UPN160) .....  $19.20\text{ kg/ml}$ .

#### 3.5.3.1 Évaluation des charges et surcharges :

a) Charges permanentes :

$$G = (P_{\text{Couverture}} + P_{\text{Accessoires}}) \times e + P_{\text{lisse}}$$

$$G = (14.2 + 3) \times 1.25 + 19.20$$

$$G = 40.7\text{ kg/ml} = 0.407\text{ Kn/ml}.$$

b) Surcharges climatiques du vent :

$$V = 1310.87\text{ N/m}^2 \quad (\text{Chapitre 2 tableau 2.8.})$$

$$V = -1310.87 \times 1.25 = 1638.587\text{ N/m}^2$$

$$V = 1.64\text{ Kn /m}^2 \text{ (Pression).}$$

#### 3.5.3.2 Combinaison de charges les plus défavorables :

$$Q_{y,sd} = 1.35 G = 1.35 \times 0.407$$

$$Q_{y,sd} = 0.55\text{ Kn/ml}$$

$$Q_{z,sd} = 1.5 V$$

$$Q_{z,sd} = 2.475\text{Kn/ml}$$

#### 3.5.3.3 Vérification à l'état limite ultime (ELU) :

Par tâtonnement on choisit l'UPN 160

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97**

- Classe de la semelle :

$$\frac{c}{t_f} = \frac{65/2}{10.5} = 3.095 \leq 10\varepsilon = 9.2 \rightarrow \text{Semelle de classe 1}$$

- Classe de l'âme :

$$\frac{c}{t_f} = \frac{d}{t_w} = \frac{115}{7.5} = 15.33 \leq 72\varepsilon = 66.24 \rightarrow \text{âme de classe 1.}$$

$$\text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

Donc la section globale est de classe 1 → Domaine plastique.

b) Vérification à la résistance en section :

Dans la condition de résistance à l'ELU, il faut faire les vérifications suivantes :

a.1) vérification à la flexion :

Pour cette vérification on utilise la condition suivante pour les sections de classes 1 et 2

$$\left(\frac{M_{y.sd}}{M_{Ny.Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z.sd}}{M_{NZ.Rd}}\right)^\beta \leq 1 \quad 5.35 \text{ CCM97}$$

Où :

•  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes qui placent en sécurité si elles sont prises égale à l'unité, mais qui peuvent prendre les valeurs suivantes :

Sections en U :  $\alpha=2$  et  $\beta = 5n > 1$  ; avec :  $n = \frac{N}{N_{pl}}$

Dans notre cas l'effort normal  $N = 0$  donc  $\beta = 1$

$$M_{y.sd} = \frac{Q_{z.sd}}{8} \times l^2 = \frac{2.475}{8} \times 4.55^2 = 6.404 \text{Kn.ml}$$

$$M_{z.sd} = \frac{Q_{y.sd}}{8} \times l^2 = \frac{0.55}{8} \times 4.55^2 = 1.42 \text{Kn.ml}$$

$$M_{Ny.Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{138 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 34.5 \text{ Kn.ml}$$

$$M_{NZ.Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{35.2 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 8.8 \text{ Kn.ml}$$

$$\rightarrow \left(\frac{M_{y.sd}}{M_{Ny.Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z.sd}}{M_{NZ.Rd}}\right)^\beta = \left(\frac{6.404}{34.5}\right)^2 + \left(\frac{1.42}{8.8}\right)^1 = 0.20 \leq 1 \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

a.2) Vérification au cisaillement :

La vérification est donnée par la formule suivante:  $V_{sd} \leq V_{pl.rd}$  5.20 CCM97

$$V_{z.sd} \leq V_{plz.rd} ;$$

$$V_{y.sd} \leq V_{ply.rd} ;$$

$$V_{z.sd} = \frac{Q_{z.sd} \times l}{2} = \frac{2.475 \times 4.55}{2} = 5.63 \text{Kn}$$

$$V_{plz.rd} = \frac{A_{vz} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{12.6 \times 10^{-4} \times (275 \times 10^3 / \sqrt{3})}{1.1} = 181.68 \text{ Kn}$$

$$V_{z.sd} \leq V_{plz.rd} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

$$V_{y.sd} = \frac{Q_{y.sd} \times l}{2} = \frac{0.55 \times 4.55}{2} = 1.251 \text{ Kn}$$

$$V_{ply.rd} = \frac{A_{vy} \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{15 \times 10^{-4} \times (275 \times 10^3 / \sqrt{3})}{1.1} = 216.50 \text{ Kn}$$

$$V_{y.sd} \leq V_{ply.rd} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

b) Vérification au déversement :

La stabilité des lisses concerne aussi la vérification au déversement. Dans notre cas la lisse de pignon est soumise à un vent de pression c'est-à-dire la semelle extérieure est comprimée sous l'action du vent et vu quelle est soutenue latéralement sur toute sa longueur, il n'y a pas donc le risque de déversement.

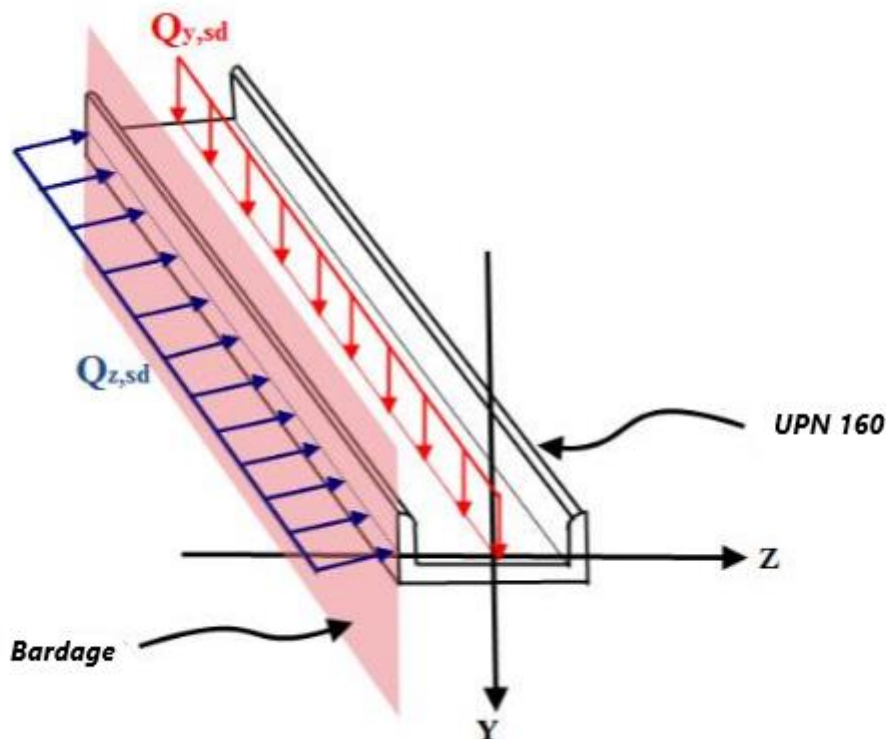


Figure 3.18: Semelle comprimée soutenue sur toute sa longueur.

→ Le profilé en UPN 160 est vérifié à l'état limite ultime

3.5.3.4 Vérification à l'état limite de service (ELS) :

Vérification de la flèche :

Le calcul de la flèche se fait par la combinaison de charge et surcharge de service (non pondérées).

$$Q = G + V$$

Condition de vérification :

$$f_z \leq f_{adm}$$

$$f_y \leq f_{adm}$$

Flèche verticale suivant (Z-Z) sur deux appuis :

$$f_{adm} = \frac{l}{200} = \frac{455}{200} = 2.275 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{v \times l^4}{E \times I_y} = \frac{5}{384} \times \frac{2.475 \times 455^4}{2.1 \times 10^6 \times 925} = 0.71 \text{ cm} < f_{adm} = 2.275 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérifiée.}$$

Flèche latérale suivant (Y-Y) sur deux appuis:

$$f_{adm} = \frac{l}{200} = \frac{455}{200} = 2.275 \text{ cm.}$$



$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{G \times l^4}{E \times Iz} = \frac{5}{384} \times \frac{0.55 \times 455^4}{2.1 \times 10^6 \times 85.3} = 1.71 \text{ cm} < f_{adm} = 2.275 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Vérfiée.}$$

→Le profilé en UPN 160 est vérifié à l'état limite de service.

### 3.6 Calcul des chéneaux :

Le chéneau a pour rôle l'évacuation des eaux pluviales et d'éviter leur stagnation afin d'assurer une bonne étanchéité de la toiture et de la construction.

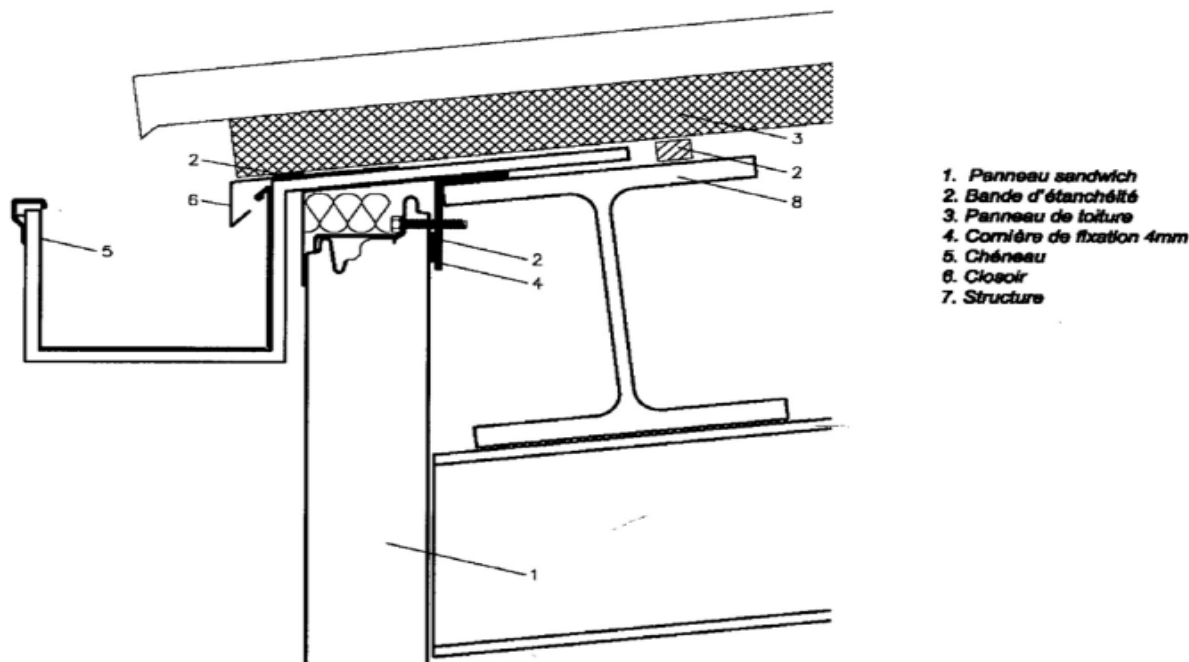


Figure 3.19: Coupe vertical sur le chéneau.

La section du chéneau sera déterminée comme suit :  $\frac{S}{S} \geq \frac{63}{\sqrt{\frac{s}{d} \times p}}$

Avec :

- s : Section transversale du chéneau en cm<sup>2</sup>
- S: Surface couverte du chéneau en m<sup>2</sup>
- d : Périmètre de la section mouillée du chéneau en cm.
- p : Pente du chéneau.

**Remarque :** on prévoit 5 points de descente d'eau sur le long pan au niveau du portique intérieur

**Dimensionnement du chéneau de rive :**

$$S = 9.17 \times 42.45 = 389.26 \text{ m}^2 \quad \text{Avec } P = 5 \text{ mm/ml (pour éviter l'accumulation du sable aussi)}$$

$$S' = \frac{389.26}{5} = 77.85 \text{ m}^2$$

Suivant l'abaque (Annexe 2)  $\left\{ \begin{array}{l} S = 100 \text{ cm}^2 \\ d = 10 \text{ cm} \end{array} \right.$

On prend un tuyau de PVC de diamètre 100mm

**Dimensionnement de chéneau intermédiaire :**

Surface en plan des combles des servis en m<sup>2</sup>:

$$S' = 77.85 \times 2 = 155.7 \text{ m}^2 \quad \text{Avec } P = 5 \text{ mm/ml}$$

$$\text{Suivant l'abaque (Annexe 2) } \begin{cases} S = 75 \text{ cm}^2 \\ d = 9 \text{ cm} \end{cases}$$

On prend un tuyau de PVC de diamètre 90 mm ou 100 mm

### 3.7 Étude des potelets :

Les potelets sont des profilés laminés, qui ont pour rôle de transmettre les différents efforts horizontaux à la poutre au vent et les efforts verticaux vers le sol. Ce sont des profilés disposés verticalement sur le pignon, comme indiqué sur la figure ci-dessous, et sont surtout sujet à la flexion composée sous les efforts suivant :

- Effort normal produit par le poids propre du potelet du bardage et des lisses.
- Effort de flexion produit par l'action du vent sur le pignon.

Ils sont considérés comme articulés dans les deux extrémités.

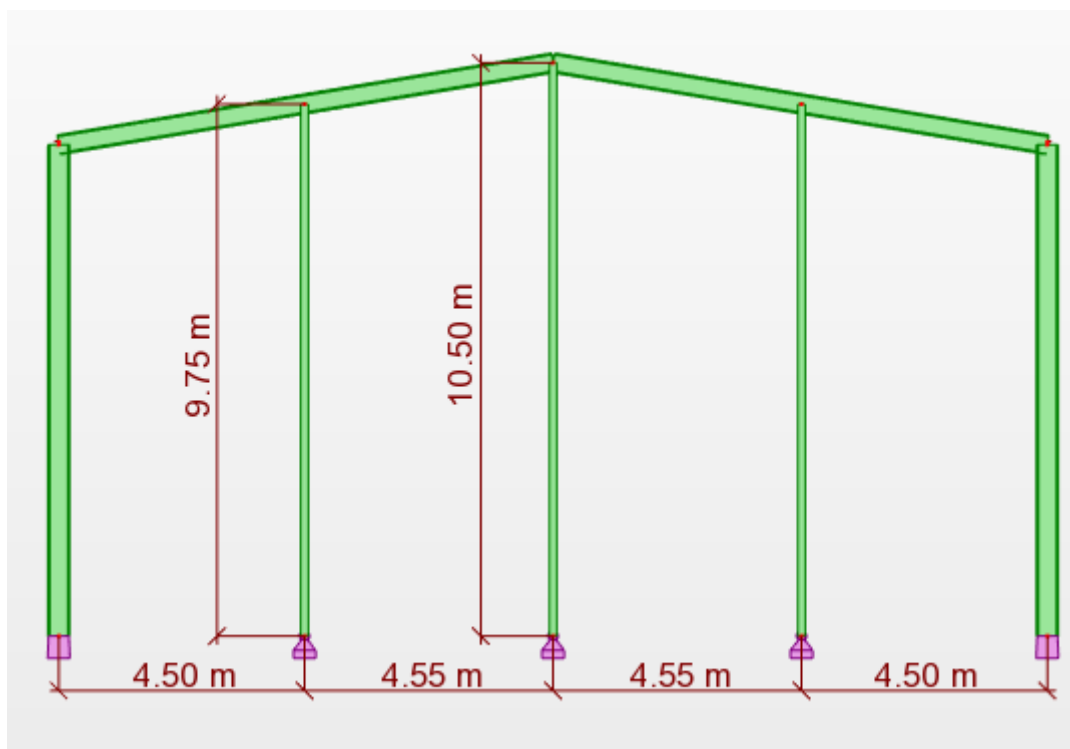


Figure 3.20 : Disposition des potelets

#### 3.7.1 Les données :

- La hauteur de potelet le plus chargé  $l = 10.5 \text{ m}$
- Entre axe des potelets  $e_1 = e_2 = 4.55 \text{ m}$ .  $e_3 = e_4 = 4.50 \text{ m}$ .
- Nombre de lisses supportées par le potelet ( $n = 8$ )
- Poids propre de bardage.....  $14.2 \text{ kg/m}^2$
- Poids propre d'accessoires de pose.....  $3 \text{ kg/m}^2$

- Poids propre de la lisse (UPN160) .....19.2. kg/ml

### 3.7.2 Calcul des charges et surcharges revenants au potelet (potelet du milieu) :

a) Charges permanents G :

$$G = (P_{\text{lisse}} \times L_{\text{lisse}} \times N_{\text{lisse}}) + (P_{\text{bardage}} + P_{\text{accessoire}}) \times S_{\text{tributaire}}$$

$$G = (19.2 \times 4.55 \times 8) + (14.2 + 3) \times (4.55 \times 10.5)$$

$$G = 1520.61 \text{ Kg} = 15.21 \text{ Kn} .$$

b) Surcharges climatiques V :

$$V = +1310,87 \text{ N/m}^2 \quad (\text{Chapitre 2. Tableau 2.8})$$

$$V = 1310.87 \times 4.55 = 5964.45 \text{ N/ml} = 5.964 \text{ Kn /ml}$$

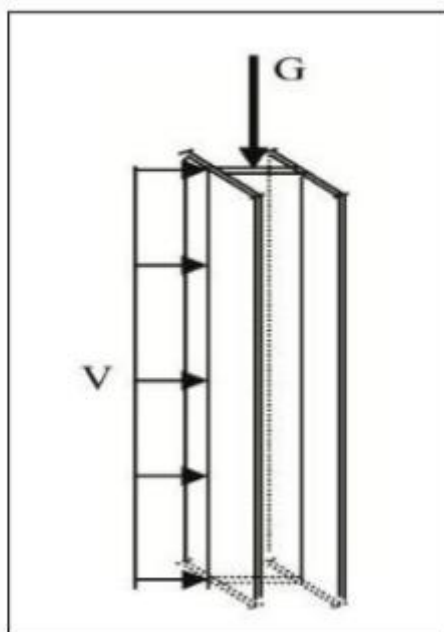


Figure 3.21: Représentation des charges et surcharges sur le potelet.

### 3.7.3 Dimensionnement du potelet :

- Sous la condition de la flèche : La vérification de la flèche se fait sous les charges non pondérées :

$$V = 5.964 \text{ Kn /ml}$$

$$f_y = \frac{5}{384} \times \frac{v \times l^4}{E \times I_z} \leq f_{\text{adm}} = \frac{l}{200} .$$

$$\text{Avec : } f_{\text{adm}} = \frac{l}{200} = \frac{1050}{200} = 5.25 \text{ cm} .$$

$l = 10.5\text{m}$ : Longueur du potelet le plus chargé.

$$I_y = \frac{1000}{384} \times \frac{5.964 \times 10.5^3}{2.1 \times 10^8} = 8561.60 \text{ cm}^4 .$$

On choisit la section du profilé dans les tableaux ayant au moins la valeur de  $I_y$  supérieure ou égale à la valeur trouvée.

- Ce qui correspond à un profilé IPE 330 ( $I_y = 11770 \text{ cm}^4$ ).

Profilé IPE330	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	h mm	b mm	T <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	r mm	d mm	W <sub>pl,y</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> cm <sup>3</sup>	A <sub>vz</sub> cm <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> Cm <sup>6</sup>
	300	160	11.5	7.5	18	271	804.3	153.7	30.81	788.1	28.15	199.1×10 <sup>3</sup>

Tableau 3.3: Caractéristiques géométriques de l'IPE 330.

→ Calcul de la charge permanent G (avec IPE330) :

$$G = 1520.61 + (P_{\text{profilé}} \times L_{\text{profilé}}) = 1520.61 + (49.1 \times 10.5) = 2036.16 \text{ Kg}$$

$$G = 20.3616 \text{ Kn.}$$

### 3.7.4 Vérification de la section à la résistance :

#### a) Incidence de l'effort normal :

Si :  $N_{sd} \leq \min(0.25 N_{pl,Rd} ; 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}})$ . Il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

$$N_{sd} = 1.35G = 1.35 \times 20.3616 = 27.488 \text{ Kn.}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{62.2 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 1555 \text{ Kn}$$

$$\rightarrow 0.25 N_{pl,Rd} = 388.75 \text{ Kn}$$

$$A_w = (A - 2b \cdot t_f) = 62.6 - (2 \times 16 \times 1.15) = 25.8 \text{ cm}^2.$$

$$\rightarrow 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0.5 \times \frac{25.8 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 322.5 \text{ Kn.}$$

$$N_{sd} = 27.488 \text{ Kn} < 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 322.5 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

La condition est vérifiée donc il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

#### b) Vérification a la flexion :

$$M_{y,sd} \leq M_{c,rd}$$

$M_{c,rd}$  : C'est le moment résistant qui dépend de la classe de la section.

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97**

-Classe de l'âme (l'âme en flexion composé) :

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d+d_c}{2} \right) \leq 1 \text{ et } d_c = \frac{N_{sd}}{t_w \times f_y} = \frac{27.488}{0.75 \times 27.5} = 1.33 \text{ cm.}$$

D'où :

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d + d_c}{2} \right) = \frac{1}{271} \left( \frac{271 + 13.3}{2} \right) = 0.52 \leq 1$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{(13\alpha - 1)} \rightarrow \frac{271}{7.5} = 36.13 < \frac{396 \times 0.92}{(13 \times 0.52 - 1)} = 63.25 \rightarrow \text{âme de classe 1}$$

-Classe de la semelle (semelle comprimée) :

$$\frac{c}{t_f} = \frac{67.5}{10.2} = 6.61 < 10\varepsilon = 9.2 \rightarrow \text{semelle de classe 1}$$

Avec :  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$

Donc la section globale est de classe 1 → Domaine plastique.

$$M_{c,Rd} = M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{804.3 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 201.075 \text{ Kn.m}$$

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{8.946}{8} \times 10.5^2 = 123.287 \text{ Kn.m}$$

→  $M_{y,sd} = 123.287 \text{ Kn.m} < M_{c,Rd} = 201.075 \text{ Kn.m}$ .....condition vérifiée.

### 3.7.5 Vérification de l'élément aux phénomènes instabilités :

Pour les éléments comprimés et fléchis, deux cas se présentent :

- Flexion composée sans risque de déversement      Art 5.5.4 (5.51) CCM97

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_y \times M_{y,sd}}{M_{ply,Rd}} + \frac{K_z \times M_{z,sd}}{M_{plz,Rd}} \leq 1$$

- Flexion composée avec risque de déversement      Art 5.5.4 (5.52) CCM97

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_{LT} \times M_{y,sd}}{\chi_{LT} \times M_{ply,Rd}} + \frac{K_z \times M_{z,sd}}{M_{plz,Rd}} \leq 1$$

Vérification a la flexion composée :

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd}}{8} \times l^2 = \frac{8.946}{8} \times 10.5^2 = 123.287 \text{ Kn.ml}$$

$$M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{804.3 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 201.075 \text{ Kn.ml}$$

Calcul de l'élancement réduit vis-à-vis du déversement  $\tilde{\lambda}_{LT}$  :

$$\tilde{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}; \beta_A \text{ (section 1,2 et 3).}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\lambda_{LT} = \frac{l/i_z}{c1^{0.5} \times [1 + \frac{1}{20} \times (\frac{l/i_z}{h/t_f})^2]^{0.25}} \quad \text{B.21 CCM97}$$

Avec:  $C_1 = 1.132$       Annexe B. Tableau B.1.2 CCM97.

Et:  $l = l_z = 1250 \text{ mm}$ .  $i_z = 35.5 \text{ mm}$ .  $h = 330 \text{ mm}$ .  $t_f = 11.5 \text{ mm}$ .

$$\lambda_{LT} = \frac{l/iz}{c1^{0.5} \times [1 + \frac{1}{20} \times (\frac{l/iz}{h/ef})^2]^{0.25}} = 32.49$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = 0.37 < 0.4$$

→ Flexion composée sans risque de déversement

Vérification au flambement :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_y \times M_{y,sd}}{M_{ply,Rd}} + \frac{K_z \times M_{z,sd}}{M_{plz,Rd}} \leq 1 \quad \mathbf{5.51 \text{ CCM 97.}}$$

Avec:

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

$\chi_{min}$  Est la plus petite valeur de  $\chi_z$  et  $\chi_y$ .

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

- Longueur de flambement:  $l_y = l = 10.5\text{m}$
- Calcul de l'élanement :  $\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{1050}{13.71} = 76.58$
- Calcul d'élanement réduit :

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}; \beta_A=1 \text{ (section 1,2 et 3).}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{76.58}{86.81} = 0.88$$

-Flambement par rapport à l'axe faible z-z (hors du plan du portique) :

- Longueur de flambement :  $l_z = 1.25 \text{ m}$  (entraxe des lisses).
- Calcul de l'élanement: :  $\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{125}{3.55} = 35.21$
- Calcul d'élanement réduit :

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}; \beta_A=1 \text{ (section 1,2 et 3).}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{35.21}{86.81} = 0.40$$

En utilisant la courbe de flambement **a** pour les profils lamines dans le calcul de coefficient de réduction pour le déversement  $\chi_{LT}$ : (voir le tableau 55.2 page 76 CCM97).

→  $\bar{\lambda}_y = 0.88 \rightarrow \chi_y = 0.7462$  (par une interpolation linéaire)

$$\rightarrow \lambda_z = 0.40 \rightarrow \chi_z = 0.9528$$

Coefficient de réduction minimal pour le flambement

$$\chi_{\min} = \min(\chi_z, \chi_y).$$

$$\chi_{\min} = 0.7462$$

$$\mu_y = 0.15 \times \lambda_y \times \beta_{M,LT} - 0.15$$

$\beta_{M,LT}$  Est un facteur de moment uniforme équivalent pour le déversement, voir [ (7).Page 86 CCM 97]

D'après la figure 55.4 Page 88 CCM 97 :  $\beta_{M,LT} = 1.3$  (car la traverse est simplement appuyée.).

$$\mu_y = 0.15 \times 0.88 \times 1.3 - 0.15 = 0.0216 \leq 0.9$$

$$K_y = 1 - \frac{U_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{0.0216 \times 27.488}{0.7462 \times 62.6 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3} = 0.99 < 1.5$$

Avec:

$$N_{sd} = 1.35 G = 1.35 \times 20.3616 = 27.488 \text{ Kn.}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{62.2 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 1555 \text{ Kn.}$$

$$M_{z, sd} = 0 \text{ Kn} \cdot \text{ml}$$

$$\rightarrow \frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_y \times M_{y, sd}}{M_{ply,Rd}} = \frac{27.488}{0.7462 \times 1555} + \frac{0.99 \times 123.287}{201.075} = 0.63 < 1 \dots \dots \dots \text{ vérifiée}$$

**Conclusion :**

le profilé **IPE330** vérifie toutes les conditions de résistances des différentes instabilités auxquels il peut être sujet.

Donc il convient parfaitement comme potelet pour notre structure.

## Introduction :

Les contreventements sont des pièces qui ont pour objet d'assurer la stabilité de l'ossature en s'opposant à l'action des forces horizontales telles que le vent, séismes, chocs, ... Ils sont alors conçus pour acheminer les charges horizontales jusqu'aux fondations.

### 3.8 Dispositions des contreventements :

Les contreventements sont disposés suivant les versants de la toiture dans les 2 travées de rives, dans le but de reprendre les efforts longitudinaux dues au vent, vu que le portique principal joue le rôle de contreventement transversal. Ils sont composés principalement d'une poutre au vent qui reçoit les efforts du vent et les transmet vers les palées de stabilité qui jouent le rôle des appuis de cette poutre à treillis et les transmettent vers le sol de fondation.

### 3.9 Calcul de la poutre au vent en pignon :

Cette poutre sera calculée comme une poutre treillis reposant sur deux appuis (palées de stabilité). Elle sera soumise à des forces horizontales.

#### 3.9.1 Effort du vent sur les pignons :

La transmission des efforts sur le pignon passe successivement du bardage aux lisses, puis aux potelets, puis à la traverse du portique de rive. Ce dernier n'étant pas rigide transversalement, il est nécessaire de le stabiliser en construisant un dispositif, tant dans le plan de la toiture (**poutre au vent**) que dans le plan vertical (**palée de stabilité**).

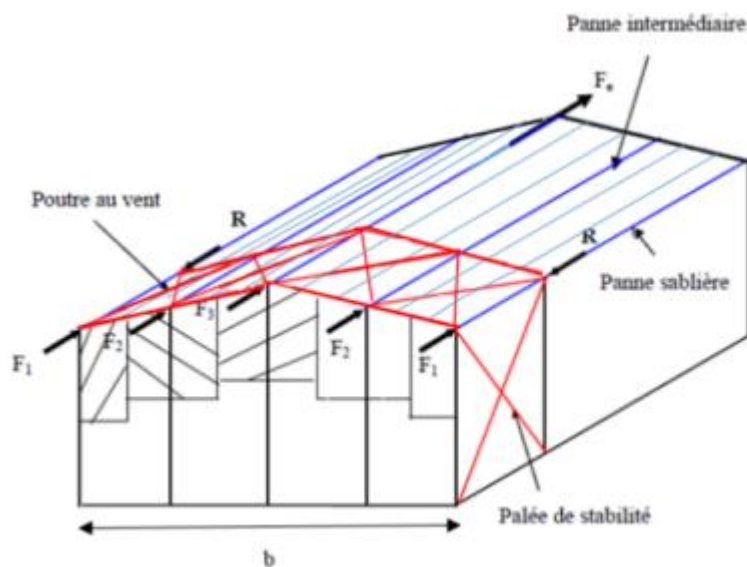


Figure 3.22 : Effort du vent sur les pignons.



## 3.9.2 : Évaluation des efforts horizontaux en tête des potelets et des poteaux :

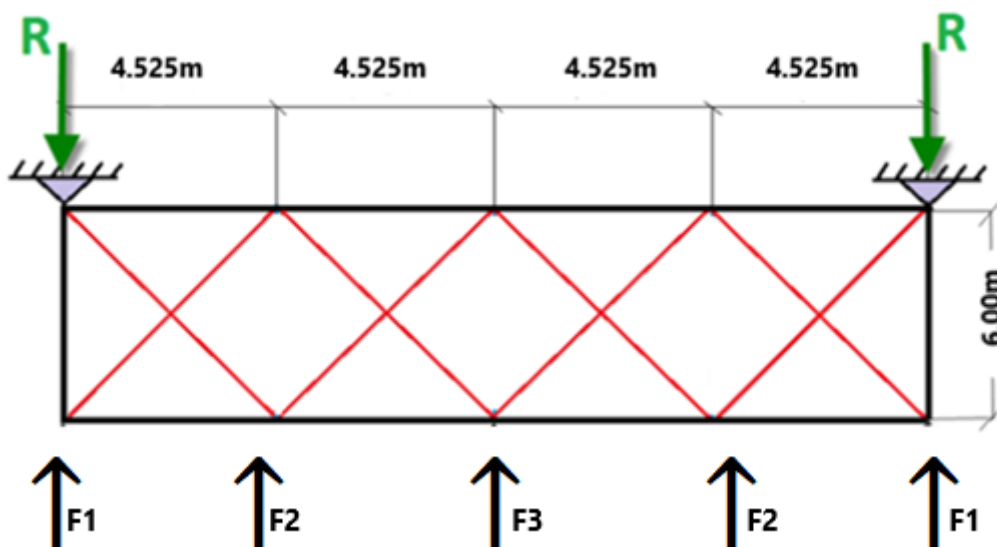


Figure 3.23 : Schéma statique de la poutre au vent.

L'effort  $F$  en tête des potelets et des poteaux se décompose en :

- Un effort  $F$  de compression simple en tête des potelets et des poteaux.
- Un effort  $F_d$  de traction dans les diagonales.

Calcul des forces :

a) Effort  $F$  de compression simple en tête des potelets et des poteaux

On a :  $h_1 = 9.00 \text{ m}$  ;  $h_2 = 9.75 \text{ m}$  .  $h_3 = 10.50 \text{ m}$

Et:- la force de frottement du vent perpendiculaire au pignon  $F_{fr} = 10.99 \text{ Kn/m}^2$  (chapitre 2)

-La pression du vent :  $V = q_h = 1.3101 \text{ kn/m}^2$  (tableau 2.8 chapitre 2)

$$F_1 = (v \times \frac{h_1}{2} \times \frac{b}{8}) + \frac{F_{fr}}{8} = (1.3101 \times \frac{9}{2} \times \frac{18.10}{8}) + \frac{10.999}{8} = 14.71 \text{ Kn}$$

$$F_2 = (v \times \frac{h_2}{2} \times \frac{b}{4}) + \frac{F_{fr}}{4} = (1.3101 \times \frac{9.75}{2} \times \frac{18.10}{4}) + \frac{10.999}{4} = 31.65 \text{ Kn}$$

$$F_3 = (v \times \frac{h_3}{2} \times \frac{b}{4}) + \frac{F_{fr}}{4} = (1.3101 \times \frac{10.5}{2} \times \frac{18.10}{4}) + \frac{10.999}{4} = 33.87 \text{ Kn}$$

## b) Effort de traction dans les diagonales :

On ne fait travailler que les diagonales tendues et on considère que les diagonales comprimées ne reprennent aucun effort, car du fait de leurs grands élancements, elles tendent à flamber sous de faibles efforts. Suivant le sens du vent (paroi D ou paroi E), c'est l'une ou l'autre des diagonales qui est tendue. Le contreventement du versant est une poutre à treillis supposée horizontale.

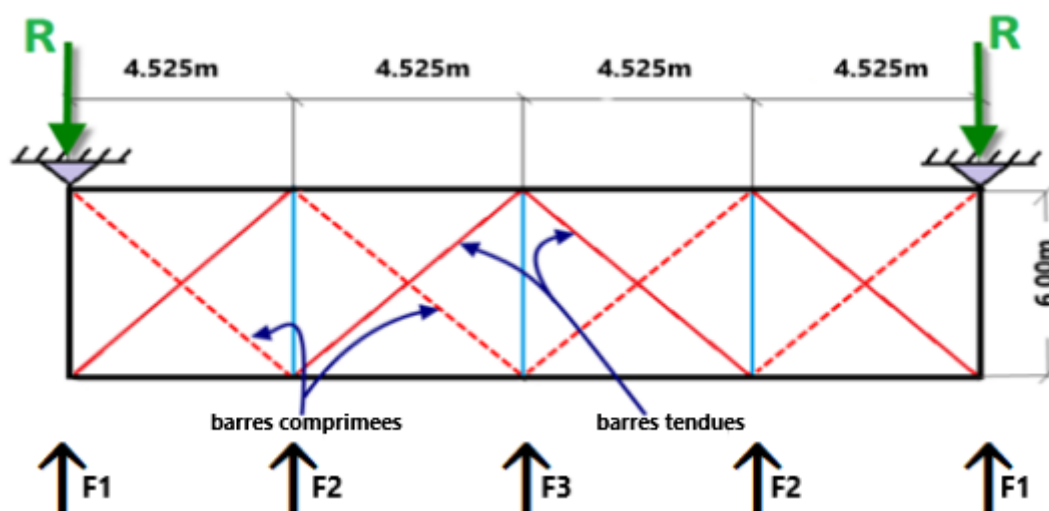


Figure 3.24 : Schéma statique de la poutre au vent (effet de traction).

Par la méthode des coupures :

L'effort  $F_d$  dans les diagonales d'extrémité (les plus sollicitées) est donné comme suit :

$$F_d \cdot \cos\theta + F_1 = R$$

Avec :

$$R = \frac{\sum F_i}{2} = \frac{2 \times F_1 + 2 \times F_2 + F_3}{2} = \frac{2 \times 14.71 + 2 \times 31.65 + 33.87}{2} = 63.295 \text{ Kn.}$$

$$\tan \theta = \frac{4.525}{6} = 0.75 \rightarrow \text{Arctg} = 36.87^\circ$$

$$D'où : F_d = \frac{R - F_1}{\cos\theta} = \frac{63.295 - 14.71}{\cos(36.87^\circ)} = 60.73 \text{ Kn}$$

$$N_{sd} = 1.5 \times F_d = \mathbf{91.097 \text{ Kn.}}$$

c) Section de la diagonale :

Calcul de la section brute A

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rightarrow A \geq \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{91.097 \times 1.1}{27.5} = 3.64 \text{ cm}^2$$

On opte pour une cornière isolée de L50×50×5 d'une section A = 4.80 cm<sup>2</sup>

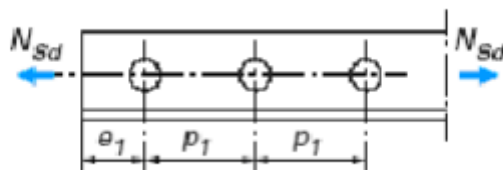
Avec un boulon de 12 mm et trous de 13 mm.

$$\text{– Section nette : } A_{nette} = 4.8 - 0.5 \times 1.3 = 4.15 \text{ cm}^2$$

### 3.9.3 Vérification à la résistance ultime de la section nette :

Cas de cornières assemblées par une seule aile, pour une attache avec deux boulons ou plus

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$



Où  $\beta$  est le coefficient minorateur donné dans le tableau 1 en fonction de l'entraxe  $P_1$  des trous.

Tableau 1 – Coefficients minorateurs $\beta_2$ et $\beta_3$		
Entraxe $p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
(2 boulons) $\beta_2$	0,4	0,7
(3 boulons ou plus) $\beta_3$	0,5	0,7

Tableau 3.4: Coefficients minorateurs  $\beta_2$  et  $\beta_3$ .

→ Attache de 3 boulons :  $p = 100\text{mm}$  ;  $e = 25\text{mm}$

$P_1 = 100\text{mm} > 5.0d_0 = 5 \times 13 = 65\text{mm}$  avec :  $d_0 = 13\text{mm}$  : diamètre des trous

Donc :  $\beta = \beta_3 = 0.7$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.7 \times 4.15 \times 10^{-4} \times 430 \times 10^3}{1.25} = 99.9 \text{ kn.}$$

$N_{sd} = 91.097 \text{ Kn} < N_{u,Rd} = 99.9 \text{ Kn} \dots \dots \dots$  Vérifiée.

**Conclusion :** Une cornière isolée de L50x50x5 avec boulon de 12 mm et trous de 13 mm convient pour les barres de contreventement de la poutre au vent.

### 3.10 Calcul de palée de stabilité en long pan :

Les palées de stabilité doivent reprendre les efforts du vent sur pignons transmis par le contreventement des versants (poutre au vent). On ne fait travailler que les diagonales tendues, comme dans le cas de la poutre au vent.

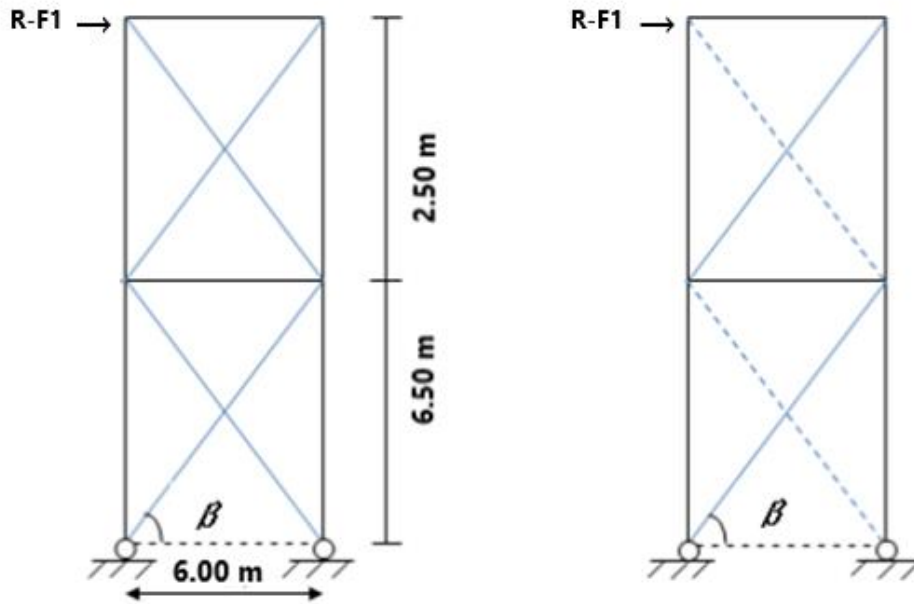


Figure 3.25 : Schéma statique de Palée de stabilité en long pan.

Par la méthode des coupures :

Par la méthode des coupures :

a) Effort de traction dans la diagonale tendue :

$$N \cdot \cos \beta = R - F_1$$

$$\text{Avec : } R = R_y = 213.54 \text{ Kn.}$$

$$\tan \beta = \frac{2.50}{6} = 0.416 \rightarrow \text{Arctg } \beta = 22.62^\circ.$$

$$\text{D'où : } N = \frac{R - F_1}{\cos \beta} = \frac{213.54 - 14.71}{\cos 22.62^\circ} = 234.90 \text{ Kn}$$

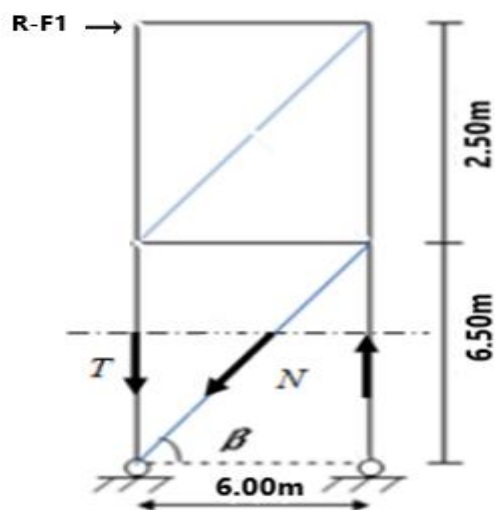


Figure 3.26: Effort de traction dans la diagonale tendue.

b) Section de la diagonale :

Calcul de la section brute A :

$$N_{sd} = 1.5 \times N$$

$$N_{sd} = 1.5 \times 234.90$$

$$N_{sd} = 352.35 \text{ Kn}$$

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rightarrow A \geq \frac{352.35 \times 1.1}{275 \times 10^3} = 1.41 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 14.1 \text{ cm}^2$$

Donc on opte **UPN 120** avec un boulon de **12 mm** et trous de **13 mm**.

Soit: **UPN 120** (  $A = 17 \text{ cm}^2$  )

$$\text{Section nette : } A_{nette} = 17 - 0.7 \times 1.3 = 16.09 \text{ cm}^2$$

**3.10.1 Vérification à la résistance ultime de la section nette :**

Cas de cornières assemblées par une seule aile, pour une attache avec deux boulons ou plus .

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.7 \times 16.09 \times 10^{-4} \times 430 \times 10^3}{1.25} = 387 \text{ Kn}$$

$$N_{sd} = 352.35 \text{ Kn} < N_{u,Rd} = 387 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

**Conclusion :** UPN 120 avec boulon de **12 mm** et trous de **13 mm** convient pour les barres de contreventement de la Palée de stabilité.

# CHAPITRE 04 :

# Étude du pont roulant

## Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de définir le pont roulant ainsi que ces caractéristiques pour assurer une fonctionnalité parfaite lors du déplacement longitudinal du pont en prenant compte des charges qu'il soulève

La vocation de notre hangar nécessite un ponts roulant d'une capacité de 12.5t , il est nécessaire donc de leur dimensionner le chemin de roulement ainsi que les rails sur lesquelles il va glisser.

- **Le pont roulant**

Un pont roulant, est un engin de levage mobile circulant sur une voie de roulement. Il est constitué d'une ou plusieurs poutres sur lesquelles se déplace transversalement au chemin de roulement, un chariot de transfert équipé d'un treuil pour le levage de la charge. Si le pont est constitué d'une seule poutre, on parle de pont roulant mono poutre. Dans les autres cas, on parle d'un pont bi-poutre.

- **Le chemin de roulement**

Le chemin de roulement est la structure porteuse de l'engin de levage, constituée d'une ou deux poutres de roulement et ses supports. Habituellement, le chemin est constitué de deux poutres parallèles surmontées d'un rail spécial et sur lesquelles circule le pont roulant.

- **La poutre de roulement**

La poutre de roulement est l'élément porteur longitudinal du chemin (profilé laminé, poutre composée à âme pleine, poutre treillis), Les poutres de roulement sont des poutres simples ou continues. Leurs appuis sont constitués par des poteaux indépendants ou par des corbeaux fixés sur les montants de cadres de halle.

4.1. Caractéristiques des ponts roulants:

❶ Chemin de roulement

❷ Chariot

❸ Poutres principales

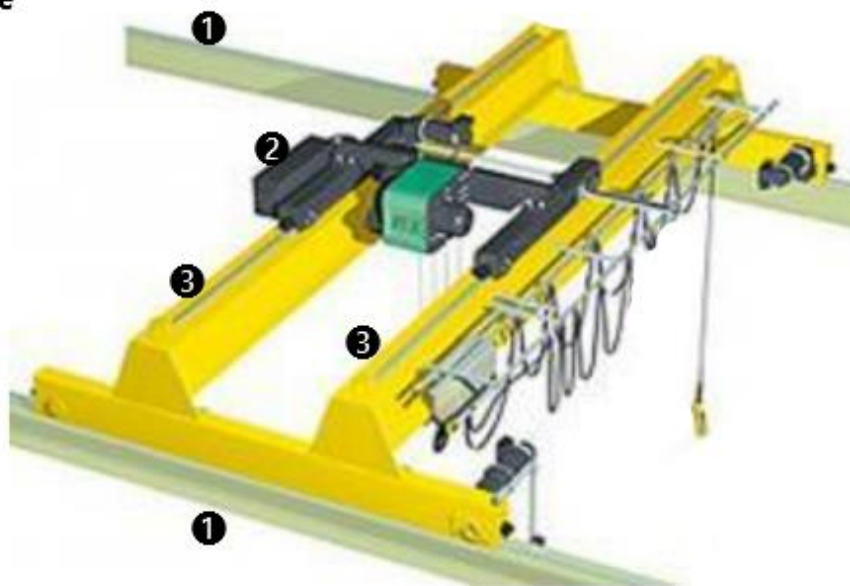


Figure 4.1 : Schéma 3D du pont roulant.

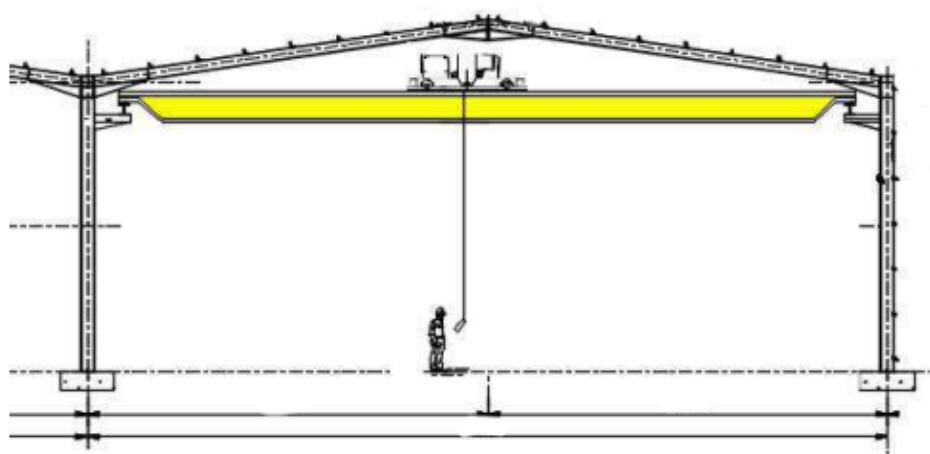


Figure 4.2 : Schéma 2D du pont roulant.

Soit le pont roulant avec la portée de 17 m :

Puissances N(t)	Portée L(m)	Vitesse (m/ min)			Poids (t)			Réaction (t)	
		Levage	Direction	Translation	Pont B	Chariot K	Total B+K	R <sub>max</sub>	R <sub>min</sub>
12.5	17	0.8/0.5	5 / 20	10 / 40	6.809	1.151	7.96	8.14	1.94

Tableau 4.1 : Caractéristiques du pont roulant.



a <sub>min</sub> (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e (m)
1	0.35	0.6	2	3.6

Tableau 4.2 : Caractéristiques géométriques du pont roulant.

Groupe	c	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>	Classe
II	0.2	1.1	1.1	A-2

Tableau 4.3 : Coefficient et classement des ponts roulants.

## 4.2 Classification des ponts roulants :

Les ponts roulants sont classés selon deux critères :

- Intensité de l'usage du pont.
- La variation de la charge soulevée.

Cette classification a été établie par la Fédération Européenne de la Manutention (F.E.M.)

### 4.2.1 Coefficient et Classements des ponts roulants selon le CTICM

- Les ponts roulants à usage intensif, (les poutres de roulement roulants doivent être conçues et calculées avec soin).
- Les ponts roulants d'usage peu fréquent, (le calcul de poutre de roulement est similaire à celui d'une poutre quelconque sous charge statique).
- Utilisation régulière en service intensif suivant l'état de charge.

C : Coefficient d'adhérence d'un galet sur son rail.

ψ : Coefficient de majoration dynamique des réactions verticales.

Dans ce projet le pont roulant utilisé est de **Type A**, classe **2**, Groupe **II**.

**Remarque** : Les ponts roulant à crochet sont classés dans le groupe II.

### 4.2.2 Description générale du calcul

En général, les poutres de roulements sont conçues sur deux appuis particulièrement celles destinées à recevoir les ponts de type A, pour que l'alternance de sollicitations M(+), M(-) conduit à réduire les contraintes admissibles en fatigue. Le moment maximum est déterminé par le théorème de BARRE, il est défini comme suit :

$$M_{max} = M_B = p \cdot \frac{\left(L - \frac{e}{2}\right)^2}{4.L}$$

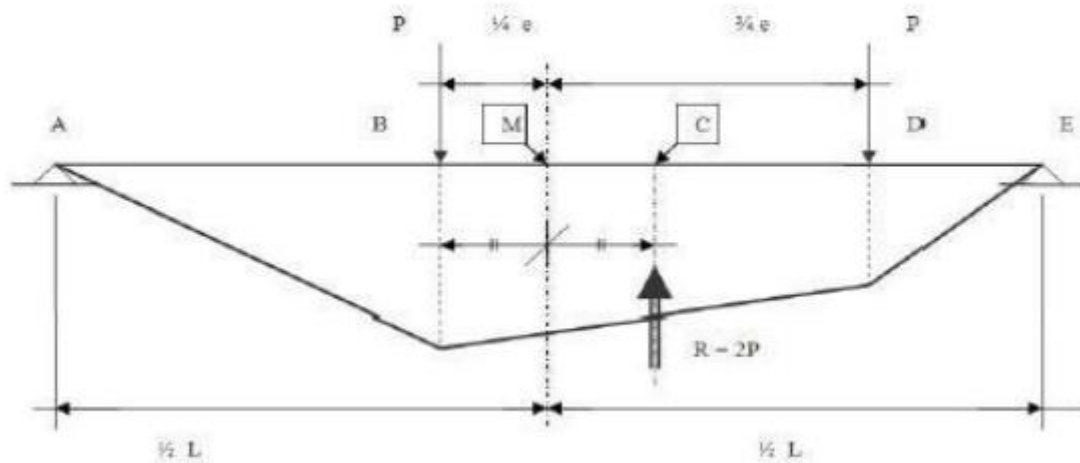


Figure 4.3 : Moment max pour deux charges égales (Théorème de Barré).

### 4.2.3 Définition des charges

#### Charges verticales (RVmax)

- Le poids des poutres de roulement.
- Le poids du pont, du chariot et de la charge soulevée.
- Les surcharges sur passerelles si elles existent.

#### Charges horizontales transversales (RHmax)

- Réaction transversale provoquée par le roulement du chariot.
- Freinage de direction du chariot.
- Vent sur la poutre dans le cas des poutres de roulement à l'extérieur du hangar.

#### Charges horizontales longitudinales (RLmax)

- Freinage longitudinale (de translation) du pont.
- Effet de tamponnement du pont.
- Vent sur pont s'il est à l'extérieur du hangar.

### 4.2.4 Calcul des réactions des galets du pont roulant

Charges statiques (réaction par galet) :

$$R_{\max} = 81.4 \text{ Kn.} \quad R_{\min} = 19.4 \text{ Kn.}$$

Charges verticales :

$$R_{v\max} = \Psi_1 \cdot R_{\max} = 1.15 \times 81.4 = 89.54 \text{ Kn.}$$

$$R_{v\min} = \Psi_2 \cdot R_{\min} = 1.1 \times 19.4 = 21.34 \text{ Kn.}$$

Charges horizontale longitudinale :

$$R_{L\max} = C \cdot R_{\max} = 0.2 \times 81.4 = 16.28 \text{ Kn.}$$

$$R_{Lmin} = C.R_{min} = 0.2 \times 19.4 = 3.88 \text{ Kn.}$$

Charges horizontales transversales :

Palan au milieu de la portée du pont :

$$\begin{aligned} RH1_{max} &= \pm \left[ 0.024 \times (K + N + B) \times \frac{L}{e} + 0.021 \times (N + k) \right] \\ &= \pm \left[ 0.024 \times (1.151 + 12.5 + 6.809) \times \frac{17}{3.6} + 0.021 \times (12.5 + 1.151) \right] \end{aligned}$$

$$RH1_{max} = \pm 2.605 \text{ t.}$$

$$\begin{aligned} RH1_{min} &= \pm \left[ 0.024 \times (K + N + B) \times \frac{L}{e} - 0.021 \times (N + k) \right] \\ &= \pm \left[ 0.024 \times (1.151 + 12.5 + 6.809) \times \frac{17}{3.6} - 0.021 \times (12.5 + 1.151) \right] \end{aligned}$$

$$RH1_{min} = \pm 2.032 \text{ t.}$$

Palan à distance minimale du chemin de roulement

$$\begin{aligned} RH2_{max} &= \pm \left[ 0.0052 \times (K + N + 5B) \times \frac{L}{e} + 0.021 \times (N + k) \right] \\ &= \pm \left[ 0.0052 \times (1.151 + 12.5 + 5 \times 6.809) \times \frac{17}{3.6} + 0.021 \times (12.5 + 1.151) \right] \end{aligned}$$

$$RH2_{max} = \pm 1.457 \text{ t.}$$

$$\begin{aligned} RH2_{min} &= \pm \left[ 0.0052 \times (K + N + 5B) \times \frac{L}{e} - 0.021 \times (N + k) \right] \\ &= \pm \left[ 0.0052 \times (1.151 + 12.5 + 5 \times 6.809) \times \frac{17}{3.6} - 0.021 \times (12.5 + 1.151) \right] \end{aligned}$$

$$RH2_{min} = \pm 0.884 \text{ t.}$$

Les premiers membres de ces formules correspondent aux efforts induits par la marche appelée marche en crabe du pont roulant, les deuxièmes membres de ces formules correspondent aux efforts dus au freinage du palan charge.

### 4.2.5 Le choix du rail de roulement

Pour notre cas, on a un pont roulant de 12.5 T, on va utiliser des rails A55, maintenues avec des crapauds.

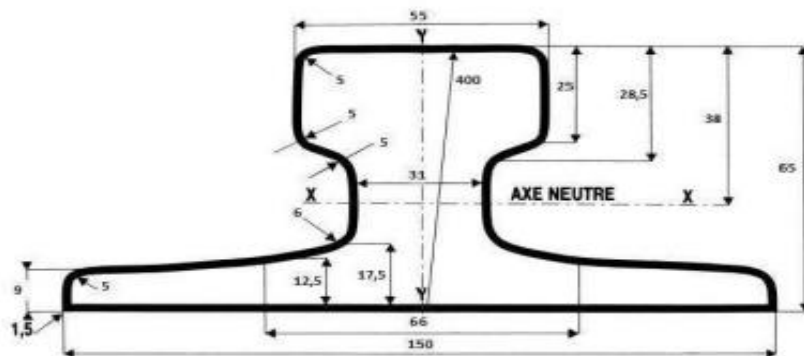


Figure 4.4 : Coupe transversale du rail.

Rail A55	Poids (Kg/m)	B (mm)	H (mm)	P (mm)	Section A (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )
	31.8	55	65	150	40.7	178	337

Tableau 4.4: Caractéristiques géométriques du rail.

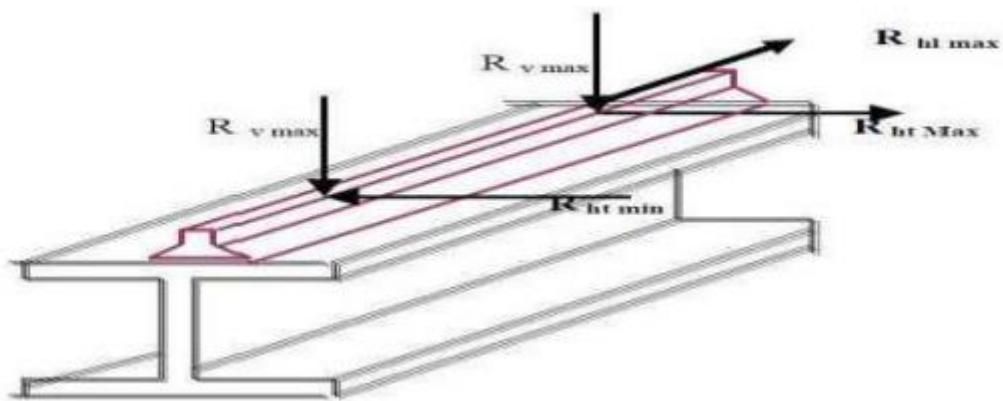


Figure 4.5 : Schéma de la poutre de roulement avec le rail.

### 4.3 Pré dimensionnement de la poutre de roulement

Le dimensionnement de la poutre du chemin de roulement se fait selon le règlement « CCM97 », et le calcul se fait avec les charges les plus défavorables.

#### 4.3.1 Condition de la flèche

D’après le CTICM le dimensionnement de la poutre de roulement se fait avec la condition de flèche. La flèche admissible est obtenue quand les deux charges sont en position symétrique par rapport au milieu de la poutre, il faut vérifier donc que :

$$f_z \leq f_{adm} = \frac{L}{750} = 1\text{cm. ... .. (page 60 CTICM)}$$

La longueur maximale de la travée est de 7.50 m (sur deux appuis simple), comme indiquée sur le schéma :

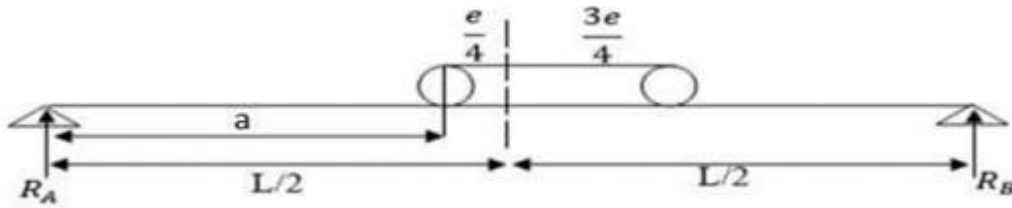


Figure 4.6 : Schéma statique de la poutre de roulement.

$$a = \left(\frac{L}{2} - \frac{e}{4}\right) = \left(\frac{7.5}{2} - \frac{3.6}{4}\right) = 2.85\text{m.}$$

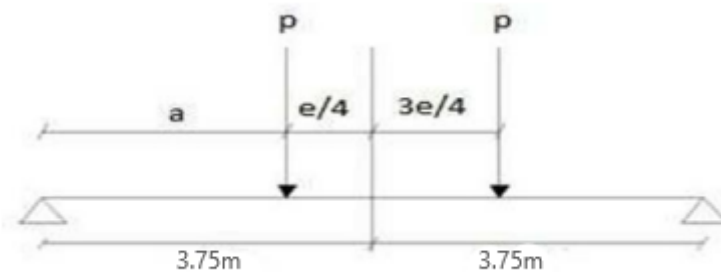


Figure 4.7: Illustrations des efforts appliqués sur la poutre de roulement.

$$f_z = \frac{p \cdot a \cdot l^2}{24EI} \times \left(3 - \frac{4 \cdot a^2}{l^2}\right)$$

Avec :

- $L = 7500 \text{ mm.}$
- $a = 2850 \text{ mm.}$
- $P = 89540 \text{ N.}$
- $E = 21.104 \text{ N/mm}^2 .$

$$I_y = \frac{p \cdot a \cdot l^2 \times (3l^2 - 4a^2)}{f_z \times 24EI^2} = \frac{89540 \times 2850 \times 7500^2 \times (3 \times 7500^2 - 4 \times 2850^2)}{10 \times 24 \times 21 \times 10^4 \times 7500^2}$$

$$\rightarrow I_y \geq 689921689.3 \text{ mm}^4.$$

Donc HEA500 vérifie la condition de la flèche.

Profile HEA 500	poids	Section	Dimensions				Caractéristiques			
	G Kg/m	A cm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>
	155	197.5	490	300	23	12	86970	10370	3949	1059

Tableau 4.5 : Caractéristiques du profilé HEA500.

## 1) Vérification de la flèche :

Poids propre incluse (rail+poutre)

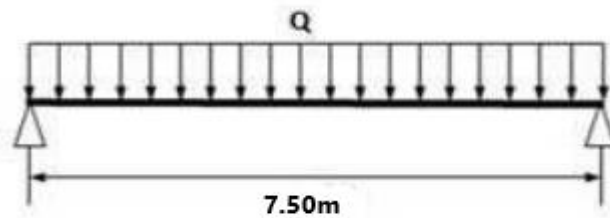


Figure 4.8 : Schéma statique de la poutre de roulement sur deux appuis.

$$q = G_{\text{poutre}} + G_{\text{rail}} = 1.55 + 0.318 = \mathbf{1.868 \text{ Kn/m}^2}.$$

$$f_z = \frac{p \cdot a \cdot l^2}{24EI} \times \left( 3 - \frac{4 \cdot a^2}{l^2} \right) + \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384EI}$$

$$f_z = \frac{89540 \times 2850 \times 7500^2}{24 \times 21 \times 10^4 \times 86970 \times 10^4} \times \left( 3 - \frac{4 \times 2850^2}{7500^2} \right) + \frac{5 \times 1.868 \times 7500^2}{38421 \times 10^4 \times 86970 \times 10^4}$$

→  $f_z = 7.93 \text{ mm} < f_{\text{adm}} = 10\text{mm} \dots \dots \dots$  **vérifiée.**

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97.**

-Classe de l'âme :  $\frac{d}{t_w} = \frac{390}{12} = 32.5 < 72\epsilon = 66.24 \rightarrow$  âme de classe 1

-Classe de la semelle :  $\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{150}{23} = 6.52 < 10\epsilon = 9.2 \rightarrow$  semelle de classe 1

Avec :  $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$

Donc la section globale est de classe 1 → Domaine plastique.

## 2) Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement est donnée par les formules suivantes :

$V_{y.sd} \leq V_{pl.Rd}$  **Art 5.4.6 (5.20) CCM97.**

$$V_{pl.Rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{74.72 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 1.1} = 1078.49 \text{ Kn}$$

- Effort tranchant dû à la réaction:
 
$$V_v = R_{vmax} \times \frac{4 \cdot a}{l} = \frac{89.54 \times 4 \times 2.85}{7.5} = 136.1 \text{ Kn}$$
- Effort tranchant du au pp (rail + HEA500) :
 
$$V_{PP} = \frac{G \cdot l}{2} = \frac{1.866 \times 7.5}{2} = 7 \text{ kn} .$$

D'où :  $V_{y.sd} = 1.35V_{PP} + 1.5V_v = 213.6 \text{ Kn}$

→  $V_{y.sd} \leq V_{pl.Rd}$ ..... Vérifiée.

### 4.3.2 Vérification de la résistance de la poutre de roulement :

**NB : Pour raison de la forte sensibilité des poutres de roulement à l'instabilité élastique, leurs dimensionnements par le calcul en plasticité n'est pas admis.**

$$\frac{N_{sd}}{N_{pl.Rd}} + \frac{M_{y.sd}}{M_{el.y}} + \frac{M_{z.sd}}{M_{el.z}} \leq 1 \quad \text{5.38 CCM97.}$$

Moment sollicitant sous charges verticales :

Suivant (z-z)

- Moment du a la réaction :

$$M_v = R_{vmax} \times \frac{\left(6 - \frac{3.6}{2}\right)^2}{4.1} = 89.54 \times \frac{\left(6 - \frac{3.6}{2}\right)^2}{4 \times 7.5} = 52.65 \text{ Kn.m}$$

- Moment du au poids propre (rail + HEA500) :

$$M_{pp} = \frac{G.l^2}{8} = 13.12 \text{ kn.m}$$

D'où  $M_{y.sd} = 1.35M_{pp} + 1.5M_v$

**$M_{y.sd} = 96.687 \text{ Kn.m}$**

Moment sollicitant sous charges horizontales

Suivant (y-y)

- Moment du a la réaction:

$$M_{z.sd} = M_H = \frac{2.R_{H1}}{L} \times \left(\frac{L}{2} - e\right)^2 = \frac{2 \times 27.4}{7.5} \times \left(\frac{7.5}{2} - \frac{3.6}{4}\right)^2$$

**$M_{z.sd} = 59.35 \text{ Kn.m}$**

$N_{sd} = 1.5 \times R_{Lmax} = 1.5 \times 16.28 = 24.42 \text{ Kn}$

$$M_{el.y} = \frac{w_{el.y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3550 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 887.5 \text{ Kn.m}$$

$$M_{el.z} = \frac{w_{el.z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{691.1 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 172.77 \text{ Kn.m}$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{197.5 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 4937.5 \text{ Kn.}$$

→  $\frac{N_{sd}}{N_{pl.Rd}} + \frac{M_{y.sd}}{M_{el.y}} + \frac{M_{z.sd}}{M_{el.z}} = \frac{24.42}{4937.5} + \frac{96.687}{887.5} + \frac{59.35}{172.77} = 0.451 < 1$  ..... vérifiée.

## 1) résistance de l'âme au voilement par cisaillement :

La résistance au voilement par cisaillement doit être vérifiée pour les âmes non raidies comme il est indiqué au **chapitre 5.6.1 page 89[CCM97]**.

Si  $\frac{d}{t_w} < 69 \varepsilon$ , il n'est pas nécessaire de vérifier le voilement par cisaillement.

Le profilé étant un **HEA500**, on aura donc :

$$\rightarrow \frac{d}{t_w} = \frac{390}{12} = 32.5 < 69 \varepsilon = 63.48.$$

$$\text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92.$$

→ Donc il n'ya pas lieu de vérifier le voilement par cisaillement.

## 2) Résistance au déversement :

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

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \chi_{LT} \times M_{b,Rd} \quad \text{5.48 CCM 97}$$

Avec :  $\beta_w = 1$  (section de classe 1)

$\chi_{LT}$ : Le facteur de réduction pour le déversement.

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés laminés I et H), l'élanement  $\lambda_{LT}$  vaut :

$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{1}{i_z}}{c1^{0.5} \times \left( 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{1}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right)^{0.25}} = 81.85 \quad \text{B.21 CCM97}$$

Avec :  $L = 750 \text{ Cm}$

$$h = 49 \text{ cm}$$

$$t_f = 2.3 \text{ cm}$$

$$i_z = 7.24 \text{ cm}$$

$$C_1 = 1.046 \dots \text{ [Tableau B.1.2 CM97] .}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon . \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_w} \quad \text{B.12 CCM97}$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_{LT} = \frac{81.85}{85.56} \times \sqrt{1} = 0.95 > 0.4 \rightarrow \text{il y'a risque de déversement}$$

On calcul :

$$\phi_{LT} = 0.5 \times [1 + \alpha_{LT} \times (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.95 - 0.2) + 0.95^2].$$



$$\phi_{LT} = 1.03$$

Avec  $\alpha_{LT} = 0.21$  pour les profilés laminés.

$$\rightarrow \chi_{LT} = \frac{1}{(\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 + \lambda_{LT}^2})} = \frac{1}{(1.03 + \sqrt{1.03^2 + 0.95^2})} = 0.70$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = 0.7 \times 1 \times \frac{3949 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 691.075 \text{ Kn} \cdot \text{m}$$

$$\rightarrow M_{b,Rd} = 691.075 \text{ Kn} \cdot \text{m} > M_{y,sd} = 96.687 \text{ Kn} \cdot \text{m} \dots\dots\dots \text{Vérfiée.}$$

### 4.3.3 Résistance de l'âme à la charge transversale :

1) Resistance à l'écrasement :

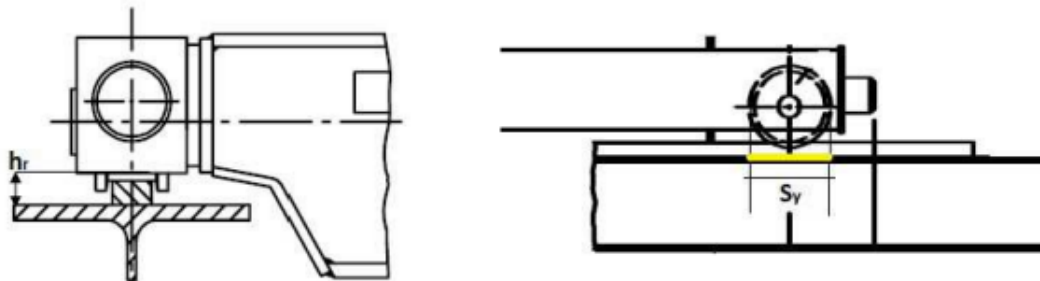


Figure 4.9 : Illustration des galets sur la poutre de roulement .

L'effort résistant à l'écrasement : ART 5.73 CCM97

$$f_{sd} \leq R_{yRd}$$

Avec :

-  $h_r = 65 \text{ mm}$  : La hauteur du rail .

-  $\sigma_{fEd} = \frac{M_{y,sd}}{W_{el,y}} = 2.72 \text{ Kn} / \text{cm}^2$  : La contrainte longitudinale dans la semelle.

-  $S_y$ : Longueur d'appui rigide = 17.6 cm

$$S_y = 2 \times (h_R + t_f) \times \sqrt{\left[1 - \left(\gamma_{M0} \times \frac{\sigma_{fEd}}{f_y}\right)^2\right]} \quad 5.76 \text{ CCM97}$$

$$\rightarrow R_{y,Rd} = \frac{S_y \times t_w \times f_y}{\gamma_{M0}} = 528 \text{ Kn} > f_{sd} = R_{vmax} = 89.54 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{Vérfiée.}$$

2) Vérification à l'enfoncement local :

Selon le CCM97, il faut satisfaire la condition suivante :

$$\frac{f_{sd}}{R_{a,Rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{c,Rd}} \leq 1.5 \quad \text{Art 5.78 CCM97}$$

Avec :

$$R_{a,Rd} = \frac{0.5 \cdot t_w^2 (E \cdot f_{yw})^{0.5} \left[ \left( \frac{t_f}{t_w} \right)^{0.5} + 3 \cdot \left( \frac{t_w}{t_f} \right) \cdot \left( \frac{s_s}{d} \right) \right]}{\gamma_{M0}} \quad \text{5.77 CCM97.}$$

Où  $S_s$  est la longueur de l'appui rigide déterminée en **5.76**.

$$\rightarrow R_{a,Rd} = \mathbf{1039.98 \text{ Kn}} .$$

$$f_{sd} = 1.5 \times R_{Lmax} = 1.5 \times 16.28 = \mathbf{24.42 \text{ Kn}} .$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3949 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = \mathbf{987.25 \text{ Kn}} .$$

$$\rightarrow \frac{f_{sd}}{R_{a,Rd}} + \frac{M_{sd}}{M_{c,Rd}} = \frac{24.42}{1039.98} + \frac{96.687}{987.25} = 0.12 < 1.5 \dots\dots\dots \text{Véifiée.}$$

### 4.4 Calcul du support du chemin de roulement

Le chemin de roulement est supporté par une console qui est sollicité par les efforts suivants :

- Le poids propre de la poutre de roulement et du rail.
- Les actions verticales et horizontales des galets du pont roulant.
- Le poids propre de la console elle-même.

- **Charge vertical**

Charge verticale non pondérée :

$$P' = Q \times L + R_{max} \times \left( 2 - \frac{e}{L} \right) \times \psi_2 = 1.886 \times 7.5 + 81.4 \times \left( 2 - \frac{3.6}{7.5} \right) \times 1.1 = \mathbf{150.25 \text{ Kn}} .$$

Charge verticale pondérée :

$$P = 1.35(Q \times L) + 1.5R_{max} \times \left( 2 - \frac{e}{L} \right) \times \psi_2 = \mathbf{223.24 \text{ Kn}} .$$

- **Charge horizontal**

$$P_H = 1.5R_{Hmax} \times \left( 1 - \frac{e}{L} \right) \times \psi_2 = 1.5 \times 26.05 \times \left( 1 - \frac{3.6}{7.5} \right) \times 1.1 = \mathbf{22.35 \text{ Kn}} .$$

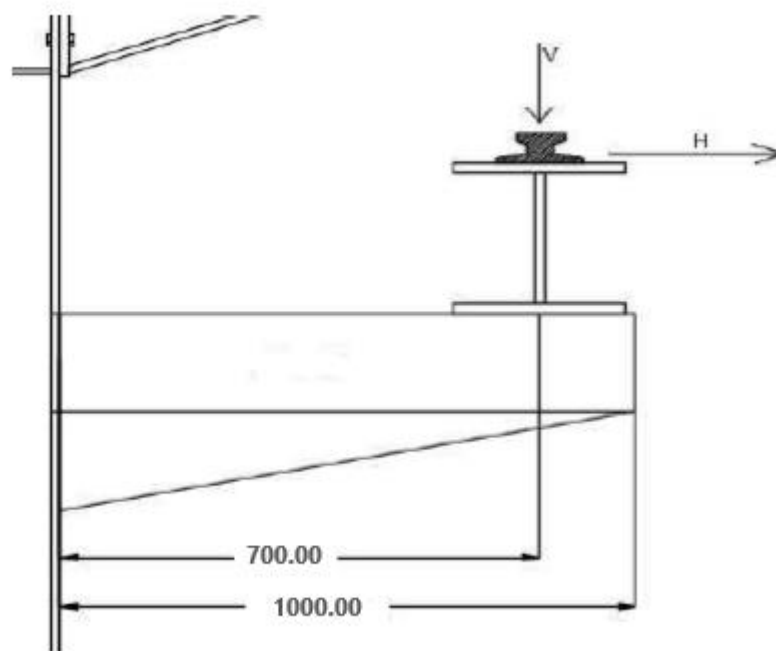


Figure 4.10 : Coupe verticale sur le support du chemin de roulement.

Dimensionnement du support de chemin de roulement :

La flèche du support de roulement est limitée

$$f_z \leq f_{adm} = \frac{1}{500}$$

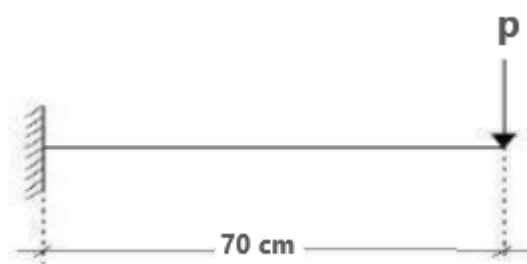


Figure 4.11: Schéma statique du support de chemin de roulement.

$$f_z = \frac{P' \cdot d^3}{3EI} \leq f_{adm}$$

$$\rightarrow I_y = \frac{500 \times P' \times d^2}{3E} \geq 5843.05 \text{ Cm}^4$$

Selon le moment d'inertie obtenu et les conditions de résistance, on choisira un IPE 360

Profilé IPE360	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	r mm	d mm	W <sub>pl,y</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>pl,z</sub> cm <sup>3</sup>	A <sub>vz</sub> cm <sup>2</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>w</sub> cm <sup>4</sup>
	360	170	12.7	8	18	334.6	1019	191.1	35.14	1043	37.31	313.6 ×10 <sup>3</sup>

Tableau 4.6 : Caractéristiques du profilé IPE360.

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97**

-Classe de l'âme :  $\frac{d}{t_w} = \frac{334.6}{8} = 41.82 < 72\epsilon = 66.24 \rightarrow$  âme de classe 1

-Classe de la semelle :  $\frac{c}{t_f} = \frac{85}{12.7} = 6.69 < 10\epsilon = 9.2 \rightarrow$  semelle de classe 1

Avec :  $\epsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$

Donc la section globale est de classe 1  $\rightarrow$  Domaine plastique.

• **Vérification au cisaillement:**

La vérification au cisaillement est donnée par les formules suivantes :

$V_{y,sd} \leq V_{pl,Rd}$  ..... Art 5.4.6 (5.20) CCM97

$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{35.14 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 1.1} = 492.76 \text{ Kn}$

$V_{y,sd} = P = 223.24 \text{ Kn}$

$\rightarrow V_{y,sd} \leq V_{pl,Rd}$  ..... Vérifiée.

On a :  $V_{y,sd} = P = 223.24 \text{ Kn} < 0.5 \times V_{pl,Rd} = 246.38 \text{ Kn}$

**Donc :**  $\rightarrow$  L'incidence de l'effort tranchant sur le moment résistant est négligée.

• **Vérification au moment fléchissant :**

$M_{,sd} \leq M_{c,rd}$  Art 5.4.5 (5.17) CCM97

$M_{y,sd} = p \cdot d = 223.24 \times 0.7 = 156.268 \text{ Kn} \cdot \text{m}$

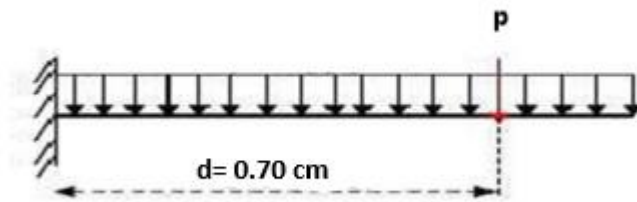
$M_{c,rd} = M_{ply,Rd} = \frac{w_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 254.75 \text{ Kn} \cdot \text{m}$

$M_{y,sd} = 156.268 \text{ Kn} \cdot \text{m} < M_{c,rd} = 254.75 \text{ Kn} \cdot \text{m}$  ..... Condition vérifiée.



Figure 4.12 : Diagramme du moment fléchissant du support de chemin de roulement.

- Vérification de la flèche :



**Figure 4.13** : Coupe verticale sur la répartition des charges sur le support du  
Chemin de roulement.

$$f_z \leq f_{adm} = \frac{d}{500} = 0.14 \text{ cm.}$$

$$f_z = \frac{P \cdot d^3}{3EI} + \frac{q \cdot l^2}{8EI} = 0.053 + 0.021 = 0.074 \text{ cm} < 0.14 \text{ cm.}$$

Avec :  $q = G_{IPE\ 360} = 57.1 \text{ Kg/m}$

**Conclusion** : Donc, on adopte un profilé IPE360 comme un support de chemin de roulement.

# CHAPITRE 05 :

## Vérification des éléments

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

### Introduction :

Le but de tous calculs de structures est de vérifier tous les éléments aux sollicitations afin d'assurer la stabilité globale de l'ossature. La vérification de l'ossature nécessite au préalable l'évaluation de toutes les charges (permanentes, d'exploitations, séismiques et climatiques) qui lui seraient appliquées.

Le calcul se fait sous les combinaisons d'actions les plus défavorables auxquelles ils pourraient être soumis durant toute leur période d'exploitation de l'ouvrage. Les sollicitations obtenues servent à la vérification des éléments (poteaux, poutres...), elles servent également au calcul des assemblages, ainsi qu'à celui de l'infrastructure.

### 5.1 Méthode de travail :

Après avoir pré dimensionné les éléments de notre ouvrage, on passe à la vérification de ces éléments à l'aide de logiciel ROBOT. On modélise notre structure sur ROBOT en utilisant les profilés déjà pré dimensionné puis on introduit les charge permanente, les surcharge d'exploitation et les combinaisons d'action puis on lance le calcul et on vérifie les éléments. L'organigramme ci-dessous résume les étapes de travail:

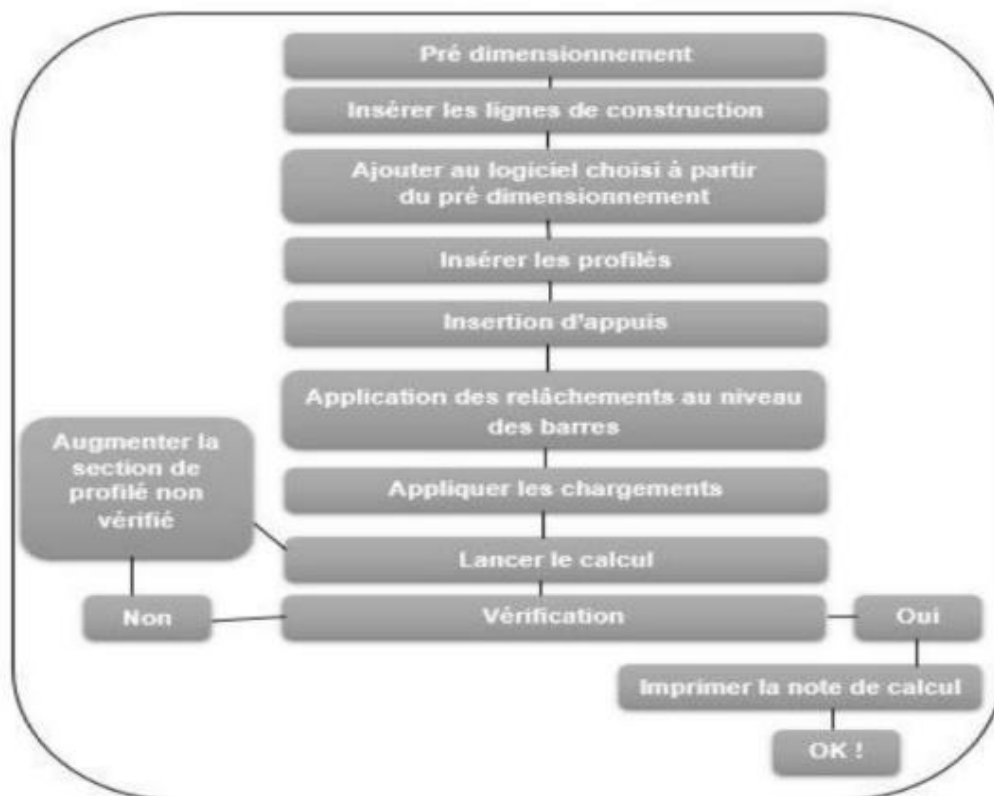


Figure 5.1 : Étape de modélisation à l'aide de logiciel ROBOT.

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

### 5.2 Étapes de modélisation :

#### 5.2.1 Matériaux utilisé :

##### a. Acier

- La limite élastique de traction,  $f_y=275$  Mpa.
- Module de YOUNG (module d'élasticité longitudinal)  $E=210000$  Mpa.
- Module d'élasticité transversal  $G=81000$  Mpa.
- La masse volumique de l'acier :  $\rho = 7850$  Kg/m<sup>3</sup> .
- Coefficient de poisson  $\nu = 0.3$  .

##### b. Béton

- Résistance à la compression à 28 jours  $f_{c28} = 25$  Mpa.
- La résistance caractéristique à la traction  $f_{t28}$  : donné par la formule suivante :  
 $f_{t28} = 0.6 \times 0.06 \times f_{c28}$  (BAEL/A2.1 ,12)  
 Donc  $f_{t28} = 0.6 \times 0.06 \times 25 = 2.1$  Mpa.
- La masse volumique :  $\rho = 2500$  Kg/m<sup>3</sup>.
- Le module d'élasticité longitudinale  $E = 32164.2$  Mpa.
- Coefficient de poisson  $\nu = 0$  à l'ELU.  
 $\nu = 0.2$  à l'ELS

#### 5.2.2 Profilé assimilé :

Pannes	IPE160
Lisses de bardages	UPN160
Potelets	IPE330
Poteaux	HEA400
Traverses	IPE360
Poutres de roulement	HEA500
Corbeaux	IPE360
Poutre sablière	HEA120
Poutre au vent	L 50x5
palée de stabilité	2 UPN120
Chevret	UPN120

Tableau 5.1 : Récapitulatif des éléments utilisés



## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

### 5.2.3 Chargements :

Chargements du vent (V1 et V2) :

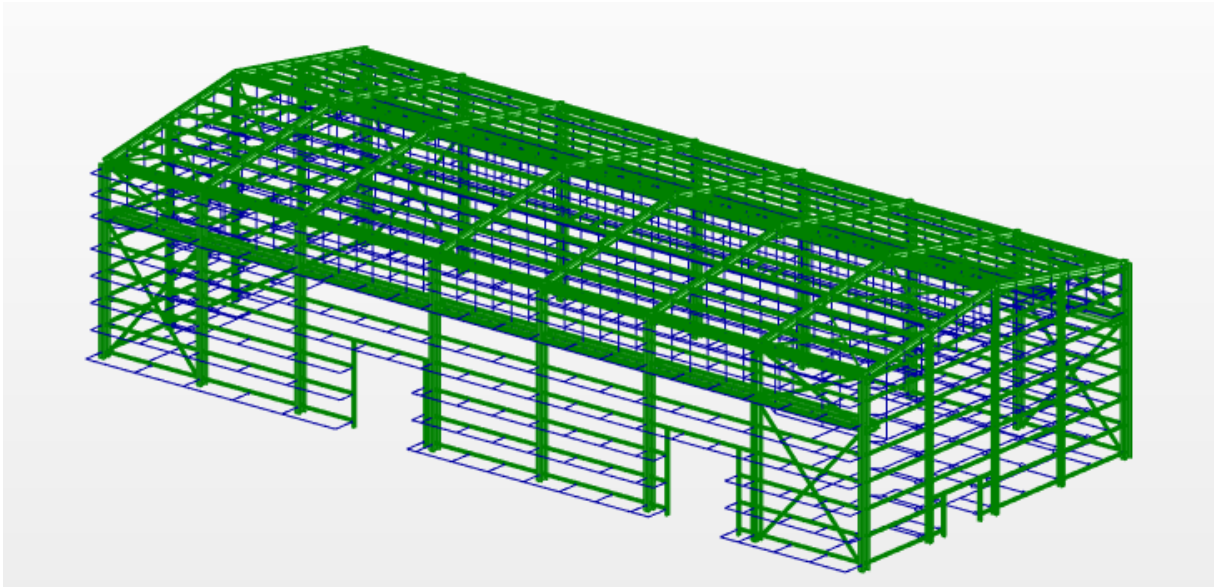


Figure 5.2 : cas de charge V1.

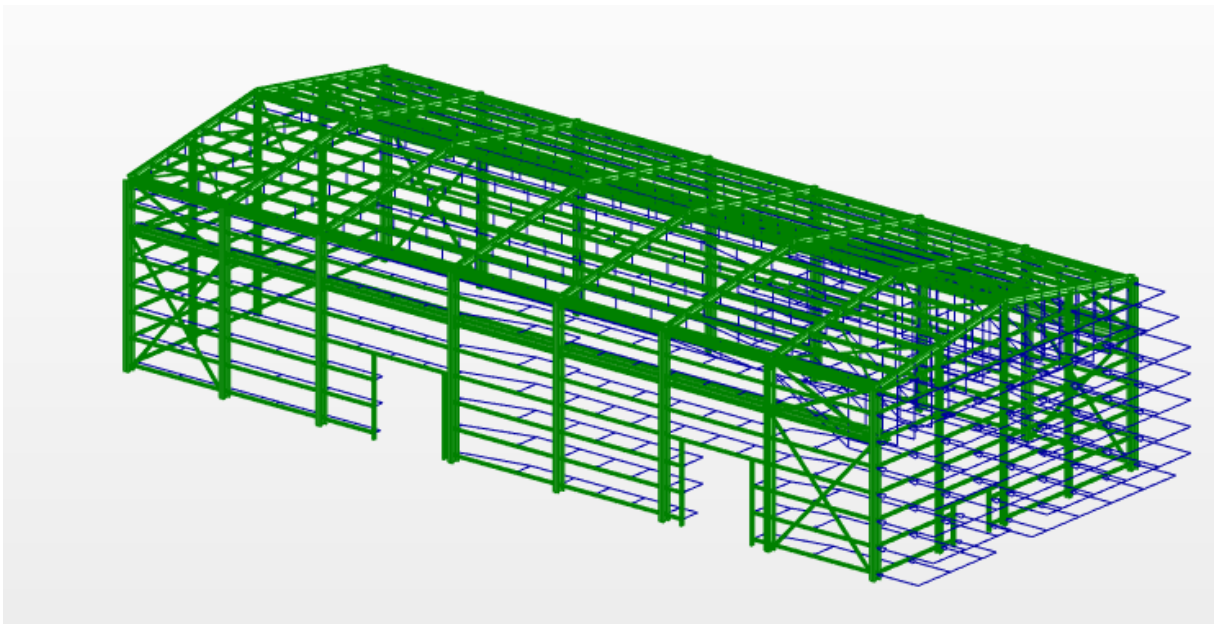


Figure 5.3 : cas de charge V2.

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

Chargements du sable (S) :

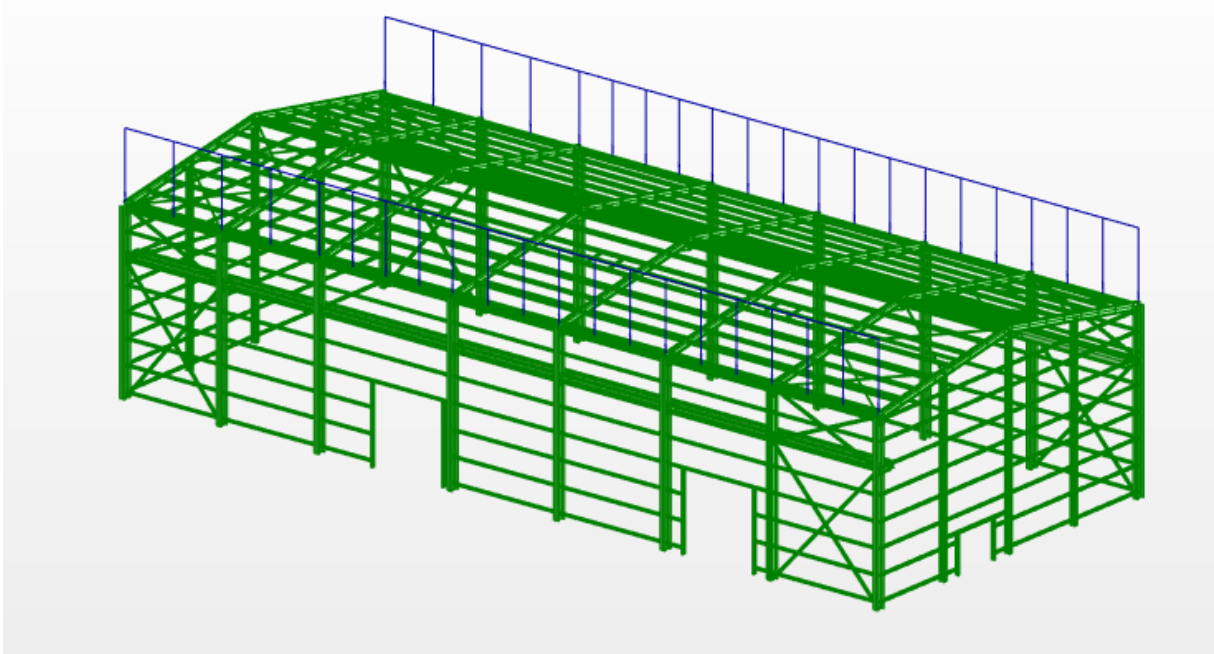


Figure 5.4: cas de charge S.

Chargements thermique (T) :

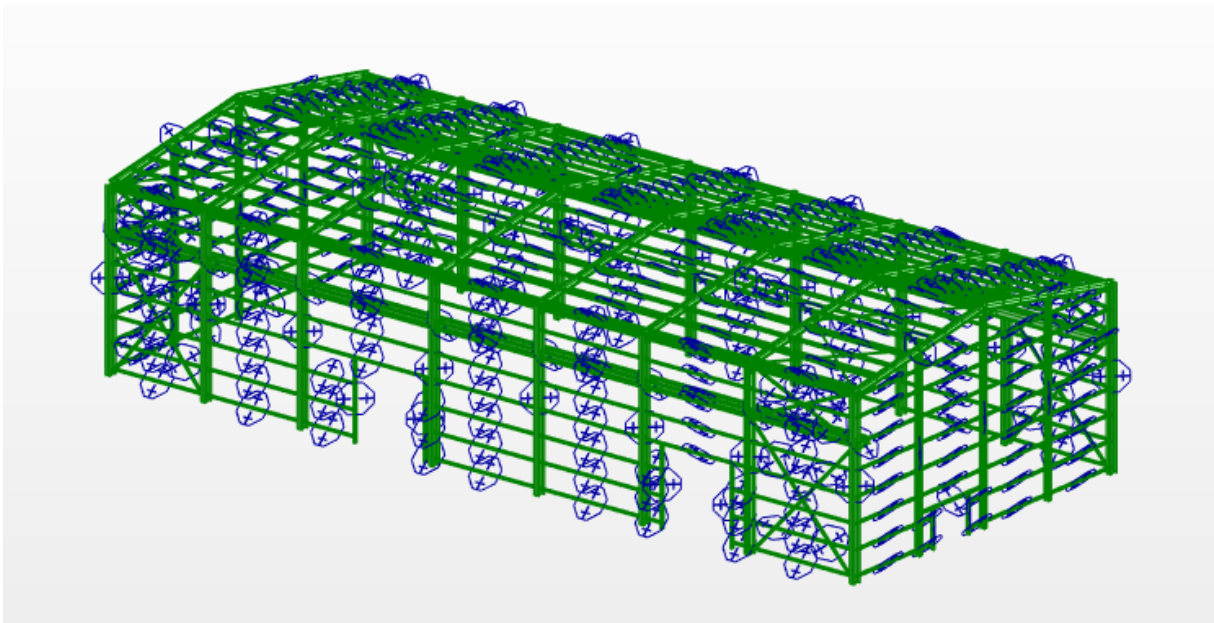


Figure 5.5 : cas de charge T.

Charges de roulement (Q) :

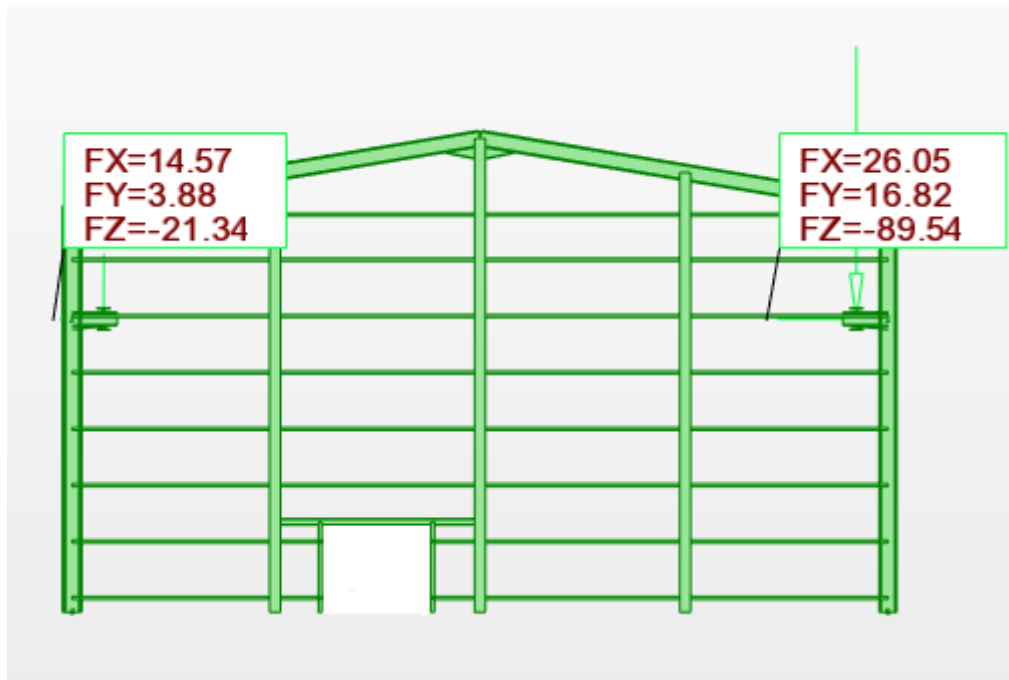


Figure 5.6: cas de charge Q.

### 5.2.4 Combinaison d'action :

1). A l'ELU :

- $G + 1.5 V1$
- $G + 1.5 V2$
- $1.35 G + 1.5 T$
- $1.35 G + 1.5 Q$
- $1.35 G + 1.5 Q + T$

2). A l'ELS:

- $G + V1$
- $G + V2$
- $G + T$
- $G + Q$
- $G + Q + T$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

### 5.3 Vérifications des éléments :

à l'aide du logiciel ROBOT les résultats des vérifications des éléments de notre ouvrage sont donnés dans l'ANNEXE 03 (vérification des éléments)

### 5.4 Vérification de la traverse (IPE 360) :

La traverse de notre structure est un élément porteur constituant la partie supérieure du portique, supportant la panne et la couverture. Sa fonction principale est de transmettre les actions agissantes sur la toiture aux poteaux. La vérification se fait pour la traverse représentée dans l'ANNEXE 07 calculée par le logiciel ROBOT.

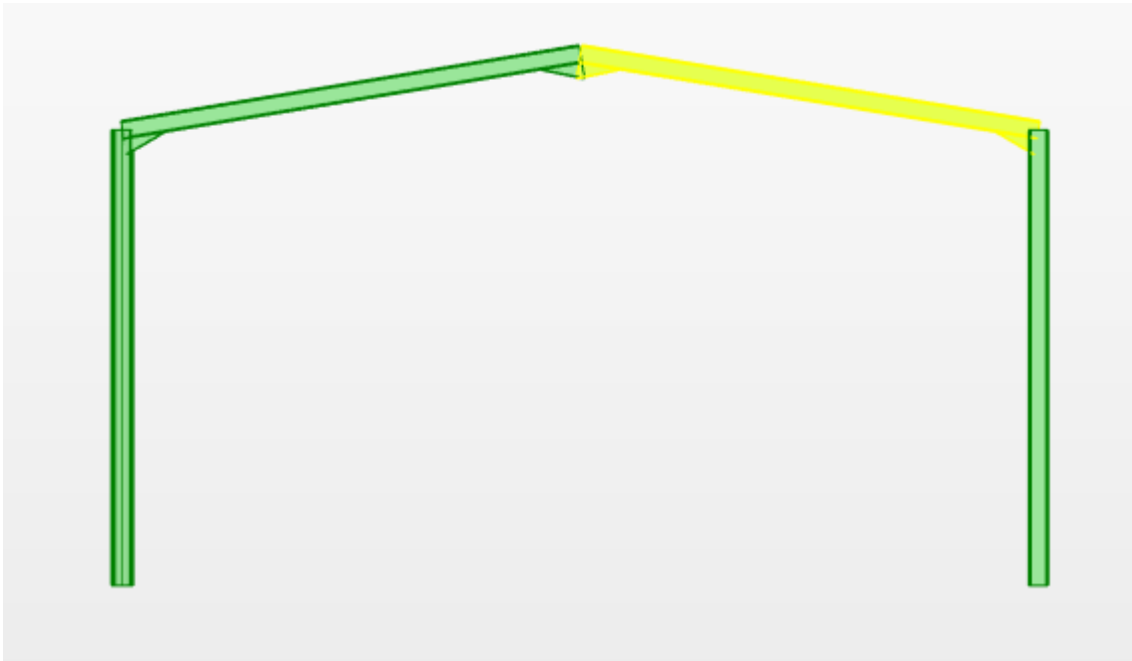


Figure 5.7 : Vue en 2D avec illustration de la traverse

Pour la traverse d'une longueur de 9,17 m désignée en jaune qui est supposée encastree-encastree et sollicitée par la combinaison d'action suivante (**G+1.5V1**), les efforts sollicitants déterminés par cette combinaison sont donnés par le logiciel Robot :

$$M_{y.sd} = 14.42 \text{ kn. m}$$

$$V_{sd} = 36.35 \text{ kn}$$

$$N_{sd} = 32.23 \text{ kn}$$

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

Profile IPE 360	poids	Section	Dimensions				Caractéristiques			
	G Kg/m	A cm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>
	57.1	72.7	360	170	12.7	8	16270	1043	1019	191.1

Tableau 5.2: Caractéristiques du profilé IPE 360.

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97.**

$$\text{-Classe de l'âme (comprimée) : } \frac{d}{t_w} = \frac{298.6}{8} = 37.325 < 72\varepsilon = 66.24 \rightarrow \text{âme de classe 1}$$

$$\text{-Classe de la semelle (fléchie) : } \frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{85}{12.7} = 6.693 < 10\varepsilon = 9.2 \rightarrow \text{semelle de classe 1}$$

$$\text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

Donc la section globale est de classe 1 → Domaine plastique.

- **Vérification de la section à la résistance**

**Vérification à l'effort tranchant :**

Pour la vérification de l'effort tranchant, on applique la condition suivante :

$$\text{si } V_{sd} \leq 0.5V_{pl,rd} \rightarrow M_{sd} \leq M_{c,rd} \quad \text{Art 5.4.7 CCM97}$$

$M_{c,rd}$  : c'est le moment résistant qui dépend de la classe de la section.

$$V_{max} = V_{sd} = 36.35 \text{ Kn.}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{35.14 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 1.1} = 507.20 \text{ Kn.}$$

$$V_{sd} = 36.35 \text{ Kn.} < 0.5V_{pl,rd} = 253.601 \text{ Kn.}$$

→ L'incidence de l'effort tranchant sur le moment résistant est négligée.

**Vérification de l'effort normal :**

Si :  $N_{sd} \leq \text{Min} (0.25 N_{pl,Rd} ; 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}})$ . Il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

$$N_{sd} = 32.23 \text{ Kn.}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{72.7 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 1817.5 \text{ Kn}$$

$$\rightarrow 0.25N_{pl,Rd} = 454.375 \text{ Kn}$$

$$A_w = (A - 2b \cdot t_f) = 72.7 - (2 \times 17 \times 1.27) = 29.52 \text{ cm}^2.$$

$$\rightarrow 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0.5 \times \frac{29.52 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 369 \text{ Kn.}$$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

$$N_{sd} = 32.23 \text{ Kn} < 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 369 \text{ Kn} \dots \text{vérifiée.}$$

La condition est vérifiée donc il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

Vérification au moment fléchissant :

$$M_{.sd} \leq M_{c,rd} \quad \text{Art 5.4.5 (5.17) CCM97}$$

$$M_{y.sd} = 14.42 \text{ kn.m}$$

$$M_{c,rd} = M_{ply.Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1019 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 254.75 \text{ Kn} .$$

$$\rightarrow M_{y.sd} = 14.42 \text{ Kn.m} < M_{c,rd} = 254.75 \text{ Kn.m} \dots \text{condition vérifiée.}$$

Vérification de l'élément aux phénomènes d'instabilités :

Pour les éléments comprimés et fléchis, deux cas se présentent :

- Flexion composée sans risque de déversement **Art 5.5.4 (5.51) CCM97**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{pl.Rd}} + \frac{K_y \times M_{y.sd}}{M_{ply.Rd}} + \frac{K_z \times M_{z.sd}}{M_{plz.Rd}} \leq 1$$

- Flexion composée avec risque de déversement **Art 5.5.4 (5.52) CCM97**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times N_{pl.Rd}} + \frac{K_{LT} \times M_{y.sd}}{\chi_{LT} \times M_{ply.Rd}} + \frac{K_z \times M_{z.sd}}{M_{plz.Rd}} \leq 1$$

- Calcul du coefficient de réduction minimal pour le flambement

$$\chi_{min} = \min(\chi_z, \chi_y).$$

Flambement par rapport à l'axe (y-y) :

$$\chi_y = \frac{1}{(\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \lambda_y^2})}$$

$$\phi_y = 0.5 \times [1 + \alpha_y \times (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2].$$

$$\lambda_y = \frac{\lambda_1}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} . \text{ Avec } \beta_A = 1 \text{ (la section est de classe O1)}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon . \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{0.5 \times 9.17}{14.95} = 30.66.$$

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

$$\rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{30.66}{85.56} = 0.35$$

Courbe de flambement : **Tableau 55.3 CCM97**

$$\begin{cases} \frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2.11 > 1.2 \\ t_f = 12.7\text{mm} < 40\text{mm} \end{cases} \rightarrow \text{Courbe a} \rightarrow \alpha_y = 0.21$$

$$\rightarrow \emptyset_y = 0.5 \times [1 + \alpha_y \times (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.35 - 0.2) + 0.35^2].$$

$$\emptyset_y = 0.57$$

$$\rightarrow \chi_y = \frac{1}{(\emptyset_y + \sqrt{\emptyset_y^2 + \bar{\lambda}_y^2})} = \frac{1}{(0.57 + \sqrt{0.57^2 + 0.35^2})} = 0.80$$

Flambement par rapport à l'axe (z-z) :

$$\chi_z = \frac{1}{(\emptyset_z + \sqrt{\emptyset_z^2 + \bar{\lambda}_z^2})}$$

$$\emptyset_z = 0.5 \times [1 + \alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2].$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}. \text{ Avec } \beta_A = 1 \text{ (la section est de classe O1)}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{0.5 \times 9.17}{3.79} = 120.97$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{120.97}{85.56} = 1.41$$

Courbe de flambement : **Tableau 55.3 CCM97**

$$\begin{cases} \frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2.11 > 1.2 \\ t_f = 12.7\text{mm} < 40\text{mm} \end{cases} \rightarrow \text{Courbe b} \rightarrow \alpha_z = 0.34$$

$$\rightarrow \emptyset_z = 0.5 \times [1 + \alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.41 - 0.2) + 1.41^2].$$

$$\emptyset_z = 1.69$$

$$\rightarrow \chi_z = \frac{1}{(\emptyset_z + \sqrt{\emptyset_z^2 + \bar{\lambda}_z^2})} = \frac{1}{(1.69 + \sqrt{1.69^2 + 1.41^2})} = 0.26$$

$$\chi_{\min} = \min(\chi_z, \chi_y) = 0.26$$

- Calcul de l'élancement réduit vis-à-vis du déversement

Pour les poutres à section constante et doublement symétrique (profilés laminés I et H), l'élancement  $\lambda_{LT}$  vaut :

$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{1}{i_z}}{c 1^{0.5} \times \left( 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{1}{i_z}}{\frac{1}{t_f}} \right)^2 \right)^{0.25}} = 27.95$$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

Avec:

IPE 360 :  $t_f = 12.7 \text{ mm}$  .  $i_z = 3.79 \text{ cm}$  .  $h = 360 \text{ mm}$

$c_1 = 1.285$  .....Tableau B.1.1. CCM97

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon . \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\tilde{\lambda}_{Lt} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{27.95}{85.56} = 0.32 < 0.4 \rightarrow \text{Pas de risque de déversement.}$$

Donc on doit vérifier que :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{pl.Rd}} + \frac{K_y \times M_{y.sd}}{M_{ply.Rd}} + \frac{K_z \times M_{z.sd}}{M_{plz.Rd}} \leq 1$$

Avec :  $N_{sd} = 32.23 \text{ Kn}$  .  $\chi_{min} = 0.78$  .  $N_{pl.Rd} = 1817.5 \text{ Kn}$  .  $M_{ply.Rd} = 254.75 \text{ Kn.m}$

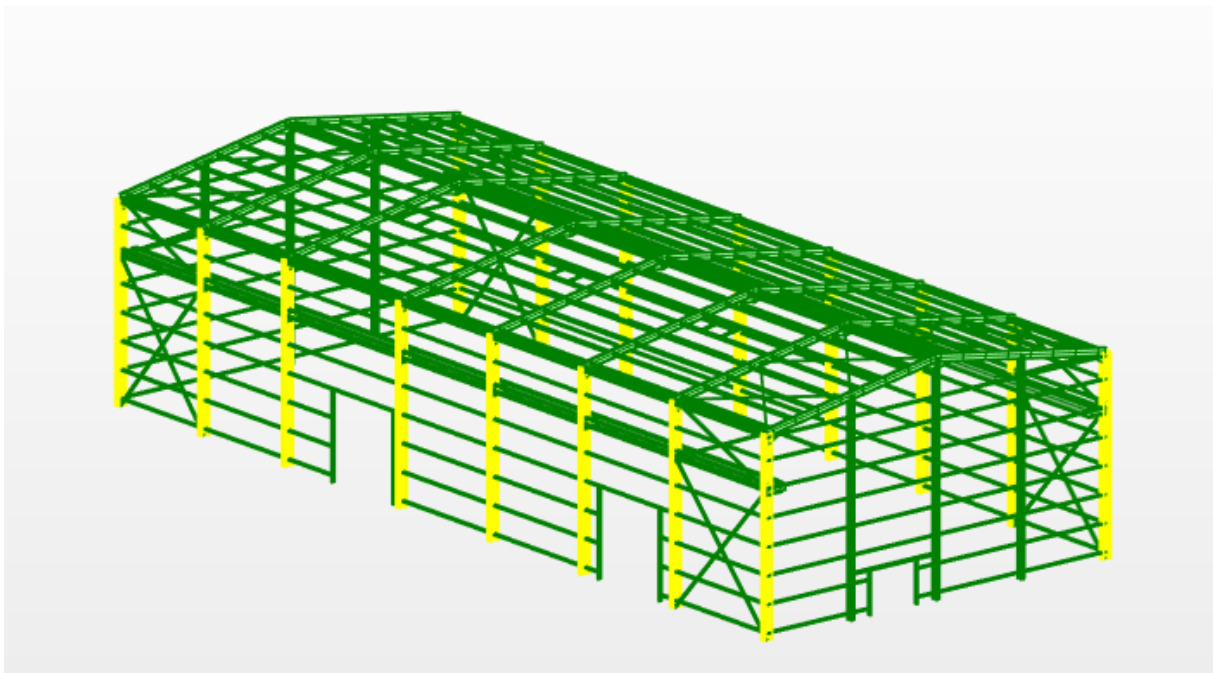
$k_y = 1$  .  $M_{y.sd} = 14.42 \text{ Kn}$  .  $M_{z.sd} = 0.53 \text{ Kn.m}$  (Négligable).

$$\rightarrow \frac{32.23}{0.26 \times 1817.5} + \frac{14.42 \times 1}{254.75} = 0.13 < 1 \text{ ..... Condition vérifiée.}$$

**Conclusion:** Le profilé choisi IPE360 convient comme traverse pour la structure.

### 5.5 Vérification des poteaux (HEA400)

Les poteaux de la structure sont pour fonction de transférer aux fondations les efforts provenant des actions agissantes sur le portique. Ces efforts introduits par la traverse sont principalement un effort normal de compression et/ou un moment de flexion. Il peut y avoir des actions transversales dues au vent sur la façade. Pour un poteau d'une hauteur de 9.00 m sollicité par la combinaison d'action suivant (1.35G+1.5Q), les efforts sollicitant déterminé de cette combinaison donnée par le logiciel Robot sont :





## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

Figure 5.8 Vue en 3D de la structure avec illustration des poteaux

$$M_{y,sd} = 159.34 \text{ kn.m}$$

$$V_{sd} = 48.10 \text{ Kn}$$

$$N_{sd} = 247.29 \text{ kn}$$

Profilé HEA 400	Poids	Section	Dimensions				Caractéristiques			
	G Kg/m	A cm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>
	125	159	390	300	19	11	45070	8564	2562	872.9

Tableau 5.3: Caractéristiques du profilé HEA 400.

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97.**

$$\text{-Classe de l'âme (comprimée)} : \frac{d}{t_w} = \frac{298}{11} = 27.1 < 72\varepsilon = 66.24 \rightarrow \text{âme de classe 1}$$

$$\text{-Classe de la semelle (fléchie)} : \frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{150}{19} = 7.89 < 10\varepsilon = 9.2 \rightarrow \text{semelle de classe 1}$$

$$\text{Avec } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

Donc la section globale est de classe 1 → Domaine plastique.

- **Vérification de la section à la résistance**

**Vérification à l'effort tranchant :**

Pour la vérification de l'effort tranchant, on applique la condition suivante :

$$\text{si } V_{sd} \leq 0.5V_{pl,Rd} \rightarrow M_{sd} \leq M_{c,Rd} \quad \text{Art 5.4.7 CCM97}$$

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

$$V_{max} = V_{sd} = 48.10 \text{ Kn.}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}} = \frac{57.33 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 1.1} = 827.48 \text{ Kn.}$$

$$V_{sd} = 48.10 \text{ Kn.} < 0.5V_{pl,Rd} = 413.74 \text{ Kn.} \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

→ L'incidence de l'effort tranchant sur le moment résistant est négligée.

**Vérification de l'effort normal :**

Si :  $N_{sd} \leq \text{Min} (0.25 N_{pl,Rd} ; 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}})$ . Il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

$$N_{sd} = 247.29 \text{ Kn.}$$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{159 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 3975 \text{ Kn}$$

$$\rightarrow 0.25 N_{pl.Rd} = 993.75 \text{ Kn}$$

$$A_w = (A - 2b \cdot t_f) = 159 - (2 \times 30 \times 1.9) = 45 \text{ cm}^2.$$

$$\rightarrow 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0.5 \times \frac{45 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 562.5 \text{ Kn.}$$

$$N_{sd} = 247.29 \text{ Kn} < 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 562.5 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

La condition est vérifiée donc il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

Vérification au moment fléchissant :

$$M_{sd} \leq M_{c,Rd} \quad \text{Art 5.4.5 (5.17) CCM97}$$

$$M_{y,sd} = 159.34 \text{ kn. m}$$

$$M_{c,Rd} = M_{ply,Rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2562 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 640.5 \text{ Kn} .$$

$$\rightarrow M_{y,sd} = 159.34 \text{ Kn. m} < M_{c,Rd} = 640.5 \text{ Kn} . \text{ m} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Vérification de l'élément aux phénomènes d'instabilités :

Pour les éléments comprimés et fléchis, deux cas se présentent :

- Flexion composée sans risque de déversement      Art 5.5.4 (5.51) CCM97

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_y \times M_{y,sd}}{M_{ply,Rd}} + \frac{K_z \times M_{z,sd}}{M_{plz,Rd}} \leq 1$$

- Flexion composée avec risque de déversement      Art 5.5.4 (5.52) CCM97

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_{LT} \times M_{y,sd}}{\chi_{LT} \times M_{ply,Rd}} + \frac{K_z \times M_{z,sd}}{M_{plz,Rd}} \leq 1$$

- Calcul du coefficient de réduction minimal pour le flambement

$$\chi_{min} = \min(\chi_z, \chi_y).$$

Flambement par rapport à l'axe (y-y) :

$$\chi_y = \frac{1}{(\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \lambda_y^2})}$$

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

$$\varnothing_y = 0.5 \times [1 + \alpha_y \times (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2].$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}. \text{ Avec } \beta_A = 1 \text{ (la section est de classe O1)}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{650}{16.84} = 38.6.$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{38.6}{85.56} = 0.45$$

Courbe de flambement : **Tableau 55.3 CCM97**

$$\begin{cases} \frac{h}{b} = \frac{390}{300} = 1.3 > 1.2 \\ t_f = 19\text{mm} < 40\text{mm} \end{cases} \rightarrow \text{Courbe a} \rightarrow \alpha_y = 0.21$$

$$\rightarrow \varnothing_y = 0.5 \times [1 + \alpha_y \times (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.21 \times (0.45 - 0.2) + 0.45^2].$$

$$\varnothing_y = 0.62$$

$$\rightarrow \chi_y = \frac{1}{(\varnothing_y + \sqrt{\varnothing_y^2 + \bar{\lambda}_y^2})} = \frac{1}{(0.62 + \sqrt{0.62^2 + 0.45^2})} = 0.72$$

Flambement par rapport à l'axe (z-z) :

$$\chi_z = \frac{1}{(\varnothing_z + \sqrt{\varnothing_z^2 + \bar{\lambda}_z^2})}$$

$$\varnothing_z = 0.5 \times [1 + \alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2].$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}. \text{ Avec } \beta_A = 1 \text{ (la section est de classe O1)}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{0.5 \times 900}{7.34} = 61.31.$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{61.31}{85.56} = 0.71$$

Courbe de flambement : **Tableau 55.3 CCM97**

$$\begin{cases} \frac{h}{b} = \frac{390}{300} = 1.3 > 1.2 \\ t_f = 19\text{mm} < 40\text{mm} \end{cases} \rightarrow \text{Courbe b} \rightarrow \alpha_z = 0.34$$

$$\rightarrow \varnothing_z = 0.5 \times [1 + \alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (0.71 - 0.2) + 0.71^2].$$

$$\varnothing_z = 0.83$$

$$\rightarrow \chi_z = \frac{1}{(\varnothing_z + \sqrt{\varnothing_z^2 + \bar{\lambda}_z^2})} = \frac{1}{(0.83 + \sqrt{0.83^2 + 0.71^2})} = 0.52$$

$$\chi_{\min} = \min(\chi_z, \chi_y) = 0.52$$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

- Calcul de l'élancement réduit vis-à-vis du déversement

Pour les poutres à section constante et doublement symétrique (profilés laminés I et H), l'élancement  $\lambda_{LT}$  vaut :

$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{1}{i_z}}{c_1^{0.5} \times \left( 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{1}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right)^{0.25}} = 14.31$$

Avec :

$$\text{HEA 400 : } t_f = 19\text{mm} \quad . i_z = 7.34 \text{ cm} \quad . h = 390\text{mm}$$

$$c_1 = 1.285 \dots\dots\dots \text{Tableau B.1.1. CCM97}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon . \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \quad \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\bar{\lambda}_{Lt} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{14.31}{85.56} = 0.16 < 0.4 \quad \rightarrow \text{Pas de risque de déversement.}$$

Donc on doit vérifier que :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_y \times M_{y,sd}}{M_{ply,Rd}} + \frac{K_z \times M_{z,sd}}{M_{plz,Rd}} \leq 1$$

Avec:

$$N_{sd} = 247.29 \text{ Kn} \quad . \chi_{\min} = 0.52 \quad . N_{pl,Rd} = 3975 \text{ Kn} \quad . M_{ply,Rd} = 640.5 \text{ Kn.m}$$

$$M_{plz,Rd} = 218.225 \text{ Kn.m} \quad . k_y = 1 \quad . k_z = 0.7 \quad . M_{y,sd} = 159.34 \text{ Kn.m} \quad .$$

$$M_{z,sd} = 1.62 \text{ Kn.m}$$

$$\rightarrow \frac{247.29}{0.52 \times 3975} + \frac{159.34 \times 1}{640.5} + \frac{1.62 \times 0.7}{218.225} = 0.37 < 1 \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

**Conclusion :** Le profilé choisi HEA 400 convient comme poteau pour la structure

### 5.6 Vérification des éléments de stabilités

Les contreventements sont disposés suivant les versants de la toiture dans les 2 travées de rives, dans le but de reprendre les efforts longitudinaux dues au vent, vu que le portique principal joue le rôle du contreventement transversal. Ils sont composés principalement d'une **poutre au vent** qui reçoit les efforts du vent et les transmet vers les **palées de stabilité** qui jouent le rôle des appuis de cette poutre à treillis et les transmettent vers le sol de fondation.

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

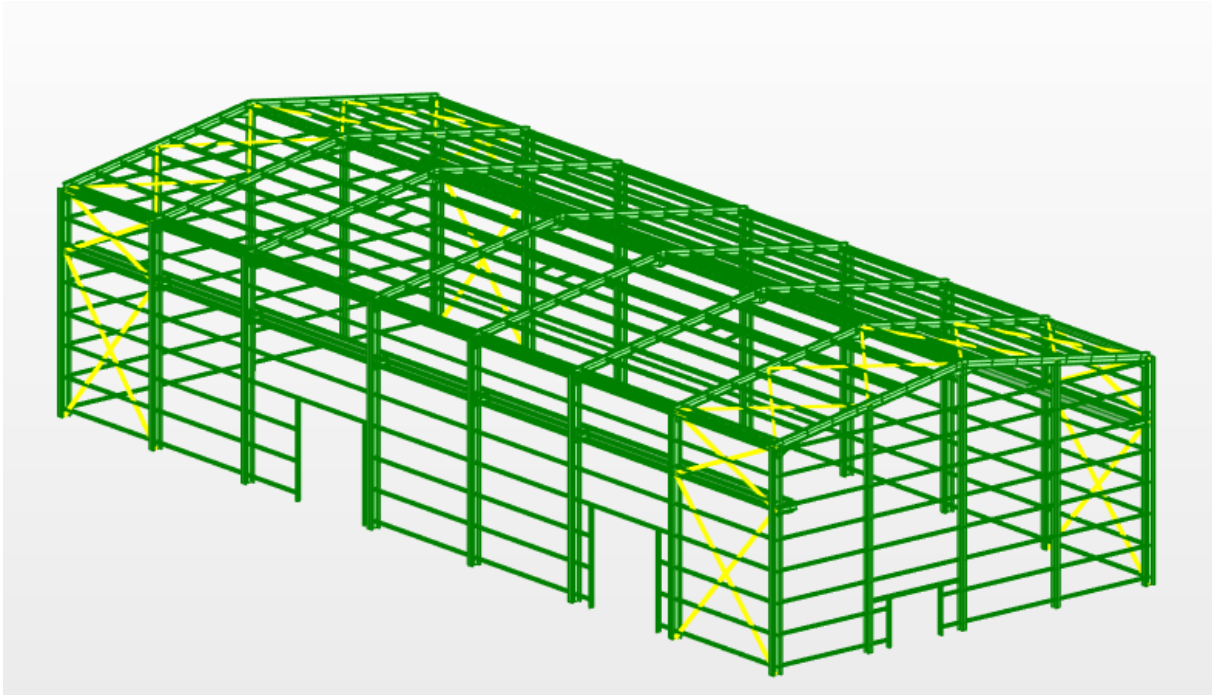


Figure 5.9 : Vue en 3D de la structure avec illustrations des diagonales des contreventements

### 5.6.1 Vérification de la diagonale de la poutre au vent ( 2CAE 50×5)

La diagonale est sollicitée sous la combinaison suivante donnée par le logiciel Robot:G+1.5 V2

$$N_{sd} = 30.64 \text{ Kn}$$

Profilé CAE (50x5)	PARAMETRES DE LA SECTION				
	A( Cm <sup>2</sup> )	h( mm)	b( mm)	A <sub>net</sub> (Cm <sup>2</sup> )	d( mm)
	4.8	50	50	4.15	45

Tableau 5.4 : Caractéristiques du profilé CAE (50x5)

- **Vérification à la traction :**

Selon le **CCM97** la condition de résistance :

$$N_{sd} \leq N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{net,Rd}) \quad \text{Art 5.4.3 (5.13) CCM97}$$

Résistance plastique de calcul de section brute:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4.8 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 120 \text{ Kn.}$$

Résistance ultime de calcul de la section nette au droit des trous de fixations :

$$N_{u,Rd} = 0.9 \times \frac{A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \times \frac{4.15 \times 10^{-4} \times 430 \times 10^3}{1.25} = 128.48 \text{ Kn.}$$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

Résistance plastique de calcul de section nette :

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4.15 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 103.75 \text{ Kn.}$$

→  $N_{sd} = 30.64 \text{ Kn} < N_{t,Rd} = 103.75 \text{ Kn}$ .....Condition vérifiée.

**Conclusion :** Le profilé choisi L (50×5) convient comme diagonale de la poutre au vent.

### 5.6.2 Vérification de la diagonale de palées de stabilité (2 UPN120)

La diagonale est sollicitée sous la combinaison suivante donnée par le logiciel Robot:G+1.5 V2

$$N_{sd} = -61.71 \text{ Kn}$$

Profilé UPN 120	PARAMETRES DE LA SECTION				
	A (Cm <sup>2</sup> )	h (mm)	b (mm)	A <sub>net</sub> (Cm <sup>2</sup> )	d (mm)
	17	120	55	16.09	102

Tableau 5.5 : Caractéristiques du profilé UPN 120.

- Vérification à la traction :

Selon le CCM97 la condition de résistance :

$$N_{sd} \leq N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{net,Rd}) \text{ Art 5.4.3 (5.13) CCM97}$$

Résistance plastique de calcul de section brute :

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{17 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 425 \text{ Kn.}$$

Résistance ultime de calcul de la section nette au droit des trous de fixations :

$$N_{u,Rd} = 0.9 \times \frac{A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \times \frac{16.09 \times 10^{-4} \times 430 \times 10^3}{1.25} = 498.14 \text{ Kn.}$$

Résistance plastique de calcul de section nette :

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16.09 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 402.25 \text{ Kn.}$$

→  $N_{sd} = 61.71 \text{ Kn} < N_{t,Rd} = 402.25 \text{ Kn}$ .....Condition vérifiée.

**Conclusion :** Le profilé choisi UPN 120 convient comme diagonale de palées de stabilité.

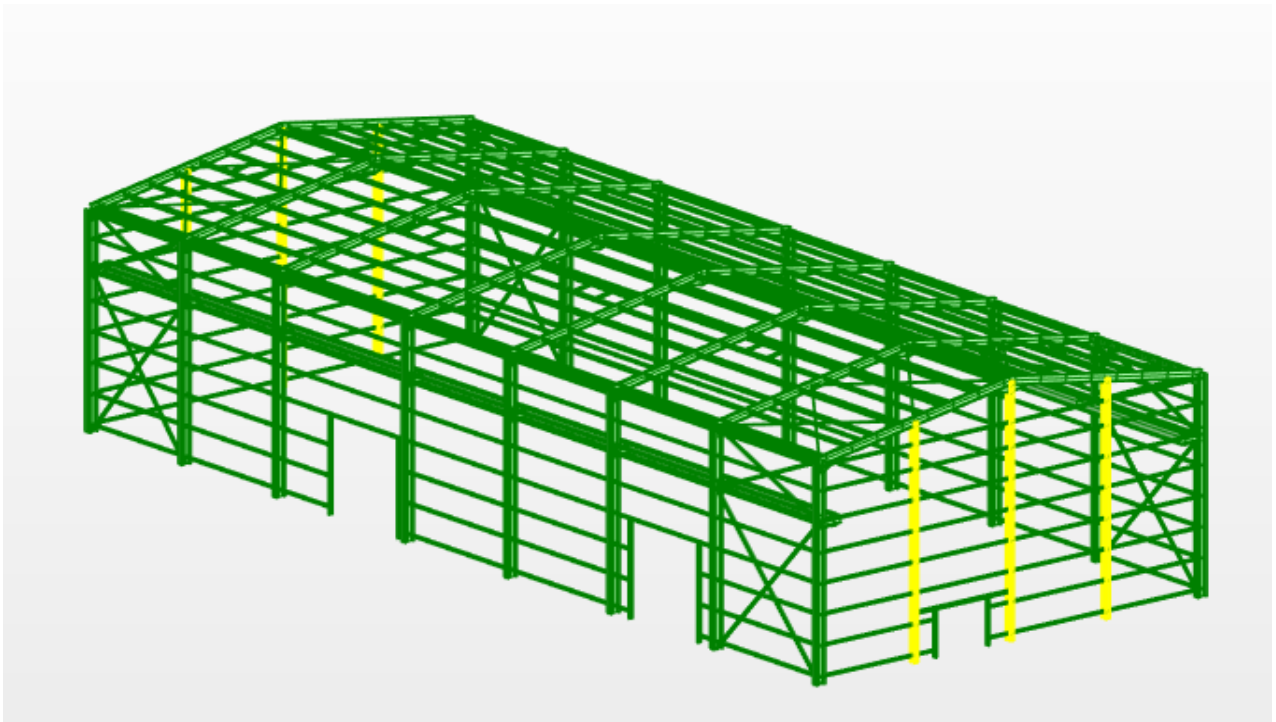
## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

### 5.5 Vérification des potelets (HEA240) :

Les potelets sont des profilés laminés, qui ont pour rôle de transmettre les différents efforts horizontaux à la poutre au vent et les efforts verticaux vers le sol. Ce sont des profilés disposés verticalement sur le pignon, comme indiqué sur la figure ci-dessous, et sont surtout sujet à la flexion composée sous les efforts suivant :

- Effort normal produit par le poids propre du potelet du bardage et des lisses.
- Effort de flexion produit par l'action du vent sur le pignon.

Ils sont considérés comme articulés dans les deux extrémités.



**Figure 5.10** : Vue en 3D de la structure avec illustration des potelets.

Pour un potelet d'une hauteur de 9.75 m sollicité par la combinaison d'action suivant (**G+1.5V1**), les efforts sollicitant déterminé de cette combinaison donnée par le logiciel Robot sont :

$$M_{y.sd} = 83.13 \text{ kn. m}$$

$$N_{sd} = 9.19 \text{ kn}$$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

Profilé HEA 240	Poids	Section	Dimensions				Caractéristiques			
	G Kg/m	A cm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>
	60.3	76.8	230	240	12	7.5	7763	2769	744.6	351.7

Tableau 5.6: Caractéristiques du profilé HEA 240.

Classe de la section : **Tableau 53.1 CCM97.**

-Classe de l'âme (comprimée) :  $\frac{d}{t_w} = \frac{164}{7.5} = 21.68 < 72\varepsilon = 66.24 \rightarrow$  âme de classe 1

-Classe de la semelle (fléchie) :  $\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{120}{12} = 10 > 10\varepsilon = 9.2 \rightarrow$  semelle de classe 2

$$\text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92$$

Donc la section globale est de classe 2  $\rightarrow$  Domaine plastique.

- Vérification de la section à la résistance

. Vérification de l'effort normal :

Si :  $N_{sd} \leq \text{Min} (0.25 N_{pl,Rd} ; 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}})$ . Il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

$$N_{sd} = 9.19 \text{ Kn.}$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{76.8 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 1920 \text{ Kn}$$

$$\rightarrow 0.25 N_{pl,Rd} = 480 \text{ Kn}$$

$$A_w = (A - 2b \cdot t_f) = 76.8 - (2 \times 24 \times 1.2) = 19.2 \text{ cm}^2.$$

$$\rightarrow 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = 0.5 \times \frac{19.2 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 240 \text{ Kn.}$$

$$N_{sd} = 9.19 \text{ Kn} < 0.5 \frac{A_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}} = 240 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

La condition est vérifiée donc il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

Vérification au moment fléchissant:

$$M_{sd} \leq M_{c,Rd} \quad \text{Art 5.4.5 (5.17) CCM97}$$



## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

$$M_{y.sd} = 83.13 \text{ kn. m}$$

$$M_{c,rd} = M_{ply.Rd} = \frac{w_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{744.6 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 186.15 \text{ Kn. m}$$

→  $M_{y.sd} = 83.13 \text{ Kn. m} < M_{c,rd} = 186.15 \text{ Kn. m}$ .....condition vérifiée.

### Vérification de l'élément aux phénomènes d'instabilités :

Pour les éléments comprimés et fléchis, deux cas se présentent :

- Flexion composée sans risque de déversement      **Art 5.5.4 (5.51) CCM97**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{pl.Rd}} + \frac{K_y \times M_{y.sd}}{M_{ply.Rd}} + \frac{K_z \times M_{z.sd}}{M_{plz.Rd}} \leq 1$$

- Flexion composée avec risque de déversement      **Art 5.5.4 (5.52) CCM97**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z \times N_{pl.Rd}} + \frac{K_{LT} \times M_{y.sd}}{\chi_{LT} \times M_{ply.Rd}} + \frac{K_z \times M_{z.sd}}{M_{plz.Rd}} \leq 1$$

- Calcul du coefficient de réduction minimal pour le flambement

$$\chi_{min} = \min(\chi_z, \chi_y).$$

Flambement par rapport à l'axe (y-y) :

$$\chi_y = \frac{1}{(\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2})}$$

$$\phi_y = 0.5 \times [1 + \alpha_y \times (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2].$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}. \text{ Avec } \beta_A = 1 \text{ (la section est de classe O2)}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{975}{10.05} = 97.01.$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{97.01}{85.56} = 1.13$$

Courbe de flambement :      **Tableau 55.3 CCM97**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0.95 < 1.2 \\ t_f = 12 \text{ mm} < 100 \text{ mm} \end{array} \right. \rightarrow \text{Courbe b} \rightarrow \alpha_y = 0.34$$

$$\rightarrow \phi_y = 0.5 \times [1 + \alpha_y \times (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0.5 \times [1 + 0.34 \times (1.13 - 0.2) + 1.13^2].$$

$$\phi_y = 1.3$$

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

$$\rightarrow \chi_y = \frac{1}{(\varnothing_y + \sqrt{\varnothing_y^2 + \bar{\lambda}_y^2})} = \frac{1}{(1.3 + \sqrt{1.3^2 + 1.13^2})} = 0.33$$

Flambement par rapport à l'axe (z-z) :

$$\chi_z = \frac{1}{(\varnothing_z + \sqrt{\varnothing_z^2 + \bar{\lambda}_z^2})}$$

$$\varnothing_z = 0.5 \times [1 + \alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2].$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A}. \text{ Avec } \beta_A = 1 \text{ (la section est de classe O2)}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{122}{6.00} = 20.33.$$

$$\rightarrow \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{20.33}{85.56} = 0.23$$

Courbe de flambement : **Tableau 55.3 CCM97**

$$\begin{cases} \frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0.95 < 1.2 \\ t_f = 19\text{mm} < 100\text{mm} \end{cases} \rightarrow \text{Courbe c} \rightarrow \alpha_z = 0.49$$

$$\rightarrow \varnothing_z = 0.5 \times [1 + \alpha_z \times (\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0.5 \times [1 + 0.49 \times (0.23 - 0.2) + 0.23^2].$$

$$\varnothing_z = 0.53$$

$$\rightarrow \chi_z = \frac{1}{(\varnothing_z + \sqrt{\varnothing_z^2 + \bar{\lambda}_z^2})} = \frac{1}{(0.53 + \sqrt{0.53^2 + 0.23^2})} = 0.90$$

$$\chi_{\min} = \min(\chi_z, \chi_y) = 0.33$$

- **Calcul de l'élancement réduit vis-à-vis du déversement**

Pour les poutres à section constante et doublement symétrique (profilés laminés I et H), l'élancement  $\lambda_{LT}$  vaut :

$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{1}{i_z}}{c_1^{0.5} \times \left( 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{1}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right)^{0.25}} = 18.85$$

Avec :

$$\text{HEA 240 : } t_f = 12\text{mm} \quad i_z = 6 \text{ cm} \quad h = 230\text{mm}$$

$$c_1 = 1.132 \dots\dots\dots \text{Tableau B.1.1. CCM97}$$

$$\lambda_1 = 93 \varepsilon. \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0.92 \rightarrow \lambda_1 = 85.56.$$

$$\bar{\lambda}_{Lt} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \sqrt{\beta_A} = \frac{18.85}{85.56} = 0.22 < 0.4 \rightarrow \text{Pas de risque de déversement.}$$

## CHAPITRE 05: Vérification des éléments.

Donc on doit vérifier que :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times N_{pl,Rd}} + \frac{K_y \times M_{y,sd}}{M_{ply,Rd}} + \frac{K_z \times M_{z,sd}}{M_{plz,Rd}} \leq 1$$

- Calcul des coefficients k:

$$\mu_y = \lambda_y (2\beta_{My} - 4) + \frac{W_{ply} - W_{el,y}}{W_{el,y}}$$

$$\mu_y = 1.13 \times (2 \times 1.3 - 4) + \frac{744.6 - 675.1}{657.1}$$

$$\mu_y = -1.47 < 0.9$$

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

$$k_y = 1.01 < 1.5$$

Avec :

$$N_{sd} = 9.19 \text{ Kn} \quad \chi_{min} = 0.33 \quad N_{pl,Rd} = 1920 \text{ Kn} \quad M_{ply,Rd} = 186.15 \text{ Kn.m}$$

$$M_{y,sd} = 83.13 \text{ Kn.m} \quad M_{z,sd} = 0.19 \text{ Kn.m (Négligable)}$$

$$\rightarrow \frac{9.19}{0.33 \times 1920} + \frac{83.13 \times 1.01}{186.15} = 0.46 < 1 \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

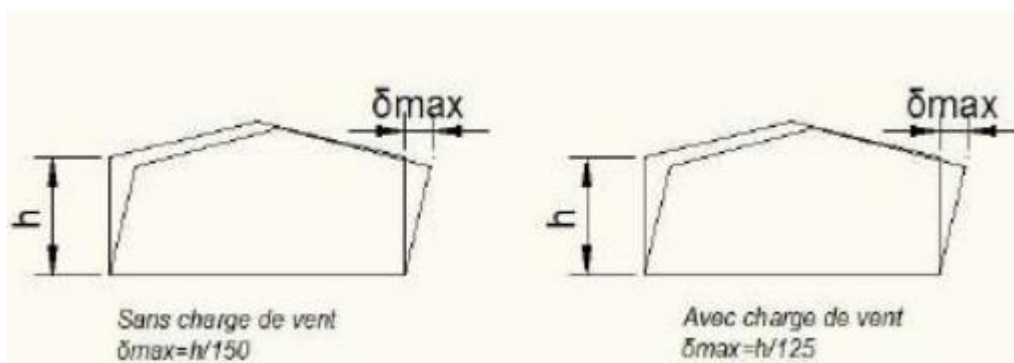
**Conclusion :** Le profilé choisi HEA 240 convient largement comme potelet pour la structure.

### 5.8 Vérification des déplacements :

D'après l'article 4.2.2.2 du CCM97, les déplacements horizontaux sont limités à :

$$\frac{h}{150}; \text{ Sans charge de vent}$$

$$\frac{h}{125}; \text{ Avec charge de vent}$$



**Figure 5.11 :** Valeur limite des flèches horizontales des bâtiments industriels.

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
<b>MAX</b>	1,8	5,1	3,5	0,016	0,004	0,007
<b>Noeud</b>	1248	406	1156	9	839	235
<b>Cas</b>	15 (C)	11 (C)	11 (C)	11 (C)	11 (C)	12 (C)
<b>MIN</b>	-0,4	-5,1	-2,4	-0,016	-0,036	-0,007
<b>Noeud</b>	265	378	1160	31	1248	235
<b>Cas</b>	13 (C)	11 (C)	15 (C)	11 (C)	15 (C)	11 (C)

**Tableau 5.7** : Extrêmes globaux des Déplacements avec charge de vent.

	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
<b>MAX</b>	1,8	0,3	0,1	0,003	0,003	0,003
<b>Noeud</b>	1248	986	1171	892	929	1124
<b>Cas</b>	15 (C)	15 (C)	13 (C)	15 (C)	15 (C)	15 (C)
<b>MIN</b>	-0,4	-0,2	-2,4	-0,003	-0,036	-0,003
<b>Noeud</b>	265	908	1160	724	1248	1125
<b>Cas</b>	13 (C)	13 (C)	15 (C)	15 (C)	15 (C)	15 (C)

**Tableau 5.8** : Extrêmes globaux des Déplacement sans charge de vent.

$$\frac{h}{150} = \frac{900}{150} = 6 \text{ cm.}$$

$$\frac{h}{125} = \frac{900}{125} = 7.2 \text{ cm.}$$

→ Les déplacements suivant les deux directions sont inférieurs aux déplacements admissibles.

## CHAPITRE 05: Vérification des élément.

Après avoir terminé les différentes vérifications permettant de satisfaire les différentes conditions de stabilité et de résistance, on représente ci-dessous un tableau récapitulatif des différents éléments adoptés :

Pannes	IPE 160 et IPE 200
Lisses de bardages	UPN 160
Potelets	HEA 240
Poteaux	HEA 400
Traverses	IPE 360
Poutres de roulement	HEA 500
Corbeaux	IPE 300
Poutre sablière	HEA120 et HEA 160
Poutre au vent	L 50x5
palée de stabilité	2 UPN 120
Chevret	UPN 120

**Tableau 5.9** : Récapitulatif des éléments adoptés

# CHAPITRE 06:

## Étude des assemblages

Citation :

De préférable une charpente sous-dimensionnée, mais correctement Assemblée qu'une charpente correctement dimensionnée, mais mal Assemblée

## Introduction :

Après avoir vérifié les éléments de notre structure nous allons étudier les assemblages. Ces derniers ont un double rôle, ils assurent la liaison entre les pièces et la transmission de sollicitations diverse entre les pièces. Un assemblage mal conçu ou mal réalisé peut conduire à des dommages importants sur la structure voir même à son effondrement. De ce fait cette étape est d'une importance cruciale. Le **CCM97** cite que le dimensionnement des assemblages doit être effectué de sorte que la structure garde son efficacité et satisfait les exigences fondamentales telles que la sécurité, l'aptitude au service et la durabilité.

### 6.1 Assemblage poteau-traverse :

L'assemblage poteau – traverse est réalisé à l'aide d'une platine soudée à la traverse et boulonnée au poteau.

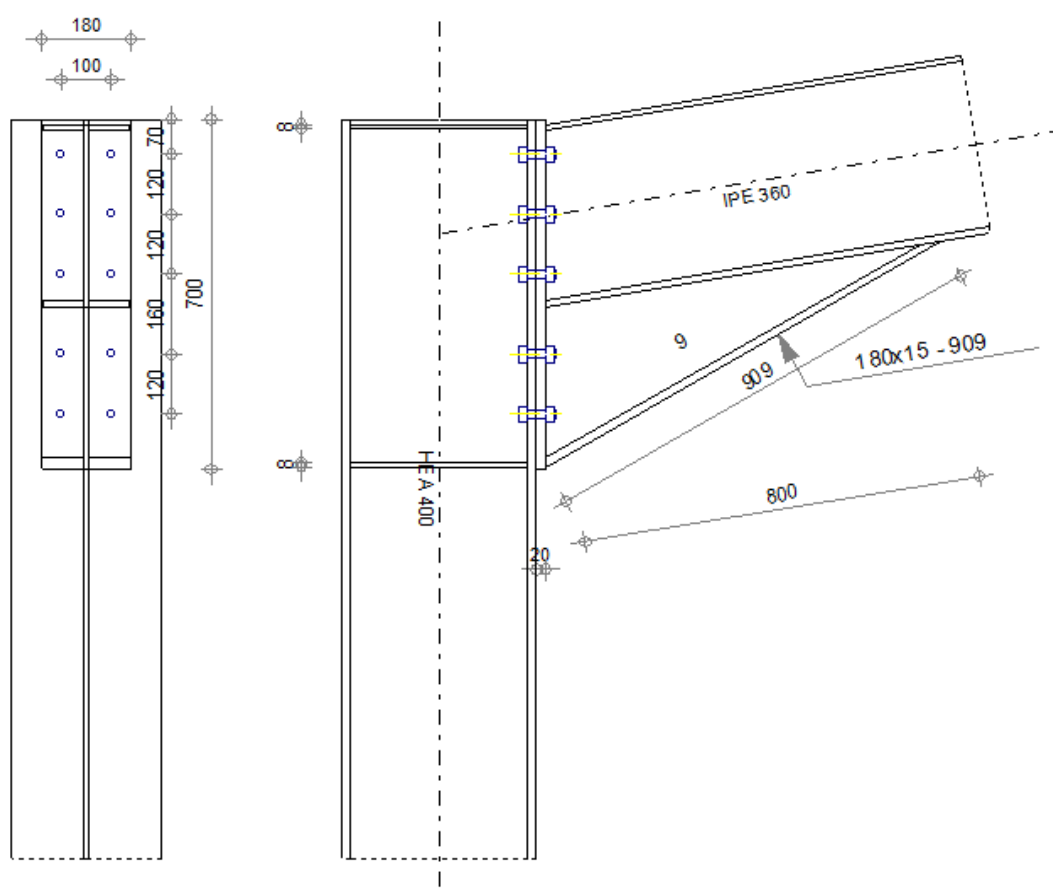


Figure 6.1: vue en plan de l'assemblage poteau-traverse.

L'assemblage est sollicité par un moment fléchissant, un effort tranchant et un effort normal. Les efforts Maximaux sollicitant l'assemblage entre le poteau n° 06 et la travers n° 11 sont obtenus de la combinaison **G+ 1.5 V1** donnée par le logiciel Robot.

$$M_{\max} = - 181.81 \text{ Kn. m}$$

$$N_{\max} = 75.76 \text{ kn. m}$$

$$V_{\max} = - 77.48 \text{ Kn. m}$$

- Disposition constructive

L'assemblage est réalisé par 10 boulons HR de classe 10.9 de diamètre  $\phi 16 \text{ mm}$ . Les dimensions de la platine d'about sont  $180 \text{ mm} \times 700 \text{ mm}$ , et l'épaisseur de la platine =  $20 \text{ mm}$ .

L'épaisseur la plus mince pour la détermination des pincés est :

$$t = \text{Min} (t_f ; t_{\text{platine}}) = 12.7 \text{ mm.}$$

Avec :

- $t_f$  est l'épaisseur de la semelle ( $12.7 \text{ mm}$ ).
- $t_{\text{platine}}$  est l'épaisseur de la platine ( $20 \text{ mm}$ ).

Distance entre les axes des boulons

tableau 6.5.1-CCM97

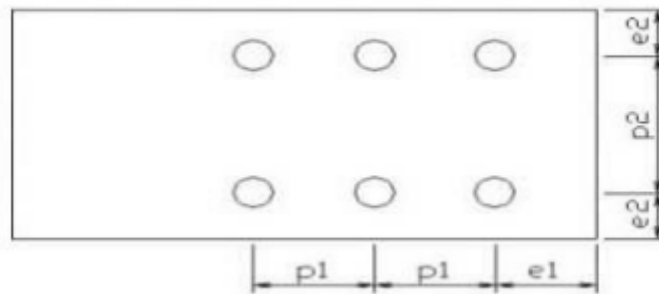


Figure 6.2 : Désignation des entraxes et des pincés.

- Pincés ( $e_1, e_2$ )

$$1.2 d_0 = 21.6 \text{ mm} \leq e_1 \leq 12 t = 152.4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 70 \text{ mm.}$$

$$1.5 d_0 = 27 \text{ mm} \leq e_2 \leq 12 t = 152.4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 40 \text{ mm.}$$

- Entraxe ( $P_1, P_2$ )

$$2.2 d_0 = 39.6 \text{ mm} \leq P_1 \leq 14 t = 177.8 \text{ mm} \rightarrow P_1 = 120 \text{ mm.}$$

$$3 d_0 = 54 \text{ mm} \leq P_2 \leq 14 t = 178.8 \text{ mm} \rightarrow P_2 = 100 \text{ mm.}$$

- Distribution des efforts sur les différents cordons

On va choisir le cordon de soudure platine-traverse à l'aide de l'abaque de pré dimensionnement de la gorge (Annexe 5).

$$\text{IPE 360 : } t_f = 12.7 \text{ mm} . t_w = 8 \text{ mm.}$$

$$a_{\min} = 2.6 \leq t_w \leq a_{\max} = 5.8.$$



$$a_{\min} = 3.3 \leq t_f \leq a_{\max} = 8.8.$$

On choisit un cordon de soudure de  $\begin{cases} a_w = 5 \text{ mm} \\ a_f = 8 \text{ mm} \end{cases}$

### 6.1.1 Vérification de la soudure de la semelle à la traction

$$N_{sd} \leq F_{w.Rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{2} \times \beta_w \times \gamma_{MW}}$$

Avec :  $f_u = 430 \text{ Mpa}$  .  $\beta_w = 0.85$  .  $\gamma_{MW} = 1.3$  (voir l'annexe 04).

La longueur totale des cordons de soudure des semelles :

$$\sum l = 2b + 4(b - t_w) = 2 \times 170 + 4 \times (170 - 8) = 988 \text{ mm}.$$

$$\rightarrow F_{w.Rd} = \frac{8 \times 988 \times 430}{\sqrt{2} \times 0.85 \times 1.3} = 2174.89 \text{ Kn}.$$

$\rightarrow N_{sd} = 75.76 \text{ Kn} < F_{w.Rd} = 2174.89 \text{ Kn} \dots \dots \dots$  condition vérifiée.

### 6.1.2 Vérification de la soudure de l'âme au cisaillement

$$V_{sd} \leq V_{v.Rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{MW}}$$

Avec :  $f_u = 430 \text{ Mpa}$  .  $\beta_w = 0.85$  .  $\gamma_{MW} = 1.3$  (voir l'annexe 04).

La longueur totale des cordons de soudure des âmes :

$$\sum l = 4 \times h_i = 4 \times 334.6 = 1338.4 \text{ mm}.$$

$$\rightarrow V_{v.Rd} = \frac{5 \times 1338.4 \times 430}{\sqrt{3} \times 0.85 \times 1.3} = 1503.5 \text{ Kn}.$$

$\rightarrow V_{sd} = 77.48 \text{ Kn} < V_{v.Rd} = 1503.5 \text{ Kn} \dots \dots \dots$  condition vérifiée.

### 6.1.3 Détermination des efforts dans les boulons :

$$N_i = \frac{M_{sd} \times d_i}{\sum d_i^2}$$

Calcul de la hauteur de la partie comprimée :

$$x = t_f \times \sqrt{\frac{b}{t_w}}$$

Pour un IPE 360 :

$$t_f = 12.7 \text{ mm} . \quad b = 170 \text{ mm} \quad . \quad t_w = 8 \text{ mm}.$$

$$\rightarrow x = 12.7 \times \sqrt{\frac{170}{8}} = 58.54 \text{ mm}.$$

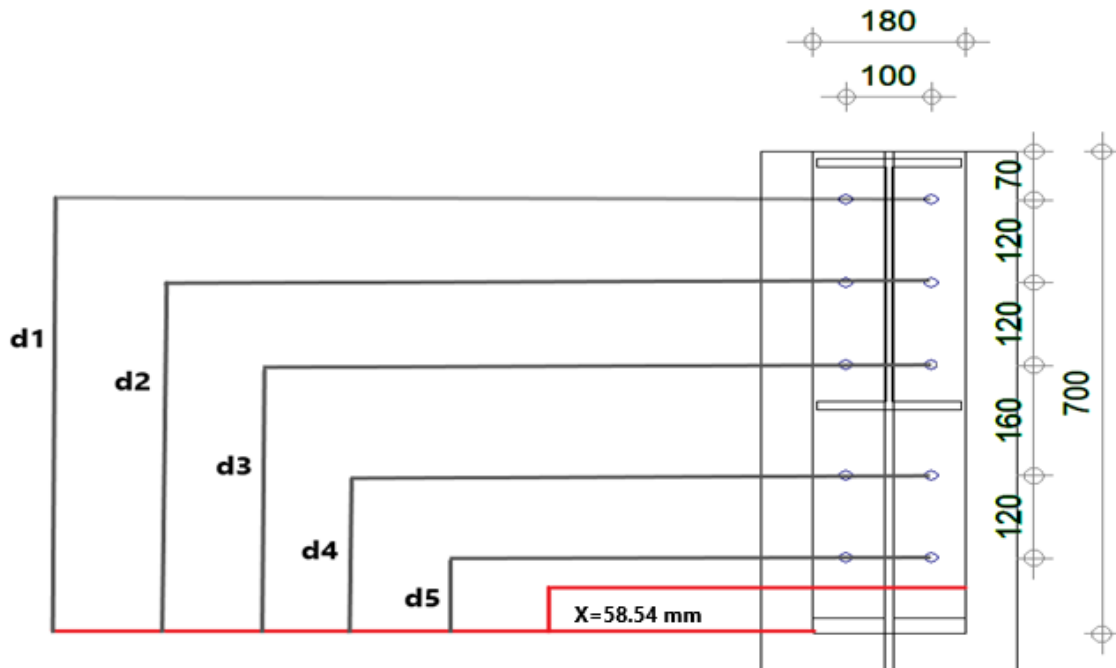


Figure 6.3 : la hauteur de la zone comprimée (Assemblage poteau-traverse).

NB : tous les boulons sont tendus.

$$d_1 = 630 \text{ mm.}$$

$$d_2 = 510 \text{ mm.}$$

$$d_3 = 390 \text{ mm.}$$

$$d_4 = 230 \text{ mm.}$$

$$d_5 = 110 \text{ mm.}$$

$$N_i = \frac{M_{sd} \times d_i}{\sum d_i^2}$$

$$\sum d_i^2 = 630^2 + 510^2 + 390^2 + 230^2 + 110^2 = 874100 \text{ mm}^2 = 0.8741 \text{ m}^2.$$

$$N_1 = \frac{M_{sd} \times d_1}{\sum d_i^2} = \frac{181.81 \times 0.630}{0.8741} = 131.04 \text{ Kn.}$$

$$N_2 = \frac{M_{sd} \times d_2}{\sum d_i^2} = \frac{181.81 \times 0.510}{0.8741} = 106.07 \text{ Kn.}$$

$$N_3 = \frac{M_{sd} \times d_3}{\sum d_i^2} = \frac{181.81 \times 0.390}{0.8741} = 81.11 \text{ Kn.}$$

$$N_4 = \frac{M_{sd} \times d_4}{\sum d_i^2} = \frac{181.81 \times 0.230}{0.8741} = 47.84 \text{ Kn.}$$

$$N_5 = \frac{M_{sd} \times d_5}{\sum d_i^2} = \frac{181.81 \times 0.110}{0.8741} = 22.88 \text{ Kn.}$$

### 6.1.4 Détermination du diamètre requis des boulons

Résistance des boulons au cisaillement : tableau 65.3 : résistance de calcul des boulons.

$$F_{v,rd} = 0.5 f_{ub} A_s$$

$$N_1 \leq n \times F_{v,rd} \rightarrow A_s \geq \frac{N_1}{0.5 \cdot n \cdot f_{ub}} = \frac{131.04 \times 10^3}{0.5 \times 2 \times 1000} = 131.04 \text{ mm}^2.$$

On choisit des boulons de type M16 de classe 10.9 avec  $A_s = 157 \text{ mm}^2$  et  $d_0 = 18 \text{ mm}$  (voir l'annexe 05).

### 6.1.5 Effort de précontrainte dans le boulon

$$F_p = 0.7 f_{ub} A_s$$

Pour les boulons de diamètre M16 de classe 10.9:

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ et } f_{ub} = 1000 \text{ Mpa. (Voir l'annexe 05)}$$

$$\rightarrow F_p = 0.7 \times 1000 \times 10^{-3} \times 157 .$$

$$F_p = 110 \text{ Kn.}$$

### 6.1.6 Vérification de l'assemblage a la flexion :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage a la flexion on utilise la condition suivante :

$$M_{Rd} \geq M_{sd}$$

$$\text{Avec : } M_{sd} = M_{\max} = 181.81 \text{ Kn. m}$$

Calcul du moment résistant effectif de l'assemblage :

$$M_{Rd} = \frac{N_1 \times \sum d_i^2}{d_1} = \frac{n \cdot F_p \times \sum d_i^2}{d_1}.$$

n est le nombre de boulon dans une rangée horizontale  $\rightarrow n=2$ .

$$M_{Rd} = \frac{2 \times 110 \times (630^2 + 510^2 + 390^2 + 230^2 + 110^2) \times 10^{-3}}{630}$$

$$M_{Rd} = 305 \text{ kn. m}$$

$$M_{Rd} = 305 \text{ Kn. m} \geq M_{sd} = 181.81 \text{ Kn. m} \dots\dots\dots\text{condition vérifiée.}$$

### 6.1.7 Vérification de l'assemblage au cisaillement :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage au cisaillement on utilise la condition suivante :

$$V_{Rd} \geq V_{v,sd}$$

Calcul de l'effort tranchant par boulon :

$$V_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{77.48}{10}.$$

$$V_{v,sd} = 7.748 \text{ Kn.}$$

Calcul de l'effort résistant par boulon :

$$V_{Rd} = K_s \times m \times \mu \times \frac{F_p}{\gamma_{M2}}.$$

- $K_s = 1.0$  : Trou normale. (Art. 6.5.8.1 – EC3)
- $m = 1$  : Un plan de frottement.
- $\mu = 0.4$  : Coefficient de frottement classe b. (Art. 6.5.8.3 – EC3)
- $F_p = 110 \text{ Kn}$  : Force de précontrainte par boulon.

$$\rightarrow V_{Rd} = 1 \times 1 \times 0.4 \times \frac{110}{1.25}$$

$$V_{Rd} = 35.2 \text{ Kn.}$$

$$V_{Rd} = 35.2 \text{ Kn} > V_{v.sd} = 7.748 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

### 6.1.8 Vérification de l'assemblage au poinçonnement :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage au poinçonnement on utilise la condition suivante :

$$F_{t.sd} \leq B_{p.Rd} \dots\dots\dots \text{Formule 6.2 CCM97}$$

$F_{t.sd}$  : Effort de traction appliqué au boulon

$B_{p.Rd}$  : Résistance de calcul au cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon

$$F_{t.sd} = \frac{N_{sd}}{n} = \frac{75.76}{10}.$$

$$F_{t.sd} = 7.576 \text{ Kn.}$$

$$B_{p.Rd} = 0.6 \pi d_m t_p \frac{f_u}{\gamma_{M2}}.$$

Avec :

$t_p$  : Epaisseur de la plaque à vérifier.

$f_u$  : Résistance ultime à la traction de la plaque à vérifier.

$\gamma_{M2}$  : Coefficient partiel de sécurité.

$d_m = 24.58 \text{ mm.}$  (Voir annexe 06).

$$\rightarrow B_{p.Rd} = 0.6 \times 3.14 \times 24.58 \times 2 \times \frac{43}{1.25}$$

$$B_{p.Rd} = 318.60 \text{ Kn.}$$

$$F_{t.sd} = 7.576 < B_{p.Rd} = 318.6 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

### 6.1.9 Vérification de l'assemblage à la pression diamétrale :

$$F_{v.sd} \leq F_{b.Rd} \quad \text{Tableau 6.5.3 CCM 97}$$

$$F_{b.Rd} = \frac{K_1 \times \alpha_b \times d \times t \times f_u}{\gamma_{M2}}. \quad \text{Avec :} \left\{ \begin{array}{l} \alpha_b = \min \left( \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) \\ k_1 = \min \left( 2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right) \end{array} \right.$$

$f_u$  : Résistance ultime à la traction de pièces assemblées.

$f_{ub}$  : Résistance ultime à la traction du boulon.

$t = 20 + 19 = 39$  : Épaisseur platine + semelle poteau

• Calcul de  $\alpha_b$  :

$$\frac{e_1}{3d_0} = \frac{70}{3 \times 18} = 1.29.$$

$$\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{120}{3 \times 18} - \frac{1}{4} = 1.97.$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{430} = 2.32.$$

$$\rightarrow \alpha_b = \min(1.29; 1.97; 2.32; 1) = 1.$$

• Calcul de  $k_1$  :

$$2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 2.8 \times \frac{40}{18} - 1.7 = 4.52.$$

$$1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7 = 1.4 \times \frac{100}{18} - 1.7 = 6.07.$$

$$\rightarrow k_1 = \min(4.52; 6.07; 2.5) = 2.5.$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2.5 \times 1 \times 43 \times 3.9 \times 1.7}{1.25}.$$

$$F_{b.Rd} = 570.18 \text{ Kn.}$$

$$F_{v.sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{77.48}{10}.$$

$$F_{v.sd} = 7.748 \text{ Kn.}$$

$$F_{v.sd} = 7.748 \text{ Kn} < F_{b.Rd} = 570.18 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Le logiciel ROBOT nous permet de calculer automatiquement l'assemblage poteau- traverse, Voir l'ANNEXE 06 (calcul des assemblages)

## 6.2 Assemblage Traverse-Traverse :

L'assemblage traverse-traverse est réalisé à l'aide de deux platines boulonnées entre elles et soudées avec les deux traverses.

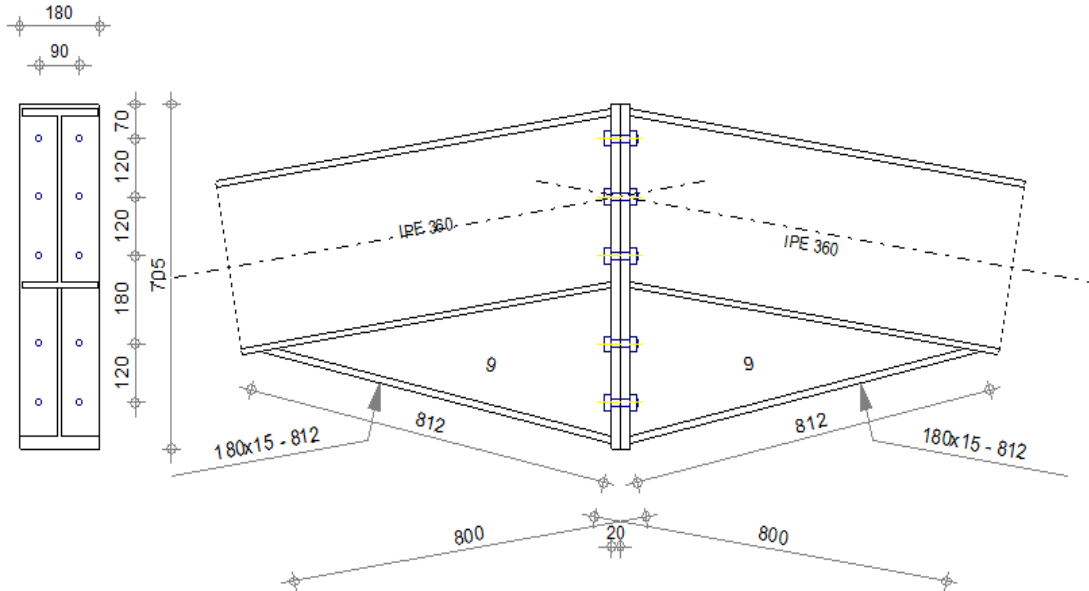


Figure 6.4: Vu en plan de l'assemblage traverse-traverse.

Les efforts sollicitant sur l'assemblage sont obtenus par la combinaison G+1.5V1 donnée par le logiciel robot.

$$M_{sd} = 84.53 \text{ Kn. m}$$

$$N_{sd} = 41.92 \text{ Kn}$$

$$V_{sd} = 0.65 \text{ Kn}$$

- Disposition constructive

L'assemblage est réalisé par 10 boulons HR de classe 8.8 de diamètre  $\phi 14$  mm ainsi que les dimensions de la platine d'about sont 180mm x 705mm ; épaisseur Platine= 20mm.

L'épaisseur la plus mince pour la détermination des pinces est :

$$t = \text{Min}(t_f ; t_{\text{platine}}) = 12.7 \text{ mm.}$$

Avec :

- $t_f$  : est l'épaisseur de la semelle (12.7 mm).
- $t_{\text{platine}}$  : est l'épaisseur de la platine (20mm).

Distance entre les axes des boulons

tableau 6.5.1-CCM97

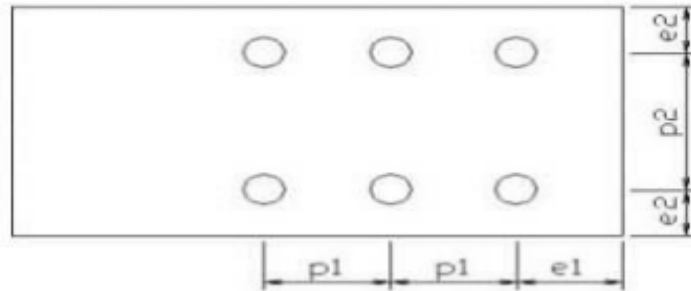


Figure 6.5 : Désignation des entraxes et des pincés.

- Pincés ( $e_1, e_2$ )

$$1.2 d_0 = 18 \text{ mm} \leq e_1 \leq 12 t = 152.4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 70 \text{ mm.}$$

$$1.5 d_0 = 22.5 \text{ mm} \leq e_2 \leq 12 t = 152.4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 45 \text{ mm.}$$

- Entraxe ( $P_1, P_2$ )

$$2.2 d_0 = 33 \text{ mm} \leq P_1 \leq 14 t = 177.8 \text{ mm} \rightarrow P_1 = 120 \text{ mm.}$$

$$3 d_0 = 45 \text{ mm} \leq P_2 \leq 14 t = 178.8 \text{ mm} \rightarrow P_2 = 90 \text{ mm.}$$

### 6.2.1 Détermination des efforts dans les boulons :

$$N_i = \frac{M_{sd} \times d_i}{\sum d_i^2}$$

Calcul de la hauteur de la partie comprimée :

$$x = t_f \times \sqrt{\frac{b}{t_w}}$$

Pour un IPE 360 :

$$t_f = 12.7 \text{ mm} \quad b = 170 \text{ mm} \quad t_w = 8 \text{ mm.}$$

$$\rightarrow x = 12.7 \times \sqrt{\frac{170}{8}} = 58.54 \text{ mm.}$$

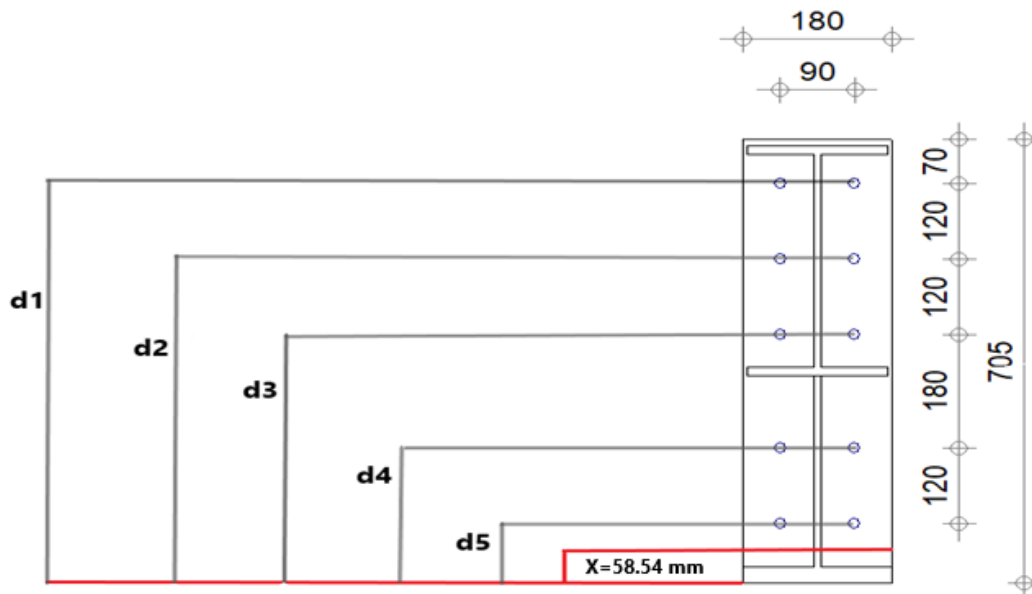


Figure 6.6: la hauteur de la zone comprimée (Assemblage traverse -traverse).

NB : tous les boulons sont tendus.

$$d_1 = 635 \text{ mm.}$$

$$d_2 = 515 \text{ mm.}$$

$$d_3 = 395 \text{ mm.}$$

$$d_4 = 235 \text{ mm.}$$

$$d_5 = 115 \text{ mm.}$$

$$N_i = \frac{M_{sd} \times d_i}{\sum d_i^2}$$

$$\sum d_i^2 = 635^2 + 515^2 + 395^2 + 235^2 + 115^2 = 892925 \text{ mm}^2 = 0.893 \text{ m}^2.$$

$$N_1 = \frac{M_{sd} \times d_1}{\sum d_i^2} = \frac{84.53 \times 0.635}{0.893} = 60.11 \text{ Kn.}$$

$$N_2 = \frac{M_{sd} \times d_2}{\sum d_i^2} = \frac{84.53 \times 0.515}{0.893} = 48.75 \text{ Kn.}$$

$$N_3 = \frac{M_{sd} \times d_3}{\sum d_i^2} = \frac{84.53 \times 0.395}{0.893} = 37.40 \text{ Kn.}$$

$$N_4 = \frac{M_{sd} \times d_4}{\sum d_i^2} = \frac{84.53 \times 0.235}{0.893} = 22.24 \text{ Kn.}$$

$$N_5 = \frac{M_{sd} \times d_5}{\sum d_i^2} = \frac{84.53 \times 0.115}{0.893} = 10.88 \text{ Kn.}$$



### 6.2.4 Détermination du diamètre requis des boulons

Résistance des boulons au cisaillement : tableau 65.3 : résistance de calcul des boulons.

$$F_{v,rd} = 0.6 f_{ub} A_s$$

$$N_1 \leq n \times F_{v,rd} \rightarrow A_s \geq \frac{N_1}{0.6 \cdot n \cdot f_{ub}} = \frac{60.11 \times 10^3}{0.6 \times 2 \times 800} = 62.61 \text{ mm}^2.$$

On choisit des boulons de type M14 de classe 8.8 avec  $A_s = 115 \text{ mm}^2$  et  $d_0 = 15 \text{ mm}$  (voir l'annexe 05).

### 6.2.5 Effort de précontrainte dans le boulon

$$F_p = 0.7 f_{ub} A_s$$

Pour les boulons de diamètre M16 et classe 10.9:

$$A_s = 115 \text{ mm}^2 \text{ et } f_{ub} = 800 \text{ Mpa. (Voir l'annexe 05)}$$

$$\rightarrow F_p = 0.7 \times 800 \times 10^{-3} \times 115.$$

$$F_p = 64.4 \text{ Kn.}$$

### 6.2.6 Vérification de l'assemblage a la flexion :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage a la flexion on utilise la condition suivante :

$$M_{Rd} \geq M_{sd}$$

$$\text{Avec : } M_{sd} = M_{max} = 84.53 \text{ Kn. m}$$

Calcul du moment résistant effectif de l'assemblage :

$$M_{Rd} = \frac{N_1 \times \sum d_i^2}{d_1} = \frac{n \cdot F_p \times \sum d_i^2}{d_1}.$$

n est le nombre de boulon dans une rangée horizontale  $\rightarrow n=2$ .

$$M_{Rd} = \frac{2 \times 64.4 \times (635^2 + 515^2 + 395^2 + 235^2 + 115^2) \times 10^{-3}}{635}$$

$$M_{Rd} = 181.11 \text{ kn. m}$$

$$M_{Rd} = 181.11 \text{ Kn. m} \geq M_{sd} = 84.53 \text{ Kn. m} \dots\dots\dots\text{condition vérifiée.}$$

### 6.2.7 Vérification de l'assemblage au cisaillement :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage au cisaillement on utilise la condition suivante :

$$V_{Rd} \geq V_{v,sd}$$

Calcul de l'effort tranchant par boulon :

$$V_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{0.65}{10}.$$

$$V_{v,sd} = 0.065 \text{ Kn.}$$

Calcul de l'effort résistant par boulon :

$$V_{Rd} = K_s \times m \times \mu \times \frac{F_p}{\gamma_{M2}}.$$

- $K_s = 1.0$  : Trou normale . (Art. 6.5.8.1 – EC3)
- $m = 1$  : Un plan de frottement.
- $\mu = 0.4$  : Coefficient de frottement classe b . (Art. 6.5.8.3 – EC3)
- $F_p = 64.4 \text{ Kn}$  : Force de précontrainte par boulon.

$$\rightarrow V_{Rd} = 1 \times 1 \times 0.4 \times \frac{64.4}{1.25}$$

$$V_{Rd} = 20.608 \text{ Kn.}$$

$$V_{Rd} = 20.608 \text{ Kn} > V_{v.sd} = 0.065 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

**6.2.8 Vérification de l’assemblage au poinçonnement :**

Pour cette vérification à la résistance de l’assemblage au poinçonnement on utilise la condition suivante :

$$F_{t.sd} \leq B_{p.Rd} \dots\dots\dots \text{Formule 6.2 CCM97}$$

$F_{t.sd}$  : Effort de traction appliqué au boulon

$B_{p.Rd}$ : Résistance de calcul au cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon

$$F_{t.sd} = \frac{N_{sd}}{n} = \frac{41.92}{10}.$$

$$F_{t.sd} = 4.20 \text{ Kn.}$$

$$B_{p.Rd} = 0.6 \pi d_m t_p \frac{f_u}{\gamma_{M2}}.$$

Avec :

$t_p$ : Epaisseur de la plaque à vérifier.

$f_u$  : Résistance ultime à la traction de la plaque à vérifier.

$\gamma_{M2}$  : Coefficient partiel de sécurité.

$d_m = 23.70 \text{ mm. (Voir annexe 06).}$

$$\rightarrow B_{p.Rd} = 0.6 \times 3.14 \times 23.7 \times 2 \times \frac{43}{1.25}$$

$$B_{p.Rd} = 307.19 \text{ Kn.}$$

$$F_{t.sd} = 4.20 \text{ Kn} < B_{p.Rd} = 307.19 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

**6.2.9 Vérification de l’assemblage à la pression diamétrale :**

$$F_{v.sd} \leq F_{b.Rd} \quad \text{Tableau 6.5.3 CCM 97}$$

$$F_{b.Rd} = \frac{K_1 \times \alpha_b \times d \times t \times f_u}{\gamma_{M2}}. \text{ Avec : } \left\{ \begin{array}{l} \alpha_b = \min \left( \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) \\ k_1 = \min \left( 2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right) \end{array} \right.$$

$f_u$  : Résistance ultime à la traction des pièces assemblés.

$f_{ub}$  : Résistance ultime à la traction du boulon.

$t = 40 \text{ mm}$  : épaisseur des deux platines

• Calcul de  $\alpha_b$  :

$$\frac{e_1}{3d_0} = \frac{70}{3 \times 15} = 1.55.$$

$$\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{120}{3 \times 15} - \frac{1}{4} = 2.41.$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{430} = 2.32.$$

$$\rightarrow \alpha_b = \min(1.55; 2.41; 2.32; 1) = 1.$$

• Calcul de  $k_1$  :

$$2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 2.8 \times \frac{45}{15} - 1.7 = 6.7.$$

$$1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7 = 1.4 \times \frac{90}{15} - 1.7 = 6.7.$$

$$\rightarrow k_1 = \min(6.7; 6.7; 2.5) = 2.5.$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 1 \times 43 \times 4 \times 1.7}{1.25}.$$

$$F_{b,Rd} = 584.8 \text{ Kn.}$$

$$F_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{0.69}{10}.$$

$$F_{v,sd} = 0.069 \text{ Kn.}$$

$$F_{v,sd} = 0.069 \text{ Kn} < F_{b,Rd} = 584.8 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Le logiciel ROBOT nous permet de calculer automatiquement l'assemblage traverse- traverse, Voir l'ANNEXE 06 (calcul des assemblages)

### 6.3 Assemblage poteau-poutre sablière :

#### 6.3.1 Assemblage poteau-poutre sablière (HEA120) :

L'assemblage est réalisé avec boulonnage de l'âme de la sablière avec l'âme du poteau par deux cornières.

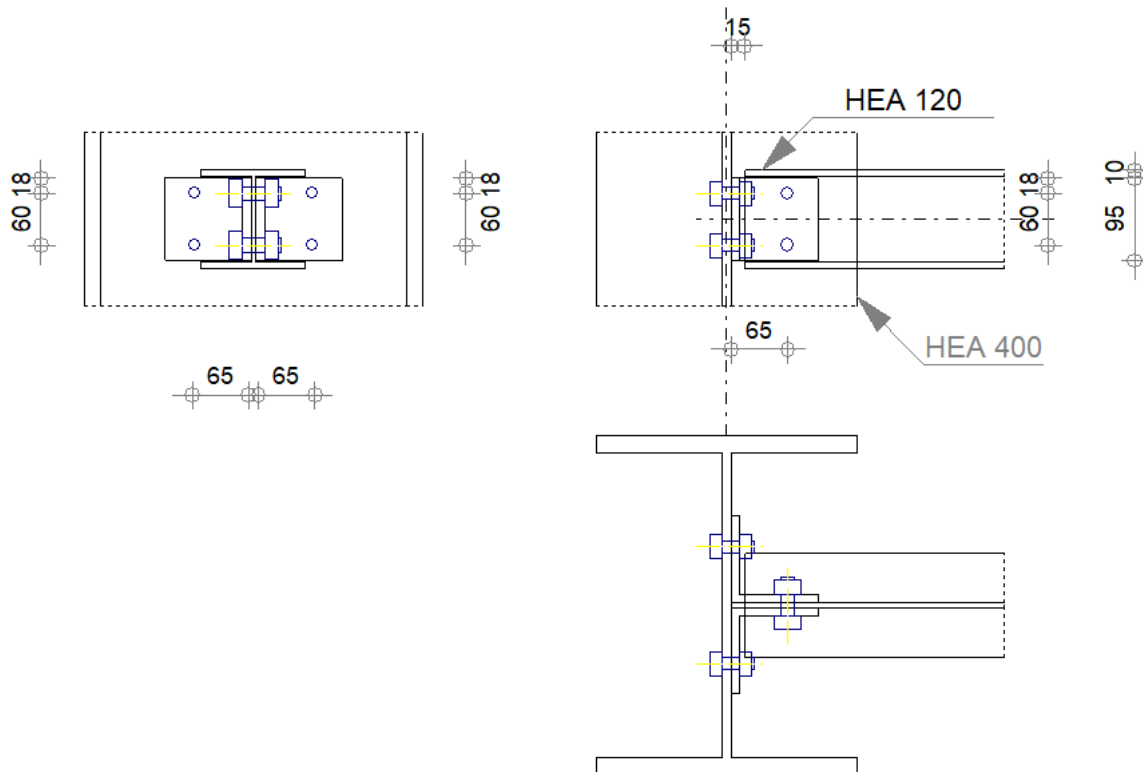


Figure 6.7: Vue en plan de l'assemblage Poteau-Poutre sablière(HEA120).

Les efforts sollicitant sur l'assemblage sont obtenus par la combinaison  $1.35G+1.5T$  donnée par le logiciel robot.

$$M_{sd} = 0.84 \text{ Kn. m.}$$

$$N_{sd} = -0.35 \text{ Kn.}$$

$$V_{sd} = 0.80 \text{ Kn.}$$

- Disposition constructive

L'assemblage est réalisé avec une file verticale de 2 boulons  $\varnothing 14$  de classe 4.8 dans les deux côtés de la cornière

Ainsi que les dimensions de la cornière sont :

- La longueur et la largeur: 100 mm
- La hauteur: 95 mm
- Épaisseur : 10 mm

L'épaisseur la plus mince pour la détermination des pinces est :

$$t = \text{Min}(t_w ; t_{\text{cornière}}) = 10 \text{ mm.}$$

Avec :

- $t_w$  : est l'épaisseur de lame (11 mm).
- $t_{\text{cornière}}$  : est l'épaisseur de la cornière (10 mm).

Distance entre les axes des boulons

tableau 6.5.1-CCM97

- Entraxe ( $p_1$ )

$$2,2d_0 = 33\text{mm} \leq p_1 \leq 14t = 140\text{mm} \text{ alors on prend } p_1 = 60\text{mm}$$

- Pincés ( $e_1, e_2$ )

$$1,2d_0 = 18\text{mm} \leq e_1 \leq 12t = 120\text{mm} \text{ alors on prend } e_1 = 35\text{mm}$$

$$1,5d_0 = 22.5\text{mm} \leq e_2 \leq 12t = 120\text{mm} \text{ alors on prend } e_2 = 45\text{mm}$$

Le logiciel ROBOT nous permet de calculer automatiquement l'assemblage poteau- poutre, Voir l'ANNEXE 06 (calcul des assemblages)

### 6.3.1 Assemblage poteau-poutres sablière (HEA120 et HEA160) :

L'assemblage est réalisé avec boulonnage des âmes des sablières avec l'âme du poteau par deux cornières.

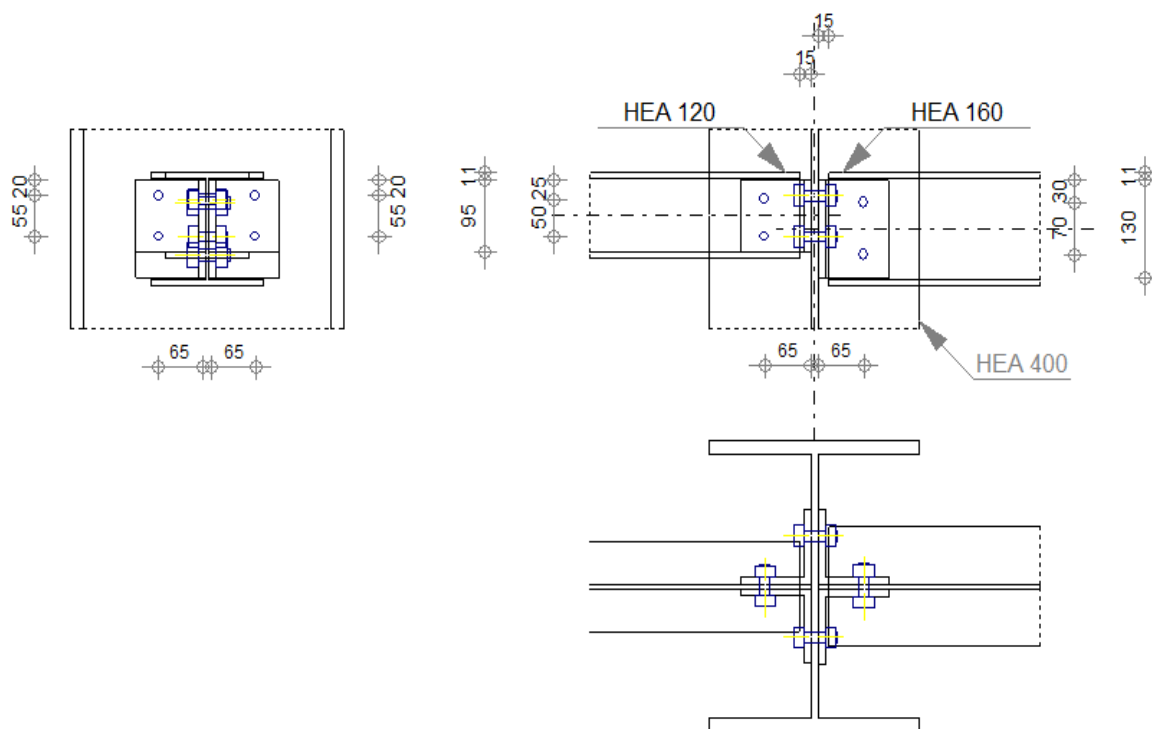


Figure 6.8: Vue en plan de l'assemblage Poteau-deux Poutre sablière (HEA120 et HEA 160).

Les efforts sollicitant sur l'assemblage sont obtenus par la combinaison **1.35G+1.5T** donnée par le logiciel robot.

$$M_{\max} = 1.86 \text{ Kn. m.}$$

$$N_{\max} = 5.67 \text{ Kn.}$$

$$V_{\max} = 1.51 \text{ Kn.}$$

- Disposition constructive

L'assemblage est réalisé avec une file verticale de 2 boulons  $\varnothing 14$  de classe 4.8 dans les deux côtes de la cornière

Ainsi que les dimensions des deux cornières sont :

**Côté gauche :**

- La longueur et la largeur: 100 mm
- La hauteur: 95 mm
- Épaisseur : 10 mm

**côté droite :**

- La longueur et la largeur: 100 mm
- La hauteur: 130 mm
- Épaisseur : 10 mm

L'épaisseur la plus mince pour la détermination des pinces est :

$$t = \text{Min} (t_w ; t_{\text{cornière}}) = 10 \text{ mm.}$$

Avec :

- $t_w$  : est l'épaisseur de lame (11 mm).
- $t_{\text{cornière}}$  : est l'épaisseur de la cornière (10 mm).

Distance entre les axes des boulons

tableau 6.5.1-CCM97

**Boulons cornières gauche :**

- Entraxe ( $p_1$ )

$$2,2d_0 = 33\text{mm} \leq p_1 \leq 14t = 140\text{mm} \text{ alors on prend } p_1 = 60\text{mm}$$

- Pinces ( $e_1, e_2$ )

$$1,2d_0 = 18\text{mm} \leq e_1 \leq 12t = 120\text{mm} \text{ alors on prend } e_1 = 25\text{mm}$$

$$1,5d_0 = 22.5\text{mm} \leq e_2 \leq 12t = 120\text{mm} \text{ alors on prend } e_2 = 65\text{mm}$$

**Boulons cornières droite :**

- Entraxe ( $p_1$ )

$$2,2d_0 = 33\text{mm} \leq p_1 \leq 14t = 140\text{mm} \text{ alors on prend } p_1 = 70\text{mm}$$

- Pinces ( $e_1, e_2$ )

$$1,2d_0 = 18\text{mm} \leq e_1 \leq 12t = 120\text{mm} \text{ alors on prend } e_1 = 30\text{mm}$$

$$1,5d_0 = 22.5\text{mm} \leq e_2 \leq 12t = 120\text{mm} \text{ alors on prend } e_2 = 65\text{mm}$$

Le logiciel ROBOT nous permet de calculer automatiquement l'assemblage poteau- deux Poutres,  
Voire I ANNEXE 06 (calcul des assemblages)

### 6.4 Assemblage Poteau- support de chemin de roulement:

L'assemblage poteau – support de chemin de roulement est réalisé à l'aide d'une platine soudée au support et boulonnée au poteau.

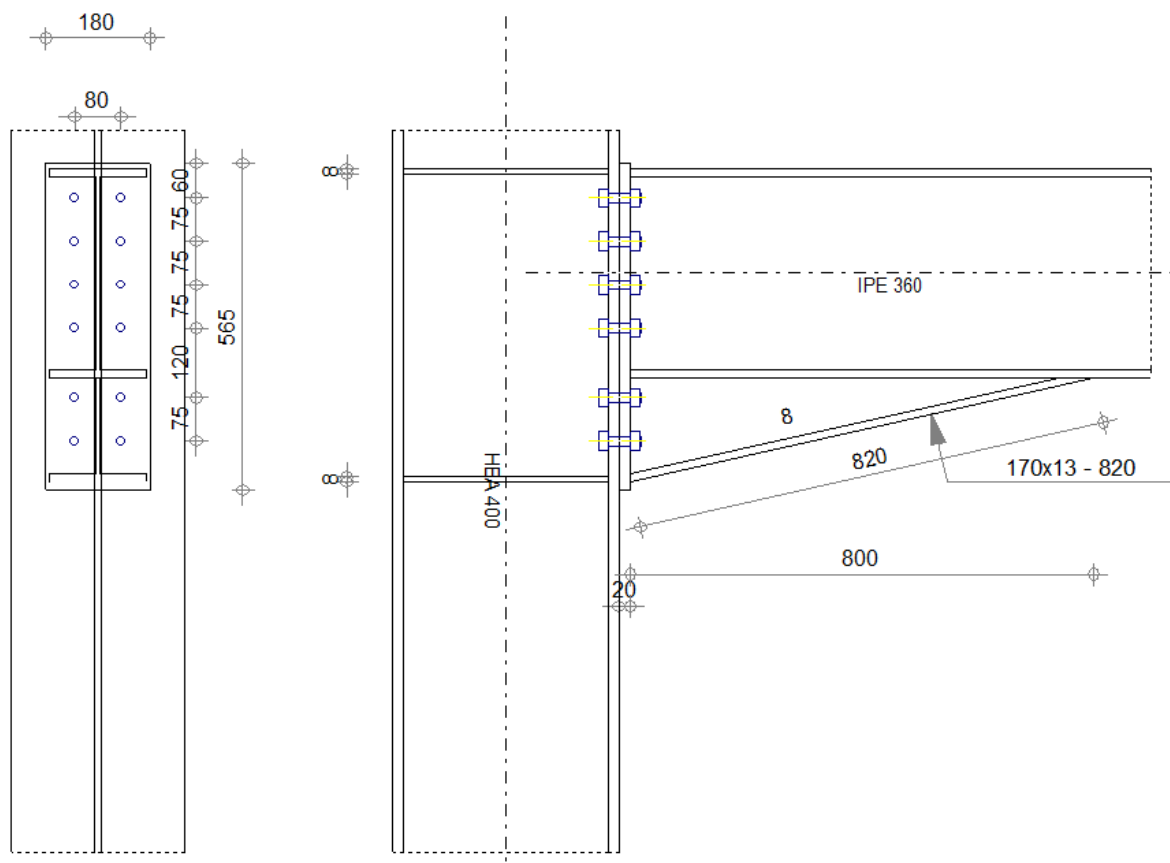


Figure 6.9: vue en plan de l'assemblage poteau- support de chemin de roulement.

L'assemblage est sollicité par un moment fléchissant, un effort tranchant et un effort normal. Les efforts sollicitant sur l'assemblage sont obtenus de la combinaison **1.35G+ 1.5Q** donnée par le logiciel Robot.

$$M_{\max} = -148.16 \text{ Kn. m}$$

$$N_{\max} = 139.75 \text{ kn . m}$$

$$V_{\max} = 167.12 \text{ Kn. m}$$

- Disposition constructive

L'assemblage est réalisé par 12 boulons HR de classe 10.9 de diamètre  $\phi 16 \text{ mm}$  ainsi que les dimensions de la platine d'about sont **180mm x 565mm** ; épaisseur platine = **20mm**.

L'épaisseur la plus mince pour la détermination des pinces est :

$$t = \text{Min} (t_f ; t_{\text{platine}}) = 12.7 \text{ mm.}$$

Avec :

- $t_f$  : est l'épaisseur de la semelle (12.7mm) .
- $t_{\text{platine}}$  : est l'épaisseur de la platine (20mm).

Distance entre les axes des boulons

tableau 6.5.1-CCM97

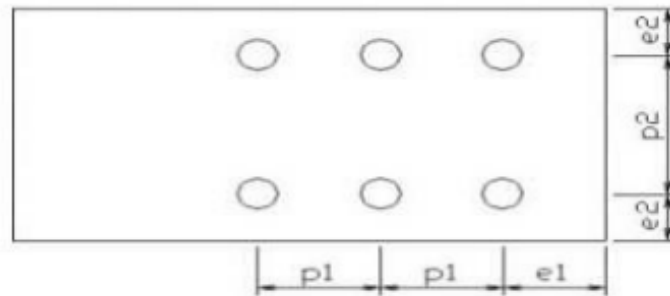


Figure 6.10 : Désignation des entraxes et des pinces.

- Pinces ( $e_1, e_2$ )

1.2  $d_0 = 21.6 \text{ mm} \leq e_1 \leq 12 t = 152.4 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 60 \text{ mm}$ .

1.5  $d_0 = 27 \text{ mm} \leq e_2 \leq 12 t = 152.4 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 50 \text{ mm}$ .

- Entraxe ( $P_1, P_2$ )

2.2  $d_0 = 39.6 \text{ mm} \leq p_1 \leq 14 t = 177.8 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 75 \text{ mm}$ .

3  $d_0 = 54 \text{ mm} \leq p_2 \leq 14 t = 177.8 \text{ mm} \rightarrow p_2 = 80 \text{ mm}$ .

- Distribution des efforts sur les différents cordons

On va choisir le cordon de soudure platine-traverse à l'aide de l'abaque de pré dimensionnement de la gorge (Annexe 5).

IPE 360 :  $t_f = 12.7 \text{ mm}$  .  $t_w = 8 \text{ mm}$ .

$a_{\min} = 2 \leq t_w \leq a_{\max} = 5.7$ .

$a_{\min} = 3.2 \leq t_f \leq a_{\max} = 8.8$ .

On choisit un cordon de soudure de  $\begin{cases} a_w = 5 \text{ mm} \\ a_f = 7 \text{ mm} \end{cases}$

### 6.4.1 Vérification de la soudure de la semelle à la traction

$$N_{sd} \leq F_{w,Rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{2} \times \beta_w \times \gamma_{MW}}$$

Avec :  $f_u = 430 \text{ Mpa}$  .  $\beta_w = 0.85$  .  $\gamma_{MW} = 1.3$  (voir l'annexe 04).

La longueur totale des cordons de soudure des semelles :

$$\sum l = 2b + 4(b - t_w) = 2 \times 170 + 4 \times (170 - 8) = 988 \text{ mm}$$



$$\rightarrow F_{w.Rd} = \frac{7 \times 988 \times 430}{\sqrt{2} \times 0.85 \times 1.3} = 1903.03 \text{Kn.}$$

$\rightarrow N_{sd} = 139.75 \text{ Kn} < F_{w.Rd} = 1903.03 \text{ Kn}$ ..... condition vérifiée.

### 6.4.2 Vérification de la soudure de l'âme au cisaillement

$$V_{sd} \leq V_{v.Rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{MW}}$$

Avec :  $f_u = 430 \text{ Mpa}$  .  $\beta_w = 0.85$  .  $\gamma_{MW} = 1.3$  (voir l'annexe 04).

La longueur totale des cordons de soudure des âmes :

$$\sum l = 4 \times h_i = 4 \times 334.6 = 1338.4 \text{mm.}$$

$$\rightarrow V_{v.Rd} = \frac{5 \times 1338.4 \times 430}{\sqrt{3} \times 0.85 \times 1.3} = 1503.5 \text{Kn.}$$

$\rightarrow V_{sd} = 167.12 \text{Kn} < V_{v.Rd} = 1503.5 \text{Kn}$ . ..... condition vérifiée.

### 6.4.3 Détermination des efforts dans les boulons :

$$N_i = \frac{M_{sd} \times d_i}{\sum d_i^2}$$

Calcul de la hauteur de la partie comprimée :

$$x = t_f \times \sqrt{\frac{b}{t_w}}$$

Pour un IPE 360 :

$$t_f = 10.7 \text{ mm} . \quad b = 150 \text{ mm} \quad . \quad t_w = 7.1 \text{ mm.}$$

$$\rightarrow x = 12.7 \times \sqrt{\frac{170}{8}} = 58.54 \text{ mm.}$$

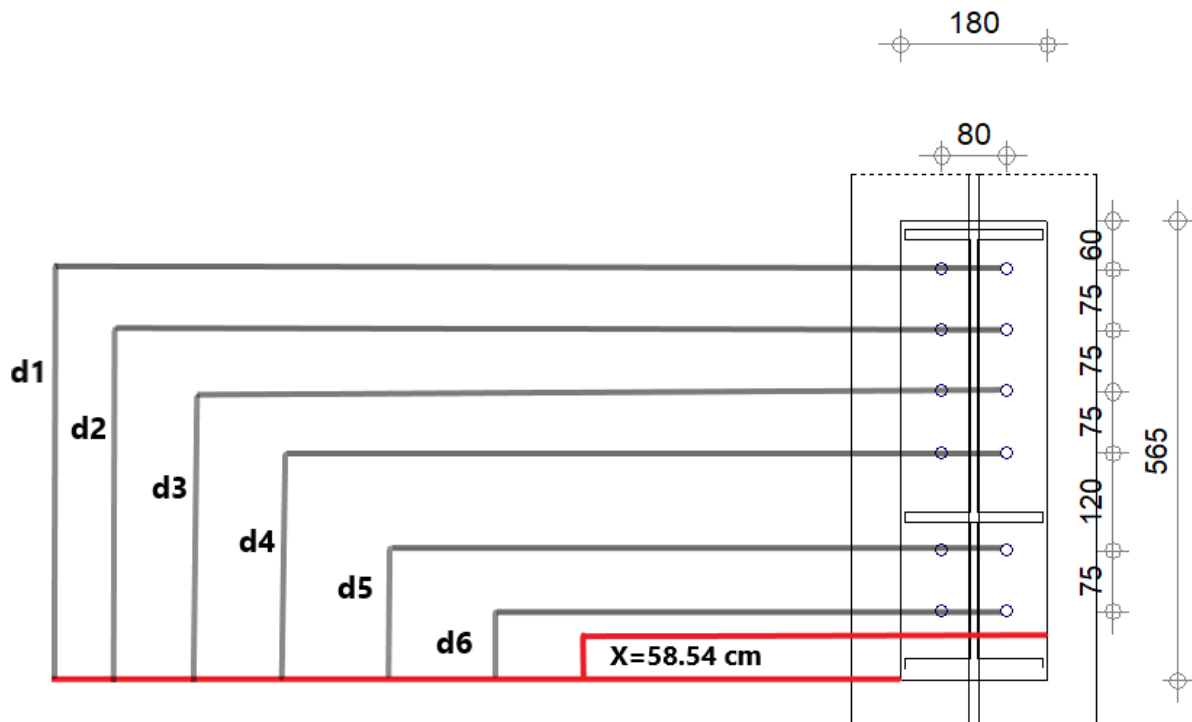


Figure 6.11 : la hauteur de la zone comprimée (Assemblage poteau- support de chemin de roulement).

NB : tous les boulons sont tendus.

$$d_1 = 505 \text{ mm.}$$

$$d_2 = 430 \text{ mm.}$$

$$d_3 = 355 \text{ mm.}$$

$$d_4 = 280 \text{ mm.}$$

$$d_5 = 160 \text{ mm.}$$

$$d_6 = 85 \text{ mm.}$$

$$N_i = \frac{M_{sd} \times d_i}{\sum d_i^2}$$

$$\sum d_i^2 = 505^2 + 430^2 + 355^2 + 280^2 + 160^2 + 85^2 = 677175 \text{ mm}^2 = 0.68 \text{ m}^2.$$

$$N_1 = \frac{M_{sd} \times d_1}{\sum d_i^2} = \frac{148.16 \times 0.505}{0.68} = 110.03 \text{ Kn.}$$

$$N_2 = \frac{M_{sd} \times d_2}{\sum d_i^2} = \frac{148.16 \times 0.430}{0.68} = 93.70 \text{ Kn.}$$

$$N_3 = \frac{M_{sd} \times d_3}{\sum d_i^2} = \frac{148.16 \times 0.355}{0.68} = 77.35 \text{ Kn.}$$

$$N_4 = \frac{M_{sd} \times d_4}{\sum d_i^2} = \frac{148.16 \times 0.280}{0.68} = 61 \text{ Kn.}$$

$$N_5 = \frac{M_{sd} \times d_5}{\sum d_i^2} = \frac{148.16 \times 0.160}{0.68} = 34.86 \text{ Kn.}$$

$$N_6 = \frac{M_{sd} \times d_5}{\sum d_i^2} = \frac{148.16 \times 0.085}{0.68} = 18.52 \text{ Kn.}$$

### 6.4.4 Détermination du diamètre requis des boulons

Résistance des boulons au cisaillement : tableau 6.5.3 CCM97: résistance de calcul des boulons.

$$F_{v,rd} = 0.5 f_{ub} A_s$$

$$N_1 \leq n \times F_{v,rd} \rightarrow A_s \geq \frac{N_1}{0.6 \cdot n \cdot f_{ub}} = \frac{110.03 \times 10^3}{0.5 \times 2 \times 1000} = 110.03 \text{ mm}^2.$$

On choisit des boulons de type M16 de classe 10.9 avec  $A_s = 157 \text{ mm}^2$  et  $d_0 = 18 \text{ mm}$  (voir l'annexe 05).

#### 6.4.4.1 Effort de précontrainte dans le boulon

$$F_P = 0.7 f_{ub} A_s$$

Pour les boulons de diamètre M16 et classe 10.9:

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ et } f_{ub} = 1000 \text{ Mpa. (Voir l'annexe 05)}$$

$$\rightarrow F_P = 0.7 \times 1000 \times 10^{-3} \times 157.$$

$$F_P = 110 \text{ Kn.}$$

#### 6.4.4.2 Vérification de l'assemblage a la flexion :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage a la flexion on utilise la condition suivante :

$$M_{Rd} \geq M_{sd}$$

$$\text{Avec : } M_{sd} = M_{max} = 148.16 \text{ Kn.m}$$

Calcul du moment résistant effectif de l'assemblage :

$$M_{Rd} = \frac{N_1 \times \sum d_i^2}{d_1} = \frac{n \cdot F_P \times \sum d_i^2}{d_1}.$$

n est le nombre de boulon dans une rangée horizontale  $\rightarrow n=2$ .

$$\rightarrow M_{Rd} = 295 \text{ kn.m}$$

$$M_{Rd} = 295 \text{ Kn.m} \geq M_{sd} = 148.16 \text{ Kn.m} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

#### 6.4.4.3 Vérification de l'assemblage au cisaillement :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage au cisaillement on utilise la condition suivante :

$$V_{Rd} \geq V_{v,sd}$$

Calcul de l'effort tranchant par boulon :

$$V_{v,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{167.12}{2}.$$

$$V_{v,sd} = 13.92 \text{ Kn.}$$

Calcul de l'effort résistant par boulon :

$$V_{Rd} = K_S \times m \times \mu \times \frac{F_p}{\gamma_{M2}}$$

- $K_S = 1.0$  : Trou normale. (Art. 6.5.8.1 – EC3)
- $m = 1$  : Un plan de frottement.
- $\mu = 0.4$  : Coefficient de frottement classe b. (Art. 6.5.8.3 – EC3)
- $F_p = 110 \text{ Kn}$  : Force de précontrainte par boulon.

$$\rightarrow V_{Rd} = 1 \times 1 \times 0.4 \times \frac{110}{1.25}$$

$$V_{Rd} = 35.2 \text{ Kn.}$$

$$V_{Rd} = 35.2 \text{ Kn} > V_{v.sd} = 13.92 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{Condition vérifiée.}$$

### 6.4.4.4 Vérification de l'assemblage au poinçonnement :

Pour cette vérification à la résistance de l'assemblage au poinçonnement on utilise la condition suivante :

$$F_{t.sd} \leq B_{p.Rd} \dots\dots\dots \text{Formule 6.2 CCM97}$$

$F_{t.sd}$  : Effort de traction appliqué au boulon

$B_{p.Rd}$  : Résistance de calcul au cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon

$$F_{t.sd} = \frac{N_{sd}}{n} = \frac{139.75}{12}$$

$$F_{t.sd} = 11.64 \text{ Kn.}$$

$$B_{p.Rd} = 0.6 \pi d_m t_p \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Avec :

$t_p$  : Epaisseur de la plaque à vérifier.

$f_u$  : Résistance ultime à la traction de la plaque à vérifier.

$\gamma_{M2}$  : Coefficient partiel de sécurité.

$d_m = 24.58 \text{ mm.}$  (Voir annexe 06).

$$\rightarrow B_{p.Rd} = 0.6 \times 3.14 \times 24.58 \times 2 \times \frac{43}{1.25}$$

$$B_{p.Rd} = 318.60 \text{ Kn.}$$

$$F_{t.sd} = 11.64 < B_{p.Rd} = 318.6 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

### 6.4.4.5 Vérification de l'assemblage à la pression diamétrale :

$$F_{v.sd} \leq F_{b.Rd} \quad \text{Tableau 65.3 CCM 97}$$

$$F_{b.Rd} = \frac{K_1 \times \alpha_b \times d \times t \times f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{Avec :} \begin{cases} \alpha_b = \min \left( \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) \\ k_1 = \min \left( 2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right) \end{cases}$$

$f_u$  : Résistance ultime à la traction des pièces assemblés.

$f_{ub}$  : Résistance ultime à la traction du boulon.

$t = 20+19=39$  : épaisseur platine +semelle poteau

• Calcul de  $\alpha_b$  :

$$\frac{e_1}{3d_0} = \frac{60}{3 \times 18} = 1.11.$$

$$\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \times 18} - \frac{1}{4} = 1.13.$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{430} = 2.32.$$

$$\rightarrow \alpha_b = \min(0.98; 1.04; 2.32; 1) = 1.$$

• Calcul de  $k_1$  :

$$2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7 = 2.8 \times \frac{50}{18} - 1.7 = 6.07.$$

$$1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7 = 1.4 \times \frac{75}{18} - 1.7 = 4.13.$$

$$\rightarrow k_1 = \min(6.07; 4.13; 2.5) = 2.5.$$

$$F_{b.Rd} = \frac{2.5 \times 1 \times 43 \times 3.9 \times 1.7}{1.25}.$$

$$F_{b.Rd} = 570.18 \text{ Kn.}$$

$$F_{v.sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{165.16}{12}.$$

$$F_{v.sd} = 13.76 \text{ Kn.}$$

$$F_{v.sd} = 13.76 \text{ Kn} < F_{b.Rd} = 570.18 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Le logiciel ROBOT nous permet de calculé automatiquement l'assemblage poteau- support de chemin de roulement, Voire l'ANNEXE 06 (calcul des assemblages)

### 6.5 Assemblage du contreventement :

#### 6.5.1 Assemblage de la diagonale du palée de stabilité

L'assemblage est réalisé à l'aide d'un gousset boulonné aux barres de la diagonale.

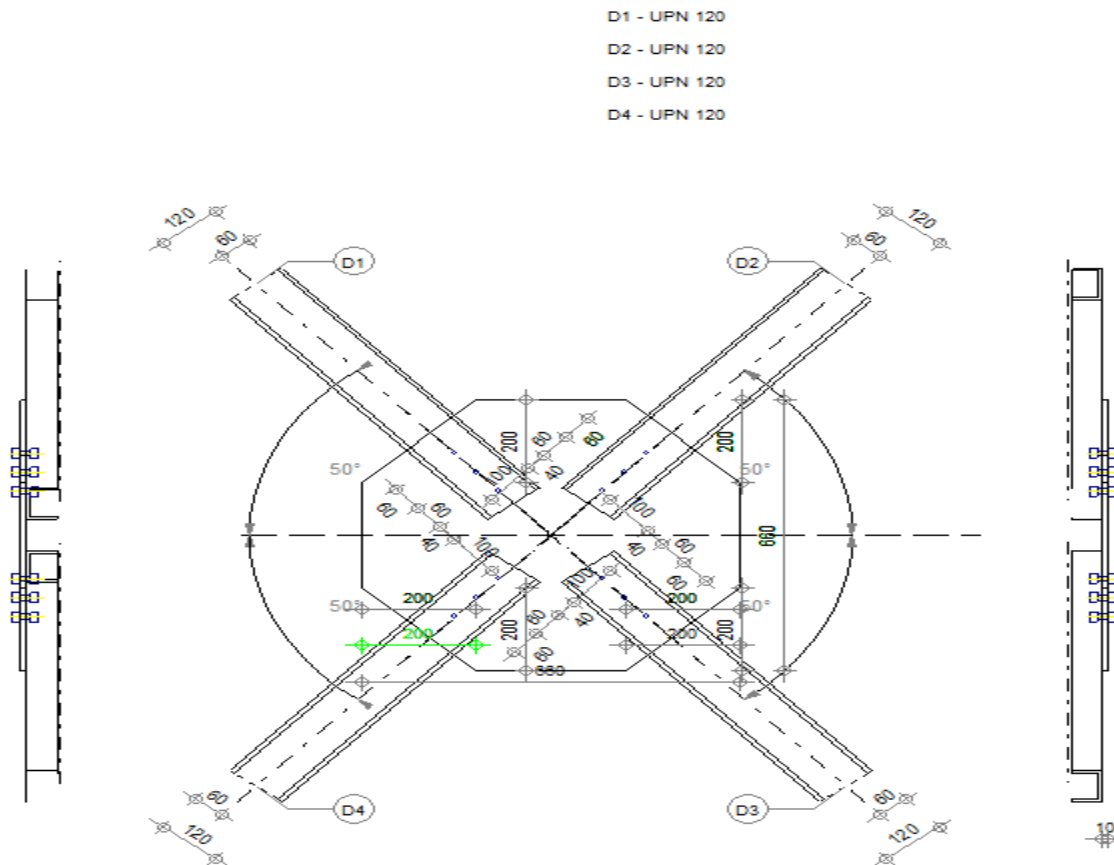


Figure 6.12: vue en plan de l'assemblage de la diagonale du palée de stabilité.

Les boulons sont sollicités au cisaillement seulement. Les diagonales les plus sollicitées sont celles qui reprennent un effort de traction maximum :

$$N_{\max} = -86.89 \text{ KN}$$

- **Disposition constructive**

L'assemblage est réalisé par 3 boulons HR de classe 10.9 de diamètre  $\phi 12$  mm.

Ainsi que les dimensions du gousset sont :

Longueur du gousset: 660 mm

Hauteur du gousset: 660mm

Epaisseur du gousset: 8mm

Grugeage : 200mm de chaque cote.

L'épaisseur la plus mince pour la détermination des pincés est :

$$t = \text{Min} (t_w ; t_{\text{gousset}}) = 7 \text{ mm.}$$

Avec :

-  $t_{\text{gousset}}$ : est l'épaisseur du gousset (8mm) .

-  $t_w$  est l'épaisseur de lame (7mm).

Distance entre les axes des boulons tableau 6.5.1-CCM97

• Pinces ( $e_1, e_2$ )

$$1.2 d_0 = 15.6 \text{ mm} \leq e_1 \leq 12 t = 84 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 40 \text{ mm.}$$

$$1.5 d_0 = 19.5 \text{ mm} \leq e_2 \leq 12 t = 84 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 60 \text{ mm.}$$

• Entraxe ( $P_1$ )

$$2.2 d_0 = 28.6 \text{ mm} \leq p_1 \leq 14 t = 98 \text{ mm} \rightarrow p_1 = 60 \text{ mm.}$$

• Détermination du diamètre requis des boulons

$$F_{v,sd} = \frac{N_{max}}{n.p} \leq F_{v,Rd} = \frac{0.5 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,sd} = \frac{N_{max}}{n.p} = \frac{86.89}{1 \times 3}$$

$$F_{v,sd} = 28.96 \text{ Kn.}$$

$$\rightarrow A_s \geq \frac{\gamma_{M2} \times F_{v,sd}}{0.5 \times f_{ub}} = \frac{1.25 \times 28.96}{0.5 \times 1000} = 72.4 \text{ mm}^2$$

On choisit des boulons de type M12 de classe 10.9 avec  $A_s = 84.3 \text{ mm}^2$  et  $d_0 = 13 \text{ mm}$ . (voir l'annexe 05)

6.5.1.1 Vérification au cisaillement :

$$F_{v,sd} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{M2}} \quad \text{Tableau 65.3 CCM97}$$

$$F_{v,Rd} = 33.72 \text{ Kn.}$$

$$F_{v,sd} = 28.96 \text{ Kn} < F_{v,Rd} = 33.72 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

6.5.1.2 Vérification de l'assemblage à la pression diamétrale :

$$F_{v,sd} \leq F_{b,Rd} \quad \text{Tableau 65.3 CCM 97}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{K_1 \times \alpha_b \times d \times t \times f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{Avec :} \left\{ \begin{array}{l} \alpha_b = \min \left( \frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right) \\ k_1 = \min \left( 2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7; 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7; 2.5 \right) \end{array} \right.$$

$f_u$  : Résistance ultime à la traction des pièces assemblés.

$f_{ub}$  : Résistance ultime à la traction du boulon.

$t = 8 \text{ mm}$ : épaisseur du gousset

• Calcul de  $\alpha_b$  :

$$\frac{e_1}{3d_0} = \frac{40}{3 \times 13} = 1.02.$$

$$\frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60}{3 \times 13} - \frac{1}{4} = 1.28.$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{430} = 2.32.$$

$$\rightarrow \alpha_b = \min (1.02; 1.28; 2.32; 1) = 1.$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 1 \times 43 \times 0.8 \times 1.2}{1.25}.$$

$$F_{b,Rd} = 82.56 \text{ Kn.}$$

$$F_{v,sd} = \frac{N_{max}}{n} = \frac{86.89}{3}.$$

$$F_{v,sd} = 28.96 \text{ Kn.}$$

$$F_{v,sd} = 28.96 \text{ Kn} < F_{b,Rd} = 82.56 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

6.5.1.3 Vérification de l'assemblage vis-à-vis de la rupture de la section nette :

$$F_{v,sd} \leq N_{u,Rd} = 0.9 \times A_{net} \times \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Avec :

$$A_{net} = 17 - 0.7 \times 1.3 = 16.09 \text{ cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = 0.9 \times 16.09 \times \frac{43}{1.25}$$

$$N_{u,Rd} = 498.15 \text{ Kn}$$

$$F_{v,sd} = 28.96 \text{ Kn} < N_{u,Rd} = 498.15 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Le logiciel ROBOT nous permet de calculer automatiquement l'assemblage et les résultats des calculs sont dans L ANNEXE 06 (calcul des assemblages)

6.5.2 Assemblage de la diagonale de la poutre ou vent

L'assemblage est réalisé à l'aide dun gousset boulonné aux barres de la diagonale.



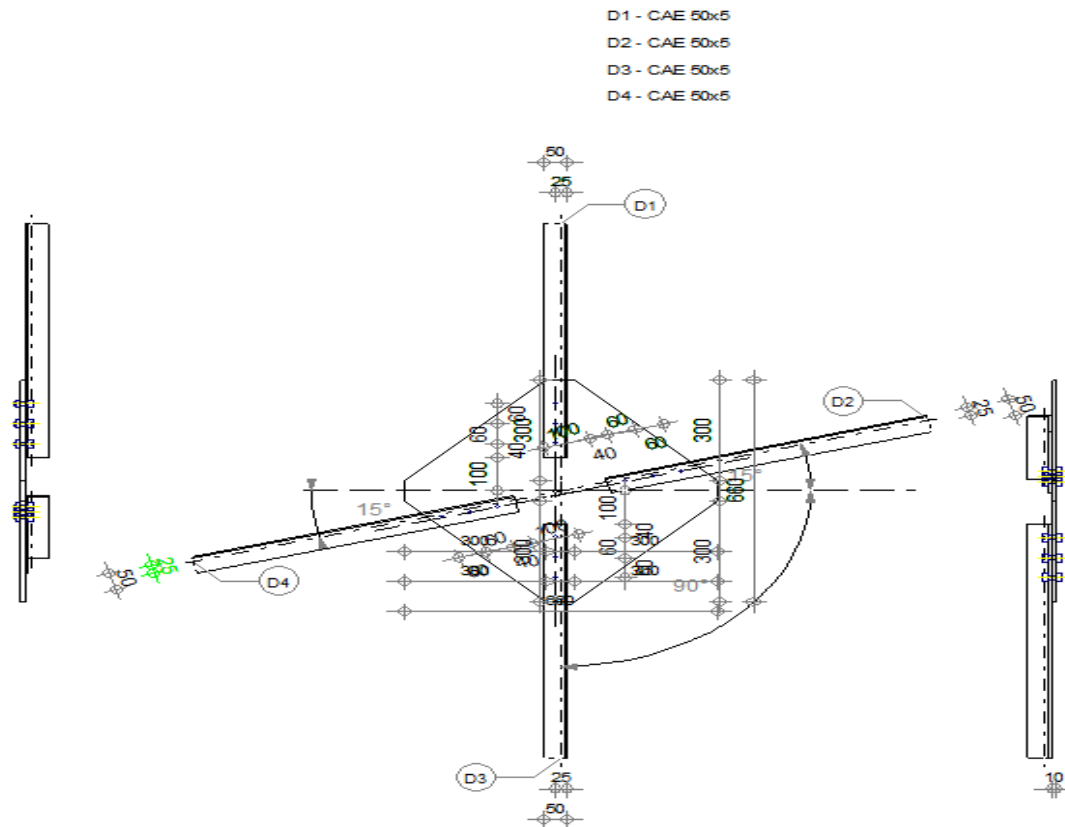


Figure 6.13: vue en plan de l'assemblage de la diagonale de la poutre ou vent.

Le logiciel ROBOT nous permet de calculer automatiquement l'assemblage et les résultats des calculs sont dans L'ANNEXE 06 (calcul des assemblages)

### 6.6 Assemblage Panne-Traverse (Échantignole)

L'assemblage panne traverse est réaliser à l'aide d'échantignole, boulonner avec des boulons ordinaires afin d'avoir l'articulation souhaitée.

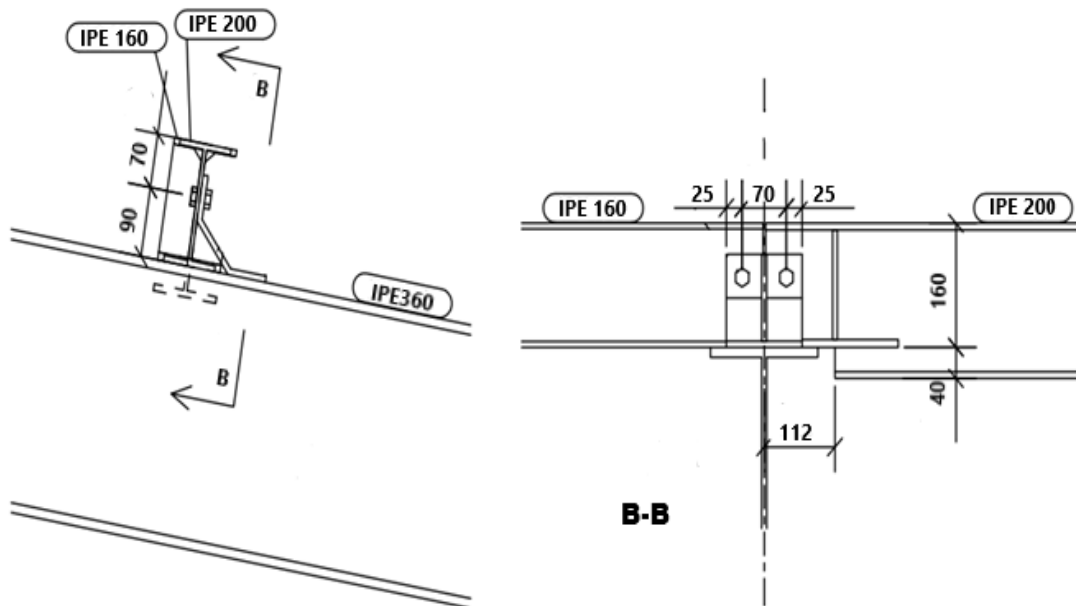


Figure 6.14: vue en plan de l'assemblage panne-échantignole/ échantignole-traverse.

L'assemblage est sollicité par une réaction max de  $R_z = 23.06 \text{ Kn}$  ....(Voir chapitre 3).

$$F_{v.sd} = \frac{R_{v,z}}{2} = \frac{23.06}{2} = 11.53 \text{ Kn.}$$

$$F_{v.Rd} = \frac{0.6 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}}$$

$$\rightarrow A_s = \frac{\gamma_{Mb} \times F_{v.Rd}}{0.6 \times f_{ub}} = \frac{1.1 \times 11530}{0.6 \times 800} = 26.42 \text{ mm}^2.$$

On adopte des boulons M10 de classe 8.8 avec  $A_s = 58 \text{ mm}^2$ .

#### 6.6.1 Résistance des boulons au cisaillement

Tableau 65.3-CCM97

$$F_{v.Rd} = \frac{0.6 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times 58 \times 800}{1.1} = 25.3 \text{ Kn} > F_{v.sd} = 11.53 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

#### 6.6.2 Résistance des boulons à l'effort combinée traction-cisaillement

$$\frac{F_{v.sd}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.sd}}{1.4 \times F_{t.Rd}} \leq 1 \quad \text{Art 6.5.5 (6.3) CCM97}$$

$$F_{t.Rd} = \frac{0.9 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times 58 \times 800}{1.1} = 37.9 \text{ Kn.}$$

$$F_{v.Rd} = \frac{0.6 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = 25.3 \text{ Kn}$$

$$\rightarrow \frac{F_{v.sd}}{F_{v.Rd}} + \frac{F_{t.sd}}{1.4 \times F_{t.Rd}} = 0.52 < 1 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

### 6.7 Calculs des attaches des lisses :

La fixation des lisses sur les poteaux et réalisée par des chutes de cornières soudée sur les semelles des poteaux et boulonnées avec les lisses de bardage.

#### 6.7.1 Calcul du boulon d'attache :

Le boulon d'attache semis a un effort de combinée de cisaillement sous l'effort du vent et de traction sous l'effort de charge permanentes

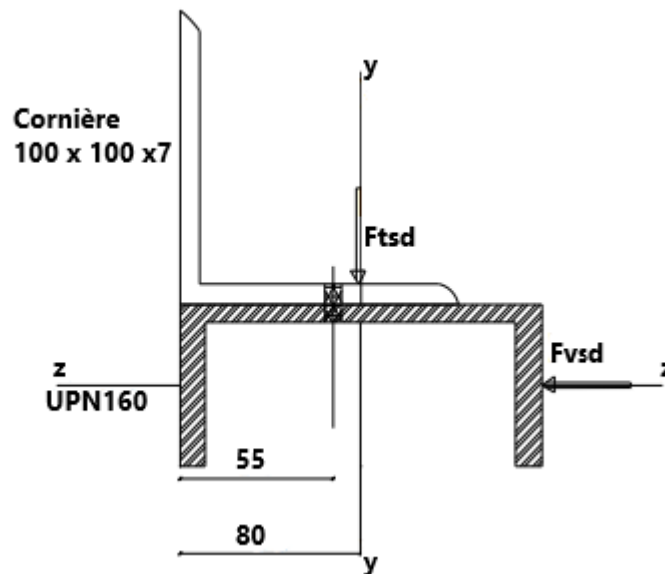


Figure 6.15: assemblage cornière-lisse

$$\frac{F_{v,sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,sd}}{1.4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{Art 6.5.5 (6.3) CCM97}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.6 \times A_s \times 0.8}{1.25} = 0.384 A_s.$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{Mb}} = \frac{0.9 \times A_s \times 0.8}{1.25} = 0.576 A_s.$$

$$F_{v,sd} = 1.5 \times F_z \times \frac{1}{2} = 4.16 \text{ Kn}$$

$$F_{t,sd} = 1.5 \times F_y \times \frac{1}{2} = 1.83 \text{ Kn}$$

Avec :

$$\begin{cases} F_z = 0.925 \text{ Kn/m} \\ F_y = 0.407 \text{ Kn/m} \end{cases} \quad \text{(Voire chapitre 03)}$$

$$\frac{F_{v,sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,sd}}{1.4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \rightarrow \quad \frac{4.16}{0.384 \cdot A_s} + \frac{1.83}{1.4 \times 0.576 \cdot A_s} \leq 1$$

$$\rightarrow A_s = 17.65 \text{ mm}^2$$

On adopte des boulons M10 de classe 8.8 avec  $A_s = 58 \text{ mm}^2$ .

6.7.2 Soudure de cornière :

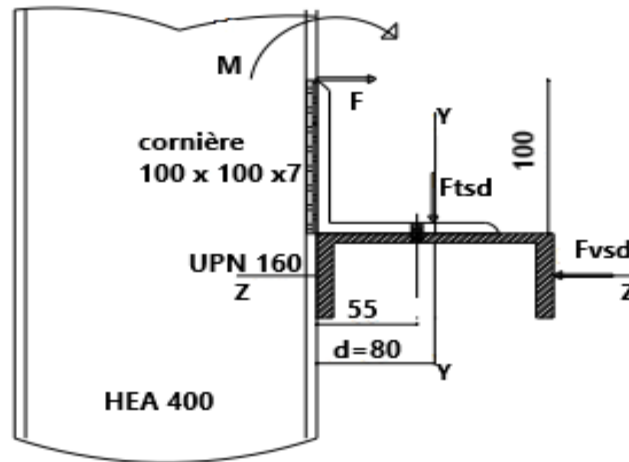


Figure 6.16: soudure cornière-poteau.

$$M = F_{tSD} \times d = 1.84 \times 0.08 = 0.147 \text{ Kn. m}$$

Effort sollicitant le cordon de soudure:

$$F = \frac{M}{h} = \frac{0.147}{0.1} = 1.47 \text{ Kn}$$

$$\tau \perp = \frac{F}{h \times a}$$

Prenons un cordon d'épaisseur  $a = 4 \text{ mm}$  et vérifiant :

$$\sqrt{3\tau \perp^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

Avec :  $f_u = 430 \text{ Mpa}$  .  $\beta_w = 0.85$  .  $\gamma_{Mw} = 1.3$  (voir l'annexe 04).

$$\sqrt{3\tau \perp^2} = \sqrt{3 \left( \frac{1.47 \times 10^{-3}}{0.1 \times 0.004} \right)^2} = 6.36 \text{ Mpa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{Mw}} = \frac{430}{0.85 \times 1.3} = 389.14 \text{ Mpa}$$

$$\rightarrow \sqrt{3\tau \perp^2} = 6.36 \text{ Mpa} < \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{Mw}} = 389.14 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$$

Donc le cordon de soudure d'épaisseur  $4 \text{ mm}$  est suffisant.

### 6.8 Assemblage des pieds des potelets :

L'assemblage est réalisé à l'aide d'une platine appelée plaque d'assise soudée au potelet reposant sur la fondation et fixée par écrous aux tiges d'ancrage qui sont noyées dans le béton.

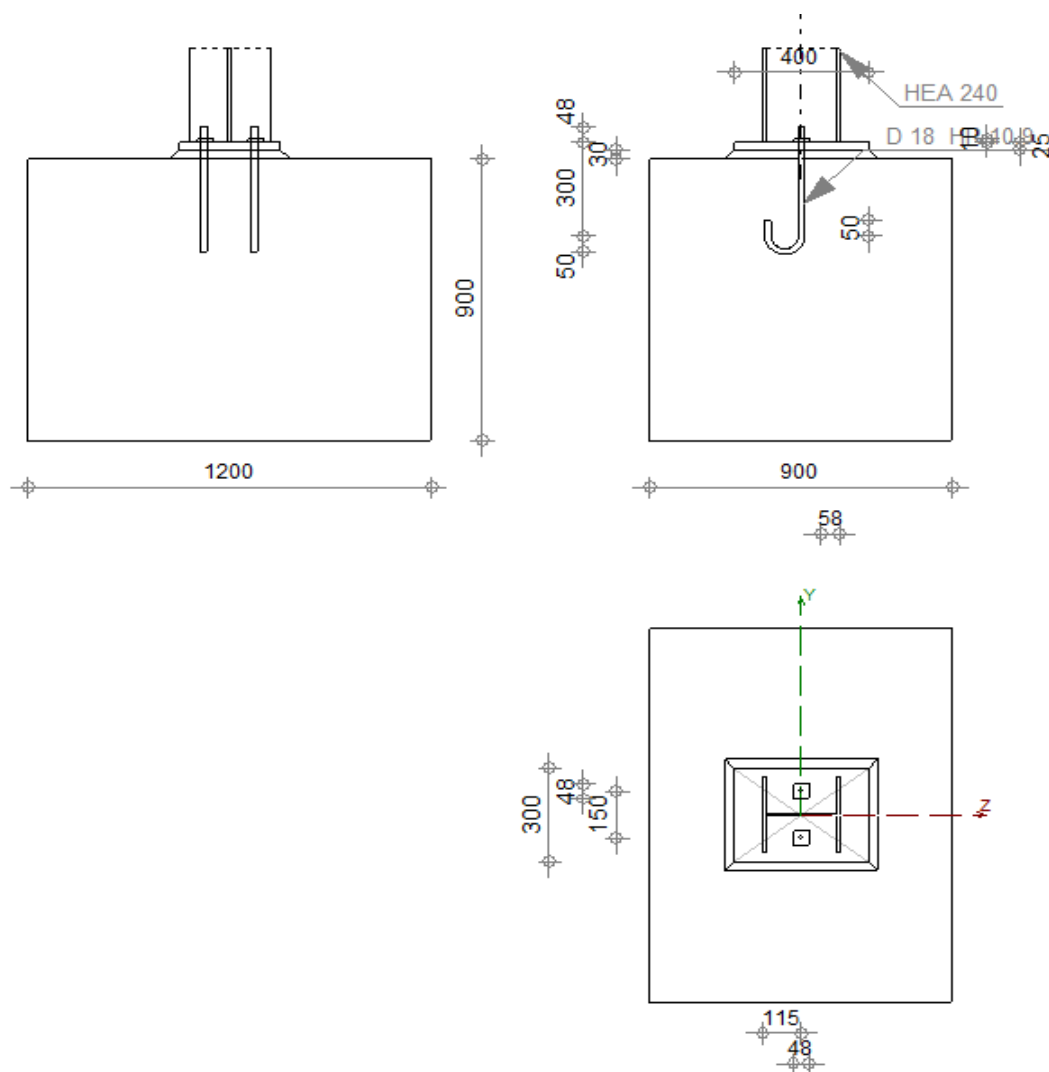


Figure 6.17: vue en plan de l'assemblage pied de potelet.

Le logiciel ROBOT nous permet de calculé automatiquement l'assemblage des pieds des potelets

, Voir l'ANNEXE 06 (calcul des assemblages).

## 6.8 Assemblage des pieds des Poteaux :

Les bases des poteaux et les tiges d'ancrage sont des éléments de continuité qui assurent la transmission des efforts développés dans le poteau de la superstructure aux fondations, ce sont des dispositifs de liaisons.

Ces derniers sont constitués d'une plaque d'assise assurant la réduction de la pression dans le béton, soudée au poteau reposant sur la fondation et fixée par écrous aux tiges d'ancrage qui sont noyées dans le béton.

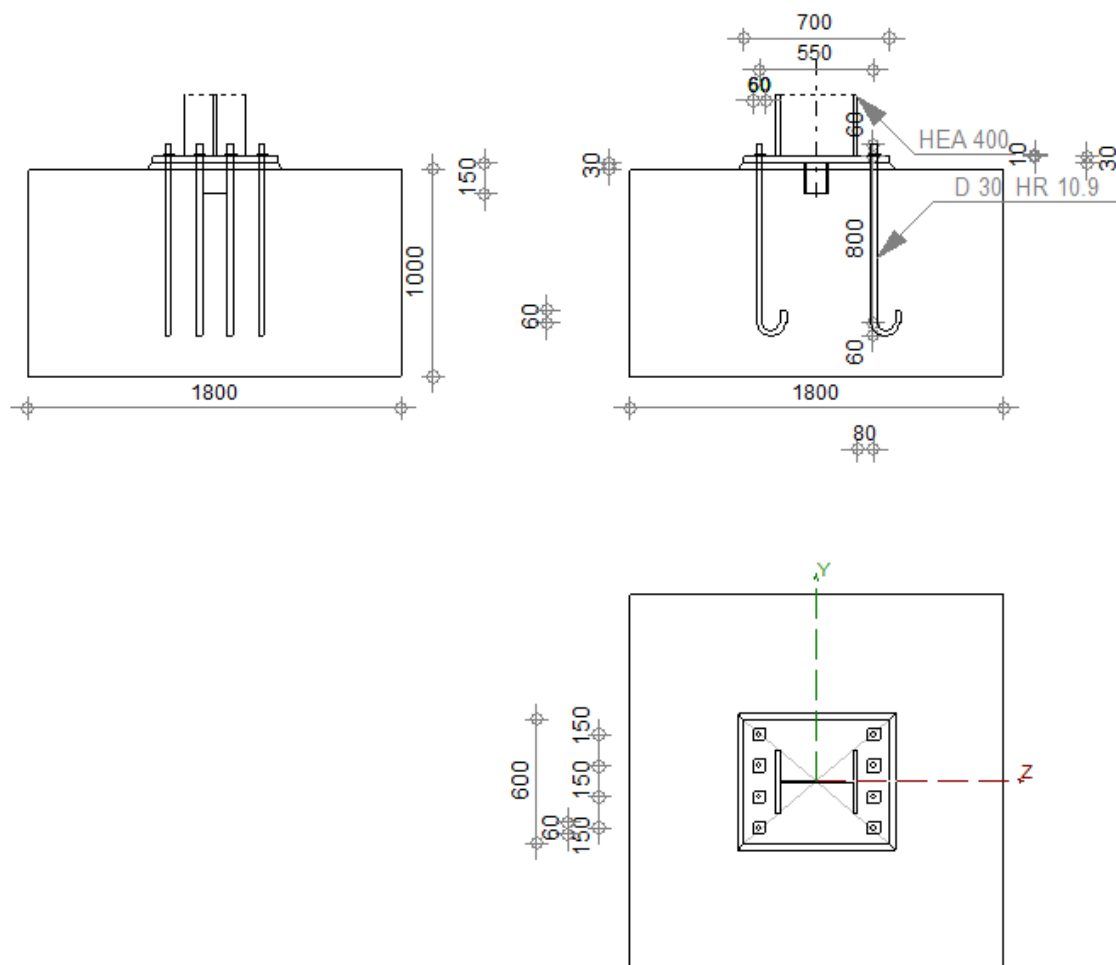


Figure 6.18: vue en plan de l'assemblage pied de poteau.

NB : Pour ce qui concerne la norme Algérienne (CCM97), elle évoque dans son paragraphe 6.9.3, les principes de calcul des pieds de poteaux articulés. Ce règlement nous oriente vers d'autres règles et conditions qu'elles soient en accord avec les mêmes principes qui conduisent au même niveau de sécurité.

Pour cela nous allons utiliser l'Eurocode 3 partie 1-8 calcul des assemblages.

## 6.8.1 Dimensionnement de la plaque d'assise :

Dans notre cas on a les poteaux en HEA 400, Le dimensionnement de la plaque d'assise se fait sous l'action des charges suivantes tirées à partir de la modélisation sur le logiciel ROBOT :

$$M_{sd} = 188.90 \text{ kN.m}$$

$$N_{sd} = 34.43 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = -63.00 \text{ kN}$$

- **Données de base :**

-plaque d'assise en acier de nuance S275 :  $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$

-fondation en béton de classe 25/30 :  $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

-coefficients partiels de sécurité : Acier :  $\gamma_{M0} = 1.1$  ;  $\gamma_{M2} = 1.25$

Béton :  $\gamma_C = 1.5$

## 6.8.2 Resistance du béton à la compression :

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \times f_{ck}}{1.5} = 16.67 \text{ Mpa.}$$

$\alpha_{cc}$  : Donnée dans l'annexe nationale. Sa valeur recommandée est de :  $\alpha_{cc} = 1.0$

## 6.8.3 Resistance de calcul à l'écrasement du matériau de scellement :

$$f_{jd} = \alpha \cdot \beta_j \cdot f_{cd}$$

La valeur du coefficient du matériau de scellement est :  $\beta_j = \frac{2}{3}$

Les dimensions de la fondation étant encore inconnues, on prend :  $\alpha = 1.5$

$$\rightarrow f_{jd} = 1.5 \times \frac{2}{3} \times 16.67 = 16.67 \text{ Mpa}$$

## 6.8.4 Calcul de l'aire de la plaque :

$$A_{co} \geq \frac{N_{sd}}{f_{cd}} = \frac{34.43}{17 \times 10^3}$$

$$A_{co} \geq 2025.3 \text{ mm}^2$$

- **Les dimensions de la platine**

$$b_p \geq b + 2t_f = 300 + 2 \times 19 = 338 \text{ mm}$$

$$h_p \geq h + 2t_f = 390 + 2 \times 19 = 428 \text{ mm}$$

On prend:  $b_p = 600 \text{ mm}$  ,  $h_p = 700 \text{ mm}$

Ce qui donne:  $A_{co} = 420000 \text{ mm}^2 > 2025.3 \text{ mm}^2$

- **Calcul de la largeur d'appui additionnelle C**

En posant :  $t = 30 \text{ mm}$  comme épaisseur de la platine on trouve :

$$C = t \left( \frac{f_{yp}}{3f_{jd} \cdot \gamma_{M0}} \right)^{0.5} = 30 \times \left( \frac{275}{3 \times 16.67 \times 1.1} \right)^{0.5} = 66.42 \text{ mm}$$

$$\frac{(h-2t_f)}{2} = \frac{(390-2 \times 19)}{2} = 176 \text{ mm}$$

$$C < \frac{(h-2t_f)}{2}$$

→ Il n'y a pas de recouvrement des ails en compression pour les tronçons des deux semelles.

### 6.8.5 Cordon de soudure

On choisit le cordon de soudure platine-poteau à l'aide de l'abaque de prédimensionnement de la gorge (Annexe 5).

HEA 400 :  $t_f = 19 \text{ mm}$  ;  $t_w = 11 \text{ mm}$  .

$$a_{\min} = 2.8 \leq t_w \leq a_{\max} = 7.5$$

$$a_{\min} = 4.5 \leq t_f \leq a_{\max} = 14.3$$

On choisit un cordon de soudure de  $a = 7 \text{ mm}$

- **Resistance au cisaillement de la soudure :**

$$V_{sd} \leq F_{w,Rd} = \frac{a \times \sum l \times f_u}{\sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{Mw}}$$

Avec :  $f_u = 430 \text{ Mpa}$  .  $\beta_w = 0.85$  .  $\gamma_{Mw} = 1.3$  (voir l'annexe 05).

La longueur totale des cordons de soudure dans le sens de cisaillement  $\sum l = 596 \text{ mm}$

$$F_{w,Rd} = 985.3 \text{ Kn}$$

$$V_{sd} = 63 \text{ Kn} < F_{w,Rd} = 985.3 \text{ Kn} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

### 6.8.6 Calcul de la résistance à la flexion en présence de l'effort axial



Figure 6.19 : Illustration moment + effort normal

$$F_{c,rd} = f_{jd} \times b_{eff} \times l_{eff} \quad \text{EC3-1.8-Tableau 6.4}$$



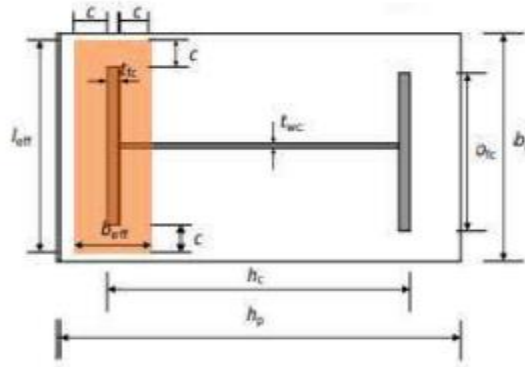


Figure 6.20 : Illustration de la partie comprimée du pied de poteau

Où :

$$l_{\text{eff}} = \min(b_p, b_{fc} + 2c) = \min(650, 300 + 2 \times 66.42) = 432.84 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = \min\left(c, \frac{h_c}{2} - t_{fc}\right) + t_{fc} + \min\left(c, \frac{h_p - h_c}{2}\right)$$

$$b_{\text{eff}} = \min\left(66.42, \frac{390}{2} - 19\right) + 19 + \min\left(66.42, \frac{800 - 390}{2}\right) = 151.84 \text{ mm}$$

$$\rightarrow F_{c,rd} = f_{jd} \times b_{\text{eff}} \times l_{\text{eff}} = 17 \times 10^3 \times 432.84 \times 10^{-3} \times 151.84 \times 10^{-3}$$

$$F_{c,rd} = 1117.28 \text{ Kn}$$

- **Resistance au cisaillement de l'assemblage**

$$F_{v,rd} = F_{f,rd} + n_b \cdot F_{vb,rd}$$

Resistance par frottement en présence d'un effort axial de compression :

$$F_{f,rd} = 0.2 \times N_{sd} = 6.88 \text{ Kn}$$

Resistance au cisaillement d'un boulon d'ancrage :

$$F_{vb,rd} = \frac{\alpha_{cb} \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$\text{Avec: } \alpha_{cb} = 0,44 - 0,0003 \times f_{yb} = 0.17$$

- **Disposition constructive**

Diamètre des tiges d'ancrages :

Les tiges d'ancrages sont dimensionnées à la traction simple, sous un effort de traction ( $N_{st}$ )

$$F = \frac{N}{4} + \frac{M}{4h_0} = 94.47 \text{ kn}$$

$$F \leq \frac{\pi \phi^2}{12} f_y$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \times 94.47}{3.14 \times 27.5}} = 2.09 \text{ cm}$$

L'assemblage est réalisé avec deux files de 04 tige d'ancrage  $\phi 30$  classe HR 10.9

Distance entre les axes des boulons

tableau 6.5.1-CCM97

• Pincés ( $e_1, e_2$ )

$$1.2 d_0 = 38.4 \text{ mm} \leq e_1 \leq 12 t = 360 \text{ mm} \rightarrow e_1 = 75 \text{ mm.}$$

$$1.5 d_0 = 48 \text{ mm} \leq e_2 \leq 12 t = 360 \text{ mm} \rightarrow e_2 = 75 \text{ mm.}$$

• Entraxe ( $p_1$ )

$$2.2 d_0 = 96 \text{ mm} \leq P_1 \leq 14 t = 420 \text{ mm} \rightarrow P_1 = 150 \text{ mm.}$$

$$\rightarrow F_{vb,rd} = \frac{0.17 \times 1000 \times 10^3 \times 561 \times 10^{-6}}{1.25} = 76.30 \text{ Kn}$$

$$F_{v,rd} = F_{f,rd} + n_b \cdot F_{vb,rd} = 6.88 + 8 \times 76.3 = 617.28 \text{ Kn}$$

$$F_{v,rd} = 617.28 \text{ Kn} > V_{sd} = 63.00 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

Avec  $n_b = 8$  ( 8 tiges d'ancrage)

6.8.7 Vérification de la résistance en flexion

$$M_{rd} = \frac{t^2 \times f_y}{6 Y_{M0}} = \frac{30^2 \times 275}{6 \times 1.1} = 37.5 \text{ Kn. m}$$

$$M_{sd} = \frac{\left(\frac{c^2}{2}\right) \times N_{sd}}{A_{eff}} = \frac{\frac{66.42^2}{2} \times 34.43}{432.84 \times 151.84} = 1.15 \text{ Kn. m}$$

$$M_{sd} = 1.15 \text{ Kn. m} < M_{rd} = 37.5 \text{ Kn. m} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

6.8.8 Vérification de la résistance de tiges d'ancrage

La condition suivante doit être satisfaite :

$$\frac{V_{sd}}{n} + \frac{N_{sd}}{N_{t,rd}} \leq 1$$

$$N_{t,rd} = \frac{0.9 \times f_{ub} \times A_s}{Y_{M2}} = \frac{0.9 \times 1000 \times 561}{1.25} = 403.92 \text{ Kn}$$

$$\frac{7.875}{76.3} + \frac{4.3}{403.92} = 0.11 < 1 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

6.8.9 Vérification de la tige d'ancrage à l'adhérence

$$\frac{N_{sd}}{4} \leq F_{anc,rd}$$

$F_{anc,rd}$ : La résistance d'ancrage en traction d'une tige d'ancrage.

$$F_{anc,rd} = \pi \times d \times f_{bd} \times (l_1 + 6.4 r + 3.5 l_2) = 156.753 \text{ Kn}$$

Avec :  $l_1 = 20 \times d = 20 \times 20 = 600 \text{ mm}$

$$l_2 = 2 \times d = 2 \times 30 = 60 \text{ mm}$$

$$r = 3 \times d = 3 \times 30 = 90 \text{ mm}$$

$$f_{bd} = \frac{0.36 \times \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} = \frac{0.36 \times \sqrt{25}}{1.5} = 1.2 \text{ Mpa}$$

$\rightarrow \frac{34.43}{4} = 8.61 \text{ Kn} < F_{anc,rd} = 156.753 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$

**6.8.10 Vérification de la bêche**

D'après le logiciel ROBOT la bêche est en HEA120.

Avec :  $A_{vz} = 8.46 \text{ cm}^2$

Profile HEA 120	poids	Section	Dimensions				Caractéristiques			
	G Kg/m	A cm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>
	19.9	25.3	114	120	8	5	606.2	230.9	119.5	84.85

Tableau 6.1: Caractéristiques du profilé HEA120.

On doit vérifier la bêche au cisaillement :

$$V_{sd} \leq V_{pl,rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{8.46 \times 10^{-4} \times 275 \times 10^3}{1.1} = 211.5 \text{ Kn}$$

$V_{sd} = 63 \text{ Kn} < V_{pl,rd} = 211.5 \text{ Kn} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$

# CHAPITRE 07 :

# Étude des

# fondations

## Introduction :

Les Fondations sont les éléments plus résistants de la structure, tel qu'elles transmettent les charges de la superstructure.

Les éléments de fondation transmettent les charges au sol, soit directement (cas des semelles reposant sur le sol ou cas des radiers) ; soit par l'intermédiaire d'autres organes (cas des semelles sur pieux par exemple).

Le choix du type de fondation dépend essentiellement :

- La valeur de la contrainte admissible du sol.
- La distance entre axes des poteaux.
- La charge transmise au sol.
- La raison économique

D'après le rapport géotechnique, La contrainte admissible du sol est estimée à **2 bar**.

## 7.1 Choix du type de fondation :

On choisit des semelles isolées comme type de fondation et l'étude sera comme suite :

### 7.1.1 Charges à considérer :

Les efforts maximum résultants du logiciel robot sont :

Efforts	ELS	ELU
$M_{sd}$ (Kn. m)	<b>65.96</b>	<b>98.95</b>
$N_{sd}$ (Kn)	<b>218.53</b>	<b>318.74</b>
$\bar{\sigma}_{sol}$	<b>2 bar=0.2 Mpa=200 Kn/m<sup>2</sup></b>	

Tableau 7.1 extrêmes globaux des efforts à l'ELS et l'ELU.

### 7.1.2 Dimensionnement de la semelle :

Les dimensions de la semelle sont choisies de sorte qu'elles soient homothétiques avec celles du pied de poteau avec un débordement de 20 cm.

$$a_y = a + c = 0.6 + 0.2 = 0.80 \text{ m}$$

$$b_x = b + c = 0.7 + 0.2 = 0.90 \text{ m}$$

Avec : **a** et **b** : dimensions de la platine

- Calcul de l'excentricité  $e_0$ :

Lorsqu'un élément est sollicité par un effort normal centré et un moment fléchissant, il est possible de remplacer l'effet du moment fléchissant par un effort normal excentré appliqué à une distance  $e_0$ :

$$e_0 = \frac{M_{sd}}{N_{sd}}$$

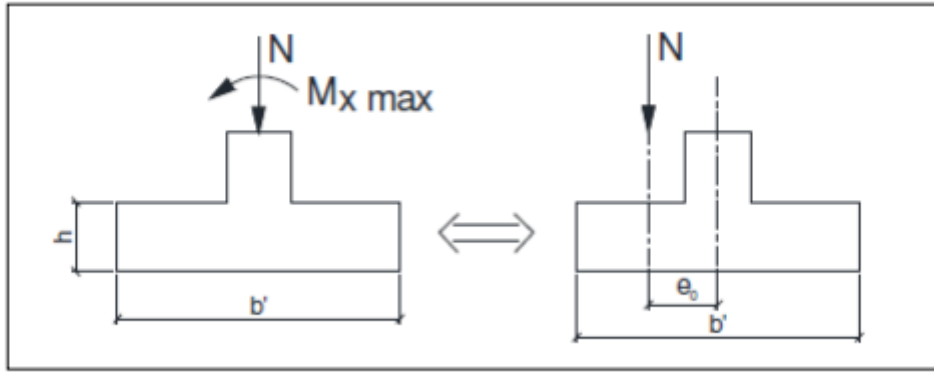


Figure 7.1 : Coupe transversale d'une semelle isolée

• Vérification des contraintes :

La répartition des contraintes sous la fondation ne doit pas provoquer de traction dans le sol. Le diagramme de ces contraintes aura donc une forme trapézoïdale au pire triangulaire. Cela est possible si l'effort normal excentré se trouve à l'intérieur du noyau central de la semelle.

La relation suivante doit donc être vérifiée :  $e_0 \leq \frac{B_x}{6}$

Avec :

$$B_x \geq \sqrt{\frac{N}{\sigma_{sol} \times \frac{a_y}{b_x}}} = 1.30 \text{ m}$$

On prend:  $B_x = 1.80 \text{ m}$

$$A_y \geq \frac{a_y}{b_x} \times B_x = 1.15 \text{ m}$$

On prend:  $A_y = 1.80 \text{ m}$

$A_y$  : Longueur de la semelle de la fondation

$B_x$ : Largeur de la semelle de la fondation

$a_y$  : Petit côté du pied de poteau

$b_x$  : Grand coté du pied de poteau

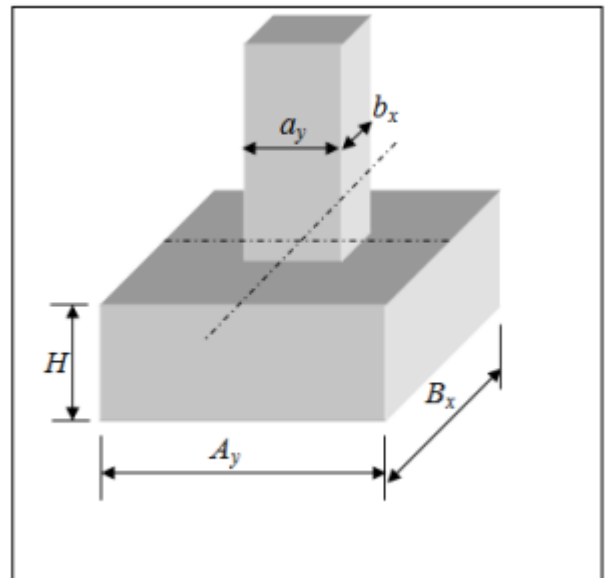


Figure 7.2: Dimensions de la semelle

Détermination de la hauteur  $H$  de la semelle :

$$H = d + 5 \text{ cm} = 30 + 5$$

$$H = 35 \text{ cm}$$

Avec:

$$\frac{B_x - b_x}{4} \leq d \leq A_y - a_y$$

→  $0.15 \text{ m} \leq d \leq 0.45 \text{ m}$  On prend:  $d = 30 \text{ cm}$ .

Poids propre =  $0.35 \times 1.8 \times 1.8 \times 25 = 28.35 \text{ Kn}$

$\rightarrow p_s = N_s + (\text{Poids propre}) = 218.53 + 28.35 = 246.88 \text{ Kn}$

$e_0 = \frac{65.96}{246.88} = 0.26 \text{ m} < \frac{B_x}{6} = \frac{1.8}{6} = 0.3 \text{ m} \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$

Donc : il n'existe aucune traction dans le sol

$\sigma_{\max} = \frac{N}{A_y \times B_x} \times \left(1 + \frac{6e_0}{B_x}\right) = \frac{246.88}{1.8 \times 1.8} \times \left(1 + \frac{6 \times 0.26}{1.8}\right) = 142.24 \text{ Kn/m}^2$

$\sigma_{\max} = 142.24 \text{ Kn/m}^2 < \bar{\sigma}_{\text{sol}} = 200 \text{ Kn/m}^2 \dots \dots \dots \text{condition vérifiée.}$

**7.1.3 Calcul de ferrailage :**

Le ferrailage sera calculé par la méthode de bielle en remplaçant N par N'

- D'après le règlement **BAEL91 modifié99** :

On a :  $M_u = 98.95 \text{ Kn.m}$  ,  $N_u = 318.74 \text{ Kn}$

$p_u = N_u + 1.35 \times (\text{Poids propre}) = 318.74 + 1.35 \times 28.35 = 357.01 \text{ Kn}$

$N' = N \times \left(1 + \frac{3e_0}{B_x}\right) = 511.72 \text{ Kn}$

$A_s = \frac{N'(B_x - b_x)}{8 \times d \times f_{st}}$

- Etat limite d'ouverture de fissures :

Fissuration nuisible

$\bar{\sigma}_s = \min \left[ \frac{2}{3} f_e, (110 \sqrt{\eta f_{t28}}) \right]$

Avec :

$f_{t28}$  : La résistance à la traction du béton à 28 jours égale à  $0.6 + 0.06 f_{c28} = 2.10 \text{ MPA}$ .

$f_e = 400 \text{ MPa}$

$\eta$  : Coefficient de fissuration, égale a 1.6 pour les barres à haute adhérence

$\bar{\sigma}_s = \min[266.67, 201.63]$

**$\bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ Mpa}$  .**

$A_s = \frac{N'(B_x - b_x)}{8 \times d \times f_{st}} = \frac{511.72 \times (1.8 - 0.9)}{8 \times 0.3 \times 348 \times 10^3} = 5.52 \text{ cm}^2/\text{ml}$

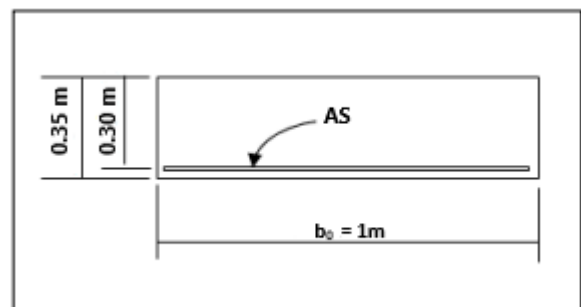
- Condition de non fragilité :

Pour qu'une section en béton armée soumise à la traction ou à la flexion soit considérée comme non fragile, la relation suivant doit être vérifiée :

$A_{\min} = 0.23 \frac{b_0 \times d \times f_{t28}}{f_e}$       **Art A.4.2.1 –BAEL 91/ version 99**

$A_{\min} = 0.23 \frac{100 \times 30 \times 2.1}{400}$

**$A_{\min} = 3.62 \text{ cm}^2/\text{ml}$**



$A_{min} = 3.62 \text{ cm}^2/\text{ml} < A_s = 5.52 \text{ cm}^2/\text{ml}$ ..... condition vérifiée.

### Conclusion :

- Nous choisissons pour la nappe inférieure 7HA12 espacés tous les 15cm soit une section d'armature  $A_s = 7.92\text{cm}^2/\text{ml}$ .
- Pour la nappe supérieure, on prend des armatures en HA10 espacée tous les 15 cm pour éviter la fissuration de retrait.

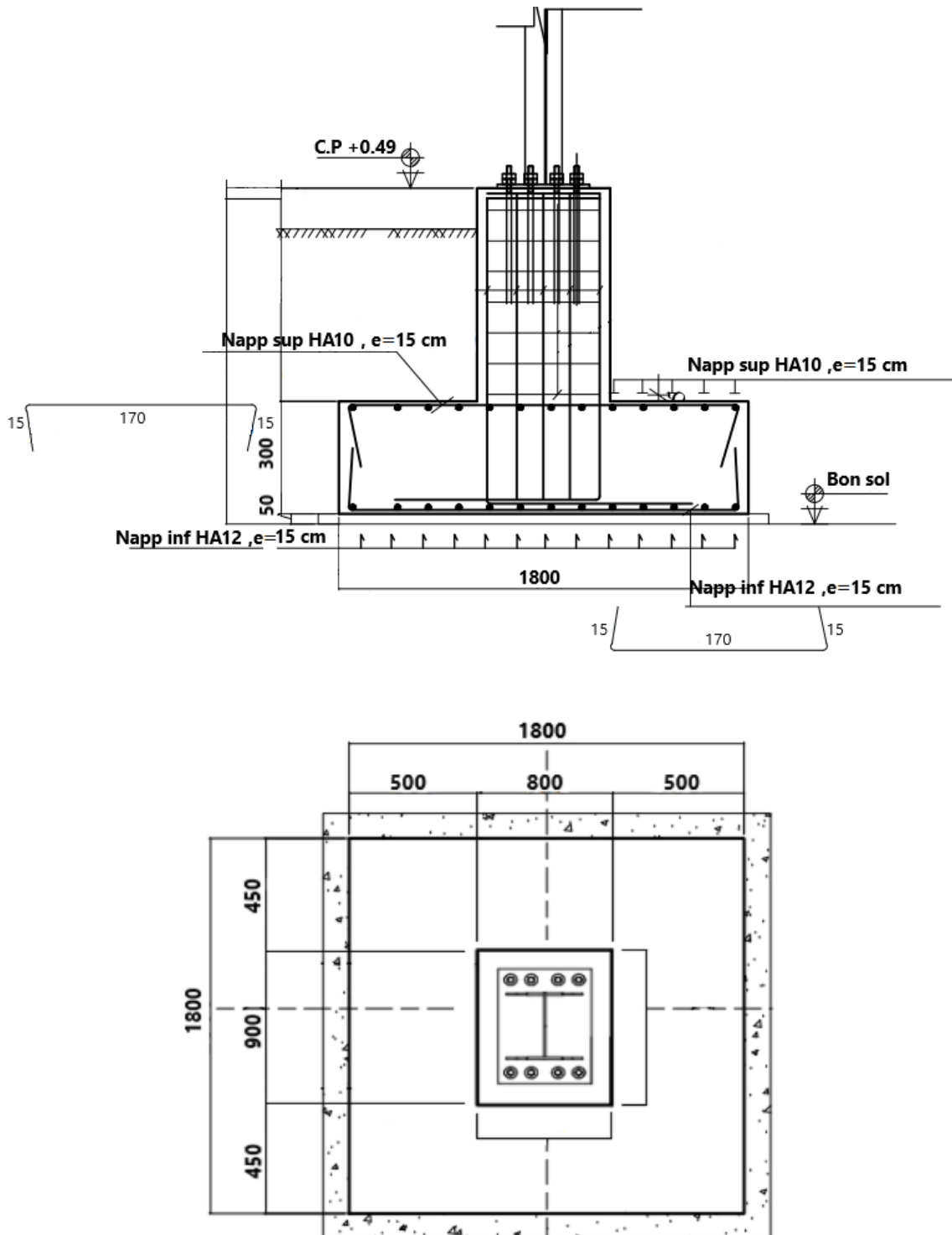


Figure 7.3: Schémas de Ferrailage des semelles



## 7.2 Calcul des longrines :

Les longrines sont des liaisons situées à l'intérieur du périmètre de la structure, elles jouent le rôle de chaînage dans les deux directions et elles sont calculées sous l'effort axial de traction comme défini dans le RPA99 /V2003.

### 7.2.1 Pré dimensionnement

Les dimensions minimales de la section transversale des longrines sont : (25 x 30 cm<sup>2</sup>) Pour Site de catégorie **S3** Art.10.1.1.b RPA99 v 2003

→ On prend (30 x 35 cm<sup>2</sup>)

### 7.2.2 Ferrailages longitudinaux

Les longrines doivent être dimensionné pour résister à une force de traction égal à :

$$F_t = \frac{N}{\alpha} \geq 20 \text{ Kn} \quad \text{Art.10.1.1. b RPA99 v 2003}$$

Avec :

N : Effort normal encaissé par le poteau le plus sollicité  $N_u = 318.74 \text{ Kn}$

$\alpha$  : Coefficient en fonction de la zone sismique et de la catégorie  $\alpha = 15$

$$\rightarrow F_t = \frac{N}{\alpha} = \frac{318.74}{15} = 21.25 \text{ Kn}$$

$$A_s = \frac{F_t}{f_{st}} = \frac{20 \times 10^{-3}}{348} = 0.61 \text{ cm}^2$$

Le ferrailage minimal doit être de 0.6% de la section :

$$A_{\min} = 0.6\%(b \times h) = 6.3 \text{ cm}^2$$

Soit : 6HA12 >>>  $A_s = 6.79 \text{ cm}^2$

### 7.2.3 Ferrailage transversal

En traction les armatures transversales ont aucun rôle dans la résistance de la pièce donc le choix de section d'un seul corps transversal, sera à :

$$A = 4\phi_8 = 2.01 \text{ cm}^2$$

- **Espacement** :  $S_t \leq \min(20\text{cm} ; 15\phi_{\min}^e) = 15 \text{ cm}$

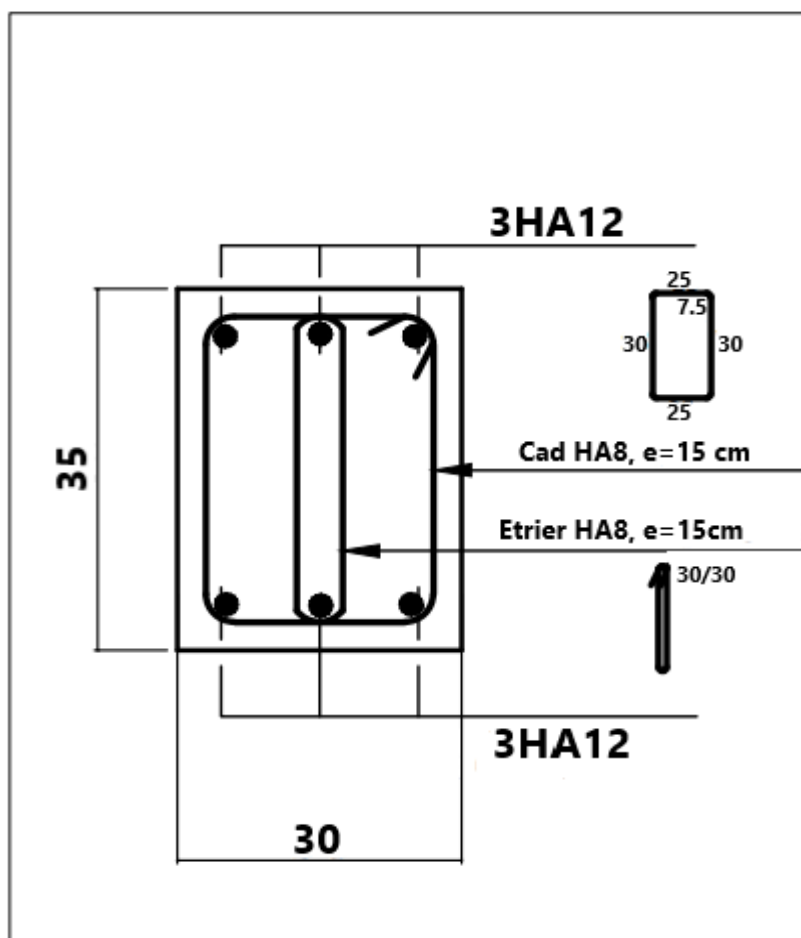


Figure 7.4: Schéma de Ferrailage des longrines

## Conclusion Générale

### Conclusion Générale

Notre œuvre voit le jour, c'est avec une grande satisfaction qu'on clos notre travail et une pléthore d'interrogation soulevées auxquelles on aspire porter réponse dans notre vie active.

Notre quête de savoir demeure inachevée, cette dernière sera jalonnée par l'ensemble de documents techniques et réglementaires en vigueur dans notre pays et dictée par notre esprit analytique.

Conscients de la grandeur des responsabilités qui nous seront confiées, une rigoureuse et bonne étude climatique (conformément au [D.T.R.-C 2-4.7]) des structures en acier est primordial pour le dimensionnement des différents éléments -le vent est le risque majeur des structures en acier peu élancées-. L'évolution des outillages de conception et de calcul du domaine génie civil nous a servi à modéliser et calculer l'ensemble des sollicitations revenant aux éléments de la structure ainsi que les assemblages qui les maintiennent, notre modèle est établi avec le logiciel AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS, ce dernier nous le jugeons très utile pour nos futurs projets.

Avant de clore notre conclusion nous tenons à soulevé certains problème rencontrés lors de la préparation de notre PFE :

- La phase de familiarisations avec le logiciel ROBOT était stressante.
- La divergences des avis des professionnels du domaine sur certains articles des DTR.
- L'inclusion de l'étude thermique a engendré des sections importantes des profilés.
- L'étude du pont roulant est une première expérience face à la quelle on a doublé d'efforts.

Enfin nous aspirons à ce que notre mémoire de fin d'étude honorera notre département, et reflètera le sérieux de l'ensemble des personnels le constituant. Notre fierté atteindra son paroxysme le jour où notre mémoire servira de références aux futures promotions.

## Références bibliographique:

- [01] Charges permanentes et charges d'exploitation « D.T.R B.C-2.2 ».
- [02] Règles neige et vent « RNV2013 », D.T.R C 2-4.7 ».
- [03] Règle de calcul des structures en acier « EC3. ENV 1993-1-1 Eurocode 3 ».
- [04] Règle de conception des structures en acier « CCM97 ».
- [05] Recommandations pour le calcul et l'exécution des chemins de roulement de ponts roulants « CTICM ».
- [06] Règles parasismiques algériennes « RPA99 / version 2003, D.T.R.- B.C-2.48 ».
- [07] Béton armée aux états limites « BAEL 91 / Version 99 ».
- [08] Règles de calcul des fondations superficielles « D.T.R-B.C-2.331 ».
- [9] Lahlou. Dahmani « Calcul des éléments résistants d'une construction métallique. [10] M ed BELAZOUGUI « Calcul pratique des structures métalliques ».
- [11] R. Basquin & G. Lemasson « résistance des matériaux ».
- [12] Jean Morel « Structures Métalliques – guide de Calcul ».
- [13] Jean Perchât & Jean Roux « Pratique du BAEL91».
- [14] Jean Pierre Mougin « Béton armé – BAEL91 modifié 99 et DTU associé »
- [15] « Cours et TD de l'université A.MIRA Bejaia – Département de génie civil ».

## Rapport de sol:

### CONCLUSION :

La nouvelle centrale Turbine à Gaz Mobile 8x20MW à ADRAR sera implantée à 1 Km du la RN°1 en allant vers la ville de REGGANE par la route de contournement, sur une assiette de 15 hectares. D'après l'opération de sondage, on peut conclure que le terrain en question est formée d'un Sable à gravier en marne vert peu carbonaté à plus de 02 mètres d'épaisseur, repose sur une argile limoneuse versicolore, et des grès rougeâtres à jaunâtres, l'épaisseur de la couche de sable augmente tout en allant vers le sud du terrain (du la Z2 vers la Z1).

Tenant compte de la nature géologique du terrain, et vu le plan de masse fournie par le client, et selon la nature de sous-sol, le mode de fondation sera superficielles, dont les types des fondations seront comme suite :

- a- Terrain sableux avec une épaisseur dépassant les 03 mètres ; les types des fondations seront un massif en béton pour la turbine, un radier pour les ouvrages des stockages de l'eau et de gaz , et des semelles isolées rigidifier par des longrines pour les différents bâtiment, le taux de travail est estimé à 2.00 bars, à une profondeur minimale de 2.00 m (dans la partie consistante du terrain);
- b- b- Où les argiles sont prêts de la surface ( 2.00 m). les types de fondations seront un massif en béton pour la turbine, un radier pour les ouvrages des stockages de l'eau et de gaz, et des semelles filantes pour les différents bâtiment, le taux de travail est estimé à 1.00 bar, à une profondeur minimale de 2.00 m.

Le bureau d'étude peut augmenter la profondeur d'ancrage si la stabilité au renversement n'est pas assurer.

Vu la richesse du terrain en gypse, Il est recommandé d'utiliser un ciment résistant aux sulfates (C.R.S) pour le coulage des fondations.

Le laboratoire reste à votre entière disposition pour d'éventuels éclaircissements, Veuillez, agréer, Monsieur le directeur l'expression de nos meilleures salutations.

**L'INGENIEUR CHARGE DE L'ETUDE**

**O. NAIQUA**



**LE CHEF DEPARTEMENT ETUDE**

**N.BICHI**

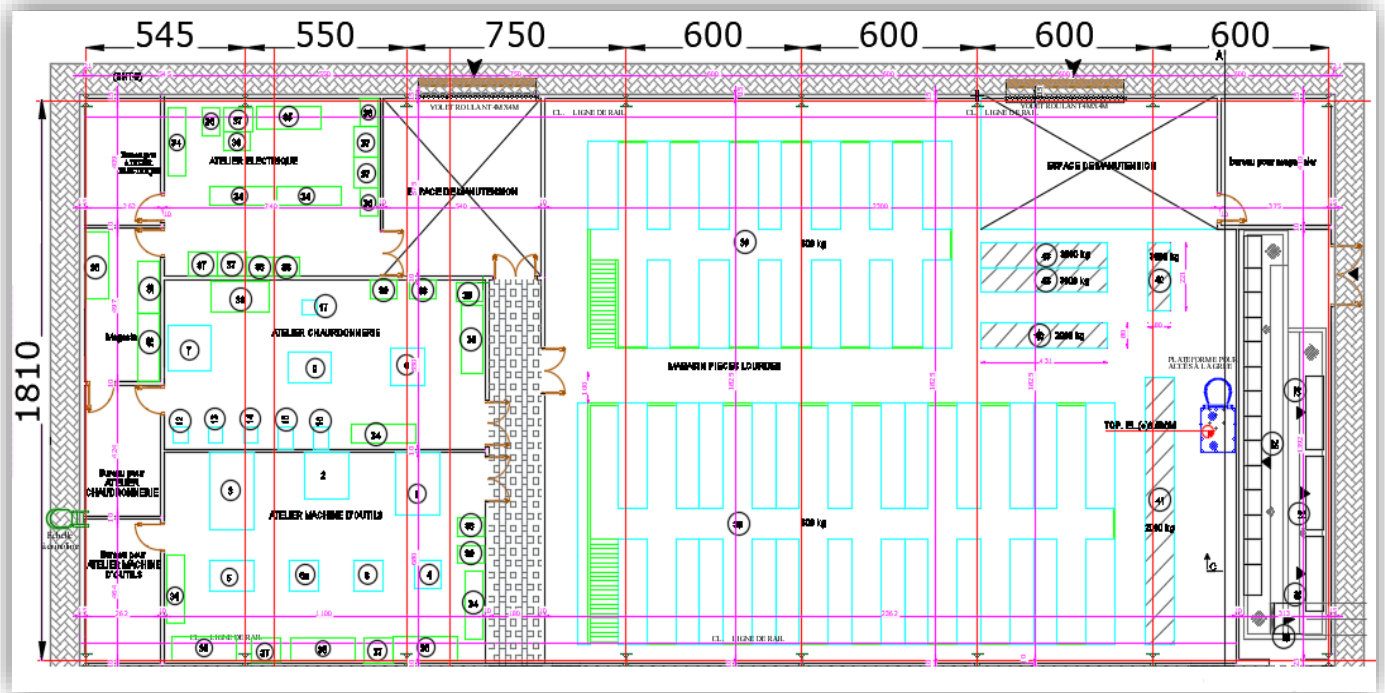


**LE DIRECTEUR D'UNITE**

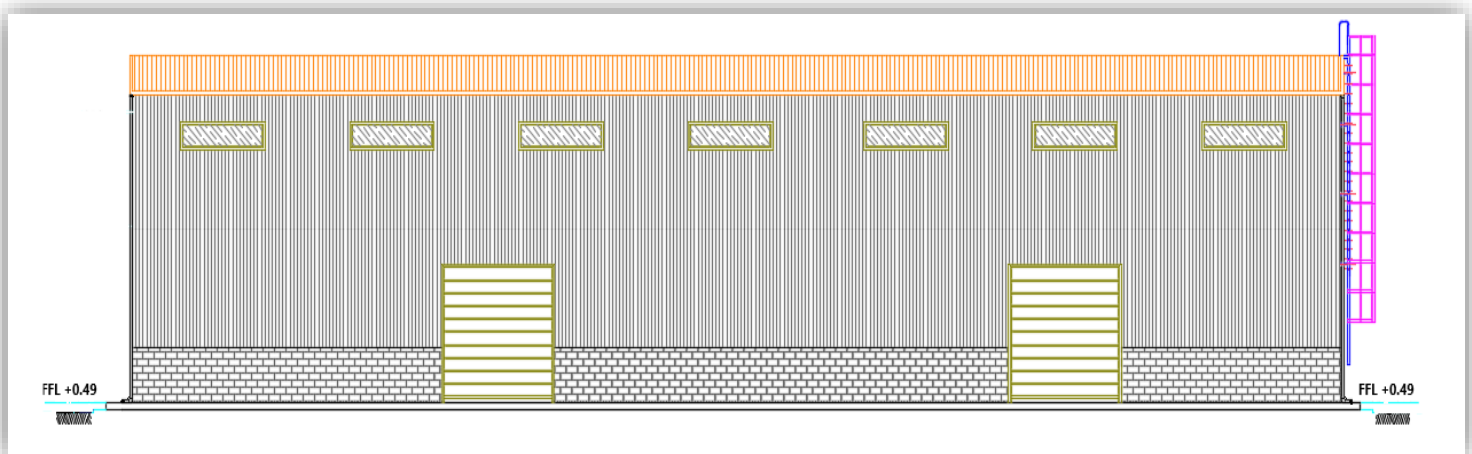
**T.BOUABDELLI**



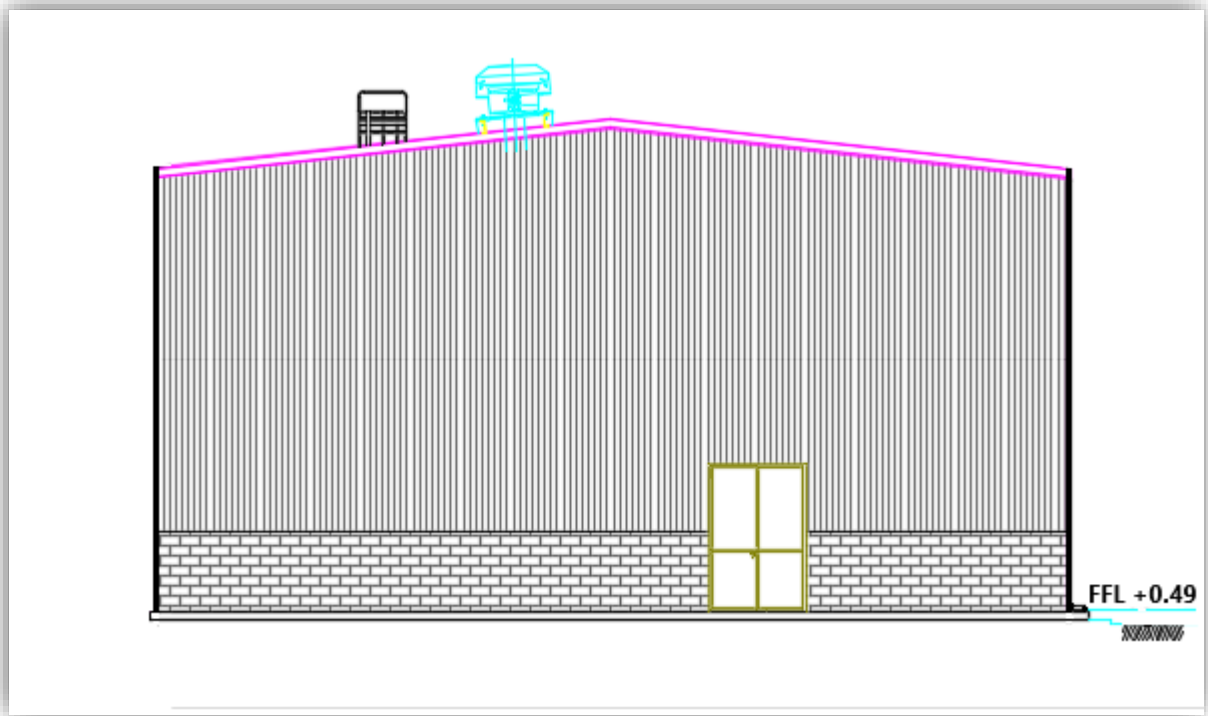
# PLANS



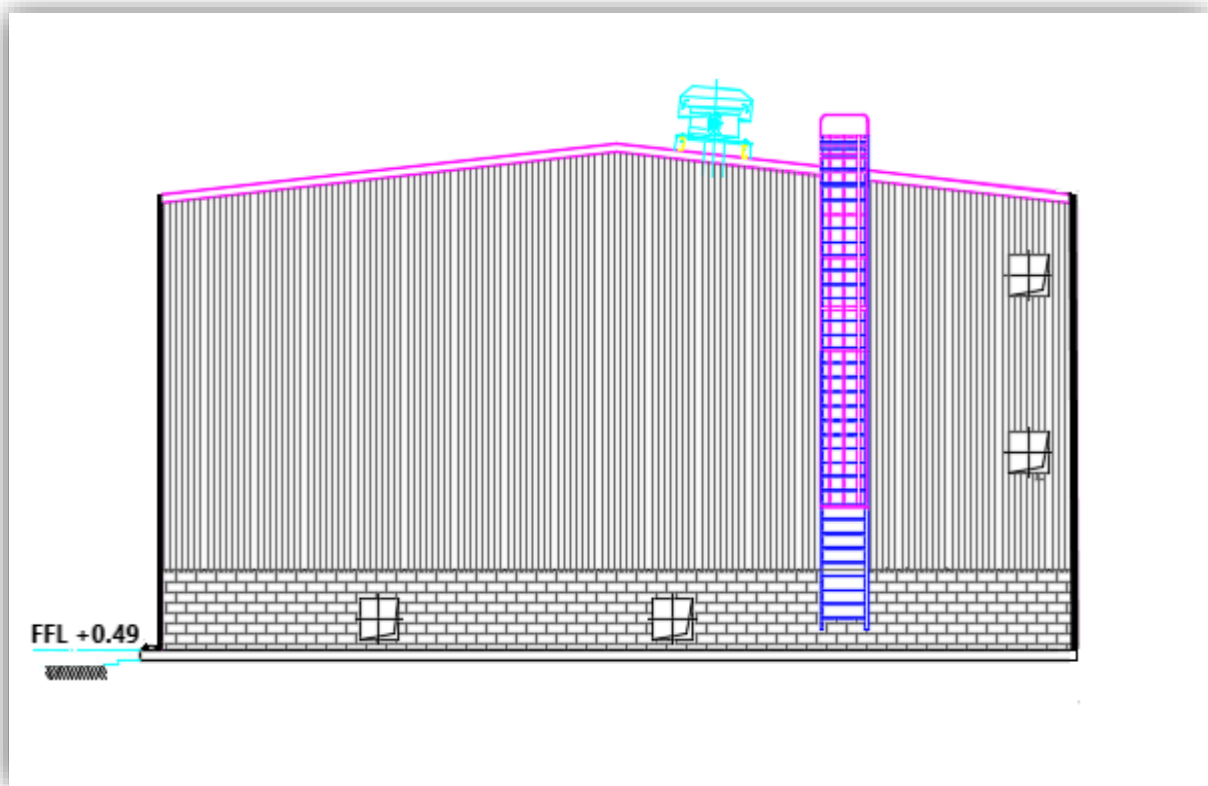
VUE EN PLAN RDC



FAÇADE POSTERIEURE

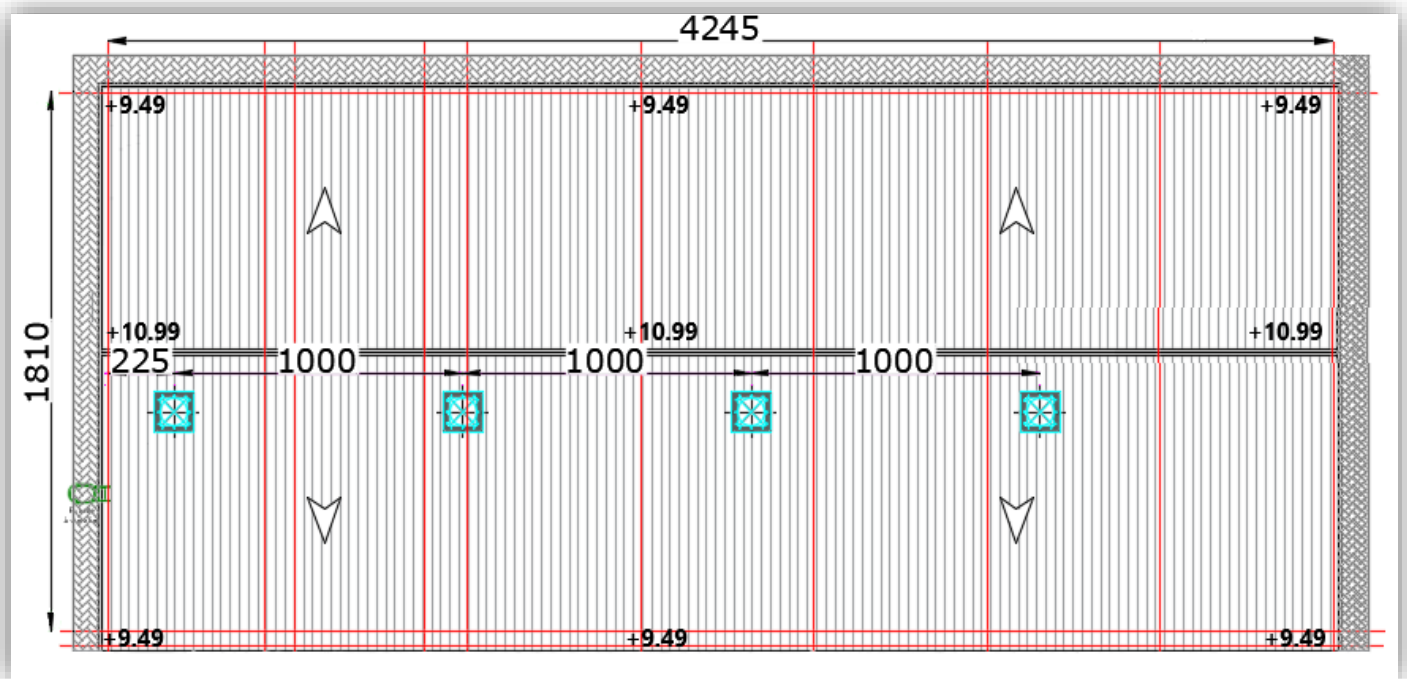
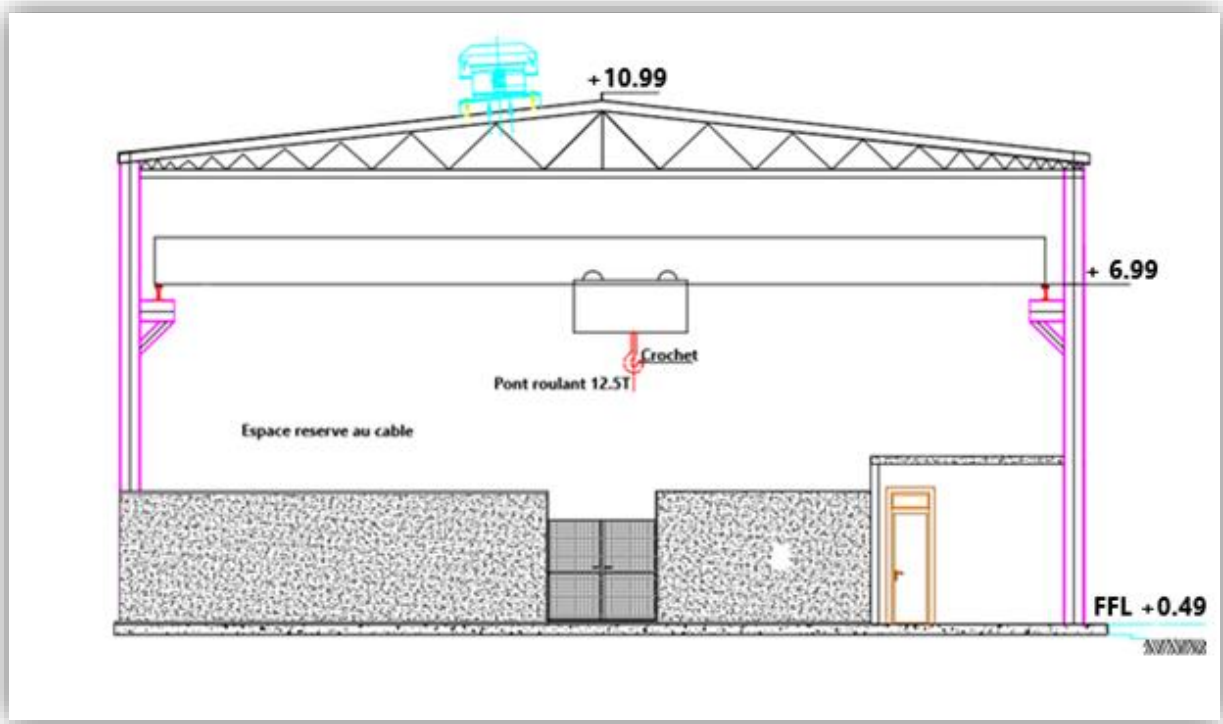


FACADE LATERALE GAUCHE



FACADE LATERALE DROITE





VUE EN PLAN TOITURE

# ANNEXES

# ANNEXE 01

**ceVital Spa**

lot D. N°6 ZHUN Gandhi II –  
Kouba – Alger  
Tél : + (213) 21 56 38 10 à 80  
Fax : + (213) 21 56 38 20

**BATICOMPOS**

BATICOMPOS Spa  
Société de Composants Industriels  
DIRECTION GENERALE  
BP 75 Béni – Mançour W/BEJAIA  
Tél : + (213) 034 34 01 73/74/76/77/  
Fax : + (213) 034 34 01 69

## FICHE TECHNIQUE

### PANNEAU SANDWICH TOITURE (TL75)

#### Description

##### 1. Principe

Le panneau sandwich d'enveloppe de bâtiment, est un produit composite, fabriqué industriellement en continu, comportant un parement extérieur métallique, une âme isolante et un parement intérieur métallique solidarisés par adhérence à l'âme isolante. Ces composants travaillent ensemble et ne constituent ainsi qu'un seul élément autoportant présentant différents niveaux de résistance mécanique, de réaction et de résistance au feu, d'isolation thermique et acoustique, d'étanchéité à l'air, à l'eau et à la vapeur d'eau et d'esthétique architecturale.

##### 2. Matériaux

###### 2.1 Tôle d'acier

Parements interne et externe en tôle d'acier d'épaisseur nominale minimum 0,4 mm, galvanisé à chaud en continu selon les normes NF EN 10326 ; NF EN 10142 et NF EN 10143 :

Nuance d'acier : DX51D ou S280GD

Epaisseur de la couche de Zn : 150 g/m<sup>2</sup> pour les deux faces

Nature et épaisseur du revêtement organique :

-Recto : 25 m nominal polyester selon EN 10169 (dont primaire 5 µm).

-Verso : 7 m nominal polyester selon EN 10169 (dont primaire 5 µm).

Les parois ont pour épaisseur

Toiture TL 75 : - 0,55 mm à l'intérieur,  
- 0,75 mm à l'extérieur  
- 0,4 mm à l'intérieur  
- 0,6 mm à l'extérieur

###### 2.2 Mousse isolante

L'isolant est constitué de mousse rigide de polyuréthane expansée, obtenue par injection en continu d'un mélange de polyol, isocyanate, catalyseur et agent d'expansion de type Pentane, dont les caractéristiques sont indiquées ci-après :

**Tableau 1 – Caractéristiques de la formulation**

Caractéristiques	Spécifications
Masse volumique selon NF EN1602	40 kg/m <sup>3</sup> ± 2 kg/m <sup>3</sup>
Traction perpendiculaire (adhérence sur parement) selon NF EN 1607	80 kPa
Compression sous 10 % d'écrasement selon NF EN 826	100 kPa
Flexion quatre points selon Pr EN 14509	100 kPa
Stabilité dimensionnelle (48 h à 70 °C)	2 %
Stabilité dimensionnelle (48 h à -20 °C)	1 %

### 3. Caractéristiques dimensionnelles

**Tableau 2 : Dimensions et tolérances**

Dimensions (mm)		Tolérances (mm)
Largeur hors tout	1000 à 2000	7,5
Largeur utile du panneau	Toiture : 1035	± 2
Longueur du panneau	< 1000	5
	1000 à 2000	7,5
	2001 à 4000	10
	4000	15
Epaisseurs nominales	53	± 2
Défaut d'équerrage		6,21
Défaut de planéité (en fonction de la longueur mesurée L)	L = 200 mm L = 400 mm L > 700 mm	— Défaut de planéité 0,6 mm — Défaut de planéité 1,0 mm — Défaut de planéité 1,5 mm

Poids spécifique (kg/m<sup>3</sup>) : 14.2

### 4. Autres informations techniques

#### 4.1 Isolation thermique :

Pour le noyau de mousse qui est recouvert des 2 cotés de peaux étanches à la diffusion, le coefficient de conduction thermique ( $\lambda$ ) = 0,026 w/m.k

Panneau	TL75
Coefficient de transmission thermique (w/m <sup>2</sup> .K)	0.40

4.2 Isolation phonique : TL75 : 26dB

**PANNEAU TL 75 / Largeur = 1035 mm**  
 épaisseur tole supérieure = 0.75 mm ; épaisseur tole inférieure = 0.55 mm

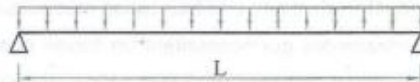
TYPE / BATICOMPOS

Nuance d'acier : contrainte caractéristique  $R_{p0.2} = 3200 \text{ daN/cm}^2$

PORTÉES MAXIMALES ( en mètres ) EN FONCTION DES CHARGES ( en daN/m<sup>2</sup> )

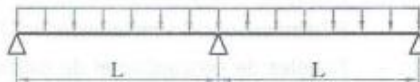
FLECHE ADMISSIBLE = L / 300

POUTRES A 01 TRAVEES



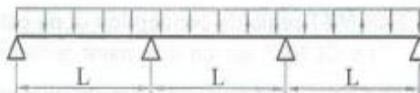
charges daN/m <sup>2</sup>	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Type															
TL 75	6.54	5.19	4.53	4.12	3.82	3.60	3.42	3.27	3.14	3.04	2.94	2.86	2.78	2.71	2.65

POUTRES A 02 TRAVEES



charges daN/m <sup>2</sup>	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Type															
TL 75	8.75	6.95	6.07	5.52	5.12	4.82	4.58	4.38	4.21	4.07	3.94	3.83	3.73	3.63	3.55

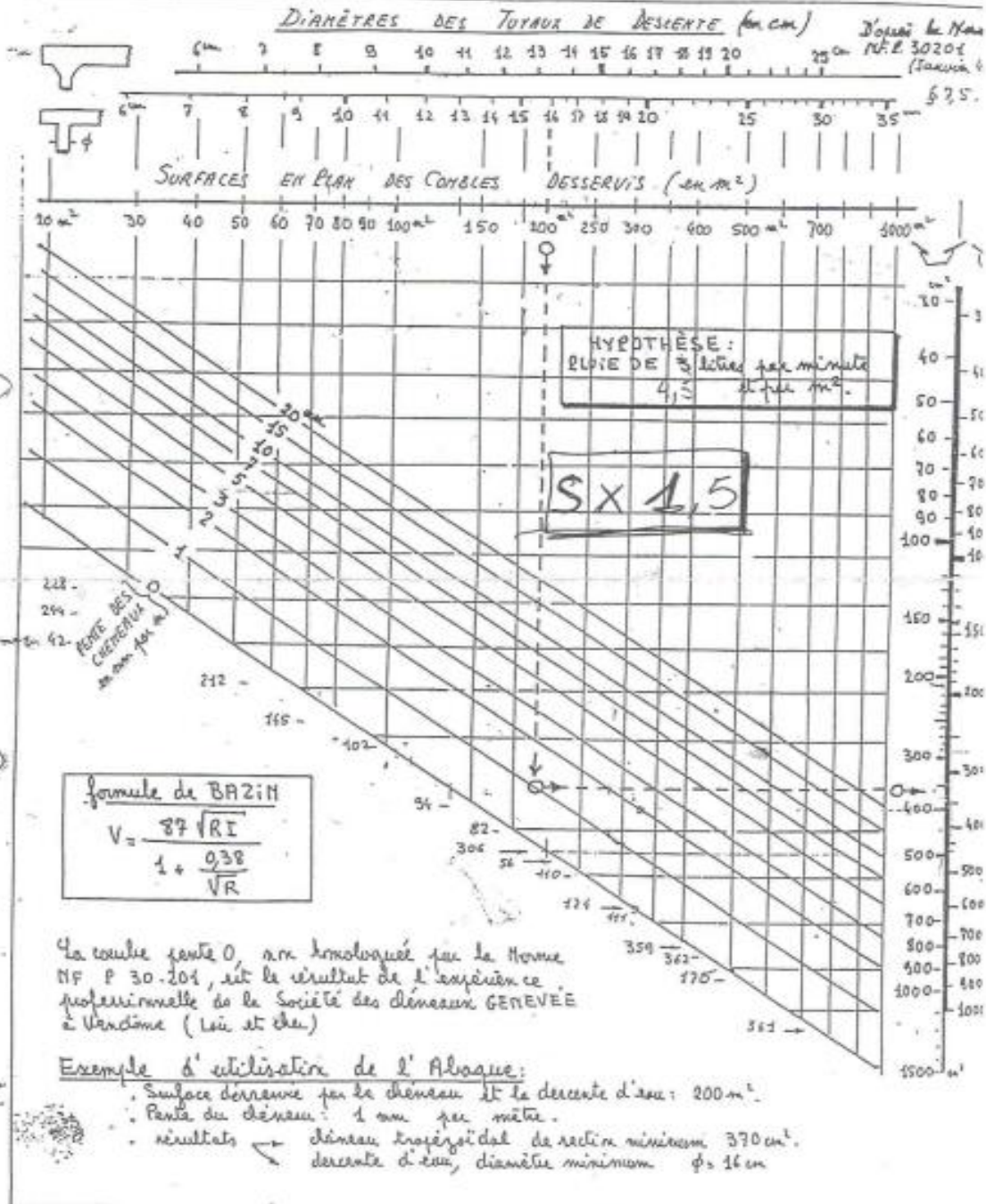
POUTRES A 03 TRAVEES



charges daN/m <sup>2</sup>	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
Type															
TL 75	8.08	6.41	5.60	5.09	4.73	4.45	4.23	4.04	3.89	3.75	3.64	3.53	3.44	3.36	3.28

# ANNEXE 02

## ANNEXE 2 DÉTERMINATION DES CHÈNEAUX ET DES DESCENTES D'EAU.



# ANNEXE 03

## Vérification des pannes:

- Pour La panne de 7.50 m:

## 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:** panne intermédiaire 7.50m **POINT:** 7  
7.50 m

**COORDONNEE:** x = 1.00 L =

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 160**

h=16.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=8.2 cm	Ay=13.73 cm <sup>2</sup>	Az=9.66 cm <sup>2</sup>	Ax=20.09 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm <sup>4</sup>	Iz=68.31 cm <sup>4</sup>	Ix=3.62 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=123.86 cm <sup>3</sup>	Wplz=26.10 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N <sub>Ed</sub> = -1.24 kN	My <sub>Ed</sub> = -2.20 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = -0.81 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 0.45 kN
Nt <sub>Rd</sub> = 502.25 kN	My <sub>pl,Rd</sub> = 30.97 kN*m	Mz <sub>pl,Rd</sub> = 6.53 kN*m	Vy <sub>T,Rd</sub> = 198.15 kN
	My <sub>c,Rd</sub> = 30.97 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 6.53 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -0.76 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 30.97 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 6.53 kN*m	Vz <sub>T,Rd</sub> = 139.36 kN
	Mb <sub>Rd</sub> = 8.10 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = 0.00 kN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 1.00	Mcr = 8.96 kN*m	Courbe <sub>LT</sub> -	XLT = 0.26
Lcr <sub>low</sub> = 7.50 m	Lam <sub>LT</sub> = 1.95	fi <sub>LT</sub> = 2.41	XLT <sub>mod</sub> = 0.26

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

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

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

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

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

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.27 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

## DEPLACEMENTS LIMITES



### Flèches (REPERE LOCAL):

$$u_y = 0.8 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$$

Vérfié

Cas de charge décisif: 2 V1

$$u_z = 0.4 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$$

Vérfié

Cas de charge décisif: 3 V2



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

### FAMILLE:

**PIECE:** panne sablière 7.50m

**POINT:** 7

**COORDONNEE:**  $x = 0.33 L = 2.50 \text{ m}$

### CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

### MATERIAU:

ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



### PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 160

$$h = 16.0 \text{ cm}$$

$$gM0 = 1.10$$

$$gM1 = 1.10$$

$$b = 8.2 \text{ cm}$$

$$A_y = 13.73 \text{ cm}^2$$

$$A_z = 9.66 \text{ cm}^2$$

$$A_x = 20.09 \text{ cm}^2$$

$$t_w = 0.5 \text{ cm}$$

$$I_y = 869.29 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 68.31 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 3.62 \text{ cm}^4$$

$$t_f = 0.7 \text{ cm}$$

$$W_{ply} = 123.86 \text{ cm}^3$$

$$W_{plz} = 26.10 \text{ cm}^3$$

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$$N_{,Ed} = 5.14 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -4.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 1.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{y,Ed} = -1.50 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 502.25 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,max} = -6.41 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed,max} = -1.58 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{y,T,Rd} = 198.16 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 502.25 \text{ kN}$$

$$M_{y,c,Rd} = 30.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,c,Rd} = 6.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z,Ed} = -3.01 \text{ kN}$$

$$M_{N,y,Rd} = 30.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = 6.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z,T,Rd} = 139.37 \text{ kN}$$

$$M_{b,Rd} = 8.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$T_{t,Ed} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Classe de la section = 1



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

$$z = 1.00$$

$$M_{cr} = 8.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Courbe,LT -

$$X_{LT} = 0.26$$

$$L_{cr,low} = 7.50 \text{ m}$$

$$\lambda_{m,LT} = 1.95$$

$$f_{i,LT} = 2.41$$

$$X_{LT,mod} = 0.26$$

### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$k_{yy} = 1.00$$



en z:

$$k_{zz} = 1.00$$



## FORMULES DE VERIFICATION:

### Contrôle de la résistance de la section:

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.19 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.79 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 1.04 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 1.04 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

---

## DEPLACEMENTS LIMITES



### Flèches (REPÈRE LOCAL):

$$u_y = 1.6 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$$

Vérifié

Cas de charge décisif: 2 V1

$$u_z = 1.1 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$$

Vérifié

Cas de charge décisif: 2 V1



Déplacements (REPÈRE GLOBAL): Non analysé

---

## Profil incorrect !!!

**Remarque** Le profilé choisit ne vérifie pas la condition de stabilité donc il y a lieu d'augmenter la section du profilé, ou on prendra un IPE 200.

## 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:** panne sablière 7.50m

**POINT:** 7

**COORDONNÉE:**  $x = 0.33 L = 2.50 \text{ m}$

---

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

---

**MATERIAU:**

ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



### PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 200

$$h=20.0 \text{ cm}$$

$$g_{M0}=1.10$$

$$g_{M1}=1.10$$

$$b=10.0 \text{ cm}$$

$$A_y=19.58 \text{ cm}^2$$

$$A_z=14.00 \text{ cm}^2$$

$$A_x=28.48 \text{ cm}^2$$

$$t_w=0.6 \text{ cm}$$

$$I_y=1943.17 \text{ cm}^4$$

$$I_z=142.37 \text{ cm}^4$$

$$I_x=6.46 \text{ cm}^4$$

$$t_f=0.9 \text{ cm}$$

$$W_{ply}=220.66 \text{ cm}^3$$

$$W_{plz}=44.61 \text{ cm}^3$$

---

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$$N_{Ed} = 6.67 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -5.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} = 2.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{y,Ed} = -2.67 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} = 712.10 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed,max} = -7.25 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed,max} = -3.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{y,T,Rd} = 282.59 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 712.10 \text{ kN}$$

$$M_{y,c,Rd} = 55.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,c,Rd} = 11.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z,Ed} = -3.17 \text{ kN}$$

$$M_{N,y,Rd} = 55.16 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{N,z,Rd} = 11.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{z,T,Rd} = 202.06 \text{ kN}$$

$$M_{b,Rd} = 15.08 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$T_{t,Ed} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Classe de la section = 1



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

$z = 1.00$

$M_{cr} = 17.05 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Courbe,LT -

$XLT = 0.27$

$L_{cr,low} = 7.50 \text{ m}$

$\lambda_{m,LT} = 1.89$

$\eta_{i,LT} = 2.32$

$XLT,mod = 0.27$

### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$k_{yy} = 1.00$



en z:

$k_{zz} = 1.00$

### FORMULES DE VERIFICATION:

**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.4.(1))

$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.20 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))

$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.6-7)

$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.2.6-7)

$\tau_{y,Ed}/(\tau_{y,Rd}/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

$\tau_{z,Ed}/(\tau_{z,Rd}/\sqrt{3}) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.48 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.81 < 1.00$  (6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.81 < 1.00$  (6.3.3.(4))

### DEPLACEMENTS LIMITES



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$u_y = 1.6 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 2 V1

$u_z = 0.6 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 2 V1



**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé

**Profil correct !!!**

- Pour La panne de 6.00 m:

## 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:** panne intermediaire 6.00 m **POINT:** 5

**COORDONNEE:**  $x = 0.33 L = 2.00 \text{ m}$

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 10 G+1.5V2 1\*1.00+3\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



**PARAMETRES DE LA SECTION:** IPE 160

$h = 16.0 \text{ cm}$

$g_{M0} = 1.10$

$g_{M1} = 1.10$

b=8.2 cm	Ay=13.73 cm <sup>2</sup>	Az=9.66 cm <sup>2</sup>	Ax=20.09 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm <sup>4</sup>	Iz=68.31 cm <sup>4</sup>	Ix=3.62 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=123.86 cm <sup>3</sup>	Wplz=26.10 cm <sup>3</sup>	

#### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = -0.95 kN	My,Ed = -6.50 kN*m	Mz,Ed = 0.13 kN*m	Vy,Ed = 0.09 kN
Nt,Rd = 502.25 kN	My,pl,Rd = 30.97 kN*m	Mz,pl,Rd = 6.53 kN*m	Vy,T,Rd = 197.89 kN
	My,c,Rd = 30.97 kN*m	Mz,c,Rd = 6.53 kN*m	Vz,Ed = -0.76 kN
	MN,y,Rd = 30.97 kN*m	MN,z,Rd = 6.53 kN*m	Vz,T,Rd = 139.24 kN
	Mb,Rd = 9.51 kN*m		Tt,Ed = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 1



#### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 11.08 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.31
Lcr,low=6.00 m	Lam_LT = 1.75	fi,LT = 2.10	XLT,mod = 0.31

#### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

#### FORMULES DE VERIFICATION:

##### Contrôle de la résistance de la section:

$N,Ed/Nt,Rd = 0.00 < 1.00$  (6.2.3.(1))  
 $(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.06 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.01 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

##### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$My,Ed/Mb,Rd = 0.69 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))

#### DEPLACEMENTS LIMITES



##### Flèches (REPERE LOCAL):

$u_y = 0.5 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 11 G+V1 (1+2)\*1.00

$u_z = 0.8 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 3 V2



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

#### FAMILLE:

**PIECE:** panne sablière 6.00 m

**POINT:** 5

**COORDONNEE:** x = 0.33 L =

2.00 m

#### CHARGEMENTS:

**Cas de charge décisif:** 10 G+1.5V2 1\*1.00+3\*1.50

#### MATERIAU:

ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



### PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 160

h=16.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=8.2 cm	Ay=13.73 cm <sup>2</sup>	Az=9.66 cm <sup>2</sup>	Ax=20.09 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm <sup>4</sup>	Iz=68.31 cm <sup>4</sup>	Ix=3.62 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=123.86 cm <sup>3</sup>	Wplz=26.10 cm <sup>3</sup>	

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N <sub>Ed</sub> = 2.23 kN	My <sub>Ed</sub> = -11.17 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = 0.26 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = 0.20 kN
Nc,Rd = 502.25 kN	My <sub>Ed,max</sub> = -11.49 kN*m		Mz <sub>Ed,max</sub> = -0.79 kN*m
	Vy,T,Rd = 198.08 kN		
Nb,Rd = 502.25 kN	My,c,Rd = 30.97 kN*m	Mz,c,Rd = 6.53 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = -1.67 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 30.97 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 6.53 kN*m	Vz,T,Rd = 139.33 kN
	Mb,Rd = 9.51 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 1



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 11.08 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.31
Lcr,low=6.00 m	Lam_LT = 1.75	fi,LT = 2.10	XLT,mod = 0.31

### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$k_{yy} = 1.00$$



en z:

$$k_{zz} = 1.00$$

### FORMULES DE VERIFICATION:

#### Contrôle de la résistance de la section:

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

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.17 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

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

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

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 1.21 > 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 1.34 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 1.34 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

### DEPLACEMENTS LIMITES



#### Flèches (REPÈRE LOCAL):

$$u_y = 0.4 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

Cas de charge décisif: 11 G+V1 (1+2)\*1.00

$$u_z = 1.4 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

Cas de charge décisif: 3 V2



Déplacements (REPÈRE GLOBAL): Non analysé

### Profil incorrect !!!

Remarque Le profilé chois ne vérifie pas la condition de stabilité donc il y a lieu d'augmenter la section du profilé, ou on prendra un IPE 200.

## 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:** panne sablière 6.00m  
3.00 m**POINT:** 1**COORDONNEE:** x = 0.50 L =**CHARGEMENTS:***Cas de charge décisif:* 10 G+1.5V2 1\*1.00+3\*1.50**MATERIAU:**ACIER E28  $f_y = 275.00$  MPa**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 200**

h=20.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=10.0 cm	Ay=19.58 cm <sup>2</sup>	Az=14.00 cm <sup>2</sup>	Ax=28.48 cm <sup>2</sup>
tw=0.6 cm	Iy=1943.17 cm <sup>4</sup>	Iz=142.37 cm <sup>4</sup>	Ix=6.46 cm <sup>4</sup>
tf=0.9 cm	Wply=220.66 cm <sup>3</sup>	Wplz=44.61 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N,Ed = 2.65 kN	My,Ed = -12.14 kN*m	Mz,Ed = -0.42 kN*m	Vy,Ed = -0.77 kN
Nc,Rd = 712.10 kN	My,Ed,max = -12.62 kN*m		Mz,Ed,max = -0.68 kN*m
	Vy,T,Rd = 282.47 kN		
Nb,Rd = 712.10 kN	My,c,Rd = 55.16 kN*m	Mz,c,Rd = 11.15 kN*m	Vz,Ed = 2.13 kN
	MN,y,Rd = 55.16 kN*m	MN,z,Rd = 11.15 kN*m	Vz,T,Rd = 202.00 kN
	Mb,Rd = 17.75 kN*m		Tt,Ed = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 1

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 1.00	Mcr = 21.17 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.32
Lcr,low=6.00 m	Lam_LT = 1.69	fi,LT = 2.01	XLT,mod = 0.32

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:

$k_{yy} = 1.00$



en z:

$k_{zz} = 1.00$

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

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

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.09 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(f_y/(\sqrt{3})gM_0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(f_y/(\sqrt{3})gM_0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.71 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM_1) = 0.78 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM_1) = 0.78 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**DEPLACEMENTS LIMITES****Flèches (REPÈRE LOCAL):**

$$u_y = 0.4 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

*Cas de charge décisif:* 11 G+V1 (1+2)\*1.00

$$u_z = 0.7 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

*Cas de charge décisif:* 3 V2



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

**Profil correct !!!**

- Pour La panne de 5.50 m:

## 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:** panne intermédiaire 5.50m **POINT:** 7  
2.75 m

**COORDONNEE:** x = 0.50 L =

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 160**

h=16.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=8.2 cm	Ay=13.73 cm <sup>2</sup>	Az=9.66 cm <sup>2</sup>	Ax=20.09 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm <sup>4</sup>	Iz=68.31 cm <sup>4</sup>	Ix=3.62 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=123.86 cm <sup>3</sup>	Wplz=26.10 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N,Ed = 0.01 kN	My,Ed = -1.47 kN*m	Mz,Ed = 1.84 kN*m	Vy,Ed = -1.78 kN
Nc,Rd = 502.25 kN	My,Ed,max = -1.47 kN*m	Mz,Ed,max = 1.84 kN*m	Vy,T,Rd = 197.99 kN
Nb,Rd = 502.25 kN	My,c,Rd = 30.97 kN*m	Mz,c,Rd = 6.53 kN*m	Vz,Ed = -0.68 kN
	MN,y,Rd = 30.97 kN*m	MN,z,Rd = 6.53 kN*m	Vz,T,Rd = 139.28 kN
	Mb,Rd = 10.11 kN*m		Tt,Ed = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 1.00	Mcr = 12.05 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.33
Lcr,low=5.50 m	Lam_LT = 1.68	fi,LT = 1.99	XLT,mod = 0.33

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

$$kyy = 1.00$$



en z:

$$kzz = 1.00$$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.28 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Vy,Ed/Vy,T,Rd = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$Vz,Ed/Vz,T,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(fy/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(fy/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$My,Ed,max/Mb,Rd = 0.15 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.43 < 1.00$$

(6.3.3.(4))

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.43 < 1.00$$

(6.3.3.(4))

## DEPLACEMENTS LIMITES



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$$u_y = 1.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$$

Vérifié

**Cas de charge décisif:** 2 V1

$$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$$

Vérifié

**Cas de charge décisif:** 2 V1



**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé

**Profil correct !!!**

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** panne sabliere 5.50m

**POINT:** 7

**COORDONNEE:** x = 0.50 L = 2.75 m

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 160**

h=16.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=8.2 cm	Ay=13.73 cm <sup>2</sup>	Az=9.66 cm <sup>2</sup>	Ax=20.09 cm <sup>2</sup>
tw=0.5 cm	Iy=869.29 cm <sup>4</sup>	Iz=68.31 cm <sup>4</sup>	Ix=3.62 cm <sup>4</sup>
tf=0.7 cm	Wply=123.86 cm <sup>3</sup>	Wplz=26.10 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N <sub>Ed</sub> = 6.32 kN	M <sub>y,Ed</sub> = -1.29 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 1.92 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = -1.77 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 502.25 kN	M <sub>y,Ed,max</sub> = -1.29 kN*m	M <sub>z,Ed,max</sub> = 1.92 kN*m	V <sub>y,T,Rd</sub> = 198.09 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 502.25 kN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 30.97 kN*m	M <sub>z,c,Rd</sub> = 6.53 kN*m	V <sub>z,Ed</sub> = -0.63 kN
	M <sub>N,y,Rd</sub> = 30.97 kN*m	M <sub>N,z,Rd</sub> = 6.53 kN*m	V <sub>z,T,Rd</sub> = 139.33 kN
	M <sub>b,Rd</sub> = 10.11 kN*m		T <sub>t,Ed</sub> = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 1.00	M <sub>cr</sub> = 12.05 kN*m	Courbe,LT -	X <sub>LT</sub> = 0.33
L <sub>cr,low</sub> = 5.50 m	L <sub>am,LT</sub> = 1.68	f <sub>i,LT</sub> = 1.99	X <sub>LT,mod</sub> = 0.33

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

$$k_{yy} = 1.00$$



en z:

$$k_{zz} = 1.00$$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.30 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

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

$$\tau_{y,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

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

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.43 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.43 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

### DEPLACEMENTS LIMITES



#### Flèches (REPERE LOCAL):

$$u_y = 1.1 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$$

Vérifié

Cas de charge décisif: 2 V1

$$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$$

Vérifié

Cas de charge décisif: 2 V1



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

**Profil correct !!!**

- Pour La panne de 5.45 m:

## 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:** panne intermédiaire 5.45 m **POINT:** 7 **COORDONNEE:** x = 0.50 L = 2.73 m

### CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

### MATERIAU:

ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



### PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 160

h=16.0 cm	$g_{M0}=1.10$	$g_{M1}=1.10$	
b=8.2 cm	$A_y=13.73 \text{ cm}^2$	$A_z=9.66 \text{ cm}^2$	$A_x=20.09 \text{ cm}^2$
tw=0.5 cm	$I_y=869.29 \text{ cm}^4$	$I_z=68.31 \text{ cm}^4$	$I_x=3.62 \text{ cm}^4$
tf=0.7 cm	$W_{ply}=123.86 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=26.10 \text{ cm}^3$	

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{Ed} = -19.51 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -3.49 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 0.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = -0.93 \text{ kN}$
$N_{t,Rd} = 502.25 \text{ kN}$	$M_{y,pl,Rd} = 30.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,pl,Rd} = 6.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 197.88 \text{ kN}$
	$M_{y,c,Rd} = 30.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 6.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = -0.73 \text{ kN}$
	$M_{N,y,Rd} = 30.97 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{N,z,Rd} = 6.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 139.23 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 10.18 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$T_{t,Ed} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$
			Classe de la section = 1



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

$z = 1.00$	$M_{cr} = 12.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$	Courbe,LT -	$X_{LT} = 0.33$
$L_{cr,low} = 5.45 \text{ m}$	$\lambda_{m\_LT} = 1.67$	$f_{i,LT} = 1.98$	$X_{LT,mod} = 0.33$



**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:



en z:

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

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.16 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{xy,Ed}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{xz,Ed}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0}) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.35 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**DEPLACEMENTS LIMITES****Flèches (REPÈRE LOCAL):**

$$u_y = 0.4 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 2 V1

$$u_z = 0.4 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 2 V1**Déplacements (REPÈRE GLOBAL):** Non analysé**Profil correct !!!****CALCUL DES STRUCTURES ACIER****NORME:** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces**FAMILLE:****PIECE:** panne sablière 5.45 m  
2.73 m**POINT:** 1**COORDONNEE:** x = 0.50 L =**CHARGEMENTS:****Cas de charge décisif:** 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50**MATERIAU:**

ACIER E28 fy = 275.00 MPa

**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 160**

h=16.0 cm

gM0=1.10

gM1=1.10

b=8.2 cm

Ay=13.73 cm<sup>2</sup>

Az=9.66 cm<sup>2</sup>

Ax=20.09 cm<sup>2</sup>

tw=0.5 cm

Iy=869.29 cm<sup>4</sup>

Iz=68.31 cm<sup>4</sup>

Ix=3.62 cm<sup>4</sup>

tf=0.7 cm

Wply=123.86 cm<sup>3</sup>

Wplz=26.10 cm<sup>3</sup>

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N<sub>Ed</sub> = 3.34 kN

M<sub>y,Ed</sub> = -5.74 kN\*m

M<sub>z,Ed</sub> = 1.12 kN\*m

V<sub>y,Ed</sub> = 1.16 kN

N<sub>c,Rd</sub> = 502.25 kN

M<sub>y,Ed,max</sub> = -5.97 kN\*m

M<sub>z,Ed,max</sub> = 1.12 kN\*m

V<sub>y,T,Rd</sub> = 197.98 kN

N<sub>b,Rd</sub> = 502.25 kN

M<sub>y,c,Rd</sub> = 30.97 kN\*m

M<sub>z,c,Rd</sub> = 6.53 kN\*m

V<sub>z,Ed</sub> = -1.06 kN

M<sub>N,y,Rd</sub> = 30.97 kN\*m

M<sub>N,z,Rd</sub> = 6.53 kN\*m

V<sub>z,T,Rd</sub> = 139.28 kN

M<sub>b,Rd</sub> = 10.18 kN\*m

T<sub>t,Ed</sub> = -0.00 kN\*m

Classe de la section = 1

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 1.00  
Lcr,low=5.45 m

Mcr = 12.15 kN\*m  
Lam\_LT = 1.67

Courbe,LT -  
fi,LT = 1.98

XLT = 0.33  
XLT,mod = 0.33

#### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

kyy = 1.00



en z:

kzz = 1.00

#### FORMULES DE VERIFICATION:

**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.4.(1))

$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.21 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))

$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.6-7)

$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.6-7)

$Tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

$Tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.59 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed}/(X_y*N_{Rk/gM1}) + k_{yy}*M_{y,Ed,max}/(XLT*M_{y,Rk/gM1}) + k_{yz}*M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk/gM1}) = 0.76 < 1.00$   
(6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_z*N_{Rk/gM1}) + k_{zy}*M_{y,Ed,max}/(XLT*M_{y,Rk/gM1}) + k_{zz}*M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk/gM1}) = 0.76 < 1.00$   
(6.3.3.(4))

#### DEPLACEMENTS LIMITES



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$u_y = 0.5 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$

Vérifié

**Cas de charge décisif:** 2 V1

$u_z = 0.6 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 2.7 \text{ cm}$

Vérifié

**Cas de charge décisif:** 2 V1



**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé

**Profil correct !!!**

### Vérification des lisses de bardage :

- Pour La lisse de 7.50 m:

## 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:** lisse de bardage 7.50 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:** x = 0.00 L =

0.00 m

#### CHARGEMENTS:

**Cas de charge décisif:** 7 1.35G+1.5Q (1+14)\*1.35+6\*1.50

#### MATERIAU:

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



#### PARAMETRES DE LA SECTION: UPN 160

h=16.0 cm

gM0=1.10

gM1=1.10

b=6.5 cm

Ay=15.04 cm<sup>2</sup>

Az=12.13 cm<sup>2</sup>

Ax=23.89 cm<sup>2</sup>

tw=0.8 cm

Iy=924.55 cm<sup>4</sup>

Iz=85.08 cm<sup>4</sup>

Ix=6.83 cm<sup>4</sup>

tf=1.1 cm

Wely=115.57 cm<sup>3</sup>

Welz=18.26 cm<sup>3</sup>

---

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 0.04 kN

My,Ed = -0.23 kN\*m

Mz,Ed = 2.42 kN\*m

Vy,Ed = 1.97 kN

Nc,Rd = 597.35 kN

My,Ed,max = -0.23 kN\*m

Mz,Ed,max = 2.57 kN\*m

Vy,T,Rd = 217.13 kN

Nb,Rd = 597.35 kN

My,c,Rd = 28.89 kN\*m

Mz,c,Rd = 4.56 kN\*m

Vz,Ed = 0.05 kN

Vz,T,Rd = 175.13 kN

Tt,Ed = 0.00 kN\*m

Classe de la section = 3



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00

Mcr = 34.15 kN\*m

Courbe,LT - d

XLT = 0.49

Lcr,low=7.50 m

Lam\_LT = 0.96

fi,LT = 1.26

---

### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

kyy = 1.00



en z:

kzz = 1.00

---

### FORMULES DE VERIFICATION:

#### Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.54 < 1.00$  (6.2.1(7))

$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau}_{z,Ed} + \text{Tau}_{tz,Ed})^2} / (f_y/gM_0) = 0.54 < 1.00$  (6.2.1.(5))

$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.6-7)

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

$\text{Tau}_{ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM_0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

$\text{Tau}_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM_0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM_1) = 0.57 < 1.00$  (6.3.3.(4))

$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM_1) = 0.57 < 1.00$  (6.3.3.(4))

---

### DEPLACEMENTS LIMITES



#### Flèches (REPÈRE LOCAL):

$u_y = 1.8 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00

$u_z = 0.3 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 3.8 \text{ cm}$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 11 G+V1 (1+2+14)\*1.00



**Déplacements (REPÈRE GLOBAL):** Non analysé

---

**Profil correct !!!**

- Pour La lisse de 6.00 m:

## 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:** lisse de bardage 6.00 m

**POINT:** 1

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

---

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 9 G+1.5V1 (1+14)\*1.00+2\*1.50

---

**MATERIAU:**ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ 

---

**PARAMETRES DE LA SECTION: UPN 160**

$h=16.0 \text{ cm}$	$gM0=1.10$	$gM1=1.10$	
$b=6.5 \text{ cm}$	$A_y=15.04 \text{ cm}^2$	$A_z=12.13 \text{ cm}^2$	$A_x=23.89 \text{ cm}^2$
$tw=0.8 \text{ cm}$	$I_y=924.55 \text{ cm}^4$	$I_z=85.08 \text{ cm}^4$	$I_x=6.83 \text{ cm}^4$
$tf=1.1 \text{ cm}$	$W_{ply}=137.51 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=35.16 \text{ cm}^3$	

---

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = -8.63 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -8.28 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 1.15 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = 1.17 \text{ kN}$
$N_{t,Rd} = 597.35 \text{ kN}$	$M_{y,pl,Rd} = 34.38 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,pl,Rd} = 8.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 217.01 \text{ kN}$
	$M_{y,c,Rd} = 34.38 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 8.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = -0.55 \text{ kN}$
	$MN_{,y,Rd} = 34.37 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$MN_{,z,Rd} = 8.79 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,T,Rd} = 175.06 \text{ kN}$
	$Mb,Rd = 11.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$T_{t,Ed} = -0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$
			Classe de la section = 1

---

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 21.48 \text{ kN}\cdot\text{m}$	Courbe,LT - d	$X_{LT} = 0.33$
$L_{cr,low} = 6.00 \text{ m}$	$Lam_{LT} = 1.33$	$fi_{,LT} = 1.81$	

---

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:

en z:

---

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

$$N_{,Ed}/N_{t,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$
$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.37 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$
$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$
$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$
$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(\sqrt{3}\cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$
$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(\sqrt{3}\cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.75 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

---

**DEPLACEMENTS LIMITES****Flèches (REPERE LOCAL):**

$$u_y = 0.7 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00

$$u_z = 0.9 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 12 G+V2 (1+3+14)\*1.00**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé

---

**Profil correct !!!**

- Pour La lisse de 4.50 m:

**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: lisse de bardage 4.50 m  
4.50 m

POINT: 7

COORDONNEE: x = 1.00 L =

### CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 (1+14)\*1.00+2\*1.50

### MATERIAU:

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



### PARAMETRES DE LA SECTION: UPN 160

h=16.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=6.5 cm	Ay=15.04 cm <sup>2</sup>	Az=12.13 cm <sup>2</sup>	Ax=23.89 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=924.55 cm <sup>4</sup>	Iz=85.08 cm <sup>4</sup>	Ix=6.83 cm <sup>4</sup>
tf=1.1 cm	Wely=115.57 cm <sup>3</sup>	Welz=18.26 cm <sup>3</sup>	

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 1.28 kN	My,Ed = -7.32 kN*m	Mz,Ed = 0.80 kN*m	Vy,Ed = -0.94 kN
Nc,Rd = 597.35 kN	My,Ed,max = -7.32 kN*m	Mz,Ed,max = 0.80 kN*m	Vy,T,Rd = 215.50 kN
Nb,Rd = 597.35 kN	My,c,Rd = 28.89 kN*m	Mz,c,Rd = 4.56 kN*m	Vz,Ed = -6.66 kN
			Vz,T,Rd = 174.19 kN
	Mb,Rd = 18.82 kN*m		Tt,Ed = -0.02 kN*m
			Classe de la section = 3



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 67.29 kN*m	Courbe,LT - d	XLT = 0.65
Lcr,low=4.50 m	Lam_LT = 0.69	fi,LT = 0.92	

### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

kyy = 1.00



en z:

kzz = 1.00

### FORMULES DE VERIFICATION:

#### Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.43 < 1.00$  (6.2.1(7))  
 $\sqrt{(\sigma_{x,Ed})^2 + 3(\tau_{y,Ed} + \tau_{z,Ed})^2} / (f_y/gM0) = 0.40 < 1.00$  (6.2.1.(5))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.04 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{y,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.02 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{z,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.01 < 1.00$  (6.2.6)

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.39 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_{min} * N_{Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.46 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_{min} * N_{Rk}/gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.46 < 1.00$  (6.3.3.(4))

### DEPLACEMENTS LIMITES



#### Flèches (REPÈRE LOCAL):

uy = 0.2 cm < uy max = L/200.00 = 2.3 cm V vérifié

Cas de charge décisif: 12 G+V2 (1+3+14)\*1.00

uz = 0.1 cm < uz max = L/200.00 = 2.3 cm V vérifié

Cas de charge décisif: 11 G+V1 (1+2+14)\*1.00



Déplacements (REPÈRE GLOBAL): Non analysé

**Profil correct !!!**

# Vérification des potelets

## 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:** Potelet  
2.00 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.21 L =$

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif:  $9 G + 1.5 V1 (1+14) * 1.00 + 2 * 1.50$

**MATERIAU:**

ACIER E28  $f_y = 275.00$  MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 330**

$h = 33.0$ cm	$gM0 = 1.10$	$gM1 = 1.10$	
$b = 16.0$ cm	$A_y = 42.28$ cm <sup>2</sup>	$A_z = 30.81$ cm <sup>2</sup>	$A_x = 62.61$ cm <sup>2</sup>
$t_w = 0.8$ cm	$I_y = 11766.90$ cm <sup>4</sup>	$I_z = 788.14$ cm <sup>4</sup>	$I_x = 28.28$ cm <sup>4</sup>
$t_f = 1.1$ cm	$W_{ply} = 804.33$ cm <sup>3</sup>	$W_{plz} = 153.68$ cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = 8.86$ kN	$M_{y,Ed} = -60.88$ kN*m	$M_{z,Ed} = 2.31$ kN*m	$V_{y,Ed} = 3.29$ kN
$N_{c,Rd} = 1565.25$ kN	$M_{y,Ed,max} = -97.36$ kN*m		$M_{z,Ed,max} = 2.31$ kN*m
	$V_{y,T,Rd} = 605.61$ kN		
$N_{b,Rd} = 216.28$ kN	$M_{y,c,Rd} = 201.08$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 38.42$ kN*m	$V_{z,Ed} = -23.24$ kN
	$MN_{y,Rd} = 201.08$ kN*m	$MN_{z,Rd} = 38.42$ kN*m	$V_{z,T,Rd} = 442.50$ kN
	$M_{b,Rd} = 64.41$ kN*m		$T_{t,Ed} = 0.07$ kN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 0.00$	$M_{cr} = 77.29$ kN*m	Courbe,LT -	$XL_T = 0.32$
$L_{cr,low} = 9.75$ m	$\lambda_{m\_LT} = 1.69$	$f_{i,LT} = 2.02$	$XL_{T,mod} = 0.32$

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

$L_y = 9.75$ m	$\lambda_{m\_y} = 0.82$
$L_{cr,y} = 9.75$ m	$X_y = 0.78$
$L_{m,y} = 71.09$	$k_{yy} = 1.05$



en z:

$L_z = 9.75$ m	$\lambda_{m\_z} = 2.51$
$L_{cr,z} = 7.75$ m	$X_z = 0.14$
$L_{m,z} = 218.32$	$k_{yz} = 1.61$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/MN_{y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{z,Rd})^{1.00} = 0.15 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

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

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

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$\lambda_{bda,y} = 71.09 < \lambda_{bda,max} = 210.00$$

$$\lambda_{bda,z} = 218.32 > \lambda_{bda,max} = 210.00 \quad \text{INSTABLE}$$

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 1.51 > 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 1.69 > 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.91 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

## DEPLACEMENTS LIMITES



**Flèches (REPERE LOCAL):** Non analysé



**Déplacements (REPERE GLOBAL):**

$$v_x = 0.5 \text{ cm} < v_x \text{ max} = L/150.00 = 6.5 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 11 G+V1 (1+2+14)\*1.00

$$v_y = 0.2 \text{ cm} < v_y \text{ max} = L/150.00 = 6.5 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00

**Profil instable !!!**

**Remarque** Le profilé choisit ne vérifie pas la condition de stabilité donc il y a lieu de changer la section du profilé, ou on prendra un HEA 240.

## 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:** Potelet  
0.05 m

**POINT:** 2

**COORDONNEE:** x = 0.01 L =

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 9 G+1.5V1 (1+14)\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 240**

h=23.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=24.0 cm	Ay=64.54 cm <sup>2</sup>	Az=25.18 cm <sup>2</sup>	Ax=76.84 cm <sup>2</sup>
tw=0.8 cm	Iy=7763.18 cm <sup>4</sup>	Iz=2768.81 cm <sup>4</sup>	Ix=41.74 cm <sup>4</sup>
tf=1.2 cm	Wply=744.62 cm <sup>3</sup>	Wplz=351.69 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N <sub>Ed</sub> = 9.19 kN	M <sub>y,Ed</sub> = 1.78 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 0.19 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = -3.75 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 1921.00 kN	M <sub>y,Ed,max</sub> = 83.13 kN*m	M <sub>z,Ed,max</sub> = 1.79 kN*m	V <sub>y,c,Rd</sub> = 931.55 kN
N <sub>b,Rd</sub> = 1008.94 kN	M <sub>y,c,Rd</sub> = 186.16 kN*m	M <sub>z,c,Rd</sub> = 87.92 kN*m	V <sub>z,Ed</sub> = 35.54 kN
	MN <sub>y,Rd</sub> = 186.16 kN*m	MN <sub>z,Rd</sub> = 87.92 kN*m	V <sub>z,c,Rd</sub> = 363.44 kN
	M <sub>b,Rd</sub> = 126.17 kN*m		

Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 0.00	M <sub>cr</sub> = 177.62 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.66
L <sub>cr,upp</sub> = 9.75 m	Lam_LT = 1.07	fi,LT = 1.14	XLT,mod = 0.68

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

Ly = 9.75 m	Lam_y = 1.12	Lz = 9.75 m	Lam_z = 0.38
Lcr,y = 9.75 m	Xy = 0.53	Lcr,z = 2.00 m	Xz = 0.91
Lamy = 96.96	kyy = 1.00	Lamz = 33.32	kyz = 1.52

### FORMULES DE VERIFICATION:

#### Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^2 = 0.00 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,c,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6.(1))  
 $V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.10 < 1.00$  (6.2.6.(1))

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{y,Ed} = 96.96 < \lambda_{y,max} = 210.00$        $\lambda_{z,Ed} = 33.32 < \lambda_{z,max} = 210.00$       STABLE  
 $M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.66 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.70 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.38 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))

### DEPLACEMENTS LIMITES



**Flèches (REPERE LOCAL):** Non analysé



**Déplacements (REPERE GLOBAL):**

$v_x = 0.4 \text{ cm} < v_{x,max} = L/150.00 = 6.5 \text{ cm}$       Vérifié

**Cas de charge décisif:** 11 G+V1 (1+2+14)\*1.00

$v_y = 0.2 \text{ cm} < v_{y,max} = L/150.00 = 6.5 \text{ cm}$       Vérifié

**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00

**Profil correct !!!**

## Vérification 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:** Poteau  
6.50 m

**POINT:** 7

**COORDONNEE:** x = 0.72 L =

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 7 1.35G+1.5Q (1+14)\*1.35+6\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28    fy = 275.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 400**

h=39.0 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=30.0 cm	Ay=126.20 cm <sup>2</sup>	Az=57.33 cm <sup>2</sup>	Ax=158.98 cm <sup>2</sup>
tw=1.1 cm	Iy=45069.40 cm <sup>4</sup>	Iz=8563.83 cm <sup>4</sup>	Ix=189.76 cm <sup>4</sup>
tf=1.9 cm	Wply=2561.80 cm <sup>3</sup>	Wplz=872.86 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N <sub>Ed</sub> = 247.29 kN	M <sub>y,Ed</sub> = 159.34 kN*m	M <sub>z,Ed</sub> = 1.62 kN*m	V <sub>y,Ed</sub> = 0.75 kN
N <sub>c,Rd</sub> = 3974.50 kN	M <sub>y,Ed,max</sub> = 159.34 kN*m		M <sub>z,Ed,max</sub> = -5.14 kN*m
	V <sub>y,T,Rd</sub> = 1806.17 kN		



$N_{b,Rd} = 984.01 \text{ kN}$        $M_{y,c,Rd} = 640.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$        $M_{z,c,Rd} = 218.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$        $V_{z,Ed} = 48.10 \text{ kN}$   
 $M_{N,y,Rd} = 640.45 \text{ kN}\cdot\text{m}$        $M_{N,z,Rd} = 218.22 \text{ kN}\cdot\text{m}$        $V_{z,T,Rd} = 823.45 \text{ kN}$   
 $M_{b,Rd} = 622.66 \text{ kN}\cdot\text{m}$        $T_{t,Ed} = 0.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$   
 Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 0.00$        $M_{cr} = 1555.58 \text{ kN}\cdot\text{m}$       Courbe,LT -       $X_{LT} = 0.83$   
 $L_{cr,upp} = 9.00 \text{ m}$        $\lambda_{LT} = 0.67$        $f_{i,LT} = 0.79$        $X_{LT,mod} = 0.97$

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

$L_y = 9.00 \text{ m}$        $\lambda_{m,y} = 1.89$   
 $L_{cr,y} = 27.61 \text{ m}$        $X_y = 0.25$   
 $\lambda_{m,y} = 163.98$        $k_{yy} = 0.99$



en z:

$L_z = 9.00 \text{ m}$        $\lambda_{m,z} = 1.02$   
 $L_{cr,z} = 6.50 \text{ m}$        $X_z = 0.58$   
 $\lambda_{m,z} = 88.56$        $k_{yz} = 0.66$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.06 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.07 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.06 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}\cdot gM0)) = 0.02 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}\cdot gM0)) = 0.01 < 1.00$  (6.2.6)

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$\lambda_{m,y} = 163.98 < \lambda_{m,max} = 210.00$        $\lambda_{m,z} = 88.56 < \lambda_{m,max} = 210.00$       STABLE  
 $M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.26 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.51 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.29 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPERE LOCAL):** Non analysé



**Déplacements (REPERE GLOBAL):**

$v_x = 0.3 \text{ cm} < v_{x,max} = L/150.00 = 6.0 \text{ cm}$       Vérifié  
**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00  
 $v_y = 0.2 \text{ cm} < v_{y,max} = L/150.00 = 6.0 \text{ cm}$       Vérifié  
**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00

**Profil correct !!!**

**Vérification des traverses**

**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:** Traverse  
8.90 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.97 L =$

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 9 G+1.5V1 (1+14)\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ **PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 360**

$h=57.1 \text{ cm}$	$gM0=1.10$	$gM1=1.10$	
$b=17.0 \text{ cm}$	$A_y=43.18 \text{ cm}^2$	$A_z=43.62 \text{ cm}^2$	$A_x=110.15 \text{ cm}^2$
$tw=0.8 \text{ cm}$	$I_y=46313.19 \text{ cm}^4$	$I_z=1564.25 \text{ cm}^4$	$I_x=51.84 \text{ cm}^4$
$tf=1.3 \text{ cm}$	$W_{ely}=1567.75 \text{ cm}^3$	$W_{elz}=184.03 \text{ cm}^3$	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = 32.23 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 14.42 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 0.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = -36.35 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 2753.83 \text{ kN}$	$M_{y,el,Rd} = 391.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,el,Rd} = 46.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 393.73 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 971.57 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 391.94 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 46.01 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$V_{z,Ed} = 6.48 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 230.90 \text{ kN}\cdot\text{m}$		$V_{z,T,Rd} = 496.30 \text{ kN}$
			$T_{t,Ed} = -2.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$
			Classe de la section = 3

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 505.38 \text{ kN}\cdot\text{m}$	Courbe,LT - d	$X_{LT} = 0.51$
$L_{cr,upp}=4.59 \text{ m}$	$\text{Lam}_{LT} = 0.92$	$f_{i,LT} = 1.20$	$X_{LT,mod} = 0.59$

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:		en z:	
$L_y = 9.17 \text{ m}$	$\text{Lam}_y = 0.73$	$L_z = 9.17 \text{ m}$	$\text{Lam}_z = 1.39$
$L_{cr,y} = 10.23 \text{ m}$	$X_y = 0.77$	$L_{cr,z} = 4.59 \text{ m}$	$X_z = 0.35$
$\text{Lam}_y = 63.54$	$k_{yy} = 1.01$	$\text{Lam}_z = 120.70$	$k_{yz} = 1.00$

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

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.33 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{,x,Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau}_{,y,Ed} + \text{Tau}_{,ty,Ed})^2} / (f_y/gM0) = 0.81 < 1.00 \quad (6.2.1.(5))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.09 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\text{Tau}_{,ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.75 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\text{Tau}_{,tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.47 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$\text{Lambda}_y = 63.54 < \text{Lambda}_{,max} = 210.00 \quad \text{Lambda}_z = 120.70 < \text{Lambda}_{,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

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

$$N_{,Ed} / (X_{min} \cdot N_{,Rk} / gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed} / (X_{LT} \cdot M_{y,Rk} / gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.35 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed} / (X_{min} \cdot N_{,Rk} / gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed} / (X_{LT} \cdot M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.34 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**DEPLACEMENTS LIMITES****Flèches (REPERE LOCAL):**

$$u_y = 0.4 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 4.6 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 12 G+V2 (1+3+14)\*1.00

$$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 4.6 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 11 G+V1 (1+2+14)\*1.00**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé**Profil correct !!!**

# Vérification des poutres sablières

- Pour La poutre de 6.00 m:

## 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:** poutre sablière 6.00 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.00$  L =

0.00 m

**CHARGEMENTS:**

*Cas de charge décisif:* 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28  $f_y = 275.00$  MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 120**

$h=11.4$  cm

$gM0=1.10$

$gM1=1.10$

$b=12.0$  cm

$A_y=21.64$  cm<sup>2</sup>

$A_z=8.46$  cm<sup>2</sup>

$A_x=25.34$  cm<sup>2</sup>

$t_w=0.5$  cm

$I_y=606.15$  cm<sup>4</sup>

$I_z=230.90$  cm<sup>4</sup>

$I_x=6.02$  cm<sup>4</sup>

$t_f=0.8$  cm

$W_{ply}=119.49$  cm<sup>3</sup>

$W_{plz}=58.85$  cm<sup>3</sup>

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = 12.08$  kN

$M_{y,Ed} = -0.63$  kN\*m

$M_{z,Ed} = -0.04$  kN\*m

$V_{y,Ed} = -0.01$  kN

$N_{c,Rd} = 633.50$  kN

$M_{y,Ed,max} = -0.63$  kN\*m

$M_{z,Ed,max} = -0.04$  kN\*m

$V_{y,T,Rd} = 312.33$  kN

$N_{b,Rd} = 98.16$  kN

$M_{y,c,Rd} = 29.87$  kN\*m

$M_{z,c,Rd} = 14.71$  kN\*m

$V_{z,Ed} = 0.60$  kN

$M_{N,y,Rd} = 29.87$  kN\*m

$M_{N,z,Rd} = 14.71$  kN\*m

$V_{z,T,Rd} = 122.11$  kN

$T_{t,Ed} = 0.00$  kN\*m

Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

$L_y = 6.00$  m

$Lam_y = 1.41$

$L_{cr,y} = 6.00$  m

$X_y = 0.38$

$L_{amy} = 122.68$

$k_{yz} = 0.53$



en z:

$L_z = 6.00$  m

$Lam_z = 2.29$

$L_{cr,z} = 6.00$  m

$X_z = 0.15$

$Lamz = 198.77$

$k_{zz} = 0.73$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

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

$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.00 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))

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

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

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

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

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$\lambda_{y} = 122.68 < \lambda_{y,max} = 210.00$

$\lambda_{z} = 198.77 < \lambda_{z,max} = 210.00$  STABLE

$N_{,Ed}/(X_y*N_{Rk}/gM1) + k_{yy}*M_{y,Ed,max}/(XLT*M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz}*M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.07 < 1.00$

(6.3.3.(4))

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.14 < 1.00$$

(6.3.3.(4))

**Profil correct !!!**

- Pour La poutre de 7.50 m:

## 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:** Poutre sablière 7.50 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:** x = 0.00 L =

0.00 m

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28 fy = 275.00 MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 120**

h=11.4 cm

gM0=1.10

gM1=1.10

b=12.0 cm

Ay=21.64 cm<sup>2</sup>

Az=8.46 cm<sup>2</sup>

Ax=25.34 cm<sup>2</sup>

tw=0.5 cm

Iy=606.15 cm<sup>4</sup>

Iz=230.90 cm<sup>4</sup>

Ix=6.02 cm<sup>4</sup>

tf=0.8 cm

Wply=119.49 cm<sup>3</sup>

Wplz=58.85 cm<sup>3</sup>

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N<sub>Ed</sub> = 12.54 kN

M<sub>y,Ed</sub> = -0.96 kN\*m

M<sub>z,Ed</sub> = -0.04 kN\*m

V<sub>y,Ed</sub> = -0.00 kN

N<sub>c,Rd</sub> = 633.50 kN

M<sub>y,Ed,max</sub> = -0.96 kN\*m

M<sub>z,Ed,max</sub> = -0.04 kN\*m

V<sub>y,T,Rd</sub> = 312.34 kN

N<sub>b,Rd</sub> = 65.68 kN

M<sub>y,c,Rd</sub> = 29.87 kN\*m

M<sub>z,c,Rd</sub> = 14.71 kN\*m

V<sub>z,Ed</sub> = 0.75 kN

MN<sub>y,Rd</sub> = 29.87 kN\*m

MN<sub>z,Rd</sub> = 14.71 kN\*m

V<sub>z,T,Rd</sub> = 122.11 kN

T<sub>t,Ed</sub> = -0.00 kN\*m

Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

L<sub>y</sub> = 7.50 m

Lam<sub>y</sub> = 1.77

L<sub>cr,y</sub> = 7.50 m

X<sub>y</sub> = 0.26

Lam<sub>y</sub> = 153.35

k<sub>zy</sub> = 0.53



en z:

L<sub>z</sub> = 7.50 m

Lam<sub>z</sub> = 2.86

L<sub>cr,z</sub> = 7.50 m

X<sub>z</sub> = 0.10

Lam<sub>z</sub> = 248.46

k<sub>zz</sub> = 1.04

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

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

$$(M_{y,Ed}/MN_{y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{z,Rd})^{1.00} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_{y,Rd}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_{z,Rd}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$\lambda_{y} = 153.35 < \lambda_{y,max} = 210.00$        $\lambda_{z} = 248.46 > \lambda_{z,max} = 210.00$     **INSTABLE**  
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.11 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.21 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))

**Profil instable !!!**

**Remarque** Le profilé choisit ne vérifie pas la condition de stabilité donc il y a lieu d'augmenter la section du profilé, ou on prendra un **HEA 160**.

## 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:** Poutre sablière 7.50 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:** x = 0.00 L =

0.00 m

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 9 G+1.5V1 1\*1.00+2\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28     $f_y = 275.00$  MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 160**

h=15.2 cm	gM0=1.10	gM1=1.10	
b=16.0 cm	Ay=32.53 cm <sup>2</sup>	Az=13.21 cm <sup>2</sup>	Ax=38.77 cm <sup>2</sup>
tw=0.6 cm	Iy=1672.98 cm <sup>4</sup>	Iz=615.57 cm <sup>4</sup>	Ix=12.25 cm <sup>4</sup>
tf=0.9 cm	Wply=245.15 cm <sup>3</sup>	Wplz=117.63 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{Ed} = 15.76$ kN	$M_{y,Ed} = -1.52$ kN*m	$M_{z,Ed} = -0.09$ kN*m	$V_{y,Ed} = -0.00$ kN
$N_{c,Rd} = 969.25$ kN	$M_{y,Ed,max} = -1.52$ kN*m	$M_{z,Ed,max} = -0.09$ kN*m	$V_{y,T,Rd} = 469.51$ kN
$N_{b,Rd} = 165.31$ kN	$M_{y,c,Rd} = 61.29$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 29.41$ kN*m	$V_{z,Ed} = 1.16$ kN
	$MN_{y,Rd} = 61.29$ kN*m	$MN_{z,Rd} = 29.41$ kN*m	$V_{z,T,Rd} = 190.67$ kN
			$T_{t,Ed} = -0.00$ kN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

$L_y = 7.50$  m       $\lambda_{m,y} = 1.32$   
 $L_{cr,y} = 7.50$  m       $X_y = 0.42$   
 $\lambda_{m,y} = 114.17$        $k_{zy} = 0.52$



en z:

$L_z = 7.50$  m       $\lambda_{m,z} = 2.17$   
 $L_{cr,z} = 7.50$  m       $X_z = 0.17$   
 $\lambda_{m,z} = 188.22$        $k_{zz} = 0.97$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/MN_{y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{z,Rd})^{1.00} = 0.00 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{y,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{z,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$\Lambda_{y} = 114.17 < \Lambda_{y,max} = 210.00$        $\Lambda_{z} = 188.22 < \Lambda_{z,max} = 210.00$       STABLE  
 $N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.07 < 1.00$   
(6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z * N_{Rk}/gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max}/(XLT * M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.11 < 1.00$   
(6.3.3.(4))

**Profil correct !!!**

## Vérification des poutres ou vent

### 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:** Poutre au vent

**POINT:** 6

**COORDONNEE:**  $x = 0.83 L =$

3.14 m

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 10 G+1.5V2 (1+14)\*1.00+3\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28       $f_y = 275.00$  MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: CAE 50x5**

$h=5.0$ cm	$gM0=1.10$	$gM1=1.10$	
$b=5.0$ cm	$A_y=2.50$ cm <sup>2</sup>	$A_z=2.50$ cm <sup>2</sup>	$A_x=4.80$ cm <sup>2</sup>
$t_w=0.5$ cm	$I_y=10.96$ cm <sup>4</sup>	$I_z=10.96$ cm <sup>4</sup>	$I_x=0.40$ cm <sup>4</sup>
$t_f=0.5$ cm	$W_{ely}=3.04$ cm <sup>3</sup>	$W_{elz}=3.04$ cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{Ed} = -30.64$ kN	$M_{y,Ed} = 0.08$ kN*m	$M_{z,Ed} = -0.01$ kN*m	$V_{y,Ed} = 0.01$ kN
$N_{t,Rd} = 120.00$ kN	$M_{y,el,Rd} = 0.76$ kN*m	$M_{z,el,Rd} = 0.76$ kN*m	$V_{y,T,Rd} = 36.05$ kN
	$M_{y,c,Rd} = 0.76$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 0.76$ kN*m	$V_{z,Ed} = 0.01$ kN
			$V_{z,T,Rd} = 36.05$ kN
			$T_{t,Ed} = 0.00$ kN*m
			Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{Ed}/N_{t,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.36 < 1.00$  (6.2.1(7))

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

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

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

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

## DEPLACEMENTS LIMITES



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 1.9 \text{ cm}$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 12 G+V2 (1+3+14)\*1.00

$u_z = 0.2 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 1.9 \text{ cm}$

Vérfié

**Cas de charge décisif:** 12 G+V2 (1+3+14)\*1.00



**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé

**Profil correct !!!**

## Vérification de palées de stabilité

### -- 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:** palées de stabilité

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.00 \text{ L} =$

0.00 m

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 7 1.35G+1.5Q (1+14)\*1.35+6\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



**PARAMETRES DE LA SECTION: UPN 120**

$h = 12.0 \text{ cm}$

$gM0 = 1.10$

$gM1 = 1.10$

$b = 5.5 \text{ cm}$

$A_y = 11.12 \text{ cm}^2$

$A_z = 8.54 \text{ cm}^2$

$A_x = 17.00 \text{ cm}^2$

$tw = 0.7 \text{ cm}$

$I_y = 368.00 \text{ cm}^4$

$I_z = 43.20 \text{ cm}^4$

$I_x = 4.15 \text{ cm}^4$

$tf = 0.9 \text{ cm}$

$W_{ply} = 72.60 \text{ cm}^3$

$W_{plz} = 21.20 \text{ cm}^3$

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = -61.71 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = -0.23 \text{ kN*m}$

$M_{z,Ed} = -0.14 \text{ kN*m}$

$V_{y,Ed} = -0.05 \text{ kN}$

$N_{t,Rd} = 425.00 \text{ kN}$

$M_{y,pl,Rd} = 18.15 \text{ kN*m}$

$M_{z,pl,Rd} = 5.30 \text{ kN*m}$

$V_{y,T,Rd} = 160.23 \text{ kN}$

$M_{y,c,Rd} = 18.15 \text{ kN*m}$

$M_{z,c,Rd} = 5.30 \text{ kN*m}$

$V_{z,Ed} = 0.26 \text{ kN}$

$M_{N,y,Rd} = 17.77 \text{ kN*m}$

$M_{N,z,Rd} = 5.19 \text{ kN*m}$

$V_{z,T,Rd} = 123.10 \text{ kN}$

$T_{t,Ed} = 0.00 \text{ kN*m}$

Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**



en y:



en z:

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{,Ed}/N_{t,Rd} = 0.15 < 1.00$  (6.2.3.(1))

$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.04 < 1.00$  (6.2.9.1.(6))

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

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

$\text{Tau}_{,ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

$$\tau_{v,z,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM_0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Profil correct !!!**

## Vérification de la poutre de roulement

### 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:** Poutre de roulement

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.50 L =$

3.75 m

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 7 1.35G+1.5Q (1+14)\*1.35+6\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28  $f_y = 275.00$  MPa



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 500**

$h=49.0$ cm	$gM_0=1.10$	$gM_1=1.10$	
$b=30.0$ cm	$A_y=150.74$ cm <sup>2</sup>	$A_z=74.72$ cm <sup>2</sup>	$A_x=197.54$ cm <sup>2</sup>
$t_w=1.2$ cm	$I_y=86974.80$ cm <sup>4</sup>	$I_z=10367.10$ cm <sup>4</sup>	$I_x=336.00$ cm <sup>4</sup>
$t_f=2.3$ cm	$W_{ply}=3949.08$ cm <sup>3</sup>	$W_{plz}=1058.53$ cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = 39.39$ kN	$M_{y,Ed} = 143.50$ kN*m	$M_{z,Ed} = -39.73$ kN*m	$V_{y,Ed} = -20.64$ kN
$N_{c,Rd} = 4938.45$ kN	$M_{y,Ed,max} = 143.50$ kN*m		$M_{z,Ed,max} = -39.73$ kN*m
	$V_{y,T,Rd} = 2175.54$ kN		
$N_{b,Rd} = 2381.34$ kN	$M_{y,c,Rd} = 987.27$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 264.63$ kN*m	$V_{z,Ed} = -66.01$ kN
	$MN_{y,Rd} = 987.27$ kN*m	$MN_{z,Rd} = 264.63$ kN*m	$V_{z,T,Rd} = 1078.42$ kN
	$M_{b,Rd} = 711.22$ kN*m		$T_{t,Ed} = 0.00$ kN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 1228.13$ kN*m	Courbe,LT -	$X_{LT} = 0.67$
$L_{cr,upp} = 7.50$ m	$\lambda_{m,LT} = 0.94$	$f_{i,LT} = 1.04$	$X_{LT,mod} = 0.72$

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

$L_y = 7.50$ m	$\lambda_{m,y} = 0.41$
$L_{cr,y} = 7.50$ m	$X_y = 0.95$
$\lambda_{my} = 35.74$	$k_{yy} = 1.01$



en z:

$L_z = 7.50$ m	$\lambda_{m,z} = 1.19$
$L_{cr,z} = 7.50$ m	$X_z = 0.48$
$\lambda_{mz} = 103.53$	$k_{yz} = 0.80$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/MN_{y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{z,Rd})^{1.00} = 0.17 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$



$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.06 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\tau_{xy,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{xz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$\lambda_{y} = 35.74 < \lambda_{y,max} = 210.00$        $\lambda_{z} = 103.53 < \lambda_{z,max} = 210.00$       STABLE  
 $M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.20 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.33 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.27 < 1.00$   
 (6.3.3.(4))

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$u_y = 0.1 \text{ cm} < u_{y,max} = L/750.00 = 1.0 \text{ cm}$       Vérifié

**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00

$u_z = 0.3 \text{ cm} < u_{z,max} = L/750.00 = 1.0 \text{ cm}$       Vérifié

**Cas de charge décisif:** 11 G+V1 (1+2+14)\*1.00



**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé

**Profil correct !!!**

**Vérification des corbeaux**

**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:** Corbeau

**POINT:** 7

**COORDONNEE:**  $x = 0.70 L =$

0.70 m

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 7 1.35G+1.5Q (1+14)\*1.35+6\*1.50

**MATERIAU:**

ACIER E28       $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 360**

$h=37.2 \text{ cm}$	$g_{M0}=1.10$	$g_{M1}=1.10$	
$b=17.0 \text{ cm}$	$A_y=43.18 \text{ cm}^2$	$A_z=27.74 \text{ cm}^2$	$A_x=94.28 \text{ cm}^2$
$t_w=0.8 \text{ cm}$	$I_y=22007.38 \text{ cm}^4$	$I_z=1563.41 \text{ cm}^4$	$I_x=48.55 \text{ cm}^4$
$t_f=1.3 \text{ cm}$	$W_{ely}=989.25 \text{ cm}^3$	$W_{elz}=183.93 \text{ cm}^3$	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{Ed} = 20.99 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = -3.88 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed} = -24.78 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{y,Ed} = 41.82 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 2356.90 \text{ kN}$	$M_{y,el,Rd} = 247.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,el,Rd} = 45.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{y,T,Rd} = 619.53 \text{ kN}$
$N_{b,Rd} = 2356.90 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 247.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 45.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$	$V_{z,Ed} = 52.28 \text{ kN}$
			$V_{z,T,Rd} = 398.89 \text{ kN}$
	$M_{b,Rd} = 247.31 \text{ kN} \cdot \text{m}$		$T_{t,Ed} = 0.05 \text{ kN} \cdot \text{m}$
			Classe de la section = 3



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 1.00$	$M_{cr} = 10498.55 \text{ kN} \cdot \text{m}$	Courbe,LT - d	$X_{LT} = 1.00$
$L_{cr,low} = 1.00 \text{ m}$	$\lambda_{m,LT} = 0.16$	$f_{i,LT} = 0.50$	$X_{LT,mod} = 1.00$

---

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:

$$k_{yy} = 1.00$$



en z:

$$k_{zz} = 1.00$$

---

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

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.56 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\sigma_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\tau_{z,Ed} + \tau_{t,Ed})^2} / (f_y / g_{M0}) = 0.14 < 1.00 \quad (6.2.1.(5))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{t,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.02 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.56 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.56 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

---

**DEPLACEMENTS LIMITES****Flèches (REPÈRE LOCAL):**

$$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 0.5 \text{ cm}$$

Vérfié

$$\text{Cas de charge décisif: } 13 \text{ G+T } (1+4+14) \cdot 1.00$$

$$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 0.5 \text{ cm}$$

Vérfié

$$\text{Cas de charge décisif: } 12 \text{ G+V2 } (1+3+14) \cdot 1.00$$

**Déplacements (REPÈRE GLOBAL):**

$$v_x = 0.0 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/750.00 = 0.1 \text{ cm}$$

Vérfié

$$\text{Cas de charge décisif: } 13 \text{ G+T } (1+4+14) \cdot 1.00$$

$$v_y = 0.0 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/750.00 = 0.1 \text{ cm}$$

Vérfié

$$\text{Cas de charge décisif: } 11 \text{ G+V1 } (1+2+14) \cdot 1.00$$

---

**Profil correct !!!****Vérification des chevrets****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:** Chevret  
1.22 m**POINT:** 7**COORDONNEE:** x = 1.00 L =**CHARGEMENTS:**

$$\text{Cas de charge décisif: } 9 \text{ G+1.5V1 } (1+14) \cdot 1.00 + 2 \cdot 1.50$$

---

**MATERIAU:**ACIER E28  $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ 

---

**PARAMETRES DE LA SECTION: UPN 120**

$$h = 12.0 \text{ cm}$$

$$g_{M0} = 1.10$$

$$g_{M1} = 1.10$$

$$b = 5.5 \text{ cm}$$

$$A_y = 11.12 \text{ cm}^2$$

$$A_z = 8.54 \text{ cm}^2$$

$$A_x = 17.00 \text{ cm}^2$$

---

tw=0.7 cm	Iy=368.00 cm <sup>4</sup>	Iz=43.20 cm <sup>4</sup>	Ix=4.15 cm <sup>4</sup>
tf=0.9 cm	Wely=61.33 cm <sup>3</sup>	Welz=11.11 cm <sup>3</sup>	

### EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N <sub>Ed</sub> = 0.60 kN	My <sub>Ed</sub> = 0.00 kN*m	Mz <sub>Ed</sub> = 1.61 kN*m	Vy <sub>Ed</sub> = -2.57 kN
Nc,Rd = 425.00 kN	My <sub>Ed,max</sub> = 0.00 kN*m	Mz <sub>Ed,max</sub> = 1.61 kN*m	Vy,T,Rd = 160.40 kN
Nb,Rd = 425.00 kN	My <sub>c,Rd</sub> = 15.33 kN*m	Mz <sub>c,Rd</sub> = 2.78 kN*m	Vz <sub>Ed</sub> = 0.08 kN
			Vz,T,Rd = 123.20 kN
	Mb,Rd = 10.87 kN*m		Tt <sub>Ed</sub> = 0.00 kN*m
			Classe de la section = 3



### PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 46.58 kN*m	Courbe,LT - d	XLT = 0.71
Lcr,upp=1.22 m	Lam_LT = 0.60	fi,LT = 0.83	

### PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

kyy = 1.00



en z:

kzz = 1.00

### FORMULES DE VERIFICATION:

#### Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.58 < 1.00$  (6.2.1(7))  
 $\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau}_{z,Ed} + \text{Tau}_{tz,Ed})^2} / (f_y/gM_0) = 0.58 < 1.00$  (6.2.1.(5))  
 $V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.02 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.6-7)  
 $\text{Tau}_{ty,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM_0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\text{Tau}_{tz,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM_0)) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

#### Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed} / (X_{min} \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max} / (XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk}/gM_1) = 0.58 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed} / (X_{min} \cdot N_{Rk}/gM_1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max} / (XLT \cdot M_{y,Rk}/gM_1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk}/gM_1) = 0.58 < 1.00$  (6.3.3.(4))

### DEPLACEMENTS LIMITES



#### Flèches (REPÈRE LOCAL):

uy = 0.0 cm < uy max = L/200.00 = 0.6 cm Vérifié

**Cas de charge décisif:** 11 G+V1 (1+2+14)\*1.00

uz = 0.0 cm < uz max = L/200.00 = 0.6 cm Vérifié

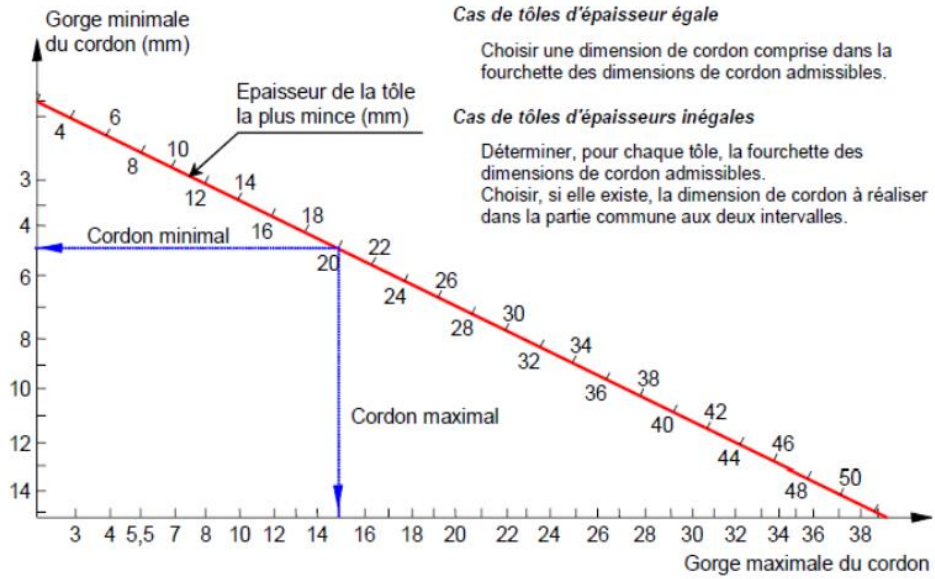
**Cas de charge décisif:** 13 G+T (1+4+14)\*1.00



**Déplacements (REPÈRE GLOBAL):** Non analysé

**Profil correct !!!**

# ANNEXE 04



Acier	$f_u$ (MPa)	$B_w$	$\gamma_{Mw}$
S235	360	0.8	1.25
S275	430	0.85	1.3
S355	510	0.9	1.35



## ANNEXE 05

Désignation	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
$d$ (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
$d_0$ (mm)	9	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
$A$ (mm <sup>2</sup> )	50.3	78.5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	36.6	58	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561
$\emptyset_{Rondelle}$ (mm)	16	20	24	27	30	34	36	40	44	50	52
$\emptyset_{Clé}$ (mm)	21	27	31	51	51	51	58	58	58	58	58
$d_m$ (mm)	14	18.3	20.5	23.7	24.58	29.1	32.4	34.5	38.8	44.2	49.6

Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N / mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	360	480	640	900
$f_{ub}$ (N / mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	600	800	1000

# ANNEXE 06

## Assemblage poteau-traverse :

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	
	<b>Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	

### GÉNÉRAL

Assemblage N°: 13  
Nom de l'assemblage : Angle de portique  
Noeud de la structure: 51  
Barres de la structure: 36, 39

### GÉOMÉTRIE

#### POTEAU

Profilé: HEA 400  
Barre N°: 36  
 $\alpha = -90,0$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_c = 390$  [mm] Hauteur de la section du poteau  
 $b_{rc} = 300$  [mm] Largeur de la section du poteau  
 $t_{wc} = 11$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau  
 $t_{fc} = 19$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau  
 $r_c = 27$  [mm] Rayon de congé de la section du poteau  
 $A_c = 158,98$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du poteau  
 $I_{xc} = 45069,40$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la section du poteau  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{yc} = 275,00$  [MPa] Résistance

#### POUTRE

Profilé: IPE 360  
Barre N°: 39  
 $\alpha = 9,4$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_b = 360$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_f = 170$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wb} = 8$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre  
 $t_{fb} = 13$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre  
 $r_b = 18$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $r_b = 18$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $A_b = 72,73$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre  
 $I_{xb} = 16265,60$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{yb} = 275,00$  [MPa] Résistance

#### BOULONS

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon  
 $d = 16$  [mm] Diamètre du boulon  
Classe = HR 10.9 Classe du boulon

$d = 16$  [mm] Diamètre du boulon  
 $F_{TRd} = 135,65$  [kN] Résistance du boulon à la traction  
 $n_h = 2$  Nombre de colonnes des boulons  
 $n_v = 5$  Nombre de rangées des boulons  
 $h_1 = 70$  [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about  
 Ecartement  $e_i = 100$  [mm]  
 Entraxe  $p_i = 120; 120; 160; 120$  [mm]

## **PLATINE**

$h_p = 700$  [mm] Hauteur de la platine  
 $b_p = 180$  [mm] Largeur de la platine  
 $t_p = 20$  [mm] Epaisseur de la platine  
 Matériau: ACIER E28  
 $f_{yp} = 275,00$  [MPa] Résistance

## **JARRET INFÉRIEUR**

$w_d = 170$  [mm] Largeur de la platine  
 $t_{fd} = 13$  [mm] Epaisseur de l'aile  
 $h_d = 320$  [mm] Hauteur de la platine  
 $t_{wd} = 8$  [mm] Epaisseur de l'âme  
 $l_d = 800$  [mm] Longueur de la platine  
 $\alpha = 29,7$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 Matériau: ACIER  
 $f_{ybu} = 235,00$  [MPa] Résistance

## **RAIDISSEUR POTEAU**

### **Supérieur**

$h_{su} = 352$  [mm] Hauteur du raidisseur  
 $b_{su} = 145$  [mm] Largeur du raidisseur  
 $t_{hu} = 8$  [mm] Epaisseur du raidisseur  
 Matériau: ACIER  
 $f_{ysu} = 235,00$  [MPa] Résistance

### **Inférieur**

$h_{sd} = 352$  [mm] Hauteur du raidisseur  
 $b_{sd} = 145$  [mm] Largeur du raidisseur  
 $t_{hd} = 8$  [mm] Epaisseur du raidisseur  
 Matériau: ACIER  
 $f_{ysu} = 235,00$  [MPa] Résistance

## **SOUDURES D'ANGLE**

$a_w = 5$  [mm] Soudure âme  
 $a_f = 8$  [mm] Soudure semelle  
 $a_s = 6$  [mm] Soudure du raidisseur  
 $a_{fd} = 5$  [mm] Soudure horizontale

## **COEFFICIENTS DE MATÉRIAU**

$\gamma_{M0} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M1} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M3} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]

## **EFFORTS**

### **Etat limite: ultime**

Cas: 9:  $G+1.5V1 (1+14) * 1.00 + 2 * 1.50$

$M_{b1,Ed} = -181,81$	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed} = -77,48$	[kN]	Effort tranchant dans la poutre droite
$N_{b1,Ed} = 17,04$	[kN]	Effort axial dans la poutre droite
$M_{c1,Ed} = -181,81$	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poteau inférieur
$V_{c1,Ed} = -16,99$	[kN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur
$N_{c1,Ed} = 75,76$	[kN]	Effort axial dans le poteau inférieur

## RÉSULTATS

### RÉSISTANCES DE LA POUTRE

#### TRACTION

$A_b = 72,73$	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section	EN1993-1-1:[6.2.3]
$N_{tb,Rd} = 1818,25$	[kN]	Résistance de calcul de la section à la traction	EN1993-1-1:[6.2.3]

#### CISAILLEMENT

$A_{vb} = 60,74$	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$V_{cb,Rd} = 876,68$	[kN]	Résistance de calcul de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$		$0,09 < 1,00$	vérifié (0,09)

#### FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 1019,15$	[cm <sup>3</sup> ]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{b,pl,Rd} = 254,79$	[kN*m]	Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

#### FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 2116,58$	[cm <sup>3</sup> ]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{cb,Rd} = 529,14$	[kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]

#### AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 529,14$	[kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f = 671$	[mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} = 788,40$	[kN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]

### RÉSISTANCES DU POTEAU

#### PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$M_{b1,Ed} = -181,81$	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite	[5.3.(3)]
$M_{b2,Ed} = 0,00$	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre gauche	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed} = -16,99$	[kN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed} = 0,00$	[kN]	Effort tranchant dans le poteau supérieur	[5.3.(3)]
$z = 514$	[mm]	Bras de levier	[6.2.5]
$V_{wp,Ed} = -345,52$	[kN]	Panneau d'âme en cisaillement	[5.3.(3)]
$A_{vs} = 57,33$	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de cisaillement de l'âme du poteau	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$A_{vc} = 57,33$	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$d_s = 672$	[mm]	Distance entre les centres de gravités des raidisseurs	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,fc,Rd} = 7,45$	[kN*m]	Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} = 1,13$	[kN*m]	Résistance plastique du raidisseur transversal supérieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sti,Rd} = 1,13$	[kN*m]	Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 770,26$	[kN]	Résistance du panneau d'âme au cisaillement	[6.2.6.1]
$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$		$0,45 < 1,00$	vérifié (0,45)

#### AME EN TRACTION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFÉRIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$t_{wc} = 11$	[mm]	Épaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} = 284$	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]



Pression diamétrale:

$t_{wc} = 11$ [mm]	Épaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$A_{vc} = 57,33$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega = 0,85$	Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} = 55,34$ [MPa]	Contrainte de compression maximale dans l'âme	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} = 1,00$	Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression	[6.2.6.2.(2)]
$A_s = 19,45$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$		
$F_{c,wc,Rd1} = 1079,24$ [kN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wc} = 298$ [mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p = 0,89$	Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\rho = 0,87$	Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_s = 3,38$	Elancement du raidisseur	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$\chi_s = 1,00$	Coefficient de flambement du raidisseur	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$		
$F_{c,wc,Rd2} = 992,65$ [kN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

Résistance finale:

$F_{c,wc,Rd,upp} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$		
$F_{c,wc,Rd,upp} = 992,65$ [kN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

## PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - SEMELLE DU POTEAU

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	23	-	100	-	120	144	183	144	183	192	135	135	135
2	23	-	100	-	140	144	217	144	217	280	140	140	140
3	23	-	100	-	140	144	217	144	217	280	140	140	140
4	23	-	100	-	120	144	217	144	217	240	120	120	120
5	23	-	100	-	120	144	183	144	183	192	135	135	135

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	40	-	40	-	120	253	215	215	215	247	170	170	170
2	40	-	40	-	140	253	211	211	211	280	140	140	140
3	40	-	40	-	140	253	211	211	211	280	140	140	140
4	40	-	40	-	120	253	211	211	211	240	120	120	120
5	40	-	40	-	120	253	211	211	211	247	166	166	166

m	-	Distance du boulon de l'âme
m <sub>x</sub>	-	Distance du boulon de l'aile de la poutre
e	-	Pince entre le boulon et le bord extérieur
e <sub>x</sub>	-	Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
p	-	Entraxe des boulons
l <sub>eff,cp</sub>	-	Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires
l <sub>eff,nc</sub>	-	Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires
l <sub>eff,1</sub>	-	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1
l <sub>eff,2</sub>	-	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2
l <sub>eff,cp,g</sub>	-	Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
l <sub>eff,nc,g</sub>	-	Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires
l <sub>eff,1,g</sub>	-	Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1
l <sub>eff,2,g</sub>	-	Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

## RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA TRACTION

$F_{t,Rd} = 135,65$ [kN]	Résistance du boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$B_{p,Rd} = 278,49$ [kN]	Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement	[Tableau 3.4]
$N_{j,Rd} = \text{Min}(N_{tb,Rd}, N_v n_h F_{t,Rd}, N_v n_h B_{p,Rd})$		
$N_{j,Rd} = 1356,48$ [kN]	Résistance de l'assemblage à la traction	[6.2]

**RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION**

$F_{t,Rd} = 135,65$  [kN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$B_{p,Rd} = 278,49$  [kN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$  – résistance de la semelle du poteau à la flexion

$F_{t,wc,Rd}$  – résistance de l'âme du poteau à la traction

$F_{t,ep,Rd}$  – résistance de la platine fléchée à la flexion

$F_{t,wb,Rd}$  – résistance de l'âme à la traction

$F_{t,fc,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$  [6.2.6.4], [Tab.6.2]

$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$  [6.2.6.3.(1)]

$F_{t,ep,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$  [6.2.6.5], [Tab.6.2]

$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$  [6.2.6.8.(1)]

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1**

<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t1,Rd} = \text{Min}(F_{t1,Rd,comp})$	269,06	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(1)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(1)} = 377,43$	377,43	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(1)} = 269,06$	269,06	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 430,62$	430,62	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta = 770,26$	770,26	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} = 992,65$	992,65	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} = 788,40$	788,40	Aile de la poutre - compression

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2**

<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	193,76	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(2)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(2)} = 377,43$	377,43	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(2)} = 266,61$	266,61	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 422,75$	422,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{ti,Rd} = 770,26 - 269,06$	501,19	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 992,65 - 269,06$	723,59	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 788,40 - 269,06$	519,34	Aile de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 542,19 - 269,06$	273,13	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 647,85 - 269,06$	378,78	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 462,83 - 269,06$	193,76	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 619,25 - 269,06$	350,19	Ame de la poutre - traction - groupe

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 3**

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	222,19	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(3)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(3)} = 377,43$	377,43	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(3)} = 266,61$	266,61	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 422,75$	422,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{ti,Rd} = 770,26 - 462,83$	307,43	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 992,65 - 462,83$	529,83	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 788,40 - 462,83$	325,57	Aile de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 542,59 - 193,76$	348,83	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 656,61 - 193,76$	462,84	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 813,89 - 462,83$	351,06	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 844,85 - 462,83$	382,03	Ame du poteau - traction - groupe

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 444,39 - 193,76$	250,63	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 560,00 - 193,76$	366,24	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 685,02 - 462,83$	222,19	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 899,25 - 462,83$	436,42	Ame de la poutre - traction - groupe

#### Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 137,71 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t3,Rd} = F_{t2,Rd} h_3/h_2$$

$$F_{t3,Rd} = 125,41 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

#### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min}(F_{t4,Rd,comp})$	182,02	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(4)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(4)} = 377,43$	377,43	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(4)} = 266,61$	266,61	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 422,75$	422,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^3 F_{ii,Rd} = 770,26 - 588,24$	182,02	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 992,65 - 588,24$	404,42	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 788,40 - 588,24$	200,16	Aile de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 529,14 - 125,41$	403,73	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 621,50 - 125,41$	496,09	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 802,48 - 319,17$	483,30	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 827,81 - 319,17$	508,63	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1071,34 - 588,24$	483,10	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 955,63 - 588,24$	367,40	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 431,94 - 125,41$	306,53	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 520,00 - 125,41$	394,59	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 654,14 - 319,17$	334,96	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 800,00 - 319,17$	480,83	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 894,77 - 588,24$	306,53	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1139,25 - 588,24$	551,01	Ame de la poutre - traction - groupe

#### Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 81,42 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t4,Rd} = F_{t2,Rd} h_4/h_2$$

$$F_{t4,Rd} = 74,15 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

#### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 5

<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t5,Rd} = \text{Min}(F_{t5,Rd,comp})$	107,87	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(5)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(5)} = 377,43$	377,43	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(5)} = 266,61$	266,61	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 422,75$	422,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^4 F_{ii,Rd} = 770,26 - 662,38$	107,87	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 992,65 - 662,38$	330,27	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 788,40 - 662,38$	126,02	Aile de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 524,68 - 74,15$	450,53	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 612,22 - 74,15$	538,07	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 798,01 - 199,56$	598,45	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 821,78 - 199,56$	622,22	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1071,34 - 393,32$	678,02	Aile du poteau - traction - groupe

<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 955,63 - 393,32$	562,31	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1340,20 - 662,38$	677,82	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1038,30 - 662,38$	375,91	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 447,93 - 74,15$	373,78	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 571,37 - 74,15$	497,23	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 670,12 - 199,56$	470,57	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 851,37 - 199,56$	651,82	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 892,32 - 393,32$	499,00	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1131,37 - 393,32$	738,05	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1132,95 - 662,38$	470,57	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1470,62 - 662,38$	808,24	Ame de la poutre - traction - groupe

### Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t5,Rd} = F_{t1,Rd} h_5/h_1$$

$$F_{t5,Rd} = 25,13 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t5,Rd} = F_{t2,Rd} h_5/h_2$$

$$F_{t5,Rd} = 22,88 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

### TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h <sub>j</sub>	F <sub>tj,Rd</sub>	F <sub>t,fc,Rd</sub>	F <sub>t,wc,Rd</sub>	F <sub>t,ep,Rd</sub>	F <sub>t,wb,Rd</sub>	F <sub>t,Rd</sub>	B <sub>p,Rd</sub>
1	574	269,06	271,30	377,43	269,06	430,62	271,30	556,98
2	454	193,76	271,30	377,43	266,61	422,75	271,30	556,98
3	294	125,41	271,30	377,43	266,61	422,75	271,30	556,98
4	174	74,15	271,30	377,43	266,61	422,75	271,30	556,98
5	54	22,88	271,30	377,43	266,61	422,75	271,30	556,98

### RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION M<sub>j,Rd</sub>

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

$$M_{j,Rd} = 293,12 \text{ [kN*m]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,62 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,62)$$

### RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,91 \quad \text{Coefficient réducteur pour les assemblages longs} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 105,68 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 135,65 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = 246,24 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 246,24 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance du boulon de rive en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

Nr	F <sub>tj,Rd,N</sub>	F <sub>tj,Ed,N</sub>	F <sub>tj,Rd,M</sub>	F <sub>tj,Ed,M</sub>	F <sub>tj,Ed</sub>	F <sub>vj,Rd</sub>
1	271,30	3,41	269,06	166,89	170,29	116,59
2	271,30	3,41	193,76	120,18	123,59	142,58
3	271,30	3,41	125,41	77,79	81,19	166,17
4	271,30	3,41	74,15	45,99	49,40	183,87
5	271,30	3,41	22,88	14,19	17,60	201,56

F<sub>tj,Rd,N</sub> – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

F<sub>tj,Ed,N</sub> – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

F<sub>tj,Rd,M</sub> – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

F<sub>tj,Ed,M</sub> – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

F<sub>tj,Ed</sub> – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

F<sub>vj,Rd</sub> – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (\eta_h F_{v,Ed} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 \eta_h F_{t,Rd,max})), \eta_h F_{v,Rd}, \eta_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = \eta_h \sum 1^n F_{vj,Rd}$$

$$V_{j,Rd} = 810,78 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement}$$

[Tableau 3.4]

[Tableau 3.4]

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,10 < 1,00$$

vérifié

(0,10)

## RÉSISTANCE DES SOUDURES

$A_w =$	118,88	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
$A_{wy} =$	58,08	[cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	60,80	[cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	60805,62	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp \max} = \tau_{\perp \max} =$	76,90	[MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(6)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	76,90	[MPa]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
$\tau_{\parallel} =$	-12,74	[MPa]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,85		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp \max}^2 + 3*(\tau_{\perp \max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	153,81	<	381,18	vérifié (0,40)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	155,38	<	381,18	vérifié (0,41)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$	76,90	<	291,60	vérifié (0,26)

## RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

$t_{wash} =$	4	[mm]	Épaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	12	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	16	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	61	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	4	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

## RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	h <sub>j</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>eff,j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup>
					Somme	23,59	1002,86
1	574	3	69	19	2	8,83	506,20
2	454	3	72	15	2	7,00	317,27
3	294	3	72	15	2	4,53	132,91
4	174	3	62	13	1	2,42	42,07
5	54	3	69	18	2	0,82	4,41

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

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

$$Z_{eq} = 425 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 6 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 57,33 \quad [cm^2] \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 1,00 \quad \text{Paramètre de transformation} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 425 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 5 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en cisaillement} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \infty \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en compression} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 101101,89 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = 101101,89 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

### Classification de l'assemblage par rigidité.

$$S_{j,rig} = 29788,31 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

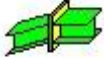

$$S_{j,pin} = 1861,77 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \quad \text{RIGIDE}$$

## COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

PANNEAU D'AME DU POTEAU EN CISAILLEMENT

**Assemblage traverse -traverse :**

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	
	<b>Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	

**GÉNÉRAL**

Assemblage N°: 6  
Nom de l'assemblage : Poutre - poutre  
Noeud de la structure: 54  
Barres de la structure: 38, 39

**GÉOMÉTRIE****GAUCHE****POUTRE**

Profilé: IPE 360  
Barre N°: 38  
 $\alpha = -170,6$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_{bl} = 360$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_{rbl} = 170$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wbl} = 8$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre  
 $t_{fbl} = 13$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre  
 $r_{bl} = 18$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $A_{bl} = 72,73$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre  
 $I_{xbl} = 16265,60$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{yb} = 275,00$  [MPa] Résistance

**DROITE****POUTRE**

Profilé: IPE 360  
Barre N°: 39  
 $\alpha = -9,4$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_{br} = 360$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_{rbr} = 170$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wbr} = 8$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre  
 $t_{fbr} = 13$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre  
 $r_{br} = 18$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $A_{br} = 72,73$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre  
 $I_{xbr} = 16265,60$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{yb} = 275,00$  [MPa] Résistance

**BOULONS**

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

$d = 14$  [mm] Diamètre du boulon  
Classe = HR 8.8 Classe du boulon  
 $F_{tRd} = 74,52$  [kN] Résistance du boulon à la traction  
 $n_h = 2$  Nombre de colonnes des boulons  
 $n_v = 5$  Nombre de rangées des boulons  
 $h_1 = 70$  [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about  
Ecartement  $e_i = 90$  [mm]  
=   
Entraxe  $p_i = 120; 120; 180; 120$  [mm]

## PLATINE

$h_{pr} = 705$  [mm] Hauteur de la platine  
 $b_{pr} = 180$  [mm] Largeur de la platine  
 $t_{pr} = 20$  [mm] Epaisseur de la platine  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{ypr} = 275,00$  [MPa] Résistance

## JARRET INFÉRIEUR

$w_{rd} = 170$  [mm] Largeur de la platine  
 $t_{rd} = 13$  [mm] Epaisseur de l'aile  
 $h_{rd} = 320$  [mm] Hauteur de la platine  
 $t_{wrd} = 8$  [mm] Epaisseur de l'âme  
 $l_{rd} = 800$  [mm] Longueur de la platine  
 $\alpha_d = 29,7$  [Deg] Angle d'inclinaison  
Matériau: ACIER  
 $f_{ybu} = 235,00$  [MPa] Résistance

## SOUDURES D'ANGLE

$a_w = 6$  [mm] Soudure âme  
 $a_f = 9$  [mm] Soudure semelle  
 $a_{fd} = 5$  [mm] Soudure horizontale

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M1} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M3} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]

## EFFORTS

---

Etat limite: ultime

Cas: 9:  $G+1.5V1 (1+14) * 1.00+2*1.50$

$M_{b1,Ed} = 84,53$  [kN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite  
 $V_{b1,Ed} = 0,65$  [kN] Effort tranchant dans la poutre droite  
 $N_{b1,Ed} = 41,92$  [kN] Effort axial dans la poutre droite

## RÉSULTATS

---

### RÉSISTANCES DE LA POUTRE

TRACTION

$A_b = 72,73$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section EN1993-1-1:[6.2.3]  
 $N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$   
 $N_{tb,Rd} = 1818,25$  [kN] Résistance de calcul de la section à la traction EN1993-1-1:[6.2.3]

## CISAILLEMENT

$A_{vb} = 60,74$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$		
$V_{cb,Rd} = 876,68$ [kN]	Résistance de calcul de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$	$0,00 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,00)

## FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 1019,15$ [cm <sup>3</sup> ]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$		
$M_{b,pl,Rd} = 254,79$ [kN*m]	Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

## FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 2116,58$ [cm <sup>3</sup> ]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$		
$M_{cb,Rd} = 529,14$ [kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]

## AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 529,14$ [kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f = 671$ [mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$		
$F_{c,fb,Rd} = 788,40$ [kN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]

## AME OU AILE DU RENFORT EN COMPRESSION - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$\beta = 9,4$ [Deg]	Angle entre la platine d'about et la poutre	
$\gamma = 29,7$ [Deg]	Angle d'inclinaison du renfort	
$b_{eff,c,wb} = 199$ [mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vb} = 35,14$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega = 0,89$	Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} = 71,83$ [MPa]	Contrainte de compression maximale dans l'âme	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} = 1,00$	Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression	[6.2.6.2.(2)]
$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$		
$F_{c,wb,Rd1} = 486,51$ [kN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wb} = 299$ [mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p = 1,03$	Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\rho = 0,78$	Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$		
$F_{c,wb,Rd2} = 381,23$ [kN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]
Résistance de l'aile du renfort		
$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0,8 \gamma_{M0})$		
$F_{c,wb,Rd3} = 674,69$ [kN]	Résistance de l'aile du renfort	[6.2.6.7.(1)]
Résistance finale:		
$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$		
$F_{c,wb,Rd,low} = 381,23$ [kN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]

## PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	34	-	45	-	120	215	212	212	212	227	176	176	176
2	34	-	45	-	120	215	193	193	193	240	120	120	120
3	34	-	45	-	150	215	193	193	193	300	150	150	150
4	34	-	45	-	150	215	193	193	193	300	150	150	150
5	34	-	45	-	120	215	193	193	193	227	157	157	157

m	- Distance du boulon de l'âme
m <sub>x</sub>	- Distance du boulon de l'aile de la poutre
e	- Pince entre le boulon et le bord extérieur
e <sub>x</sub>	- Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
p	- Entraxe des boulons



- m – Distance du boulon de l'âme
- $l_{eff,cp}$  – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires
- $l_{eff,nc}$  – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires
- $l_{eff,1}$  – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1
- $l_{eff,2}$  – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2
- $l_{eff,cp,g}$  – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
- $l_{eff,nc,g}$  – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires
- $l_{eff,1,g}$  – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1
- $l_{eff,2,g}$  – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

## RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA TRACTION

$F_{t,Rd} = 74,52$ [kN]	Résistance du boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$B_{p,Rd} = 256,50$ [kN]	Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement	[Tableau 3.4]
$N_{j,Rd} = \text{Min}(N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$		
$N_{j,Rd} = 745,20$ [kN]	Résistance de l'assemblage à la traction	[6.2]
$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$	$0,06 < 1,00$	vérifié
		(0,06)

## RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION

$F_{t,Rd} = 74,52$ [kN]	Résistance du boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$B_{p,Rd} = 256,50$ [kN]	Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement	[Tableau 3.4]
$F_{t,fc,Rd}$	– résistance de la semelle du poteau à la flexion	
$F_{t,wc,Rd}$	– résistance de l'âme du poteau à la traction	
$F_{t,ep,Rd}$	– résistance de la platine fléchée à la flexion	
$F_{t,wb,Rd}$	– résistance de l'âme à la traction	
$F_{t,fc,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$		[6.2.6.4], [Tab.6.2]
$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$		[6.2.6.3.(1)]
$F_{t,ep,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$		[6.2.6.5], [Tab.6.2]
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$		[6.2.6.8.(1)]

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1

<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t1,Rd} = \text{Min}(F_{t1,Rd,comp})$	149,04	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(1)} = 149,04$	149,04	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 424,98$	424,98	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 513,01$	513,01	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} = 788,40$	788,40	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} = 381,23$	381,23	Ame de la poutre - compression

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2

<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t2,Rd} = \text{Min}(F_{t2,Rd,comp})$	149,04	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(2)} = 149,04$	149,04	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 386,19$	386,19	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 513,01$	513,01	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 788,40 - 149,04$	639,36	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 381,23 - 149,04$	232,19	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 298,08 - 149,04$	149,04	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 591,89 - 149,04$	442,85	Ame de la poutre - traction - groupe

### Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h_2/h_1$		
$F_{t2,Rd} = 120,08$ [kN]	Résistance réduite d'une rangée de boulon	[6.2.7.2.(9)]

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 3

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	112,10	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(3)} = 149,04$	149,04	Platine d'about - traction

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t,wb,Rd(3)} = 386,19$	386,19	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 513,01$	513,01	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^2 F_{ij,Rd} = 788,40 - 269,12$	519,28	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^2 F_{ij,Rd} = 381,23 - 269,12$	112,10	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 298,08 - 120,08$	178,00	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 540,00 - 120,08$	419,92	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 447,12 - 269,12$	178,00	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 891,89 - 269,12$	622,77	Ame de la poutre - traction - groupe

#### Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 91,12 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

$$F_{t3,Rd} = F_{t2,Rd} h_3/h_2$$

$$F_{t3,Rd} = 91,12 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]\text{FRA}$$

#### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	20,98	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(4)} = 149,04$	149,04	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 386,19$	386,19	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 513,01$	513,01	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 788,40 - 360,24$	428,16	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 381,23 - 360,24$	20,98	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 298,08 - 91,12$	206,96	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 600,00 - 91,12$	508,88	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 447,12 - 211,20$	235,92	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 840,00 - 211,20$	628,80	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 596,16 - 360,24$	235,92	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1191,89 - 360,24$	831,64	Ame de la poutre - traction - groupe

#### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 5

<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t5,Rd} = \text{Min} (F_{t5,Rd,comp})$	0,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(5)} = 149,04$	149,04	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 386,19$	386,19	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 513,01$	513,01	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 788,40 - 381,23$	407,17	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 381,23 - 381,23$	0,00	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 298,08 - 20,98$	277,10	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 613,10 - 20,98$	592,12	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 447,12 - 112,10$	335,02	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 913,10 - 112,10$	800,99	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 596,16 - 232,19$	363,97	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1153,10 - 232,19$	920,91	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 745,20 - 381,23$	363,97	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1504,98 - 381,23$	1123,76	Ame de la poutre - traction - groupe

#### TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h <sub>j</sub>	F <sub>tj,Rd</sub>	F <sub>t,fc,Rd</sub>	F <sub>t,wc,Rd</sub>	F <sub>t,ep,Rd</sub>	F <sub>t,wb,Rd</sub>	F <sub>t,Rd</sub>	B <sub>p,Rd</sub>
1	618	149,04	-	-	149,04	424,98	149,04	513,01
2	498	120,08	-	-	149,04	386,19	149,04	513,01
3	378	91,12	-	-	149,04	386,19	149,04	513,01
4	198	20,98	-	-	149,04	386,19	149,04	513,01
5	78	-	-	-	149,04	386,19	149,04	513,01

#### RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION M<sub>j,Rd</sub>

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

$$M_{j,Rd} = 190,35 \quad [\text{kN}\cdot\text{m}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,44 < 1,00$$

vérifié

(0,44)

## RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT

$\alpha_v =$	0,60	Coefficient pour le calcul de $F_{v,Rd}$	[Tableau 3.4]
$\beta_{Lf} =$	0,88	Coefficient réducteur pour les assemblages longs	[3.8]
$F_{v,Rd} =$	58,66 [kN]	Résistance d'un boulon au cisaillement	[Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,max} =$	74,52 [kN]	Résistance d'un boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,int} =$	226,80 [kN]	Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,ext} =$	226,80 [kN]	Résistance du boulon de rive en pression diamétrale	[Tableau 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	149,04	8,38	149,04	66,19	74,57	75,40
2	149,04	8,38	120,08	53,33	61,71	82,63
3	149,04	8,38	91,12	40,47	48,85	89,86
4	149,04	8,38	20,98	9,32	17,70	107,37
5	149,04	8,38	0,00	0,00	8,38	112,61

$F_{tj,Rd,N}$  – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

$F_{tj,Ed,N}$  – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

$F_{tj,Rd,M}$  – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

$F_{tj,Ed,M}$  – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

$F_{tj,Ed}$  – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

$F_{vj,Rd}$  – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum_{i=1}^n F_{vj,Rd}$$

$V_{j,Rd} =$  467,87 [kN] Résistance de l'assemblage au cisaillement

[Tableau 3.4]

[Tableau 3.4]

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,00 < 1,00$$

vérifié

(0,00)

## RÉSISTANCE DES SOUDURES

$A_w =$	153,25 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
$A_{wy} =$	80,28 [cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	72,97 [cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	89008,75 [cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} =$	23,94 [MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(6)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	21,75 [MPa]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
$\tau_{\parallel} =$	0,09 [MPa]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,85	Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp,max}^2 + 3*(\tau_{\perp,max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$		47,88 < 381,18	<b>vérifié</b> (0,13)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$		43,50 < 381,18	<b>vérifié</b> (0,11)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$		23,94 < 291,60	<b>vérifié</b> (0,08)

## RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

$t_{wash} =$	3 [mm]	Épaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	10 [mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	14 [mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	51 [mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	4 [mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

## RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	$h_j$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
					Somme	50,43	2335,10
1	618	$\infty$	$\infty$	32	3	18,23	1125,94
2	498	$\infty$	$\infty$	22	3	13,51	672,41
3	378	$\infty$	$\infty$	27	3	10,80	407,73

Nr	h <sub>j</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>eff,j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup>
4	198	∞	∞	27	3	5,65	111,65
5	78	∞	∞	28	3	2,24	17,37

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

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

$$Z_{eq} = 463 \text{ [mm]} \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 11 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

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

$$S_{j,ini} = 490371,90 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = 490371,90 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

#### Classification de l'assemblage par rigidité.

$$S_{j,rig} = 29788,31 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 1861,77 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \quad \text{RIGIDE}$$

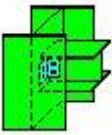

### COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

AME DE LA POUTRE OU AILE DE LA CONTREPLAQUE EN COMPRESSION

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	Ratio	0,44
--	-------	------

## Assemblage poteau-poutre sablière :

Assemblage poteau-poutre sablière (HEA120) :

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 <b>Calculs de l'assemblage poutre-poteau (âme)</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	 Ratio <b>0,34</b>

## GÉNÉRAL

Assemblage N°: 28  
Nom de l'assemblage : Poutre-poteau (âme)  
Noeud de la structure: 51  
Barres de la structure: 36, 15

## GÉOMÉTRIE

### POTEAU

Profilé: HEA 400  
Barre N°: 36  
 $\alpha = -90,0 \text{ [Deg]}$  Angle d'inclinaison  
 $h_c = 390 \text{ [mm]}$  Hauteur de la section du poteau  
 $b_{rc} = 300 \text{ [mm]}$  Largeur de la section du poteau  
 $t_{wc} = 11 \text{ [mm]}$  Epaisseur de l'âme de la section du poteau

**Profilé:** HEA 400  
 $t_{fc} = 19$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau  
 $r_c = 27$  [mm] Rayon de congé de la section du poteau  
 $A_c = 158,98$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du poteau  
 $I_{yc} = 45069,40$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la section du poteau  
**Matériau:** ACIER E28  
 $f_{yc} = 275,00$  [MPa] Résistance de calcul  
 $f_{uc} = 405,00$  [MPa] Résistance à la traction

## POUTRE

**Profilé:** HEA 120  
**Barre N°:** 15  
 $\alpha = -0,0$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_b = 114$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_b = 120$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wb} = 5$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre  
 $t_{fb} = 8$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre  
 $r_b = 12$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $A_b = 25,34$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre  
 $I_{yb} = 606,15$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre  
**Matériau:** ACIER E28  
 $f_{yb} = 275,00$  [MPa] Résistance de calcul  
 $f_{ub} = 405,00$  [MPa] Résistance à la traction

## CORNIÈRE

**Profilé:** CAE 100x10  
 $h_k = 100$  [mm] Hauteur de la section de la cornière  
 $b_k = 100$  [mm] Largeur de la section de la cornière  
 $t_{fk} = 10$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la cornière  
 $r_k = 12$  [mm] Rayon de congé de l'âme de la section de la cornière  
 $l_k = 130$  [mm] Longueur de la cornière  
**Matériau:** ACIER E28  
 $f_{yk} = 275,00$  [MPa] Résistance de calcul  
 $f_{uk} = 405,00$  [MPa] Résistance à la traction

## BOULONS

### **BOULONS ASSEMBLANT LE POTEAU A LA CORNIERE**

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

**Classe = 4.8** Classe du boulon  
 $d = 14$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 15$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $A_s = 1,15$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 $A_v = 1,54$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
 $f_{ub} = 400,00$  [MPa] Résistance à la traction  
 $k = 1$  Nombre de colonnes des boulons  
 $w = 2$  Nombre de rangées des boulons  
 $e_1 = 35$  [mm] Niveau du premier boulon  
 $p_1 = 60$  [mm] Entraxe

### **BOULONS ASSEMBLANT LA CORNIERE A LA POUTRE**

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

**Classe = 4.8** Classe du boulon  
 $d = 16$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 18$  [mm] Diamètre du trou de boulon

Classe =	4.8		Classe du boulon
$A_s =$	1,57	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace du boulon
$A_v =$	2,01	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du boulon
$f_{ub} =$	400,00	[MPa]	Résistance à la traction
$k =$	1		Nombre de colonnes des boulons
$w =$	2		Nombre de rangées des boulons
$e_1 =$	35	[mm]	Niveau du premier boulon
$p_1 =$	60	[mm]	Entraxe

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

## EFFORTS

Cas:	8:	1.35G+1.5T	(1+14) * 1.35+4*1.50
$N_{b,Ed} =$	-0,35	[kN]	Effort axial
$V_{b,Ed} =$	0,80	[kN]	Effort tranchant
$M_{b,Ed} =$	0,84	[kN*m]	Moment fléchissant

## RÉSULTATS

### BOULONS ASSEMBLANT LE POTEAU A LA CORNIERE

#### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} =$	29,5	[kN]	Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non filetée d'un	$F_{v,Rd} =$	
	6		boulon		$0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$
$F_{t,Rd} =$	33,1	[kN]	Résistance d'un boulon à la traction	$F_{t,Rd} =$	$0.9 * f_u * A_s / \gamma_{M2}$
	2				

#### 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		
$\alpha_{bx} =$	0,99	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 * d_0), f_{ub}/f_u, 1]$		
$\alpha_{bx} > 0.0$		0,99 > 0,00	vérifié		
$F_{b,Rd1x} =$	123,20	[kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd1x} =$	$k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direction z					
$k_{1z} =$	2,50	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$		
$k_{1z} > 0.0$		2,50 > 0,00	vérifié		
$\alpha_{bz} =$	0,99	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 * d_0), p_1/(3 * d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$		
$\alpha_{bz} > 0.0$		0,99 > 0,00	vérifié		
$F_{b,Rd1z} =$	123,20	[kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd1z} =$	$k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

#### Pression du boulon sur la cornière

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		
$\alpha_{bx} =$	0,78	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 * d_0), f_{ub}/f_u, 1]$		
$\alpha_{bx} > 0.0$		0,78 > 0,00	vérifié		
$F_{b,Rd2x} =$	88,20	[kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2x} =$	$k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direction z					
$k_{1z} =$	2,50	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$		
$k_{1z} > 0.0$		2,50 > 0,00	vérifié		
$\alpha_{bz} =$	0,78	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 * d_0), p_1/(3 * d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$		
$\alpha_{bz} > 0.0$		0,78 > 0,00	vérifié		

$F_{b,Rd2z} = 88,20$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale

$$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

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

### cisaillement des boulons

$e = 68$  [mm] Distance du centre de gravité du groupe de boulons de la cornière du centre de l'âme de la poutre

$M_0 = 0,0$  [kN\*m] Moment fléchissant réel  $M_0 = 0.5 \cdot V_{b,Ed} \cdot e$

$F_{Vz} = 0,2$  [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant  $F_{Vz} = 0.5 \cdot |V_{b,Ed}| / n$

$F_{Mx} = 0,4$  [kN] Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment  $F_{Mx} = |M_0| \cdot z_i / \sum z_i^2$

$F_{x,Ed} = 0,4$  [kN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x  $F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$

$F_{z,Ed} = 0,2$  [kN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z  $F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$

$F_{Ed} = 0,4$  [kN] Effort tranchant résultant dans le boulon  $F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$

$F_{Rdx} = 88,20$  [kN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x  $F_{Rdx} = \min(F_{b,Rd1x}, F_{b,Rd2x})$

$F_{Rdz} = 88,20$  [kN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z  $F_{Rdz} = \min(F_{b,Rd1z}, F_{b,Rd2z})$

$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 0,45  < 29,56$	vérifié	(0,01)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 0,20  < 29,56$	vérifié	(0,00)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$0,49 < 29,56$	vérifié	(0,02)

### Traction des boulons

$e = 71$  [mm] Distance du centre de gravité du groupe de boulons du centre de l'âme du poteau

$M_{0t} = 0,4$  [kN\*m] Moment fléchissant réel  $M_{0t} = 0.5 \cdot (M_{b,Ed} + V_{b,Ed} \cdot e)$

$F_{t,Ed} = 7,3$  [kN] Effort de traction dans le boulon extrême  $F_{t,Ed} = M_{0t} \cdot z_{max} / \sum z_i^2 + 0.5 \cdot N_{b2,Ed} / n$

$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$   $7,35 < 33,12$  vérifié (0,22)

### Action simultanée de l'effort de traction et de cisaillement dans le boulon

$F_{v,Ed} = 0,49$  [kN] Effort tranchant résultant dans le boulon  $F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$

$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1.4 \cdot F_{t,Rd}) \leq 1.0$   $0,18 < 1,00$  vérifié (0,18)

## BOULONS ASSEMBLANT LA CORNIERE A LA POUTRE

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 77,2$  [kN] Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non filetée d'un boulon

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$$

### Pression du boulon sur la poutre

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

$\alpha_{bx} = 0,93$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bx} = \min[e_2 / (3 \cdot d_0), f_{ub} / f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$   $0,93 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1x} = 60,00$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

$\alpha_{bz} = 0,50$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bz} = \min[e_1 / (3 \cdot d_0), p_1 / (3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub} / f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $0,50 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1z} = 32,40$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

### Pression du boulon sur la cornière

Direction x

$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8*(e_1/d_0) - 1.7, 1.4*(p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bx} = 0,65$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,65 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd2x} = 168,00$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t / \gamma_{M2}$
<b>Direction z</b>		
$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8*(e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bz} = 0,65$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$0,65 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd2z} = 168,00$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t / \gamma_{M2}$

## FORCES AGISSANT SUR LES BOULONS DANS L'ASSEMBLAGE CORNIERE - POUTRE

### cisaillement des boulons

$e = 71$ [mm]	Distance du centre de gravité du groupe de boulons du centre de l'âme du poteau	
$M_0 = 0,89$ [kN*m]	Moment fléchissant réel	$M_0 = M_{b,Ed} + V_{b,Ed} * e$
$F_{Nx} = 0,17$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{Nx} =  N_{b,Ed}  / n$
$F_{Vz} = 0,40$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	$F_{Vz} =  V_{b,Ed}  / n$
$F_{Mx} = 14,87$ [kN]	Force résultante dans le boulon due au moment sur la direction x	$F_{Mx} =  M_0  * z_i / \sum(x_i^2 + z_i^2)$
$F_{Mz} = 0,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due au moment sur la direction z	$F_{Mz} =  M_0  * x_i / \sum(x_i^2 + z_i^2)$
$F_{x,Ed} = 15,04$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$
$F_{z,Ed} = 0,40$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$
$F_{Ed} = 15,05$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 60,00$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} = 32,40$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 15,04  < 60,00$	<b>vérifié</b> (0,25)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 0,40  < 32,40$	<b>vérifié</b> (0,01)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$15,05 < 77,21$	<b>vérifié</b> (0,19)

## VERIFICATION DE LA SECTION POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC (EFFORT TRANSVERSAL)

### CORNIÈRE

$A_{nt} = 2,60$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} = 6,80$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} = 140,27$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ 0.5 * V_{b,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ 0,40  < 140,27$	<b>vérifié</b> (0,00)

### POUTRE

$A_{nt} = 2,05$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} = 3,00$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} = 76,51$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ V_{b,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ 0,80  < 76,51$	<b>vérifié</b> (0,01)



## VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA SECTION DE LA CORNIERE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$A_t =$	6,44	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone tendue de la section brute	
$A_{t,net} =$	4,64	[cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$			0,65 < 0,77	
$W_{net} =$	27,22	[cm <sup>3</sup> ]	Facteur élastique de la section	
$M_{c,Rdnet} =$	6,80	[kN*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}$			0,45  < 6,80	<b>vérifié</b> (0,07)
$A_v =$	13,00	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace en cisaillement	$A_v = I_a \cdot t_{fa}$
$A_{v,net} =$	9,40	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace nette en cisaillement	$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0$
$V_{pl,Rd} =$	187,64	[kN]	Résistance plastique de calcul pour le cisaillement	$V_{pl,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
$ 0.5 \cdot V_{b,Ed}  \leq V_{pl,Rd}$			0,40  < 187,64	<b>vérifié</b> (0,00)

## VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$A_t =$	2,83	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone tendue de la section brute	
$A_{t,net} =$	1,93	[cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$0.9 \cdot (A_{t,net}/A_t) \geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0})$			0,61 < 0,77	
$W_{net} =$	10,65	[cm <sup>3</sup> ]	Facteur élastique de la section	
$M_{c,Rdnet} =$	2,66	[kN*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}$			0,89  < 2,66	<b>vérifié</b> (0,34)
$A_v =$	5,70	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace en cisaillement	
$A_{v,net} =$	3,90	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace nette en cisaillement	$A_{v,net} = A_v - n_v \cdot d_0$
$V_{pl,Rd} =$	82,27	[kN]	Résistance plastique de calcul pour le cisaillement	$V_{pl,Rd} = (A_{v,net} \cdot f_y) / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$
$V_{b,Ed} \leq V_{pl,Rd}$			0,80  < 82,27	<b>vérifié</b> (0,01)

## REMARQUES

Pince boulon-extrémité horizontale de la cornière de l'aile supérieure de la poutre trop faible	-16 [mm] < 12 [mm]
Pince boulon-extrémité horizontale de la cornière de l'aile inférieure de la poutre trop faible	-16 [mm] < 12 [mm]
Pince boulon-extrémité aile de la poutre trop faible	19 [mm] < 28 [mm]
Pince boulon-extrémité inférieure de l'aile de la poutre trop faible	19 [mm] < 28 [mm]

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme** Ratio 0,34

Assemblage poteau-poutres sablière (HEA120 et HEA160)

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	
	<b>Calculs de l'assemblage poutre-poteau (âme)</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	

## GÉNÉRAL

Assemblage N°:	26
Nom de l'assemblage :	Poutre-poteau (âme)
Noeud de la structure:	56

Assemblage N°: 26  
Barres de la structure: 40, 56, 54

## GÉOMÉTRIE

### POTEAU

Profilé: HEA 400  
Barre N°: 40  
 $\alpha = -90,0$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_c = 390$  [mm] Hauteur de la section du poteau  
 $b_{fc} = 300$  [mm] Largeur de la section du poteau  
 $t_{wc} = 11$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau  
 $t_{fc} = 19$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau  
 $r_c = 27$  [mm] Rayon de congé de la section du poteau  
 $A_c = 158,98$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du poteau  
 $I_{yc} = 45069,40$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la section du poteau  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{yc} = 275,00$  [MPa] Résistance de calcul  
 $f_{uc} = 405,00$  [MPa] Résistance à la traction

### GAUCHE

### POUTRE

Profilé: HEA 120  
Barre N°: 56  
 $\alpha = 0,0$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_{bl} = 114$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_{bl} = 120$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wbl} = 5$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre  
 $t_{fbl} = 8$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre  
 $r_{bl} = 12$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $A_b = 25,34$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre  
 $I_{ybl} = 606,15$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{ybl} = 275,00$  [MPa] Résistance de calcul  
 $f_{ubl} = 405,00$  [MPa] Résistance à la traction

### CORNIÈRE

Profilé: CAE 100x10  
 $\alpha = 0,0$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_{kl} = 100$  [mm] Hauteur de la section de la cornière  
 $b_{kl} = 100$  [mm] Largeur de la section de la cornière  
 $t_{fkl} = 10$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la cornière  
 $r_{kl} = 12$  [mm] Rayon de congé de l'âme de la section de la cornière  
 $l_{kl} = 130$  [mm] Longueur de la cornière  
Matériau: ACIER E28  
 $f_{ykl} = 275,00$  [MPa] Résistance de calcul  
 $f_{ukl} = 405,00$  [MPa] Résistance à la traction

### BOULONS

#### **BOULONS ASSEMBLANT LA CORNIÈRE A LA POUTRE**

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

Classe =	4.8	Classe du boulon
d =	14 [mm]	Diamètre du boulon
d <sub>0</sub> =	15 [mm]	Diamètre du trou de boulon
A <sub>s</sub> =	1,15 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace du boulon
A <sub>v</sub> =	1,54 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du boulon
f <sub>ub</sub> =	400,00 [MPa]	Résistance à la traction
k =	1	Nombre de colonnes des boulons
w =	2	Nombre de rangées des boulons
e <sub>1</sub> =	25 [mm]	Niveau du premier boulon
p <sub>1</sub> =	50 [mm]	Entraxe

## DROITE

## POUTRE

Profilé:	HEA 160
Barre N°:	54
α =	0,0 [Deg] Angle d'inclinaison
h <sub>br</sub> =	152 [mm] Hauteur de la section de la poutre
b <sub>br</sub> =	160 [mm] Largeur de la section de la poutre
t <sub>wbr</sub> =	6 [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
t <sub>fbr</sub> =	9 [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
r <sub>br</sub> =	15 [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
A <sub>br</sub> =	38,77 [cm <sup>2</sup> ] Aire de la section de la poutre
I <sub>ybr</sub> =	1672,98 [cm <sup>4</sup> ] Moment d'inertie de la poutre
Matériau:	ACIER E28
f <sub>ybr</sub> =	275,00 [MPa] Résistance de calcul
f <sub>ubr</sub> =	405,00 [MPa] Résistance à la traction

## CORNIÈRE

Profilé:	CAE 100x10
h <sub>kr</sub> =	100 [mm] Hauteur de la section de la cornière
b <sub>kr</sub> =	100 [mm] Largeur de la section de la cornière
t <sub>fkr</sub> =	10 [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la cornière
r <sub>kr</sub> =	12 [mm] Rayon de congé de l'âme de la section de la cornière
l <sub>kr</sub> =	170 [mm] Longueur de la cornière
Matériau:	ACIER E28
f <sub>ykr</sub> =	275,00 [MPa] Résistance de calcul
f <sub>ukr</sub> =	405,00 [MPa] Résistance à la traction

## BOULONS

### **BOULONS ASSEMBLANT LE POTEAU A LA CORNIERE**

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

Classe =	4.8	Classe du boulon
d =	14 [mm]	Diamètre du boulon
d <sub>0</sub> =	15 [mm]	Diamètre du trou de boulon
A <sub>s</sub> =	1,15 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace du boulon
A <sub>v</sub> =	1,54 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du boulon
f <sub>ub</sub> =	400,00 [MPa]	Résistance à la traction
k =	1	Nombre de colonnes des boulons
w =	2	Nombre de rangées des boulons
e <sub>1</sub> =	30 [mm]	Niveau du premier boulon
p <sub>1</sub> =	60 [mm]	Entraxe

## BOULONS ASSEMBLANT LA CORNIERE A LA POUTRE

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

Classe =	4,8		Classe du boulon
d =	16	[mm]	Diamètre du boulon
d <sub>0</sub> =	18	[mm]	Diamètre du trou de boulon
A <sub>s</sub> =	1,57	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace du boulon
A <sub>v</sub> =	2,01	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du boulon
f <sub>ub</sub> =	400,00	[MPa]	Résistance à la traction
k =	1		Nombre de colonnes des boulons
w =	2		Nombre de rangées des boulons
e <sub>1</sub> =	30	[mm]	Niveau du premier boulon
p <sub>1</sub> =	70	[mm]	Entraxe

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

γ <sub>M0</sub> =	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
γ <sub>M2</sub> =	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

## EFFORTS

Cas: 7: 1.35G+1.5Q (1+14) \*1.35+6\*1.50

### GAUCHE

N <sub>b2,Ed</sub> =	5,67	[kN]	Effort axial
V <sub>b2,Ed</sub> =	0,71	[kN]	Effort tranchant
M <sub>b2,Ed</sub> =	0,66	[kN*m]	Moment fléchissant

### DROITE

N <sub>b1,Ed</sub> =	4,04	[kN]	Effort axial
V <sub>b1,Ed</sub> =	1,51	[kN]	Effort tranchant
M <sub>b1,Ed</sub> =	1,86	[kN*m]	Moment fléchissant

## RÉSULTATS

### GAUCHE

## BOULONS ASSEMBLANT LE POTEAU A LA CORNIERE

### RÉSISTANCE DES BOULONS

F <sub>v,Rd</sub> =	29,5	[kN]	Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non filetée d'un = 6 ] boulon	F <sub>v,Rd</sub> = 0.6*f <sub>ub</sub> *A <sub>v</sub> *m/γ <sub>M2</sub>
F <sub>t,Rd</sub> =	33,1	[kN]	Résistance d'un boulon à la traction 2 ]	F <sub>t,Rd</sub> = 0.9*f <sub>u</sub> *A <sub>s</sub> /γ <sub>M2</sub>

### Pression du boulon sur la cornière

Direction x

k <sub>1x</sub> =	2,50	Coefficient pour le calcul de F <sub>b,Rd</sub>	k <sub>1x</sub> =min[2.8*(e <sub>1</sub> /d <sub>0</sub> )-1.7, 1.4*(p <sub>1</sub> /d <sub>0</sub> )-1.7, 2.5]
k <sub>1x</sub> > 0.0	2,50	> 0,00	vérifié
α <sub>bx</sub> =	0,78	Coefficient pour le calcul de F <sub>b,Rd</sub>	α <sub>bx</sub> =min[e <sub>2</sub> /(3*d <sub>0</sub> ), f <sub>ub</sub> /f <sub>u</sub> , 1]
α <sub>bx</sub> > 0.0	0,78	> 0,00	vérifié

F<sub>b,Rd2x</sub> = 88,20 [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale F<sub>b,Rd2x</sub>=k<sub>1x</sub>\*α<sub>bx</sub>\*f<sub>u</sub>\*d\*ti/γ<sub>M2</sub>

Direction z

k <sub>1z</sub> =	2,50	Coefficient pour le calcul de F <sub>b,Rd</sub>	k <sub>1z</sub> =min[2.8*(e <sub>2</sub> /d <sub>0</sub> )-1.7, 2.5]
-------------------	------	---	--

$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>	
$\alpha_{bz} = 0,67$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$		$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$0,67 > 0,00$	<b>vérifié</b>	
$F_{b,Rd2z} = 75,60$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale		$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

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

### cisaillement des boulons

$e = 68$ [mm]	Distance du centre de gravité du groupe de boulons de la cornière du centre de l'âme de la poutre		
$M_0 = 0,0$ [kN*m]	Moment fléchissant réel		$M_0 = 0.5 * V_{b2,Ed} * e$
$F_{Vz} = 0,18$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		$F_{Vz} = 0.5 *  V_{b1,Ed}  / n$
$F_{Mx} = 0,40$ [kN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment		$F_{Mx} =  M_0  * z_i / \sum z_i^2$
$F_{x2,Ed} = 0,40$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x		$F_{x2,Ed} = F_{Mx}$
$F_{z2,Ed} = 0,18$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z		$F_{z2,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$
$F_{Ed} = 0,44$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 88,20$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x		$F_{Rdx} = F_{bRd2x}$
$F_{Rdz} = 75,60$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z		$F_{Rdz} = F_{bRd2z}$
$ F_{x2,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 0,40  < 88,20$	<b>vérifié</b>	(0,00)
$ F_{z2,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 0,18  < 75,60$	<b>vérifié</b>	(0,00)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$0,44 < 29,56$	<b>vérifié</b>	(0,01)

### Traction des boulons

$e = 71$ [mm]	Distance du centre de gravité du groupe de boulons du centre de l'âme du poteau		
$M_{0t} = 0,35$ [kN*m]	Moment fléchissant réel		$M_{0t} = 0.5 * (M_{b2,Ed} + V_{b2,Ed} * e)$
$F_{t,Ed} = 7,32$ [kN]	Effort de traction dans le boulon extrême		$F_{t,Ed} = M_{0t} * z_{max} / \sum z_i^2 + 0.5 * N_{b2,Ed} / n$
$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	$7,32 < 33,12$	<b>vérifié</b>	(0,22)

### Action simultanée de l'effort de traction et de cisaillement dans le boulon

$F_{v,Ed} = 0,44$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/(1.4 * F_{t,Rd}) \leq 1.0$	$0,17 < 1,00$	<b>vérifié</b>	(0,17)

## BOULONS ASSEMBLANT LA CORNIERE A LA POUTRE

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 59,1$ [kN]	Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non filetée d'un boulon		$F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$
------------------------	---	--	---

### Pression du boulon sur la poutre

Direction x			
$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$		$k_{1x} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>	
$\alpha_{bx} = 0,99$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$		$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,99 > 0,00$	<b>vérifié</b>	
$F_{b,Rd1x} = 56,00$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale		$F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direction z			
$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$		$k_{1z} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>	
$\alpha_{bz} = 0,62$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$		$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$0,62 > 0,00$	<b>vérifié</b>	

$$F_{b,Rd1z} = 35,28 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

### Pression du boulon sur la cornière

Direction x

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

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$\alpha_{bx} = 0,78 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 0,78 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd2x} = 176,40 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Direction z

$$k_{1z} = 2,50 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{b,Rd} \quad k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$\alpha_{bz} = 0,56 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 0,56 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd2z} = 126,00 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

## FORCES AGISSANT SUR LES BOULONS DANS L'ASSEMBLAGE CORNIERE - POUTRE

### cisaillement des boulons

$$e = 71 \text{ [mm]} \quad \text{Distance du centre de gravité du groupe de boulons du centre de l'âme du poteau}$$

$$M_0 = 0,73 \text{ [kN} \cdot \text{m]} \quad \text{Moment fléchissant réel} \quad M_0 = M_{b2,Ed} + V_{b2,Ed} \cdot e$$

$$F_{Nx} = 2,84 \text{ [kN]} \quad \text{Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial} \quad F_{Nx} = |N_{b2,Ed}| / n$$

$$F_{Vz} = 0,36 \text{ [kN]} \quad \text{Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant} \quad F_{Vz} = |V_{b2,Ed}| / n$$

$$F_{Mx} = 14,61 \text{ [kN]} \quad \text{Force résultante dans le boulon due au moment sur la direction x} \quad F_{Mx} = |M_0| \cdot z_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$$

$$F_{Mz} = 0,00 \text{ [kN]} \quad \text{Force résultante dans le boulon due au moment sur la direction z} \quad F_{Mz} = |M_0| \cdot x_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$$

$$F_{x,Ed} = 17,45 \text{ [kN]} \quad \text{Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x} \quad F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$$

$$F_{z2,Ed} = 0,36 \text{ [kN]} \quad \text{Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z} \quad F_{z2,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$$

$$F_{Ed} = 17,45 \text{ [kN]} \quad \text{Effort tranchant résultant dans le boulon} \quad F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z2,Ed}^2}$$

$$F_{Rdx} = 56,00 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x} \quad F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$$

$$F_{Rdz} = 35,28 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z} \quad F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$$

$$|F_{x,Ed}| \leq F_{Rdx} \quad |17,45| < 56,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,31)$$

$$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz} \quad |0,36| < 35,28 \quad \text{vérifié} \quad (0,01)$$

$$F_{Ed} \leq F_{v,Rd} \quad 17,45 < 59,11 \quad \text{vérifié} \quad (0,30)$$

## VERIFICATION DE LA SECTION POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC (EFFORT AXIAL)

### CORNIÈRE

$$A_{nt} = 3,50 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire nette de la zone de la section en traction}$$

$$A_{nv} = 5,50 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la zone de la section en traction}$$

$$V_{effRd} = 192,79 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous} \quad V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

$$|0.5 \cdot N_{b2,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |2,84| < 192,79 \quad \text{vérifié} \quad (0,01)$$

### POUTRE

$$A_{nt} = 1,75 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire nette de la zone de la section en traction}$$

$$A_{nv} = 4,25 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la zone de la section en traction}$$

$$V_{effRd} = 118,04 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous} \quad V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

$$|N_{b2,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |5,67| < 118,04 \quad \text{vérifié} \quad (0,05)$$

## VERIFICATION DE LA SECTION POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC (EFFORT TRANSVERSAL)

## CORNIÈRE

$$\begin{aligned} A_{nt} &= 2,75 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire nette de la zone de la section en traction} \\ A_{nv} &= 8,25 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la zone de la section en traction} \\ V_{effRd} &= 163,63 \text{ [kN]} \text{ Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous} \\ &= \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{(1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} \\ |0,5 \cdot V_{b2,Ed}| &\leq V_{effRd} \quad |0,36| < 163,63 \quad \text{vérifié} \quad (0,00) \end{aligned}$$

## POUTRE

$$\begin{aligned} A_{nt} &= 2,12 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire nette de la zone de la section en traction} \\ A_{nv} &= 3,17 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la zone de la section en traction} \\ V_{effRd} &= 80,25 \text{ [kN]} \text{ Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous} \\ &= \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{(1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv}}{\gamma_{M0}} \\ |V_{b2,Ed}| &\leq V_{effRd} \quad |0,71| < 80,25 \quad \text{vérifié} \quad (0,01) \end{aligned}$$

## VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA SECTION DE LA CORNIERE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$$\begin{aligned} A_t &= 7,59 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la zone tendue de la section brute} \\ A_{t,net} &= 6,09 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire nette de la zone de la section en traction} \\ 0,9 \cdot (A_{t,net}/A_t) &\geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0}) \quad 0,72 < 0,77 \\ W_{net} &= 26,04 \text{ [cm}^3\text{]} \text{ Facteur élastique de la section} \\ M_{c,Rdnet} &= 6,51 \text{ [kN}\cdot\text{m]} \text{ Résistance de calcul de la section à la flexion} \\ &= \frac{W_{net} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} \\ |M_0| &\leq M_{c,Rdnet} \quad |0,37| < 6,51 \quad \text{vérifié} \quad (0,06) \\ A_v &= 13,00 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la section efficace en cisaillement} \\ A_{v,net} &= 10,00 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la section efficace nette en cisaillement} \\ V_{pl,Rd} &= 187,64 \text{ [kN]} \text{ Résistance plastique de calcul pour le cisaillement} \\ &= \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \\ |0,5 \cdot V_{b2,Ed}| &\leq V_{pl,Rd} \quad |0,36| < 187,64 \quad \text{vérifié} \quad (0,00) \end{aligned}$$

## VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$$\begin{aligned} A_t &= 3,27 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la zone tendue de la section brute} \\ A_{t,net} &= 2,52 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire nette de la zone de la section en traction} \\ 0,9 \cdot (A_{t,net}/A_t) &\geq (f_y \cdot \gamma_{M2}) / (f_u \cdot \gamma_{M0}) \quad 0,69 < 0,77 \\ W_{net} &= 10,11 \text{ [cm}^3\text{]} \text{ Facteur élastique de la section} \\ M_{c,Rdnet} &= 2,53 \text{ [kN}\cdot\text{m]} \text{ Résistance de calcul de la section à la flexion} \\ &= \frac{W_{net} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} \\ |M_0| &\leq M_{c,Rdnet} \quad |0,73| < 2,53 \quad \text{vérifié} \quad (0,29) \\ A_v &= 5,70 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la section efficace en cisaillement} \\ A_{v,net} &= 4,20 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la section efficace nette en cisaillement} \\ V_{pl,Rd} &= 82,27 \text{ [kN]} \text{ Résistance plastique de calcul pour le cisaillement} \\ &= \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \\ V_{b2,Ed} &\leq V_{pl,Rd} \quad |0,71| < 82,27 \quad \text{vérifié} \quad (0,01) \end{aligned}$$

## DROITE

### BOULONS ASSEMBLANT LE POTEAU A LA CORNIERE

#### RÉSISTANCE DES BOULONS

$$\begin{aligned} F_{v,Rd} &= 29,5 \text{ [kN]} \text{ Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non fileté d'un} \\ &= 6 \text{ ] boulon} \\ &= \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m}{\gamma_{M2}} \\ F_{t,Rd} &= 33,1 \text{ [kN]} \text{ Résistance d'un boulon à la traction} \\ &= 2 \text{ ]} \\ &= \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \end{aligned}$$

#### Pression du boulon sur la cornière

Direction x

$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8*(e_1/d_0) - 1.7, 1.4*(p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bx} = 0,78$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,78 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd2x} = 88,20$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
<b>Direction z</b>		
$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8*(e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bz} = 0,67$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$0,67 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd2z} = 75,60$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

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

### cisaillement des boulons

$e = 68$ [mm]	Distance du centre de gravité du groupe de boulons de la cornière du centre de l'âme de la poutre	
$M_0 = 0,0$ [kN*m]	Moment fléchissant réel	$M_0 = 0.5 * V_{b2,Ed} * e$
$F_{Vz} = 0,3$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	$F_{Vz} = 0.5 *  V_{b2,Ed}  / n$
$F_{Mx} = 0,8$ [kN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment	$F_{Mx} =  M_0  * z_i / \sum z_i^2$
$F_{x1,Ed} = 0,8$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x1,Ed} = F_{Mx}$
$F_{z1,Ed} = 0,3$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z1,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$
$F_{Ed} = 0,9$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed})^2 + (F_{z,Ed})^2}$
$F_{Rdx} = 88,20$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = F_{bRd2x}$
$F_{Rdz} = 75,60$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = F_{bRd2z}$
$ F_{x1,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 0,86  < 88,20$	<b>vérifié</b> (0,01)
$ F_{z1,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 0,38  < 75,60$	<b>vérifié</b> (0,00)
$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$0,94 < 29,56$	<b>vérifié</b> (0,03)

### Traction des boulons

$e = 71$ [mm]	Distance du centre de gravité du groupe de boulons du centre de l'âme du poteau	
$M_{0t} = 0,98$ [kN*m]	Moment fléchissant réel	$M_{0t} = 0.5 * (M_{b1,Ed} + V_{b1,Ed} * e)$
$F_{t,Ed} = 17,3$ [kN]	Effort de traction dans le boulon extrême	$F_{t,Ed} = M_{0t} * z_{max} / \sum z_i^2 + 0.5 * N_{b2,Ed} / n$
$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	$17,37 < 33,12$	<b>vérifié</b> (0,52)

### Action simultanée de l'effort de traction et de cisaillement dans le boulon

$F_{v,Ed} = 0,94$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{v,Ed} = \sqrt{(F_{x,Ed})^2 + (F_{z,Ed})^2}$
$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/(1.4 * F_{t,Rd}) \leq 1.0$	$0,41 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,41)

## BOULONS ASSEMBLANT LA CORNIERE A LA POUTRE

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 77,2$ [kN]	Résistance du boulon au cisaillement dans la partie non fileté d'un boulon	$F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$
------------------------	--	---

### Pression du boulon sur la poutre

<b>Direction x</b>		
$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8*(e_1/d_0) - 1.7, 1.4*(p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bx} = 0,93$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$



$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,93 > 0,00$	<b>vérifié</b>
---------------------	---------------	----------------

$F_{b,Rd1x} = 72,00$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$
---------------------------	---	---

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
----------------	---------------	----------------

$\alpha_{bz} = 0,76$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bz} > 0.0$	$0,76 > 0,00$	<b>vérifié</b>
---------------------	---------------	----------------

$F_{b,Rd1z} = 59,04$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$
---------------------------	---	---

### Pression du boulon sur la cornière

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
----------------	---------------	----------------

$\alpha_{bx} = 0,65$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bx} > 0.0$	$0,65 > 0,00$	<b>vérifié</b>
---------------------	---------------	----------------

$F_{b,Rd2x} = 168,00$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$
----------------------------	---	---

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
----------------	---------------	----------------

$\alpha_{bz} = 0,56$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
----------------------	--	--

$\alpha_{bz} > 0.0$	$0,56 > 0,00$	<b>vérifié</b>
---------------------	---------------	----------------

$F_{b,Rd2z} = 144,00$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2}$
----------------------------	---	---

## FORCES AGISSANT SUR LES BOULONS DANS L'ASSEMBLAGE CORNIERE - POUTRE

### cisaillement des boulons

$e = 71$ [mm]	Distance du centre de gravité du groupe de boulons du centre de l'âme du poteau
---------------	---

$M_0 = 1,96$ [kN*m]	Moment fléchissant réel	$M_0 = V_{b1,Ed} \cdot e$
---------------------	-------------------------	---------------------------

$F_{Nx} = 2,02$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{Nx} =  N_{b1,Ed} /n$
----------------------	---	--------------------------

$F_{Vz} = 0,76$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	$F_{Vz} =  V_{b1,Ed} /n$
----------------------	---	--------------------------

$F_{Mx} = 28,04$ [kN]	Force résultante dans le boulon due au moment sur la direction x	$F_{Mx} =  M_0  \cdot z_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$
-----------------------	--	---

$F_{Mz} = 0,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due au moment sur la direction z	$F_{Mz} =  M_0  \cdot x_i / \sum (x_i^2 + z_i^2)$
----------------------	--	---

$F_{x,Ed} = 30,06$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$
-------------------------	--	------------------------------

$F_{z1,Ed} = 0,76$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z1,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$
-------------------------	--	-------------------------------

$F_{Ed} = 30,07$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
-----------------------	---	---

$F_{Rdx} = 72,00$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
------------------------	--	--

$F_{Rdz} = 59,04$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
------------------------	--	--

$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 30,06  < 72,00$	<b>vérifié</b>	(0,42)
---------------------------	-------------------	----------------	--------

$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 0,76  < 59,04$	<b>vérifié</b>	(0,01)
---------------------------	------------------	----------------	--------

$F_{Ed} \leq F_{v,Rd}$	$30,07 < 77,21$	<b>vérifié</b>	(0,39)
------------------------	-----------------	----------------	--------

## VERIFICATION DE LA SECTION POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC (EFFORT AXIAL)

### CORNIÈRE

$A_{nt} = 5,20$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction
------------------------------------	---

$A_{nv} = 5,20$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction
------------------------------------	---

$V_{effRd} = 243,54$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
---------------------------	--	--

$ 0.5 \cdot N_{b1,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ 2,02  < 243,54$	<b>vérifié</b>	(0,01)
--	-------------------	----------------	--------

### POUTRE

$A_{nt} = 3,12$  [cm<sup>2</sup>] Aire nette de la zone de la section en traction  
 $A_{nv} = 4,92$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la zone de la section en traction  
 $V_{effRd} = 172,10$  [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous  $V_{effRd} = f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$   
 $|N_{b1,Ed}| \leq V_{effRd}$   $|4,04| < 172,10$  **vérifié** (0,02)

## VERIFICATION DE LA SECTION POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC (EFFORT TRANSVERSAL)

### **CORNIÈRE**

$A_{nt} = 2,60$  [cm<sup>2</sup>] Aire nette de la zone de la section en traction  
 $A_{nv} = 11,30$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la zone de la section en traction  
 $V_{effRd} = 205,2$  [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous  $V_{effRd} = 0,5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$   
 $|0,5 * V_{b1,Ed}| \leq V_{effRd}$   $|0,76| < 205,22$  **vérifié** (0,00)

### **POUTRE**

$A_{nt} = 2,46$  [cm<sup>2</sup>] Aire nette de la zone de la section en traction  
 $A_{nv} = 5,04$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la zone de la section en traction  
 $V_{effRd} = 112,6$  [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous  $V_{effRd} = 0,5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$   
 $|V_{b1,Ed}| \leq V_{effRd}$   $|1,51| < 112,60$  **vérifié** (0,01)

## VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA SECTION DE LA CORNIERE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$A_t = 9,00$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la zone tendue de la section brute  
 $A_{t,net} = 7,20$  [cm<sup>2</sup>] Aire nette de la zone de la section en traction  
 $0,9 * (A_{t,net} / A_t) \geq (f_y * \gamma_{M2}) / (f_u * \gamma_{M0})$   $0,72 < 0,77$   
 $W_{net} = 44,34$  [cm<sup>3</sup>] Facteur élastique de la section  
 $M_{c,Rdnet} = 11,09$  [kN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion  $M_{c,Rdnet} = W_{net} * f_{yp} / \gamma_{M0}$   
 $|M_0| \leq M_{c,Rdnet}$   $|0,98| < 11,09$  **vérifié** (0,09)  
 $A_v = 17,00$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace en cisaillement  $A_v = I_a * t_f$   
 $A_{v,net} = 13,40$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace nette en cisaillement  $A_{v,net} = A_v - n_v * d_0$   
 $V_{pl,Rd} = 245,37$  [kN] Résistance plastique de calcul pour le cisaillement  $V_{pl,Rd} = (A_{v,net} * f_y) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$   
 $|0,5 * V_{b1,Ed}| \leq V_{pl,Rd}$   $|0,76| < 245,37$  **vérifié** (0,00)

## VERIFICATION DE LA RESISTANCE DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$A_t = 4,80$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la zone tendue de la section brute  
 $A_{t,net} = 3,72$  [cm<sup>2</sup>] Aire nette de la zone de la section en traction  
 $0,9 * (A_{t,net} / A_t) \geq (f_y * \gamma_{M2}) / (f_u * \gamma_{M0})$   $0,70 < 0,77$   
 $W_{net} = 21,39$  [cm<sup>3</sup>] Facteur élastique de la section  
 $M_{c,Rdnet} = 5,35$  [kN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion  $M_{c,Rdnet} = W_{net} * f_{yp} / \gamma_{M0}$   
 $|M_0| \leq M_{c,Rdnet}$   $|1,96| < 5,35$  **vérifié** (0,37)  
 $A_v = 9,12$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace en cisaillement  
 $A_{v,net} = 6,96$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace nette en cisaillement  $A_{v,net} = A_v - n_v * d_0$   
 $V_{pl,Rd} = 131,64$  [kN] Résistance plastique de calcul pour le cisaillement  $V_{pl,Rd} = (A_{v,net} * f_y) / (\sqrt{3} * \gamma_{M0})$   
 $|V_{b1,Ed}| \leq V_{pl,Rd}$   $|1,51| < 131,64$  **vérifié** (0,01)

## VÉRIFICATION DU POTEAU

## PRESSION DU BOULON SUR L'AME DU POTEAU

Direction x			
$k_x =$	2,50	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_x = \min[2.8*(e_1/d_0)-1.7, 1.4*(p_1/d_0)-1.7, 2.5]$
$k_x > 0.0$		2,50 > 0,00	vérifié
$\alpha_{bx} =$	0,99	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bx} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$		0,99 > 0,00	vérifié
$F_{b,Rdx} = 123,20$	[kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rdx} = k_x * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$
Direction z			
$k_z =$	2,50	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_z = \min[2.8*(e_2/d_0)-1.7, 2.5]$
$k_z > 0.0$		2,50 > 0,00	vérifié
$\alpha_{bz} =$	0,99	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0)-0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$		0,99 > 0,00	vérifié
$F_{b,Rdz} = 123,20$	[kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rdz} = k_z * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

## FORCE RESULTANTE AGISSANT SUR LE BOULON DE RIVE



$F_{x,Ed} = 1,26$	[kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{x1,Ed} + F_{x2,Ed}$
$F_{z,Ed} = 0,56$	[kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{z1,Ed} + F_{z2,Ed}$
$ F_{x,Ed}  \leq F_{b,Rdx}$		$ 1,26  < 123,20$	vérifié (0,01)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{b,Rdz}$		$ 0,56  < 123,20$	vérifié (0,00)

## REMARQUES

Pince boulon-extrémité horizontale de la cornière gauche de l'aile supérieure de la poutre trop faible	3 [mm] < 12 [mm]
Pince boulon-extrémité horizontale de la cornière gauche de l'aile inférieure de la poutre trop faible	-35 [mm] < 12 [mm]
Pince boulon-extrémité horizontale de la cornière droite de l'aile supérieure de la poutre trop faible	2 [mm] < 15 [mm]
Pince boulon-extrémité horizontale de la cornière droite de l'aile inférieure de la poutre trop faible	-38 [mm] < 15 [mm]
Pince boulon-extrémité inférieure de l'aile de la poutre gauche trop faible	20 [mm] < 26 [mm]

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	Ratio	0,52
--	-------	------

## Assemblage Poteau- support de chemin de roulement:

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	
	<b>Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau</b> NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	

## GÉNÉRAL

Assemblage N°:	44
Nom de l'assemblage :	Poutre - poteau
Noeud de la structure:	593
Barres de la structure:	45, 683

## GÉOMÉTRIE

### POTEAU

Profilé:	HEA 400		
Barre N°:	45		
$\alpha =$	-90,0	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	390	[mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	300	[mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	11	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	19	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	27	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	158,98	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau
$I_{xc} =$	45069,40	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la section du poteau
Matériau:	ACIER E28		
$f_{yc} =$	275,00	[MPa]	Résistance

### POUTRE

Profilé:	ipe 360		
Barre N°:	683		
$\alpha =$	-0,0	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_b =$	360	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
$b_f =$	170	[mm]	Largeur de la section de la poutre
$t_{wb} =$	8	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
$t_{fb} =$	13	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
$r_b =$	18	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$r_b =$	18	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$A_b =$	72,73	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section de la poutre
$I_{xb} =$	16265,60	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la poutre
Matériau:	ACIER E28		
$f_{yb} =$	275,00	[MPa]	Résistance

### BOULONS

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

$d =$	16	[mm]	Diamètre du boulon
Classe =	HR 10.9		Classe du boulon
$F_{tRd} =$	135,65	[kN]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	2		Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	6		Nombre de rangées des boulons
$h_1 =$	60	[mm]	Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
Ecartement $e_i =$	80	[mm]	
Entraxe $p_i =$	75;75;75;120;75	[mm]	

### PLATINE

$h_p =$	565	[mm]	Hauteur de la platine
$b_p =$	180	[mm]	Largeur de la platine
$t_p =$	20	[mm]	Epaisseur de la platine
Matériau:	ACIER E28		
$f_{yp} =$	275,00	[MPa]	Résistance

### JARRET INFÉRIEUR

$w_d =$	170	[mm]	Largeur de la platine
$t_{fd} =$	13	[mm]	Epaisseur de l'aile
$h_d =$	180	[mm]	Hauteur de la platine

## JARRET INFÉRIEUR

$w_d =$	170	[mm]	Largeur de la platine
$t_{wd} =$	8	[mm]	Épaisseur de l'âme
$l_d =$	800	[mm]	Longueur de la platine
$\alpha =$	12,7	[Deg]	Angle d'inclinaison
Matériau:	ACIER E28		
$f_{ybu} =$	275,00	[MPa]	Résistance

## RAIDISSEUR POTEAU

### Supérieur

$h_{su} =$	352	[mm]	Hauteur du raidisseur
$b_{su} =$	145	[mm]	Largeur du raidisseur
$t_{hu} =$	8	[mm]	Épaisseur du raidisseur
Matériau:	ACIER		
$f_{ysu} =$	235,00	[MPa]	Résistance

### Inférieur

$h_{sd} =$	352	[mm]	Hauteur du raidisseur
$b_{sd} =$	145	[mm]	Largeur du raidisseur
$t_{hd} =$	8	[mm]	Épaisseur du raidisseur
Matériau:	ACIER		
$f_{ysu} =$	235,00	[MPa]	Résistance

## SOUDURES D'ANGLE

$a_w =$	5	[mm]	Soudure âme
$a_r =$	7	[mm]	Soudure semelle
$a_s =$	5	[mm]	Soudure du raidisseur
$a_{rd} =$	5	[mm]	Soudure horizontale

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

## EFFORTS

---

### Etat limite: ultime

Cas: 7:  $1.35G+1.5Q (1+14) * 1.35+6*1.50$

$M_{b1,Ed} =$	123,80	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed} =$	167,12	[kN]	Effort tranchant dans la poutre droite
$N_{b1,Ed} =$	-39,23	[kN]	Effort axial dans la poutre droite
$M_{c1,Ed} =$	-148,16	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poteau inférieur
$V_{c1,Ed} =$	-44,71	[kN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur
$N_{c1,Ed} =$	-139,75	[kN]	Effort axial dans le poteau inférieur
$M_{c2,Ed} =$	-31,49	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poteau supérieur
$V_{c2,Ed} =$	5,79	[kN]	Effort tranchant dans le poteau supérieur
$N_{c2,Ed} =$	-34,86	[kN]	Effort axial dans le poteau supérieur

## RÉSULTATS

---

## RÉSISTANCES DE LA POUTRE

### COMPRESSION

$A_b =$  72,73 [cm<sup>2</sup>] Aire de la section

EN1993-1-1:[6.2.4]

$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$   
 $N_{cb,Rd} = 1818,25$  [kN] Résistance de calcul de la section à la compression EN1993-1-1:[6.2.4]

### CISAILLEMENT

$A_{vb} = 49,54$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$

$V_{cb,Rd} = 715,02$  [kN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$   $0,23 < 1,00$  **vérifié** (0,23)

### FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 1019,15$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

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

$M_{b,pl,Rd} = 254,79$  [kN\*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

### FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 1681,21$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

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

$M_{cb,Rd} = 420,30$  [kN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

### AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 420,30$  [kN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_f = 527$  [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

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

$F_{c,fb,Rd} = 797,32$  [kN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

### AME OU AILE DU RENFORT EN COMPRESSION - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$\beta = 0,0$  [Deg] Angle entre la platine d'about et la poutre

$\gamma = 12,7$  [Deg] Angle d'inclinaison du renfort

$b_{eff,c,wb} = 231$  [mm] Largeur efficace de l'âme à la compression [6.2.6.2.(1)]

$A_{vb} = 35,14$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$\omega = 0,86$  Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement [6.2.6.2.(1)]

$\sigma_{com,Ed} = 119,03$  [MPa] Contrainte de compression maximale dans l'âme [6.2.6.2.(2)]

$k_{wc} = 1,00$  Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression [6.2.6.2.(2)]

$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$

$F_{c,wb,Rd1} = 1761,86$  [kN] Résistance de l'âme de la poutre [6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wb} = 299$  [mm] Hauteur de l'âme comprimée [6.2.6.2.(1)]

$\lambda_p = 1,11$  Elancement de plaque [6.2.6.2.(1)]

$\rho = 0,74$  Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément [6.2.6.2.(1)]

$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$

$F_{c,wb,Rd2} = 1303,48$  [kN] Résistance de l'âme de la poutre [6.2.6.2.(1)]

Résistance finale:

$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2})$

$F_{c,wb,Rd,low} = 1303,48$  [kN] Résistance de l'âme de la poutre [6.2.6.2.(1)]

## RÉSISTANCES DU POTEAU

### PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$M_{b1,Ed} = 123,80$  [kN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite [5.3.(3)]

$M_{b2,Ed} = 0,00$  [kN\*m] Moment fléchissant dans la poutre gauche [5.3.(3)]

$V_{c1,Ed} = -44,71$  [kN] Effort tranchant dans le poteau inférieur [5.3.(3)]

$V_{c2,Ed} = 5,79$  [kN] Effort tranchant dans le poteau supérieur [5.3.(3)]

$Z = 446$  [mm] Bras de levier [6.2.5]

$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / Z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$

$V_{wp,Ed} = 302,83$  [kN] Panneau d'âme en cisaillement [5.3.(3)]

$A_{vs} = 57,33$  [cm<sup>2</sup>] Aire de cisaillement de l'âme du poteau EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$A_{vc} = 57,33$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$d_s = 537$  [mm] Distance entre les centres de gravités des raidisseurs [6.2.6.1.(4)]

$M_{pl,fc,Rd} = 7,45$  [kN\*m] Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion [6.2.6.1.(4)]

$M_{pl,stu,Rd} = 1,13$  [kN\*m] Résistance plastique du raidisseur transversal supérieur en flexion [6.2.6.1.(4)]

$M_{pl,sti,Rd} = 1,13$  [kN\*m] Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion [6.2.6.1.(4)]

$$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} \cdot f_{y,wc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd}) / d_s)$$

$$V_{wp,Rd} = 776,67 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du panneau d'âme au cisaillement} \quad [6.2.6.1]$$

$$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0 \quad 0,39 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,39)$$

### AME EN COMPRESSION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$$t_{wc} = 11 \quad [\text{mm}] \quad \text{Epaisseur efficace de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(6)]$$

$$b_{eff,c,wc} = 303 \quad [\text{mm}] \quad \text{Largeur efficace de l'âme à la compression} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$A_{vc} = 57,33 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\omega = 0,83 \quad \text{Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\sigma_{com,Ed} = 57,77 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Contrainte de compression maximale dans l'âme} \quad [6.2.6.2.(2)]$$

$$k_{wc} = 1,00 \quad \text{Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression} \quad [6.2.6.2.(2)]$$

$$A_s = 19,28 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.4]}$$

$$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$$

$$F_{c,wc,Rd1} = 1106,20 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Flambement:

$$d_{wc} = 298 \quad [\text{mm}] \quad \text{Hauteur de l'âme comprimée} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_p = 0,92 \quad \text{Elancement de plaque} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\rho = 0,85 \quad \text{Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_s = 3,38 \quad \text{Elancement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$\chi_s = 1,00 \quad \text{Coefficient de flambement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = 1002,04 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$$

$$F_{c,wc,Rd} = 1002,04 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

### AME EN TRACTION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$$t_{wc} = 11 \quad [\text{mm}] \quad \text{Epaisseur efficace de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(6)]$$

$$b_{eff,c,wc} = 302 \quad [\text{mm}] \quad \text{Largeur efficace de l'âme à la compression} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$A_{vc} = 57,33 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\omega = 0,83 \quad \text{Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\sigma_{com,Ed} = 57,77 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Contrainte de compression maximale dans l'âme} \quad [6.2.6.2.(2)]$$

$$k_{wc} = 1,00 \quad \text{Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression} \quad [6.2.6.2.(2)]$$

$$A_s = 19,28 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.4]}$$

$$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$$

$$F_{c,wc,Rd1} = 1105,69 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Flambement:

$$d_{wc} = 298 \quad [\text{mm}] \quad \text{Hauteur de l'âme comprimée} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_p = 0,92 \quad \text{Elancement de plaque} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\rho = 0,85 \quad \text{Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_s = 3,38 \quad \text{Elancement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$\chi_s = 1,00 \quad \text{Coefficient de flambement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = 1001,84 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wc,Rd,upp} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$$

$$F_{c,wc,Rd,upp} = 1001,84 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

## PARAMÈTRES GÉOMÉTRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - SEMELLE DU POTEAU

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	13	-	110	-	75	81	103	81	103	116	46	46	46
2	13	-	110	-	75	81	189	81	189	150	75	75	75
3	13	-	110	-	75	81	189	81	189	150	75	75	75
4	13	-	110	-	98	81	189	81	189	195	98	98	98

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
5	13	-	110	-	98	81	189	81	189	195	98	98	98
6	13	-	110	-	75	81	103	81	103	116	46	46	46

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,cp</sub>	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,cp,g</sub>	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1,g</sub>	l <sub>eff,2,g</sub>
1	30	-	50	-	75	191	210	191	210	170	155	155	155
2	30	-	50	-	75	191	184	184	184	150	75	75	75
3	30	-	50	-	75	191	184	184	184	150	75	75	75
4	30	-	50	-	98	191	184	184	184	195	98	98	98
5	30	-	50	-	98	191	184	184	184	195	98	98	98
6	30	-	50	-	75	191	184	184	184	170	129	129	129

- m – Distance du boulon de l'âme
- m<sub>x</sub> – Distance du boulon de l'aile de la poutre
- e – Pince entre le boulon et le bord extérieur
- e<sub>x</sub> – Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
- p – Entraxe des boulons
- l<sub>eff,cp</sub> – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires
- l<sub>eff,nc</sub> – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires
- l<sub>eff,1</sub> – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1
- l<sub>eff,2</sub> – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2
- l<sub>eff,cp,g</sub> – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
- l<sub>eff,nc,g</sub> – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires
- l<sub>eff,1,g</sub> – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1
- l<sub>eff,2,g</sub> – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

### RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA COMPRESSION

$$N_{j,Rd} = \text{Min} ( N_{cb,Rd} 2 F_{c,wb,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,upp} )$$

$$N_{j,Rd} = 1818,25 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la compression} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

### RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION

$$F_{t,Rd} = 135,65 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance du boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$B_{p,Rd} = 278,49 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

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

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} ( F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd} ) \quad [6.2.6.4] , [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} ( F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd} ) \quad [6.2.6.5] , [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.8.(1)]$$

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1

F <sub>t1,Rd,comp</sub> - Formule	F <sub>t1,Rd,comp</sub>	Composant
F <sub>t1,Rd</sub> = Min ( F <sub>t1,Rd,comp</sub> )	219,47	Résistance d'une rangée de boulon
F <sub>t,fc,Rd(1)</sub> = 271,30	271,30	Aile du poteau - traction
F <sub>t,wc,Rd(1)</sub> = 219,47	219,47	Ame du poteau - traction
F <sub>t,ep,Rd(1)</sub> = 271,30	271,30	Platine d'about - traction
F <sub>t,wb,Rd(1)</sub> = 381,30	381,30	Ame de la poutre - traction
B <sub>p,Rd</sub> = 556,98	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
V <sub>wp,Rd</sub> /β = 776,67	776,67	Panneau d'âme - compression
F <sub>c,wc,Rd</sub> = 1002,04	1002,04	Ame du poteau - compression
F <sub>c,fb,Rd</sub> = 797,32	797,32	Aile de la poutre - compression
F <sub>c,wb,Rd</sub> = 1303,48	1303,48	Ame de la poutre - compression

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2



<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	102,57	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(2)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(2)} = 219,47$	219,47	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(2)} = 271,30$	271,30	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 367,75$	367,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd/\beta} - \sum_1^1 F_{ii,Rd} = 776,67 - 219,47$	557,20	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1002,04 - 219,47$	782,57	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 797,32 - 219,47$	577,85	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1303,48 - 219,47$	1084,00	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 489,79 - 219,47$	270,32	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 322,04 - 219,47$	102,57	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 470,09 - 219,47$	250,61	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 460,55 - 219,47$	241,08	Ame de la poutre - traction - groupe

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 3

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	173,66	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(3)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(3)} = 219,47$	219,47	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(3)} = 271,30$	271,30	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 367,75$	367,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd/\beta} - \sum_1^2 F_{ii,Rd} = 776,67 - 322,04$	454,63	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1002,04 - 322,04$	680,00	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 797,32 - 322,04$	475,28	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 1303,48 - 322,04$	981,43	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 534,64 - 102,57$	432,07	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 391,94 - 102,57$	289,37	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 757,11 - 322,04$	435,07	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 495,70 - 322,04$	173,66	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 411,29 - 102,57$	308,72	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 300,00 - 102,57$	197,43	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 675,73 - 322,04$	353,69	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 610,55 - 322,04$	288,51	Ame de la poutre - traction - groupe

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	171,34	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(4)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(4)} = 219,47$	219,47	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(4)} = 271,30$	271,30	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 367,75$	367,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd/\beta} - \sum_1^3 F_{ii,Rd} = 776,67 - 495,70$	280,97	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 1002,04 - 495,70$	506,34	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 797,32 - 495,70$	301,62	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 1303,48 - 495,70$	807,77	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 542,59 - 173,66$	368,93	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 443,82 - 173,66$	270,17	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 813,89 - 276,23$	537,66	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 598,52 - 276,23$	322,29	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 1059,42 - 495,70$	563,71	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 679,42 - 495,70$	183,72	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 427,77 - 173,66$	254,12	Platine d'about - traction - groupe

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 345,00 - 173,66$	171,34	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 633,42 - 276,23$	357,19	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 495,00 - 276,23$	218,77	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 897,86 - 495,70$	402,16	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 805,55 - 495,70$	309,85	Ame de la poutre - traction - groupe

#### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 5

<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t5,Rd} = \text{Min}(F_{t5,Rd,comp})$	109,63	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(5)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(5)} = 219,47$	219,47	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(5)} = 271,30$	271,30	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 367,75$	367,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^4 F_{ii,Rd} = 776,67 - 667,04$	109,63	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 1002,04 - 667,04$	335,00	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 797,32 - 667,04$	130,28	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^4 F_{ij,Rd} = 1303,48 - 667,04$	636,43	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 542,59 - 171,34$	371,25	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 493,24 - 171,34$	321,90	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 813,89 - 345,00$	468,89	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 639,30 - 345,00$	294,30	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 1085,18 - 447,57$	637,61	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 757,27 - 447,57$	309,70	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1356,48 - 667,04$	689,44	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 817,28 - 667,04$	150,24	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 444,25 - 171,34$	272,91	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{ij,Rd} = 390,00 - 171,34$	218,66	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 649,90 - 345,00$	304,90	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{ij,Rd} = 540,00 - 345,00$	195,00	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 855,55 - 447,57$	407,97	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{ij,Rd} = 690,00 - 447,57$	242,43	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1119,98 - 667,04$	452,94	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{ij,Rd} = 1000,55 - 667,04$	333,51	Ame de la poutre - traction - groupe

#### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 6

<b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t6,Rd} = \text{Min}(F_{t6,Rd,comp})$	0,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(6)} = 271,30$	271,30	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(6)} = 219,47$	219,47	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(6)} = 271,30$	271,30	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(6)} = 367,75$	367,75	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 556,98$	556,98	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^5 F_{ii,Rd} = 776,67 - 776,67$	0,00	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^5 F_{ij,Rd} = 1002,04 - 776,67$	225,37	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^5 F_{ij,Rd} = 797,32 - 776,67$	20,65	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^5 F_{ij,Rd} = 1303,48 - 776,67$	526,81	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{ij,Rd} = 524,77 - 109,63$	415,15	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{ij,Rd} = 376,87 - 109,63$	267,24	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{ij,Rd} = 813,89 - 280,97$	532,92	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{ij,Rd} = 586,54 - 280,97$	305,58	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{ij,Rd} = 1085,18 - 454,63$	630,56	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{ij,Rd} = 715,05 - 454,63$	260,42	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 5^2 F_{ij,Rd} = 1356,48 - 557,20$	799,28	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 5^2 F_{ij,Rd} = 817,28 - 557,20$	260,09	Ame du poteau - traction - groupe

<b>F<sub>t,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 5^1 F_{ij,Rd} = 1584,19 - 776,67$	807,52	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 5^1 F_{ij,Rd} = 868,97 - 776,67$	92,30	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{ij,Rd} = 467,64 - 109,63$	358,01	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{ij,Rd} = 453,87 - 109,63$	344,25	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{ij,Rd} = 689,77 - 280,97$	408,80	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{ij,Rd} = 648,87 - 280,97$	367,90	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{ij,Rd} = 895,41 - 454,63$	440,79	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{ij,Rd} = 798,87 - 454,63$	344,25	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 5^2 F_{ij,Rd} = 1101,06 - 557,20$	543,86	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 5^2 F_{ij,Rd} = 948,87 - 557,20$	391,67	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 5^1 F_{ij,Rd} = 1365,50 - 776,67$	588,83	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum 5^1 F_{ij,Rd} = 1259,43 - 776,67$	482,76	Ame de la poutre - traction - groupe

#### TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h <sub>j</sub>	F <sub>tj,Rd</sub>	F <sub>t,fc,Rd</sub>	F <sub>t,wc,Rd</sub>	F <sub>t,ep,Rd</sub>	F <sub>t,wb,Rd</sub>	F <sub>t,Rd</sub>	B <sub>p,Rd</sub>
1	483	219,47	271,30	219,47	271,30	381,30	271,30	556,98
2	408	102,57	271,30	219,47	271,30	367,75	271,30	556,98
3	333	173,66	271,30	219,47	271,30	367,75	271,30	556,98
4	258	171,34	271,30	219,47	271,30	367,75	271,30	556,98
5	138	109,63	271,30	219,47	271,30	367,75	271,30	556,98
6	63	-	271,30	219,47	271,30	367,75	271,30	556,98

#### RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION M<sub>j,Rd</sub>

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

$$M_{j,Rd} = 265,40 \text{ [kN*m]} \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

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

#### RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,94 \quad \text{Coefficient réducteur pour les assemblages longs} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 109,30 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 135,65 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = 246,24 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 246,24 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance du boulon de rive en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

Nr	F <sub>tj,Rd,N</sub>	F <sub>tj,Ed,N</sub>	F <sub>tj,Rd,M</sub>	F <sub>tj,Ed,M</sub>	F <sub>tj,Ed</sub>	F <sub>vj,Rd</sub>
1	271,30	-6,54	219,47	102,38	95,84	163,44
2	271,30	-6,54	102,57	47,85	41,31	194,82
3	271,30	-6,54	173,66	81,01	74,47	175,74
4	271,30	-6,54	171,34	79,93	73,39	176,36
5	271,30	-6,54	109,63	51,14	44,60	192,93
6	271,30	-6,54	0,00	0,00	-6,54	218,59

F<sub>tj,Rd,N</sub> – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

F<sub>tj,Ed,N</sub> – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

F<sub>tj,Rd,M</sub> – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

F<sub>tj,Ed,M</sub> – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

F<sub>tj,Ed</sub> – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

F<sub>vj,Rd</sub> – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd}$$

$$V_{j,Rd} = 1121,87 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,15 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,15)$$

## RÉSISTANCE DES SOUDURES

$A_w =$	109,28	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
$A_{wy} =$	62,72	[cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]
$A_{wz} =$	46,56	[cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
$I_{wy} =$	41295,36	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp \max} = \tau_{\perp \max} =$	62,13	[MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(6)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	54,62	[MPa]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
$\tau_{\parallel} =$	35,89	[MPa]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
$\beta_w =$	0,85		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp \max}^2 + 3*(\tau_{\perp \max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	124,26	<	381,18	vérifié (0,33)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	125,70	<	381,18	vérifié (0,33)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$	62,13	<	291,60	vérifié (0,21)

## RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

$t_{wash} =$	4	[mm]	Épaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	12	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	16	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	61	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	4	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

### RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	h <sub>j</sub>	k <sub>3</sub>	k <sub>4</sub>	k <sub>5</sub>	k <sub>eff,j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub>	k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup>
					Somme	17,15	594,91
1	483	1	133	40	1	3,82	184,66
2	408	2	216	19	1	4,50	183,62
3	333	2	216	19	1	3,67	122,39
4	258	2	233	25	1	3,04	78,52
5	138	2	233	25	1	1,63	22,54
6	63	1	133	33	1	0,50	3,17

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

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

$$Z_{eq} = 347 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 5 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 57,33 \quad [cm^2] \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 1,00 \quad \text{Paramètre de transformation} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 347 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 6 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en cisaillement} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \infty \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en compression} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 69903,24 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = 69903,24 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

### **Classification de l'assemblage par rigidité.**

$$S_{j,rig} = 273262,08 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 17078,88 \quad [kN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} \leq S_{j,ini} < S_{j,rig} \quad \text{SEMI-RIGIDE}$$

## COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

PANNEAU D'ÂME DU POTEAU EN CISAILLEMENT

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

## Assemblage du contreventement :

Assemblage de la diagonale du palee de stabilite



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

### Calcul de l'assemblage au gousset

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



Ratio  
**0,46**

## GÉNÉRAL

Assemblage N°: 50  
Nom de l'assemblage : Gousset - contreventement  
Noeud de la structure: 89  
Barres de la structure: 283, 281, 284, 282,

## GÉOMÉTRIE

### BARRES

	Barre 1	Barre 2	Barre 3	Barre 4	
<b>Barre N° :</b>	283	281	284	282	
<b>Profilé:</b>	UPN 120	UPN 120	UPN 120	UPN 120	
h	120	120	120	120	mm
b <sub>f</sub>	55	55	55	55	mm
t <sub>w</sub>	7	7	7	7	mm
t <sub>f</sub>	9	9	9	9	mm
r	9	9	9	9	mm
A	17,00	17,00	17,00	17,00	cm <sup>2</sup>
<b>Matériau:</b>	ACIER E28	ACIER E28	ACIER E28	ACIER E28	
f <sub>y</sub>	275,00	275,00	275,00	275,00	MPa
f <sub>u</sub>	405,00	405,00	405,00	405,00	MPa
<b>Angle</b>	α	50,0	50,0	50,0	Deg
<b>Longueur</b>	l	0,00	0,00	0,00	m

### BOULONS

#### Barre 1

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

Classe = 10.9 Classe du boulon  
d = 12 [mm] Diamètre du boulon  
d<sub>0</sub> = 13 [mm] Diamètre du trou de boulon  
A<sub>s</sub> = 0,84 [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
A<sub>v</sub> = 1,13 [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
f<sub>yb</sub> = 900,00 [MPa] Limite de plasticité  
f<sub>ub</sub> = 1200,00 [MPa] Résistance du boulon à la traction  
n = 3 Nombre de colonnes des boulons  
Espacement des boulons 60;60 [mm]  
e<sub>1</sub> = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

Espacement des boulons 60;60 [mm]  
 $e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 60$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Barre 2

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

Classe = 10.9 Classe du boulon  
 $d = 12$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 13$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $A_s = 0,84$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 $A_v = 1,13$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
 $f_{yb} = 900,00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 1200,00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 3$  Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 60$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Barre 3

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

Classe = 10.9 Classe du boulon  
 $d = 12$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 13$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $A_s = 0,84$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 $A_v = 1,13$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
 $f_{yb} = 900,00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 1200,00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 3$  Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 60$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Barre 4

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

Classe = 10.9 Classe du boulon  
 $d = 12$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 13$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $A_s = 0,84$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 $A_v = 1,13$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
 $f_{yb} = 900,00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 1200,00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 3$  Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 60$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

## GOUSSET

$l_p = 660$  [mm] Longueur de la platine  
 $h_p = 660$  [mm] Hauteur de la platine  
 $t_p = 8$  [mm] Epaisseur de la platine

### Paramètres

$h_1 = 200$  [mm] Grugeage  
 $v_1 = 200$  [mm] Grugeage  
 $h_2 = 200$  [mm] Grugeage  
 $v_2 = 200$  [mm] Grugeage  
 $h_3 = 200$  [mm] Grugeage

$h_1 = 200$  [mm] Grugeage  
 $v_3 = 200$  [mm] Grugeage  
 $h_4 = 200$  [mm] Grugeage  
 $v_4 = 200$  [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;0)

$e_v = 330$  [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres  
 $e_H = 330$  [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériau: ACIER E28

$f_y = 275,00$  [MPa] Résistance

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]

## EFFORTS

Cas: 8: 1.35G+1.5T (1+14)\*1.35+4\*1.50

$N_{b1,Ed} = -86,42$  [kN] Effort axial  
 $N_{b2,Ed} = 56,86$  [kN] Effort axial  
 $N_{b3,Ed} = -86,89$  [kN] Effort axial  
 $N_{b4,Ed} = 56,41$  [kN] Effort axial

## RÉSULTATS

### BARRE 1

#### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 65,14$  [kN] 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 la barre

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

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

$\alpha_{bx} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1x} = 68,0$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

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

$\alpha_{bz} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1z} = 68,04$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

#### Pression du boulon sur la platine

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

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

$\alpha_{bx} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd2x} = 77,7$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$	
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	vérifié
$F_{b,Rd2z} = 77,76$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$	

## VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

### cisaillement des boulons

$F_{NSd} = -28,81$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial $F_{NSd} = N_{b1,Ed}/n$	
$F_{x,Ed} = -28,81$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x $F_{x,Ed} = F_{NSd}$	
$F_{z,Ed} = 0,00$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z $F_{z,Ed} = F_{MSd}$	
$F_{Ed} = 28,81$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon $F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$	
$F_{Rdx} = 68,04$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x $F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$	
$F_{Rdz} = 68,04$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z $F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$	
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ -28,81  < 68,04$	vérifié (0,42)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 0,00  < 68,04$	vérifié (0,00)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$28,81 < 65,14$	vérifié (0,44)

## VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$A_{net} = 16,09$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette $A_{net} = A - t * d_0$	
$N_{uRd} = 469,18$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette $N_{u,Rd} = (0.9 * A_{net} * f_{u1}) / \gamma_{M2}$	
$N_{plRd} = 425,00$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute $N_{plRd} = A * f_{y1} / \gamma_{M0}$	
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{tRd}$	$ -86,42  < 469,18$	vérifié (0,18)
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ -86,42  < 425,00$	vérifié (0,20)

## VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} = 3,74$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} = 8,92$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} = 189,4$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous $V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$	
$ N_{b1,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ -86,42  < 189,49$	vérifié (0,46)

## BARRE 2

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 65,14$ [kN]	Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement $F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$	
-------------------------	---	--

#### Pression du boulon sur la barre

##### Direction x

$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $k_{1x} = \min[2.8 * (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$	
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
$\alpha_{bx} = 1,00$	Coefficient dépendant de l'espacement des boulons $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$	
$\alpha_{bx} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	vérifié
$F_{b,Rd1x} = 68,04$ [kN]	Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou $F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$	

##### Direction z

$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $k_{1z} = \min[2.8 * (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 * (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$	
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	vérifié
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$ $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$	
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	vérifié
$F_{b,Rd1z} = 68,04$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$	

#### Pression du boulon sur la platine

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



$\alpha_{bx} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd2x} = 77,76$ [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou $F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$		
Direction z		
$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd2z} = 77,76$ [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale $F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$		

## VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

### cisaillement des boulons

$F_{NSd} = 18,95$ [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{NSd} = N_{b2,Ed} / n$
$F_{x,Ed} = 18,95$ [kN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} = 0,00$ [kN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} = 18,95$ [kN] Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 68,04$ [kN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} = 68,04$ [kN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 18,95  < 68,04$ <b>vérifié</b> (0,28)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 0,00  < 68,04$ <b>vérifié</b> (0,00)
$F_{Ed} \leq F_{VRd}$	$18,95 < 65,14$ <b>vérifié</b> (0,29)

## VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$A_{net} = 16,09$ [cm <sup>2</sup> ] Aire de la section nette	$A_{net} = A - t \cdot d_0$
$N_{uRd} = 469,18$ [kN] Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{u2}) / \gamma_{M2}$
$N_{plRd} = 425,00$ [kN] Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{plRd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$
$ N_{b2,Ed}  \leq N_{tRd}$	$ 56,86  < 469,18$ <b>vérifié</b> (0,12)
$ N_{b2,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ 56,86  < 425,00$ <b>vérifié</b> (0,13)

## VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} = 3,74$ [cm <sup>2</sup> ] Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} = 8,92$ [cm <sup>2</sup> ] Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} = 189,49$ [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b2,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ 56,86  < 189,49$ <b>vérifié</b> (0,30)

## BARRE 3

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 65,14$  [kN] 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 la barre

Direction x		
$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bx} = 1,00$	Coefficient dépendant de l'espacement des boulons	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bx} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	<b>vérifié</b>
Direction z		
$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	<b>vérifié</b>

$$F_{b,Rd1z} = 68,04 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

### Pression du boulon sur la platine

Direction x

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

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

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

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 1,00 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd2x} = 77,7 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou} \quad F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Direction z

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

$$k_{1z} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

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

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 1,00 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd2z} = 77,76 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

## VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

### cisaillement des boulons

$$F_{NSd} = -28,96 \text{ [kN]} \quad \text{Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial} \quad F_{NSd} = N_{b3,Ed} / n$$

$$F_{x,Ed} = -28,96 \text{ [kN]} \quad \text{Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x} \quad F_{x,Ed} = F_{NSd}$$

$$F_{z,Ed} = 0,00 \text{ [kN]} \quad \text{Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z} \quad F_{z,Ed} = F_{MSd}$$

$$F_{Ed} = 28,96 \text{ [kN]} \quad \text{Effort tranchant résultant dans le boulon} \quad F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$$

$$F_{Rdx} = 68,04 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x} \quad F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$$

$$F_{Rdz} = 68,04 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z} \quad F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$$

$$|F_{x,Ed}| \leq F_{Rdx} \quad |-28,96| < 68,04 \quad \text{vérifié} \quad (0,43)$$

$$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz} \quad |0,00| < 68,04 \quad \text{vérifié} \quad (0,00)$$

$$F_{Ed} \leq F_{VRd} \quad 28,96 < 65,14 \quad \text{vérifié} \quad (0,44)$$

## VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$$A_{net} = 16,09 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section nette} \quad A_{net} = A - t \cdot d_0$$

$$N_{uRd} = 469,18 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul de la section nette} \quad N_{uRd} = (0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{u3}) / \gamma_{M2}$$

$$N_{plRd} = 425,00 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul plastique de la section brute} \quad N_{plRd} = A \cdot f_{y3} / \gamma_{M0}$$

$$|N_{b3,Ed}| \leq N_{tRd} \quad |-86,89| < 469,18 \quad \text{vérifié} \quad (0,19)$$

$$|N_{b3,Ed}| \leq N_{pl,Rd} \quad |-86,89| < 425,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,20)$$

## VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$$A_{nt} = 3,74 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire nette de la zone de la section en traction}$$

$$A_{nv} = 8,92 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la zone de la section en traction}$$

$$V_{effRd} = 189,49 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous} \quad V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

$$|N_{b3,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |-86,89| < 189,49 \quad \text{vérifié} \quad (0,46)$$

## BARRE 4

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$$F_{v,Rd} = 65,14 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement} \quad F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$$

### Pression du boulon sur la barre

Direction x

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

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

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

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 1,00 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$F_{b,Rd1x} = 68,04$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  **vérifié**

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

$\alpha_{bz} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd1z} = 68,04$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

**Pression du boulon sur la platine**

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  **vérifié**

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

$\alpha_{bx} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd2x} = 77,76$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  **vérifié**

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

$\alpha_{bz} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd2z} = 77,76$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

## VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

**cisaillement des boulons**

$F_{NSd} = 18,80$  [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial  $F_{NSd} = N_{b4,Ed} / n$

$F_{x,Ed} = 18,80$  [kN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x  $F_{x,Ed} = F_{NSd}$

$F_{z,Ed} = 0,00$  [kN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z  $F_{z,Ed} = F_{MSd}$

$F_{Ed} = 18,80$  [kN] Effort tranchant résultant dans le boulon  $F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$

$F_{Rdx} = 68,04$  [kN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x  $F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$

$F_{Rdz} = 68,04$  [kN] Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z  $F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$

$|F_{x,Ed}| \leq F_{Rdx}$   $|18,80| < 68,04$  **vérifié** (0,28)

$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz}$   $|0,00| < 68,04$  **vérifié** (0,00)

$F_{Ed} \leq F_{VRd}$   $18,80 < 65,14$  **vérifié** (0,29)

## VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$A_{net} = 16,09$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section nette  $A_{net} = A - t \cdot d_0$

$N_{uRd} = 469,18$  [kN] Résistance de calcul de la section nette  $N_{u,Rd} = (0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{u4}) / \gamma_{M2}$

$N_{plRd} = 425,00$  [kN] Résistance de calcul plastique de la section brute  $N_{plRd} = A \cdot f_{y4} / \gamma_{M0}$

$|N_{b4,Ed}| \leq N_{tRd}$   $|56,41| < 469,18$  **vérifié** (0,12)

$|N_{b4,Ed}| \leq N_{pl,Rd}$   $|56,41| < 425,00$  **vérifié** (0,13)

## VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} = 3,74$  [cm<sup>2</sup>] Aire nette de la zone de la section en traction

$A_{nv} = 8,92$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la zone de la section en traction

$V_{effRd} = 189,4$  [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous  $V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

$|N_{b4,Ed}| \leq V_{effRd}$   $|56,41| < 189,49$  **vérifié** (0,30)

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme** Ratio 0,46

Assemblage de la diagonale de la poutre ou vent



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

## Calcul de l'assemblage au gousset

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009

Ratio  
**0,35**

### GÉNÉRAL

Assemblage N°: 53  
 Nom de l'assemblage : Gousset - contreventement  
 Noeud de la structure: 77  
 Barres de la structure: 170, 180, 165, 182,

### GÉOMÉTRIE

#### BARRES

	Barre 1	Barre 2	Barre 3	Barre 4		
<b>Barre N° :</b>	170	180	165	182		
<b>Profilé:</b>	CAE 50x5	CAE 50x5	CAE 50x5	CAE 50x5		
h	50	50	50	50		mm
b <sub>f</sub>	50	50	50	50		mm
t <sub>w</sub>	5	5	5	5		mm
t <sub>f</sub>	5	5	5	5		mm
r	7	7	7	7		mm
A	4,80	4,80	4,80	4,80		cm <sup>2</sup>
<b>Matériau:</b>	ACIER E28	ACIER E28	ACIER E28	ACIER E28		
f <sub>y</sub>	275,00	275,00	275,00	275,00		MPa
f <sub>u</sub>	405,00	405,00	405,00	405,00		MPa
<b>Angle</b>	α	15,4	90,0	15,4		Deg
<b>Longueur</b>	l	0,00	0,00	0,00	0,00	m

#### BOULONS

##### Barre 1

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

Classe = 8.8 Classe du boulon  
 d = 12 [mm] Diamètre du boulon  
 d<sub>0</sub> = 13 [mm] Diamètre du trou de boulon  
 A<sub>s</sub> = 0,84 [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 A<sub>v</sub> = 1,13 [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
 f<sub>yb</sub> = 550,00 [MPa] Limite de plasticité  
 f<sub>ub</sub> = 800,00 [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 n = 3 Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

e<sub>1</sub> = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 e<sub>2</sub> = 25 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 e<sub>c</sub> = 100 [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

##### Barre 2

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

Classe = 8.8 Classe du boulon  
 d = 12 [mm] Diamètre du boulon  
 d<sub>0</sub> = 13 [mm] Diamètre du trou de boulon  
 A<sub>s</sub> = 0,84 [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 A<sub>v</sub> = 1,13 [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon

Classe = 8.8 Classe du boulon  
 $f_{yb} = 550,00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 800,00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 3$  Nombre de colonnes des boulons  
 Espacement des boulons 60;60 [mm]  
 $e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 25$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Barre 3

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

Classe = 8.8 Classe du boulon  
 $d = 12$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 13$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $A_s = 0,84$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 $A_v = 1,13$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
 $f_{yb} = 550,00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 800,00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 3$  Nombre de colonnes des boulons  
 Espacement des boulons 60;60 [mm]  
 $e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 25$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

### Barre 4

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

Classe = 8.8 Classe du boulon  
 $d = 12$  [mm] Diamètre du boulon  
 $d_0 = 13$  [mm] Diamètre du trou de boulon  
 $A_s = 0,84$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon  
 $A_v = 1,13$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon  
 $f_{yb} = 550,00$  [MPa] Limite de plasticité  
 $f_{ub} = 800,00$  [MPa] Résistance du boulon à la traction  
 $n = 3$  Nombre de colonnes des boulons  
 Espacement des boulons 60;60 [mm]  
 $e_1 = 40$  [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre  
 $e_2 = 25$  [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre  
 $e_c = 100$  [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

## GOUSSET

$l_p = 660$  [mm] Longueur de la platine  
 $h_p = 660$  [mm] Hauteur de la platine  
 $t_p = 10$  [mm] Epaisseur de la platine

### Paramètres

$h_1 = 300$  [mm] Grugeage  
 $v_1 = 300$  [mm] Grugeage  
 $h_2 = 300$  [mm] Grugeage  
 $v_2 = 300$  [mm] Grugeage  
 $h_3 = 300$  [mm] Grugeage  
 $v_3 = 300$  [mm] Grugeage  
 $h_4 = 300$  [mm] Grugeage  
 $v_4 = 300$  [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;0)

$e_v = 330$  [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres  
 $e_H = 330$  [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériau: ACIER

$f_y = 235,00$  [MPa] Résistance

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

## EFFORTS

Cas: 10:  $G+1.5V2 (1+14) * 1.00+3*1.50$

$N_{b1,Ed} =$	27,51	[kN]	Effort axial
$N_{b2,Ed} =$	-31,52	[kN]	Effort axial
$N_{b3,Ed} =$	27,53	[kN]	Effort axial
$N_{b4,Ed} =$	-31,55	[kN]	Effort axial

## RÉSULTATS

### BARRE 1

#### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 43,43$  [kN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement  $F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$

#### Pression du boulon sur la barre

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

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

$\alpha_{bx} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1x} = 48,6$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

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

$\alpha_{bz} > 0.0$   $0,64 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd1z} = 31,15$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

#### Pression du boulon sur la platine

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

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

$\alpha_{bx} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd2x} = 87,6$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd2x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  vérifié

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

$\alpha_{bz} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  vérifié

$F_{b,Rd2z} = 87,60$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

#### VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

##### cisaillement des boulons

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

$M_0 = 0,30$  [kN\*m] Moment fléchissant réel

$M_0 = N_{b1,Ed} * e$

### cisaillement des boulons

$e = 11$ [mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons	
$F_{NSd} = 9,17$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{NSd} = N_{b1,Ed}/n$
$F_{MSd} = 2,51$ [kN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment	$F_{MSd} = M_0 * X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} = 9,17$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} = 2,51$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} = 9,51$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 48,60$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} = 31,15$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 9,17  < 48,60$	<b>vérifié</b> (0,19)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 2,51  < 31,15$	<b>vérifié</b> (0,08)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$9,51 < 43,43$	<b>vérifié</b> (0,22)

### VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$\beta_3 = 0,67$	Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]
$A_{net} = 4,15$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0 * t_{r1}$
$N_{u,Rd} = 89,98$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (\beta_3 * A_{net} * f_{u1}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} = 108,00$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0.9 * A * f_{y1}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$ 27,51  < 89,98$	<b>vérifié</b> (0,31)
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ 27,51  < 108,00$	<b>vérifié</b> (0,25)

### VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} = 0,92$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} = 6,37$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} = 107,0$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b1,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ 27,51  < 107,00$	<b>vérifié</b> (0,26)

## BARRE 2

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 43,43$  [kN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement  $F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$

#### Pression du boulon sur la barre

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  **vérifié**

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

$\alpha_{bx} > 0.0$   $1,00 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd1x} = 48,60$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

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

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  **vérifié**

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

$\alpha_{bz} > 0.0$   $0,64 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd1z} = 31,15$  [kN] Résistance d'un boulon en pression diamétrale  $F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

#### Pression du boulon sur la platine

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**

$\alpha_{bx} = 0,84$  Coefficient dépendant de l'espacement des boulons  $\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$   $0,84 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd2x} = 73,86$  [kN] Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou  $F_{b,Rd2x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

Direction z

$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0) - 1.7, 1.4*(p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd2z} = 87,60$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t_i / \gamma_{M2}$

## VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

### cisaillement des boulons

$e = 11$ [mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons	
$M_0 = -0,35$ [kN*m]	Moment fléchissant réel	$M_0 = N_{b2,Ed} * e$
$F_{NSd} = 10,51$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{NSd} = N_{b2,Ed} / n$
$F_{MSd} = -2,88$ [kN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment	$F_{MSd} = M_0 * x_{max} / \sum x_i^2$
$F_{x,Ed} = 10,51$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} = -2,88$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} = 10,90$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 48,60$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} = 31,15$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ -10,51  < 48,60$	<b>vérifié</b> (0,22)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ -2,88  < 31,15$	<b>vérifié</b> (0,09)
$F_{Ed} \leq F_{VRd}$	$10,90 < 43,43$	<b>vérifié</b> (0,25)

## VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$\beta_3 = 0,67$	Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]
$A_{net} = 4,15$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0 * t_f$
$N_{u,Rd} = 89,98$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (\beta_3 * A_{net} * f_{u2}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} = 108,00$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0.9 * A * f_{y2}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b2,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$ -31,52  < 89,98$	<b>vérifié</b> (0,35)
$ N_{b2,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ -31,52  < 108,00$	<b>vérifié</b> (0,29)

## VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} = 0,92$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} = 6,37$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} = 107,0$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b2,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ -31,52  < 107,00$	<b>vérifié</b> (0,29)

## BARRE 3

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} = 43,43$ [kN]	Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement	$F_{v,Rd} = 0.6 * f_{ub} * A_v * m / \gamma_{M2}$
-------------------------	---	---

### Pression du boulon sur la barre

Direction x

$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1x} = \min[2.8*(e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bx} = 1,00$	Coefficient dépendant de l'espacement des boulons	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$



$\alpha_{bx} > 0.0$	$1,00 > 0,00$		vérifié
$F_{b,Rd1x} = 48,6$ [kN]	Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_M2$	
Direction z			
$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$	
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$		vérifié
$\alpha_{bz} = 0,64$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$	
$\alpha_{bz} > 0.0$	$0,64 > 0,00$		vérifié
$F_{b,Rd1z} = 31,15$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_M2$	
<b>Pression du boulon sur la platine</b>			
Direction x			
$k_{1x} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_1 = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 2.5]$	
$k_{1x} > 0.0$	$2,50 > 0,00$		vérifié
$\alpha_{bx} = 1,00$	Coefficient dépendant de l'espacement des boulons	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$	
$\alpha_{bx} > 0.0$	$1,00 > 0,00$		vérifié
$F_{b,Rd2x} = 87,6$ [kN]	Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou	$F_{b,Rd2x} = k_1 \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_M2$	
Direction z			
$k_{1z} = 2,50$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$	
$k_{1z} > 0.0$	$2,50 > 0,00$		vérifié
$\alpha_{bz} = 1,00$	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$	
$\alpha_{bz} > 0.0$	$1,00 > 0,00$		vérifié
$F_{b,Rd2z} = 87,60$ [kN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale	$F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_M2$	

## VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

### cisaillement des boulons

$e = 11$ [mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons		
$M_0 = 0,30$ [kN*m]	Moment fléchissant réel	$M_0 = N_{b3,Ed} \cdot e$	
$F_{NSd} = 9,18$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{NSd} = N_{b3,Ed} / n$	
$F_{MSd} = 2,52$ [kN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment	$F_{MSd} = M_0 \cdot x_{max} / \sum x_i^2$	
$F_{x,Ed} = 9,18$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$	
$F_{z,Ed} = 2,52$ [kN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$	
$F_{Ed} = 9,52$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$	
$F_{Rdx} = 48,60$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$	
$F_{Rdz} = 31,15$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$	
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ 9,18  < 48,60$	vérifié	(0,19)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ 2,52  < 31,15$	vérifié	(0,08)
$F_{Ed} \leq F_{VRd}$	$9,52 < 43,43$	vérifié	(0,22)

## VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$\beta_3 = 0,67$	Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]	
$A_{net} = 4,15$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0 \cdot t_{r3}$	
$N_{u,Rd} = 89,98$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u3}) / \gamma_{M2}$	
$N_{pl,Rd} = 108,00$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0.9 \cdot A \cdot f_{y3}) / \gamma_{M2}$	
$ N_{b3,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$ 27,53  < 89,98$	vérifié	(0,31)
$ N_{b3,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ 27,53  < 108,00$	vérifié	(0,25)

## VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} = 0,92$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} = 6,37$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} = 107,0$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0.5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$

$$|N_{b3,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |27,53| < 107,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,26)$$

## BARRE 4

### RÉSISTANCE DES BOULONS

$$F_{v,Rd} = 43,43 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement} \quad F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$$

#### Pression du boulon sur la barre

Direction x

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

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

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

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 1,00 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd1x} = 48,60 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou} \quad F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Direction z

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

$$k_{1z} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

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

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 0,64 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd1z} = 31,15 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

#### Pression du boulon sur la platine

Direction x

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

$$k_{1x} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$\alpha_{bx} = 0,84 \quad \text{Coefficient dépendant de l'espacement des boulons} \quad \alpha_{bx} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 0,84 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd2x} = 73,86 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou} \quad F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Direction z

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

$$k_{1z} > 0.0 \quad 2,50 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

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

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 1,00 > 0,00 \quad \text{vérifié}$$

$$F_{b,Rd2z} = 87,60 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance d'un boulon en pression diamétrale} \quad F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

### VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

#### cisaillement des boulons

$$e = 11 \text{ [mm]} \quad \text{Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons}$$

$$M_0 = -0,35 \text{ [kN} \cdot \text{m]} \quad \text{Moment fléchissant réel} \quad M_0 = N_{b4,Ed} \cdot e$$

$$F_{NSd} = 10,52 \text{ [kN]} \quad \text{Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial} \quad F_{NSd} = N_{b4,Ed} / n$$

$$F_{MSd} = -2,88 \text{ [kN]} \quad \text{Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment} \quad F_{MSd} = M_0 \cdot x_{max} / \sum x_i^2$$

$$F_{x,Ed} = 10,52 \text{ [kN]} \quad \text{Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x} \quad F_{x,Ed} = F_{NSd}$$

$$F_{z,Ed} = -2,88 \text{ [kN]} \quad \text{Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z} \quad F_{z,Ed} = F_{MSd}$$

$$F_{Ed} = 10,90 \text{ [kN]} \quad \text{Effort tranchant résultant dans le boulon} \quad F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$$

$$F_{Rdx} = 48,60 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x} \quad F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$$

$$F_{Rdz} = 31,15 \text{ [kN]} \quad \text{Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z} \quad F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$$

$$|F_{x,Ed}| \leq F_{Rdx} \quad |-10,52| < 48,60 \quad \text{vérifié} \quad (0,22)$$

$$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz} \quad |-2,88| < 31,15 \quad \text{vérifié} \quad (0,09)$$

$$F_{Ed} \leq F_{vRd} \quad 10,90 < 43,43 \quad \text{vérifié} \quad (0,25)$$

## VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS



$\beta_3 =$	0,67	Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]
$A_{net} =$	4,15 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0 \cdot t_f$
$N_{u,Rd} =$	89,98 [kN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_{u4}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	108,00 [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0,9 \cdot A \cdot f_{y4}) / \gamma_{M2}$
$ N_{b4,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$ -31,55  < 89,98$	<b>vérifié</b>	(0,35)
$ N_{b4,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ -31,55  < 108,00$	<b>vérifié</b>	(0,29)

## VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} =$	0,92 [cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} =$	6,37 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} =$	107,0 [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$
$ N_{b4,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ -31,55  < 107,00$	<b>vérifié</b>	(0,29)

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme** Ratio 0,35

## Assemblage des pieds des potelets

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 <b>Calcul du Pied de Poteau articulé</b> Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings in concrete	 Ratio <b>0,89</b>
---	---	---

## GÉNÉRAL

Assemblage N°: 57  
 Nom de l'assemblage : Pied de poteau articulé  
 Noeud de la structure: 9  
 Barres de la structure: 5

## GÉOMÉTRIE

### POTEAU

Profilé: HEA 240  
 Barre N°: 5

$L_c =$	9,75 [m]	Longueur du poteau
$\alpha =$	0,0 [Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	230 [mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	240 [mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	8 [mm]	Épaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	12 [mm]	Épaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	21 [mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	76,84 [cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau
$I_{yc} =$	7763,18 [cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: ACIER E28

$f_{yc} = 275,00$  [MPa] Résistance

$f_{uc} = 405,00$  [MPa] Résistance ultime du matériau

## PLATINE DE PRESCELLEMENT

$l_{pd} = 400$  [mm] Longueur

$b_{pd} = 300$  [mm] Largeur

$t_{pd} = 25$  [mm] Epaisseur

Matériau: ACIER E28

$f_{ypd} = 275,00$  [MPa] Résistance

$f_{upd} = 405,00$  [MPa] Résistance ultime du matériau

## ANCRAGE

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

Classe = HR 10.9 Classe de tiges d'ancrage

$f_{yb} = 900,00$  [MPa] Limite de plasticité du matériau du boulon

$f_{ub} = 1200,00$  [MPa] Résistance du matériau du boulon à la traction

$d = 18$  [mm] Diamètre du boulon

$A_s = 1,92$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,54$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon

$n = 2$  Nombre de rangées des boulons

$e_v = 150$  [mm] Entraxe

### **Dimensions des tiges d'ancrage**

$L_1 = 48$  [mm]

$L_2 = 300$  [mm]

$L_3 = 100$  [mm]

$L_4 = 50$  [mm]

### **Platine**

$l_{wd} = 48$  [mm] Longueur

$b_{wd} = 48$  [mm] Largeur

$t_{wd} = 10$  [mm] Epaisseur

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} = 1,10$  Coefficient de sécurité partiel

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

$\gamma_C = 1,50$  Coefficient de sécurité partiel

## SEMELLE ISOLÉE

$L = 900$  [mm] Longueur de la semelle

$B = 1200$  [mm] Largeur de la semelle

$H = 900$  [mm] Hauteur de la semelle

### **Béton**

Classe BETON25

$f_{ck} = 25,00$  [MPa] Résistance caractéristique à la compression

### **Mortier de calage**

$t_g = 30$  [mm] Epaisseur du mortier de calage

$f_{ck,g} = 12,00$  [MPa] Résistance caractéristique à la compression

$C_{f,d} = 0,30$  Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton

## SOUDURES

$a_p = 8$  [mm] Plaque principale du pied de poteau

## EFFORTS

Cas: 9: G+1.5V1 (1+14) \*1.00+2\*1.50

$N_{j,Ed} = 3,83$  [kN] Effort axial  
 $V_{j,Ed,y} = 3,07$  [kN] Effort tranchant  
 $V_{j,Ed,z} = 40,68$  [kN] Effort tranchant

## RÉSULTATS

### ZONE TENDUE

#### RUPTURE DU BOULON D'ANCRAGE

$A_b = 1,92$  [cm<sup>2</sup>] Aire de section efficace du boulon [Tableau 3.4]  
 $f_{ub} = 1200,00$  [MPa] Résistance du matériau du boulon à la traction [Tableau 3.4]  
 $\beta = 0,85$  Coefficient de réduction de la résistance du boulon [3.6.1.(3)]  
 $F_{t,Rd,s1} = \beta * 0.9 * f_{ub} * A_b / \gamma_{M2}$   
 $F_{t,Rd,s1} = 141,00$  [kN] Résistance du boulon à la rupture [Tableau 3.4]  
 $\gamma_{Ms} = 1,20$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.2]  
 $f_{yb} = 900,00$  [MPa] Limite de plasticité du matériau du boulon CEB [9.2.2]  
 $F_{t,Rd,s2} = f_{yb} * A_b / \gamma_{Ms}$   
 $F_{t,Rd,s2} = 144,00$  [kN] Résistance du boulon à la rupture CEB [9.2.2]  
 $F_{t,Rd,s} = \min(F_{t,Rd,s1}, F_{t,Rd,s2})$   
 $F_{t,Rd,s} = 141,00$  [kN] Résistance du boulon à la rupture

#### ARRACHEMENT DU BOULON D'ANCRAGE DU BETON

$f_{ck} = 25,00$  [MPa] Résistance caractéristique du béton à la compression EN 1992-1:[3.1.2]  
 $f_{ctd} = 0.7 * 0.3 * f_{ck}^{2/3} / \gamma_c$   
 $f_{ctd} = 1,20$  [MPa] Résistance de calcul à la traction EN 1992-1:[8.4.2.(2)]  
 $\eta_1 = 1,00$  Coef. dépendant des conditions du bétonnage et de l'adhérence EN 1992-1:[8.4.2.(2)]  
 $\eta_2 = 1,00$  Coef. dépendant du diamètre du boulon d'ancrage EN 1992-1:[8.4.2.(2)]  
 $f_{bd} = 2.25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$   
 $f_{bd} = 2,69$  [MPa] Adhérence de calcul admissible EN 1992-1:[8.4.2.(2)]  
 $h_{ef} = 300$  [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage EN 1992-1:[8.4.2.(2)]  
 $F_{t,Rd,p} = \pi * d * h_{ef} * f_{bd}$   
 $F_{t,Rd,p} = 45,69$  [kN] Résistance de calc. pour le soulèvement EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

#### ARRACHEMENT DU CONE DE BETON

$h_{ef} = 300$  [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage CEB [9.2.4]  
 $N_{Rk,c}^0 = 7.5 [N^{0.5}/mm^{0.5}] * f_{ck} * h_{ef}^{1.5}$   
 $N_{Rk,c}^0 = 194,86$  [kN] Résistance caractéristique du boulon d'ancrage CEB [9.2.4]  
 $s_{cr,N} = 900$  [mm] Largeur critique du cône de béton CEB [9.2.4]  
 $c_{cr,N} = 450$  [mm] Distance critique du bord de la fondation CEB [9.2.4]  
 $A_{c,N0} = 10657,50$  [cm<sup>2</sup>] Aire de surface maximale du cône CEB [9.2.4]  
 $A_{c,N} = 9450,00$  [cm<sup>2</sup>] Aire de surface réelle du cône CEB [9.2.4]  
 $\psi_{A,N} = A_{c,N} / A_{c,N0}$   
 $\psi_{A,N} = 0,89$  Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage CEB [9.2.4]  
 $c = 393$  [mm] Pince minimale boulon d'ancrage-extrémité CEB [9.2.4]  
 $\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 * c / c_{cr,N} \leq 1.0$   
 $\psi_{s,N} = 0,96$  Coef. dépendant du pince boulon d'ancrage-extrémité de la fondation CEB [9.2.4]  
 $\psi_{ec,N} = 1,00$  Coef. dépendant de la répartition des efforts de traction dans les boulons d'ancrage CEB [9.2.4]  
 $\psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef}[mm]/200 \leq 1.0$   
 $\psi_{re,N} = 1,00$  Coef. dépendant de la densité du ferrailage dans la fondation CEB [9.2.4]  
 $\psi_{ucr,N} = 1,00$  Coef. dépendant du degré de fissuration du béton CEB [9.2.4]  
 $\gamma_{Mc} = 2,16$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]  
 $F_{t,Rd,c} = N_{Rk,c}^0 * \psi_{A,N} * \psi_{s,N} * \psi_{ec,N} * \psi_{re,N} * \psi_{ucr,N} / \gamma_{Mc}$   
 $F_{t,Rd,c} = 76,9$  [kN] Résistance de calcul du boulon d'ancrage à l'arrachement du cône de  
= 2 ] béton EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

#### FENDAGE DU BETON

$h_{ef} = 300$  [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage CEB [9.2.5]  
 $N_{Rk,c}^0 = 7.5 [N^{0.5}/mm^{0.5}] * f_{ck} * h_{ef}^{1.5}$

$N_{Rk,c}^0 = 194,86$	[kN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	CEB [9.2.5]
$S_{cr,N} = 600$	[mm]	Largeur critique du cône de béton	CEB [9.2.5]
$C_{cr,N} = 300$	[mm]	Distance critique du bord de la fondation	CEB [9.2.5]
$A_{c,N0} = 5362,50$	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de surface maximale du cône	CEB [9.2.5]
$A_{c,N} = 5362,50$	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de surface réelle du cône	CEB [9.2.5]
$\Psi_{A,N} = A_{c,N}/A_{c,N0}$			
$\Psi_{A,N} = 1,00$		Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.2.5]
$c = 300$	[mm]	Pince minimale boulon d'ancrage-extrémité	CEB [9.2.5]
$\Psi_{s,N} = 0.7 + 0.3*c/C_{cr,N} \leq 1.0$			
$\Psi_{s,N} = 1,00$		Coef. dépendant du pince boulon d'ancrage-extrémité de la fondation	CEB [9.2.5]
$\Psi_{ec,N} = 1,00$		Coef. dépendant de la répartition des efforts de traction dans les boulons d'ancrage	CEB [9.2.5]
$\Psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef}[mm]/200 \leq 1.0$			
$\Psi_{re,N} = 1,00$		Coef. dépendant de la densité du ferrailage dans la fondation	CEB [9.2.5]
$\Psi_{ucr,N} = 1,00$		Coef. dépendant du degré de fissuration du béton	CEB [9.2.5]
$\Psi_{h,N} = (h/(2*h_{ef}))^{2/3} \leq 1.2$			
$\Psi_{h,N} = 1,20$		Coef. dépendant de la hauteur de la fondation	CEB [9.2.5]
$\gamma_{M,sp} = 2,16$		Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{t,Rd,sp} = N_{Rk,c}^0 * \Psi_{A,N} * \Psi_{s,N} * \Psi_{ec,N} * \Psi_{re,N} * \Psi_{ucr,N} * \Psi_{h,N} / \gamma_{M,sp}$			
$F_{t,Rd,sp} = 108,25$	[kN]	Résistance de calcul du boulon d'ancrage au fendage du béton	CEB [9.2.5]

### RÉSISTANCE DU BOULON D'ANCRAGE A LA TRACTION

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,s}, F_{t,Rd,p}, F_{t,Rd,c}, F_{t,Rd,sp})$$

$$F_{t,Rd} = 45,69 \text{ [kN]} \text{ Résistance du boulon d'ancrage à traction}$$

### FLEXION DE LA PLAQUE DE BASE

$$l_{eff,1} = 305 \text{ [mm]} \text{ Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1} \quad [6.2.6.5]$$

$$l_{eff,2} = 305 \text{ [mm]} \text{ Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2} \quad [6.2.6.5]$$

$$m = 62 \text{ [mm]} \text{ Pince boulon-bord de renforcement} \quad [6.2.6.5]$$

$$M_{pl,1,Rd} = 11,92 \text{ [kN*m]} \text{ Résistance plastique de la dalle pour le mode 1} \quad [6.2.4]$$

$$M_{pl,2,Rd} = 11,92 \text{ [kN*m]} \text{ Résistance plastique de la dalle pour le mode 2} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,1,Rd} = 766,31 \text{ [kN]} \text{ Résistance de la dalle pour le mode 1} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,2,Rd} = 223,65 \text{ [kN]} \text{ Résistance de la dalle pour le mode 2} \quad [6.2.4]$$

$$F_{T,3,Rd} = 91,38 \text{ [kN]} \text{ Résistance de la dalle pour le mode 3} \quad [6.2.4]$$

$$F_{t,pl,Rd} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$$

$$F_{t,pl,Rd} = 91,38 \text{ [kN]} \text{ Résistance de la dalle pour le mode à la traction} \quad [6.2.4]$$

### RÉSISTANCE DE L'ÂME DU POTEAU A LA TRACTION

$$t_{wc} = 8 \text{ [mm]} \text{ Epaisseur efficace de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.3.(8)]$$

$$b_{eff,t,wc} = 305 \text{ [mm]} \text{ Largeur efficace de l'âme à la traction} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$A_{vc} = 25,18 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de la section au cisaillement} \quad EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]$$

$$\omega = 0,69 \text{ Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement} \quad [6.2.6.3.(4)]$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$$

$$F_{t,wc,Rd} = 397,23 \text{ [kN]} \text{ Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

### RÉSISTANCES DE SEMELLE DANS LA ZONE TENDUE

$$N_{j,Rd} = 91,38 \text{ [kN]} \text{ Résistance de la semelle à la traction axiale} \quad [6.2.8.3]$$

## CONTROLE DE LA RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \text{ (6.24)} \quad 0,04 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,04)$$

## CISAILLEMENT

### PRESSIION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE

#### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$$\alpha_{d,y} = 1,25 \text{ Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\alpha_{b,y} = 1,00 \text{ Coef. pour les calculs de la résistance } F_{1,vb,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$k_{1,y} = 2,50 \text{ Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} * \alpha_{b,y} * f_{up} * d * t_p / \gamma_{M2}$$

$$F_{1,vb,Rd,y} = 364,50 \text{ [kN]} \text{ Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise} \quad [6.2.2.(7)]$$

#### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 3,33$  Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement [Tableau 3.4]  
 $\alpha_{b,z} = 1,00$  Coef. pour les calculs de la résistance  $F_{1,vb,Rd}$  [Tableau 3.4]  
 $k_{1,z} = 2,50$  Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement [Tableau 3.4]

$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$   
 $F_{1,vb,Rd,z} = 364,50$  [kN] Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise [6.2.2.(7)]

#### CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE

$\alpha_b = 0,25$  Coef. pour les calculs de la résistance  $F_{2,vb,Rd}$  [6.2.2.(7)]  
 $A_{vb} = 2,54$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon [6.2.2.(7)]  
 $f_{ub} = 1200,00$  [MPa] Résistance du matériau du boulon à la traction [6.2.2.(7)]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [6.2.2.(7)]

$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$   
 $F_{2,vb,Rd} = 60,58$  [kN] Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier [6.2.2.(7)]

$\alpha_M = 2,00$  Coef. dépendant de l'ancrage du boulon dans la fondation CEB [9.3.2.2]  
 $M_{Rk,s} = 0,76$  [kN\*m] Résistance caractéristique de l'ancrage à la flexion CEB [9.3.2.2]  
 $l_{sm} = 52$  [mm] Longueur du bras de levier CEB [9.3.2.2]  
 $\gamma_{Ms} = 1,20$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.2]

$F_{v,Rd,sm} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / (l_{sm} \cdot \gamma_{Ms})$   
 $F_{v,Rd,sm} = 24,68$  [kN] Résistance du boulon au cisaillement - avec bras de levier CEB [9.3.1]

#### RUPTURE DU BETON PAR EFFET DE LEVIER

$N_{Rk,c} = 166,16$  [kN] Résistance de calc. pour le soulèvement CEB [9.2.4]  
 $k_3 = 2,00$  Coef. dépendant de la longueur de l'ancrage CEB [9.3.3]  
 $\gamma_{Mc} = 2,16$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]

$F_{v,Rd,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$   
 $F_{v,Rd,cp} = 153,85$  [kN] Résistance du béton à l'effet de levier CEB [9.3.1]

#### ECRASUREMENT DU BORD DU BETON

##### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$V_{Rk,c,y} = 832,9$  [kN] Résistance caractéristique du boulon d'ancrage CEB [9.3.4.(a)]  
 $\psi_{A,V,y} = 0,50$  Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage CEB [9.3.4]  
 $\psi_{h,V,y} = 1,00$  Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation CEB [9.3.4.(c)]  
 $\psi_{s,V,y} = 0,85$  Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement CEB [9.3.4.(d)]  
 $\psi_{ec,V,y} = 1,00$  Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage CEB [9.3.4.(e)]  
 $\psi_{\alpha,V,y} = 1,00$  Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant CEB [9.3.4.(f)]  
 $\psi_{ucr,V,y} = 1,00$  Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation CEB [9.3.4.(g)]  
 $\gamma_{Mc} = 2,16$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]

$F_{v,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y} \cdot \psi_{A,V,y} \cdot \psi_{h,V,y} \cdot \psi_{s,V,y} \cdot \psi_{ec,V,y} \cdot \psi_{\alpha,V,y} \cdot \psi_{ucr,V,y} / \gamma_{Mc}$   
 $F_{v,Rd,c,y} = 163,28$  [kN] Résistance du béton pour l'écrasement du bord CEB [9.3.1]

##### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$V_{Rk,c,z} = 538,4$  [kN] Résistance caractéristique du boulon d'ancrage CEB [9.3.4.(a)]  
 $\psi_{A,V,z} = 0,89$  Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage CEB [9.3.4]  
 $\psi_{h,V,z} = 1,00$  Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation CEB [9.3.4.(c)]  
 $\psi_{s,V,z} = 0,97$  Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement CEB [9.3.4.(d)]  
 $\psi_{ec,V,z} = 1,00$  Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage CEB [9.3.4.(e)]  
 $\psi_{\alpha,V,z} = 1,00$  Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant CEB [9.3.4.(f)]  
 $\psi_{ucr,V,z} = 1,00$  Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation CEB [9.3.4.(g)]  
 $\gamma_{Mc} = 2,16$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]

$F_{v,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z} \cdot \psi_{A,V,z} \cdot \psi_{h,V,z} \cdot \psi_{s,V,z} \cdot \psi_{ec,V,z} \cdot \psi_{\alpha,V,z} \cdot \psi_{ucr,V,z} / \gamma_{Mc}$   
 $F_{v,Rd,c,z} = 215,07$  [kN] Résistance du béton pour l'écrasement du bord CEB [9.3.1]

#### GLISSEMENT DE LA SEMELLE

$C_{f,d} = 0,30$	Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed} = 0,00$ [kN]	Effort de compression	[6.2.2.(6)]
$F_{f,Rd} = C_{f,d} * N_{c,Ed}$		
$F_{f,Rd} = 0,00$ [kN]	Résistance au glissement	[6.2.2.(6)]

### CONTROLE DU CISAILLEMENT

$V_{j,Rd,y} = n_b * \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{f,Rd}$		
$V_{j,Rd,y} = 49,36$ [kN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$	$0,06 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,06)
$V_{j,Rd,z} = n_b * \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{f,Rd}$		
$V_{j,Rd,z} = 49,36$ [kN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0,82 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,82)
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0,89 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,89)

### SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE

$\sigma_{\perp} = 0,25$ [MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} = 0,25$ [MPa]	Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{y  } = 0,41$ [MPa]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{z  } = 12,34$ [MPa]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_w = 0,85$	Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]
$\sigma_{\perp} / (0.9 * f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)	$0,00 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,00)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{y  }^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)	$0,00 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,00)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{z  }^2 + \tau_{\perp}^2))} / (f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})) \leq 1.0$ (4.1)	$0,06 < 1,00$	<b>vérifié</b> (0,06)

### COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:



BOULON D'ANCRAGE AU CISAILLEMENT - AVEC BRAS DE LEVIER

### REMARQUES

Rayon de courbure de l'ancrage trop faible.  $50$  [mm] <  $54$  [mm]

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	Ratio <b>0,89</b>
--	-------------------

### Assemblage des pieds des poteaux

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 <b>Calcul du Pied de Poteau encastré</b> Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings in concrete	 Ratio <b>0,98</b>
---	---	---

### GÉNÉRAL

Assemblage N°:	79
Nom de l'assemblage :	Pied de poteau encastré
Noeud de la structure:	50
Barres de la structure:	36

### GÉOMÉTRIE



## POTEAU

Profilé:			HEA 400
Barre N°:			36
$L_c =$	9,00	[m]	Longueur du poteau
$\alpha =$	0,0	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	390	[mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	300	[mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	11	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	19	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	27	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	158,98	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau
$I_{yc} =$	45069,40	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la section du poteau
Matériau:	ACIER	E28	
$f_{yc} =$	275,00	[MPa]	Résistance
$f_{uc} =$	405,00	[MPa]	Résistance ultime du matériau

## PLATINE DE PRESCELLEMENT

$l_{pd} =$	700	[mm]	Longueur
$b_{pd} =$	600	[mm]	Largeur
$t_{pd} =$	30	[mm]	Epaisseur
Matériau:	ACIER	E28	
$f_{ypd} =$	275,00	[MPa]	Résistance
$f_{upd} =$	405,00	[MPa]	Résistance ultime du matériau

## ANCRAGE

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

Classe = HR 10.9			Classe de tiges d'ancrage
$f_{yb} =$	900,00	[MPa]	Limite de plasticité du matériau du boulon
$f_{ub} =$	1200,00	[MPa]	Résistance du matériau du boulon à la traction
$d =$	30	[mm]	Diamètre du boulon
$A_s =$	5,61	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section efficace du boulon
$A_v =$	7,07	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du boulon
$n_H =$	2		Nombre de colonnes des boulons
$n_V =$	4		Nombre de rangées des boulons
Ecartement $e_{Hi} =$	550	[mm]	
Entraxe $e_{Vi} =$	150;150	[mm]	

### **Dimensions des tiges d'ancrage**

$L_1 =$	60	[mm]
$L_2 =$	800	[mm]
$L_3 =$	120	[mm]
$L_4 =$	60	[mm]

### **Platine**

$l_{wd} =$	60	[mm]	Longueur
$b_{wd} =$	60	[mm]	Largeur
$t_{wd} =$	10	[mm]	Epaisseur

## BÊCHE

Profilé:	HEA 120		
$l_w =$	150	[mm]	Longueur
Matériau:	ACIER	E28	
$f_{yw} =$	275,00	[MPa]	Résistance

## COEFFICIENTS DE MATÉRIAU

$\gamma_{M0} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel
-----------------	------	---------------------------------

$\gamma_{M0} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel
$\gamma_{M2} =$	1,25	Coefficient de sécurité partiel
$\gamma_C =$	1,50	Coefficient de sécurité partiel

## SEMELLE ISOLÉE

L =	1800	[mm]	Longueur de la semelle
B =	1800	[mm]	Largeur de la semelle
H =	1000	[mm]	Hauteur de la semelle

### Béton

Classe	BETON25		
$f_{ck} =$	25,00	[MPa]	Résistance caractéristique à la compression

### Mortier de calage

$t_g =$	30	[mm]	Épaisseur du mortier de calage
$f_{ck,g} =$	12,00	[MPa]	Résistance caractéristique à la compression
$C_{f,d} =$	0,30		Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton

## SOUDURES

$a_p =$	7	[mm]	Plaque principale du pied de poteau
$a_w =$	4	[mm]	Bêche

## EFFORTS

Cas: 9: G+1.5V1 (1+14) \*1.00+2\*1.50

$N_{j,Ed} =$	34,26	[kN]	Effort axial
$V_{j,Ed,y} =$	0,56	[kN]	Effort tranchant
$V_{j,Ed,z} =$	-63,00	[kN]	Effort tranchant
$M_{j,Ed,y} =$	188,90	[kN*m]	Moment fléchissant
$M_{j,Ed,z} =$	-0,55	[kN*m]	Moment fléchissant

## RÉSULTATS

### ZONE COMPRIMÉE

#### COMPRESSION DU BETON

$f_{cd} =$	16,67	[MPa]	Résistance de calcul à la compression	EN 1992-1:[3.1.6.(1)]
$f_j =$	28,28	[MPa]	Résistance de calcul du matériau du joint sous la plaque d'assise	[6.2.5.(7)]
$c = t_p \sqrt{(f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{M0}))}$				
$c =$	52	[mm]	Largeur de l'appui additionnelle	[6.2.5.(4)]
$b_{eff} =$	122	[mm]	Largeur efficace de la semelle de tronçon T	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} =$	403	[mm]	Longueur efficace de la semelle de tronçon en T	[6.2.5.(3)]
$A_{c0} =$	491,68	[cm <sup>2</sup> ]	Zone de contact de la plaque d'assise avec la fondation	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$A_{c1} =$	4425,11	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de calcul maximale de la répartition de la charge	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$F_{rd,u} = A_{c0}*f_{cd}*\sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3*A_{c0}*f_{cd}$				
$F_{rd,u} =$	2458,39	[kN]	Résistance du béton à l'appui rigide	EN 1992-1:[6.7.(3)]
$\beta_j =$	0,67		Coefficient réducteur pour la compression	[6.2.5.(7)]
$f_{jd} = \beta_j * F_{rd,u} / (b_{eff} * l_{eff})$				
$f_{jd} =$	33,33	[MPa]	Résistance de calcul du matériau du joint	[6.2.5.(7)]
$A_{c,y} =$	491,68	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de flexion My	[6.2.8.3.(1)]
$A_{c,z} =$	491,68	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de flexion Mz	[6.2.8.3.(1)]
$F_{c,Rd,i} = A_{c,i} * f_{jd}$				
$F_{c,Rd,y} =$	1638,93	[kN]	Résistance du béton à la flexion My	[6.2.8.3.(1)]
$F_{c,Rd,z} =$	1638,93	[kN]	Résistance du béton à la flexion Mz	[6.2.8.3.(1)]

#### AILE ET AME DU POTEAU EN COMPRESSION

CL =	1,00		Classe de la section	EN 1993-1-1:[5.5.2]
$W_{pl,y} =$	2561,80	[cm <sup>3</sup> ]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

## AILE ET AME DU POTEAU EN COMPRESSION

CL = 1,00	Classe de la section	EN 1993-1-1:[5.5.2]
$M_{c,Rd,y} = 640,45$ [kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_{f,y} = 371$ [mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$		
$F_{c,fc,Rd,y} = 1726,28$ [kN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]
$W_{pl,z} = 872,86$ [cm <sup>3</sup> ]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{c,Rd,z} = 218,22$ [kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_{f,z} = 202$ [mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fc,Rd,z} = M_{c,Rd,z} / h_{f,z}$		
$F_{c,fc,Rd,z} = 1082,94$ [kN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]

## RESISTANCE DE LA SEMELLE DANS LA ZONE COMPRIMEE

$F_{C,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$		
$F_{C,Rd,y} = 1638,93$ [kN]	Résistance de la semelle dans la zone comprimée	[6.2.8.3]
$F_{C,Rd,z} = \min(F_{c,Rd,z}, F_{c,fc,Rd,z})$		
$F_{C,Rd,z} = 1082,94$ [kN]	Résistance de la semelle dans la zone comprimée	[6.2.8.3]

## ZONE TENDUE

### RUPTURE DU BOULON D'ANCRAGE

$A_b = 5,61$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de section efficace du boulon	[Tableau 3.4]
$f_{ub} = 1200,00$ [MPa]	Résistance du matériau du boulon à la traction	[Tableau 3.4]
Beta = 0,85	Coefficient de réduction de la résistance du boulon	[3.6.1.(3)]
$F_{t,Rd,s1} = \beta \cdot 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_b / \gamma_{M2}$		
$F_{t,Rd,s1} = 412,00$ [kN]	Résistance du boulon à la rupture	[Tableau 3.4]
$\gamma_{Ms} = 1,20$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.2]
$f_{yb} = 900,00$ [MPa]	Limite de plasticité du matériau du boulon	CEB [9.2.2]
$F_{t,Rd,s2} = f_{yb} \cdot A_b / \gamma_{Ms}$		
$F_{t,Rd,s2} = 420,75$ [kN]	Résistance du boulon à la rupture	CEB [9.2.2]
$F_{t,Rd,s} = \min(F_{t,Rd,s1}, F_{t,Rd,s2})$		
$F_{t,Rd,s} = 412,00$ [kN]	Résistance du boulon à la rupture	

### ARRACHEMENT DU BOULON D'ANCRAGE DU BETON

$f_{ck} = 25,00$ [MPa]	Résistance caractéristique du béton à la compression	EN 1992-1:[3.1.2]
$f_{ctd} = 0.7 \cdot 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} / \gamma_c$		
$f_{ctd} = 1,20$ [MPa]	Résistance de calcul à la traction	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$\eta_1 = 1,00$	Coef. dépendant des conditions du bétonnage et de l'adhérence	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$\eta_2 = 1,00$	Coef. dépendant du diamètre du boulon d'ancrage	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$		
$f_{bd} = 2,69$ [MPa]	Adhérence de calcul admissible	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$h_{ef} = 800$ [mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
$F_{t,Rd,p} = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot f_{bd}$		
$F_{t,Rd,p} = 203,06$ [kN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

### ARRACHEMENT DU CONE DE BETON

$h_{ef} = 450$ [mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	CEB [9.2.4]
$N_{Rk,c}^0 = 7.5 [N^{0.5}/mm^{0.5}] \cdot f_{ck} \cdot h_{ef}^{1.5}$		
$N_{Rk,c}^0 = 357,97$ [kN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.2.4]
$S_{cr,N} = 1350$ [mm]	Largeur critique du cône de béton	CEB [9.2.4]
$c_{cr,N} = 675$ [mm]	Distance critique du bord de la fondation	CEB [9.2.4]
$A_{c,N0} = 34200,00$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de surface maximale du cône	CEB [9.2.4]
$A_{c,N} = 32400,00$ [cm <sup>2</sup> ]	Aire de surface réelle du cône	CEB [9.2.4]
$\psi_{A,N} = A_{c,N} / A_{c,N0}$		
$\psi_{A,N} = 0,95$	Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.2.4]
$c = 625$ [mm]	Pince minimale boulon d'ancrage-extrémité	CEB [9.2.4]
$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot c / c_{cr,N} \leq 1.0$		
$\psi_{s,N} = 0,98$	Coef. dépendant du pince boulon d'ancrage-extrémité de la fondation	CEB [9.2.4]
$\psi_{ec,N} = 1,00$	Coef. dépendant de la répartition des efforts de traction dans les boulons d'ancrage	CEB [9.2.4]
$\psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef} [mm] / 200 \leq 1.0$		

$\psi_{re,N} = 1,00$  Coef. dépendant de la densité du ferrailage dans la fondation CEB [9.2.4]  
 $\psi_{ucr,N} = 1,00$  Coef. dépendant du degré de fissuration du béton CEB [9.2.4]  
 $\gamma_{Mc} = 2,16$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]

$F_{t,Rd,c} = N_{Rk,c}^{0*} \psi_{A,N} \psi_{s,N} \psi_{ec,N} \psi_{re,N} \psi_{ucr,N} / \gamma_{Mc}$   
 $F_{t,Rd,c} = 153,5$  [kN] Résistance de calcul du boulon d'ancrage à l'arrachement du cône de béton EN 1992-1:[8.4.2.(2)]

### FENDAGE DU BETON

$h_{ef} = 800$  [mm] Longueur efficace du boulon d'ancrage CEB [9.2.5]

$N_{Rk,c}^0 = 7.5 [N^{0.5} / mm^{0.5}] * f_{ck} * h_{ef}^{1.5}$   
 $N_{Rk,c}^0 = 848,53$  [kN] Résistance de calc. pour le soulèvement CEB [9.2.5]

$s_{cr,N} = 1600$  [mm] Largeur critique du cône de béton CEB [9.2.5]

$c_{cr,N} = 800$  [mm] Distance critique du bord de la fondation CEB [9.2.5]

$A_{c,N0} = 44075,00$  [cm<sup>2</sup>] Aire de surface maximale du cône CEB [9.2.5]

$A_{c,N} = 32400,00$  [cm<sup>2</sup>] Aire de surface réelle du cône CEB [9.2.5]

$\psi_{A,N} = A_{c,N} / A_{c,N0}$

$\psi_{A,N} = 0,74$  Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage CEB [9.2.5]

$c = 625$  [mm] Pince minimale boulon d'ancrage-extrémité CEB [9.2.5]

$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 * c / c_{cr,N} \leq 1.0$

$\psi_{s,N} = 0,93$  Coef. dépendant du pince boulon d'ancrage-extrémité de la fondation CEB [9.2.5]

$\psi_{ec,N} = 1,00$  Coef. dépendant de la répartition des efforts de traction dans les boulons d'ancrage CEB [9.2.5]

$\psi_{re,N} = 0.5 + h_{ef} [mm] / 200 \leq 1.0$

$\psi_{re,N} = 1,00$  Coef. dépendant de la densité du ferrailage dans la fondation CEB [9.2.5]

$\psi_{ucr,N} = 1,00$  Coef. dépendant du degré de fissuration du béton CEB [9.2.5]

$\psi_{h,N} = (h / (2 * h_{ef}))^{2/3} \leq 1.2$

$\psi_{h,N} = 0,73$  Coef. dépendant de la hauteur de la fondation CEB [9.2.5]

$\gamma_{M,sp} = 2,16$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]

$F_{t,Rd,sp} = N_{Rk,c}^{0*} \psi_{A,N} \psi_{s,N} \psi_{ec,N} \psi_{re,N} \psi_{ucr,N} \psi_{h,N} / \gamma_{M,sp}$

$F_{t,Rd,sp} = 197,25$  [kN] Résistance de calcul du boulon d'ancrage au fendage du béton CEB [9.2.5]

### RÉSISTANCE DU BOULON D'ANCRAGE A LA TRACTION

$F_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd,s}, F_{t,Rd,p}, F_{t,Rd,c}, F_{t,Rd,sp})$

$F_{t,Rd} = 153,52$  [kN] Résistance du boulon d'ancrage à traction

### FLEXION DE LA PLAQUE DE BASE

#### Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$

$l_{eff,1} = 300$  [mm] Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1 [6.2.6.5]

$l_{eff,2} = 300$  [mm] Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2 [6.2.6.5]

$m = 110$  [mm] Pince boulon-bord de renforcement [6.2.6.5]

$M_{pl,1,Rd} = 16,87$  [kN\*m] Résistance plastique de la dalle pour le mode 1 [6.2.4]

$M_{pl,2,Rd} = 16,87$  [kN\*m] Résistance plastique de la dalle pour le mode 2 [6.2.4]

$F_{T,1,Rd} = 615,87$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode 1 [6.2.4]

$F_{T,2,Rd} = 458,49$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode 2 [6.2.4]

$F_{T,3,Rd} = 614,07$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode 3 [6.2.4]

$F_{t,pl,Rd,y} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$

$F_{t,pl,Rd,y} = 458,49$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode à la traction [6.2.4]

#### Moment fléchissant $M_{j,Ed,z}$

$l_{eff,1} = 350$  [mm] Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1 [6.2.6.5]

$l_{eff,2} = 350$  [mm] Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2 [6.2.6.5]

$m = 110$  [mm] Pince boulon-bord de renforcement [6.2.6.5]

$M_{pl,1,Rd} = 19,69$  [kN\*m] Résistance plastique de la dalle pour le mode 1 [6.2.4]

$M_{pl,2,Rd} = 19,69$  [kN\*m] Résistance plastique de la dalle pour le mode 2 [6.2.4]

$F_{T,1,Rd} = 718,51$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode 1 [6.2.4]

$F_{T,2,Rd} = 333,57$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode 2 [6.2.4]

$F_{T,3,Rd} = 307,03$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode 3 [6.2.4]

$F_{t,pl,Rd,z} = \min(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$

$F_{t,pl,Rd,z} = 307,03$  [kN] Résistance de la dalle pour le mode à la traction [6.2.4]

### RÉSISTANCES DE SEMELLE DANS LA ZONE TENDUE

$N_{j,Rd} = 916,98$  [kN] Résistance de la semelle à la traction axiale [6.2.8.3]

$F_{T,Rd,y} = F_{t,pl,Rd,y}$

$F_{T,Rd,y} = 458,49$	[kN]	Résistance de la semelle dans la zone tendue	[6.2.8.3]
$F_{T,Rd,z} = F_{t,pl,Rd,z}$			
$F_{T,Rd,z} = 307,03$	[kN]	Résistance de la semelle dans la zone tendue	[6.2.8.3]

## CONTROLE DE LA RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	$0,04 < 1,00$	<b>vérifié</b>	(0,04)
$e_y = 5514$	[mm]	Excentricité de l'effort axial	[6.2.8.3]
$Z_{c,y} = 186$	[mm]	Bras de levier $F_{C,Rd,y}$	[6.2.8.1.(2)]
$Z_{t,y} = 275$	[mm]	Bras de levier $F_{T,Rd,y}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,y} = 204,26$	[kN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion	[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)	$0,92 < 1,00$	<b>vérifié</b>	(0,92)
$e_z = 16$	[mm]	Excentricité de l'effort axial	[6.2.8.3]
$Z_{c,z} = 101$	[mm]	Bras de levier $F_{C,Rd,z}$	[6.2.8.1.(2)]
$Z_{t,z} = 225$	[mm]	Bras de levier $F_{T,Rd,z}$	[6.2.8.1.(3)]
$M_{j,Rd,z} = 9,24$	[kN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion	[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)	$0,06 < 1,00$	<b>vérifié</b>	(0,06)
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0,98 < 1,00$	<b>vérifié</b>	(0,98)

## CISAILLEMENT

### PRESSION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE

#### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$\alpha_{d,y} = 0,78$	Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement	[Tableau 3.4]
$\alpha_{b,y} = 0,78$	Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$	[Tableau 3.4]
$k_{1,y} = 2,50$	Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement	[Tableau 3.4]
$F_{1,vb,Rd,y} = k_{1,y} \alpha_{b,y} f_{up} d^* t_p / \gamma_{M2}$		
$F_{1,vb,Rd,y} = 569,53$	[kN] Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise	[6.2.2.(7)]

#### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$\alpha_{d,z} = 0,78$	Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement	[Tableau 3.4]
$\alpha_{b,z} = 0,78$	Coef. pour les calculs de la résistance $F_{1,vb,Rd}$	[Tableau 3.4]
$k_{1,z} = 2,50$	Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement	[Tableau 3.4]
$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \alpha_{b,z} f_{up} d^* t_p / \gamma_{M2}$		
$F_{1,vb,Rd,z} = 569,53$	[kN] Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise	[6.2.2.(7)]

### CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE

$\alpha_b = 0,25$	Coef. pour les calculs de la résistance $F_{2,vb,Rd}$	[6.2.2.(7)]
$A_{vb} = 7,07$	[cm <sup>2</sup> ] Aire de la section du boulon	[6.2.2.(7)]
$f_{ub} = 1200,00$	[MPa] Résistance du matériau du boulon à la traction	[6.2.2.(7)]
$\gamma_{M2} = 1,25$	Coefficient de sécurité partiel	[6.2.2.(7)]
$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b f_{ub} A_{vb} / \gamma_{M2}$		
$F_{2,vb,Rd} = 168,29$	[kN] Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier	[6.2.2.(7)]
$\alpha_M = 2,00$	Coef. dépendant de l'ancrage du boulon dans la fondation	CEB [9.3.2.2]
$M_{Rk,s} = 2,64$	[kN*m] Résistance caractéristique de l'ancrage à la flexion	CEB [9.3.2.2]
$l_{sm} = 60$	[mm] Longueur du bras de levier	CEB [9.3.2.2]
$\gamma_{Ms} = 1,20$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.2]
$F_{v,Rd,sm} = \alpha_M M_{Rk,s} / (l_{sm} \gamma_{Ms})$		
$F_{v,Rd,sm} = 73,20$	[kN] Résistance du boulon au cisaillement - avec bras de levier	CEB [9.3.1]

### RUPTURE DU BETON PAR EFFET DE LEVIER

$N_{Rk,c} = 331,60$	[kN] Résistance de calc. pour le soulèvement	CEB [9.2.4]
$k_3 = 2,00$	Coef. dépendant de la longueur de l'ancrage	CEB [9.3.3]
$\gamma_{Mc} = 2,16$	Coefficient de sécurité partiel	CEB [3.2.3.1]
$F_{v,Rd,cp} = k_3 N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$		
$F_{v,Rd,cp} = 307,03$	[kN] Résistance du béton à l'effet de levier	CEB [9.3.1]

### ECRASEMENT DU BORD DU BETON

#### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$V_{Rk,c,y} = 1907,4$	[kN] Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB [9.3.4.(a)]
$= \frac{6}{6}$		

### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,y}$

$V_{Rk,c,y}^0$	1 907,4	[kN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB
=	6			[9.3.4.(a)]
$\psi_{A,V,y}$	0,61		Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.3.4]
$\psi_{h,V,y}$	1,00		Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation	CEB
$\psi_{s,V,y}$	0,89		Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement	[9.3.4.(c)]
$\psi_{ec,V,y}$	1,00		Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB
$\psi_{\alpha,V,y}$	1,00		Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	[9.3.4.(d)]
$\psi_{ucr,V,y}$	1,00		Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB
$\gamma_{Mc}$	2,16		Coefficient de sécurité partiel	[9.3.4.(e)]
$F_{V,Rd,c,y} = V_{Rk,c,y}^0 \cdot \psi_{A,V,y} \cdot \psi_{h,V,y} \cdot \psi_{s,V,y} \cdot \psi_{ec,V,y} \cdot \psi_{\alpha,V,y} \cdot \psi_{ucr,V,y} / \gamma_{Mc}$				CEB [9.3.4.(f)]
$F_{V,Rd,c,y} = 478,55$		[kN]	Résistance du béton pour l'écrasement du bord	CEB [9.3.4.(g)]

### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$V_{Rk,c,z}^0$	1 699,5	[kN]	Résistance caractéristique du boulon d'ancrage	CEB
=	0			[9.3.4.(a)]
$\psi_{A,V,z}$	0,72		Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage	CEB [9.3.4]
$\psi_{h,V,z}$	1,00		Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation	CEB
$\psi_{s,V,z}$	0,92		Coef. d'influence des bords parallèles à l'effort de cisaillement	[9.3.4.(c)]
$\psi_{ec,V,z}$	1,00		Coef. d'irrégularité de la répartition de l'effort tranchant sur le boulon d'ancrage	CEB
$\psi_{\alpha,V,z}$	1,00		Coef. dépendant de l'angle d'action de l'effort tranchant	[9.3.4.(d)]
$\psi_{ucr,V,z}$	1,00		Coef. dépendant du mode de ferrailage du bord de la fondation	CEB
$\gamma_{Mc}$	2,16		Coefficient de sécurité partiel	[9.3.4.(e)]
$F_{V,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z}^0 \cdot \psi_{A,V,z} \cdot \psi_{h,V,z} \cdot \psi_{s,V,z} \cdot \psi_{ec,V,z} \cdot \psi_{\alpha,V,z} \cdot \psi_{ucr,V,z} / \gamma_{Mc}$				CEB [9.3.4.(f)]
$F_{V,Rd,c,z} = 518,91$		[kN]	Résistance du béton pour l'écrasement du bord	CEB [9.3.4.(g)]

### GLISSEMENT DE LA SEMELLE

$C_{f,d}$	0,30		Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton	[6.2.2.(6)]
$N_{c,Ed}$	0,00	[kN]	Effort de compression	[6.2.2.(6)]
$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$				
$F_{f,Rd} = 0,00$		[kN]	Résistance au glissement	[6.2.2.(6)]

### CONTACT DE LA CALE D'ARRÊT AVEC BETON

$F_{V,Rd,wg,y} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wy} \cdot f_{ck} / \gamma_c$				
$F_{V,Rd,wg,y} = 399,00$		[kN]	Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton	
$F_{V,Rd,wg,z} = 1.4 \cdot l_w \cdot b_{wz} \cdot f_{ck} / \gamma_c$				
$F_{V,Rd,wg,z} = 420,00$		[kN]	Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton	

### CONTROLE DU CISAILLEMENT

$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{V,Rd,sm}, F_{V,Rd,cp}, F_{V,Rd,c,y}) + F_{V,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$				
$V_{j,Rd,y} = 984,63$		[kN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$		0,00 < 1,00	<b>vérifié</b>	(0,00)
$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{V,Rd,sm}, F_{V,Rd,cp}, F_{V,Rd,c,z}) + F_{V,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$				
$V_{j,Rd,z} = 1005,63$		[kN]	Résistance de l'assemblage au cisaillement	CEB [9.3.1]
$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$		0,06 < 1,00	<b>vérifié</b>	(0,06)
$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$		0,06 < 1,00	<b>vérifié</b>	(0,06)

### SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE

$\sigma_{\perp} = 82,92$	[MPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.(7)]
$\tau_{\perp} = 82,92$	[MPa]	Contrainte tangentielle perpendiculaire	[4.5.3.(7)]
$\tau_{yII} = 0,07$	[MPa]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,y}$	[4.5.3.(7)]
$\tau_{zII} = -12,78$	[MPa]	Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,z}$	[4.5.3.(7)]
$\beta_W = 0,85$		Coefficient dépendant de la résistance	[4.5.3.(7)]

$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)	0,28 < 1,00	vérifié	(0,28)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{y11}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1)	0,44 < 1,00	vérifié	(0,44)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{z11}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1)	0,38 < 1,00	vérifié	(0,38)

## RIGIDITÉ DE L'ASSEMBLAGE

### Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$

$b_{eff} =$	122 [mm]	Largeur efficace de la semelle de tronçon T	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} =$	403 [mm]	Longueur efficace de la semelle de tronçon en T	[6.2.5.(3)]
$k_{13,y} = E_c \cdot \sqrt{(b_{eff} \cdot l_{eff}) / (1.275 \cdot E)}$			
$k_{13,y} =$	27 [mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$l_{eff} =$	300 [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m =$	110 [mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$k_{15,y} = 0.850 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / (m^3)$			
$k_{15,y} =$	5 [mm]	Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction	[Tableau 6.11]
$L_b =$	325 [mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	[Tableau 6.11]
$k_{16,y} = 1.6 \cdot A_b / L_b$			
$k_{16,y} =$	3 [mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,y} =$	0,62	Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,y} =$	30283,85 [kN*m]	Rigidité en rotation initiale	[Tableau 6.12]
$S_{j,rig,y} =$	315485,80 [kN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$		SEMI-RIGIDE	[5.2.2.5.(2)]

### Moment fléchissant $M_{j,Ed,z}$

$k_{13,z} = E_c \cdot \sqrt{(A_{c,z}) / (1.275 \cdot E)}$			
$k_{13,z} =$	27 [mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$l_{eff} =$	350 [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m =$	110 [mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$k_{15,z} = 0.850 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / (m^3)$			
$k_{15,z} =$	6 [mm]	Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction	[Tableau 6.11]
$L_b =$	325 [mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	[Tableau 6.11]
$k_{16,z} = 1.6 \cdot A_b / L_b$			
$k_{16,z} =$	3 [mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,z} =$	1,41	Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,z} =$	40424,21 [kN*m]	Rigidité en rotation initiale	[6.3.1.(4)]
$S_{j,rig,z} =$	59946,81 [kN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,z} < S_{j,rig,z}$		SEMI-RIGIDE	[5.2.2.5.(2)]

## COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

PLAQUE D'ASSISE A LA FLEXION

## REMARQUES

Rayon de courbure de l'ancrage trop faible.  
Segment L4 du boulon d'ancrage à crosse trop court.

60 [mm] < 90 [mm]  
60 [mm] < 150 [mm]

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	Ratio	0,98
--	-------	------