

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



**UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU**

**FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**

## **Mémoire de fin d'étude**

**En vue de l'obtention d'un diplôme Master 2 en génie civil**

**Option : Construction métallique**

### **Thème**

*Etude d'un hangar (R+2) en construction  
métallique à usage industriel*

**Réalisé par :**

TAMADARTAZA Sarah

**Dirigé par :**

Mr. AKKOUCHE.K

**Promotion : 2022-2023**

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'OUVRAGE.....</b>	<b>2</b>
I-1- ZONE D'IMPLEMENTATION .....	1
I-2- DONNEE GEOMETRIQUE.....	1
I-3- LES ELEMENTS DE L'OUVRAGE.....	1
I-3-1- <i>La stabilité</i> .....	1
I-3-2- <i>Plancher mixte</i> .....	2
I-3-3- <i>Toiture</i> .....	2
I-4- MATERIAUX UTILISES .....	3
I-4-1- <i>Acier</i> .....	3
I-4-2- <i>Béton</i> .....	3
I-5- NORMES ET REGLEMENT UTILISE .....	4
<b>CHAPITRE II : ETUDE CLIMATIQUE.....</b>	<b>5</b>
II-1- INTRODUCTION : .....	6
II-2- ETUDE AU VENT .....	6
II-2-1- <i>Détermination des différents paramètres et coefficients de calcul</i> .....	6
II-2-1-1- Effet de la région .....	6
II-2-1-2- Catégorie du terrain .....	6
II-2-1-3- Coefficient de topographie CT.....	7
II-2-1-4- Calcul du coefficient dynamique Cd .....	7
II-2-1-5- Coefficient de rugosité Cr .....	7
II-2-1-6- Intensité de turbulence I <sub>v</sub> : .....	7
II-2-1-7- Coefficient d'exposition C <sub>ex</sub> : .....	8
II-2-2- <i>Détermination de la pression dynamique de pointe q<sub>p</sub>(z)</i> .....	8
II-2-3- <i>Détermination du coefficient de pression extérieure C<sub>pe</sub></i> .....	9
II-2-3-1- Vent perpendiculaire au pignon (V1) : .....	10
II-2-3-1-1- Parois verticales : .....	10
II-2-3-1-2- Versant de toiture : .....	11
II-2-3-2- Vent perpendiculaire au long-pan (V2) .....	14
II-2-3-2-1- Parois verticales : .....	14
II-2-3-2-2- Versant de toiture : .....	15
II-2-4- <i>Calcul de la force de frottement</i> .....	17
II-2-5- <i>Action d'ensemble</i> .....	18
II-2-6- <i>Calcul de la stabilité de l'ensemble</i> .....	21
II-2-6-1- Vérification de la stabilité transversale (Θ=0°) .....	21
II-2-6-2- Vérification de la stabilité longitudinale(Θ=90°).....	22
II-3- ACTION DE LA NEIGE .....	22
II-3-1- <i>Domaine d'application</i> .....	22
II-3-2- <i>Charge de neige sur le sol</i> .....	23
II-3-3- <i>Charge de la neige sur le toit</i> .....	23
<b>CHAPITRE III : PRE DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS SECONDAIRES.....</b>	<b>25</b>
III-1- INTRODUCTION.....	26
III-2- PRE DIMENSIONNEMENT DES PANNES .....	26
III-2-1- <i>Définition</i> .....	26
III-2-2- <i>Donnée de calcul</i> .....	26
III-2-3- <i>Evaluation des charges et surcharges</i> .....	27
III-2-4- <i>Combinaison des charges les plus défavorables</i> .....	28
III-2-5- <i>Principe de pré dimensionnement</i> .....	29
III-2-6- <i>Condition de la flèche</i> .....	29

III-2-7-	<i>Classification de la section</i> .....	30
III-2-8-	<i>Evaluation des charges :</i> .....	30
III-2-9-	<i>Vérification à la sécurité</i> .....	30
III-2-9-1-	Vérification à L'ELU.....	30
III-2-9-1-1-	Vérification à la flexion.....	30
III-2-9-1-2-	Vérification au cisaillement.....	32
III-2-9-1-3-	Vérification au déversement.....	33
III-2-9-2-	Vérification à l'ELS.....	34
III-2-9-2-1-	Vérification à la flèche.....	34
III-3-	CALCUL DES LIERNES.....	36
III-3-1-	<i>Introduction</i> .....	36
III-3-2-	<i>Calcul de l'effort maximal revenant au lierne</i> .....	36
III-3-2-1-	Calcul de la réaction d'appuie.....	36
III-3-2-2-	Calcul de l'effort de traction :.....	37
III-3-3-	<i>Dimensionnement des liernes :</i> .....	37
III-4-	LISSE DE BARDAGE.....	38
III-4-1-	<i>Introduction</i> .....	38
III-4-2-	<i>Calcul des lisses de bardages</i> .....	38
III-4-2-1-	Donné de calcul.....	38
III-4-2-2-	Evaluation des charges et surcharges.....	39
III-4-2-3-	Combinaison des charges.....	39
III-4-2-4-	Condition de la flèche.....	39
III-4-2-5-	Classification de la section.....	40
III-4-2-6-	Vérification à la sécurité.....	41
III-4-2-6-1-	Vérification à L'ELU.....	41
III-4-2-6-1-1-	Vérification à la flexion.....	41
III-4-2-6-1-2-	Vérification au cisaillement.....	42
III-4-2-6-1-3-	Vérification au déversement.....	42
III-4-2-6-2-	Vérification à l'ELS.....	44
III-4-2-6-2-1-	Vérification à la flèche.....	44
III-4-3-	<i>Calcul des liernes</i> .....	45
III-4-3-1-	Calcul de l'effort maximal revenant au lierne.....	45
III-4-3-1-1-	Calcul de la réaction d'appuie.....	45
III-4-3-1-2-	Calcul de l'effort de traction :.....	45
III-4-3-1-3-	Dimensionnement des liernes :.....	46
III-5-	POTELET.....	46
III-5-1-	<i>Introduction</i> .....	46
III-5-2-	<i>Donné de calcul</i> .....	46
III-5-3-	<i>Evaluation des charges</i> .....	47
III-5-4-	<i>Dimensionnement du potelet</i> .....	47
III-5-5-	<i>Vérification a la résistance</i> .....	49
III-5-5-1-	Incidence de l'effort tranchant.....	49
III-5-5-2-	Incidence de l'effort normal :.....	49
III-5-5-3-	Vérification à la flexion.....	50
III-5-5-3-1-	Classification de la section.....	50
III-5-6-	<i>Vérification aux instabilités</i> .....	50
III-5-6-1-	Calcul des coefficients de réduction pour le flambement xy et xz.....	51
III-5-6-2-	Calcul des coefficients d'interaction kij :.....	52
III-5-6-3-	Vérification par rapport à l'axe fort y-y.....	53
III-5-6-4-	Vérification par rapport à l'axe faible z-z.....	53
III-6-	ESCALIER.....	53
III-6-1-	<i>Les éléments constituent les escaliers</i> .....	53
III-6-2-	<i>Dimensionnement des escaliers</i> .....	54
III-6-2-1-	Vérification à la condition de BLONDEL.....	54
III-6-2-2-	Longueur de volée.....	54
III-6-2-3-	Inclinaison du limon.....	54

III-6-2-4-	Longueur du limon .....	54
III-6-2-5-	Epaisseur du limon .....	55
<b>III-6-3-</b>	<b>Pré dimensionnement des éléments.....</b>	<b>55</b>
III-6-3-1-	Support des marches « Cornière » .....	55
III-6-3-1-1-	Evaluation des charges .....	55
III-6-3-1-2-	Choix de la section.....	56
III-6-3-1-3-	Classification de la section :.....	57
III-6-3-1-4-	Vérification à l'ELU .....	57
III-6-3-1-4-1-	Vérification du moment fléchissant (résistant).....	57
III-6-3-1-4-2-	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement).....	58
III-6-3-1-5-	Vérification à l'ELS .....	58
III-6-3-1-5-1-	Vérification à la flèche .....	58
III-6-3-2-	Limon.....	59
III-6-3-2-1-	Evaluation des charges .....	59
III-6-3-2-2-	Pré dimensionnement des limons .....	61
III-6-3-2-2-1-	Combinaison de charge.....	61
III-6-3-2-2-2-	Condition à la flèche .....	61
III-6-3-2-2-3-	Classification de la section .....	62
III-6-3-2-3-	Vérification à l'ELU .....	62
III-6-3-2-3-1-	Vérification du moment fléchissant (résistant).....	62
III-6-3-2-3-2-	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement).....	63
III-6-3-2-3-3-	Vérification au déversement.....	63
III-6-3-2-3-4-	Classification de la section .....	64
III-6-3-2-3-5-	Vérification au déversement.....	64
III-6-3-2-4-	Vérification à l'ELS .....	65
III-6-3-2-4-1-	Vérification à la flèche .....	65
III-6-3-3-	Poutre palier des limons.....	65
III-6-3-3-1-	Combinaison de charge .....	65
III-6-3-3-2-	choix de la section .....	66
III-6-3-3-3-	Classification de la section.....	66
III-6-3-3-4-	Vérification à l'ELU .....	67
III-6-3-3-4-1-	Vérification du moment fléchissant (résistant).....	67
III-6-3-3-4-2-	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement).....	67
III-6-3-3-4-3-	Vérification au déversement.....	68
III-6-3-3-5-	Vérification à l'ELS .....	69
III-6-3-3-5-1-	Vérification à la flèche .....	69

**CHAPITRE IV : PRE DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS STRUCTURAUX ..... 70**

IV-1-	INTRODUCTION.....	71
IV-2-	PRE-DIMENSIONNEMENT DES SOLIVES .....	71
IV-2-1-	<i>Définition</i> .....	71
IV-3-	PRE DIMENSIONNEMENT DES SOLIVES PLANCHER ETAGE COURANT .....	71
IV-3-1-	<i>Caractéristique</i> : .....	71
IV-3-2-	<i>Evaluation des charges et surcharges</i> .....	71
IV-3-2-1-	Charge permanente « G » .....	71
IV-3-2-2-	Surcharges « Q ».....	71
IV-3-3-	<i>Combinaison de charge</i> .....	71
IV-3-4-	<i>Condition de la flèche</i> .....	72
IV-3-5-	<i>Classification de la section</i> .....	72
IV-3-6-	<i>Vérification à l'ELU</i> .....	73
IV-3-6-1-	Vérification du moment fléchissant (résistant) .....	73
IV-3-6-2-	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement) .....	73
IV-3-7-	<i>Vérification à l'ELS</i> .....	74
IV-3-7-1-	Vérification à la flèche .....	74
IV-4-	PRE-DIMENSIONNEMENT DES POUTRES .....	74
IV-4-1-	<i>Poutres principales</i> .....	74
IV-4-2-	<i>Caractéristique des poutres principales de la structure étudiée</i> .....	74

IV-4-3-	<i>Evaluation des charges et surcharge :</i> .....	74
IV-4-3-1	Charge permanente « G » .....	74
IV-4-3-2	Surcharges « Q » :.....	75
IV-4-4-	<i>Combinaison des charges</i> .....	75
IV-4-5-	<i>Condition de la flèche</i> .....	75
IV-4-6-	<i>Classification de la section</i> .....	76
IV-4-7-	<i>Vérification à l'ELU</i> .....	76
IV-4-7-1	Vérification du moment fléchissant (résistant) .....	76
IV-4-7-2	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement) .....	77
IV-4-7-3	Vérification au déversement .....	77
IV-4-8-	<i>Vérification à l'ELS</i> .....	78
IV-4-8-1	Vérification à la flèche .....	78
IV-5-	PRE DIMENSIONNEMENT DES TRAVERSES .....	78
IV-5-1-	<i>Caractéristique des traverses de la structure étudiée</i> .....	78
IV-5-2-	<i>Evaluation des charges et surcharge :</i> .....	79
IV-5-2-1-	Charge permanente « G » .....	79
IV-5-2-2-	Surcharges « Q » :.....	79
IV-5-3-	<i>Combinaison des charges</i> .....	79
IV-5-4-	<i>Condition de la flèche</i> .....	79
IV-5-5-	<i>Classification de la section</i> .....	80
IV-5-6-	<i>Vérification à l'ELU</i> .....	80
IV-5-6-1-	Vérification du moment fléchissant (résistant) .....	80
IV-5-6-2-	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement) .....	81
IV-5-6-3-	Vérification au déversement .....	81
IV-5-7-	<i>Vérification à l'ELS</i> .....	82
IV-5-7-1-	Vérification à la flèche .....	82
IV-6-	POTEAUX.....	83
IV-6-1-	<i>Evaluation des charges et surcharges</i> .....	83
IV-6-1-1-	Poteaux intermédiaire :.....	83
IV-6-2-	<i>Poteaux de rive 1 :</i> .....	84
IV-6-3-	<i>Poteaux de rive 2 :</i> .....	84
IV-6-4-	<i>Poteaux de rive 3 :</i> .....	85
IV-6-5-	<i>Combinaison des charges</i> .....	86
IV-6-6-	<i>Choix de la section :</i> .....	86
IV-6-6-1-	Classification de la section.....	86
IV-6-6-2-	Combinaison des charges .....	86
IV-6-6-3-	Vérification de la condition à résistance .....	87
IV-6-6-3-1-	Calcul de l'élanement .....	87
IV-6-6-3-2-	Calcul de l'élanement réduit .....	87
IV-6-6-3-3-	Choix de la courbe de flambement .....	87
IV-6-6-3-4-	Vérification à la stabilité.....	88
IV-7-	CONCLUSION.....	88
<b>CHAPITRE V : ETUDE D'UN PLANCHER MIXTE.....</b>		<b>89</b>
V-1-	INTRODUCTION.....	90
V-2-	DISPOSITION DES SOLIVES .....	91
V-3-	VERIFICATION AU STADE DE MONTAGE .....	91
V-3-1-	<i>Evaluation des charges et surcharges</i> .....	91
V-3-2-	<i>Combinaison de charge</i> .....	91
V-3-3-	<i>Vérification à l'ELU</i> .....	92
V-3-3-1-	Vérification du moment fléchissant (résistant) .....	92
V-3-3-2-	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement) .....	92
V-3-4-	<i>Vérification à l'ELS</i> .....	92
V-3-4-1-	Vérification à la flèche .....	92
V-4-	VERIFICATION AU STADE FINAL.....	93

V-4-1-	<i>Evaluation des charges</i> .....	93
V-4-2-	<i>Combinaison de charge</i> .....	93
V-4-3-	<i>Caractéristique du plancher mixte</i> .....	94
V-4-3-1-	Calcul de la largeur efficace du béton.....	94
V-4-3-2-	Position de l'axe neutre.....	95
V-4-4-	<i>Vérification à l'ELU</i> .....	96
V-4-4-1-	Vérification du moment de résistance plastique.....	96
V-4-4-2-	Vérification à l'effort tranchant (cisaillement).....	96
V-4-5-	<i>Vérification à l'ELS</i> .....	97
V-4-5-1-	Condition de la flèche.....	97
V-5-	<b>CALCUL DES CONNEXION ACIER-BETON</b> .....	97
V-5-1-	<i>Dimensionnements des connecteurs</i> .....	98
V-5-2-	<i>Calcul du nombre de connecteurs (goujon)</i> .....	99
V-5-3-	<i>Espacement entre connecteur</i> .....	100
<b>CHAPITRE VI : PREDIMENSIONNEMENT DES CONTREVENTEMENTS</b> .....		<b>101</b>
VI-1-	INTRODUCTION.....	102
VI-2-	ROLE DES SYSTEMES DE CONTREVENTEMENT.....	102
VI-3-	PRE DIMENSIONNEMENT DE LA POUTRE AU VENT EN PIGNON SELON L'EC3.....	102
VI-3-1-	<i>Effort F de compression simple en tête des potelets</i> .....	103
VI-3-2-	<i>Effort de traction dans les diagonales</i> .....	103
VI-3-3-	<i>Section dans la diagonal</i> :.....	104
VI-3-4-	<i>Vérification à la résistance ultime de la section</i> .....	104
VI-4-	PRE DIMENSIONNEMENT DE LA PALEE DE STABILITE SELON L'EC3.....	105
VI-4-1-	<i>Effort de traction dans la diagonale</i> .....	105
VI-4-2-	<i>Section dans la diagonal</i> :.....	106
VI-4-3-	<i>Vérification à la résistance ultime de la section</i> .....	107
<b>CHAPITRE VII : ETUDE SISMIQUE</b> .....		<b>108</b>
VII-1-	INTRODUCTION.....	109
VII-2-	CLASSIFICATION DE NOTRE OUVRAGE SELON LE RPA99 VERSION 2003.....	109
VII-2-1-	<i>Classification de la zone sismique</i> .....	109
VII-2-2-	<i>Classification de notre ouvrage selon son importance (RPA99 version2003)</i> .....	109
VII-2-3-	<i>Classification du site (Art3.3 RPA99 version2003)</i> .....	110
VII-2-4-	<i>Classification des systèmes de contreventement (RPA99 version2003)</i> .....	110
VII-3-	METHODES DE CALCUL.....	110
VII-4-	PRINCIPE METHODE STATIQUE EQUIVALENTE.....	111
VII-5-	CALCUL DE LA FORCE SISMIQUE TOTALE (RPA 99VERSION 2003).....	111
VII-6-	RE-VERIFICATION DES POTEAUX AVEC LA CHARGE SISMIQUE.....	115
<b>CHAPITRE VIII : CALCUL DES ASSEMBLAGES</b> .....		<b>116</b>
VIII-1-	INTRODUCTION.....	117
VIII-2-	CALCUL DES ASSEMBLAGES PAR BOULONS :.....	117
VIII-3-	ASSEMBLAGE DE RIVE (POTEAU-TRAVERSE) :.....	117
VIII-3-1-	<i>La disposition constructive des boulons</i> :.....	118
VIII-3-2-	<i>Les composants de l'assemblage</i> .....	118
VIII-3-3-	<i>Vérification de la résistance à la flexion</i> :.....	119
VIII-3-4-	<i>Calcul du moment résistant</i> :.....	119
VIII-3-5-	<i>Résistance de l'assemblage sous l'effort tranchant</i> :.....	120
VIII-4-	VERIFICATION A LA RESISTANCE DE L'AME DU POTEAU DANS LA ZONE TENDUE :.....	121
VIII-5-	ASSEMBLAGE DU FAITAGE (TRAVERSE-TRAVERSE) :.....	122
VIII-5-1-	<i>Vérification de la résistance à la flexion</i> :.....	123
VIII-5-2-	<i>Effort de précontrainte dans le boulon</i> :.....	123
VIII-5-3-	<i>Vérification à la résistance de l'assemblage</i> :.....	124

VIII-5-4-	Vérification de la résistance au cisaillement : .....	124
VIII-5-5-	Effort tranchant par boulon : .....	124
VIII-6-	ASSEMBLAGE DES PIEDS DE POTEAUX : .....	124
VIII-6-1-	Efforts sollicitant : .....	124
VIII-6-2-	Vérification de la plaque d'assise (platine) : .....	125
VIII-6-3-	Vérification des tiges d'ancrage : .....	126
<b>CHAPITRE IX : VERIFICATION DES ELEMENTS.....</b>		<b>206</b>
IX-1-	INTRODUCTION.....	207
IX-2-	RECAPITULATIF DES ELEMENTS UTILISES .....	207
IX-3-	VERIFICATION DES PANNES : .....	209
IX-4-	VERIFICATION DES LISSES : .....	211
IX-5-	VERIFICATION DES POTELETS : .....	212
IX-6-	VERIFICATION DES SOLIVES : .....	214
IX-7-	VERIFICATION DES POUTRES PRINCIPALES : .....	216
IX-8-	VERIFICATION DES TRAVERSES : .....	219
IX-9-	VERIFICATION DES POTEAUX : .....	220
<b>CHAPITRE X : CALCUL DES FONDATIONS.....</b>		<b>223</b>
X-1-	INTRODUCTION.....	224
X-2-	ETUDE DU SOL .....	224
X-3-	CHOIX DU TYPE DE FONDATION .....	224
X-4-	ETUDE DES SEMELLES .....	225
X-4-1-	Dimensionnement de la semelle.....	225
X-4-2-	Vérification de la stabilité.....	226
X-4-3-	Calcul du ferrailage.....	226
X-5-	CALCUL DES LONGRINES.....	228
X-5-1-	Calcul de l'espacement des cadres .....	229
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>		<b>230</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>		<b>231</b>
<b>ANNEXES</b>		
<b>PLANS</b>		

## *Liste des figures*

FIGURE I.1.	VUE EN 3D .....	1
FIGURE I.2.	PLANCHER MIXTE .....	2
FIGURE I.3.	PANNEAU SANDWICH .....	3
FIGURE II.1.	HAUTEUR DE REFERENCE ZE ET LE PROFIL CORRESPONDANT DE LA PRESSION DYNAMIQUE HAUTEUR DE REFERENCE ZE ET LE PROFIL CORRESPONDANT DE LA PRESSION DYNAMIQUE (RNVA 2013).....	9
FIGURE II.2.	VUE EN PLAN DES ZONES DE PRESSION SUR LES PAROIS VERTICALS SENS V1 10	
FIGURE II.3.	REPARTION DE LA PRESSION AERODYNAMIQUE SUR LES PAROIS SOUS V 111	
FIGURE II.4.	VUE EN PLAN DES ZONES DE PRESSION SUR LA TOITURE SUIVANT V1 .....	12
FIGURE II.5.	COEFFICIENT DE PRESSION INTERIEUR (DISTRIBUTION UNIFORME DES OUVERTURES).....	13
FIGURE II.6.	REPARTION DE LA PRESSION AERODYNAMIQUE SUR LES PAROIS SOUS V2	15
FIGURE II.7.	VUE EN PLAN DES ZONES DE PRESSION SUR LA TOITURE SUIVANT V2 .....	15
FIGURE II.8.	REPRESENTATION DES SURFACES DE FROTTEMENT.....	17
FIGURE II.9.	REPRESENTATION DES CHARGES PROVOQUANT UN MOMENT DE RENVERSEMENT AU LONG-PAN .....	21
FIGURE II.10.	REPRESENTATION DES CHARGES PROVOQUANT UN MOMENT DE RENVERSEMENT AU PIGNON .....	22
FIGURE II.11.	REPRESENTATION DES CHARGES STATIQUE DE NEIGE SUR LA TOITURE ET SUR LE SOL	23
FIGURE II.12.	VALEUR DU COEFFICIENT DE FORME $\mu I$ .....	24
FIGURE III.1.	DISPOSITION DES PANNES SUR LA TOITURE.....	26
FIGURE III.2.	PANNE DE TOITURE EN FLEXION SOUS LES DIFFERENTS PLANS DE CHARGEMENT (DAHMANI.L.2022) .....	31
FIGURE III.3.	PANNE DE TOITURE EN FLEXION (DAHMANI.L.2022).....	31
FIGURE III.1.		32
FIGURE III.4.	PANNE DE TOITURE EN CISAILLEMENT SOUS LES DEFERENTS PLANS DE CHARGEMENT. (DAHMANI.L.2022) .....	32
FIGURE III.5.	VERIFICATION DE LA FLECHE (DAHMANI.L.2022).....	35
FIGURE III.6.	DISPOSITIONS DES LIERNES.....	36
FIGURE III.7.	REACTION R SUR LES LIERNES.....	36
FIGURE III.8.	DISPOSITION DES LISSES DE BARDAGES. ....	38
FIGURE III.9.	DISPOSITION DES CORNIERES.....	55
FIGURE III.10.	CHARGE APPLIQUE SUR LA CORNIERE .....	56
FIGURE III.11.	DISTRIBUTION DES CHARGES SUR UN LIMON.....	59
FIGURE III.12.	CHARGE PERMANENTE "G" .....	60

<b>FIGURE III.13. CHARGE D'EXPLOITATION "Q"</b> .....	<b>60</b>
<b>FIGURE III.14. CHARGE EQUIVALENTE "G"</b> .....	<b>60</b>
<b>FIGURE III.15. CHARGE EQUIVALENTE "Q"</b> .....	<b>61</b>
<b>FIGURE IV.1. SURFACE REPRISE PAR LES POTEAUX</b> .....	<b>83</b>
<b>FIGURE V.1. ELEMENTS CONSTRUCTIFS D'UN PLANCHER MIXTE (CRISINEL MICHEL, CONCEPTION ET CALCUL DES DALLES MIXTE)</b> .....	<b>90</b>
<b>FIGURE V.2. REPRESENTATION DE LA TOLE HI-BOND 55</b> .....	<b>90</b>
<b>FIGURE V.3. DIMENSIONS D'UNE POUTRE MIXTE</b> .....	<b>94</b>
<b>FIGURE V.4. B<sub>EFF</sub> SELON L'EUROCODE 4</b> .....	<b>94</b>
<b>FIGURE V.5. DISTRIBUTION PLASTIQUE DES CONTRAINTES NORMALES : CAS DE L'AXE NEUTRE PLASTIQUE DANS LA DALLE (FLEXION POSITIVE)</b> .....	<b>96</b>
<b>FIGURE V.6. DISPOSITION D'UN CONNECTEUR</b> .....	<b>98</b>
<b>FIGURE V.7. CARACTERISTIQUES DES CONNECTEURS SELON L'EUROCODE 4</b> .....	<b>98</b>
<b>FIGURE V.8. DISTANCE ENTRE LES GOUJONS</b> .....	<b>100</b>
<b>FIGURE VI.1. SCHEMA STATIQUE DE LA POUTRE AU VENT</b> .....	<b>102</b>
<b>FIGURE VI.2. DISPOSITION DES HAUTEURS "HI"</b> .....	<b>103</b>
<b>FIGURE VI.3. SCHEMA STATIQUE DU PALEE DE STABILITE EN LONG PAN</b> .....	<b>105</b>
<b>FIGURE VII.1. LA CARTE DES ZONES SISMIQUES DE L'ALGERIE ET LE ZONAGE GLOBAL DES DIFFERENTES WILAYAS</b> .....	<b>109</b>
<b>FIGURE VII.2. LIMITES DES DECROCHEMENTS EN PLAN (RPA 99VERSION 2003)</b> .....	<b>110</b>
<b>FIGURE VIII.1. REPRESENTATION DE L'ASSEMBLAGE POTEAU-TRAVERSE</b> .....	<b>118</b>
<b>FIGURE VIII.2. REPRESENTATION DE L'ASSEMBLAGE POTEAU-TRAVERSE</b> .....	<b>119</b>
<b>FIGURE VIII.3. RESISTANCE DE L'AME DU POTEAU DANS LA ZONE TENDUE.</b> .....	<b>121</b>
<b>FIGURE VIII.4. REPRESENTATION DE L'ASSEMBLAGE TRAVERSE-TRAVERSE.</b> .....	<b>122</b>
<b>FIGURE VIII.5. REPRESENTATION DE L'ASSEMBLAGE TRAVERSE-TRAVERSE.</b> .....	<b>123</b>
<b>FIGURE VIII.6. REPRESENTATION DES PIED DE POTEAUX</b> .....	<b>125</b>
<b>FIGURE VIII.7. DETAILS SUR L'ASSEMBLAGE PIED DE POTEAU.</b> .....	<b>125</b>
<b>FIGURE IX.1. VUE D'ENSEMBLE DU PROJET</b> .....	<b>207</b>
<b>FIGURE IX.2. VUE DE PIGNON</b> .....	<b>208</b>
<b>FIGURE IX.3. VUE DE LONG PAN</b> .....	<b>208</b>
<b>FIGURE X.1. DIAGRAMME DES CONTRAINTES AGISSANT SUR LES FONDATIONS</b> .....	<b>225</b>
<b>FIGURE X.2. DETAIL DE LA SEMELLE ISOLE</b> .....	<b>227</b>
<b>FIGURE X.3. FERRAILLAGE DES LONGRINES</b> .....	<b>229</b>

## *Liste des tableaux :*

TABLEAU II.1. CATEGORIE DE TERRAIN III (TABLEAU 2.4, CHAPITRE2 RNV 2013).....	6
TABLEAU II.2. COEFFICIENT DYNAMIQUE DE POINT .....	9
TABLEAU II.4. COEFFICIENTS DE PRESSIONS EXTERIEURES (PAROIS VERTICALES) « V1 »	11
TABLEAU II.5. DETERMINATIONS DES SURFACES : .....	12
TABLEAU II.6. VALEUR DE PRESSION AERODYNAMIQUE $\Theta=90^\circ$ (V1).....	13
TABLEAU II.7. VALEUR DE PRESSION AERODYNAMIQUE $\Theta=90^\circ$ (V1).....	14
TABLEAU II.8. DETERMINATIONS DES SURFACES : .....	14
TABLEAU II.9. COEFFICIENT DE PRESSION EXTERIEURES .....	14
TABLEAU II.10. VALEUR DE PRESSION AERODYNAMIQUE $\Theta=0^\circ$ (V2).....	16
TABLEAU II.11. VALEUR DE PRESSION AERODYNAMIQUE $\Theta=0^\circ$ (V2).....	16
TABLEAU II.12. VALEURS DES FORCES HORIZONTALES ET VERTICALES : DIRECTION DU VENT( $\Theta=0^\circ$ ) AVEC PRESSION INTERIEURE DE +0.2 .....	19
TABLEAU II.13. VALEURS DES FORCES HORIZONTALES ET VERTICALES : DIRECTION DU VENT( $\Theta=0^\circ$ ) AVEC PRESSION INTERIEURE DE -0.3 .....	19
TABLEAU II.14. VALEURS DES FORCES HORIZONTALES ET VERTICALES : DIRECTION DU VENT( $\Theta=90^\circ$ ) AVEC PRESSION INTERIEURE DE +0.2 .....	20
TABLEAU II.15. VALEURS DES FORCES HORIZONTALES ET VERTICALES : DIRECTION DU VENT( $\Theta=90^\circ$ ) AVEC PRESSION INTERIEURE DE -0.3 .....	20
TABLEAU III.1. CHARGE D'ENTRETIEN DES TOITURES INACCESSIBLES .....	27
TABLEAU III.2. DIMENSIONS ET CARACTERISTIQUES DE IPE 140 .....	30
TABLEAU III.3. LES CARACTERISTIQUES DE LA BARRE RONDE R 10 .....	38
TABLEAU III.4. DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU UPN120.....	40
TABLEAU III.5. DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU HEA 300 .....	48
TABLEAU III.6. CARACTERISTIQUE ET DIMENSION DU L 40×40×5.....	57
TABLEAU III.7. DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU UPN 220.....	62
TABLEAU III.8. DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU UPN 260.....	64
TABLEAU III.9. DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU IPE 180 .....	66
TABLEAU IV.1.DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU IPE 220.....	72
TABLEAU IV.2.DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU HEM 400.....	76
TABLEAU IV.3.DIMENSION ET CARACTERISTIQUE DU IPE 450.....	80
TABLEAU IV.4.CARACTERISTIQUE ET DIMENSION DU HEA 500.....	86
TABLEAU VI.1.COEFFICIENT MINORATEUR B2 ET B3.....	104
TABLEAU VI.2.COEFFICIENT MINORATEUR B2 ET B3.....	107
TABLEAU VII.1. COEFFICIENT D'ACCELERATION DE ZONE A (RPA 99VERSION 2003)...	111
TABLEAU VII.2. PERIODE CARACTERISTIQUE ASSOCIEE A LA CATEGORIE DU SITE (RPA 99VERSION 2003)	112
TABLEAU VII.3. VALEURS DES PENALITES PQ.....	114
TABLEAU IX.1.CARACTERISTIQUES DES BARRES .....	209



## *Notations*

Dimensions et caractéristiques de calcul	
Notation	Signification
$A$	Aire de la section brute.
$A_{net}$	Aire de la section nette.
$A_{eff}$	Aire de la section efficace (section4).
$A_{fr}$	Aire de l'élément de surface balayé par le vent.
$A_s$	Section résistant de la tige d'un boulon en fond de filet.
$A_v$	Aire de cisaillement.
$h$	Hauteur.
$Z_{min}$	Hauteur minimale.
$b$	Largueur.
$L$	Longueur.
$l$	Largeur.
$l_k$	Longueur de flambement.
$d$	Diamètre du fut du goujon.
$S$	Surface.
$L_o$	La portée de la poutre.
$t$	Epaisseur.
$t_w$	Epaisseur de l'âme.
$t_f$	Epaisseur de la semelle.
$r$	Rayon de raccordement.
$t_p$	Epaisseur platine d'extrémité.
$d$	Diamètre nominal du trou.
$d_o$	Diamètre du trou.
$e$	Pince longitudinale ou transversale.

$p$	Entraxe des boulons.
$I_y$	Moment d'inertie de flexion maximale.
$I_z$	Moment d'inertie de flexion maximale.
$W_{pl}$	Module de résistance plastique de la section.
$W_{el}$	Module de résistance élastique.
$W_{eff}$	Module de résistance efficace.
$i$	Rayon de gyration.
$I_t$	Moment d'inertie de torsion.
$F_v$	Résistance des boulons au cisaillement par plan de cisaillement.
$F_t$	Résistance des boulons en traction.
$F_B$	Résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées.
<b>Coefficients et grandeurs sans dimensions</b>	
$C_t$	Coefficient de topographie.
$C_d$	Coefficient dynamique.
$C_p$	Coefficient de pression.
$C_e$	Coefficient d'exposition au vent.
$C_r$	Coefficient de rugosité.
$C_{fr}$	Coefficient de frottement.
$C_T$	Coefficient, fonction du système de contreventement.
$s$	Coefficient utilisé pour le calcul du coefficient dynamique $C_d$ .
$\gamma_M$	Coefficient partiel de sécurité.
$\gamma_v$	Coefficient partiel de sécurité.
$\mu$	Coefficient de frottement / Coefficient de forme.
$R$	Coefficient de comportement de la structure.
$\lambda$	Élancement.
$\lambda_k$	Élancement eulérien.
$\bar{\lambda}$	Élancement réduit.

$\lambda_{LT}$	Élancement de l'élément vis-à-vis du déversement.
$\chi$	Coefficient de réduction pour le flambement.
$\chi_{LT}$	Coefficient de réduction pour le déversement.
$K_T$	Facteur de terrain.
$C_1$	Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments.
$Q_{My}$	Facteur de moment uniforme équivalent pour le flambement.
$c$	Facteur de résistance du béton.
$Q$	Facteur de qualité.
$D$	Facteur d'amplification dynamique moyen.
$\eta$	Facteur de correction d'amortissement.
$I_w$	Facteur de gauchissement.
<b>Sollicitations et contraintes</b>	
$M$	Moment sollicitant.
$M_{sd}$	Moment fléchissant.
$M_{cr}$	Moment critique élastique de déversement.
$M_{pl}$	Moment fléchissant de résistance plastique.
$M_{el}$	Le moment de résistance élastique.
$M_b$	Moment résistant de déversement.
$M_r$	Moment de renversement.
$M_s$	Moment stabilisant.
$V_{sd}$	Effort tranchant sollicitant.
$V_{pl}$	Résistance plastique de la section à l'effort tranchant.
$N$	Effort normal.
$N_{pl}$	Effort normal de plastification.
$F_u$	La résistance à la traction.
$f_y$	Limite d'élasticité.
$F_{cj}$	Résistance caractéristique à la compression.
$F_{tj}$	Résistance caractéristique à la traction.

$F_{t,Rd}$	Résistance de l'âme du poteau à la traction.
$F_{PC}$	Précontrainte de frottement.
$F_{fr}$	Force de frottements (d'entraînement) éventuelles.
$q_p$	Pression dynamique de pointe.
$W$	Pression aérodynamique du vent.
$q_{ref}$	Pression dynamique de référence.
$\rho$	Masse volumique.
$E$	Module d'élasticité longitudinale.
$G$	Module cisaillement / Charge permanente.
$Q$	Surcharge d'exploitation.

### Notes de calcul « ROBOT »

$N_{sd}$	Effort axial.
$N_{t,Rd}$	Résistance ultime plastique en traction.
$V_{sd}$	Effort de cisaillement.
$V_{pl,Rd}$	Résistance ultime en cisaillement.
$M_{sd}$	Moment fléchissant.
$M_{cr}$	Moment critique pour le déversement.
$M_{b,Rd}$	Moment ultime pour le déversement.
$M_{pl,Rd}$	Moment ultime plastique.
$M_{el,Rd}$	Moment ultime élastique.
$M_{y,Rd}$	Moment ultime compte tenu de l'interaction.
$L_{fy}$	Longueur de flambement.
$ID_{sup}$	Longueur de déversement de la semelle supérieure.
$ID_{inf}$	Longueur de déversement de la semelle inférieure.
$\lambda_y$	Elancement de la barre.
$\lambda_{y,r}$	Elancement relatif de la barre.
$\lambda_{LT}$	Elancement fictif de la barre pour le déversement.
$\chi_y$	Coefficient de flambement.

$X_{LT}$	Coefficient de déversement.
$K_{LT}$	Coefficient de réduction pour le déversement.
$M_{ly}$	Coefficient pour le calcul de $K_{fy}$ .
$M_{lLT}$	Coefficient pour le calcul de $K_{LT}$ .
$K_y$	Coefficient de reduction en flexion.
$C_1$	Coefficient pour le calcul du moment critique.
$Beta M_y$	Coefficient dépendant du diagramme des moments.
$Beta_{MLT}$	Coefficient dépendant du diagramme des moments.
$u$	Flèche.
$u_{max}$	Flèche admissible.
$u_{inst}$	Flèche due aux charges variables.
$u_{inst,max}$	Flèche admissible due aux charges variables en z.

## ***Remerciements :***

*En ce moment crucial de ma vie académique, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers ceux qui ont joué un rôle essentiel dans la réalisation de ce travail de recherche.*

*Je remercie DIEU, le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien finir ce travail et m'avoir aidé à arriver jusqu'au bout.*

*Je remercie profondément mes chers parents et mon très cher frère pour leur soutien moral, matériel et physique tout au long de mon cursus.*

*Je tiens aussi à remercier vivement tous mes enseignants qui m'ont guidé le long de ma formation particulièrement :*

*Mon promoteur Mr AKKOUCHE pour ses conseils éclairés et sa disponibilité constante qui ont été déterminants dans la réalisation de ce mémoire.*

*Les membres de jury pour l'intérêt qui ont portés à mon travail et qui feront l'honneur d'examiner et juger ce dernier.*

*Mes vifs remerciements vont également aux staffs administratifs du département génie civil de l'université MOULOUD MAMMERY de TIZI-OUZOU pour m'avoir accompagné pendant mon parcours universitaire.*

*Enfin, je souhaite exprimer ma reconnaissance envers tous les enseignants et collègues qui ont croisé ma route et partagé leurs connaissances et leur soutien au fil des années.*

*Cette réussite est le fruit d'un travail acharné, d'inspiration divine et du soutien indéfectible de ma famille, de mon promoteur et de mes enseignants. Je suis honorée d'avoir pu accomplir ce parcours académique, et je garde en tête que cela ouvre la voie à de nouvelles opportunités et de nouveaux défis.*

## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail:*

*A mes très chers parents, mon père SEDDIK et ma mère FATIHA qui ne cessent de m'encourager et me soutenir tous les jours. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*A toute ma famille, mon cher frère Amayes, Ma grand-mère Ouardia ; à mes chères amies Moufida et Thamilla ; à tous mes collègues de la promotion 2022/2023 ; et à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont accompagné durant mon cursus.*

***SARAH***

# INTRODUCTION GENERALE

La construction métallique est une branche, qui répond aux besoins actuels dans le domaine de la construction de par sa rapidité, solidité, légèreté et les possibilités architecturales qu'il propose.

Ce dernier touche plusieurs axes tel que les ponts, bâtiments, tours, hangars ..., et aussi la chaudronnerie (réservoirs, cuves, échangeurs, récipient...).

La construction métallique offre d'importants avantages à la réalisation et l'utilisation :

- Utilisation optimale de l'espace grâce aux grandes portées et aux sections réduites des éléments
- Structure porteuses aérées et tolérances réduites facilitant la mise en place des installations techniques et des éléments du second-œuvre.
- Grand liberté grâce aux structures filigranes et légères.
- Facilite d'adoption aux changements d'affectation grâce à des assemblages démontables et à l'intégration de nouveaux éléments et installations.
- Avec les revêtements on obtient un meilleur protecteur contre corrosion et l'incendie
- Economie importantes grâce au poids réduite de la structure.
- La légèreté de l'acier qui réduit les charges sur le sol, nous permettons d'avoir des bâtiments de plus grande envergure
- Montage rapide, indépendant des conditions atmosphériques,
- Écologie exemplaire (possibilité de démontage, recyclage).
- Le comportement élastique de l'acier offre une rigidité élevée ainsi, l'acier supporte des contraintes plus importantes à la traction comme à la compression jusqu'à sa limite d'élasticité.

Les structures métalliques présentes également certains inconvénients, on peut citer :

- Mauvaise tenue de l'acier au feu cela exige des mesures de protections délicates.
- Nécessité de l'entretien et de maintenance régulière des éléments contre la corrosion.

# **Chapitre I : Présentation de l'ouvrage**

L'ouvrage étudié dans ce projet fait office d'un hangar en R+2, à usage industriel

### **I-1- Zone d'implémentation**

L'ouvrage est implémenté dans la Wilaya de Tizi Ouzou, classé comme étant « Zone I » selon la réglementation neige et vent « RNV 2013 » et « Zone IIa » selon la réglementation parasismique algérienne « RPA99/version 2013 ».

### **I-2- Donnée géométrique**

L'œuvre et d'une superficie  $S= 1182 \text{ m}^2$  avec les caractéristiques suivantes :

- Longueur total (long pan) : 48m.
- Largeur total (pignon) : 22m.
- Hauteur totale : 15.78m.
- Hauteur des poteaux : RDC=6.12m
- Etage1 =4.08m
- . Etage2 =4.08m
- Hauteur de la toiture : 1.5 m.



Figure I.1. Vue en 3D

### **I-3- Les éléments de l'ouvrage**

#### **I-3-1- La stabilité**

La stabilité de la structure est assurée par deux types de systèmes de contreventement :

Contreventement verticale : a pour but, de transférer les forces horizontales aux fondations, assurées par portique et palée en X.

Contreventement horizontal a pour but de rigidifier les surfaces horizontal (plancher) qui doivent transmettre les forces dues au vent et au séisme agissant sur la façade au point fixe verticaux.

Ce type de contreventement est assuré par les planchers collaborant et les poutres au vent.

### I-3-2- Plancher mixte

Une dalle mixte est composée d'une tôle nervurée sur laquelle on coule une dalle en béton comportant un léger treillis d'armature destiné à limiter la fissuration du béton due au retrait et aux effets de la température. Dans ce type de dalles, la tôle nervurée sert de plate-forme de travail lors du montage, de coffrage.

Elle peut également servir de contreventement horizontal provisoire lors du montage de la structure porteuse du bâtiment, à condition qu'elle soit fixée à la poutraison de façon adéquate.

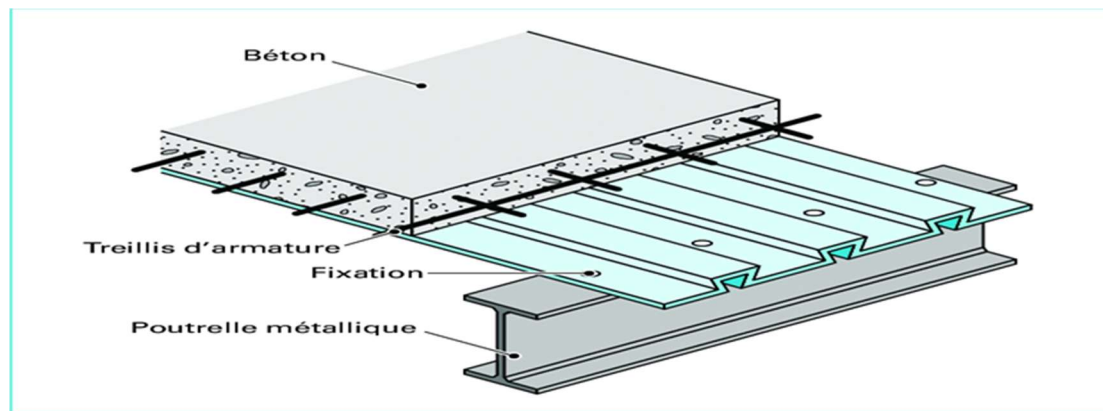


Figure I.2. Plancher mixte

La connexion entre le béton et la tôle est assurée par plusieurs types de connecteurs et les plus utilisés sont :

1. Les goujons à tête soudés électriquement avec un pistolet adéquat.
2. Les cornières fabriquées par pliage à froid.
3. Butées soudées (découpées dans des cornières ou des dars en T) mais ce type est rarement utilisé.

Le rôle principal des connecteurs est de limiter le glissement entre l'acier et le béton. Selon le nombre de connecteur on distinguera deux types de connexion : connexion complète et connexion partiel.

### I-3-3- Toiture

La toiture en charpente métallique à multiple versant réalisée en panneaux sandwichs composée de deux lobs en acier plats ou nervurés et d'une âme rigide isolante.

Pour cet ouvrage on a opté pour une toiture en « TL 75 » constituée d'une peau externe trapézoïdale et d'une peau interne linéaire intercalées par une mousse dure offrant à la fois une :

- Isolation thermique et phonique.
- Etanchéité.
- Par-vapeur.

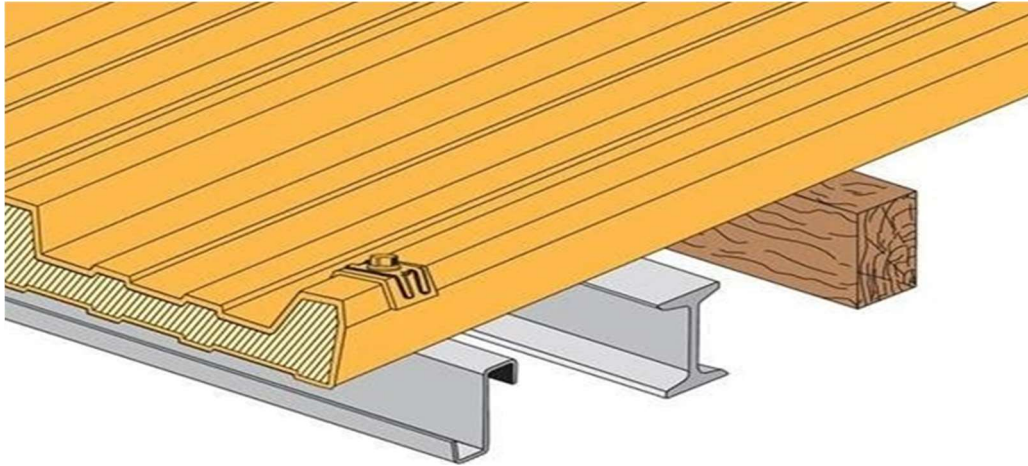


Figure I.3. Panneau sandwich

#### **I-4- Matériaux utilisés**

##### **I-4-1- Acier**

L'acier est un alliage métallique constitué essentiellement de Fer et d'un taux de Carbone faible (1%).

Dans ce projet on a opté pour un acier de classe S235 avec les caractéristiques suivantes :

- La limite élastique de traction,  $f_y=235$  Mpa.
- Module de YOUNG (module d'élasticité longitudinal)  $E=210000$  Mpa.
- Module d'élasticité transversal  $G=81000$  Mpa.
- La limite élastique de cisaillement,  $\tau = 0.58 f_y$  Mpa.
- La masse volumique de l'acier :  $\rho = 7850$  Kg/m<sup>3</sup>.
- Le Coefficient de dilatation thermique :  $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-6}$ .
- Coefficient de poisson  $\nu= 0.3$ .

##### **I-4-2- Béton**

Le béton est un matériau composé d'un mélange de granulats, sable, gravier, eau et éventuellement des adjuvants, liés entre eux par une pâte de ciment, ce dernier présente une excellente résistance à la compression mais une faible résistance à la traction.

Pour les planchers et les fondations, on utilise un béton qui présente les caractéristiques suivantes :

- Résistance à la compression à 28 jours  $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$ .
- La résistance caractéristique à la traction  $f_{t28} = 0,06 \times f_{c28} + 0,6 = 2,1 \text{ MPa}$ .
- Poids volumique  $\rho = 2500 \text{ Kg/m}^3$ .
- Module d'élasticité :  $E = 31000 \text{ MPa}$ .

### **I-5- Normes et règlement utilisé**

Afin de garantir la sécurité de l'ouvrage, notre conception est essentiellement basée sur les codes et normes suivants :

- Règles Neige et Vent « RNV2013 »
- Règles parasismiques algériennes « RPA99 - version 2003 »
- Règles de conception des structures en acier « CCM97 »
- Règles de calcul des structures en acier « EC3. ENV 1993-1-1 Eurocode »
- Béton armée aux états limites « BAEL 91 – version 99 »
- Règles de calcul des fondations superficielles « DTR-BC 2.331 »
- Eurocode 4 (structure mixte)
- Charge permanentes et charges d'exploitation « DTR-BC 2.2 »

# **Chapitre II : Etude climatique**

## II-1- Introduction :

Ce chapitre a pour but de déterminer les différentes sollicitations climatiques produites par les charges du vent et de la neige, agissant sur l'ensemble de l'ouvrage et sur ses différentes parties, cette étude sera réalisée conformément au règlement neige et vent (RNV 2013). Ce document technique réglementaire (DTR) fournit les procédures et principes généraux pour la détermination des actions du vent sur l'ensemble d'une construction et sur ses différentes parties.

## II-2- Etude au vent

Cette étude est réalisée à partir des caractéristiques dépendant de la structure ainsi que le site d'implantation.

Dans notre cas on a les caractéristiques suivantes :

- Wilaya de Tizi-Ouzou appartient à la zone de vent I.
- La zone industrielle est classée comme un terrain de catégorie III.

### II-2-1- Détermination des différents paramètre et coefficients de calcul

#### II-2-1-1- Effet de la région

- Le projet est situé à la, wilaya de Tizi Ouzou, et selon le RNV2013 la wilaya est classée en zone I, et la pression dynamique de référence est donnée comme suit :

- 

$$Q_{ref} = 37.5 \text{ dan/m}^2$$

#### II-2-1-2- Catégorie du terrain

Notre structure sera implantée dans une zone plate et selon le règlement RNV2013 le terrain est de catégorie III

Tableau II.1. Catégorie de terrain III (Tableau 2.4, chapitre2 RNV 2013)

Catégorie de terrain	$K_t$	$Z_0(m)$	$Z_{min}(m)$
III	0.215	0.3	5

D'où :

$K_t$ : facteur de terrain.

$Z_0$  : paramètre de rugosité.

$Z_{min}$  : hauteur minimale.

### II-2-1-3- Coefficient de topographie CT

Dans notre cas, on a un site plat, donc le coefficient de topographie :

$$CT = 1 \quad (\text{\S 2.4.5.2, chapitre 2 RNV 2013}).$$

### II-2-1-4- Calcul du coefficient dynamique Cd

Le coefficient **Cd** tient compte des effets de réduction dus à l'imparfaite corrélation des pressions exercées sur les parois ainsi que des effets d'amplification dus à la partie de turbulence ayant une fréquence proche de la fréquence fondamentale d'oscillation de la structure.

**Cd** est donné en fonction des dimensions de la structure (la hauteur et la largeur), ainsi que du matériau constituant la structure.

La structure du bâtiment étant une structure métallique, dont la hauteur est inférieure à 15m

On prend : **Cd=1** (selon RNV 2013).

### II-2-1-5- Coefficient de rugosité Cr

Le coefficient de rugosité **Cr(z)** traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent. Il est donné par la relation suivante car :  $Z_m < Z < 200m$

$$Cr = Kt \times \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad (\text{Selon RNVA 2013})$$

**KT** : facteur de terrain.

**Z<sub>0</sub>** : paramètre de rugosité.

**Z<sub>min</sub>** : hauteur minimale.

**Z** : (en m) la hauteur considérée.

$$Cr = 0.215 \times \ln\left(\frac{15.78}{0.3}\right)$$

$$Cr = 0.85$$

### II-2-1-6- Intensité de turbulence Iv :

L'intensité de la turbulence est définie comme étant l'écart type de la turbulence divisé par la vitesse moyenne du vent est donnée par l'équation suivante car :  $Z > Z_{min}$

$$Iv = \frac{1}{Ct \times \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}$$

Avec :

**Ct** : coefficient topographique

**Z<sub>0</sub>** : paramètre de rugosité

On a  $Z=15.78\text{m} > Z_{\min}=5\text{m}$

$$I_v = \frac{1}{1 \times \ln\left(\frac{15.78}{0.3}\right)} = 0.25$$

$$I_v(z)=0.25$$

### II-2-1-7- Coefficient d'exposition $C_{ex}$ :

Le coefficient d'exposition au vent  $C_{ex}(z)$  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.

$$C_{ex} = C_t^2 \times C_r^2 \times [1 + 7 \times I_v]$$

Avec :

$C_r$  : coefficient de rugosité

$C_t$  : coefficient de topographie

$I_v$  : l'intensité de la turbulence

$$C_{ex} = 1^2 \times 0.85^2 \times [1 + 7 \times 0.25] = 1.98$$

$$C_{ex}=1.98$$

### II-2-2- Détermination de la pression dynamique de pointe $q_p(z)$

La pression dynamique de pointe ( $Z$ ) qui s'exerce sur un élément de surface au niveau de la hauteur  $h$  est donné par la formule suivante :

$$q(z) = q_{ref} \times C_{ex}(z) \quad (\text{selon RNV2013})$$

$q_{ref} = 37.5 \text{ (daN/m}^2\text{)}$  la pression dynamique de référence.

$C_{ex}$  : est le coefficient d'exposition au vent.

#### Hauteur de référence :

Pour les murs au vent des bâtiments à parois verticales,  $Z_e$  est déterminé comme indiqué par la figure II.1.

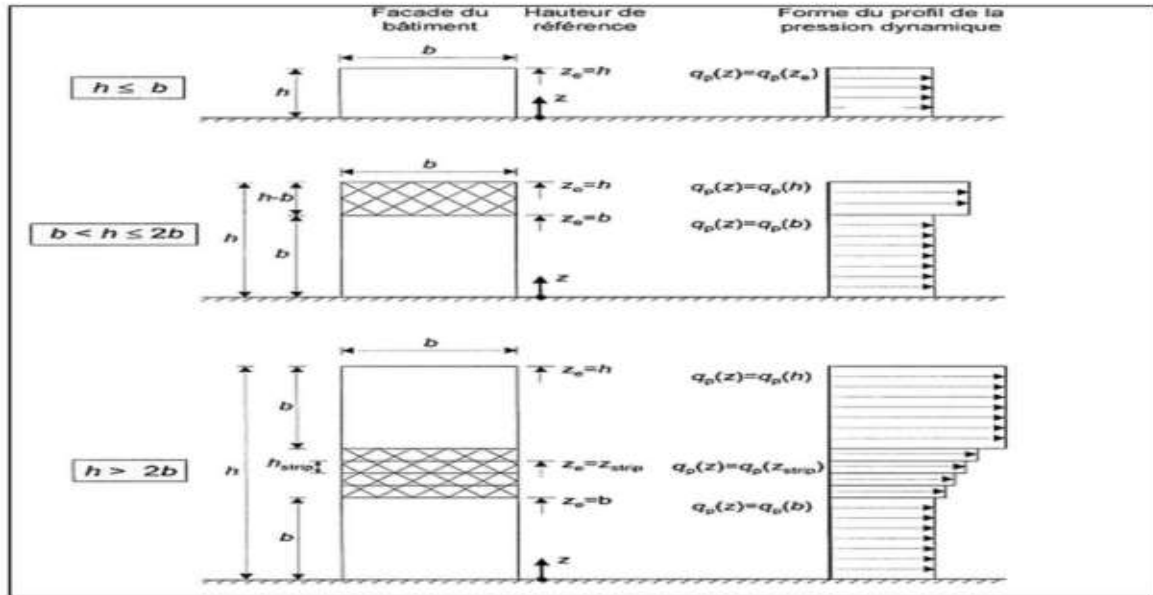


Figure II.1. Hauteur de référence  $Z_e$  et le profil correspondant de la pression dynamique hauteur de référence  $Z_e$  et le profil correspondant de la pression dynamique (RNVA 2013)

Dans notre cas la hauteur  $h=15.78m$ , Et la largeur  $b=22m \rightarrow h \leq b$  ;

$\rightarrow Z_e=h=15.78m$  ; (Selon RNV 2013).

$q(z)=37.5 \times 1.98$

$q(z)=74.50 \text{ dan/m}^2$

Tableau II.2. Coefficient dynamique de point

Z(m)	$Q_{ref}(\text{dan/m}^2)$	$C_{ex}(z)$	$Q_p(\text{dan/m}^2)$
15.78	37.5	1.98	74.50

### II-2-3- Détermination du coefficient de pression extérieur $C_{pe}$

La détermination de coefficient de pression  $C_{pe}$  est faite pour chaque direction du vent et dans chaque surface de la paroi considérée et pour cela on utilise les formules suivantes: [R.N.V.2013]

$$C_{pe} = C_{pe1} \quad \text{si } S \leq 1m^2$$

$$C_{pe} = C_{pe1} + (C_{pe10} - C_{pe1}) \log_{10}(s) \quad \text{si } 1m^2 < S < 10m^2$$

$$C_{pe} = C_{pe10} \quad \text{si } S \geq 10m^2$$

Tel que :

**S:** est la surface chargée de la paroi considérée en  $m^2$

**II-2-3-1- Vent perpendiculaire au pignon (V1) :**

**II-2-3-1-1- Parois verticales :**

Pour cette direction du vent on a  $b=22m$ ,  $d= 48m$ ,  $h= 15.78m$ .

$e = \min [b ; 2h] = \min [22 ; 2 \times 15.78] = 22m$ .

**$e=22m$**

$e < d$  on aura les zones A, B, C, D et E.

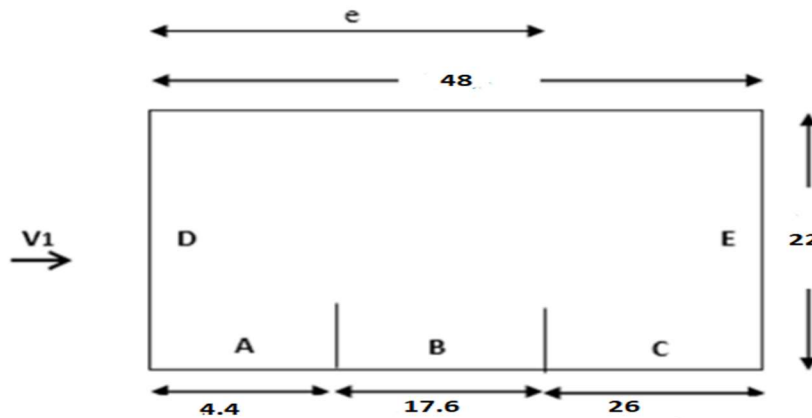
Zone A :  $\frac{e-22}{5} = 4.4m$

Zone B :  $\frac{4e}{5} = \frac{4(22)}{5} = 17.6m$

Zone C :  $d-e=48-22=26m$

Zone D :  $b=22m$

Zone E :  $b=22m$



**Figure II.2. Vue en plan des zones de pression sur les parois verticales sens V1**

**Tableau II.3. Déterminations des surfaces :**

Zone	A	B	C	D	E
Surfaces(m <sup>2</sup> )	69.432	277.72	410.28	347.16	347.16

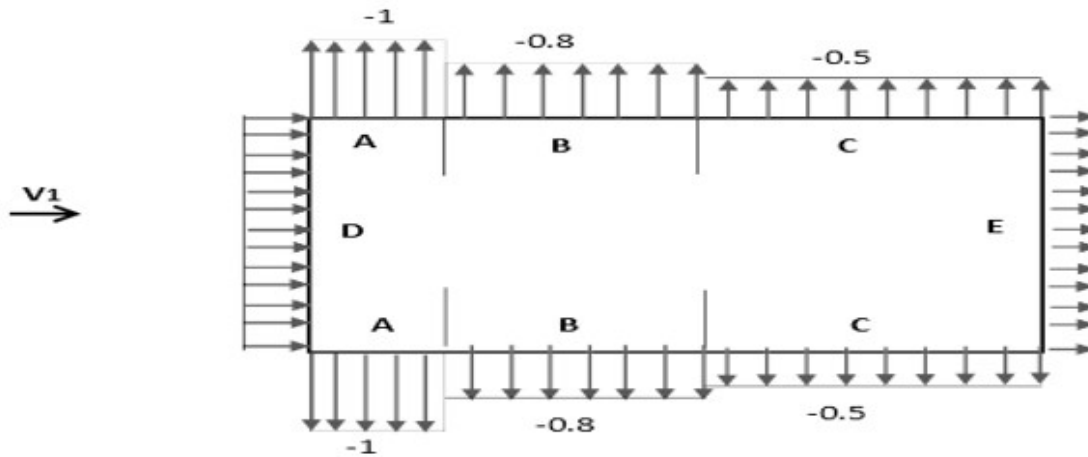
Toutes les surfaces sont supérieures à 10m<sup>2</sup>.

Donc :  $C_{pe} = C_{pe,10}$  pour chaque zone. (Selon RNVA 2013).

Suivant le tableau 5.1 de RNVA 2013 on va déterminer les valeurs de  $C_{pe}$  qui correspondent à chaque zone.

**Tableau II.4. Coefficients de pressions extérieures (parois verticales) « V1 »**

Zone	A	B	C	D	E
C <sub>pe</sub>	-1	-0.8	-0.5	+0.8	-0.3



**Figure II.3. Repartition de la pression aerodynamique sur les parois sous V 1**

**II-2-3-1-2- Versant de toiture :**

Calcul de l'angle d'inclinaison de la toiture

$$\text{On a : } x = \sqrt{(11)^2 + (1.5)^2}$$

$$x = 11.1\text{m}$$

$$\alpha = 7.69^\circ$$

Pour cette direction du vent on a  $b=22\text{m}$ ,  $d= 48\text{m}$ ,  $h= 15.78\text{m}$ .

$$e = \min [b ; 2h] = \min [22 ; 2 \times 15.78] = 22 \text{ m.}$$

**e=22m**

$$\text{Zone F : } \frac{e}{4} = \frac{22}{4} = 5.5\text{m}$$

$$\text{Zone G : } \frac{e}{10} = \frac{22}{10} = 2.2\text{m}$$

$$\text{Zone H : } \frac{e}{2} - \frac{e}{10} = \frac{22}{2} - \frac{22}{10} = 8.8\text{m}$$

$$\text{Zone I : } d - \frac{e}{2} = 48 - \frac{22}{2} = 37\text{m}$$

Tableau II.5. Déterminations des surfaces :

Zone	F	G	H	I
Surfaces(m <sup>2</sup> )	12.1	12.1	96.8	407

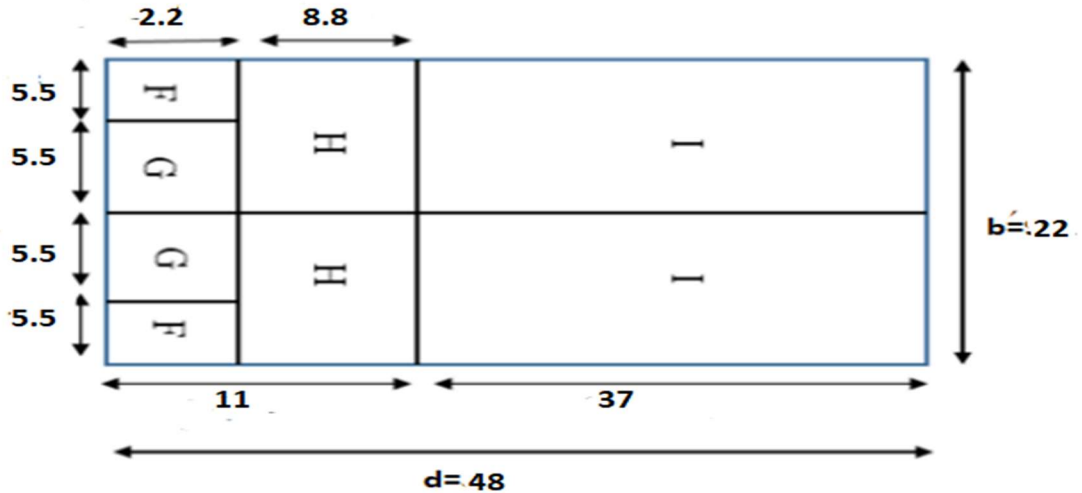


Figure II.4. vue en plan des zones de pression sur la toiture suivant V1

**Calcul du coefficient de pression extérieur  $C_{pe}$  :**

Toutes les surfaces sont supérieures à 10m<sup>2</sup>.

Donc :  $C_{pe} = C_{pe,10}$  pour chaque zone. (Selon RNVA 2013).

Suivant le tableau 5.4 de RNVA 2013 on va déterminer les valeurs de  $C_{pe}$  qui correspondent à chaque zone.

Par interpolation linéaire on obtient :

$$C_{pe}(F) = -1.6 + \frac{-1.3+1.6}{15-5} \times (7.69 - 5) = -1.51$$

$$C_{pe}(G) = -1.3 + \frac{-1.3+1.3}{15-5} \times (7.69 - 5) = -1.3$$

$$C_{pe}(H) = -0.7 + \frac{-0.6+0.7}{15-5} \times (7.69 - 5) = -0.67$$

$$C_{pe}(I) = -0.6 + \frac{-0.5+0.6}{15-5} \times (7.69 - 5) = -0.57$$

**Détermination des coefficients de pression intérieur  $C_{pi}$**

Le coefficient de pression intérieure  $C_{pi}$  des bâtiments sans cloisons intérieures (hall industriel par exemple) est donné en fonction de l'indice de perméabilité  $\mu_p$  (figure 5.14 du chapitre 5 du RNV 2013

$$\mu_p = \frac{\Sigma \text{ aire des ouvertures ou } C_{pe} \leq 0}{\Sigma \text{ aire de toutes les ouvertures}}$$

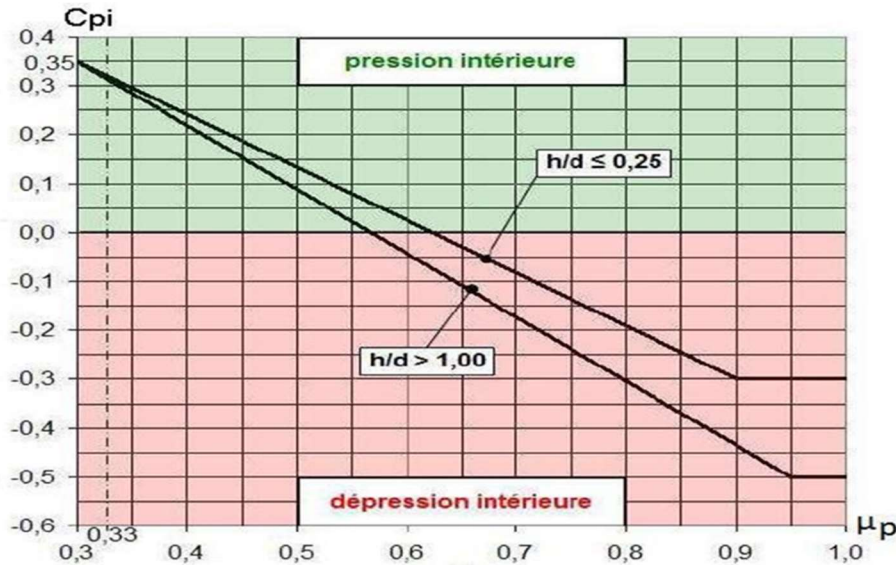


Figure II.5. Coefficient de pression intérieure (distribution uniforme des ouvertures)

D'après la « note 2 § 7.2.9 NF EN 1991-1-4 » les valeurs recommandées lorsqu'on ne connaît pas la perméabilité des parois du bâtiment ; on peut travailler avec des valeurs extrêmes :

- **Pression intérieure :  $C_{pi} = +0.2$**
- **Dépression intérieure :  $C_{pi} = -0.3$**

On a :

$$W(z) = q_p(z) \times (C_{pe} - C_{pi})$$

Tableau II.6. Valeur de pression aérodynamique  $\Theta=90^\circ$  (V1)

Parois vertical						
Zone	$Q_p(z)$ ( $\text{dan/m}^2$ )	$C_{pe}$	$C_{pi}(1)$	$C_{pi}(2)$	$W(z)$ (1) ( $\text{dan/m}^2$ )	$W(z)(2)$ ( $\text{dan/m}^2$ )
D	74.50	+0.8	+0.2	-0.3	44.7	81.25
A	74.50	-1.0	+0.2	-0.3	-89.4	-52.15
B	74.50	-0.8	+0.2	-0.3	-74.5	-37.25
C	74.50	-0.5	+0.2	-0.3	-52.15	-14.9
E	74.50	-0.3	+0.2	-0.3	-37.25	0

**Tableau II.7. Valeur de pression aérodynamique  $\Theta=90^\circ$  (V1)**

Versant de toiture						
Zone	Qp(z) (dan/m <sup>2</sup> )	Cpe	Cpi(1)	Cpi(2)	W(z)(1) (dan/m <sup>2</sup> )	W(z)(2) (dan/m <sup>2</sup> )
F	74.50	-1.51	+0.2	-0.3	-127.39	-90.14
G	74.50	-1.3	+0.2	-0.3	-111.75	-74.5
H	74.50	-0.67	+0.2	-0.3	-64.8	-27.56
I	74.50	-0.57	+0.2	-0.3	-57.36	-20.11

**II-2-3-2- Vent perpendiculaire au long-pan (V2)****II-2-3-2-1- Parois verticales :**

On a :  $b=48m$  ;  $d=22m$  ;  $h=15.78m$  ;  $e=\min[b ; 2h]=\min[48 ; 2(15.78)]=31.56m$

$E=31.56m$

$E \geq d$  on aura les zones A, B, D et E.

$$\text{Zone A : } \frac{e}{5} = \frac{31.56}{5} = 6.31m$$

$$\text{Zone B : } d - \frac{e}{5} = 22 - \frac{31.56}{5} = 15.68m$$

**Zone D :** 36.65m

**Zone E :** 36.65m

**Tableau II.8. Déterminations des surfaces :**

Zone	A	B	D	E
Surfaces(m <sup>2</sup> )	99.57	398.28	757.44	757.44

Toutes les surfaces sont supérieures à 10m<sup>2</sup>.

Donc :  $C_{pe} = C_{pe,10}$  pour chaque zone. (Selon RNVA 2013).

Suivant le tableau 5.1 de RNVA 2013 on va déterminer les valeurs de  $C_{pe}$  qui correspondent à chaque zone.

**Tableau II.9. Coefficient de pression extérieures**

Zone	A	B	D	E
$C_{pe}$	-1	-0.8	+0.8	-0.3

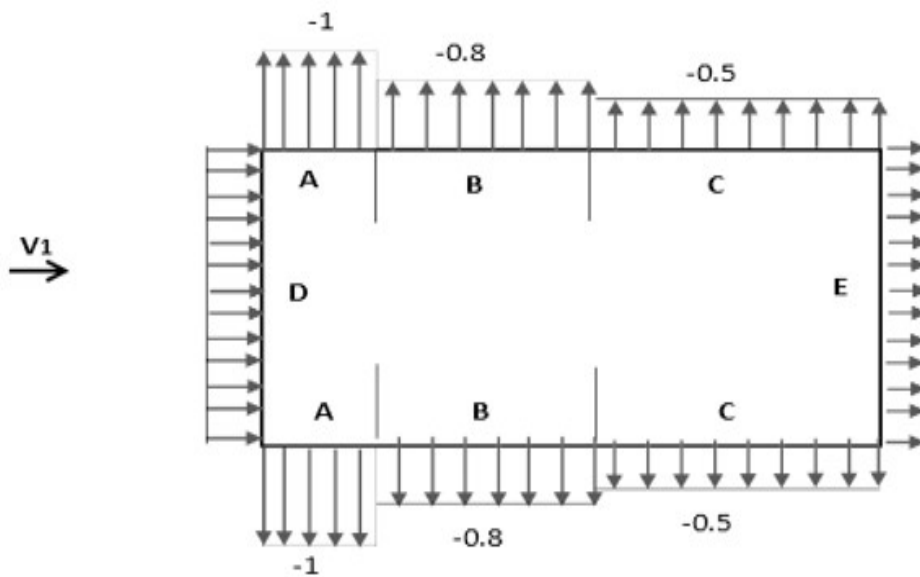


Figure II.6. Repartition de la pression aerodynamique sur les parois sous V2

II-2-3-2-2- Versant de toiture :

$$\alpha = 7.69^\circ$$

$$\frac{e}{10} = \frac{31.56}{10} = 3.156m$$

$$\frac{e}{4} = \frac{31.56}{4} = 7.89m$$

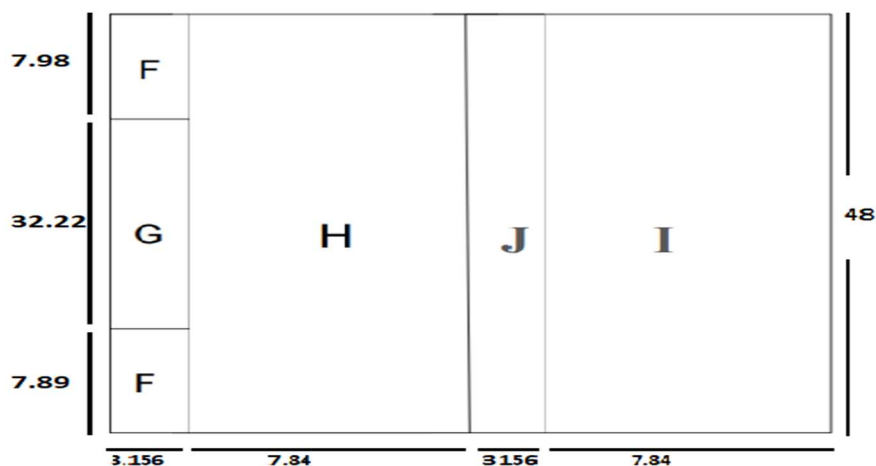


Figure II.7. vue en plan des zones de pression sur la toiture suivant V2

Les surfaces sont supérieures à 10 m<sup>2</sup>

Donc par interpolation linéaire :

**Action vers le haut :**

$$C_{pe}(F) = -1.7 + \frac{-0.9+1.7}{15-5} \times (7.69 - 5) = -1.48$$

$$C_{pe}(G) = -1.2 + \frac{-0.8+1.2}{15-5} \times (7.69 - 5) = -1.09$$

$$C_{pe}(H) = -0.6 + \frac{-0.3+1.6}{15-5} \times (7.69 - 5) = -0.51$$

$$C_{pe}(I) = -0.6 + \frac{-0.4+0.6}{15-5} \times (7.69 - 5) = -0.54$$

$$C_{pe}(J) = -0.6 + \frac{-1+0.6}{15-5} \times (7.69 - 5) = -0.70$$

**Action vers le bas :**

$$C_{pe}(F ; G ; H) = 0 + \frac{0.2-0}{15-5} \times (7.69 - 5) = 0.05$$

$$C_{pe}(J) = 0.2 + \frac{0+0.2}{15-5} \times (7.69 - 5) = 0.14$$

$$C_{pe}(I) = 0$$

**Tableau II.10. Valeur de pression aérodynamique  $\Theta=0^\circ$  (V2)**

Parois vertical						
Zone	Qp(z) (dan/m <sup>2</sup> )	Cpe	Cpi(1)	Cpi(2)	W(z) (1) (dan/m <sup>2</sup> )	W(z)(2) (dan/m <sup>2</sup> )
D	74.50	+0.8	+0.2	-0.3	44.7	81.25
A	74.50	-1.0	+0.2	-0.3	-89.4	-52.15
B	74.50	-0.8	+0.2	-0.3	-74.5	-37.25
E	74.50	-0.3	+0.2	-0.3	-37.25	0

**Tableau II.11. Valeur de pression aérodynamique  $\Theta=0^\circ$  (V2)**

Versant de toiture						
Zone	Qp(z) (dan/m <sup>2</sup> )	Cpe	Cpi(1)	Cpi(2)	W(z) (1) (dan/m <sup>2</sup> )	W(z)(2)
F	74.50	-1.48	0.2	-0.3	-125.18	-87.91
		0.05			-11.17	26.07
G	74.50	-1.09	0.2	-0.3	-96.10	-58.85
		0.05			-11.17	26.07
H	74.50	-0.51	0.2	-0.3	-52.89	-15.64
		0.05			-11.17	26.07
I	74.50	-0.54	0.2	-0.3	-55.13	-17.85
		0			-14.9	22.35
J	74.50	-0.70	0.2	-0.3	-67.05	-29.8
		0.14			-4.47	32.78

### II-2-4- Calcul de la force de frottement

Les effets de frottement du vent sur la surface peuvent être négligés. Lorsque l'aire totale de toutes les surfaces parallèles au vent (ou faiblement inclinées par rapport à la direction du vent) est inférieure ou égale à 4 fois l'aire totale de toutes les surfaces extérieure perpendiculaires au vent (au vent et sous le vent).

Selon « RNV 2013,».

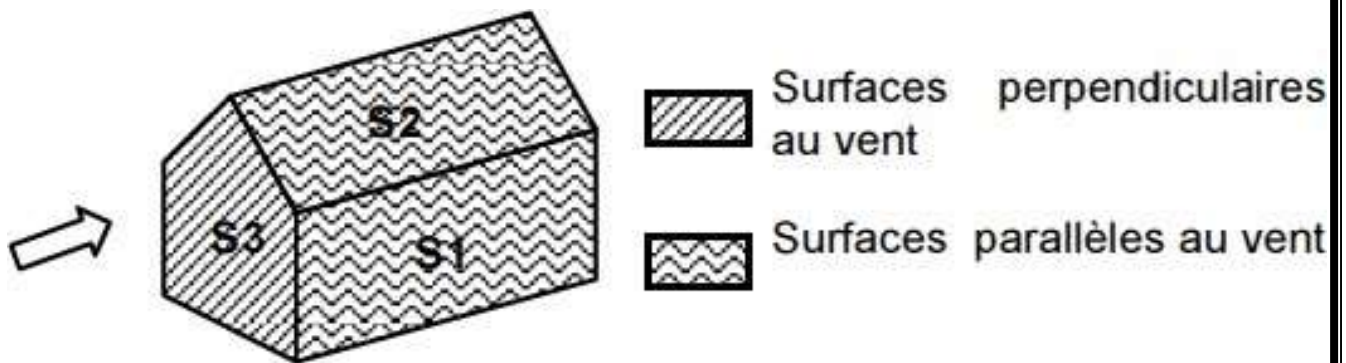


Figure II.8. Représentation des surfaces de frottement

La force de frottements est négligeables si :  $S_2 + S_1 \leq 4 S_3$

#### A. Direction vent perpendiculaire au pignon

Surface parallèle au vent :

$$S_1 + S_2 = (14.28 \times 48) + (48(11/\cos 7.69)) = 1218.23 \text{ m}^2$$

Surface perpendiculaire au vent :

$$S_3 = (22 \times 14.28) + (11 \times \tan(7.69) \times 11) = 330.49 \text{ m}^2$$

$$4S_3 = 1321.99 \text{ m}^2$$

On a :  $S_1 + S_2 < 4S_3$

$$1218.13 \text{ m}^2 < 1321.99 \text{ m}^2 \quad \text{CV}$$

#### B. Direction vent perpendiculaire au long pan :

Surface parallèle au vent :

$$S1+S2 = (22 \times 14.28) + (11 \times \tan(7.69) \times 11) + (48(11/\cos 7.69)) = 863.28 \text{m}^2$$

**Surface perpendiculaire au vent :**

$$S3 = (14.28 \times 48) = 685.44 \text{m}^2$$

$$4S3 = 2741.76 \text{m}^2$$

On a :  $S1+S2 < 4S3$

$$863.28 \text{m}^2 < 2741.76 \text{m}^2 \quad \text{CV}$$

**Conclusion :** on néglige l'effet de frottement  $F_{fr}$ .

### II-2-5- Action d'ensemble

La force résultante  $F_w$  est donné par :

$$F_w = C_d \sum W_{(z)} \times A_{ref} + \sum F_{fr}$$

Avec :

$W_{(z)}$ : pression aérodynamique du vent qui s'exerce sur un élément de surface considérée

$A_{ref}$ : l'aire de l'élément de surface considérée

$F_{fr}$ : les forces de frottements (d'entraînement) éventuelles qui est négligeable dans notre cas

$$F_{fr} = 0$$

#### A. 1er cas : Vent perpendiculaire au long-pan ( $\Theta=0^\circ$ ) :

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

- Zone D :  $SD = 48 \times 14.28 = 685.44 \text{m}^2$
- Zone E :  $SE = 48 \times 14.28 = 685.44 \text{m}^2$
- Zone F<sub>1</sub> :  $SF_1 = 3.156 \times 7.89 = 24.90 \text{m}^2$
- Zone F<sub>2</sub> :  $SF_2 = 3.156 \times 7.89 = 24.90 \text{m}^2$
- Zone G :  $SG = 32.22 \times 3.156 = 101.68 \text{m}^2$
- Zone H :  $SH = 784 \times 48 = 376.32 \text{m}^2$
- Zone I :  $SI = 784 \times 48 = 376.32 \text{m}^2$
- Zone J :  $SJ = 3.156 \times 48 = 151.48 \text{m}^2$

Les valeurs des forces horizontales et verticales suivant cette direction du vent (vent frappe au long-pan) sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.12. Valeurs des forces horizontales et verticales : Direction du vent( $\Theta=0^\circ$ ) avec pression intérieure de +0.2**

Zone	Composante Horizontal Fwx (daN)	Composante Vertical Fwz (daN)
D	$44.7 \times 685.44 = 30639.16$	0
E	$37.25 \times 685.44 = 25532.64$	0
F <sub>1</sub>	$125.18 \times 24.90 \times \text{tg}(7.69) = 420.74$	$125.18 \times 24.90 = 3116.98$
F <sub>2</sub>	$125.18 \times 24.90 \times \text{tg}(7.69) = 420.74$	$125.18 \times 24.90 = 3116.98$
G	$96.10 \times 101.68 \times \text{tg}(7.69) = 1319.41$	$96.10 \times 101.68 = 9771.44$
H	$52.89 \times 376.32 \times \text{tg}(7.69) = 2687.53$	$52.89 \times 376.32 = 19903.56$
I	$55.13 \times 376.32 \times \text{tg}(7.69) = 2801.35$	$55.13 \times 376.32 = 20746.52$
J	$67.05 \times 151.48 \times \text{tg}(7.69) = 1371.43$	$67.05 \times 151.48 = 10156.73$
totale	55496.16	66812.21

**Tableau II.13. Valeurs des forces horizontales et verticales : Direction du vent( $\Theta=0^\circ$ ) avec pression intérieure de -0.3**

Zone	Composante Horizontal Fwx (daN)	Composante Vertical Fwz (daN)
D	$81.25 \times 685.44 = 55692$	0
E	0	0
F <sub>1</sub>	$87.91 \times 24.90 \times \text{tg}(7.69) = 295.56$	$87.91 \times 24.90 = 2188.95$
F <sub>2</sub>	$87.91 \times 24.90 \times \text{tg}(7.69) = 295.56$	$87.91 \times 24.90 = 2188.95$
G	$58.85 \times 101.68 \times \text{tg}(7.69) = 807.98$	$58.85 \times 101.68 = 5983.86$
H	$15.64 \times 376.32 \times \text{tg}(7.69) = 794.72$	$15.64 \times 376.32 = 5885.64$
I	$17.85 \times 376.32 \times \text{tg}(7.69) = 907.02$	$17.85 \times 376.32 = 6717.31$
J	$29.8 \times 151.48 \times \text{tg}(7.69) = 609.52$	$29.8 \times 151.48 = 4514.1$
totale	55014.7	27478.81

**B. 2eme cas : Vent perpendiculaire au pignon:**

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

- Zone D :  $SD = (22 \times 14.28) + (11 \times 1.5) = 330.66\text{m}^2$
- Zone E :  $SE = (22 \times 14.28) + (11 \times 1.5) = 330.66\text{m}^2$
- Zone F<sub>1</sub> :  $SF_1 = 5.5 \times 2.2 = 12.1\text{m}^2$
- Zone F<sub>2</sub> :  $SF_2 = 5.5 \times 2.2 = 12.1\text{m}^2$
- Zone G :  $SG = 5.5 \times 2.2 \times 2 = 24.2\text{m}^2$
- Zone H :  $SH = 8.8 \times 11 \times 2 = 193.6\text{m}^2$
- Zone I :  $SI = 37 \times 11 \times 2 = 814\text{m}^2$

Les valeurs des forces horizontales et verticales suivant cette direction du vent (vent frappe au pignon) sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II.14. Valeurs des forces horizontales et verticales : Direction du vent( $\Theta=90^\circ$ ) avec pression intérieure de +0.2**

Zone	Composante Horizontal Fwy (daN)	Composante Vertical Fwz (daN)
D	$44.7 \times 330.66 = 14780.50$	0
E	$37.25 \times 330.66 = 12317.08$	0
F <sub>1</sub>	0	$127.39 \times 12.1 \times \cos(7.69) = 1527.55$
F <sub>2</sub>	0	$127.39 \times 12.1 \times \cos(7.69) = 1527.55$
G	0	$111.75 \times 24.2 \times \cos(7.69) = 2680.02$
H	0	$64.8 \times 96.8 \times \cos(7.69) = 6216.22$
I	0	$57.36 \times 407 \times \cos(7.69) = 6717.31$
F <sub>fr</sub>	0	0
totale	27097.58	35086.9

**Tableau II.15. Valeurs des forces horizontales et verticales : Direction du vent( $\Theta=90^\circ$ ) avec pression intérieure de -0.3**

Zone	Composante Horizontal Fwy (daN)	Composante Vertical Fwz (daN)
D	$81.25 \times 330.66 = 26866.12$	0
E	0	0
F <sub>1</sub>	0	$90.14 \times 12.1 \times \cos(7.69) = 1080.88$
F <sub>2</sub>	0	$90.14 \times 12.1 \times \cos(7.69) = 1080.88$
G	0	$74.5 \times 24.2 \times \cos(7.69) = 1786.68$
H	0	$27.56 \times 96.8 \times \cos(7.69) = 2643.81$
I	0	$20.11 \times 407 \times \cos(7.69) = 8111.16$
F <sub>fr</sub>	0	0
totale	26866.12	14703.41

**II-2-6- Calcul de la stabilité de l'ensemble**

**II-2-6-1- Vérification de la stabilité transversale ( $\Theta=0^\circ$ )**

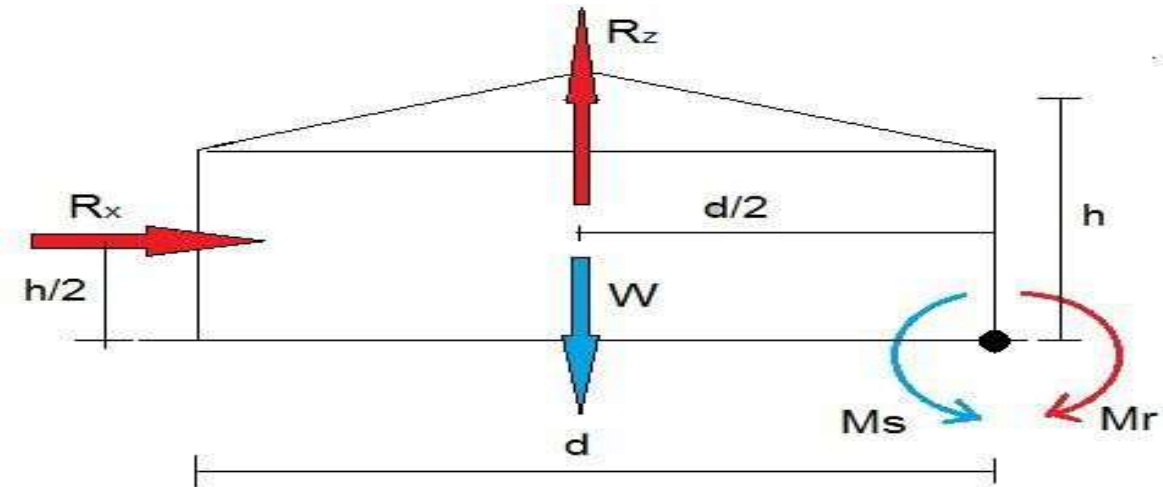


Figure II.9. Représentation des charges provoquant un moment de renversement au long-pan

**Calcul du moment de renversement**

$$M_r = (F_{wx} \times h/2) + (F_{wz} \times d/2)$$

$$M_r = (55496.16 \times 7.14) + (66812.21 \times 11)$$

$$M_r = 1131176.89 \text{ daN.m}$$

**Calcul du moment stabilisant**

$M_s = W \times d/2$  Où :

W : Poids de la surface en plan du hangar

$$W = 50 \times 48 \times 22 = 52800 \text{ daN}$$

$$M_s = 52800 \times 11 = 580800 \text{ daNm}$$

**$M_r > M_s$  CNV**

Donc il faut que la condition suivante soit vérifiée :

$$M_s = W \times b/2 \geq M_r$$

$$w \geq \frac{M_r}{\frac{b}{2}} = \frac{1131176.89}{\frac{22}{2}} = 102834.26 \text{ daN}$$

$$W = 102834.26 \times 48 \times 22$$

$$W = 108592978.6 \text{ daN}$$

$$W = 1550707.73 \times 10^3 \text{ daNm}$$

**$M_r < M_s$  CV**

### II-2-6-2- Vérification de la stabilité longitudinale( $\Theta=90^\circ$ )

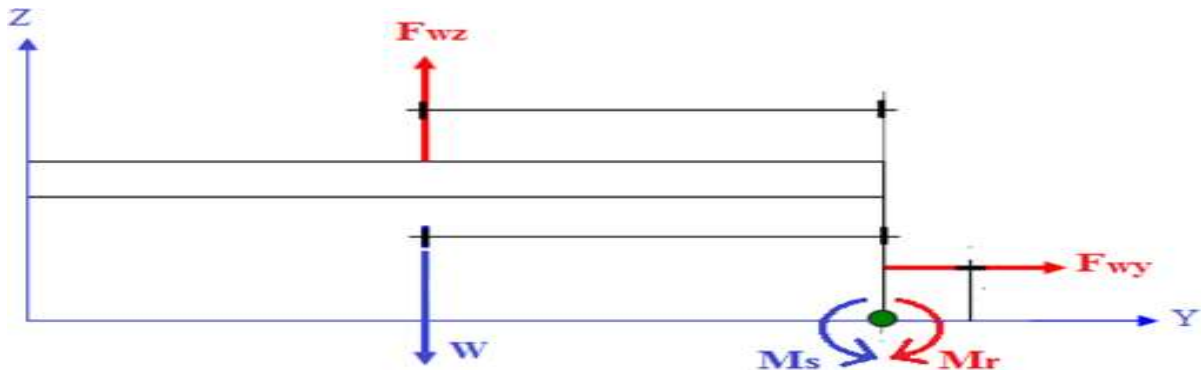


Figure II.10.Représentation des charges provoquant un moment de renversement au pignon

#### Calcul du moment de renversement

$$M_r = (F_{wy} \times h/2) + (F_{wz} \times d/2)$$

$$M_r = (27097.58 \times 7.14) + (35086.9 \times 24)$$

$$M_r = 1035562.32 \text{ daN.m}$$

#### Calcul du moment stabilisant

$$M_s = W \times d/2 \text{ Où :}$$

W : Poids de la surface en plan du hangar

$$W = 50 \times 48 \times 22 = 52800 \text{ daN}$$

$$M_s = 52800 \times 24 = 1267200 \text{ daNm}$$

$$M_r < M_s \quad \text{CV}$$

### II-3- Action de la neige

Le but principal de cette étude est de définir les valeurs représentatives de la charge statique de la neige sur toute la surface située au-dessus du sol et soumise à l'accumulation de la neige notamment sur la toiture.

#### II-3-1- Domaine d'application

Le présent règlement s'applique à l'ensemble des constructions en Algérie situées à une altitude inférieure ou égale à 2000 m. (Selon RNVA 2013)

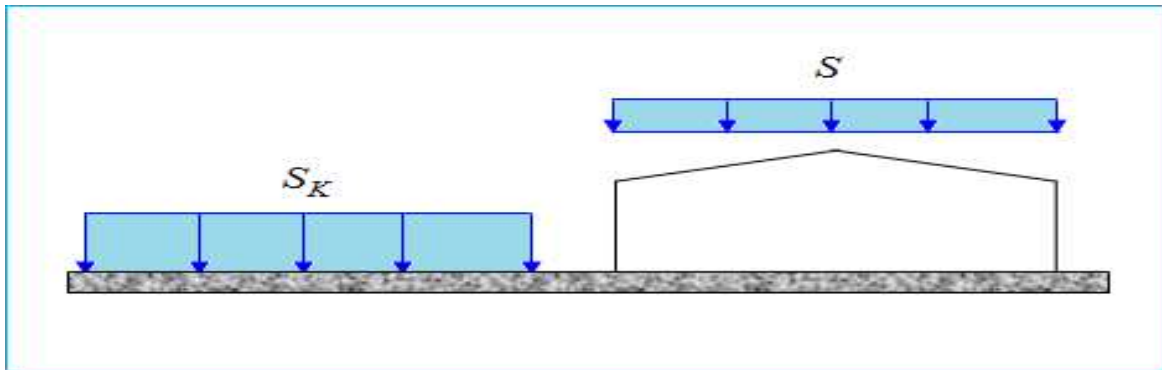


Figure II.11.Représentation des charges statique de neige sur la toiture et sur le sol

Données :

- $\alpha = 7.69^\circ$
- Zone : A (selon RNVA 2013)
- Altitude : 350m

### II-3-2- Charge de neige sur le sol

La charge de neige sur le sol **SK** par unité de surface est fonction de la localisation géographique et de l'altitude du lieu considéré. La valeur de SK est déterminée par la loi de variation suivante en fonction de l'altitude du point considéré (**RNV2013**) :

$$S_k = \frac{0.07H + 15}{100} = \frac{0.07(350)}{100} = 0.39KN/m^2$$

### II-3-3- Charge de la neige sur le toit

La charge caractéristique de neige **S** par unité de surface en projection horizontale de toiture soumise à l'accumulation de la neige s'obtient par la formule suivante (RNVA 2013. ):

Où :

$$S = \mu \times S_k \text{ [KN/m}^2\text{]}$$

**SK** : (en KN/m<sup>2</sup>) est Charge de neige sur le sol.

$\mu$  : Coefficient de forme (à déterminer en fonction de la forme de la toiture)

#### A. Coefficient de forme de la toiture $\mu$ (RNV 2013)

Le coefficient de forme des toitures à versants multiples sont donnés par le Tableau II-14 et illustrés sur la Figure II-10. Les dispositions de charge à considérer correspondant à :

- (Cas i) : sans accumulation de neige
- (Cas ii) : avec accumulation de neige.

( $\alpha$ )pente du versant (en°)	$0 \leq \alpha \leq 30$	$30 < \alpha < 60$	$\alpha \geq 60$
Coefficient $\mu_1$	0,8	$0,8 \left( \frac{60-\alpha}{30} \right)$	0
Coefficient $\mu_2$	$0,8 + 0,8 \left( \frac{\alpha}{30} \right)$	1,6	.

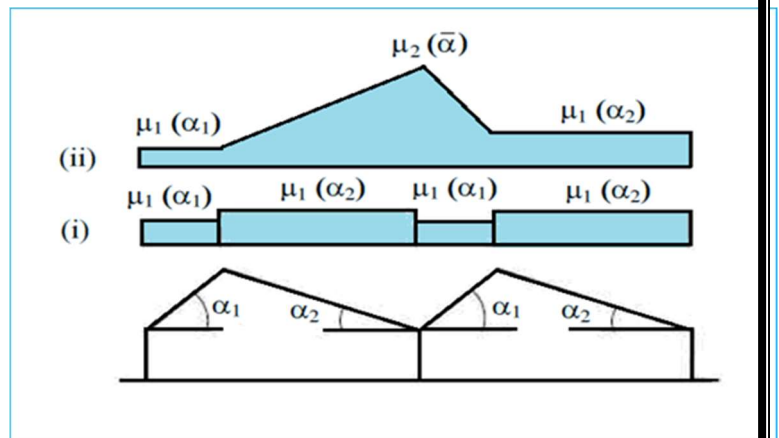


Figure II.12.Valeur du coefficient de forme  $\mu_i$

### Sans accumulation

On a :

$$\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$$

$$0 \leq \alpha = 7.69^\circ \leq 30$$

$$\mu_1(\alpha) = 0.8$$

$$S(\alpha) = 0.8 \times 0.39 = 0.31 \text{ KN/m}^2.$$

$$S(\alpha) = 30.91 \text{ daN/m}^2.$$

### Avec accumulation

$$\alpha = \left( \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right) = \alpha = 7.69^\circ$$

$$0 \leq \alpha \leq 30^\circ$$

$$\mu_2 = 0.8 + 0.8 \left( \frac{\alpha}{30} \right) = 1.00$$

$$S(\alpha) = 1.00 \times 0.39 = 0.39 \text{ KN/m}^2.$$

$$S(\alpha) = 39 \text{ daN/m}^2$$

# **Chapitre III : Pré dimensionnement des éléments secondaires**

### III-1- Introduction

Dans ce chapitre on s'intéresse à définir les profils qui devront résister aux différentes sollicitations selon l'Eurocode-3, le principe de la vérification nécessaire à la résistance et à la stabilité des profils concernés par cette étude qui sont : les pannes, les potelets, les lisses de bardage.

### III-2- Pré dimensionnement des pannes

#### III-2-1- Définition

Les pannes se, disposées parallèlement à la ligne de faîtage dans le plan de versant, elles sont réalisées soit en profile en I en U. Elles ont pour rôle de supporter la couverture et toutes surcharges possibles (neige, vent ...etc.), et par conséquent elles travaillent en flexion déviée. 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.

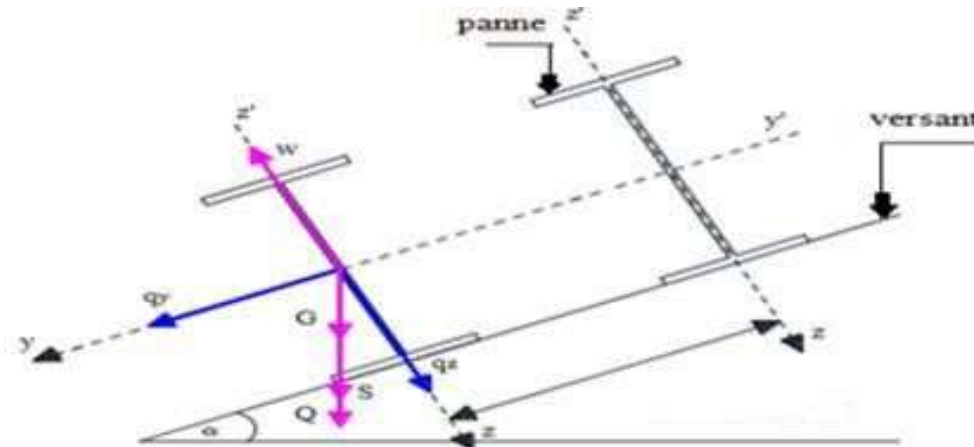


Figure III.1. Disposition des pannes sur la toiture

#### III-2-2- Donnée de calcul

- Chaque panne repose sur 2 appuis.
- L'entre axe des pannes  $e=1.23\text{m}$  (espace entre 2 pannes).
- On dispose de 9 lignes de pannes sur chaque versant de toiture.
- Les pannes sont en acier S235
- La pente de chaque versant est  $\alpha=7.69^\circ$ .
- Longueur de chaque panne  $L=6\text{m}$ .

**III-2-3- Evaluation des charges et surcharges.****a) La surcharge d'entretien (E)**

D'après les EUROCODES, pour les couvertures dont la pente est inférieure à 30° on prend comme charge d'entretien une charge minimale de 60daN/m<sup>2</sup>

(60kg/m<sup>2</sup>) de la surface de la couverture.

**Tableau III.1. Charge d'entretien des toitures inaccessibles**

Pente $\alpha$ en degrés	$Q_k$ (dan /m <sup>2</sup> )
$\alpha < 30$	60
$30 < \alpha < 60$	$60((60 - \alpha) / 30)$
$\alpha \geq 60$	0

On a :

$$e = 1.23\text{m}$$

$$E = q_k \times e$$

$$E = 60 \times 1.23$$

$$E = 73.8 \text{ daN/ml}$$

**b) La surcharge de neige (N)**

La surcharge de neige est en fonction de site d'implantation de la construction (région, altitude) et de la forme de toiture. Pour raison sécuritaire nous majorons la valeur estimée.

$$N = S \times e$$

$$N = 39 \times 1.23$$

$$N = 47.97 \text{ daN/ml.}$$

**c) La surcharge du vent (V)**

La panne la plus sollicitée est celle exposée au vent (zone F)

$$V = W \times e$$

$$V = 127.39 \times 1.23$$

$$V = 156.68 \text{ daN/ml.}$$

Combinaison des charges les plus défavorables

**d) Les charges permanente G :(sauf P<sub>profilé</sub>)**

- Poids propre du panneau sandwich TL75 15 daN/m<sup>2</sup>.
- Poids propre d'accessoire d'attache 3daN/m<sup>2</sup>.

$$G = [(P_{tole} + P_{accessoire}) \times e]$$

$$G = [(15 + 3) \times 1.23]$$

$$G = 22.14 \text{ daN/ml.}$$

**III-2-4- Combinaison des charges les plus défavorables**

**a) A L'ELU**

**Action vers le bas ↓**

$$Q_{sd1} = 1.35 G + 1.5 E = (1.35 \times 22.14) + (1.5 \times 73.8) = 140.58 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{sd2} = 1.35G + 1.5 N = (1.35 \times 22.14) + (1.5 \times 47.97) = 101.84 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{sd} = \max [Q_{sd1}; Q_{sd2}] = 140.58 \text{ daN/ml}$$

**Action vers le haut ↑**

$$Q_{z, sd} = G \cos \alpha - 1.5V = 22.14 \cos (7.69) - 1.5(156.68) = -213.07 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{y, sd} = G \sin \alpha = 22.14 \sin (7.69) = 2.96 \text{ daN/ml.}$$

**Remarque :**

D'après le nouveau règlement (**selon DTR B.C.2.2**), les charges climatiques ne se combinent pas avec la surcharge d'entretien.

**b) A L'ELS**

**Action vers le bas ↓**

$$Q_{sd1} = G + N = 22.14 + 47.97 = 70.11 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{sd2} = G + E = 22.14 + 73.8 = 95.94 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{sd} = \max [Q_{sd1}; Q_{sd2}] = 95.94 \text{ daN/ml.}$$

**Action vers le haut ↑**

$$Q_{z, sd} = G \times \cos \alpha - V = 22.14 \cos (7.69) - 156.68 = -134.73 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{y, sd} = G \times \sin \alpha = 22.14 \sin (7.69) = 2.96 \text{ daN/ml.}$$

### III-2-5- Principe de pré dimensionnement

Les pannes sont sollicitées à la flexion déviée (flexion bi axiale). Elles doivent satisfaire les deux conditions suivantes :

- Condition de la flèche (l'ELS)
- Condition de résistance (l'ELU).

Généralement, on fait le pré dimensionnement des pannes par l'utilisation de la condition de flèche, puis on fait la vérification de la condition de résistance.

### III-2-6- Condition de la flèche

#### a) Flèche vertical

On a :  $F_z \leq f_{ad}$

$$F_{ad} = \frac{1}{200}$$

**Poutre sur deux appuis**

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times \frac{1}{200}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{134.73 \times 10^{-2} \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{600}{200}}$$

$$I_y \geq 360.88 \text{ cm}^4$$

#### b) Flèche latérale

$F_y \leq f_{ad}$

$$F_{ad} = \frac{1/2}{200}$$

**Poutre sur deux appuis**

$$f_y = \frac{2.05}{384} \times \frac{Q_{y,sd} \times \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \times I_z}$$

$$I_z \geq \frac{2.05}{384} \times \frac{Q_{y,sd} \times \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \times \frac{1/2}{200}}$$

$$I_z \geq \frac{2.05}{384} \times \frac{2.96 \times 10^{-2} \times 300^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{300}{200}}$$

$$I_z = 0.40 \text{ cm}^4$$

On a  $I_y \geq 460.68 \text{ cm}^4$  donc on opte pour un IPE 140.

### III-2-7- Classification de la section

D'après le tableau de profilées laminées la section est de **classe 1**

**Tableau III.2. Dimensions et caractéristiques de IPE 140**

Profilé IPE140	Dimensions							Caractéristiques de calcul					
	G daN/m	h mm	b mm	tw mm	tf mm	r mm	d mm	Wpl.y cm <sup>3</sup>	Wpl.z cm <sup>3</sup>	Avz cm <sup>2</sup>	A cm <sup>2</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Iz cm <sup>4</sup>
	12.9	140	79	4.7	6.9	7	112.2	88.3	19.3	7.64	16.4	541	44.9

### III-2-8- Evaluation des charges :

$$G = [(P_{tole} + P_{accessoire}) \times e] + p_{panne}$$

$$G = [(15 + 3) \times 1.23] + 12.9$$

$$G = 35.04 \text{ daN/ml.}$$

#### a) A L'ELU

Action vers le bas ↓

$$Q_{sd1} = 1.35 G + 1.5 E = (1.35 \times 35.04) + (1.5 \times 73.8) = 158.05 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{sd2} = 1.35G + 1.5 N = (1.35 \times 35.04) + (1.5 \times 47.97) = 119.25 \text{ daN/ml.}$$

Action vers le haut ↑

$$Q_{z, sd} = G \cos \alpha - 1.5V = 35.04 \cos (7.69) - 1.5(156.68) = -200.29 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{y, sd} = G \sin \alpha = 35.04 \sin (7.69) = 4.68 \text{ daN/ml.}$$

### III-2-9- Vérification à la sécurité

#### III-2-9-1- Vérification à L'ELU

##### III-2-9-1-1- Vérification à la flexion

En se référant au (CCM97, la vérification à la flexion bi-axial est menée selon la formule suivante :

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

Avec :  $\alpha=2$  ;  $\beta=1$  section en I.

$$M_{ply,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88.3 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 1886.40 \text{ daN.m}$$

$$M_{plz,rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19.3 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 412.3 \text{ daN.m}$$

$$Q_{z, sd} = Q_{sd} \times \cos \alpha = 158.05 \times \cos (7.69) = 156.62 \text{ daN/m.}$$

$$M_{y, sd} = \frac{Q_{z, sd} \times l^2}{8} = \frac{156.62 \times 6.0^2}{8} = 704.79 \text{ daN.m}$$

$$Q_{y, sd} = Q_{sd} \times \sin \alpha = 158.05 \sin (7.69) = 21.14 \text{ daN/m.}$$

$$M_{z, sd} = \frac{Q_{y, sd} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = \frac{21.14 \times \left(\frac{6}{2}\right)^2}{8} = 23.78 \text{ daN.m}$$

A.N pour la vérification de la résistance en flexion

$$\left(\frac{M_{y,sd}}{M_{pl,y}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,sd}}{M_{pl,z}}\right)^\beta = \left(\frac{704.79}{1886.40}\right)^2 + \left(\frac{23.78}{412.31}\right)^1 = 0.19 < 1 \quad \text{CV}$$

### Conclusion

La résistance en flexion pour le profilé IPE 140 est vérifiée.

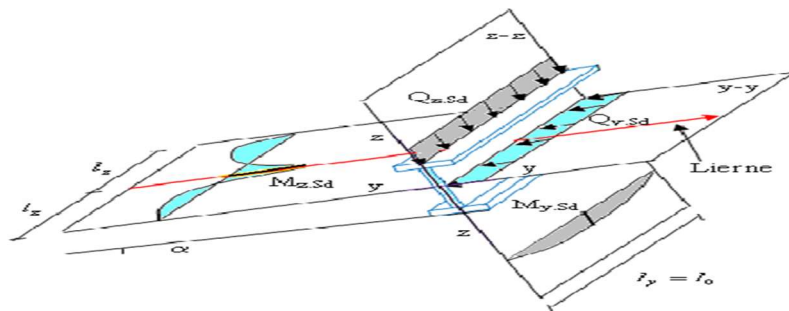


Figure III.2. Panne de toiture en flexion sous les différents plans de chargement (DAHMANIL.2022)

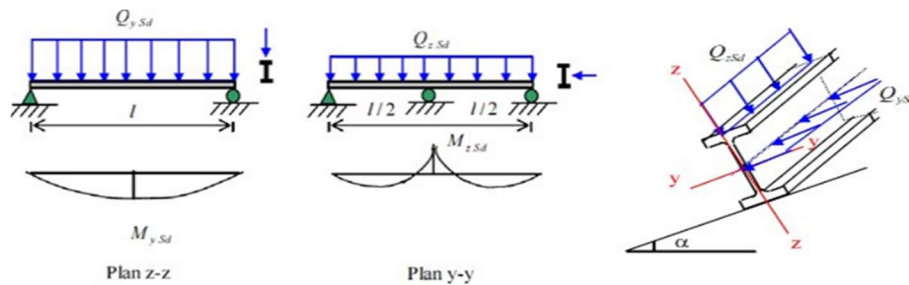


Figure III.3. Panne de toiture en flexion (DAHMANIL.2022)

### III-2-9-1-2- Vérification au cisaillement

La vérification est donnée par les formules suivantes (Eurocode 03) :

$$V_{z, sd} \leq V_{plz, rd} \quad \text{Et} \quad V_{y, sd} \leq V_{ply, rd}$$

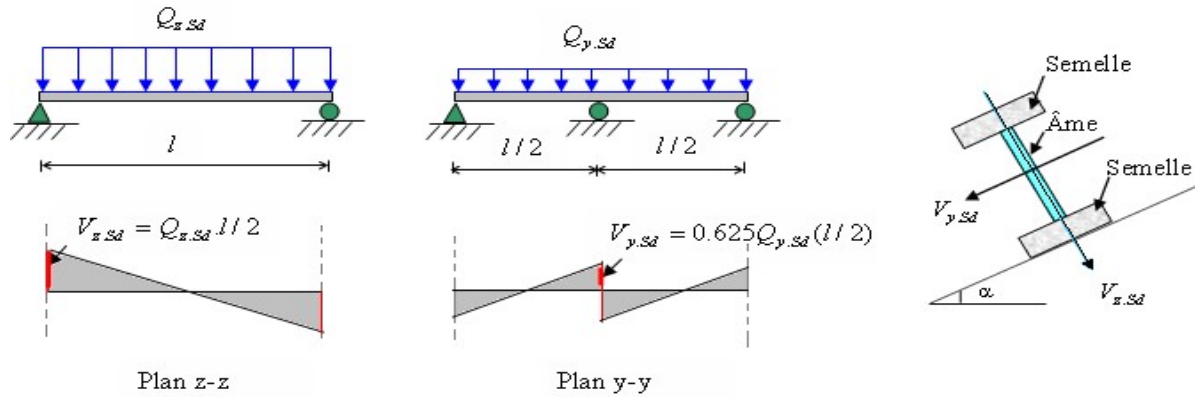


Figure III.1.

Figure III.4. Panne de toiture en cisaillement sous les différents plans de chargement. (DAHMANLL.2022)

$$V_{z, sd} = \frac{Q_{z, sd} \times l}{2} = \frac{156.62 \times 6}{2} = 469.86 \text{ daN}$$

$$V_{y, sd} = 0.625 \times Q_{y, sd} \times \left(\frac{l}{2}\right) = 0.625 \times 21.14 \times \frac{6}{2} = 39.63 \text{ daN}$$

$$V_{plz, rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{7.64 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 9423.4 \text{ daN}$$

$$V_{ply, rd} = \frac{A_{vy} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{10.6 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 13074.35 \text{ daN}$$

$$V_{y, sd} = 39.63 \text{ daN} < 0.5 V_{ply, rd} = 6537.175 \text{ daN}$$

Il n'y a pas d'interaction du moment de résistance plastiques vis-à-vis de l'effort tranchant

$$V_{z, sd} = 469.86 \text{ daN} < V_{plz, rd} = 9423.4 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

$$V_{y, sd} = 39.63 \text{ daN} < V_{ply, rd} = 13074.35 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

#### Conclusion

La résistance au cisaillement pour le profilé IPE 140 est vérifiée.

**III-2-9-1-3- Vérification au déversement**

$$\left[ \frac{M_{y,sd}}{M_{b,rd}} \right] + \left[ \frac{M_{z,sd}}{M_{pl,z,rd}} \right] \leq 1$$

**a) Calcul du moment ultime**

$$M_{y, sd} = \frac{Q_{z,sd} \times l^2}{8} = \frac{200.29 \times 6^2}{8} = 901.30 \text{ daN.m}$$

$$M_{z, sd} = \frac{Q_{y,sd} \times \frac{l^2}{2}}{8} = \frac{4.68 \times 3^2}{8} = 5.26 \text{ daN.m}$$

**b) Calcul du moment résistant au déversement Mb, rd**

$$M_{b, rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \frac{w_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \times M_{ply,rd}$$

Avec :  $\beta_w = 1.0$  pour les sections de classe 1 et 2

L'élancement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\beta_w \times w_{pl,y} f_y}{M_{cr}} \right]^{0.5} \text{ ou } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \times [\beta_w]^{0.5} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \varepsilon \text{ et } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés laminés I et H), l'élancement vaut :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{C_1^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0.25}} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

Pour IPE 140 :  $i_z = 1.65 \text{ cm}$  ;  $h = 14 \text{ cm}$  ;  $t_f = 0.69 \text{ cm}$  ;  $L = 600 \text{ cm}$

$C_1$  : Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments. Puisque les charges sont uniformément réparties donc :  $C_1 = 1,132$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{600}{1.65}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{600}{1.65}}{\frac{14}{0.69}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 168.17$$

$$\text{Donc } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{168.17}{93.9} \right] = 1.79$$

On a:  $h/b = 14/6.9 = 2.02 > 2 \rightarrow$  courbe b

$$X_{LT} = 0.2545$$

$$M_{b,rd} = 0.2545 \times 1886.40 = 480 \text{ daN.m}$$

$$\left[ \frac{901.30}{480.08} \right] + \left[ \frac{5.26}{412.31} \right] = 1.88 > 1$$

C N V

On augmente la section et on opte pour IPE 200 :

**Pour IPE 200** :  $i_z = 2.24 \text{ cm}$  ;  $h = 20 \text{ cm}$  ;  $t_f = 0.85 \text{ cm}$   $L = 600 \text{ cm}$

$C_1$  : Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments. Puisque les charges sont uniformément réparties donc :  $C_1 = 1,132$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{600}{2.24}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{600}{\frac{2.24}{0.85}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 126.39$$

$$\text{Donc } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{126.39}{93.9} \right] = 1.34$$

On a:  $h/b = 20/10 = 2 = 2 \rightarrow$  courbe a

$$X_{LT} = 0.4485$$

$$M_{b,rd} = 0.4485 \times 4721.36 = 2117.08 \text{ daN.m}$$

$$M_{ply,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{221 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 4721.36 \text{ daN.m}$$

$$M_{plz,rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{44.6 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 952.81 \text{ daN.m}$$

$$\left[ \frac{901.30}{2117.52} \right] + \left[ \frac{5.25}{952.81} \right] = 0.43 < 1$$

CV

### III-2-9-2- Vérification à l'ELS

#### III-2-9-2-1- Vérification à la flèche

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

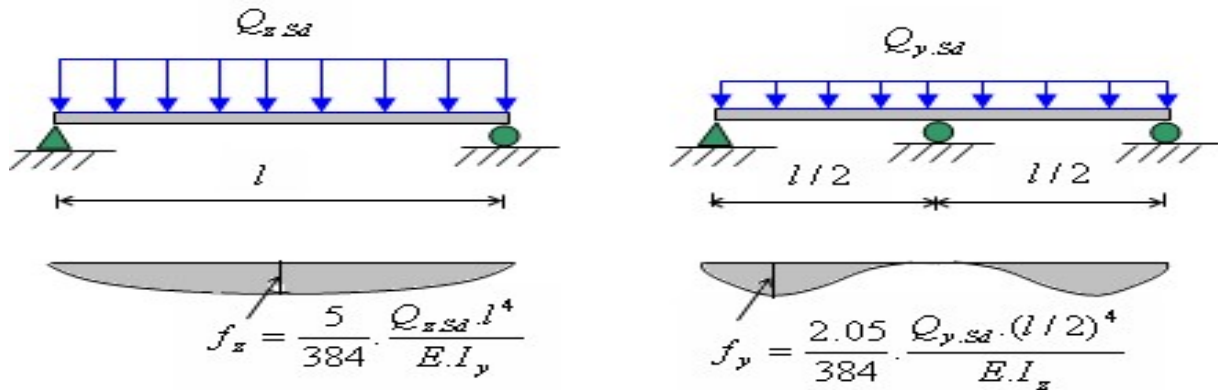


Figure III.5. Vérification de la flèche (DAHMANI.L.2022)

On a:

$$Q_{sd1} = G + N = 35.04 + 47.97 = 83.01 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{sd2} = G + E = 35.04 + 73.8 = 103.84 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{sd} = \max [Q_{sd1}; Q_{sd2}] = 103.84 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{z, sd} = Q_{sd} \times \cos \alpha = 103.84 \times \cos (7.69) = 102.90 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{y, sd} = Q_{sd} \times \sin \alpha = 103.84 \sin (7.69) = 14.56 \text{ daN/ml.}$$

#### Flexion verticale suivant (zz') : sur deux appuis

$$f_z \leq f_{ad} \text{ Avec } f_{ad} = \frac{1}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{5 Q_{zsd}}{384 E I_z} \times l^4 = \frac{5}{384} \left( \frac{102.90 \times 10^{-2}}{1943 \times 2.1 \times 10^6} \right) \times (600)^4 = 0.42 \text{ cm} < 3 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

La flèche verticale est vérifiée.

#### Flexion latérale suivant (yy') : sur trois appuis

$$f_y \leq f_{ad} \text{ Avec } f_{ad} = \frac{1}{200} = \frac{300}{200} = 1.5 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{2.05 Q_{ysd}}{384 E I_x} \times l^4 = \frac{2.05}{384} \left( \frac{14.56 \times 10^{-2}}{142 \times 2.1 \times 10^6} \right) \times (300)^4 = 0.021 \text{ cm} < 1.5 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

La flèche latérale est vérifiée.

#### Conclusion

Le profilé en IPE 200 est vérifié aux états limites ultimes et de services donc vérifié à la sécurité et convient comme panne de toiture.

### III-3- Calcul des liernes

#### III-3-1- Introduction

Les liernes sont des tirants qui travaillent en traction disposés à mi-portée des pannes

Perpendiculairement à ces dernières dans le plan de la toiture, ils sont généralement formés par des barres rondes ou de petites cornières. Leur rôle principal est d'éviter la déformation latérale des pannes, mais aussi à limiter la longueur de déversement et le flambement latéral pour les parties comprimées

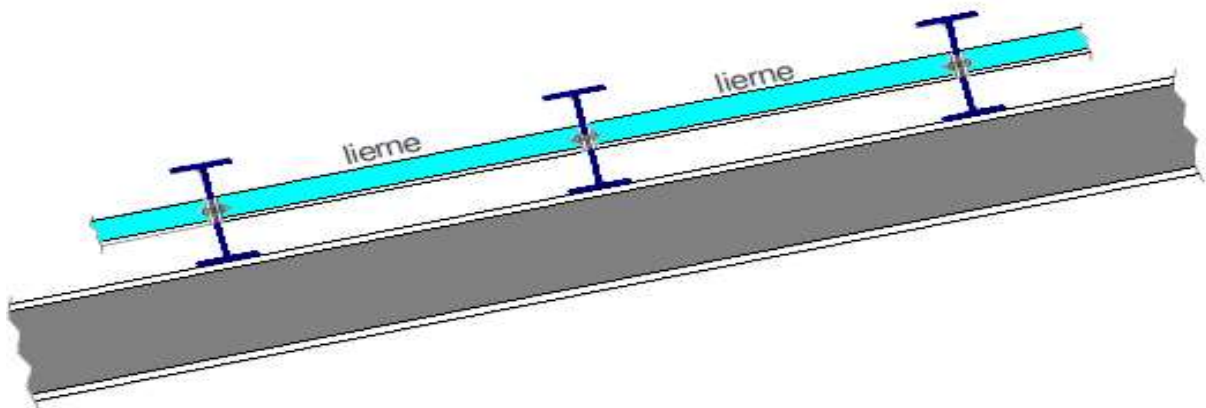


Figure III.6. Dispositions des liernes

#### III-3-2- Calcul de l'effort maximal revenant au lierne

##### III-3-2-1- Calcul de la réaction d'appui

$$Q_{y,sd} = Q_{sd} \times \sin \alpha = 196.86 \sin (7.69) = 26.34 \text{ daN/ml.}$$

$$R = 1.25 \times Q_y \times l/2 = 1.25 \times 26.34 \times 3 = 98.77 \text{ daN}$$

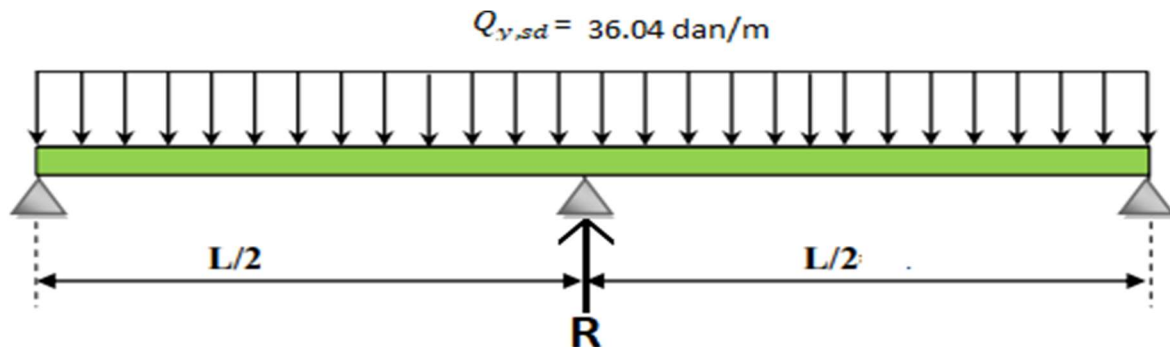


Figure III.7. Réaction R sur les liernes

### III-3-2-2- Calcul de l'effort de traction :

**Effort dans L1 :**

$$T1 = \frac{R}{2} = \frac{98.77}{2} = 49.38 \text{ daN}$$

**Effort dans L2 :**

$$T2 = R + T1 = 98.77 + 49.38 = 148.15 \text{ daN}$$

**Effort dans L3 :**

$$T3 = R + T2 = 98.77 + 148.15 = 246.92 \text{ daN}$$

**Effort dans L4 :**

$$T4 = R + T3 = 98.77 + 246.92 = 345.69 \text{ daN}$$

**Effort dans L5**

$$T5 = R + T4 = 98.77 + 345.69 = 444.46 \text{ daN}$$

**Effort dans L6**

$$T6 = R + T5 = 98.77 + 444.46 = 543.23 \text{ daN}$$

**Effort dans L7**

$$2 T6 \times \sin \theta = T7 \Rightarrow T7 = T6 / 2 \sin \theta = 543.23 / 2 \sin (27.62) = 856.86 \text{ daN}$$

$$T7 = 585.87 \text{ daN}$$

$$\text{Avec : } \theta = \arctan \frac{1.57}{3} = 27.62^\circ$$

### III-3-3- Dimensionnement des liernes :

Le tronçon le plus sollicité est L6

Les liernes travaillent en traction ; on doit vérifier la formule suivant :

$$N_{sd} \leq N_{pl.Rd} \quad (\text{EUROCODE3})$$

$$N_{pl} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad A \geq \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{f_y}$$

le tronçons le plus sollicité L7

$$T7 = N_{sd} = 585.87 \text{ daN}$$

$$A \geq \frac{(585.87) \times (1.1)}{2350} = 27.42 \text{ mm}^2$$

$$A \geq 27.42 \text{ mm}^2$$

$$\varphi \geq \sqrt{\frac{27.42 \times 4}{3.14}} = 5.90 \text{ mm}$$

Pour des raisons plastiques et pour plus de sécurité on opte pour une barre ronde de diamètre  $\varphi = 10 \text{ mm}$

Tableau III.3. Les caractéristiques de la barre ronde R 10

Éléments	Diamètre	G (Kg/m)	d (mm)	A (cm <sup>2</sup> )
Liernes de toiture	R 10	0.617	10	0.785

### III-4- Lisse de bardage

#### III-4-1- Introduction

Les lisses de bardages sont constituées de poutrelles (IPE, UAP, UPN) ou de profils minces pliés, qui ont pour fonction de supporter les couvertures de façades verticales et les charges qui s'appliquent sur ces bardages, disposées horizontalement, elles portent sur les poteaux de portiques ou éventuellement sur des potelets intermédiaires. L'entre axe des lisses est déterminé par la portée admissible des bacs de bardage.

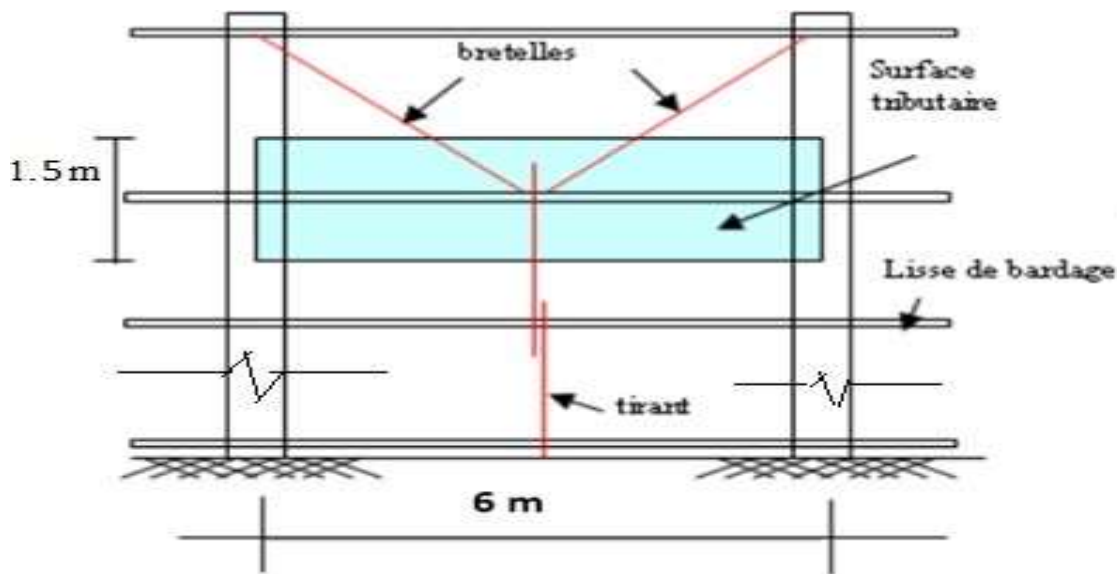


Figure III.8. Disposition des lisses de bardages.

#### III-4-2- Calcul des lisses de bardages

##### III-4-2-1- Données de calcul

- Chaque lisse repose sur 2 appuis.
- La portée entre chaque axe des lisses  $e = 1.58 \text{ m}$  (espace entre 2 lisses).

- On dispose de 10 lignes de lisses sur chaque paroi.
- Les pannes sont en acier S235
- Poids propre de bardage 17 daN/m<sup>2</sup>
- Poids propre d'accessoires d'attache 5 daN/m<sup>2</sup>

### III-4-2-2- Evaluation des charges et surcharges

#### a) Charge permanente « G »

$$G = (P_{\text{couverture}} + P_{\text{Accessoire}}) \times e$$

$$G = (17 + 5) \times 1.58 = 34.76 \text{ daN/m}$$

Vent perpendiculaire au long pan

#### b) Surcharge climatique due au vent « V »

$$W = 81.25 \text{ daN/m}^2 \quad (\text{chapitre II})$$

$$V = W \times e$$

$$V = 81.25 \times 1.58 = 128.37 \text{ daN/m}$$

### III-4-2-3- Combinaison des charges

#### a) A l'ELU

$$1.35G + 1.5V$$

$$Q_y = 1.35G = 1.35 \times 34.76 = 46.92 \text{ daN/ml}$$

$$Q_z = 1.5V = 1.5 \times 128.37 = 192.55 \text{ daN/ml}$$

#### b) A l'ELS

$$G + V$$

$$Q_y = G = 34.76 \text{ daN/ml}$$

$$Q_z = V = 128.37 \text{ daN/ml}$$

### III-4-2-4- Condition de la flèche

Le pré dimensionnement se fait par la condition de la flèche en vérifiant la condition suivante:

$$f \leq f_{ad}$$

#### a) Flèche vertical suivant (zz') sur deux appui

On a:

$$F_z \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{200}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times \frac{1}{200}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{128.37 \times 10^{-2} \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{600}{200}}$$

$$I_y = 343.84 \text{ cm}^4$$

**b) Flèche latérale suivant (yy') sur trois appuis**

$$F_y \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{200}$$

$$f_y = \frac{2.05}{384} \times \frac{Q_{y,sd} \times \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \times I_z}$$

$$I_z \geq \frac{2.05}{384} \times \frac{Q_{y,sd} \times \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \times \frac{l/2}{200}}$$

$$I_z \geq \frac{2.05}{384} \times \frac{34.76 \times 10^{-2} \times 300^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{300}{200}}$$

$$I_z = 4.77 \text{ cm}^4$$

On a  $I_y \geq 343.84 \text{ cm}^4$  donc on opte pour un UPN120.

**III-4-2-5- Classification de la section**

D'après le tableau de profilées laminée la section est de **classe 1**

**Tableau III.4. Dimension et caractéristique du UPN120**

Profilé UPN120	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	G	h	b	tw	tf	d	Wpl.y	Wpl.z	Avz	A	Iy	Iz
	daN/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
	13.4	120	55	7	9	82	72.6	21.2	8.80	17	364	43.2

**Evaluation des charges :**

$$G = [(P_{tole} + P_{accsoire}) \times e] + P_{UPN120}$$

$$G = 34.76 + 13.4$$

$$G = 48.16 \text{ daN/m}$$

**Combinaison des charges**

**A l'ELU**

$$1.35G + 1.5V$$

$$Q_y = 1.35G = 1.35 \times 48.16 = 65.01 \text{ daN/ml}$$

$$Q_z = 1.5V = 1.5 \times 128.37 = 192.55 \text{ daN/ml}$$

**A l'ELS**

$$G + V$$

$$Q_y = G = 48.16 \text{ daN/ml}$$

$$Q_z = V = 128.37 \text{ daN/ml}$$

**III-4-2-6- Vérification à la sécurité**

**III-4-2-6-1- Vérification à l'ELU**

**III-4-2-6-1-1- Vérification à la flexion**

En se référant au (CCM97), la vérification à la flexion bi-axial est menée selon la formule suivante :

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

Avec :  $\alpha=2$  ;  $\beta=1$  section en I.

$$M_{ply,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{72.5 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 1548.8 \text{ daN.m}$$

$$M_{plz,rd} = \frac{W_{pl,z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21.2 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 452.90 \text{ daN.m}$$

$$Q_{z,sd} = 1.5V = 192.55 \text{ daN/m}$$

$$M_{y,sd} = \frac{Q_{z,sd} \times l^2}{8} = \frac{192.55 \times 6.0^2}{8} = 866.47 \text{ daN.m}$$

$$Q_{y,sd} = 1.35G = 65.01 \text{ daN/m.}$$

$$M_{z, sd} = \frac{Q_{y, sd} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = \frac{65.01 \times \left(\frac{6}{2}\right)^2}{8} = 73.13 \text{ daN.m}$$

A.N pour la vérification de la résistance en flexion

$$\left(\frac{M_{y, sd}}{M_{pl, y}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z, sd}}{M_{pl, y}}\right)^\beta = \left(\frac{866.47}{1548.8}\right)^2 + \left(\frac{73.13}{452.90}\right)^1 = 0.47 < 1 \dots \dots \text{CV}$$

### Conclusion

La résistance en flexion pour le profilé UPN120 est vérifiée.

### III-4-2-6-1-2- Vérification au cisaillement

La vérification est donnée par les formules suivantes (**Eurocode 03**) :

$$V_{z, sd} \leq V_{plz, rd} \quad \text{Et} \quad V_{y, sd} \leq V_{ply, rd}$$

$$V_{z, sd} = \frac{Q_{z, sd} \times l}{2} = \frac{192.55 \times 6}{2} = 577.65 \text{ daN}$$

$$V_{y, sd} = 0.625 \times Q_{y, sd} \times \left(\frac{l}{2}\right) = 0.625 \times 65.01 \times \frac{6}{2} = 121.89 \text{ daN}$$

$$V_{plz, rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{8.8 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 10854.185 \text{ daN}$$

$$V_{ply, rd} = \frac{A_{vy} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{8.2 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 10114.16 \text{ daN}$$

$$V_{z, sd} = 577.65 \text{ daN} < V_{plz, rd} = 10854.18 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

$$V_{y, sd} = 121.89 \text{ daN} < V_{ply, rd} = 10114.16 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

### Conclusion

La résistance au cisaillement pour le profilé UPN 120 est vérifiée.

### III-4-2-6-1-3- Vérification au déversement

$$\left[\frac{M_{y, sd}}{M_{b, rd}}\right] + \left[\frac{M_{z, sd}}{M_{pl, z, rd}}\right] \leq 1$$

$$W = -74.5 \text{ (zone B)}$$

$$V=117.71\text{daN/ml}$$

$$Q_{z,sd} = 1.5V = 1.5(117.71)=176.56\text{daN/ml.}$$

$$Q_{y,sd}=1.35G = 1.35(48.16)=65.01 \text{ daN/ml.}$$

**a) Calcul du moment ultime**

$$M_{y, sd} = \frac{Q_{z, sd} \times l^2}{8} = \frac{192.55 \times 6.0^2}{8} = 866.47 \text{ daN. m}$$

$$M_{z, sd} = \frac{Q_{y, sd} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = \frac{65.01 \times \left(\frac{6}{2}\right)^2}{8} = 73.13 \text{ daN. m}$$

$$M_{ply, rd} = \frac{W_{pl, y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{72.5 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 1548.8 \text{ daN. m}$$

$$M_{plz, rd} = \frac{W_{pl, z} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{21.2 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 452.90 \text{ daN. m}$$

**b) Calcul du moment résistant au déversement Mb,rd**

$$M_{b, rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \frac{W_{pl, y} f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \times M_{ply, rd}$$

Avec :  $\beta_w = 1.0$  pour les sections de classe 1 et 2

L'élancement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\beta_w \times W_{pl, y} f_y}{M_{cr}} \right]^{0.5} \text{ ou } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \times [\beta_w]^{0.5} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9\varepsilon \text{ et } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés laminés I et H), l'élancement vaut :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{C_1^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0.25}} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

Pour IPE 140 :  $i_z = 1.69 \text{ cm}$  ;  $h = 12 \text{ cm}$  ;  $t_f = 5.5 \text{ cm}$   $L = 600 \text{ cm}$

$C_1$  : Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments. Puisque les charges sont uniformément réparties donc :  $C_1 = 1,132$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{600}{1.69}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{600}{1.69}}{\frac{12}{5.5}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 58.78$$

$$\text{Donc } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{58.78}{93.9} \right] = 0.62$$

On a une section U => courbe C

$$X_{LT} = 0.7735$$

$$M_{b,rd} = 0.7735 \times 1548.8 = 1197.99 \text{ daN.m}$$

$$\left[ \frac{794.54}{1197.99} \right] + \left[ \frac{73.13}{452.90} \right] = 0.82 < 1 \quad \text{CV}$$

### Conclusion

Le profilé UPN 120 est vérifié à l'état limite ultime

### III-4-2-6-2- Vérification à l'ELS

#### III-4-2-6-2-1- Vérification à la flèche

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

On a .

$$Q_{z,sd} = V = 128.37 \text{ daN/ml.}$$

$$Q_{y,sd} = G = 48.16 \text{ daN/ml.}$$

#### Flexion verticale suivant (zz') : sur deux appuis

$$f_z \leq f_{ad} \text{ Avec } f_{ad} = \frac{1}{200} = \frac{600}{200} = 3 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{5 Q_{zsd}}{384 E I_y} \times l^4 = \frac{5}{384} \left( \frac{128.37 \times 10^{-2}}{364 \times 2.1 \times 10^6} \right) \times (600)^4 = 2.83 \text{ cm} < 3 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

La flèche verticale est vérifiée.

#### Flexion latérale suivant (yy') : sur trois appuis

$$f_y \leq f_{ad} \text{ Avec } f_{ad} = \frac{1}{200} = \frac{300}{200} = 1.5 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{2.05 Q_{ysd}}{384 E I_z} \times l^4 = \frac{2.05}{384} \left( \frac{48.16 \times 10^{-2}}{43.2 \times 2.1 \times 10^6} \right) \times (300)^4 = 0.22 \text{ cm} < 1.5 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

La flèche latérale est vérifiée.

## Conclusion

Le profilé en UPN120 est vérifié aux états limites ultimes et de services donc vérifié à la sécurité et convient comme lisse de bardage.

### III-4-3- Calcul des liernes

#### III-4-3-1- Calcul de l'effort maximal revenant au lierne

##### III-4-3-1-1- Calcul de la réaction d'appui

$$Q_y, sd = 1.3G = 65.01 \text{ daN/ml.}$$

$$R = 1.25 \times Q_y \times l_2 = 1.25 \times 65.01 \times 3 = 243.78 \text{ daN}$$

##### III-4-3-1-2- Calcul de l'effort de traction :

**Effort dans L1 :**

$$T_1 = \frac{R}{2} = \frac{243.78}{2} = 121.89 \text{ daN}$$

**Effort dans L2 :**

$$T_2 = R + T_1 = 243.78 + 121.89 = 365.67 \text{ daN}$$

**Effort dans L3 :**

$$T_3 = R + T_2 = 243.78 + 365.67 = 609.45 \text{ daN}$$

**Effort dans L4 :**

$$T_4 = R + T_3 = 243.78 + 609.45 = 853.23 \text{ daN}$$

**Effort dans L5 :**

$$T_5 = R + T_4 = 243.78 + 853.23 = 1097.01 \text{ daN}$$

**Effort dans L6 :**

$$T_6 = R + T_5 = 243.78 + 1097.01 = 1340.79 \text{ daN}$$

**Effort dans L7 :**

$$T_7 = R + T_6 = 243.78 + 1340.79 = 1584.57 \text{ daN}$$

**Effort dans L9 :**

$$2 T_9 \times \sin \theta = T_8 \Rightarrow T_9 = \frac{T_8}{2 \sin \theta} = \frac{1828.35}{2 \sin (27.7)} = 1966.63 \text{ daN}$$

$$T_9 = 1966.63 \text{ daN}$$

$$\text{Avec : } \theta = \arctan \frac{1.58}{3} = 27.7^\circ$$

### III-4-3-1-3- Dimensionnement des liernes :

#### Le tronçon le plus sollicité est L9

Les liernes travaillent en traction ; on doit vérifier la formule suivant :

$$N_{sd} \leq N_{pl.Rd} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$$N_{sd} = T9 = 1966.63 \text{ daN}$$

$$N_{pl} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad A \geq \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{f_y}$$

$$A \geq \frac{(1966.63) \times (1.1)}{2750} = 92.05 \text{ mm}^2 \quad A \geq 92.05 \text{ mm}^2$$

$$\varphi \geq \sqrt{\frac{92.05 \times 4}{3.14}} = 10 \text{ mm}$$

Pour des raisons plastique et pour plus de sécurité on opte pour une barre ronde de diamètre

$$\varphi = 10 \text{ mm}$$

### III-5- Potelet

#### III-5-1- Introduction

Les potelets sont des éléments en profilé laminé, qui ont pour rôle de transmettre les différents efforts horizontaux à la poutre au vent et les efforts verticaux vers le sol.

Sous l'action du vent, le potelet travaille à la flexion composée. En effet, la flexion est provoquée par les efforts dus au vent transmis par les bardages et les lisses. Cette dernière peut aussi bien se produire soit vers l'intérieur de la construction sous l'effet d'une surpression, soit vers l'extérieur de la construction sous l'effet d'une dépression ; Quant à la compression, celle-ci est due à son poids propre, au poids du bardage et à celui des lisses qui lui sont attachées.

Par conséquent le potelet risque de :

- Subir une flèche importante sous les pressions due au vent
- Flambement lorsqu'il est très élancé
- Déversement sous les dépressions dus au vent

#### III-5-2- Donné de calcul

La hauteur de potelet le plus chargé                      L = 15.78m.

La longueur de la lisse    L = 6 m

L'entre axe des potelets    e = 3 m

Nombre de lisses supportées par le potelet (n=10)	
Poids propre de bardage (panneaux sandwichs TN75)	17 daN/m <sup>2</sup>
Poids propre d'accessoires de pose	5 daN/m <sup>2</sup>
Poids propre de la lisse (UPN 120)	13.4 daN/m

### III-5-3- Evaluation des charges

#### a) Charge permanente « G »

$$G = (Plisse \times Llisse \times Nlisse) + (Pbardage + Paccessoire) \times Stributaire$$

$$G = (13.4 \times 6 \times 10) + ((17 + 5) \times (15.78 \times 3)) = 1845.48 \text{ daN}$$

#### b) Surcharge climatique « V »

$$V = W \times e$$

$$V = 81.25 \times 3 = 243.75 \text{ daN/m}$$

### III-5-4- Dimensionnement du potelet

Le pré dimensionnement se fait par la condition de la flèche en vérifiant la condition suivante:

#### Condition de la flèche

$$F_z \leq F_{ad}$$

#### a) Flèche vertical (sur deux appuis)

On a :

$$F_z \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{200}$$

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

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{V \times l^4}{E \times \frac{1}{200}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{243.75 \times 10^{-2} \times 1578^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{1578}{200}}$$

$$I_y \geq 11877.22 \text{ cm}^4$$

**b) Flèche latérale**

$$F_y \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{200}$$

$$f_y = \frac{2.05}{384} \times \frac{G \times \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \times I_z}$$

$$I_z \geq \frac{2.05}{384} \times \frac{G \times \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \times \frac{l/2}{200}}$$

$$I_z \geq \frac{2.05}{384} \times \frac{1845.48 \times 10^{-2} \times 789^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{789}{200}}$$

$$I_z = 4608.64 \text{ cm}^4$$

On a  $I_y \geq 3636.39 \text{ cm}^4$  donc on opte pour un HEA 300.

**Classification de la section**

D'après le tableau de profilées laminée la section est de classe 1

**Tableau III.5. Dimension et caractéristique du HEA 300**

Profilé HEA 300	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	G daN/m	h mm	b mm	tw mm	tf mm	d mm	Wpl.y cm <sup>3</sup>	Wpl.z cm <sup>3</sup>	Avz cm <sup>2</sup>	A cm <sup>2</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Iz cm <sup>4</sup>
	88.3	290	300	8.5	14	208	1383	641.2	37.28	112,5	18260	6310

$$G = 1845.48 + (P_{HEA 180} \times L_{HEA 180})$$

$$G = 1845.48 + (88.3 \times 15.78)$$

$$G = 3238.85 \text{ daN}$$

**Combinaison des charges :**

A l'ELU

$$Q_y, = 1.35G = 1.35 \times 3238.85 = 4372.44 \text{ daN/m}$$

$$Q_z, = 1.5V = 1.5 \times 243.75 = 365.62 \text{ daN/m}$$

A l'ELS

$$Q_y, = G = 3238.85 \text{ daN/m}$$

$$Q_z, = V = 243.75 \text{ daN/m}$$

### III-5-5- Vérification à la résistance

#### III-5-5-1- Incidence de l'effort tranchant

Si :  $V_{z, sd} \leq 0.5V_{pl, rd}$

Il n'y a pas d'interaction entre le moment fléchissant et l'effort tranchant

$$Q_{z, sd} = 1.5V = 365.62 \text{ daN/m}$$

$$V_{z, sd} = \frac{Q_{z, sd} \times L}{2} = \frac{365.62 \times 15.78}{2}$$

$$V_{z, sd} = 2884.74 \text{ daN}$$

$$V_{pl, rd} = \frac{A_{vz} \times (f_y / \sqrt{3})}{1.1} = \frac{37.28 \times (2350 / \sqrt{3})}{1.1}$$

$$V_{pl, rd} = 45982.27 \text{ daN}$$

On a

$$V_{z, sd} = 2884.74 \text{ daN} \ll 0.5V_{pl, rd} = 22991.13 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

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

#### III-5-5-2- Incidence de l'effort normal :

Si :  $N_{sd} \leq \text{Min} (0.25N_p ; 0.5A_w \cdot f_y / \gamma_{M0})$  il n'y a pas d'interaction entre le moment résistant et l'effort normal.

$$N_{sd} = 1.35G = 4372.44 \text{ daN}$$

$$N_{pl, rd} = \frac{A \times (f_y)}{1.1} = \frac{112.5 \times (2350)}{1.1}$$

$$N_{pl, rd} = 240340.90 \text{ daN}$$

$$0.25N_{pl, rd} = 60085.2 \text{ daN}$$

$$A_w = (A - 2b \times t_f) = (112.5 \times 2(30) \times 1.4)$$

$$A_w = 28.5 \text{ cm}^2$$

$$\frac{0.5A_w \times f_y}{1.1} = \frac{0.5 \times 28.5 \times 2350}{1.1} = 30443.18 \text{ daN}$$

On a

$$N_{sd} = 4372.39 \text{ daN} < \frac{0.5A_w \times f_y}{1.1} = 30443.18 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

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

### III-5-5-3- Vérification à la flexion

$$M_{y,rd} \leq M_{cy,rd}$$

$M_c$  : c'est le moment résistant qui dépend de la classe de la section.

#### III-5-5-3-1- Classification de la section

D'après le tableau de profilées laminées la section est de **classe 1**

$$M_{cy,rd} = M_{pl,rd} = w_{ply} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{cy,rd} = 1383 \times \frac{2350}{1.1} = 29545.9 \text{ daN.m}$$

$$Q_{z,rd} = 365.62 \text{ daN/m}$$

$$M_{y,rd} = \frac{Q_{z,rd} \times l^2}{8} = \frac{365.62 \times 15.78^2}{8} = 11380.30 \text{ daN.m}$$

$$M_{y,rd} = 11380.30 \text{ daN.m} < M_{cy,rd} = 29545.9 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

### III-5-6- Vérification aux instabilités

Le potelet est sollicité à la flexion (due au vent) et à la compression (due à son poids propre et au poids du bardage et des lisses). Il travaille à la flexion composée.

La vérification aux instabilités est donnée par les formules suivantes :

- Flexion composée avec risque de flambement:

$$\frac{N_{sd}}{N_{by,rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,rd}}{M_{b,rd}} \leq 1$$

- Flexion composée avec risque de diversement

$$\frac{N_{sd}}{N_{bz,rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,rd}}{M_{b,rd}} \leq 1$$

$$N_{bz,rd} = \chi_z \cdot N_{pl,rd} ; \quad N_{by,rd} = \chi_y \cdot N_{pl,rd} ; \quad M_{b,rd} = \chi_{LT} \cdot M_{ply,rd}$$

$$N_{pl,rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M1}} \quad ; \quad M_{pl,rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

### III-5-6-1- Calcul des coefficients de réduction pour le flambement $\chi_y$ et $\chi_z$

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

L'élançement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_y = \left[ \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \right] \quad \text{avec} \quad \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9\varepsilon$$

$$\text{et } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

- **Longueur de flambement :**

$$l_y = L = 8,56m$$

- **Calcul d'élançement :**

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{1578}{12.74} = 123.86$$

$$\bar{\lambda}_y = \left[ \frac{123.86}{93.9} \right] = 1.31$$

- **Choix de la courbe de flambement**

Le **tableau 6.2 de EN1993-1-1** nous donne le choix de la courbe de flambement en fonction du type de la section.

$$h/b = 290/300 = 0.96 < 1.2 \text{ et } t_f = 14 \leq 100mm \quad \text{courbe b « y-y »}$$

- **Facteur de réduction**

$$\chi_y = 0.4221 \text{ (Tableau du coefficient de flambement } \chi \text{ de la courbe b)}$$

#### b) Flambement par rapport à l'axe faible z- z (dans le plan du portique) :

L'élançement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_z = \left[ \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \right] \quad \text{avec} \quad \lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9\varepsilon$$

$$\text{et } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

- **Longueur de flambement :**

$$l_z = L = 1.58 \text{ m (entre axe des lisse)}$$

- **Calcul d'élanement :**

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{158}{7.49} = 21.09$$

$$\bar{\lambda}_z = \left[ \frac{21.09}{93.9} \right] = 0.22$$

- **Choix de la courbe de flambement**

Le **tableau 6.2 de EN1993-1-1** nous donne le choix de la courbe de flambement en fonction du type de la section.

$$h/b = 290/300 = 0.96 < 1.2 \text{ et } t_f = 14 \leq 100\text{mm} \quad \text{courbe c « z-z »}$$

- **Facteur de réduction**

$$\chi_z = 0.9898 \text{ (Tableau du coefficient de flambement } \chi \text{ de la courbe c)}$$

### III-5-6-2- Calcul des coefficients d'interaction kij :

$$K_{yy} = \min \left[ C_{my} \left( 1 + [\bar{\lambda}_y - 0.2] \frac{Nsd}{\chi_y \times Npl, rd} \right); C_{my} \left( 1 + 0.8 \frac{Nsd}{\chi_y \times Npl, rd} \right) \right]$$

$$K_{zy} = \max \left[ \left( 1 - \frac{0.1 \bar{\lambda}_z}{C_{m1t} - 0.25} \times \frac{Nsd}{\chi_z \times Npl, rd} \right); \left( 1 - \frac{0.1}{C_{m1t} - 0.25} \times \frac{Nsd}{\chi_z \times Npl, rd} \right) \right]$$

Avec :

$$C_{my} = 0.95 + 0.05\alpha h \text{ avec } \alpha h = \frac{M_h}{M_s}; |M_h| < |M_s|$$

$$h = \frac{0.0}{M_s} = 0 \text{ Donc } C_{my} = 0.95 = C_{m1t}$$

$$K_{yy} = \min \left[ 0.95 \left( 1 + [1.31 - 0.2] \frac{4372.44}{0.422 \times 240340.9} \right); 0.95 \left( 1 + 0.8 \frac{4372.44}{101447.89} \right) \right]$$

$$K_{yy} = \min(0.99; 0.98)$$

$$K_{yy} = 0.98$$

$$K_{zy} = \max \left[ \left( 1 - \frac{0.1(0.42)}{0.95 - 0.25} \times \frac{4372.44}{0.98 \times 240340.9} \right); \left( 1 - \frac{0.1}{0.95 - 0.25} \times \frac{4372.44}{237889.42} \right) \right]$$

$$K_{zy} = \max(0.99 ; 0.99)$$

$$K_{zy} = 0.99$$

### III-5-6-3- Vérification par rapport à l'axe fort y-y

$$\frac{N_{sd}}{N_{by,rd}} + k_{yy} \frac{M_{y, sd}}{M_{ply,rd}} \leq 1$$

Avec

$$\frac{4372.44}{101447.89} + 0.98 \frac{11380.30}{29545.9} = 0.42 \leq 1 \quad \text{CV}$$

### III-5-6-4- Vérification par rapport à l'axe faible z-z

$$\frac{N_{sd}}{N_{bz,rd}} + k_{zy} \frac{M_{y, sd}}{M_{ply,rd}} \leq 1$$

$$\frac{4372.44}{237889.42} + 0.99 \frac{11380.30}{29545.9} = 0.06 < 1 \quad \text{CV}$$

**Donc HEA300 convient comme potelet**

## III-6- Escalier

### III-6-1- Les éléments constituent les escaliers

**Cage d'escalier :** Pièce dans laquelle se trouve l'escalier.

**Palier :** Est un espace plat et spacieux qui marque un étage après une série des marches, dont la fonction est de permettre un repos pendant la montée.

**Giron :** Est une largeur d'une marche d'escalier mesurée entre l'aplomb de deux contre marches successives.

**Volée :** Est une partie droite ou courbée d'escalier comprise entre deux paliers successifs.

**Limon :** Est un élément incliné supportant les marches, pour les limons on emploie des profils ou de la tôle, le dispositif le plus simple consiste à utiliser un profilé en U sur l'âme verticale, situé sur le "côté" de l'escalier, parallèle au mur.

**Marche :** Est la partie sur laquelle on pose les pieds. Elle est parallèle au sol.

**Contre marche :** Est la partie verticale de la marche

### III-6-2- Dimensionnement des escaliers

**Escalier de RDC :**

**Hauteur d'étage= 6.12m**

Le choix des dimensions se fait selon la formule de BLANDEL :

$$59\text{cm} \leq (g + 2h) \leq 66\text{cm}$$

$$\text{Avec : } n = \frac{H}{h}$$

H : Hauteur de l'étage

h : Varie de 14 cm à 20 cm

g : Varie de 22 cm à 30 cm

Pour H=6.12m on prend h=17 cm et g=30 cm

$$n = \frac{H}{h} = \frac{612}{17} = 36$$

$$\frac{n}{3} = \frac{36}{3} = 12 \text{ Contremarches}$$

$$m = n - 1 = 12 - 1 = 11 \text{ marches}$$

On répartit ce nombre de marche en 03 volées : Chaque volée comporte 12 contremarches de 17 cm et 11 marches de 30 cm.

#### III-6-2-1- Vérification à la condition de BLONDEL

$$59 \text{ cm} \leq (g + 2h) \leq 66\text{cm}$$

$$59 \text{ cm} \leq (30 + 2(17)) = 64\text{cm} \leq 66 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

#### III-6-2-2- Longueur de volée

$$L_v = g(n-1)$$

$$= 30(12-1) = 330\text{cm}$$

#### III-6-2-3- Inclinaison du limon

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{H}{L} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{12 \times 17}{11 \times 30} \right) = 31.72^\circ$$

#### III-6-2-4- Longueur du limon

$$L_p = \frac{H}{3 \sin \alpha} = \frac{612}{3 \sin(31.72)} = 388\text{cm}$$

### III-6-2-5- Epaisseur du limon

$$\frac{L_p}{30} \leq L_p \leq \frac{L_p}{20}$$

$$\frac{388}{30} < L_p < \frac{388}{20}$$

Donc

$$L_p = 16 \text{ cm}$$

### III-6-3- Pré dimensionnement des éléments

#### III-6-3-1- Support des marches « Cornière »

Les marches sont construites par des tôles striées, d'épaisseur 5 mm rigidifiées par des cornières jumelées soudées au milieu des tôles. Les cornières jumelées sont soudées avec les cornières d'attaches, ces derniers sont boulonnés avec le limon.

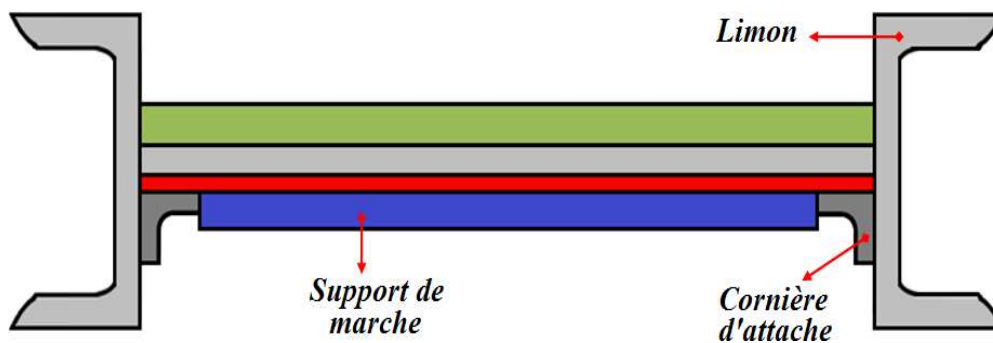


Figure III.9. Disposition des cornières

- La longueur de la marche  $L = 1,3 \text{ m}$
- La largeur de la marche  $l = g = 0,30 \text{ m}$
- Les cornières sont en acier S235 :

$$f_y = 23,5 \text{ daN/mm}^2 \text{ (la limite d'élasticité d'acier).}$$

$$E = 21000 \text{ daN/mm}^2 \text{ (le module d'élasticité longitudinale de l'acier).}$$

#### III-6-3-1-1- Evaluation des charges

##### Charge permanente G

Tôle striée (5mm)  $G_1 = 45 \text{ daN/m}^2$

Mortier de pose (2cm)  $G_2 = 40 \text{ daN/m}^2$

Revêtement (2cm)  $G_3 = 40 \text{ daN/m}^2$

$$G = (G_1 + G_2 + G_3) \times d = (45 + 40 + 40) \times 0,30 = 37,5 \text{ daN/m}$$

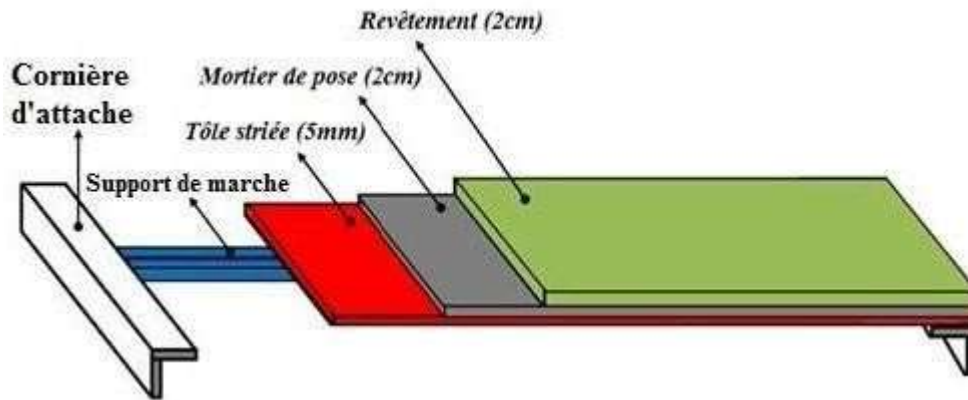


Figure III.10. Charge appliqué sur la cornière

### Charge d'exploitation Q

$$Q = 250 \text{ daN/m}^2.$$

$$Q = 250 \times 0.30 = 75 \text{ daN/m}$$

### III-6-3-1-2- Choix de la section

$$q = G + Q = 37.5 + 75 = 112.5 \text{ daN/m}$$

Dans notre cas on a une cornière posée sur 2 appuis simples et une charge uniformément répartie donc la flèche est :

$$F_w \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{l^4}{300}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times \frac{l}{300}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{112.5 \times 10^{-2} \times 130^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{130}{300}}$$

$$I_y \geq 5.05 \text{ cm}^4$$

On opte pour **L40×40×5**

### III-6-3-1-3- Classification de la section :

D'après le tableau de profilées laminées la section est de **classe 1**

**Tableau III.6. Caractéristique et dimension du L 40×40×5**

Profilé L 40 x 40 x 5	Dimensions						Caractéristique de calcul					
	G kg/ m	h= b m m	t m m	r1 mm	r2 mm	A cm <sup>2</sup>	Wpl, y cm <sup>3</sup>	Wpl, z cm <sup>3</sup>	iy cm <sup>2</sup>	iz cm <sup>2</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Iz cm <sup>4</sup>
	2.97	40	5	6	3	3.79	1.91	1.91	1.2	1.2	5.43	5.43

Donc la charge permanente G devient (on inclue le poids de la cornière)

$$G = 41.25 + G_{\text{cornier}} = 37.5 + 2.97 = 40.47 \text{ daN/m}$$

#### Combinaison de charge à l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 40.47 + 1.5 \times 75 = 167.13 \text{ daN/m}$$

#### Combinaison de charge à l'ELS

$$q = G + Q = 38. = 40.47 + 75 = 115.47 \text{ daN/m}$$

### III-6-3-1-4- Vérification à l'ELU

#### III-6-3-1-4-1- Vérification du moment fléchissant (résistant)

La vérification doit satisfaire la condition suivante

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{167.13 \times 1.3^2}{8} = 35.30 \text{ daN.m}$$

$$M_{c,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1.91 \times 2350}{1.1} = 40.80 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 35.30 \text{ daN.m} < M_{c,rd} = 40.80 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

#### Conclusion

La résistance en flexion pour le profilé **L40×40×5** est vérifiée.

### III-6-3-1-4-2- Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

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

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{167.13 \times 1.3}{2} = 108.63 \text{ daN}$$

$$A_{vz} = 1.04 \times h \times t = 1.04 \times 4 \times 0.5 = 2.08 \text{ cm}^2$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{2.08 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 2565.53 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 108.63 \text{ daN} < V_{plz,rd} = 2565.53 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

### III-6-3-1-5- Vérification à l'ELS

#### III-6-3-1-5-1- Vérification à la flèche

On a :

$$F \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{l}{300} = \frac{130}{300} = 0.43 \text{ cm}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{115.47 \times 10^{-2} \times 130^4}{2.1 \times 10^6 \times 5.43} = 0.37 \text{ cm} < F_{ad} = \frac{130}{300} = 0.43 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

La flèche verticale est donc vérifiée.

#### Conclusion

La double cornière **2L 40 × 40 × 5** convient comme support de marche

### III-6-3-2- Limon

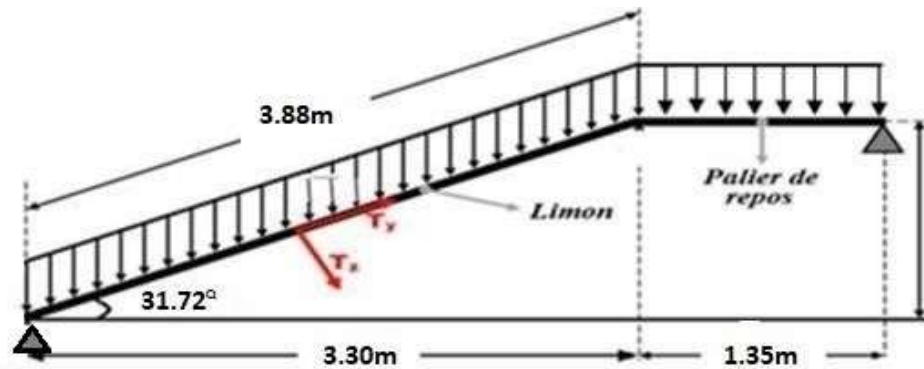


Figure III.11. Distribution des charges sur un limon

- La longueur de limon  $L = 3.88 \text{ m}$
- L'espacement entre deux limons  $d = 1.30 \text{ m}$
- Les limons sont en acier S235 :

$f_y = 23,5 \text{ daN/mm}^2$  (la limite d'élasticité d'acier).

$E = 2.1 \times 10^6 \text{ daN/cm}^2$  (le module d'élasticité longitudinale de l'acier).

#### III-6-3-2-1- Evaluation des charges

##### a) Volée

##### Les charges permanentes G

- |                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| ○ Tôle striée (5mm)               | $G1 = 45 \text{ daN/m}^2$ |
| ○ Mortier de pose (2cm)           | $G2 = 40 \text{ daN/m}^2$ |
| ○ Revêtement (2cm)                | $G3 = 40 \text{ daN/m}^2$ |
| ○ Poids des cornières (L 40×40×5) | $Gc = 2.97 \text{ daN/m}$ |
| ○ Garde-corps                     | $PG = 100 \text{ daN/m}$  |

$$GT = (G1 + G2 + G3) \times d + Pc + PG = (45 + 40 + 40) \times 1.3 + 2.97 + 100 = 265.47 \text{ daN/m}$$

La charge pour un seul limon :

$$G = Gt/2 = 265.47/2 = 132.735 \text{ daN/m}$$

##### b) Palier

- **Les charges permanentes G**
- Tôle TN40  $G1 = 10 \text{ daN/m}^2$
- Dalle en béton (10cm)  $G2 = 250 \text{ daN/m}^2$
- Mortier de pose  $G3 = 40 \text{ daN/m}^2$
- Revêtement (2cm)  $G4 = 40 \text{ daN/m}^2$

**La charge totale :**  $G = (G_1 + G_2 + G_3 + G_4) \times d = (10 + 250 + 40 + 40) \times 1,3 = 442 \text{ daN/m}$  La charge pour un seul limon :

$$G = G_t/2 = 442/2 = 221 \text{ daN/m}$$

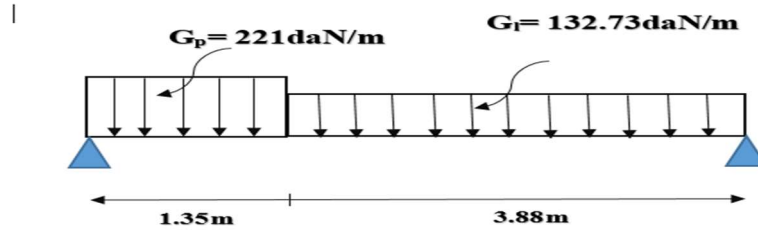


Figure III.12. Charge permanente "G"

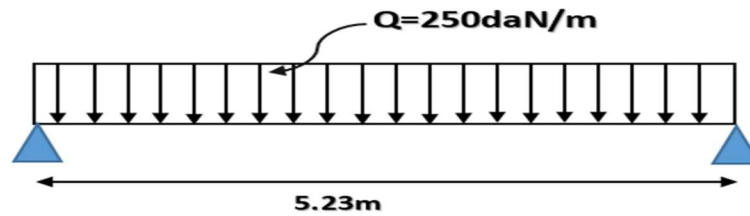


Figure III.13. Charge d'exploitation "Q"

**c) Calcul de la charge équivalente**

On peut exprimer les différentes charges par une charge équivalente.

○ **Charge permanente**

$$G_{eq} = \frac{G(L_{p1} + L_{p2}) + (G_{limon} \times L_{limon})}{L_T}$$

$$G_{eq} = \frac{221(1.35) + (132.735 \times 3.88)}{5.23} = 155.51 \text{ daN/m}$$

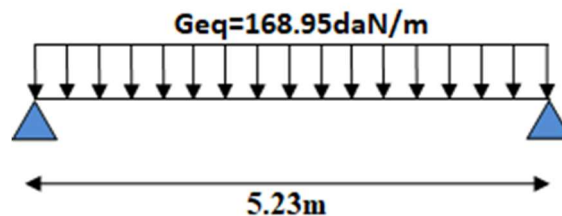


Figure III.14. Charge équivalente "G"

○ **Charge d'exploitation**

$$Q_{eq} = 250 \times \frac{1.3}{2} = 162.5 \text{ daN/m}$$

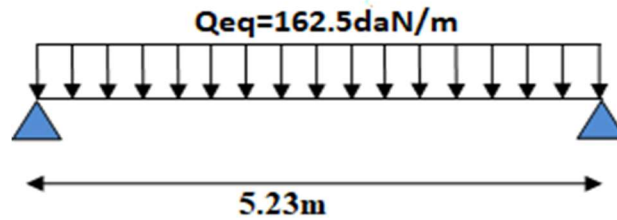


Figure III.15. Charge équivalente "Q"

### III-6-3-2-2- Pré dimensionnement des limons

#### III-6-3-2-2-1- Combinaison de charge

##### a) A l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 168.95 + 1.5 \times 162.5 = 471.83 \text{ daN/m}$$

##### b) A l'ELS

$$q = G + Q = 168.95 + 162.5 = 331.45 \text{ daN/m}$$

#### III-6-3-2-2-2- Condition à la flèche

La flèche doit satisfaire la condition suivante pour une poutre biarticulée :

$$F \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{l}{300}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times \frac{l}{300}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{331.45 \times 10^{-2} \times 658^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{658}{300}}$$

$$I_y \geq 1756.45 \text{ cm}^4$$

On opte pour **UPN220**

### III-6-3-2-2-3- Classification de la section

D'après le tableau de profilées laminées la section est de **classe 1**

**Tableau III.1. Dimension et caractéristique du UPN 220**

Profilé UPN220	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	G	h	b	tw	tf	d	Wpl.y	Wpl.z	Avz	A	Iy	Iz
	daN/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
	29.4	220	80	9	12.5	167	292	64.1	20.6	37.4	2690	197

on ajoute le poids propre de l'IPE220 à la charge permanente :

$$G = G_{eq} + G_{UPN220} = 168.95 + 29.4 = 198.35 \text{ daN/m}$$

#### a) A l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times 198.5 + 1.5 \times 162.5$$

$$q = 511.5 \text{ daN/m}$$

#### b) A l'ELS

$$q = G + Q$$

$$q = 198.5 + 162.5$$

$$q = 361 \text{ daN/m}$$

### III-6-3-2-3- Vérification à l'ELU

#### III-6-3-2-3-1- Vérification du moment fléchissant (résistant)

La vérification doit satisfaire la condition suivante

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{511.5 \times 6.58^2}{8} = 2768.26 \text{ daN.m}$$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{292 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 6238.18 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 2768.26 \text{ daN.m} < M_{pl,rd} = 6238.18 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

**Conclusion**

La résistance en flexion pour le profilé UPN 220 est vérifiée.

### III-6-3-2-3-2- Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

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

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{511.5 \times 6.58}{2} = 1682.83 \text{ daN}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{20.6 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 25408.66 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 1682.83 \text{ daN} < V_{plz,rd} = 25408.66 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

### III-6-3-2-3-3- Vérification au déversement

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

#### a) Calcul du moment ultime

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{511.5 \times 6.58^2}{8} = 2768.26 \text{ daN.m}$$

#### b) Calcul du moment résistant au déversement $M_{b,rd}$

$$M_{b,rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \times M_{ply,rd}$$

Avec :  $\beta_w = 1.0$  pour les sections de classe 1 et 2

L'élanement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\beta_w \times W_{pl,y} f_y}{M_{cr}} \right]^{0.5} \text{ ou } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \times [\beta_w]^{0.5} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \varepsilon \text{ et } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés laminés I et H), l'élanement vaut :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{C_1^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0.25}} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$C_1$  : Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments. Puisque les charges sont uniformément réparties donc :  $C_1 = 1,132$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{658}{2.30}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{658}{\frac{2.30}{22}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 127.11$$

Donc  $\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{127.11}{93.9} \right] = 1.43$

On a: autres sections → courbe c

$$X_{LT} = 0.3684$$

$$M_{b,rd} = 0.3684 \times 6238.18 = 2298.14 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 2768.26 \text{ daN.m} > M_{b,rd} = 2298.14 \text{ daN.m} \quad \text{CNV}$$

Donc on opte pour UPN260

### III-6-3-2-3-4- Classification de la section

D'après le tableau de profilées laminée la section est de **classe 1**

Tableau III.1. Dimension et caractéristique du UPN 260

Profilé UPN260	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	G	h	b	tw	tf	d	Wpl.y	Wpl.z	Avz	A	Iy	Iz
	daN/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
	37.9	260	90	10	14	200	442	91.6	27.1	48.3	4820	317

### III-6-3-2-3-5- Vérification au déversement

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

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{511.5 \times 6.58^2}{8} = 2768.26 \text{ daN.m}$$

$$M_{p,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{442 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 9442.72 \text{ daN.m}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{658}{2.30}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{658}{\frac{2.30}{26}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 141.97$$

Donc  $\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{141.97}{93.9} \right] = 1.51$

On a: autres sections → courbe c

$$X_{LT} = 0.3303$$

$$M_{b,rd} = 0.3303 \times 9442.72 = 3190.03 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 2768.26 \text{ daN.m} > M_{brd} = 3190.03 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

### Conclusion

Le profilé **UPN260** est vérifié à toutes les conditions donc convient comme limon

## III-6-3-2-4- Vérification à l'ELS

### III-6-3-2-4-1- Vérification à la flèche

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{331.45 \times 658^4}{2.1 \times 10^6 \times 4820} = 0.79 \text{ cm} < F_{ad} = \frac{658}{300} = 2.19 \text{ cm}$$

La flèche verticale est donc vérifiée.

### Conclusion

Le profilé **UPN260** est vérifié.

## III-6-3-3- Poutre palier des limons

La poutre palière supporte la moitié des limons.

### III-6-3-3-1- Combinaison de charge

$$\text{Poids propre du limon UPN 260} \quad G = 37.9 \text{ daN/m}$$

$$\text{Poids propre du garde-corps} \quad G = 100 \text{ daN/m}$$

$$G = (4G_{eq} + 4 \text{ UPN} + G_{\text{garde-corps}}) / 2 = (4 \times 168.95 + 4 \times 37.9 + 100) / 2 = 463.7 \text{ daN/m}$$

$$Q = (4 \times 162.5) / 2 = 325 \text{ daN/m}$$

➤ **A'ELU**

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times 463.7 + 1.5 \times 325$$

$$q = 1113.49 \text{ daN/m}$$

➤ **A'ELS**

$$q = G + Q$$

$$q = 463.7 + 325$$

$$q = 788.7 \text{ daN/m}$$

**III-6-3-3-2- choix de la section**

La flèche doit satisfaire la condition suivante pour une poutre biarticulée :

$$F \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{300}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times \frac{1}{300}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{788.7 \times 10^{-2} \times 300^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{300}{300}}$$

$$I_y \geq 396.11 \text{ cm}^4$$

On opte pour **IPE180**

**III-6-3-3-3- Classification de la section**

D'après le tableau de profilées laminées la section est de **classe 1**

**Tableau III.2. Dimension et caractéristique du IPE 180**

Profilé IPE180	Dimensions						Caractéristiques de calcul					
	G	h	b	tw	tf	d	Wpl.y	Wpl.z	Avz	A	Iy	Iz
	daN/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
	18.8	180	91	5.3	8	146	166	34.6	11.3	23.9	1317	101

on ajoute le poids propre de l'IPE180 à la charge permanente :

$$G = G + G_{\text{IPE180}} = 463.7 + 18.8 = 482.5 \text{ daN/m}$$

➤ **A l'ELU**

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times 482.5 + 1.5 \times 325$$

$$q = 1138.87 \text{ daN/m}$$

➤ **A l'ELS**

$$q = G + Q$$

$$q = 482.5 + 325$$

$$q = 807.5 \text{ daN/m}$$

**III-6-3-3-4- Vérification à l'ELU**

**III-6-3-3-4-1- Vérification du moment fléchissant (résistant)**

La vérification doit satisfaire la condition suivante

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{1138.87 \times 3^2}{8} = 1278.97 \text{ daN.m}$$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{166 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 3546.36 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 1278.97 \text{ daN.m} < M_{pl,rd} = 3546.36 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

**Conclusion**

La résistance en flexion pour le profilé IPE180 est vérifiée.

**III-6-3-3-4-2- Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)**

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

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

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{1138.87 \times 3}{2} = 1708.30 \text{ daN}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{11.3 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 13937.76 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 1708.30 \text{ daN} < V_{plz,rd} = 13937.76 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

### III-6-3-3-4-3- Vérification au déversement

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

**a) Calcul du moment ultime**

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{1136.87 \times 3^2}{8} = 1278.97 \text{ daN.m}$$

**b) Calcul du moment résistant au déversement  $M_{b,rd}$**

$$M_{b,rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \times M_{ply,rd}$$

Avec :  $\beta_w = 1.0$  pour les sections de classe 1 et 2

L'élançement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\beta_w \times W_{pl,y} f_y}{M_{cr}} \right]^{0.5} \text{ ou } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \times [\beta_w]^{0.5} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \varepsilon \text{ et } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés laminés I et H), l'élançement vaut :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{C_1^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0.25}} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$C_1$  : Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments. Puisque les charges sont uniformément réparties donc :  $C_1 = 1,132$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{300}{2.05}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{300}{2.05}}{\frac{18}{0.8}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 103.53$$

$$\text{Donc } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{103.53}{93.9} \right] = 1.10$$

On a :  $\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.97 < 2 \rightarrow$  courbe a

$$\chi_{LT} = 0.6586$$

$$M_{b,rd} = 0.6586 \times 3546.36 = 2335.63 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 1278.97 \text{ daN.m} > M_{brd} = 2335.63 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

**Conclusion**

Le profilé **IPE180** est vérifié à toutes les conditions donc convient comme limon

**III-6-3-3-5- Vérification à l'ELS**

**III-6-3-3-5-1- Vérification à la flèche**

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{807.5 \times 300^4}{2.1 \times 10^6 \times 1317} = 0.30 \text{ cm} < F_{ad} = \frac{300}{300} = 1 \text{ cm}$$

La flèche verticale est donc vérifiée.

**Conclusion**

Le profilé **IPE180** est vérifié.

# **Chapitre IV : Pré dimensionnement des éléments structuraux**

## **IV-1- Introduction**

Dans ce chapitre, le calcul des éléments (résistant et non résistant) constituant la structure bâtiments sera effectué en s'appuyant sur le règlement **Euro code (3 et 4)** et **CCM97**. Parmi ces éléments, on distingue ; les solives, poutres principales, poutres secondaires et les poteaux. Dans le but d'assurer la stabilité de l'ouvrage, la satisfaction des conditions suivantes est indispensable :

- Condition de flèche
- Condition de résistance.

## **IV-2- Pré-dimensionnement des solives**

### **IV-2-1- Définition**

Ce sont l'ensemble des poutrelles permettant de reprendre les charges du plancher et de les transmettre aux poutres principale aux quelles sont assemblées.

Ces dernières travaillent à la flexion simple, leur écartement varie suivant la nature du support de plancher et la destination des locaux (bureaux ou habitation). Il est pratiquement déterminé par l'équation suivante :  $0.7m \leq L \leq 1.50m$

## **IV-3- Pré dimensionnement des solives plancher étage courant**

### **IV-3-1- Caractéristique :**

$L = 6m = 600 \text{ cm}$  : longueur de la solive.

$e = 1m$  : espacement des solives.

### **IV-3-2- Evaluation des charges et surcharges**

#### **IV-3-2-1- Charge permanente « G »**

Poids de la dalle en béton (épaisseur 12 cm)  $G1 = 300 \text{ daN/m}^2$

Poids de la tôle (HI-BOND 55) + accessoire  $G2 = 15 \text{ daN/m}^2$

$G = (G1 + G2) \times d = (300 + 15) \times 1 = 315 \text{ daN/m}$

#### **IV-3-2-2- Surcharges « Q »**

Charge  $P = 250 \text{ daN/m}^2$

$Q = P \times d = 250 \times 1 = 250 \text{ daN/m}$

#### **IV-3-3- Combinaison de charge**

##### **a) A l'ELU**

$q = 1.35G + 1.5Q$

$$q = 1.35 \times 315 + 1.5 \times 250$$

$$q = 800.2 \text{ daN/m}$$

**b) A l'ELS**

$$q = G + Q$$

$$q = 315 + 250$$

$$q = 565 \text{ daN/m}$$

**IV-3-4- Condition de la flèche**

La vérification de la flèche se fait sous les charges à l'ELS :  $q = 565 \text{ daN/m}$

**Flèche vertical**

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times \frac{1}{250}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{565 \times 10^{-2} \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{600}{250}}$$

$$I_y \geq 1891.74 \text{ cm}^4$$

On opte pour IPE220

**IV-3-5- Classification de la section**

D'après le tableau de profilées laminées la section IPE220 est de **classe 1**

**Tableau IV.1. Dimension et caractéristique du IPE 220**

Profilé IPE220	Dimensions							Caractéristiques de calcul					
	G daN/m	h mm	b mm	tw mm	tf mm	r mm	d mm	Wpl.y cm <sup>3</sup>	Wpl.z cm <sup>3</sup>	Avz cm <sup>2</sup>	A cm <sup>2</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Iz cm <sup>4</sup>
	26.2	220	110	5.9	9.2	12	177.6	285	252	15.9	33.4	2772	205

Donc,

On ajoute le poids propre de l'IPE220 à la charge permanente :

$$G = (G_p) \times d + G_{IPE220} = (315) \times 1 + 26.2 = 341.2 \text{ daN/m}$$

**a) A l'ELU**

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times 341.2 + 1.5 \times 250$$

$$q = 835.62 \text{ daN/m}$$

**b) A l'ELS**

$$q = G + Q$$

$$q = 341.2 + 250$$

$$q = 591.2 \text{ daN/m}$$

**IV-3-6- Vérification à l'ELU**

**IV-3-6-1- Vérification du moment fléchissant (résistant)**

La vérification doit satisfaire la condition suivante

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{835.62 \times 6^2}{8} = 3760.29 \text{ daN.m}$$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{285 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 6088.63 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 3760.29 \text{ daN.m} < M_{pl,rd} = 6088.63 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

**Conclusion**

La résistance en flexion pour le profilé IPE 220 est vérifiée.

**IV-3-6-2- Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)**

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

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

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{835.62 \times 6}{2} = 2506.86 \text{ daN}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{15.9 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 19611.53 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 2506.86 \text{ daN} < V_{plz} = 19611.53 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

### IV-3-7- Vérification à l'ELS

#### IV-3-7-1- Vérification à la flèche

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{591.2 \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times 2772} = 1.71 \text{ cm} < F_{ad} = \frac{600}{250} = 2.4 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

La flèche verticale est donc vérifiée.

### Conclusion

Le profilé IPE 220 est vérifié.

## IV-4- Pré-dimensionnement des poutres

### IV-4-1- Poutres principales

Les poutres principales ou les porteuses sont des éléments structuraux qui permettent de supporter les charges des planchers et les transmettent aux poteaux. Elles sont sollicitées principalement par un moment de flexion.

### IV-4-2- Caractéristique des poutres principales de la structure étudiée

Longueur des poutres principales  $L = 11 \text{ m}$

L'entraxe des poutres principales  $e_{p,p} = 6 \text{ m}$

L'entraxe des solives : = 1 m

### IV-4-3- Evaluation des charges et surcharge :

#### IV-4-3-1 Charge permanente « G »

Poids propre du plancher  $G_p = 315 \text{ daN/m}^2$

Poids propre de la solive IPE 220  $G_s = 26.2 \text{ daN/m}^2$

Poids propre de murs  $G_m = 150 \text{ daN/m}^2$

$$G = (G_p + G_s + G_m) e = (315 + 26.2 + 150) \times 6 = 2947.2 \text{ daN/m}$$

#### IV-4-3-2 Surcharges « Q » :

$$Q = q \times e = 250 \times 6 = 1250 \text{ daN/m}$$

#### IV-4-4- Combinaison des charges

##### a) A L'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35(2947.2) + 1.5(1250)$$

$$= 5853.72 \text{ daN/m}$$

##### b) A L'ELS

$$q = G + Q$$

$$q = 2947.2 + 1250$$

$$= 4197.2 \text{ daN/m}$$

#### IV-4-5- Condition de la flèche

La vérification de la flèche se fait sous les charges a L'ELS :  $q = 4197.2 \text{ daN/m}$

##### Flèche vertical

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{l}{250}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times \frac{l}{250}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{4197.2 \times 10^{-2} \times 1100^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{1100}{250}}$$

$$I_y \geq 86595.87 \text{ cm}^4$$

On opte pour HEM400

### IV-4-6- Classification de la section

D'après le tableau de profilées laminées la section **HEM400** est de **classe 1**

**Tableau IV.2. Dimension et caractéristique du HEM 400**

Profilé HEM400	Dimensions							Caractéristiques de calcul					
	G	h	b	tw	tf	r	d	Wpl.y	Wpl.z	Avz	A	Iy	Iz
	daN/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>
	256	432	307	21	40	27	298	5571	1934	110.2	325.8	104100	19340

Donc,

on ajoute le poids propre de l'HEM400 à la charge permanente :

$$G = (G_p + G_{HEM360}) = 2947.2 + 256 = 3203.2 \text{ daN/m}$$

#### a) A l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times 3203.2 + 1.5 \times 1250$$

$$q = 6199.3 \text{ daN/m}$$

#### b) A l'ELS

$$q = G + Q$$

$$q = 3203.2 + 1250$$

$$q = 4453.2 \text{ daN/m}$$

### IV-4-7- Vérification à l'ELU

#### IV-4-7-1 Vérification du moment fléchissant (résistant)

La vérification doit satisfaire la condition suivante

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{6199.3 \times 11^2}{8} = 93764.41 \text{ daN.m}$$

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5571 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 119016.8 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 93764.41 \text{ daN.m} < M_{pl,rd} = 119016.8 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

#### Conclusion

La résistance en flexion pour le profilé HEM400 est vérifiée.

#### IV-4-7-2 Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

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

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{6199.3 \times 11}{2} = 34096.15 \text{ daN}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{110.2 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 135923.9 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 34096.15 \text{ daN} < V_{plz,rd} = 135923.9 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

#### IV-4-7-3 Vérification au déversement

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

##### a) Calcul du moment ultime

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{6199.3 \times 11^2}{8} = 93764.41 \text{ daN.m}$$

##### b) Calcul du moment résistant au déversement $M_{b,rd}$

$$M_{b,rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \times M_{ply,rd}$$

Avec :  $\beta_w = 1.0$  pour les sections de classe 1 et 2

L'élancement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\beta_w \times W_{pl,y} f_y}{M_{cr}} \right]^{0.5} \quad \text{ou} \quad \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \times [\beta_w]^{0.5} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \varepsilon \quad \text{et} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés laminés I et H), l'élancement vaut :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{l}{i_z}}{C_1^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{l}{i_z} \right)^2 \right]^{0.25}} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$C_1$  : Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments. Puisque les charges sont uniformément réparties donc :  $C_1 = 1,132$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{1100}{7.7}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{\frac{1100}{7.7}}{\frac{43.2}{4}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 75.98$$

Donc  $\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{75.98}{93.9} \right] = 0.80$

On a:  $h/b=432/307 \rightarrow$  courbe a

$$X_{LT} = 0.7957$$

$$M_{b,rd} = 0.7957 \times 119016.8 = 94701.6 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 93764.41 \text{ daN.m} < M_{b,rd} = 94701.6 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

Donc on opte pour **HEM400**

#### IV-4-8- Vérification à l'ELS

##### IV-4-8-1 Vérification à la flèche

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{4453.2 \times 1100^4}{2.1 \times 10^6 \times 104100} = 3.88 \text{ cm} < F_{ad} = \frac{1100}{250} = 4.4 \text{ cm}$$

La flèche verticale est donc vérifiée.

#### Conclusion

Le profilé **HEM400** est vérifié.

#### IV-5- Pré dimensionnement des traverses

##### IV-5-1- Caractéristique des traverses de la structure étudiée

Longueur des traverses  $L = 11.1 \text{ m}$

$$\text{Dou } L = \frac{l}{\cos\alpha} = \frac{11}{\cos(7.69)} = 11.1\text{m}$$

L'entraxe des traverses  $p = 6\text{ m}$

L'entraxe des pannes :  $p = 1.23\text{ m}$

#### **IV-5-2- Evaluation des charges et surcharge :**

##### **IV-5-2-1- Charge permanente « G »**

Poids propre de la panne IPE 200  $G_s = 22.4\text{ daN/m}^2$

$$G = (6G_p)e = (6 \times 22.4) \times 6 = 806.4\text{ daN/m}$$

##### **IV-5-2-2- Surcharges « Q » :**

$$Q = q \times e = 100 \times 6 = 600\text{ daN/m}$$

#### **IV-5-3- Combinaison des charges**

##### **a) A L'ELU**

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$\begin{aligned} q &= 1.35(806.4) + 1.5(600) \\ &= 1988.64\text{ daN/m} \end{aligned}$$

##### **b) A L'ELS**

$$q = G + Q$$

$$\begin{aligned} q &= 806.4 + 600 \\ &= 1406.4\text{ daN/m} \end{aligned}$$

#### **IV-5-4- Condition de la flèche**

La vérification de la flèche se fait sous les charges a L'ELS :  $q = 1406.4\text{ daN/m}$

##### **Flèche vertical**

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250}$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times I_y}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{q \times l^4}{E \times \frac{1}{250}}$$

$$I_y \geq \frac{5}{384} \times \frac{1406 \times 10^{-2} \times 1110^4}{2.1 \times 10^6 \times \frac{1110}{250}}$$

$$I_y \geq 29806.69 \text{ cm}^4$$

On opte pour **IPE450**

#### IV-5-5- Classification de la section

D'après le tableau de profilées laminée la section est de **classe 1**

**Tableau IV.3. Dimension et caractéristique du IPE 450**

Profilé IPE450	Dimensions							Caractéristiques de calcul					
	G daN/m	h mm	b mm	tw mm	tf mm	r mm	d mm	Wpl.y cm <sup>3</sup>	Wpl.z cm <sup>3</sup>	Avz cm <sup>2</sup>	A cm <sup>2</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Iz cm <sup>4</sup>
	77.6	450	190	9.4	14.6	21	378.8	1702	276	50.9	98.8	33740	1676

Donc,

on ajoute le poids propre de l'**IPE450** a la charge permanente :

$$G = (G_t + G_{IPE450}) = 806.4 + 77.6 = 884 \text{ daN/m}$$

##### a) A l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times 884 + 1.5 \times 600$$

$$q = 2093.4 \text{ daN/m}$$

Action vers le haut ↑

$$Q_{z,sd} = G \cos \alpha - 1.5V = 884 \cos (7.69) - 1.5(764.34) = -270.46 \text{ daN/ml.}$$

##### b) A l'ELS

$$q = G + Q$$

$$q = 884 + 600$$

$$q = 1484 \text{ daN/m}$$

#### IV-5-6- Vérification à l'ELU

##### IV-5-6-1- Vérification du moment fléchissant (résistant)

La vérification doit satisfaire la condition suivante

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{2093.4 \times 11.1^2}{8} = 32240.97 \text{ daN.m}$$

$$M_{ply,rd} = \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1702 \times 23.5}{1.1} = 36360.9 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 32240.97 \text{ daN.m} < M_{ply,rd} = 36360.9 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

### Conclusion

La résistance en flexion pour le profilé **IPE450** est vérifiée.

### IV-5-6-2- Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

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

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{2093.4 \times 11.1}{2} = 11618.37 \text{ daN}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{185 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 22818.45 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 11618.37 \text{ daN} < V_{plz,rd} = 22818.45 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

### IV-5-6-3- Vérification au déversement

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

#### a) Calcul du moment ultime

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{270.46 \times 11.1^2}{8} = 4165.42 \text{ daN.m}$$

#### b) Calcul du moment résistant au déversement $M_{b,rd}$

$$M_{b,rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = \chi_{LT} \times M_{ply,rd}$$

Avec :  $\beta_w = 1.0$  pour les sections de classe 1 et 2

L'élanement réduit  $\bar{\lambda}_{LT}$  est déterminé par la formule suivante :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\beta_w \times W_{pl,y} f_y}{M_{cr}} \right]^{0.5} \text{ ou } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \times [\beta_w]^{0.5} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9 \varepsilon \text{ et } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = 93.9$$

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés laminés I et H), l'élanement vaut :

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{C_1^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{L}{i_z} \right)^2 \right]^{0.25}} \quad \text{(EUROCODE3)}$$

$C_1$  : Facteur sans dimension qui dépend de la nature du diagramme des moments. Puisque les charges sont uniformément réparties donc :  $C_1 = 1,132$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\frac{1110}{4.12}}{(1.132)^{0.5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{1110}{4.12} \right)^2 \right]^{0.25}} = 170.89$$

$$\text{Donc } \bar{\lambda}_{LT} = \left[ \frac{170.89}{93.9} \right] = 1.88$$

On a :  $h/b = 450/190 = 2.36 > 1.2 \rightarrow$  courbe a

$$X_{LT} = 0.2497$$

$$M_{b,rd} = 0.2497 \times 36360.9 = 9079.31 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 4165.42 \text{ daN.m} < M_{brd} = 9079.31 \text{ daN.m}$$

**CV**

## IV-5-7- Vérification à l'ELS

### IV-5-7-1- Vérification à la flèche

On a :

$$F_{\max} \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{1484 \times 1110^4}{2.1 \times 10^6 \times 33740} = 4.13 \text{ cm} < F_{ad} = \frac{1110}{250} = 4.4 \text{ cm}$$

La flèche verticale est donc vérifiée.

### Conclusion

Le profilé **IPE450** est vérifié.

## IV-6- POTEAUX

Les poteaux sont des éléments verticaux soumis à la compression qui supportent les charges et les transmettent aux fondations.

Pour le pré dimensionnement on choisit celui du milieu, parce que c'est le plus sollicité

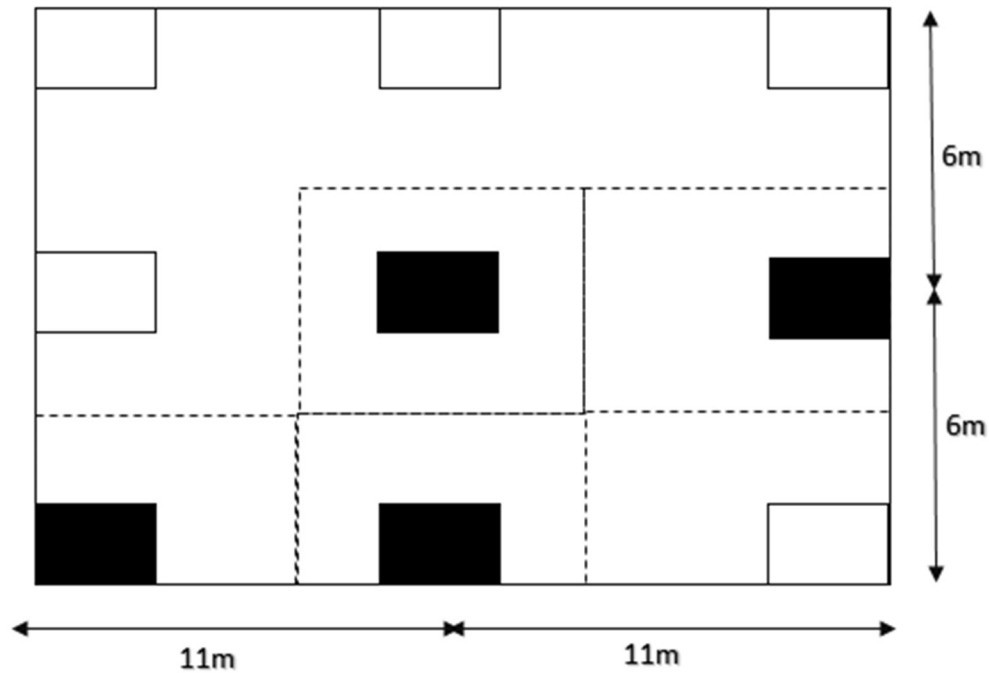


Figure IV.1. Surface reprise par les poteaux

### IV-6-1- Evaluation des charges et surcharges

#### IV-6-1-1- Poteaux intermédiaire :

- Charge permanente « G »

Poids propre du plancher

$$G_{pl} = (6 \times 11) \times 315 = 20790 \text{ daN}$$

Poids propre de la solive IPE 220

$$G_s = 26.2 \times 6 = 157.2 \text{ daN}$$

Poids propre de la pannes IPE 200

$$G_p = 22.4 \times 6 = 134.4 \text{ daN}$$

Poids propre de la poutre principale HEM400

$$G_{pp} = 256 \times 11 = 2816 \text{ daN}$$

Poids propre de la couverture  
1212.12 daN

$$G_c = 18.2 \times 11.1 \times 6 =$$

Poids propre de la traverse

$$G_t = 77.6 \times 11.1 = 861.36 \text{ daN}$$

$$G = 2G_{pl} + 12G_s + 10G_p + G_{pp} + G_c + G_t$$

$$G = 2(20790) + 12(157.2) + 10(134.4) + 2816 + 1212.12 + 861.36$$

$$G = 49699.8 \text{ daN}$$

• **Surcharges « Q »**

Charge d'exploitation  $q = 250 \text{ daN/m}^2$  (DTR B.C-2.2 article 7.2.2)

$$Q = q \times s$$

$$Q = 250 \times (6 \times 11)$$

$$Q = 16500 \text{ daN}$$

**IV-6-2- Poteaux de rive 1 :**

**Charge permanente « G »**

Poids propre du plancher  $G_{pl} = (3 \times 5.5) \times 315 = 5197.5 \text{ daN}$

Poids propre de la solive IPE 220  $G_s = 26.2 \times 3 = 78.6 \text{ daN}$

Poids propre de la pannes IPE 200  $G_p = 22.4 \times 3 = 67.2 \text{ daN}$

Poids propre de la poutre principale HEM400  $G_{pp} = 256 \times 5.5 = 1408 \text{ daN}$

Poids propre de la couverture  $G_c = 18.2 \times 11.1 \times 3 = 606.06 \text{ daN}$

Poids propre de la traverse  $G_t = 77.6 \times 11.1 = 861.36 \text{ daN}$

Poids propre de murs  $G_m = 150 \times 9.66 \times 5.5 = 7969.5 \text{ daN}$

$$G = 2G_{pl} + 12G_s + 10G_p + G_{pp} + G_c + G_t + G_m$$

$$G = 2(5197.5) + 12(78.6) + 10(67.2) + 1408 + 606.06 + 861.36 + 7969.5$$

$$G = 20855.55 \text{ daN}$$

**Surcharges « Q »**

Charge d'exploitation  $q = 250 \text{ daN/m}^2$  (DTR B.C-2.2 article 7.2.2)

$$Q = q \times s$$

$$Q = 250 \times (3 \times 5.5)$$

$$Q = 4125 \text{ daN}$$

**IV-6-3- Poteaux de rive 2 :**

**Charge permanente « G »**

Poids propre du plancher  $G_{pl} = (6 \times 5.5) \times 315 = 10395 \text{ daN}$

Poids propre de la solive IPE 220  $G_s = 26.2 \times 6 = 157.2 \text{ daN}$

Poids propre de la pannes IPE 200	$G_p = 22.4 \times 6 = 134.4 \text{ daN}$
Poids propre de la poutre principale HEM400	$G_{pp} = 256 \times 5.5 = 1408 \text{ daN}$
Poids propre de la couverture 1212.12 daN	$G_c = 18.2 \times 11.1 \times 6 =$
Poids propre de la traverse	$G_t = 77.6 \times 11.1 = 861.36 \text{ daN}$
$G = 2G_{pl} + 12G_s + 10G_p + G_{pp} + G_c + G_t$	
$G = 2(10395) + 12(157.2) + 10(134.4) + 1408 + 1212.12 + 861.36$	
<b><math>G = 271501.88 \text{ daN}</math></b>	

**Surcharges « Q »**

Charge d'exploitation	$q = 250 \text{ daN/m}^2 \text{ (DTR B.C-2.2)}$
$Q = q \times s$	
$Q = 250 \times (6 \times 5.5)$	
<b><math>Q = 8250 \text{ daN}</math></b>	

**IV-6-4- Poteaux de rive 3 :**

**Charge permanente « G »**

Poids propre du plancher	$G_{pl} = (3 \times 11) \times 315 = 10395 \text{ daN}$
Poids propre de la solive IPE 220	$G_s = 26.2 \times 3 = 78.6 \text{ daN}$
Poids propre de la pannes IPE 200	$G_p = 22.4 \times 3 = 67.2 \text{ daN}$
Poids propre de la poutre principale HEM400	$G_{pp} = 256 \times 11 = 2816 \text{ daN}$
Poids propre de la couverture 2222.2 daN	$G_c = 18.2 \times 11.1 \times 11 =$
Poids propre de la traverse	$G_t = 77.6 \times 11.1 = 861.36 \text{ daN}$
Poids propre de murs	$G_m = 150 \times 11 \times 9.66 = 15939 \text{ daN}$
$G = 2G_{pl} + 12G_s + 10G_p + G_{pp} + G_c + G_t + G_m$	
$G = 2(5197.5) + 12(78.6) + 10(67.2) + 2816 + 606.06 + 861.36 + 15939$	
<b><math>G = 32232.62 \text{ daN}</math></b>	

**Surcharges « Q »**

Charge d'exploitation	$q = 250 \text{ daN/m}^2 \text{ (DTR B.C-2.2)}$
$Q = q \times s$	
$Q = 250 \times (3 \times 11)$	

$$Q = 8250 \text{ daN}$$

Donc le poteau le plus sollicité est le poteau intermédiaire

#### IV-6-5- Combinaison des charges

##### a) A l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 49699.8 + 1.5 \times 16500$$

$$q = 91844.73 \text{ daN}$$

##### b) A l'ELS

$$q = G + Q = 49699.8 + 16500$$

$$q = 66199.8 \text{ daN}$$

#### IV-6-6- Choix de la section :

On suppose un profilé en HEA 500

##### IV-6-6-1- Classification de la section

D'après le tableau de profilées laminées la section est de **classe 1**

**Tableau IV.4. Caractéristique et dimension du HEA 500**

Profilé HEA500	Dimensions							Caractéristiques de calcul					
	G daN/m	h mm	b mm	tw mm	tf mm	r mm	d mm	Wpl.y cm <sup>3</sup>	Wpl.z cm <sup>3</sup>	Avz cm <sup>2</sup>	A cm <sup>2</sup>	Iy cm <sup>4</sup>	Iz cm <sup>4</sup>
	155	490	300	12	23	27	390	3949	1059	74.72	197.5	86970	10370

$$G = 49699.8 + 155 \times 15.78 = 52145.7 \text{ daN}$$

##### IV-6-6-2- Combinaison des charges

##### a) A l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \times 52145.7 + 1.5 \times 16500$$

$$q = 95146.69 \text{ daN}$$

##### b) A l'ELS

$$q = G + Q = 52145.7 + 16500$$

$$q = 68645.7 \text{ daN}$$

### IV-6-6-3- Vérification de la condition à résistance

Le risque de flambement n'est à considérer que si  $\bar{\lambda} \geq 0,2$  et à partir de cette condition on pourra vérifier la résistance

$$N_{sd} \leq N_{b,rd} = \chi \beta A \times \frac{A \times f_y}{\gamma M_1}$$

$N_{b,rd}$ : L'effort résistant vis-à-vis du phénomène de flambement ;

$\beta A = 1 \rightarrow$  pour les sections transversales de classe 1, 2 et 3.

#### IV-6-6-3-1- Calcul de l'élancement

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

Avec

$l_f$ : La longueur de flambement du poteau

$i_y$ : Le rayon de giration autour de l'axe fort.

$$l_f = 0,7 \times 15,78 = 11,04 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{1104}{20,98} = 52,62$$

#### IV-6-6-3-2- Calcul de l'élancement réduit

$$\bar{\lambda} = \left[ \frac{\lambda}{\lambda_1} \right] \times [\beta A]^{0,5}$$

$$\lambda_1 = \pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon \text{ et } \varepsilon = \frac{235}{f_y}$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \left[ \frac{52,62}{93,9} \right] = 0,56$$

#### IV-6-6-3-3- Choix de la courbe de flambement

L'Eurocode3 nous donne le choix de la courbe de flambement en fonction du type de la section

$$h/b = 490/300 = 1.63 > 1.2 \text{ et } t_f = 23 < 40 \text{ mm}$$

Axe de flambement  $Y-Y \rightarrow$  **courbe a**

$$\bar{\lambda} = 0,46 \rightarrow \text{courbe de flambement a} \rightarrow \chi = 0.9045$$

#### **IV-6-6-3-4- Vérification a la stabilité**

La vérification au flambement doit vérifier la condition suivante :

$$N_{sd} \leq N_{b,rd} = \chi \beta A \times \frac{A \times f_y}{\gamma M_1}$$

$$N_{sd} = 95146.69 \text{ daN}$$

$$N_{b,rd} = 0.9045 \times \frac{197.5 \times 2350}{1.1} = 381637.32 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 95146.69 \text{ daN} < N_{b,rd} = 381637.32 \text{ daN}$$

#### **IV-7- Conclusion**

Le profilé **HEA 500** convient pour les poteaux

**Conclusion : L'étude que nous avons effectuée nous a permis de déterminer la nature des profilées éléments structuraux, qui devront résister aux différentes sollicitations et voici les profilés qui ont été retenus après les vérifications pour différents éléments :**

- **Les solives IPE 220**
- **Poutres principale HEM400**
- **Traverse : IPE450**
- **Poteaux : HEA500**

# **Chapitre V : Etude d'un plancher mixte**

### V-1- Introduction

Ce chapitre est consacré à l'étude d'un plancher collaborant. « Plancher mixte ». Tout comme les autres planchers, le plancher collaborant est une structure horizontale de grosse œuvre porteuse destinée pour réaliser une séparation entre les étages d'une construction. Le plancher collaborant se distingue par sa grande capacité portante, sa rapidité de mise en œuvre et son coût moindre.

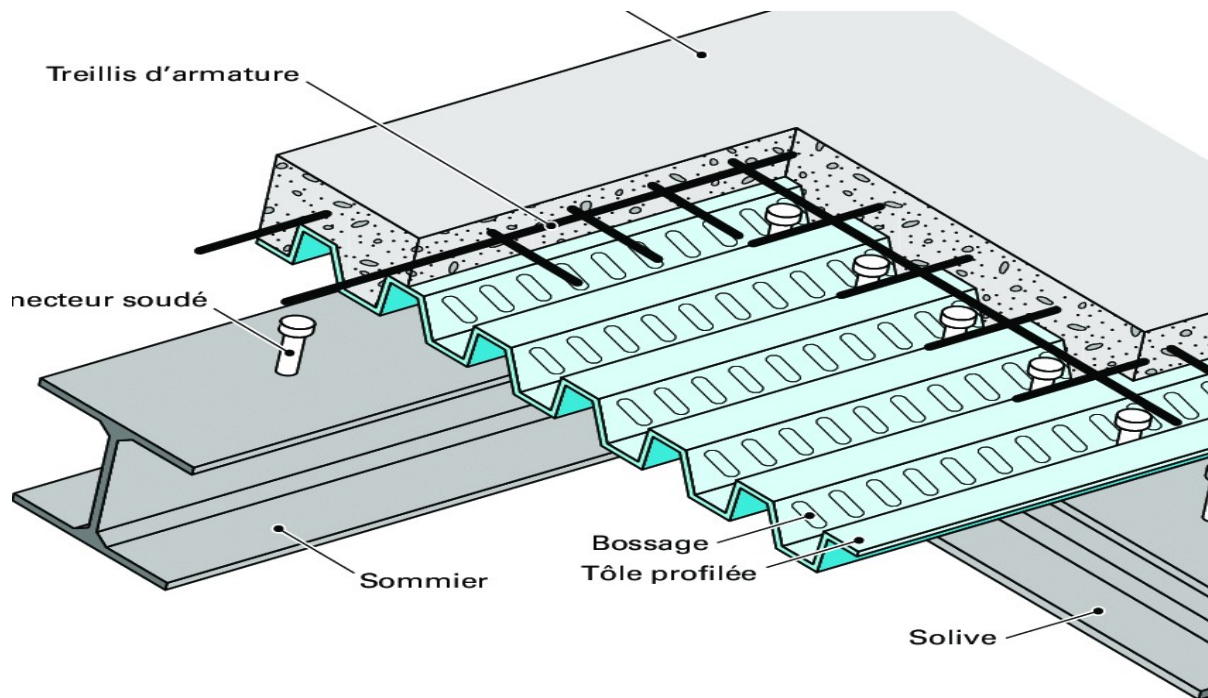


Figure V.1. Eléments constructifs d'un plancher mixte (CRISINEL MICHEL, conception et calcul des dalles mixte)

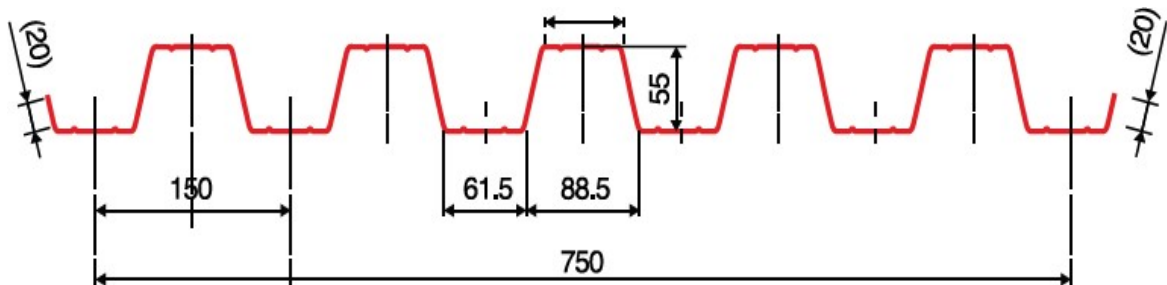


Figure V.2. Représentation de la tôle HI-BOND 55

➤ **Calcul de dalle mixte:**

Pour l'étude de planche collaborant, on calcule la dalle pour 2 phases :

Phase de construction : c'est pour la vérification de la tôle profilée lors du bétonnage.

Phase finale : c'est la vérification de la dalle mixte après durcissement du béton.

Avec :

Epaisseur de la dalle  $h = 130 \text{ mm}$

Tôle Hi-Bond 55  $h_p = 55 \text{ mm}$  ( $h_c = h - h_p = 130 - 55 = 75 \text{ mm}$ )

Coefficient d'équivalence (acier, béton)  $\frac{E_a}{E_{cm}} = 13.54$

**V-2- Disposition des solives**

Pour le plancher de notre ouvrage, nous avons les caractéristiques suivantes :

- La distance entre les solives est :  $d = 1 \text{ m}$ .
- La longueur de solives est :  $L = 6 \text{ m}$ .

**V-3- Vérification au stade de montage**

**V-3-1- Evaluation des charges et surcharges**

**a) Charge permanente « G »**

Poids de la dalle en béton (épaisseur 13 cm)  $G_1 = 300 \text{ daN/m}^2$

Poids de la tôle (HI-BOND 55) + accessoire  $G_2 = 15 \text{ daN/m}^2$

Poids propre des solives **IPE220**  $G_3 = 26.2 \text{ daN/m}$

$G = (G_1 + G_2) \times d + G_3 = (315) \times 1 + 26.2 = 341.2 \text{ daN/m}$

**b) Surcharges « Q »**

Charge d'ouvrier  $q = 100 \text{ daN/m}^2$

$Q = q \times d = 100 \times 1 = 100 \text{ daN/m}$

**V-3-2- Combinaison de charge**

➤ **A l'ELU**

$q = 1.35G + 1.5Q$

$q = 1.35 \times 341.2 + 1.5 \times 100$

$q = 610 \text{ daN/m}$

➤ **A l'ELS**

$$q = G + Q$$

$$q = 341.2 + 100$$

$$q = 441.2 \text{ daN/m}$$

**V-3-3- Vérification à l'ELU**

**V-3-3-1- Vérification du moment fléchissant (résistant)**

La vérification doit satisfaire la condition suivante

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

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{610 \times 6^2}{8} = 2745 \text{ daN.m}$$

$$M_{el,y,rd} = \frac{W_{el,y} \times f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{252 \times 235 \times 10^{-1}}{1.1} = 5383.63 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 2745 \text{ daN.m} < M_{el,y,rd} = 5383.63 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

**Conclusion**

La résistance en flexion pour le profilé IPE 200 est vérifiée.

**V-3-3-2- Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)**

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

$$V_{sd} \leq V_{el,z},$$

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{610 \times 6}{2} = 1830 \text{ daN}$$

$$V_{el,z,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{15.9 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 33968.18 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 1830 \text{ daN} < V_{el,z,rd} = 33968.18 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

**V-3-4- Vérification à l'ELS**

**V-3-4-1- Vérification à la flèche**

On a :

$$F_z \leq f_{ad}$$

$$F_{ad} = \frac{1}{250} \quad \text{sur deux appuis}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{Q_{z,sd} \times l^4}{E \times I_y}$$

$$f_z = \frac{5}{384} \times \frac{441.2 \times 600^4}{2.1 \times 10^6 \times 2772} = 1.27 < Fad = \frac{600}{250} = 2.4 \text{ cm}$$

La flèche verticale est donc vérifiée.

### Conclusion

Le profilé **IPE220** est vérifié au stade de montage.

## V-4- Vérification au stade final

### V-4-1- Evaluation des charges

#### a) Charge permanente « G »

Poids de la dalle en béton (épaisseur 13 cm)	G1= 300 daN/m <sup>2</sup>
Poids de la tôle (HI-BOND 55) + accessoire	G2 = 15 daN/m <sup>2</sup>
Mortier de ciment (2 cm)	G3 = 40daN/ m <sup>2</sup>
Couche de Sable (3cm)	G4 = 51daN/ m <sup>2</sup>
Poids de revêtement de carrelage	G5 = 40 daN/ m <sup>2</sup>
Poids de faux plafond	G6= 10daN/ m <sup>2</sup>
Poids de solive IPE220	Gp = 26.2 daN/m

$$G = (G1 + G2 + G3 + G4 + G5 + G6) \times d + Gp = (300 + 15 + 40 + 51 + 40 + 10) \times 1 + 26.2 = 482.2 \text{ daN/m}$$

#### b) Surcharges « Q »

Charge d'exploitation : D'après le (DTR B.C-2.2,) une charge d'exploitation  $q = 250 \text{ daN/m}^2$  associée à un plancher destiné à atelier le matériel lourd

$$Q = q \times d = 250 \times 1 = 250 \text{ daN/m}$$

### V-4-2- Combinaison de charge

#### ➤ A l'ELU

$$q = 1.35G + 1.5Q$$

$$q = 1.35 \times 482.2 + 1.5 \times 250$$

$$q = 1025.97 \text{ daN/m}$$

#### ➤ A l'ELS

$$q = G + Q$$

$$q = 482.2 + 250$$

$$q = 732.2 \text{ daN/m}$$

### V-4-3- Caractéristique du plancher mixte

Après le durcissement du béton, l'inertie de la dalle **IB** participe avec l'inertie des solives **IA**, ce qui donne une inertie équivalente **IA**.

#### V-4-3-1- Calcul de la largeur efficace du béton

La largeur efficace du béton qui participe à l'inertie équivalente **IA**, de la section mixte notée par **B<sub>eff</sub>** est donnée par

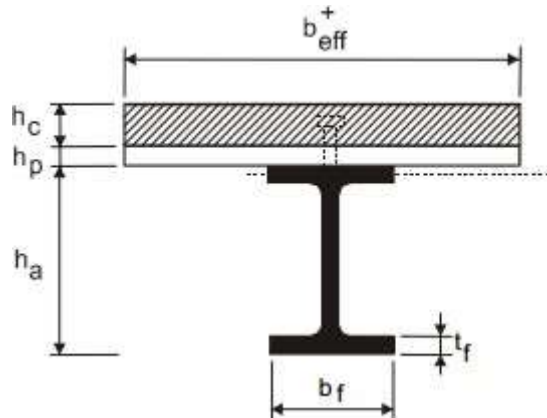
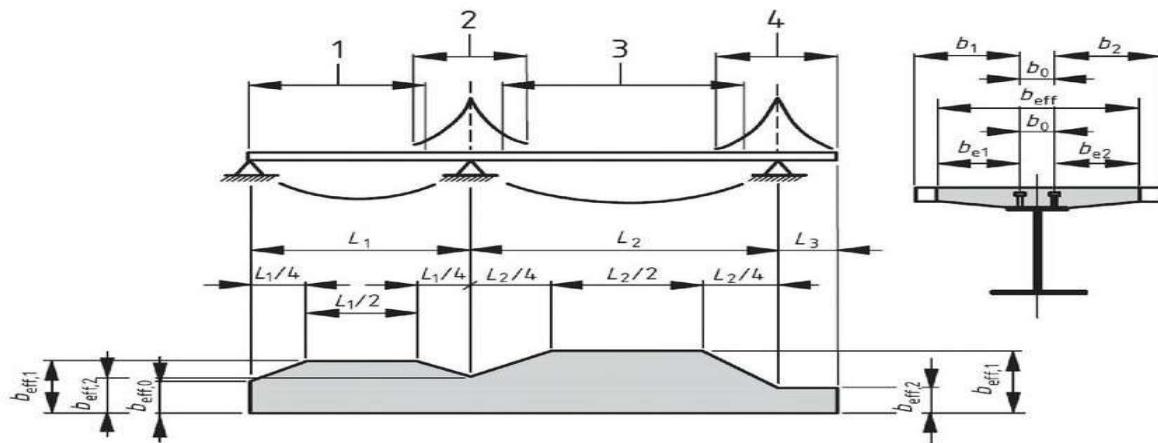


Figure V.3. Dimensions d'une poutre mixte



- Légende**
- 1  $L_e = 0,85 L_1$  pour  $b_{eff,1}$
  - 2  $L_e = 0,25 (L_1 + L_2)$  pour  $b_{eff,2}$
  - 3  $L_e = 0,70 L_2$  pour  $b_{eff,1}$
  - 4  $L_e = 2 L_3$  pour  $b_{eff,2}$

Figure V.4.  $B_{eff}$  selon l'EUROCODE 4

$$B_{eff} = b_{e1} + b_{e2}$$

$$b_{ei} = \min (L_0/8; b_i)$$

$$b_1 = 0.5 \text{ m}; b_2 = 0.5 \text{ m}$$

$$l_0 = \min \begin{cases} 0.85 \times 6 = 5.1 \text{ m} \\ 0.7 \times 6 = 4.2 \text{ m} \end{cases}$$

$$B_{e1} = B_{e2} = \left\{ \frac{4.2}{8} = 0.56; 0.5 \right\} = 0.5 \text{ m}$$

$$B_{eff} = 0.5 + 0.5$$

$$B_{eff} = 1 \text{ m}$$

### V-4-3-2- Position de l'axe neutre

#### a) Résistance de la section d'acier

$$f_a = \frac{A_a \times F_y}{\gamma_a} = \frac{33.4 \times 2350}{1.1} = 71354.54 \text{ daN}$$

#### b) Résistance de la section béton

$$f_c = \frac{0.85 \times b_{eff} \times h_c \times f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.85 \times 100 \times 7.5 \times 250}{1.1} = 106250 \text{ daN}$$

### Conclusion

$F_c > F_a$  Donc l'axe neutre plastique se situe dans la dalle en béton.

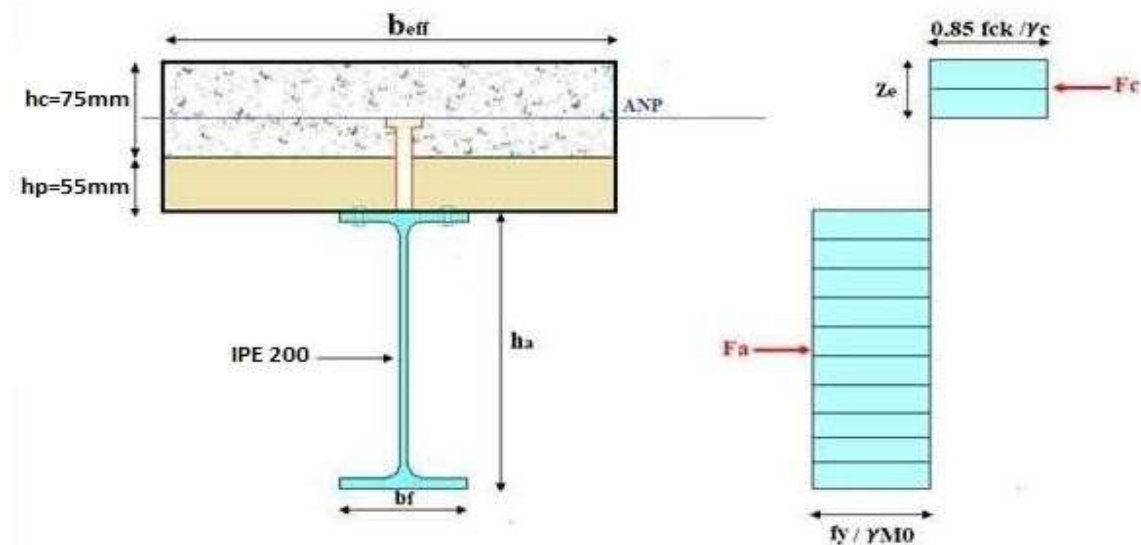


Figure V.5. Distribution plastique des contraintes normales : cas de l'axe neutre plastique dans la dalle (flexion positive)

#### V-4-4- Vérification à l'ELU

##### V-4-4-1- Vérification du moment de résistance plastique

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

$$M_{sd} \leq M_{pl,rd}$$

$$M_{sd} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{1025.97 \times 6^2}{8} = 4616.86 \text{ daN.m}$$

$$M_{pl,rd} = f_a \left( \frac{h}{2} + h_c + h_p - \frac{z}{2} \right)$$

$$z = \frac{F_a \times \gamma_c}{0.85 \times B_{eff} \times f_{ck}} = \frac{71354.54 \times 1.5}{0.85 \times 100 \times 250} = 5.03 \text{ cm}$$

$$M_{pl,rd} = 71354.54 \times \left( \frac{1.3}{2} + 0.075 + 0.055 - \frac{0.0408}{2} \right) = 54200.90 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 4616.86 \text{ daN.m} < M_{pl,rd} = 54200.90 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

##### V-4-4-2- Vérification à l'effort tranchant (cisaillement)

La vérification doit satisfaire la condition suivante :

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

$$V_{z,sd} = \frac{q \times l}{2} = \frac{1025.97 \times 6}{2} = 3077.91 \text{ daN}$$

$$V_{plz,rd} = \frac{A_{vz} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = \frac{15.9 \times \left(\frac{2350}{\sqrt{3}}\right)}{1.1} = 19611.53 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 3077.91 \text{ daN} < V_{plz} = 19611.53 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

#### V-4-5- Vérification à l'ELS

##### V-4-5-1- Condition de la flèche

La vérification de la flèche se fait sous les charges non pondérées :  $q = 732.2 \text{ daN/m}$

$$f \leq f_{ad} \text{ Avec } f_{ad} = \frac{l}{250} = \frac{600}{250} = 2.4 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5Q}{384E I_h} \times l^4$$

$$I_h = I_a + A_a \times \left(\frac{h_a}{2} + h_p + h_c - z\right)^2 + \frac{b_{eff} \times h_c}{n} \times \left[\frac{h_c^2}{12} + \left(z - \frac{h_c}{2}\right)^2\right]$$

$$I_h = 2772 + 33.4 \times \left(\frac{22}{2} + 5.5 + 7.5 - 5.03\right)^2 + \frac{100 \times 7.5}{13.54} \times \left[\frac{7.5^2}{12} + \left(5.03 - \frac{7.5}{2}\right)^2\right]$$

$$I_h = 10570.60 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5Q}{384E I_h} \times l^4 = \frac{5}{384} \left(\frac{732.2 \times 10^{-2}}{15141.75 \times 2.1 \times 10^6}\right) \times (600)^4 = 0.38 \text{ cm} < 2.4 \text{ cm} \quad \text{CV}$$

#### V-5- Calcul des connexion acier-béton

Les connecteurs répartis le long de l'interface acier-béton d'une poutre ont pour rôle principale de transmettre l'effort de cisaillement longitudinal (glissement) venant de l'interaction entre la dalle en béton, le pontage métallique et la poutre en acier.

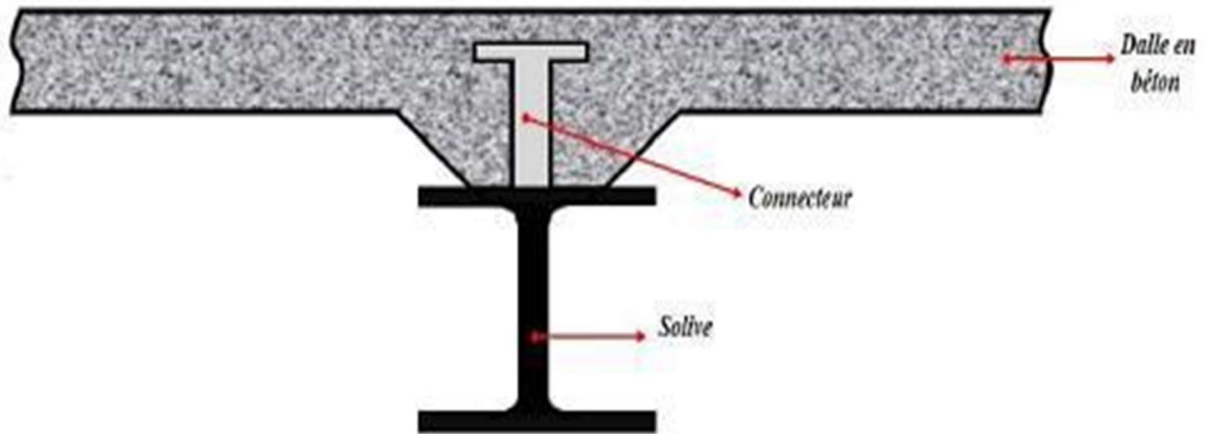


Figure V.6. Disposition d'un connecteur

### V-5-1- Dimensionnements des connecteurs

Les connecteurs choisis doivent respecter les conditions citées dans la figure ci-dessous :

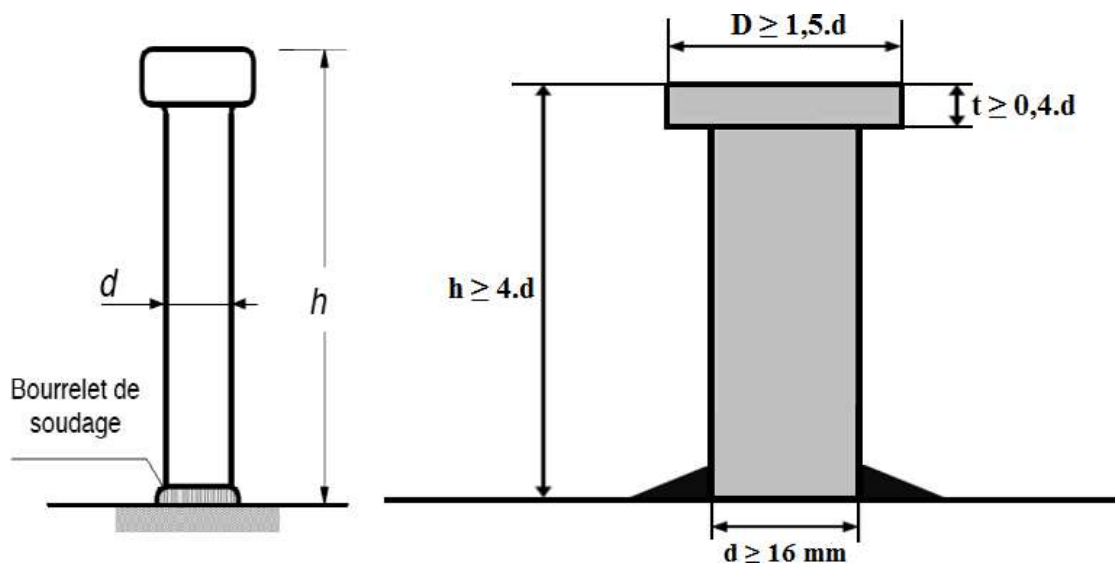


Figure V.7. Caractéristiques des connecteurs selon l'EUROCODE 4

Pour notre cas On utilise des goujons en acier de diamètre  $d = 19 \text{ mm}$ , dont l'acier à une résistance ultime en traction spécifiée de  $f_u = 450 \text{ MPa}$ .

On obtient alors les caractéristiques suivantes :

$D \geq 1.5d$ ; $D = 1.5 \times 19 = 28.5 \text{ mm}$	$D = 30 \text{ mm}$
$h \geq 4d$ ; $h = 4 \times 19 = 76 \text{ mm}$	$h = 80 \text{ mm}$
$t \geq 0.4d$ ; $t = 0.4 \times 19 = 7.6 \text{ mm}$	$t = 8 \text{ mm}$

**V-5-2- Calcul du nombre de connecteurs (goujon)**

Le nombre de connecteurs doit être égal au moins à l'effort de cisaillement de calcul déterminée (Section 6.2 EC 4), divisé par la résistance de calcul d'un connecteur  $PRd$  (section 6.3 ou 6.5 EC 4) :

$$N = \frac{v_l}{p_{rd}}$$

Avec :

$V_l$  : l'effort de cisaillement longitudinal

$P_{rd}$  : La résistance au cisaillement d'un connecteur.

On :

$$V_l = \min \left\{ \begin{array}{l} f_a = \frac{(A_a \times F_y)}{\gamma_a} = \frac{(33.4 \times 2350)}{1.1} = 71354.5 \text{ daN} \\ f_c = \frac{(0.85 \times beff \times hc \times f_{ck})}{\gamma_c} = \frac{(0.85 \times 100 \times 7.5 \times 250)}{1.1} = 106250 \text{ daN} \end{array} \right.$$

$$V_l = 71354.5 \text{ daN}$$

$P_{rd}$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} P_{RD}^{(1)} = \frac{0.8 \times f_u \times \frac{\pi \times d^2}{4}}{1.25} = \frac{0.8 \times 45 \times \frac{\pi \times 19^2}{4}}{1.25} = 8165.62 \text{ daN} \\ P_{RD}^{(1)} = \frac{0.29 \times d^2 \times \sqrt{f_{ck} \times E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0.29 \times 19^2 \times \sqrt{2.5 \times 3100}}{1.25} = 7373 \text{ daN} \end{array} \right.$$

$$P_{rd} = 7373.03 \text{ daN}$$

$\alpha = 1$  car  $h/d = 4.21 > 4$  Donc les goujons sont ductiles

Dans notre cas on a les nervures de la tôle parallèle aux solives On a :

$$N_{nervure} = \frac{L_{solive}}{e} = \frac{6000}{150} = 40$$

$$K_e = 0.6 \times \frac{b_0}{h_p} \times \left(\frac{h}{h_p}\right) \leq 1$$

$$b_0 = \frac{88.5 + 61.7}{2} = 75$$

$$K_e = 0.6 \times \frac{75}{55} \times \left(\frac{80}{55} - 1\right) = 0.37 \leq 1$$

Donc on obtient :

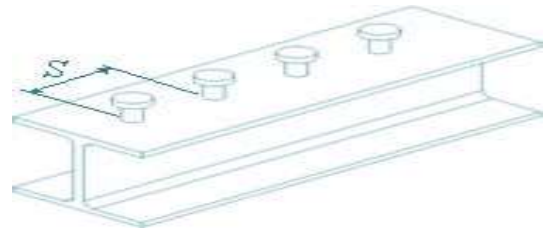
$$PRd_{nerv} = K_e \times PRd = 0.37 \times 7373.03 = 2728.02 \text{ daN}$$

$$N \geq \frac{71354.5}{2728.02} = 26.15 \text{ Donc on a 27 goujons par mi travée} \Rightarrow \text{et 54 goujons par travée}$$

**V-5-3- Espacement entre connecteur**

$$S = \frac{L}{N} = \frac{6000}{54} = 111.11 \text{ mm}$$

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

**Figure V.8. Distance entre les goujons****Conclusion :**

Le plancher collaborant est réalisé avec une dalle en béton d'épaisseur de 13 cm posée sur des solives en **IPE220**.

La liaison entre la dalle et les solives est assurée par des connecteurs de diamètre **19 mm**, espacée de **12 cm**, sont réalisés afin d'assurer l'adhérence entre l'acier et la dalle

# **Chapitre VI : Predimention des contreventements**

### VI-1- 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 : vent, effet de séismes, chocs ...etc. Ils sont généralement conçus pour garantir le cheminement des charges horizontales jusqu'aux fondations.

Ils sont disposés en toiture, dans le plan des versants « poutres au vent », et en façade « palées de stabilité », et doivent reprendre les efforts horizontaux appliqués tant sur les pignons que sur les longs pans

### VI-2- Rôle des systèmes de contreventement

Les contreventements ont pour fonctions principales de :

Reprendre et transmettre les efforts dus aux actions latérales ou horizontales (le vent, le séisme, les explosions, les chocs de véhicules, la poussée des terres) jusqu'aux fondations.

- Permet d'assurer une stabilité horizontale et verticale de la structure
- Limiter les déplacements horizontaux sous l'effet de ces actions.
- Ils diminuent les longueurs de flambement des poteaux, et ils constituent parfois des appuis latéraux intermédiaires pour les membrures comprimées de poutres et de portiques vis-à-vis du déversement.

### VI-3- Pré dimensionnement de la poutre au vent en pignon selon l'EC3

Elle sera calculée comme une poutre à treillis reposant sur deux appuis et soumise aux réactions horizontales supérieures des potelets auxquelles on adjoint l'effort d'entraînement

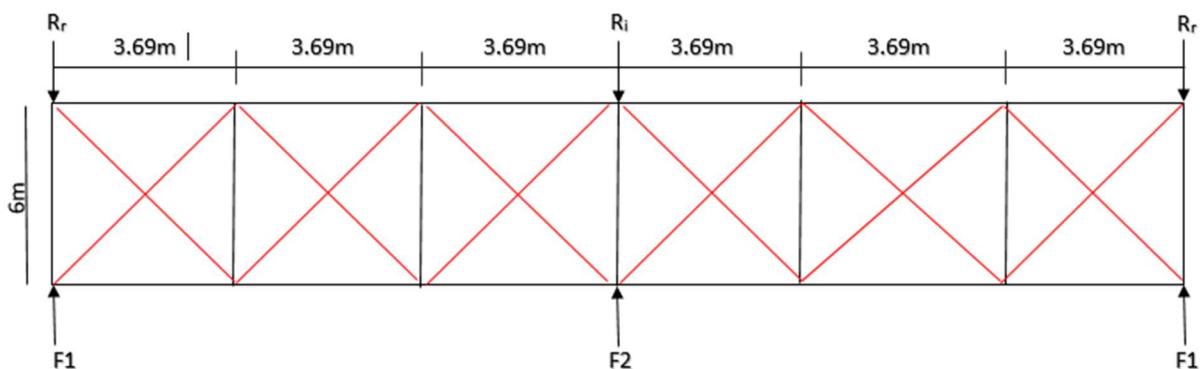


Figure VI.1. Schéma statique de la poutre au vent

L'effort  $F$  en tête du potelet se décompose en :

- Un effort  $F$  de compression simple en tête du poteau.
- Un effort  $F_d$  de traction dans les diagonales.

### VI-3-1- Effort F de compression simple en tête des potelets.

On :

Les hauteurs :

$$h_1 = 14.28 \text{ m} ; \quad h_2 = 15.78 \text{ m}$$

$$b = 22.2 \text{ m}$$

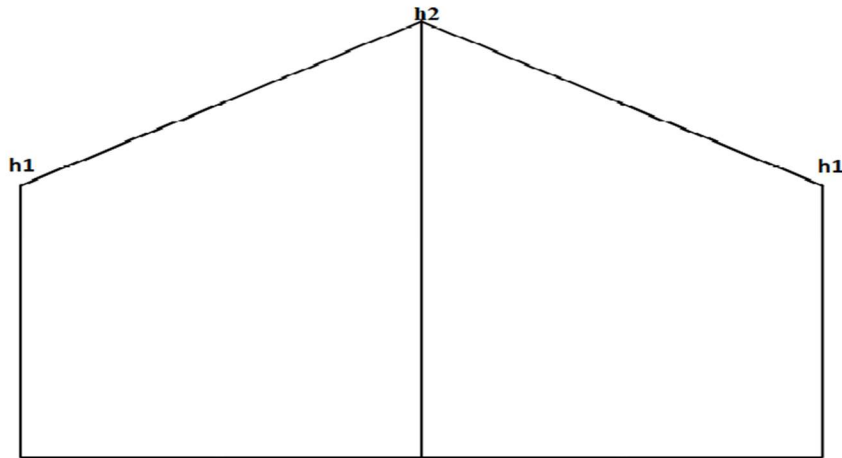


Figure VI.2. Disposition des hauteurs "hi"

La force de frottement du vent revenant à la toiture :

$$F_{fr} = 0 \text{ daN/m} \text{ la force de frottement est négligeable} \quad (\text{Chapitre II étude climatique})$$

La pression du vent dans la zone H à  $\theta = 90^\circ$  :  $V = 64.8 \text{ aN/m}^2$  (Chapitre II étude climatique)

$$\text{On a : } F_1 = \left( V \times \frac{h_1}{2} \times \frac{b}{8} \right) + \frac{F_{fr}}{16} = \left( 64.8 \times \frac{14.28}{2} \times \frac{22.2}{8} \right) + \frac{0}{16} = 1283.91 \text{ daN}$$

$$F_2 = \left( V \times \frac{h_2}{2} \times \frac{b}{8} \right) + \frac{F_{fr}}{16} = \left( 64.8 \times \frac{15.78}{2} \times \frac{22.2}{8} \right) + \frac{0}{16} = 1418.77 \text{ daN}$$

### VI-3-2- 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 faibles efforts, suivant le sens du vent, c'est l'une ou l'autre des diagonales qui est tendue. Le contreventement du versant est une poutre à treillis supposée horizontale, par méthode des coupures, on établit que l'effort  $F_d$  dans les diagonales d'extrémité (les plus sollicitées) est donné comme suit :

$$F_d \times \cos \alpha + F_4 = R$$

Avec la méthode des trois moments on obtient :

$$Rr = F1 = 1283.91 \text{ daN} \quad \text{et} \quad Ri = F2 = 1418.77 \text{ daN}$$

$$\tan \theta = \frac{3.69}{6} \implies \theta = \arctg = \frac{3.69}{6} = 31.59^\circ$$

$$F_d = \frac{Rr + Ri + F1 + F2}{\cos \theta}$$

$$F_d = \frac{1283.91 + 1418.77 + 1283.91 + 1418.77}{\cos 31.59} = 6345.67 \text{ daN}$$

### VI-3-3- Section dans la diagonal :

$$N_{sd} \leq N_{pl,rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

Avec

$$N_{sd} = 1.5 \times F_d = 1.5 \times 6345.67 = 9518.50 \text{ daN}$$

$$A \geq \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{9518.50 \times 1.1}{2350} = 4.45 \text{ cm}^2$$

On opte pour une-cornière égale :

L60x60x8 ( $A = 7.09 \text{ cm}^2$ ) avec des boulons de 14 mm

### VI-3-4- Vérification à la résistance ultime de la section

On doit vérifier que :

$$N_{sd} = 1.5 \times F_d < N_{u,rd} = \frac{\beta \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{net} = A - (d_0 \times t) = 7.09 - (1.5 - 0.5) = 6.09 \text{ cm}^2$$

$\beta$  : est le coefficient minorateur donné dans le tableau ci-dessous en fonction de l'entraxe  $p_1$  des trous.

Tableau VI.1. Coefficient minorateur  $\beta_2$  et  $\beta_3$

Entraxe $p_1$	$\leq 2.5d_0$	$\geq 5d_0$
$\beta_2$ (2 boulons)	0.4	0.7
$\beta_3$ (3 boulons ou plus)	0.5	0.7

On prend : une attache de 3 boulons avec  $p_1 = 100 \text{ mm}$  ;  $e_1 = 25 \text{ mm}$

$$p_1 = 100 \text{ mm} > 5d_0 = 5 \times 15 = 75 \text{ mm} \implies \text{donc } \beta = \beta_3 = 0.7$$

On a une plaque en acier S235 avec :  $f_y = 235 \text{ MPa}$  ;  $f_u = 430 \text{ MPa}$

$$N_{u,rd} = \frac{\beta \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.7 \times 6.09 \times 4300}{1.25} = 14664.72 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 9518.50 \text{ daN} < N_{u,rd} = 14664.72 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

### Conclusion

Une cornière isolée de **L60x60x8** avec des boulons de 14 mm convient pour les barres de contreventement de la poutre au vent.

### VI-4- Pré dimensionnement de la palée de stabilité selon l'EC3

Les palées de stabilité doivent reprendre les efforts du vent sur pignon 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.

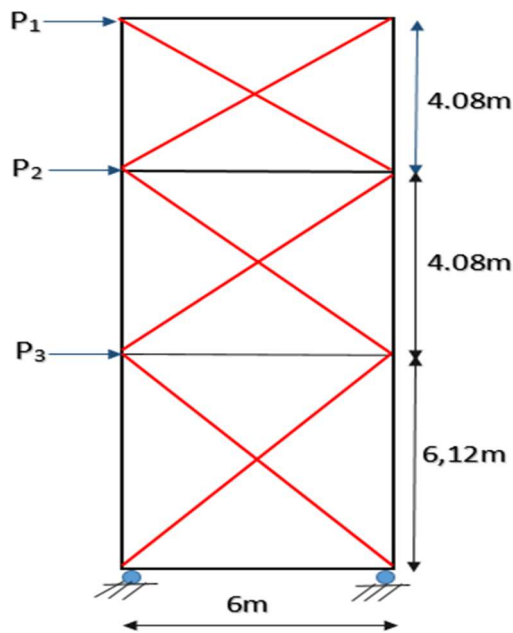


Figure VI.3. Schéma statique du Palée de stabilité en long pan

#### VI-4-1- Effort de traction dans la diagonale

Par méthode de coupure, on obtient :

##### a) Section 1

On a :

$$N_1 \times \cos \beta = P_1$$

$$\tan \theta = \frac{4.08}{6} \implies \theta = \arctg = \frac{4.08}{6} = 34.21^\circ$$

$$P1 = S1 \times Wz = 30.69 \times 81.25 = 2493.56 \text{ daN}$$

**D'où :**

$$N1 = \frac{p_1}{\cos \beta} = \frac{2493.56}{\cos (34.21)} = 3015.25 \text{ daN}$$

**b) Section 2**

On a :

$$N_2 \times \cos \beta = P_2$$

$$\tan \theta = \frac{4.08}{6} \implies \theta = \arctg = \frac{4.08}{6} = 34.21^\circ$$

$$P2 = S2 \times Wz = 44.88 \times 81.25 = 3646.5 \text{ daN}$$

**D'où :**

$$N2 = \frac{p_1}{\cos \beta} = \frac{3646.5}{\cos (34.21)} = 4409.40 \text{ daN}$$

**c) Section 3**

On a :

$$N_3 \times \cos \beta = P_3$$

$$\tan \theta = \frac{6.12}{6} \implies \theta = \arctg = \frac{6.12}{6} = 45.56^\circ$$

$$P3 = S3 \times Wz = 78.54 \times 81.25 = 6381.37 \text{ daN}$$

**D'où :**

$$N3 = \frac{p_1}{\cos \beta} = \frac{6381.7}{\cos (45.56)} = 9114.14 \text{ daN}$$

**VI-4-2- Section dans la diagonal :**

$$N_{sd} \leq N_{pl,rd} = \frac{A \times fy}{\gamma_{M0}}$$

Avec

$$N_{sd} = 1.5 \times N_3 = 1.5 \times 9114.14 = 13671.21 \text{ daN}$$

$$A \geq \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{fy} = \frac{13671.21 \times 1.1}{2350} = 6.39 \text{ cm}^2$$

Pour des raisons pratiques on opte pour une barre de cornière égale :

L60x60x8 ( $A = 7.09 \text{ cm}^2$ ) avec des boulons de 14 mm

### VI-4-3- Vérification à la résistance ultime de la section

On doit vérifier que :

$$Nsd = 1.5 \times N3 < Nu,rd = \frac{\beta \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$A_{net} = A - (d_0 \times t) = 7.09 - (1.5 - 0.5) = 6.09 \text{ cm}^2$$

$\beta$  : est le coefficient minorateur donné dans le tableau ci-dessous en fonction de l'entraxe  $p_1$  des trous.

**Tableau VI.2. Coefficient minorateur  $\beta_2$  et  $\beta_3$**

Entraxe $p_1$	$\leq 2.5d_0$	$\geq 5d_0$
<b><math>\beta_2</math> (2 boulons)</b>	0.4	0.7
<b><math>\beta_3</math> (3 boulons ou plus)</b>	0.5	0.7

On prend : une attache de 3 boulons avec  $p_1 = 100 \text{ mm}$  ;  $e_1 = 25 \text{ mm}$

$$p_1 = 100 \text{ mm} > 5d_0 = 5 \times 15 = 75 \text{ mm} \Rightarrow \text{donc } \beta = \beta_3 = 0.7$$

On a une plaque en acier S235 avec :  $f_y = 235 \text{ MPa}$  ;  $f_u = 430 \text{ MPa}$

$$Nu,rd = \frac{\beta \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.7 \times 6.09 \times 4300}{1.25} = 19336.24 \text{ daN}$$

$$Nsd = 13671.21 \text{ daN} < Nu,rd = 14664.72 \text{ daN daN} \quad \text{CV}$$

#### Conclusion

Une cornière isolée de **L60x60x8** avec des boulons 14mm convient pour les contreventement et de la palée de stabilité.

# **Chapitre VII : Etude sismique**



### VII-2-3- Classification du site (Art3.3 RPA99 version2003)

Les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

Selon le rapport géotechnique relatif à notre ouvrage, on est en présence d'un sol meuble de

« Catégorie S3 »

### VII-2-4- Classification des systèmes de contreventement (RPA99 version2003)

La structure étudiée est contreventée par un système de palée triangulé en X.

Dans ce type de palée, il est admis de considérer que seules les barres tendues ; pour un sens donné de l'action sismique ; interviennent avec efficacité dans la résistance dissipative de l'ossature. Pour ce type de palées de contreventement, on a une valeur du coefficient R

« R=4 » (RPA99 version2003)

### VII-3- Méthodes de calcul

Le règlement RPA 99 version 2003 propose trois méthodes différentes de calcul :

- Méthode statique équivalente.
- Méthode d'analyse modale spectrale.
- Méthode d'analyse dynamique par accélérographes.

Dans le cas de cette étude, la méthode statique équivalente est adoptée. Car c'est la méthode la plus simple (la plus accessible pour l'ingénieur), donc, du moment qu'elle est applicable, le choix de cette méthode s'impose.

La structure étudiée satisfait l'intégralité des conditions énumérées dans RPA 99Version 2003

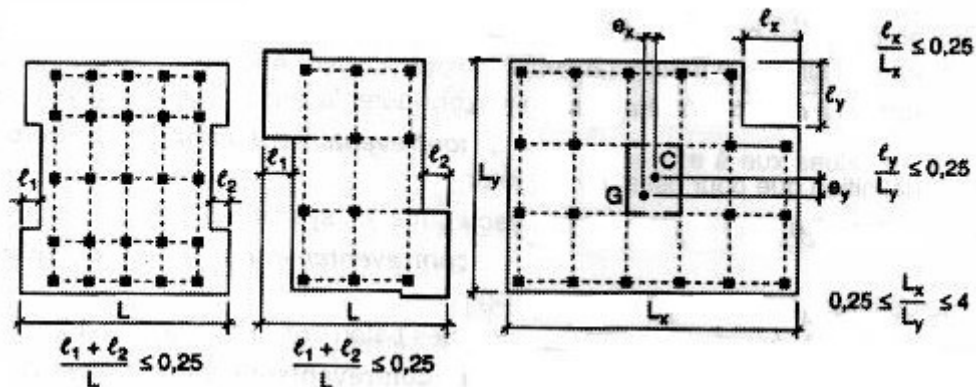


Figure VII.2.

Limites des décrochements en plan (RPA 99Version 2003)

### VII-4- Principe Méthode statique équivalente

Les forces réelles dynamiques qui se développent dans la construction sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents à ceux de l'action sismique.

Le mouvement du sol peut se faire dans une direction quelconque dans le plan horizontal. Les forces sismiques horizontales équivalentes seront considérées appliquées successivement suivant deux directions orthogonales caractéristiques choisies par le projeteur. Dans le cas général, ces deux directions sont les axes principaux du plan horizontal de la structure.

Il faut souligner toutefois que les forces et les déformations obtenues pour l'élément à partir des méthodes d'analyse statiques pour les charges de conception recommandées sont inférieures aux forces et aux déformations qui seraient observées sur la structure sous les effets d'un séisme majeur pour lequel les charges ont été spécifiées. Ce dépassement des forces est équilibré par le comportement ductile qui est fourni par les détails de construction de l'élément.

C'est pourquoi l'utilisation de cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant à la structure :

- Une ductilité suffisante
- La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismiques majeures

### VII-5- Calcul de la force sismique totale (RPA 99Version 2003)

La force sismique totale  $V$  appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans les deux directions horizontales et orthogonales selon la formule :

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

Avec :

**A** : coefficient d'accélération de zone, donné par le tableau 4.1 suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment (**A = 0.10**)

Tableau VII.1. Coefficient d'accélération de zone A (RPA 99Version 2003)

Groupe	Zone sismique			
	I	IIa	IIb	III
<b>1A</b>	0.15	0.25	0.30	0.40
<b>1B</b>	0.12	0.20	0.25	0.30
<b>2</b>	0.10	0.15	0.20	0.25
<b>3</b>	0.07	0.10	0.14	0.18

**D** : facteur d'amplification dynamique moyen en fonction de la catégorie du site, du facteur de correction d'amortissement ( $\eta$ ) et de la période fondamentale de la structure ( $T$ ).

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & \text{si } 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} & \text{si } T_2 \leq T \leq 3s \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{3}{T}\right)^{\frac{5}{3}} & \text{si } T \geq 3s \end{cases}$$

Avec :

$T_2$  : période caractéristique, associée à la catégorie du site

**Tableau VII.2. Période caractéristique associée à la catégorie du site (RPA 99Version 2003)**

Site	S1	S2	S3	S4
$T_2$ (s)	0.3	0.4	0.5	0.7

$\eta$  : facteur de correction d'amortissement donné par la formule suivante :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \xi}} \geq 0.7$$

Ou :

$\xi$  (%) : est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

$\xi = 4\% \Rightarrow$  remplissage léger

$\xi = 5\% \Rightarrow$  remplissage dense

Donc :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + 5}} = 1 \geq 0.7$$

- **Estimation de la période fondamentale de la structure T**

La valeur de la période fondamentale ( $T$ ) de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante :

$$T = C_T \times h_N^{\frac{3}{4}}$$

Avec :

$h$ : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau ( $h=15.78$  m)

$C_T$  : coefficient en fonction de système de contreventement et du type de remplissage, donnée par le **(RPA 99Version 2003)**

Dans notre cas nous avons  $C_T = 0.085$  (Portiques auto-stables en acier sans remplissage en maçonnerie).

On obtient :

$$T = 0.85 \times 15.78^{\frac{3}{4}} = 0.67s$$

Au final on a :

$$T_2 = 0.5s \leq T = 0.67s \leq 0.3s \leftrightarrow 2.51 \left( \frac{0.5}{0.67} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$D=2.05$

$Q$  : Facteur de qualité déterminée par la formule suivante :

$$Q = 1 + \sum P_q$$

$P_q$  : Est la pénalité à retenir selon les critères suivants qu'ils sont satisfaits ou non

### 1. Conditions minimales sur les files de contreventement

Système de portiques : chaque file de portique doit comporter à tous les niveaux, au moins trois (03) travées dont le rapport des portées n'excède pas 1,5. Les travées de portique peuvent être constituées de voiles de contreventement.

### 2. Redondance en plan

Chaque étage devra avoir, en plan, au moins quatre (04) files de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées.

Ces files de contreventement devront être disposées symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeurs maximale et minimale d'espacement ne dépassant pas 1,5.

### 3. Régularité en plan

La structure est classée régulière en plan.

### 4. Régularité en élévation

La structure est classée régulière en élévation.

### 5. Contrôle de la qualité des matériaux

Des essais systématiques sur les matériaux mis en œuvre doivent être réalisés par l'entreprise.

### 6. Contrôle de la qualité de l'exécution

Il est prévu contractuellement une mission de suivi des travaux sur chantier. Cette mission doit comprendre notamment une supervision des essais effectués sur les matériaux

**Tableau VII.3. Valeurs des pénalités Pq**

Critère q	Valeur de Pq (X)		Valeur de Pq (Y)	
	Observation	Pénalité	Observation	Pénalité
Conditions minimales sur les files de contreventement	Non	0.05	Oui	0
Régularité en plan	Oui	0	Oui	0
Régularité en élévation	Oui	0	Oui	0
Contrôle de la qualité des matériaux	Non	0.05	Non	0.05
Contrôle de la qualité de l'exécution	Non	0.10	Non	0.10

$$Q = 1 + \sum_1^5 p_q$$

$$Q_x = 1 + 0.05 + 0.05 + 0.10 = 1.2$$

$$Q_y = 1 + 0.05 + 0.10 = 1.15$$

**W** : Poids totale de la structure (**RPA 99Version 2003**)

$$\text{Avec : } W = \sum W_i$$

$$W_i = WGi + \beta WQi$$

*WGi* : Poids dû aux charges permanentes et à celle des équipements fixes éventuels

*WQi* : Poids dû aux charges d'exploitations ;

$\beta$  : Fonction de pondération selon la nature et la durée de la charge du (**RPA 99Version 2003**)

Dans notre cas  $\beta=0.3$

- **Calcul des charges permanente de tous les éléments**

**Poids propre totale de la structure**

$$\sum W_i = 1385225.82 daN$$

D'après les résultats :

On a

$$V_{x,y} = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W$$

$$V_x = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W = \frac{0.1 \times 2.05 \times 1.2}{4} \times 1385225.82 = 38880.21 daN$$

$$V_y = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W = \frac{0.1 \times 1.18 \times 1.2}{4} \times 1385225.82 = 49036.9 daN$$

- **Distribution de la force du vent**

Les sollicitations dues au vent la plus défavorable (sens long pan) :  $W_z = 81.25 \text{ daN/m}^2$

$$V_{\text{vent}}(x) = W_z \times S_{t(\text{long pan})} = 81.25 \times 685.44 = 55692 \text{ daN}$$

Les sollicitations dues au vent la plus défavorable (sens pignon) :

$$W_z = 81.25 \text{ daN/m}^2$$

$$V_{\text{vent}}(x) = W_z \times S_{t(\text{pignon})} = 81.25 \times 330.66 = 26866.12 \text{ daN}$$

$$V_{\text{vent}}(x) = 55692 \text{ daN} > V_x = 38880.21 \text{ daN}$$

$$V_{\text{vent}}(y) = 26866.12 \text{ daN} < V_y = 49036.9 \text{ daN}$$

### Conclusion

Les sollicitations dues à l'effort sismique dominant l'effort du vent dans les deux sens X et Y en devras donc révéifier les poteaux avec la charge sismique.

### VII-6- Re-vérification des poteaux avec la charge sismique

La vérification doit vérifier la condition suivante avec prise en charge de la combinaison de charge sismique :

$$N_{sd} \leq N_{b,rd} = \chi \frac{\beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{sd} = 38880.21 \text{ daN}$$

$$N_{b,rd} = 0.9045 \times \frac{197.5 \times 2350}{1.1} = 381637.32 \text{ daN}$$

$$N_{sd} = 38880.21 \text{ daN} \leq N_{b,rd} = 381637.32 \text{ daN}$$

### Conclusion

Le profilé HEA 500 est vérifié sous la charge sismique

# **Chapitre VIII : Calcul des assemblages**

### **VIII-1- Introduction**

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

La conception et le calcul des assemblages revêtent en construction métallique, une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction, les ossatures ne présentent généralement pas de redondances importantes et les assemblages constituent donc le point de passage obligé pour les sollicitations régnant dans les différents composants structurels, en cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est en cause.

Il existe plusieurs modes d'assemblages fondamentales utilisés dans la construction Métallique, dont les principaux modes sont :

- Le rivetage
- Le boulonnage
- Le soudage
- Le collage

### **VIII-2- Calcul des assemblages par boulons :**

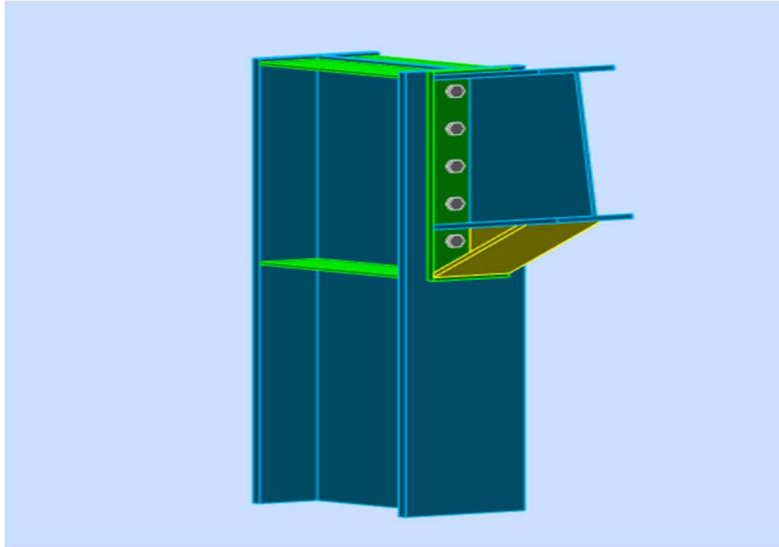
Il existe deux types de boulons

- Les boulons ordinaires : non précontraints, ce type d'assemblage, de moins en moins utilisé aujourd'hui, est pratiquement réservé aux constructions provisoires, donc démontables, ou aux constructions sommaires et secondaires.
- Les boulons HR : présente le même aspect qu'un boulon ordinaire, un boulon HR (Haute Résistance) est constitué d'acier à haute limite élastique et comporte une rondelle incorporée à la tête. Donc le coefficient de frottement entre les éléments d'une connexion joue un rôle prépondérant.

### **VIII-3- Assemblage de rive (Poteau-Traverse) :**

- L'assemblage poteau – traverse - Comme le montre le schéma ci-après, la liaison poteau traverse est assurée par un assemblage boulonné reliant la platine soudée sur l'extrémité de la traverse à la semelle du poteau L'assemblage est sollicité par un moment fléchissant, effort tranchant et un effort normal.

Sachant que la poutre en IPE 450, le jarret en IPE450 et le poteau en HEA500, On vérifie l'assemblage à la résistance sous l'effet des sollicitations suivantes :



**Figure VIII.1. Représentation de l'assemblage poteau-traverse.**

$M_{max} = 11674.97 \text{ daN.m}$  ;  $V_{sd} = 7685.02 \text{ daN}$  ;

### **VIII-3-1- La disposition constructive des boulons :**

On opte pour un assemblage constitué de 10 boulons 8.8 de diamètre de 16 mm, La platine a une épaisseur de 20 mm.

### **VIII-3-2- Les composants de l'assemblage**

- Poteau HEA500
- Traverse IPE450.
- Jarret IPE450
- Platine  $615 \times 190 \times 20$

**Disposition des boulons :**

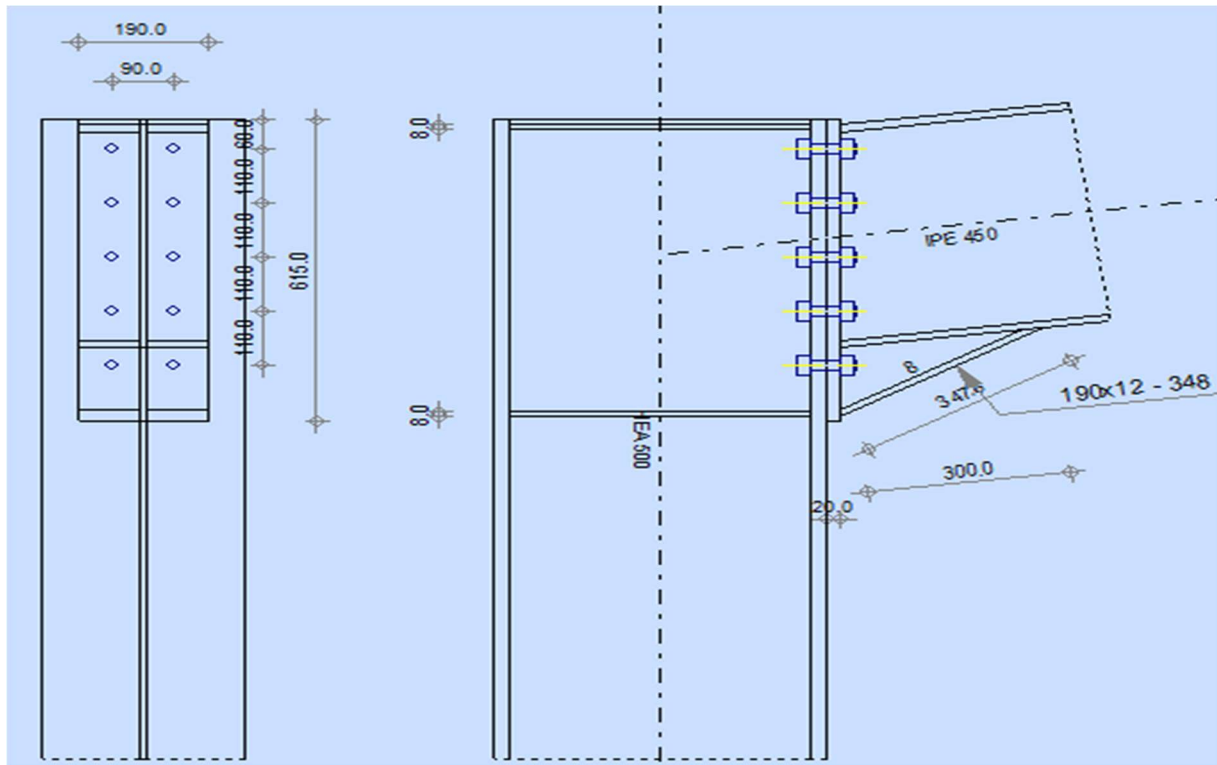


Figure VIII.2. Représentation de l'assemblage poteau-traverse.

**VIII-3-3- Vérification de la résistance à la flexion :**

- Hauteur de la partie comprimée

$$X = t_f \sqrt{\frac{b_b}{t_{wb}}}$$

pour IPE 450 :

$t_f = 12 \text{ mm}$  ;  $t_{wb} = 9.4 \text{ mm}$  ;  $b_b = 190 \text{ mm}$

$$X = 12 \sqrt{\frac{190}{9.4}} = 53.95 \text{ mm} = 54 \text{ mm}$$

Avec :

$d_1 = 115 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 225 \text{ mm}$  ,  $d_3 = 335 \text{ mm}$ ,

$d_4 = 445 \text{ mm}$ ,  $d_5 = 555 \text{ mm}$

**VIII-3-4- Calcul du moment résistant :**

$$M_{rd} = \frac{N_1}{d_1} (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots)$$

$$M_{rd} = \frac{N_1 \sum d_i^2}{d_1}$$

$$N_i = \frac{M_{rd} \times d_1}{\sum d_i^2}$$

$N_1$  : Effort max de traction du boulon le plus éloigné du centre de rotation.  $d_i$  : Distance des boulons par rapport au centre de rotation.

Le moment résistant effectif de l'assemblage :

$$M_{rd} = \frac{N_1 \sum d_i^2}{d_1} = \frac{N_{EP} \sum d_i^2}{d_1}$$

$n$  : Nombre de boulons dans une rangée horizontale.

- L'effort de calcul de précontrainte autorisé dans les boulons vaut :

$$F_f = 0.7 \times f_{ub} \times A_s$$

- Boulons de diamètre 20mm :

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$F_p = 0.7 \times 1000 \times 10^{-1} \times 245 = 17150 \text{ daN pour un boulon}$$

- **Vérification à la résistance de l'assemblage :**

Il faut vérifier si :  $M_{sd} \leq M_{Rd}$

$$\sum d_i^2 = (115^2 + 225^2 + 335^2 + 445^2 + 555^2) = 682125 \text{ mm}^2$$

$$M_{rd} = \frac{2 \times 17150 \times 682125 \times 10^{-3}}{555} = 42156.5 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 11674.97 \text{ daN.m} < M_{rd} = 42156.5 \text{ daN.m}$$

### VIII-3-5- Résistance de l'assemblage sous l'effort tranchant :

$$\text{Par boulon : } \frac{V_{sd}}{n} < V_{rd} K_s \times m \times \mu \times \frac{F_p}{\gamma_{M2}}$$

$$K_s = 1.0 : \text{trou normal} \quad (\text{EUROCODE 3})$$

$$m = 1.0 : \text{un plan de frottement}$$

$$\mu = 0.3 : \text{Coefficient de frottement} \quad (\text{EUROCODE 3})$$

$$F_p : 17150 \text{ daN Précontrainte de calcul} \quad (\text{EUROCODE 3})$$

$$V_{rd} = 0.3 \times \frac{17150}{1.25} = 4116 daN$$

$$\frac{V_{sd}}{n} = \frac{7685.12}{10} = 768.5 daN < V_{rd} = 4116 daN \quad CV$$

#### VIII-4- Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone tendue :

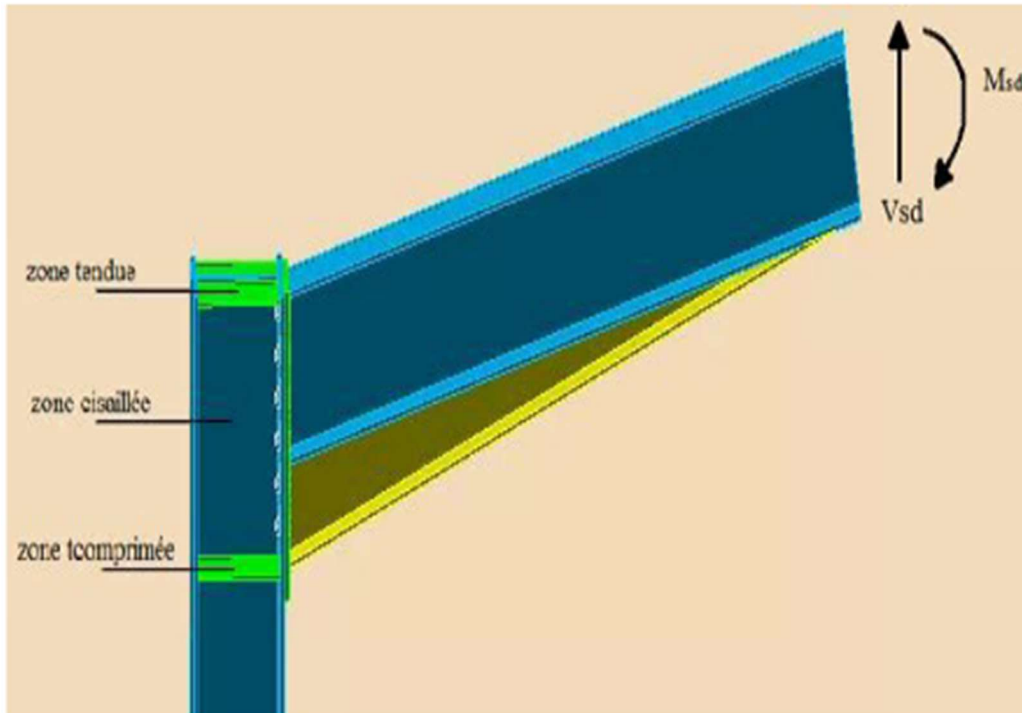


Figure VIII.3. Résistance de l'âme du poteau dans la zone tendue.

Les raidisseurs utilisés sont des raidisseurs de 14mm

$$F_v \leq F_{t.Rd}$$

Il faut vérifier que :

- **Résistance à la traction :**

$$F_{t,rd} = t_{wc} \times b_{eff} \times \frac{F_y}{\gamma_{M2}}$$

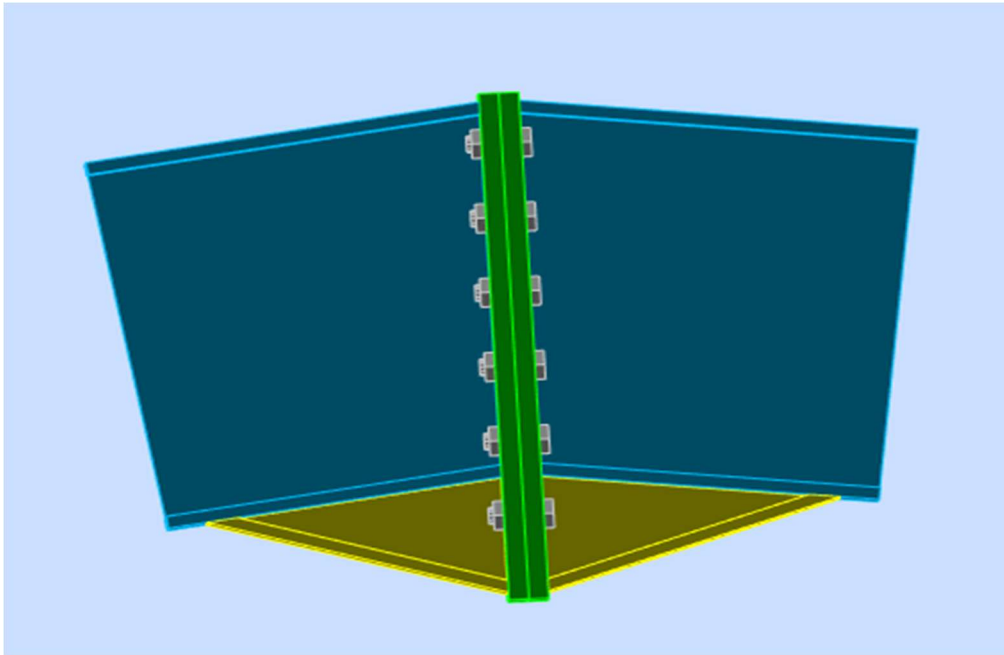
$$F_{t,rd} = 12 \times 90 \times \frac{23.5}{1.1} = 23072.72 daN$$

- **Efforts de cisaillement vaut :**

$$F_v = \frac{M_{sd}}{h - t_f} = \frac{11674.97}{0.45 - 0.0146} = 26814.35 daN$$

$F_v > F_{t,rd}$  d'ou nécessite de raidisseur (raidisseur d'épaisseur 14 mm)

**VIII-5- Assemblage du Faitage (Traverse-Traverse) :**



**Figure VIII.4. Représentation de l'assemblage traverse-traverse.**

$M_{max} = 14596.31 \text{ daN.m}$  ;  $V_{sd} = 7198.42 \text{ daN}$  ;  $N_{sd} = -3731.74 \text{ daN}$

**Disposition des boulons :**

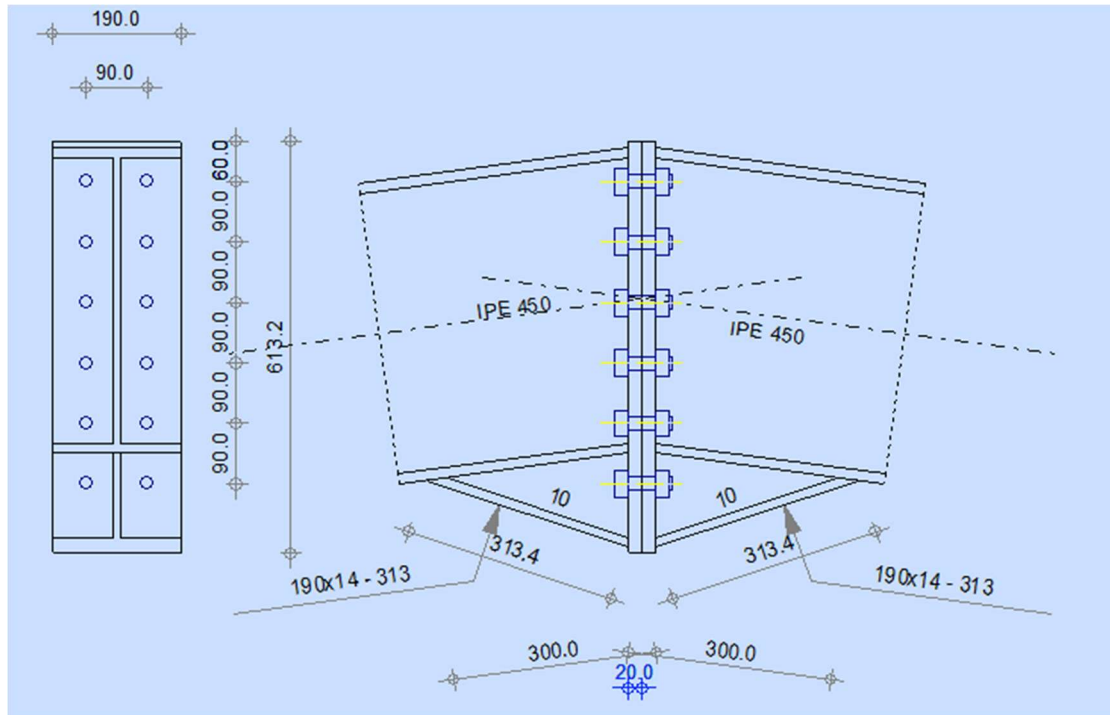


Figure VIII.5. Représentation de l'assemblage traverse-traverse.

### VIII-5-1- Vérification de la résistance à la flexion :

- Hauteur de la partie comprimée

$$X = t_f \sqrt{\frac{b_b}{t_{wb}}}$$

pour IPE 450 :

$t_f = 14.6 \text{ mm}$  ;  $t_{wb} = 9.4 \text{ mm}$  ;  $b_b = 190 \text{ mm}$

$$X = 14.6 \sqrt{\frac{190}{9.4}} = 65.63 \text{ mm} = 66 \text{ mm}$$

Avec :

$d_1 = 193.2 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 283.2 \text{ mm}$  ,  $d_3 = 373.2 \text{ mm}$ ,

$d_4 = 463.2 \text{ mm}$ ,  $d_5 = 553.2 \text{ mm}$

### VIII-5-2- Effort de précontrainte dans le boulon :

$$F_p = 0.7 \times f_{ub} \times A_z$$

$$F_p = 0.7 \times 1000 \times 10^{-1} \times 245 = 17150 \text{ daN pour un boulon}$$

**VIII-5-3- Vérification à la résistance de l'assemblage :**

Il faut vérifier si :  $M_{sd} \leq M_{Rd}$

$$\sum d_i^2 = (553.2^2 + 463.2^2 + 373.2^2 + 283.2^2 + 193.2^2) = 777391.2 \text{ mm}^2$$

$$M_{rd} = \frac{2 \times 17150 \times 777391.2 \times 10^{-3}}{553.2} = 48200.5 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd} = 14596.31 \text{ daN.m} < M_{rd} = 48200.5 \text{ daN.m} \quad \text{CV}$$

**VIII-5-4- Vérification de la résistance au cisaillement :**

Effort résistant par boulon :

$$\text{Par boulon : } \frac{V_{sd}}{n} < V_{rd} K_s \times m \times \mu \times \frac{F_p}{\gamma_{M2}}$$

$$K_s = 1.0 : \text{trou normal} \quad (\text{EUROCODE 3})$$

$$m = 1.0 : \text{un plan de frottement}$$

$$\mu = 0.3 : \text{Coefficient de frottement} \quad (\text{EUROCODE 3})$$

$$F_p : 17150 \text{ daN Précontrainte de calcul} \quad (\text{EUROCODE 3})$$

$$V_{rd} = 0.4 \times \frac{17150}{1.25} = 5488 \text{ daN}$$

**VIII-5-5- Effort tranchant par boulon :**

$$\frac{V_{sd}}{n} = \frac{7198.42}{12} = 600 \text{ daN}$$

$$\frac{V_{sd}}{n} = \frac{7198.42}{12} = 600 \text{ daN} < V_{rd} = 5488 \text{ daN} \quad \text{CV}$$

**VIII-6- Assemblage des pieds de poteaux :****VIII-6-1- Efforts sollicitant :**

Dans notre structure on a les poteaux en HEA550. Donc on va faire le calcul de dimensionnement de la plaque d'assise sous l'action des charges suivantes :

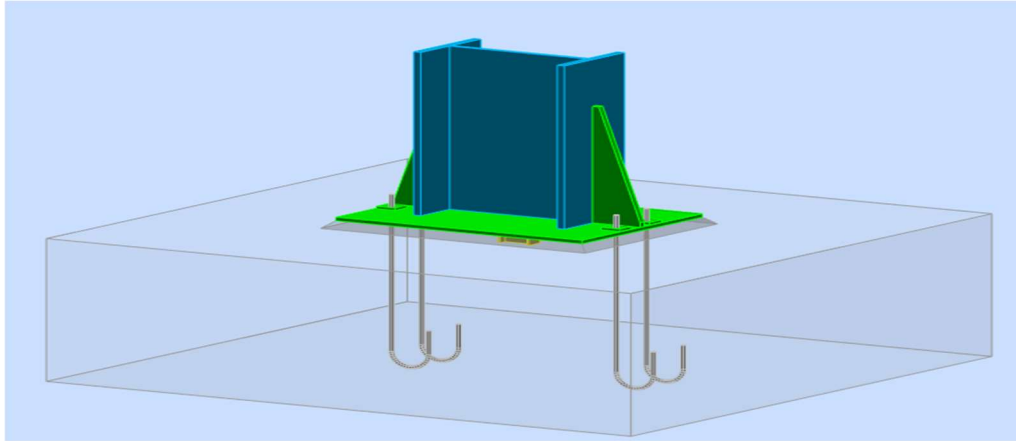


Figure VIII.6. Représentation des pied de poteaux .

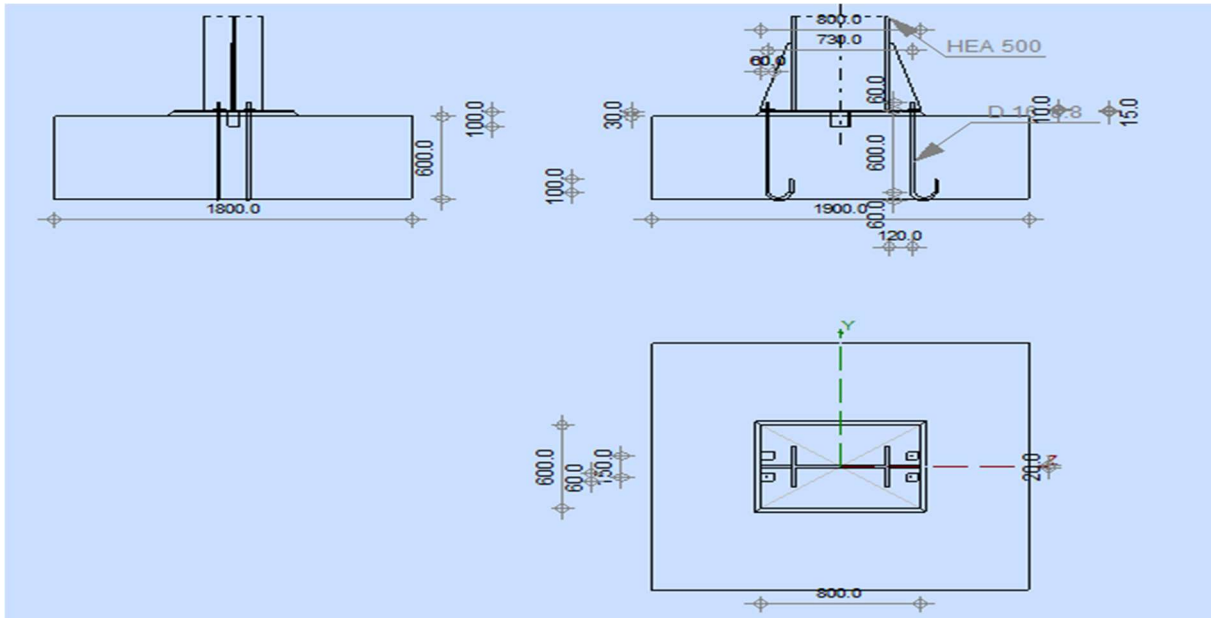


Figure VIII.7. Détails sur l'assemblage pied de poteau.

$M_{sd} = -1276,5591 \text{ daN.m}$  ;  $V_{sd} = 628,06 \text{ daN}$  ;  $N_{sd} = -71200,43 \text{ daN}$ .

### VIII-6-2- Vérification de la plaque d'assise (platine) :

Les plaques d'assise sont formées par des platines en acier grade S235-JR de dimensions 580x600x15 mm.

On doit vérifier que :  $\sigma \leq \sigma_b$

$\sigma_b$  = est la contrainte admissible du béton = 25 MPa

$$\sigma = \frac{N_{sd}}{a \times b} + \frac{M_{sd}}{I} \times \vartheta$$

$$\sigma = \frac{71200,43}{0,58 \times 0,6} + \frac{1276,5591 \times 10^{-3}}{0,6 \times \left(\frac{0,58^3}{12}\right)} \times \frac{0,6}{2} = 20,4 \text{ Mpa}$$

Donc : 2.04 MPa < 25 MPa → on opte pour la platine (580×600×15)

### VIII-6-3- Vérification des tiges d'ancrage :

L'effort admissible par tige d'ancrage est donné par la formule suivante :

$$F_{and.Rd} = \pi \times \emptyset \times F_{bd} \times (L1 + 6.45V + 3.5L2)$$

$$F_{bd} = 0.36 \frac{\sqrt{F_{ck}}}{\gamma_c} = 0.36 \frac{\sqrt{25}}{1.5} = 1.2 \text{ Mpa}$$

Avec

$$V = 3d = 3 \times 16 = 48 \text{ mm}$$

$$L1 = 20d = 20 \times 16 = 320 \text{ mm} \quad ; L2 = 2d = 32 \text{ mm}$$

$$F_{ck} = 25 \text{ Mpa}$$

$$F_{and.Rd} = \pi \times 16 \times 1.2 \times (320 + 6.45(48) + 3.5(32)) = 4473.25 \text{ daN}$$

$$\frac{N_{sd}}{4} = \frac{7120,43}{4} = 1347.97 \text{ daN} < 4473.25 \text{ daN} \quad \text{CV}$$



$t_{fc} =$	23,0	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	27,0	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	197,54	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau
$I_{xc} =$	86974,80	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la section du poteau
Matériau:	S 235		
$f_{yc} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

## **POUTRE**

Profilé:	IPE 450		
Barre N°:	27		
$\alpha =$	7,77	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_b =$	450,0	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
$b_f =$	190,0	[mm]	Largeur de la section de la poutre
$t_{wb} =$	9,4	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
$t_{fb} =$	14,6	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
$r_b =$	21,0	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$r_b =$	21,0	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$A_b =$	98,82	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section de la poutre
$I_{xb} =$	33742,90	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la poutre
Matériau:	S 235		
$f_{yb} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

## **BOULONS**

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

$d =$	16,0	[mm]	Diamètre du boulon
Classe =	8.8		Classe du boulon
$F_{iRd} =$	9043,20	[daN]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	2		Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	5		Nombre de rangées des boulons
$h_1 =$	60,0	[mm]	Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
Ecartement $e_i =$	90,0	[mm]	
Entraxe $p_i =$	110,0; 110,0; 110,0; 110,0	[mm]	

**PLATINE**

$h_p = 615,0$  [mm] Hauteur de la platine

$b_p = 190,0$  [mm] Largeur de la platine

$t_p = 20,0$  [mm] Epaisseur de la platine

Matériau: S 235

$f_{yp} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

**JARRET INFERIEUR**

$w_d = 190,0$  [mm] Largeur de la platine

$t_{fd} = 12,0$  [mm] Epaisseur de l'aile

$h_d = 140,0$  [mm] Hauteur de la platine

$t_{wd} = 8,0$  [mm] Epaisseur de l'âme

$l_d = 300,0$  [mm] Longueur de la platine

$\alpha = 31,27$  [Deg] Angle d'inclinaison

Matériau: S 235

$f_{ybu} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

**RAIDISSEUR POTEAU****Supérieur**

$h_{su} = 444,0$  [mm] Hauteur du raidisseur

$b_{su} = 144,0$  [mm] Largeur du raidisseur

$t_{hu} = 8,0$  [mm] Epaisseur du raidisseur

Matériau: S 235

$f_{ysu} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

**Inférieur**

$h_{sd} = 444,0$  [mm] Hauteur du raidisseur

$b_{sd} = 144,0$  [mm] Largeur du raidisseur

$t_{hd} = 8,0$  [mm] Epaisseur du raidisseur

Matériau: S 235

$f_{ysu} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

**SOUDURES D'ANGLE**

$a_w = 7,0$  [mm] Soudure âme

$a_f = 11,0$  [mm] Soudure semelle

$a_s = 7,0$  [mm] Soudure du raidisseur

$a_{fd} = 5,0$  [mm] Soudure horizontale

### COEFFICIENTS DE MATERIAU

$\gamma_{M0} =$	1,00	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M1} =$	1,00	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M2} =$	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]
$\gamma_{M3} =$	1,25	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

### EFFORTS

#### Etat limite: ultime

Cas: 13: COMB3 (1+3)\*1.35+10\*1.50

$M_{b1,Ed} =$	11679,2024	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
$V_{b1,Ed} =$	7688,29	[daN]	Effort tranchant dans la poutre droite
$N_{b1,Ed} =$	-3752,24	[daN]	Effort axial dans la poutre droite
$M_{c1,Ed} =$	11679,2024	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poteau inférieur
$V_{c1,Ed} =$	3752,24	[daN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur
$N_{c1,Ed} =$	-7688,29	[daN]	Effort axial dans le poteau inférieur

### RESULTATS

#### RESISTANCES DE LA POUTRE

##### COMPRESSION

$A_b = 98,82$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section EN1993-1-1:[6.2.4]

$$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$N_{cb,Rd} = 232227,0$  [daN] Résistance de calcul de la section à la compression EN1993-1-1:[6.2.4]

##### CISAILLEMENT

$A_{vb} = 62,04$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$V_{cb,Rd} = 84180,1$  [daN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$   $0,09 < 1,00$  **vérifié** (0,09)

##### FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 1701,79$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

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

$M_{b,pl,Rd}$	39992,0	[daN* m]	Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
d =	650			

**FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE**

$W_{pl}$	2335,66	[cm <sup>3</sup> ]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5]
----------	---------	--------------------	---------------------------------	--------------------

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

$M_{cb,Rd}$	54888,122	[daN*m ]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
=	4			

**AILE ET AME EN COMPRESSION**

$M_{cb,Rd}$	54888,122	[daN*m ]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
=	4			

$h_f$	579,8	[mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
-------	-------	------	---	---------------

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

$F_{c,fb,Rd}$	94671,07	[daN]	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:

$\beta$	7,77	[Deg]	Angle entre la platine d'about et la poutre
---------	------	-------	---

$\gamma$	31,27	[Deg]	Angle d'inclinaison du renfort
----------	-------	-------	--------------------------------

$b_{eff,c,w}$	239,2	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
b =				

$A_{vb}$	50,84	[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)]
----------	------	--	---	---------------

$\sigma_{com,E}$	6935279	[daN/ m <sup>2</sup> ]	Contrainte de compression maximale dans l'âme	[6.2.6.2.(2)]
d =	,42			

$k_{wc}$	1,00		Coefficient réducteur dû aux contraintes de compression	[6.2.6.2.(2)]
----------	------	--	---	---------------

$$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$F_{c,wb,Rd1}$	101101,58	[daN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]
----------------	-----------	-------	----------------------------------	---------------

Flambement:

$d_{wb}$	378,8	[mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
----------	-------	------	----------------------------	---------------

$\lambda_p$	1,00		Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
-------------	------	--	----------------------	---------------

$\rho$	0,80		Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
--------	------	--	---	---------------

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$F_{c,wb,Rd2}$	80979,59	[daN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]
----------------	----------	-------	----------------------------------	---------------

Résistance de l'aile du renfort

$$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 \gamma_{M0})$$

$$F_{c,wb,Rd3} = 66975,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance de l'aile du renfort} \quad [6.2.6.7.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$$

$$F_{c,wb,Rd,low} = 66975,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

## RESISTANCES DU POTEAU

### PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$$M_{b1,Ed} = 11679,2024 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Moment fléchissant dans la poutre droite} \quad [5.3.(3)]$$

$$M_{b2,Ed} = 0,0000 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Moment fléchissant dans la poutre gauche} \quad [5.3.(3)]$$

$$V_{c1,Ed} = 3752,24 \quad [\text{daN}] \quad \text{Effort tranchant dans le poteau inférieur} \quad [5.3.(3)]$$

$$V_{c2,Ed} = 0,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Effort tranchant dans le poteau supérieur} \quad [5.3.(3)]$$

$$z = 482,1 \quad [\text{mm}] \quad \text{Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$

$$V_{wp,Ed} = 22347,32 \quad [\text{daN}] \quad \text{Panneau d'âme en cisaillement} \quad [5.3.(3)]$$

$$A_{vs} = 74,72 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de cisaillement de l'âme du poteau} \quad \text{EN1993-1-1:}[6.2.6.(3)]$$

$$A_{vc} = 74,72 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:}[6.2.6.(3)]$$

$$d_s = 587,0 \quad [\text{mm}] \quad \text{Distance entre les centres de gravités des raidisseurs} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{932,3}{625} \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{pl,stu,Rd} = \frac{112,8}{000} \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Résistance plastique du raidisseur transversal supérieur en flexion} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$M_{pl,sti,Rd} = \frac{112,8}{000} \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion} \quad [6.2.6.1.(4)]$$

$$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} * f_{y,wc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd}) / d_s)$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{94801,3}{1} \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance du panneau d'âme au cisaillement} \quad [6.2.6.1]$$

$$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0 \quad 0,24 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,24)$$

### AME EN COMPRESSION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$$t_{wc} = 12,0 \quad [\text{mm}] \quad \text{Epaisseur efficace de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(6)]$$

$$b_{c}^{eff,c,w} = 335,2 \quad [\text{mm}] \quad \text{Largeur efficace de l'âme à la compression} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$A_{vc} =$	74,72	[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)]
$\sigma_{com,E} =$	3007712,59	[daN/m <sup>2</sup> ]	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)]
$A_s =$	19,60	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1:[6.2.4]

$$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$$

$F_{c,wc,Rd1} =$	126601,81	[daN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]
------------------	-----------	-------	-------------------------------	---------------

Flambement:

$d_{wc} =$	390,0	[mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
------------	-------	------	----------------------------	---------------

$\lambda_p =$	0,94		Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
---------------	------	--	----------------------	---------------

$\rho =$	0,84		Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
----------	------	--	---	---------------

$\lambda_s =$	4,41		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]
------------	------	--	---	----------------------

$$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$$

$F_{c,wc,Rd2} =$	113546,30	[daN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]
------------------	-----------	-------	-------------------------------	---------------

Résistance finale:

$$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$$

$F_{c,wc,Rd} =$	113546,30	[daN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]
-----------------	-----------	-------	-------------------------------	---------------

**AME EN TRACTION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE**

Pression diamétrale:

$t_{wc} =$	12,0	[mm]	Epaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
------------	------	------	---------------------------------------	---------------

$b_{eff,c,w} =$	335,8	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
-----------------	-------	------	--	---------------

$A_{vc} =$	74,72	[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)]
------------	------	--	---	---------------

$\sigma_{com,E} =$	3007712,59	[daN/m <sup>2</sup> ]	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)]
------------	------	--	---	---------------

$A_s = 19,60$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme EN1993-1-1:[6.2.4]

$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$

$F_{c,wc,Rd1} = 126723,09$  [daN] Résistance de l'âme du poteau [6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wc} = 390,0$  [mm] Hauteur de l'âme comprimée [6.2.6.2.(1)]

$\lambda_p = 0,94$  Elancement de plaque [6.2.6.2.(1)]

$\rho = 0,84$  Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément [6.2.6.2.(1)]

$\lambda_s = 4,41$  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]

$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$

$F_{c,wc,Rd2} = 113596,83$  [daN] Résistance de l'âme du poteau [6.2.6.2.(1)]

Résistance finale:

$F_{c,wc,Rd,upp} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$

$F_{c,wc,Rd,upp} = 113596,83$  [daN] Résistance de l'âme du poteau [6.2.6.2.(1)]

## PARAMETRES GEOMETRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - SEMELLE DU POTEAU

r	m	n <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,c</sub> <sub>p</sub>	l <sub>eff,n</sub> <sub>c</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,c</sub> <sub>p,g</sub>	l <sub>eff,n</sub> <sub>c,g</sub>	l <sub>eff,1</sub> <sub>,g</sub>	l <sub>eff,2</sub> <sub>,g</sub>
1	17,4	-	105,0	-	110,0	109,3	139,2	109,3	139,2	164,7	93,8	93,8	93,8
2	17,4	-	105,0	-	110,0	109,3	208	109,3	208	220	110	110	110
3	17,4	-	105,0	-	110,0	109,3	208	109,3	208	220	110	110	110
4	17,4	-	105,0	-	110,0	109,3	208	109,3	208	220	110	110	110
5	17,4	-	105,0	-	110,0	109,3	139,2	109,3	139,2	164,7	93,8	93,8	93,8

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

N r	m	n x	e	e x	p	l <sub>eff,c</sub> p	l <sub>eff,n</sub> c	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,c</sub> p.g	l <sub>eff,n</sub> c.g	l <sub>eff,1</sub> .g	l <sub>eff,2</sub> .g
1	32 ,4	-	50 ,0	-	11 0,	20 3, 5	23 8, 4	20 3, 5	23 8, 4	21 1, 7	19 7, 4	19 7, 4	19 7, 4
2	32 ,4	-	50 ,0	-	11 0,	20 3, 5	19 2, 0	19 2, 0	19 2, 0	22 0, 0	11 0, 0	11 0, 0	11 0, 0
3	32 ,4	-	50 ,0	-	11 0,	20 3, 5	19 2, 0	19 2, 0	19 2, 0	22 0, 0	11 0, 0	11 0, 0	11 0, 0
4	32 ,4	-	50 ,0	-	11 0,	20 3, 5	19 2, 0	19 2, 0	19 2, 0	22 0, 0	11 0, 0	11 0, 0	11 0, 0
5	32 ,4	-	50 ,0	-	11 0,	20 3, 5	19 2, 0	19 2, 0	19 2, 0	21 1, 7	15 1, 0	15 1, 0	15 1, 0

- 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**

$$N_{j,Rd} = \text{Min} ( N_{cb,Rd} 2 F_{c,wb,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,low} , 2 F_{c,wc,Rd,upp} )$$

$$N_{j,Rd} = 133950,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la compression} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,03 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,03)$$

### **RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION**

$F_{t,Rd} = 9043,20$  [daN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$B_{p,Rd} = 26057,6$  [daN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$  – résistance de la semelle du poteau à la flexion

$F_{t,wc,Rd}$  – résistance de l'âme du poteau à la traction

$F_{t,ep,Rd}$  – résistance de la platine 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]

$F_{t,wc,Rd} = \omega \text{ b}_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$  [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]

$F_{t,wb,Rd} = \text{b}_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$  [6.2.6.8.(1)]

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1**

<b><math>F_{t1,Rd,comp}</math> - Formule</b>	<b><math>F_{t1,Rd,comp}</math></b>	<b>Composant</b>
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	18086,40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(1)} = 18086,40$	18086,40	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(1)} = 30230,52$	30230,52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(1)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 44942,56$	44942,56	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta = 94801,31$	94801,31	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} = 113546,30$	113546,30	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} = 94671,07$	94671,07	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} = 66975,00$	66975,00	Ame de la poutre - compression

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2**

<b><math>F_{t2,Rd,comp}</math> - Formule</b>	<b><math>F_{t2,Rd,comp}</math></b>	<b>Composant</b>
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	18086,40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(2)} = 18086,40$	18086,40	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(2)} = 30230,52$	30230,52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(2)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 42417,58$	42417,58	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^1 F_{ti,Rd} = 94801,31 - 18086,40$	76714,91	Panneau d'âme - compression

$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 113546,30 - 18086,40$	95459, 90	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 94671,07 - 18086,40$	76584, 67	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 66975,00 - 18086,40$	48888, 60	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 36172,80 - 18086,40$	18086, 40	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 53838,66 - 18086,40$	35752, 26	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 36172,80 - 18086,40$	18086, 40	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{tj,Rd} = 67906,35 - 18086,40$	49819, 95	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h_2/h_1$$

$$F_{t2,Rd} = 14382,55 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	18086, 40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(3)} = 18086,40$	18086, 40	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(3)} = 30230,52$	30230, 52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(3)} = 18086,40$	18086, 40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 42417,58$	42417, 58	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115, 25	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^2 F_{ti,Rd} = 94801,31 - 32468,95$	62332, 36	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^2 F_{tj,Rd} = 113546,30 - 32468,95$	81077, 35	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^2 F_{tj,Rd} = 94671,07 - 32468,95$	62202, 12	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^2 F_{tj,Rd} = 66975,00 - 32468,95$	34506, 05	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 36172,80 - 14382,55$	21790, 25	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 57546,05 - 14382,55$	43163, 50	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 54259,20 - 32468,95$	21790, 25	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 76722,44 - 32468,95$	44253, 49	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 34288,40 - 14382,55$	19905, 85	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 48598,00 - 14382,55$	34215, 45	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 54259,20 - 32468,95$	21790, 25	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{tj,Rd} = 92205,35 - 32468,95$	59736, 40	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$F_{t3,Rd} = 10678,70$  [daN] Résistance réduite d'une rangée de boulon [6.2.7.2.(9)]

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4**

<b><math>F_{t4,Rd,comp}</math> - Formule</b>	<b><math>F_{t4,Rd,comp}</math></b>	<b>Composant</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	18086,40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(4)} = 18086,40$	18086,40	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(4)} = 30230,52$	30230,52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(4)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 42417,58$	42417,58	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons cisaillement/poinçonnement au
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 94801,31 - 43147,65$	51653,66	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 113546,30 - 43147,65$	70398,65	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 94671,07 - 43147,65$	51523,43	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 66975,00 - 43147,65$	23827,35	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 36172,80 - 10678,70$	25494,10	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 57546,05 - 10678,70$	46867,35	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 54259,20 - 25061,25$	29197,95	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 79647,91 - 25061,25$	54586,66	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{tj,Rd} = 72345,60 - 43147,65$	29197,95	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{tj,Rd} = 94413,31 - 43147,65$	51265,66	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 34288,40 - 10678,70$	23609,70	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 48598,00 - 10678,70$	37919,30	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 51432,60 - 25061,25$	26371,35	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 72897,00 - 25061,25$	47835,75	Ame de la poutre - traction - groupe

$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{tj,Rd} = 72345,60 - 43147,65$	29197,9 5	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{tj,Rd} = 116504,35 - 43147,65$	73356,7 0	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 6974,85 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 5**

$F_{t5,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t5,Rd,comp}$	Composant
$F_{t5,Rd} = \text{Min}(F_{t5,Rd,comp})$	16852,5 1	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(5)} = 18086,40$	18086,4 0	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(5)} = 30230,52$	30230,5 2	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(5)} = 18086,40$	18086,4 0	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 42417,58$	42417,5 8	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,2 5	Boulons cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^4 F_{ti,Rd} = 94801,31 - 50122,49$	44678,8 2	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 113546,30 - 50122,49$	63423,8 0	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 94671,07 - 50122,49$	44548,5 8	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 66975,00 - 50122,49$	16852,5 1	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 36172,80 - 6974,85$	29197,9 5	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 53838,66 - 6974,85$	46863,8 1	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{tj,Rd} = 54259,20 - 17653,54$	36605,6 6	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{tj,Rd} = 76722,44 - 17653,54$	59068,9 0	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{tj,Rd} = 72345,60 - 32036,09$	40309,5 1	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{tj,Rd} = 94413,31 - 32036,09$	62377,2 1	Ame du poteau - traction - groupe

$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 50122,49$	40309,5 1	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{tj,Rd} = 105934,89 - 50122,49$	55812,4 0	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 36172,80 - 6974,85$	29197,9 5	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 57657,29 - 6974,85$	50682,4 4	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{tj,Rd} = 54078,24 - 17653,54$	36424,7 0	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{tj,Rd} = 81956,29 - 17653,54$	64302,7 4	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{tj,Rd} = 71222,44 - 32036,09$	39186,3 5	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{tj,Rd} = 106255,29 - 32036,09$	74219,1 9	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 50122,49$	40309,5 1	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{tj,Rd} = 149862,64 - 50122,49$	99740,1 4	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t5,Rd} = F_{t1,Rd} h_5/h_1$$

$$F_{t5,Rd} = 3271,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS**

N r	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	537,1	18086,40	18086,40	30230,52	18086,40	44942,56	18086,40	52115,25
2	427,1	14382,55	18086,40	30230,52	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25
3	317,1	10678,70	18086,40	30230,52	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25
4	207,1	6974,85	18086,40	30230,52	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25
5	97,1	3271,00	18086,40	30230,52	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25

**RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION M<sub>j,Rd</sub>**

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

$$M_{j,Rd} = 21007,6970 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,56 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,56)$$

**RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT**

$\alpha_v =$	0,60		Coefficient pour le calcul de $F_{v,Rd}$	[Tableau 3.4]
$\beta_{Lf} =$	0,94		Coefficient réducteur pour les assemblages longs	[3.8]
$F_{v,Rd} =$	7238,23	[daN]	Résistance d'un boulon au cisaillement	[Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,max} =$	9043,20	[daN]	Résistance d'un boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,int} =$	23040,00	[daN]	Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,ext} =$	23040,00	[daN]	Résistance du boulon de rive en pression diamétrale	[Tableau 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	18086,40	-750,45	18086,40	10055,11	9304,66	9156,81
2	18086,40	-750,45	14382,55	7995,96	7245,51	10334,07
3	18086,40	-750,45	10678,70	5936,81	5186,36	11511,32
4	18086,40	-750,45	6974,85	3877,66	3127,21	12688,58
5	18086,40	-750,45	3271,00	1818,51	1068,06	13865,83

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

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd} \quad \text{[Tableau 3.4]}$$

$$V_{j,Rd} = 57556,61 \quad \text{[daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad \text{[Tableau 3.4]}$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,13 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,13)$$

**RESISTANCE DES SOUDURES**

$A_w =$	138,61	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2 (2)]
$A_{wy} =$	67,45	[cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2 (2)]
$A_{wz} =$	71,16	[cm <sup>2</sup> ]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2 (2)]
$I_{wy} =$	48867,9 4	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2 (5)]
$\sigma_{\perp \max} = \tau_{\perp \max}$ $\sigma_{ax} =$	5434102 ,97	[daN/ m <sup>2</sup> ]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2 (6)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	5159140 ,98	[daN/ m <sup>2</sup> ]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2 (5)]
$\tau_{\parallel} =$	1080465 ,76	[daN/ m <sup>2</sup> ]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2 (5)]
$\beta_w =$	0,80		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2 (7)]

$\sqrt{[\sigma_{\perp \max}^2 + 3*(\tau_{\perp \max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	10868205,94 < 36000000,00	<b>vérifié</b>	(0,30)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	10486618,20 < 36000000,00	<b>vérifié</b>	(0,29)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u / \gamma_{M2}$	5434102,97 < 25920000,00	<b>vérifié</b>	(0,21)

**RIGIDITE DE L'ASSEMBLAGE**

$t_{wash} =$	4,0	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	12,0	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	16,0	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	65,0	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	3,9	[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	19,49	762,70
1	537,1	1,8	194,9	41,9	1,2	6,31	338,87
2	427,1	2,1	227,3	23,3	1,3	5,41	231,10
3	317,1	2,1	227,3	23,3	1,3	4,02	127,40
4	207,1	2,1	227,3	23,3	1,3	2,62	54,35
5	97,1	1,8	194,9	32,0	1,2	1,13	10,99

$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j}))$  [6.3.3.1.(2)]

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

$$Z_{eq} = 391,3 \quad [\text{mm}] \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 5,0 \quad [\text{mm}] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 74,72 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:}[6.2.6.(3)]$$

$$\beta = 1,0 \quad \text{Paramètre de transformation} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 391,3 \quad [\text{m}] \quad \text{Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 7,3 \quad [\text{m}] \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en cisaillement} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \infty \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en compression} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E Z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 9497294,6291 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = 9497294,6291 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

**Classification de l'assemblage par rigidité.**

$$S_{j,rig} = 5106204,7187 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 319137,7949 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \quad \text{RIGIDE}$$

**COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:**

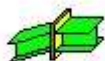
AME DE LA POUTRE OU AILE DE LA CONTREPLAQUE EN COMPRESSION

**REMARQUES**

Epaisseur de l'âme de la contreplaque inférieure à l'épaisseur de l'âme de la poutre 8,0 [mm] < 9,4 [mm]

Epaisseur de l'aile de la contreplaque inférieure à l'épaisseur de l'aile de la poutre 12,0 [mm] < 14,6 [mm]

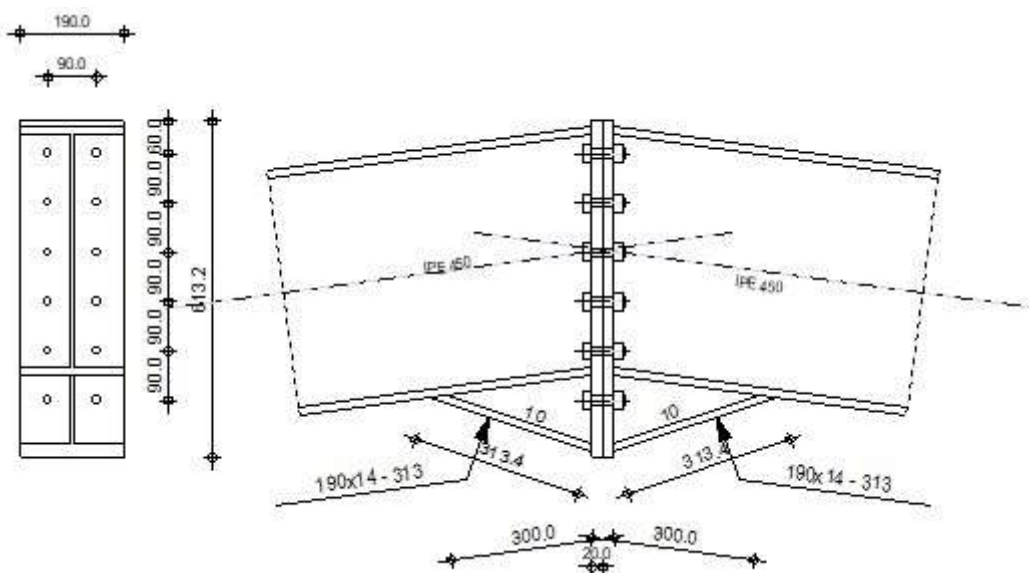
**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme** **Ratio** 0,56



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019  
**Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre**  
 EN 1993-1-8:2005/AC:2009



Ratio  
**0,60**



## GENERAL

Assemblage N°: 4  
 Nom de l'assemblage : traverse --traverse  
 Noeud de la structure: 22  
 Barres de la structure: 27, 28

## GEOMETRIE

### GAUCHE

### POUTRE

Profilé: IPE 450  
 Barre N°: 27

$\alpha = -172,23$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_{bl} = 450,0$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_{fbl} = 190,0$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wbl} = 9,4$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre

$\alpha =$	-172,23	[Deg]	Angle d'inclinaison
$t_{fb} =$	14,6	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
$r_{bl} =$	21,0	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$A_{bl} =$	98,82	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section de la poutre
$I_{xbl} =$	33742,90	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la poutre
Matériau:	S 235		
$f_{yb} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

## DROITE

### POUTRE

Profilé:	IPE 450		
Barre N°:	28		
$\alpha =$	-7,77	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_{br} =$	450,0	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
$b_{fbr} =$	190,0	[mm]	Largeur de la section de la poutre
$t_{wbr} =$	9,4	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
$t_{fbr} =$	14,6	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
$r_{br} =$	21,0	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$A_{br} =$	98,82	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section de la poutre
$I_{xbr} =$	33742,90	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la poutre
Matériau:	S 235		
$f_{yb} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

### BOULONS

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

$d =$	16,0	[mm]	Diamètre du boulon
Classe =	8.8		Classe du boulon
$F_{tRd} =$	9043,20	[daN]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	2		Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	6		Nombre de rangées des boulons
$h_1 =$	60,0	[mm]	Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
Ecartement $e_i =$	90,0	[mm]	
Entraxe $p_i =$	90,0; 90,0; 90,0; 90,0; 90,0	[mm]	

### PLATINE

$h_{pr} = 613,2$  [mm] Hauteur de la platine  
 $b_{pr} = 190,0$  [mm] Largeur de la platine  
 $t_{pr} = 20,0$  [mm] Epaisseur de la platine

Matériau: S 235

$f_{ypr} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

### JARRET INFERIEUR

$w_{rd} = 190,0$  [mm] Largeur de la platine  
 $t_{frd} = 14,0$  [mm] Epaisseur de l'aile  
 $h_{rd} = 140,0$  [mm] Hauteur de la platine  
 $t_{wrd} = 10,0$  [mm] Epaisseur de l'âme  
 $l_{rd} = 300,0$  [mm] Longueur de la platine  
 $\alpha_d = 18,50$  [Deg] Angle d'inclinaison

Matériau: S 235

$f_{ybu} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

### SOUDURES D'ANGLE

$a_w = 7,0$  [mm] Soudure âme  
 $a_f = 11,0$  [mm] Soudure semelle  
 $a_{fd} = 5,0$  [mm] Soudure horizontale

### COEFFICIENTS DE MATERIAU

$\gamma_{M0} = 1,00$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M1} = 1,00$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M3} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]

### EFFORTS

#### Etat limite: ultime

Cas: 13: COMB3 (1+3) \*1.35+10\*1.50

$M_{b1,Ed} = 14595,2544$  [daN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite  
 $V_{b1,Ed} = 7195,15$  [daN] Effort tranchant dans la poutre droite  
 $N_{b1,Ed} = -3752,24$  [daN] Effort axial dans la poutre droite

$M_{b1,Ed} = 14595,2544$  [daN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite

## RESULTATS

### RESISTANCES DE LA POUTRE

#### COMPRESSION

$A_b = 98,82$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section EN1993-1-1:[6.2.4]

$$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$N_{cb,Rd} = 232227,0$  [daN] Résistance de calcul de la section à la compression EN1993-1-1:[6.2.4]

#### CISAILLEMENT

$A_{vb} = 64,84$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$V_{cb,Rd} = 87979,14$  [daN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

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

#### FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 1701,79$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

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

$M_{b,pl,Rd} = 39992,0650$  [daN\*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

#### FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 2373,00$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

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

$M_{cb,Rd} = 55765,5407$  [daN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

#### AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 55765,5407$  [daN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_r = 579,4$  [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

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

$F_{c,fb,Rd} = 96244,47$  [daN] 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:

$\beta =$	7,77	[Deg]	Angle entre la platine d'about et la poutre	
$\gamma =$	18,50	[Deg]	Angle d'inclinaison du renfort	
$b_{eff,c,w}$ $b =$	240,7	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vb} =$	50,84	[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)]
$\sigma_{com,E}$ $d =$	8572068 ,90	[daN/ m <sup>2</sup> ]	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)]

$$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{c,wb,Rd1} = 101622,76 \quad [daN] \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Flambement:

$$d_{wb} = 378,8 \quad [mm] \quad \text{Hauteur de l'âme comprimée} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_p = 1,00 \quad \text{Elancement de plaque} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\rho = 0,80 \quad \text{Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$$F_{c,wb,Rd2} = 81200,18 \quad [daN] \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance de l'aile du renfort

$$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 \cdot \gamma_{M0})$$

$$F_{c,wb,Rd3} = 78137,50 \quad [daN] \quad \text{Résistance de l'aile du renfort} \quad [6.2.6.7.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$$

$$F_{c,wb,Rd,low} = 78137,50 \quad [daN] \quad \text{Résistance de l'âme de la poutre} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

## **PARAMETRES GEOMETRIQUES DE L'ASSEMBLAGE**

### **LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT**

<b>n</b>	<b>r</b>	<b>m</b>	<b>n</b>	<b>e</b>	<b>e</b>	<b>p</b>	<b>l<sub>eff,c</sub></b>	<b>l<sub>eff,n</sub></b>	<b>l<sub>eff,1</sub></b>	<b>l<sub>eff,2</sub></b>	<b>l<sub>eff,c</sub></b>	<b>l<sub>eff,n</sub></b>	<b>l<sub>eff,1</sub></b>	<b>l<sub>eff,2</sub></b>
			x		x		p	c			p,g	c,g	.g	.g
1		32,4	-	50,0	-	90,0	203,5	238,4	203,5	238,4	191,7	187,4	187,4	187,4
2		32,4	-	50,0	-	90,0	203,5	192,0	192,0	192,0	180,0	90,0	90,0	90,0
3		32,4	-	50,0	-	90,0	203,5	192,0	192,0	192,0	180,0	90,0	90,0	90,0

N	m	n	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>
4	32,4	-	50,0	-	90,0	203,5	192,0	192,0	192,0	180,0	90,0	90,0	90,0
5	32,4	-	50,0	-	90,0	203,5	192,0	192,0	192,0	180,0	90,0	90,0	90,0
6	32,4	-	50,0	-	90,0	203,5	192,0	192,0	192,0	191,7	141,0	141,0	141,0

- 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**

$$N_{j,Rd} = \text{Min} ( N_{cb,Rd} 2 F_{c,wb,Rd,low} )$$

$$N_{j,Rd} = 156275,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la compression} \quad [6.2]$$

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

### **RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION**

$$F_{t,Rd} = 9043,20 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance du boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$B_{p,Rd} = 26057,63 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

F<sub>t,fc,Rd</sub> – résistance de la semelle du poteau à la flexion

F<sub>t,wc,Rd</sub> – résistance de l'âme du poteau à la traction

F<sub>t,ep,Rd</sub> – résistance de la platine fléchie à la flexion

F<sub>t,wb,Rd</sub> – résistance de l'âme à la traction

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd}) \quad [6.2.6.4] , [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot b_{\text{eff},t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{yc} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd} , F_{T,2,ep,Rd} , F_{T,3,ep,Rd}) \quad [6.2.6.5] , [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{yb} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.8.(1)]$$

**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>
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	18086,40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(1)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 44942,56$	44942,56	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} = 96244,47$	96244,47	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} = 78137,50$	78137,50	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>
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	18086,40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(2)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 42417,58$	42417,58	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 96244,47 - 18086,40$	78158,07	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 78137,50 - 18086,40$	60051,10	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 36172,80 - 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 61279,35 - 18086,40$	43192,95	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} \cdot h_2/h_1$$

$$F_{t2,Rd} = 15053,93 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	16654,03	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(3)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 42417,58$	42417,58	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 96244,47 - 33140,33$	63104,13	Aile de la poutre - compression

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^2 F_{ij,Rd} = 78137,50 - 33140,33$	44997,17	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 31707,96 - 15053,93$	16654,03	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 39762,00 - 15053,93$	24708,07	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 53845,80 - 33140,33$	20705,46	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 81160,35 - 33140,33$	48020,01	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 12021,47 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4**

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	18086,40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(4)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 42417,58$	42417,58	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons cisaillement/poinçonnement au
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 96244,47 - 45161,80$	51082,66	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 78137,50 - 45161,80$	32975,70	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 31707,96 - 12021,47$	19686,49	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 39762,00 - 12021,47$	27740,53	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 47561,94 - 27075,40$	20486,54	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 59643,00 - 27075,40$	32567,60	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 69699,78 - 45161,80$	24537,97	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 101041,35 - 45161,80$	55879,54	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 8989,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t5,Rd} = \text{Min} (F_{t5,Rd,comp})$	18086,40	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(5)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 42417,58$	42417,58	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons cisaillement/poinçonnement au
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 96244,47 - 54150,81$	42093,66	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 78137,50 - 54150,81$	23986,69	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 31707,96 - 8989,00$	22718,96	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 39762,00 - 8989,00$	30773,00	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{tj,Rd} = 47561,94 - 21010,47$	26551,47	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 4^3 F_{tj,Rd} = 59643,00 - 21010,47$	38632,53	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{tj,Rd} = 63415,92 - 36064,41$	27351,51	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 4^2 F_{tj,Rd} = 79524,00 - 36064,41$	43459,59	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{tj,Rd} = 85553,76 - 54150,81$	31402,95	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum 4^1 F_{tj,Rd} = 120922,35 - 54150,81$	66771,54	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t5,Rd} = F_{t1,Rd} h_5/h_1$$

$$F_{t5,Rd} = 5956,54 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t6,Rd} = \text{Min} (F_{t6,Rd,comp})$	18030,15	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(6)} = 18086,40$	18086,40	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(6)} = 42417,58$	42417,58	Ame de la poutre - traction

<b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$B_{p,Rd} = 52115,25$	52115,25	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^5 F_{tj,Rd} = 96244,47 - 60107,35$	36137,12	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^5 F_{tj,Rd} = 78137,50 - 60107,35$	18030,15	Ame de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{tj,Rd} = 34998,71 - 5956,54$	29042,17	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{tj,Rd} = 51030,29 - 5956,54$	45073,75	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{tj,Rd} = 50852,69 - 14945,54$	35907,15	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{tj,Rd} = 70911,29 - 14945,54$	55965,74	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{tj,Rd} = 66706,68 - 26967,01$	39739,66	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{tj,Rd} = 90792,29 - 26967,01$	63825,27	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_5^2 F_{tj,Rd} = 82560,66 - 42020,95$	40539,71	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_5^2 F_{tj,Rd} = 110673,29 - 42020,95$	68652,34	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_5^1 F_{tj,Rd} = 104698,49 - 60107,35$	44591,14	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_5^1 F_{tj,Rd} = 152071,64 - 60107,35$	91964,29	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t6,Rd} = F_{t1,Rd} h_6/h_1$$

$$F_{t6,Rd} = 2924,07 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS**

<b>Nr</b>	<b>h<sub>j</sub></b>	<b>F<sub>tj,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,fc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,ep,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wb,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,Rd</sub></b>	<b>B<sub>p,Rd</sub></b>
1	536,8	18086,40	-	-	18086,40	44942,56	18086,40	52115,25
2	446,8	15053,93	-	-	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25
3	356,8	12021,47	-	-	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25
4	266,8	8989,00	-	-	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25

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>
5	176,8	5956,54	-	-	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25
6	86,8	2924,07	-	-	18086,40	42417,58	18086,40	52115,25

**RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION M<sub>j,Rd</sub>**

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

$$M_{j,Rd} = 24428,2659 \quad [\text{daN}\cdot\text{m}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,60 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,60)$$

**RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT**

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,93 \quad \text{Coefficient réducteur pour les assemblages longs} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 7214,10 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance d'un boulon au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 9043,20 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance d'un boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = 23040,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,ext} = 23040,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance du boulon de rive en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

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	18086,40	-625,37	18086,40	10806,15	10180,78	8627,07
2	18086,40	-625,37	15053,93	8994,34	8368,96	9659,46
3	18086,40	-625,37	12021,47	7182,52	6557,14	10691,86
4	18086,40	-625,37	8989,00	5370,70	4745,32	11724,26
5	18086,40	-625,37	5956,54	3558,88	2933,50	12756,66
6	18086,40	-625,37	2924,07	1747,06	1121,68	13789,05

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

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd}$$

[Tableau 3.4]

$$V_{j,Rd} = 67248,36 \quad [\text{daN}]$$

Résistance de l'assemblage au cisaillement

[Tableau 3.4]

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,11 < 1,00$$

vérifié

(0,11)

### RESISTANCE DES SOUDURES

$$A_w = 138,07 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire de toutes les soudures} \quad [4.5.3.2 (2)]$$

$$A_{wy} = 67,01 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire des soudures horizontales} \quad [4.5.3.2 (2)]$$

$$A_{wz} = 71,06 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Aire des soudures verticales} \quad [4.5.3.2 (2)]$$

$$I_{wy} = 48597,32 \quad [\text{cm}^4] \quad \text{Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.} \quad [4.5.3.2 (5)]$$

$$\sigma_{\perp max} = \tau_{\perp max} = 6807454,46 \quad [\text{daN/m}^2] \quad \text{Contrainte normale dans la soudure} \quad [4.5.3.2 (6)]$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 6464442,19 \quad [\text{daN/m}^2] \quad \text{Contraintes dans la soudure verticale} \quad [4.5.3.2 (5)]$$

$$\tau_{\parallel} = 1012602,45 \quad [\text{daN/m}^2] \quad \text{Contrainte tangentielle} \quad [4.5.3.2 (5)]$$

$$\beta_w = 0,80 \quad \text{Coefficient de corrélation} \quad [4.5.3.2 (7)]$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp max}^2 + 3*(\tau_{\perp max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad 13614908,91 < 36000000,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,38)$$

$$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2}) \quad 13047304,03 < 36000000,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,36)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2} \quad 6807454,46 < 25920000,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,26)$$

### RIGIDITE DE L'ASSEMBLAGE

$$t_{wash} = 4,0 \quad [\text{mm}] \quad \text{Epaisseur de la plaquette} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{head} = 12,0 \quad [\text{mm}] \quad \text{Hauteur de la tête du boulon} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{nut} = 16,0 \quad [\text{mm}] \quad \text{Hauteur de l'écrou du boulon} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$L_b = 56,6 \quad [\text{mm}] \quad \text{Longueur du boulon} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$k_{10} = 4,4 \quad [\text{mm}] \quad \text{Coefficient de rigidité des boulons} \quad [6.3.2.(1)]$$

### 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	60,22	2371,71

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>
1	536,8	∞	∞	39,7	3,6	19,47	1045,33
2	446,8	∞	∞	19,1	3,0	13,53	604,70
3	356,8	∞	∞	19,1	3,0	10,81	385,62
4	266,8	∞	∞	19,1	3,0	8,08	215,61
5	176,8	∞	∞	19,1	3,0	5,36	94,67
6	86,8	∞	∞	29,9	3,4	2,97	25,77

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

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

$$Z_{eq} = 393,8 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 15,3 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

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

$$S_{j,ini} = 49805961,8010 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = 49805961,8010 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

**Classification de l'assemblage par rigidité.**

$$S_{j,rig} = 5106204,7187 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 319137,7949 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \quad \text{RIGIDE}$$



**COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:**

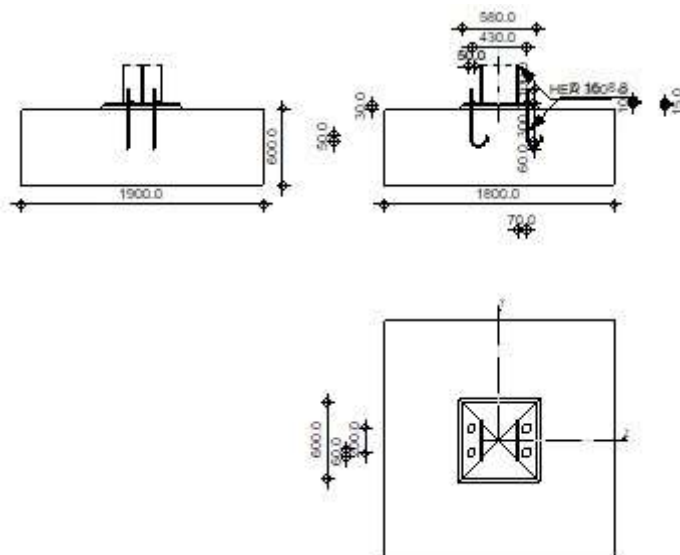
PLATINE D'ABOUT EN TRACTION

**REMARQUES**

Epaisseur de l'aile de la contreplaque inférieure à l'épaisseur de l'aile de la poutre 14,0 [mm] < 14,6 [mm]

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	<b>Ratio</b>	0,60
--	--------------	------

	Autodesk	Robot	Structural	Analysis	Professional	2019		
	<h2 style="text-align: center;">Calcul du Pied de Poteau encastré</h2>							
	Eurocode 3: EN 1993-1-8:2005/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings in concrete							
							Ratio <b>0,61</b>	



## 1. GENERAL

Assemblage N°: 2  
 Nom de l'assemblage : Pied de poteau encastré  
 Noeud de la structure: 5  
 Barres de la structure: 3

## 2. GEOMETRIE

### POTEAU

Profilé: HEA 500  
 Barre N°: 3

$L_c =$	6,120	[m]	Longueur du poteau
$\alpha =$	0,00	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	290,0	[mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	300,0	[mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	8,5	[mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	14,0	[mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	27,0	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	112,53	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau
$I_{yc} =$	18263,50	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau: S 235

$f_{yc} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance  
 $f_{uc} = 36000000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance ultime du matériau

### PLATINE DE PRESCELLEMENT

$l_{pd} =$	580,0	[mm]	Longueur
$b_{pd} =$	600,0	[mm]	Largeur
$t_{pd} =$	15,0	[mm]	Epaisseur

Matériau: S 235  
 $f_{ypd} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance  
 $f_{upd} = 36000000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance ultime du matériau

### **ANCRAGE**

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

Classe = 8.8 Classe de tiges d'ancrage  
 $f_{yb} = 55000000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Limite de plasticité du matériau du boulon  
 $f_{ub} = 80000000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance du matériau du boulon à la traction  
 $d = 16,0$  [mm] Diamètre 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  
 $n_H = 2$  Nombre de colonnes des boulons  
 $n_V = 2$  Nombre de rangées des boulons  
 Ecartement  $e_{Hi} = 430,0$  [mm]  
 Entraxe  $e_{Vi} = 200,0$  [mm]

#### **Dimensions des tiges d'ancrage**

$L_1 = 100,0$  [mm]  
 $L_2 = 300,0$  [mm]  
 $L_3 = 120,0$  [mm]  
 $L_4 = 50,0$  [mm]

#### **Platine**

$l_{wd} = 50,0$  [mm] Longueur  
 $b_{wd} = 60,0$  [mm] Largeur  
 $t_{wd} = 10,0$  [mm] Epaisseur

### **COEFFICIENTS DE MATERIAU**

$\gamma_{M0} = 1,00$  Coefficient de sécurité partiel  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel  
 $\gamma_C = 1,50$  Coefficient de sécurité partiel

### **SEMELLE ISOLEE**

$L = 1800,0$  [mm] Longueur de la semelle  
 $B = 1900,0$  [mm] Largeur de la semelle  
 $H = 600,0$  [mm] Hauteur de la semelle

#### **Béton**

Classe C25/30  
 $f_{ck} = 2500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance caractéristique à la compression

#### **Mortier de calage**

$t_g = 30,0$  [mm] Epaisseur du mortier de calage  
 $f_{ck,g} = 1200000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance caractéristique à la compression  
 $C_{f,d} = 0,30$  Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton

### **SOUDURES**

$a_p = 1,0$  [mm] Plaque principale du pied de poteau

## **3. EFFORTS**

Cas: 19: COMB9 (1+2+3) \*1.35+5\*1.50  
 $N_{j,Ed} = -71200,43$  [daN] Effort axial  
 $V_{j,Ed,z} = 628,06$  [daN] Effort tranchant  
 $M_{j,Ed,y} = -1276,5591$  [daN\*m] Moment fléchissant

$$N_{j,Ed} = -71200,43 \text{ [daN]} \text{ Effort axial}$$

## 4. RESULTATS

### ZONE COMPRIMEE

#### COMPRESSION DU BETON

$$f_{cd} = \frac{1666666,6}{\gamma} \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance de calcul à la compression} \quad \text{EN 1992-1:}[3.1.6.(1)]$$

$$f_j = \frac{2241297,4}{\gamma} \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance de calcul du matériau du joint sous la plaque d'assise} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$c = t_p \sqrt{(f_{yp}/(3*f_j*\gamma_{MO}))}$$

$$c = 28,0 \text{ [mm]} \text{ Largeur de l'appui additionnelle} \quad [6.2.5.(4)]$$

$$b_{eff} = 70,1 \text{ [mm]} \text{ Largeur efficace de la semelle de tronçon T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$l_{eff} = 356,1 \text{ [mm]} \text{ Longueur efficace de la semelle de tronçon en T} \quad [6.2.5.(3)]$$

$$A_{c0} = 249,56 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Zone de contact de la plaque d'assise avec la fondation} \quad \text{EN 1992-1:}[6.7.(3)]$$

$$A_{c1} = 2010,21 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de calcul maximale de la répartition de la charge} \quad \text{EN 1992-1:}[6.7.(3)]$$

$$F_{rd} = A_{c0}*f_{cd}*\sqrt{(A_{c1}/A_{c0})} \leq 3*A_{c0}*f_{cd}$$

$$F_{rd} = 118047,78 \text{ [daN]} \text{ Résistance du béton à l'appui rigide} \quad \text{EN 1992-1:}[6.7.(3)]$$

$$\beta_j = 0,67 \text{ Coefficient réducteur pour la compression} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$f_{jd} = \beta_j*F_{rd}/(b_{eff}*l_{eff})$$

$$f_{jd} = 3153476,69 \text{ [daN/m}^2\text{]} \text{ Résistance de calcul du matériau du joint} \quad [6.2.5.(7)]$$

$$A_{c,n} = 632,11 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de compression efficace} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

$$A_{c,y} = 249,56 \text{ [cm}^2\text{]} \text{ Aire de flexion My} \quad [6.2.8.3.(1)]$$

$$F_{c,Rd,i} = A_{c,i}*f_{jd}$$

$$F_{c,Rd,n} = 199335,07 \text{ [daN]} \text{ Résistance du béton à la compression} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

$$F_{c,Rd,y} = 78698,52 \text{ [daN]} \text{ Résistance du béton à la flexion My} \quad [6.2.8.3.(1)]$$

#### AILE ET AME DU POTEAU EN COMPRESSION

$$CL = 2,00 \text{ Classe de la section} \quad \text{EN 1993-1-1:}[5.5.2]$$

$$W_{pl,y} = 1383,27 \text{ [cm}^3\text{]} \text{ Facteur plastique de la section} \quad \text{EN1993-1-1:}[6.2.5.(2)]$$

$$M_{c,Rd,y} = 32506,8450 \text{ [daN*m]} \text{ Résistance de calcul de la section à la flexion} \quad \text{EN1993-1-1:}[6.2.5]$$

$$h_{f,y} = 276,0 \text{ [mm]} \text{ Distance entre les centres de gravité des ailes} \quad [6.2.6.7.(1)]$$

$$F_{c,fc,Rd,y} = M_{c,Rd,y} / h_{f,y}$$

$$F_{c,fc,Rd,y} = 117778,42 \text{ [daN]} \text{ Résistance de l'aile et de l'âme comprimées} \quad [6.2.6.7.(1)]$$

#### RESISTANCE DE LA SEMELLE DANS LA ZONE COMPRIMEE

$$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$$

$$N_{j,Rd} = 199335,07 \text{ [daN]} \text{ Résistance de la semelle à l'effort axial} \quad [6.2.8.2.(1)]$$

$$F_{c,Rd,y} = \min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$$

$$F_{c,Rd,y} = 78698,52 \text{ [daN]} \text{ Résistance de la semelle dans la zone comprimée} \quad [6.2.8.3]$$

### CONTROLE DE LA RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0 \text{ (6.24)} \quad 0,36 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,36)$$

$$e_y = 17,9 \text{ [mm]} \text{ Excentricité de l'effort axial} \quad [6.2.8.3]$$

$$z_{c,y} = 138,0 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier } F_{c,Rd,y} \quad [6.2.8.1.(2)]$$

$$z_{t,y} = 215,0 \text{ [mm]} \text{ Bras de levier } F_{T,Rd,y} \quad [6.2.8.1.(3)]$$

$$M_{j,Rd,y} = 2497,5074 \text{ [daN*m]} \text{ Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2.8.3]$$

$$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0 \text{ (6.23)} \quad 0,51 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,51)$$

### CISAILLEMENT

#### PRESSION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE

##### Cisaillement par l'effort $V_{j,Ed,z}$

$$\alpha_{d,z} = 1,39 \text{ Coef. d'emplacement des boulons en direction du cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\alpha_{b,z} = 1,00 \text{ Coef. pour les calculs de la résistance } F_{1,vb,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$k_{1,z} = 2,50 \text{ Coef. d'emplacement des boulons perpendiculairement à la direction du cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = k_{1,z} \cdot \alpha_{b,z} \cdot f_{up} \cdot d \cdot t_p / \gamma_{M2}$$

$F_{1,vb,Rd,z} = 17280,00$  [daN] Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise [6.2.2.(7)]

**CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE**

$\alpha_b = 0,28$  Coef. pour les calculs de la résistance  $F_{2,vb,Rd}$  [6.2.2.(7)]

$A_{vb} = 2,01$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section du boulon [6.2.2.(7)]

$f_{ub} = 80000000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance du matériau du boulon à la traction [6.2.2.(7)]

$\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [6.2.2.(7)]

$$F_{2,vb,Rd} = \alpha_b \cdot f_{ub} \cdot A_{vb} / \gamma_{M2}$$

$F_{2,vb,Rd} = 3538,69$  [daN] 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]

$M_{Rk,s} = 33,1752$  [daN\*m] Résistance caractéristique de l'ancrage à la flexion CEB [9.3.2.2]

$l_{sm} = 45,5$  [mm] Longueur du bras de levier CEB [9.3.2.2]

$\gamma_{Ms} = 1,20$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.2]

$$F_{v,Rd,sm} = \alpha_M \cdot M_{Rk,s} / (l_{sm} \cdot \gamma_{Ms})$$

$F_{v,Rd,sm} = 1215,21$  [daN] Résistance du boulon au cisaillement - avec bras de levier CEB [9.3.1]

**RUPTURE DU BETON PAR EFFET DE LEVIER**

$N_{Rk,c} = 19485,57$  [daN] Résistance de calc. pour le soulèvement CEB [9.2.4]

$k_3 = 2,00$  Coef. dépendant de la longueur de l'ancrage CEB [9.3.3]

$\gamma_{Mc} = 2,16$  Coefficient de sécurité partiel CEB [3.2.3.1]

$$F_{v,Rd,cp} = k_3 \cdot N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$$

$F_{v,Rd,cp} = 18042,20$  [daN] Résistance du béton à l'effet de levier CEB [9.3.1]

**ECRASEMENT DU BORD DU BETON**

**Cisaillement par l'effort  $V_{j,Ed,z}$**

$V_{Rk,c,z} = 117042,1$  [daN] Résistance caractéristique du boulon d'ancrage CEB [9.3.4.(a)]

$\psi_{A,V,z} = 0,48$  Coef. dépendant de l'entraxe et de la pince des boulons d'ancrage CEB [9.3.4]

$\psi_{h,V,z} = 1,20$  Coef. dépendant de l'épaisseur de la fondation CEB [9.3.4.(c)]

$\psi_{s,V,z} = 0,95$  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]

$$F_{v,Rd,c,z} = V_{Rk,c,z} \cdot \psi_{A,V,z} \cdot \psi_{h,V,z} \cdot \psi_{s,V,z} \cdot \psi_{ec,V,z} \cdot \psi_{\alpha,V,z} \cdot \psi_{ucr,V,z} / \gamma_{Mc}$$

$F_{v,Rd,c,z} = 29693,43$  [daN] Résistance du béton pour l'écrasement du bord CEB [9.3.1]

**GLISSEMENT DE LA SEMELLE**

$C_{f,d} = 0,30$  Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton [6.2.2.(6)]

$N_{c,Ed} = 71200,43$  [daN] Effort de compression [6.2.2.(6)]

$$F_{f,Rd} = C_{f,d} \cdot N_{c,Ed}$$

$F_{f,Rd} = 21360,13$  [daN] Résistance au glissement [6.2.2.(6)]

**CONTROLE DU CISAILLEMENT**

$$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{f,Rd}$$

$V_{j,Rd,z} = 26220,97$  [daN] Résistance de l'assemblage au cisaillement CEB [9.3.1]

$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$   $0,02 < 1,00$  **vérifié** (0,02)

**SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE**

$\sigma_{\perp} = 10903688,53$  [daN/m<sup>2</sup>] Contrainte normale dans la soudure [4.5.3.(7)]

$\tau_{\perp} = 10903688,53$  [daN/m<sup>2</sup>] Contrainte tangentielle perpendiculaire [4.5.3.(7)]

$\tau_{y||} = 0,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Contrainte tangentielle parallèle à  $V_{j,Ed,y}$  [4.5.3.(7)]

$\tau_{z||} = 479437,59$  [daN/m<sup>2</sup>] Contrainte tangentielle parallèle à  $V_{j,Ed,z}$  [4.5.3.(7)]

$\beta_W = 0,80$  Coefficient dépendant de la résistance [4.5.3.(7)]

$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1)	0,42 < 1,00	<b>vérifié</b>	(0,42)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{y11}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1)	0,61 < 1,00	<b>vérifié</b>	(0,61)
$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{z11}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1)	0,59 < 1,00	<b>vérifié</b>	(0,59)

## **RIGIDITE DE L'ASSEMBLAGE**

### **Moment fléchissant $M_{j,Ed,y}$**

$b_{eff} = 70,1$ [mm]	Largeur efficace de la semelle de tronçon T	[6.2.5.(3)]
$l_{eff} = 356,1$ [mm]	Longueur efficace de la semelle de tronçon en T	[6.2.5.(3)]
$k_{13,y} = E_c \cdot \sqrt{(b_{eff} \cdot l_{eff}) / (1.275 \cdot E)}$		
$k_{13,y} = 18,3$ [mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$l_{eff} = 284,6$ [mm]	Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2	[6.2.6.5]
$m = 68,9$ [mm]	Pince boulon-bord de renforcement	[6.2.6.5]
$k_{15,y} = 0.850 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3 / (m^3)$		
$k_{15,y} = 2,5$ [mm]	Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction	[Tableau 6.11]
$L_b = 191,0$ [mm]	Longueur efficace du boulon d'ancrage	[Tableau 6.11]
$k_{16,y} = 1.6 \cdot A_b / L_b$		
$k_{16,y} = 1,3$ [mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,y} = 0,51$	Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,y} = 14629454,7467$ [daN*m]	Rigidité en rotation initiale	[Tableau 6.12]
$S_{j,rig,y} = 18800661,7647$ [daN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$	SEMI-RIGIDE	[5.2.2.5.(2)]



## **COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:**

SOUDESURES ASSEMBLANT LE FUT DU POTEAU A PLAQUE D'ASSISE

## **5. REMARQUES**

Segment L4 du boulon d'ancrage à crosse trop court. 50,0 [mm] < 80,0 [mm]  
 Epaisseur des soudures assemblant le fût à la dalle trop faible. 1,0 [mm] < 3,0 [mm]

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme** Ratio 0,61

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019 <b>Calcul de l'Encastrement Poutre-Poutre</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	
		Ratio <b>0,88</b>

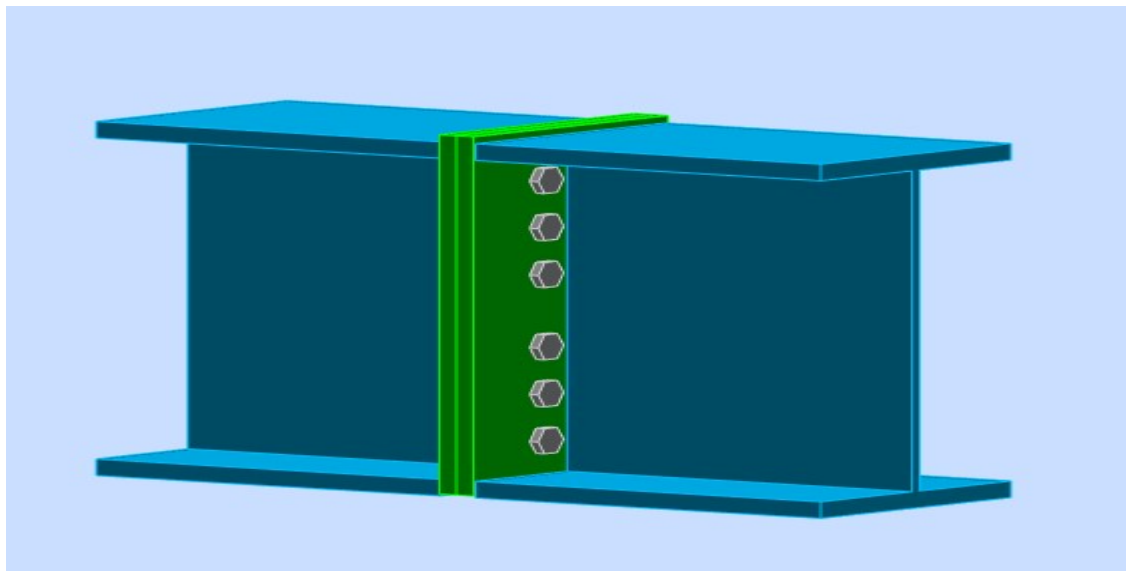
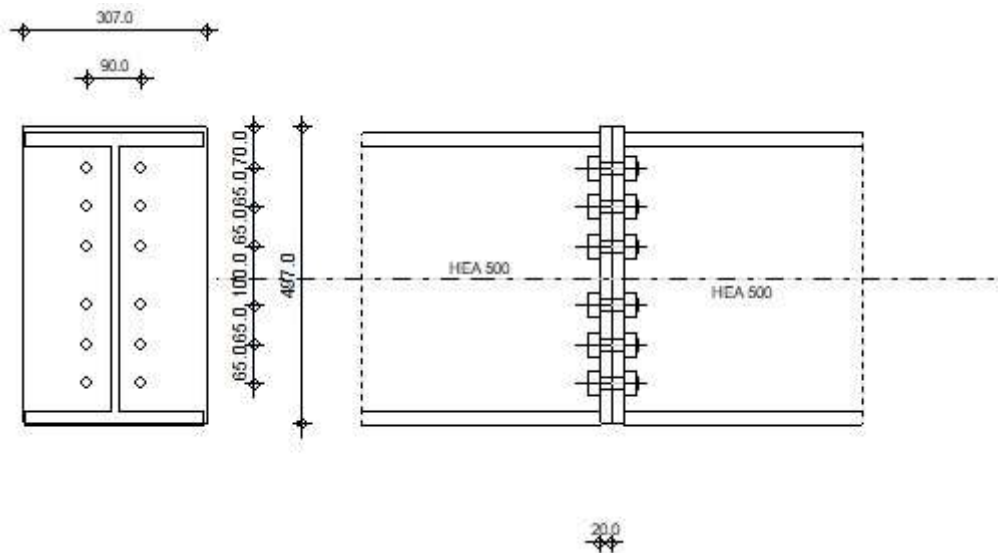


Figure Représentation de l'assemblage poteau poteau.



**GENERAL**

Assemblage N°: 6  
 Nom de l'assemblage : poteau -- poteau

Assemblage N°: 6  
 Noeud de la structure: 2  
 Barres de la structure: 1, 9

## GEOMETRIE

### GAUCHE

#### POUTRE

Profilé: HEA 500  
 Barre N°: 1

$\alpha = -180,00$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_{bl} = 490,0$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_{fbl} = 300,0$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wbl} = 12,0$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre  
 $t_{fbl} = 23,0$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre  
 $r_{bl} = 27,0$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $A_{bl} = 197,54$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre  
 $I_{xbl} = 86974,80$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: S 235  
 $f_{yb} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

### DROITE

#### POUTRE

Profilé: HEA 500  
 Barre N°: 9

$\alpha = -0,00$  [Deg] Angle d'inclinaison  
 $h_{br} = 490,0$  [mm] Hauteur de la section de la poutre  
 $b_{fbr} = 300,0$  [mm] Largeur de la section de la poutre  
 $t_{wbr} = 12,0$  [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre  
 $t_{fbr} = 23,0$  [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre  
 $r_{br} = 27,0$  [mm] Rayon de congé de la section de la poutre  
 $A_{br} = 197,54$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section de la poutre  
 $I_{xbr} = 86974,80$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie de la poutre

Matériau: S 235

$f_{yb} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

### **BOULONS**

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

$d = 20,0$  [mm] Diamètre du boulon  
 Classe = 8.8 Classe du boulon  
 $F_{IRd} = 14112,00$  [daN] Résistance du boulon à la traction  
 $n_h = 2$  Nombre de colonnes des boulons  
 $n_v = 6$  Nombre de rangées des boulons  
 $h_1 = 70,0$  [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about  
 Ecartement  $e_i = 90,0$  [mm]  
 Entraxe  $p_i = 65,0; 65,0; 100,0; 65,0; 65,0$  [mm]

### **PLATINE**

$h_{pr} = 497,0$  [mm] Hauteur de la platine  
 $b_{pr} = 307,0$  [mm] Largeur de la platine  
 $t_{pr} = 20,0$  [mm] Epaisseur de la platine  
 Matériau: S 235  
 $f_{ypr} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

### **SOUDURES D'ANGLE**

$a_w = 15,0$  [mm] Soudure âme  
 $a_r = 28,0$  [mm] Soudure semelle

### **COEFFICIENTS DE MATERIAU**

$\gamma_{M0} = 1,00$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M1} = 1,00$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M3} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]

### **EFFORTS**

#### **Etat limite: ultime**

Cas: 19: COMB9 (1+2+3) \*1.35+5\*1.50

$M_{b1,Ed} = -21163,8455$  [daN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite

$V_{b1,Ed} = -10294,03$  [daN] Effort tranchant dans la poutre droite

$M_{b1,Ed} = -21163,8455$  [daN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite

$N_{b1,Ed} = -31385,48$  [daN] Effort axial dans la poutre droite

## RESULTATS

### RESISTANCES DE LA POUTRE

#### COMPRESSION

$A_b = 197,54$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section EN1993-1-1:[6.2.4]

$$N_{cb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$N_{cb,Rd} = 464219,0$  [daN] Résistance de calcul de la section à la compression EN1993-1-1:[6.2.4]

#### CISAILLEMENT

$A_{vb} = 74,72$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$V_{cb,Rd} = 101378,09$  [daN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$   $0,10 < 1,00$  **vérifié** (0,10)

#### FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 3948,86$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

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

$M_{b,pl,Rd} = 92798,2$  [daN\*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

#### FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 3948,86$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

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

$M_{cb,Rd} = 92798,210$  [daN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

#### AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 92798,210$  [daN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_f = 467,0$  [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

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

$F_{c,fb,Rd} = 198711,37$  [daN] Résistance de l'aile et de l'âme comprimées [6.2.6.7.(1)]

### PARAMETRES GEOMETRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

#### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

r	m	n <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	22,0	-	108,5	-	65,0	138,4	176,2	138,4	176,2	134,2	96,9	96,9	96,9
2	22,0	-	108,5	-	65,0	138,4	223,7	138,4	223,7	130,0	65,0	65,0	65,0
3	22,0	-	108,5	-	82,5	138,4	223,7	138,4	223,7	165,0	82,5	82,5	82,5
4	22,0	-	108,5	-	82,5	138,4	223,7	138,4	223,7	165,0	82,5	82,5	82,5
5	22,0	-	108,5	-	65,0	138,4	223,7	138,4	223,7	130,0	65,0	65,0	65,0
6	22,0	-	108,5	-	65,0	138,4	223,7	138,4	223,7	134,2	144,4	134,2	144,4

- 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**

$N_{j,Rd} = \text{Min} ( N_{cb,Rd} )$

$N_{j,Rd} = 464219,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la compression} \quad [6.2]$

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

**RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION**

$F_{t,Rd} = \frac{14112,0}{0}$  [daN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$B_{p,Rd} = \frac{32572,0}{3}$  [daN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$  – résistance de la semelle du poteau à la flexion

$F_{t,wc,Rd}$  – résistance de l'âme du poteau à la traction

$F_{t,ep,Rd}$  – résistance de la platine fléchie à la flexion

$F_{t,wb,Rd}$  – résistance de l'âme à la traction

$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd})$  [6.2.6.4] , [Tab.6.2]

$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$  [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>
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	28224,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(1)} = 28224,00$	28224,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 39033,04$	39033,04	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 65144,07$	65144,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} = 198711,37$	198711,37	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>
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	17421,68	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(2)} = 28224,00$	28224,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 39033,04$	39033,04	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 65144,07$	65144,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 198711,37 - 28224,00$	170487,37	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 46708,38 - 28224,00$	18484,38	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 45645,68 - 28224,00$	17421,68	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>
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	23265,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(3)} = 28224,00$	28224,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 39033,04$	39033,04	Ame de la poutre - traction

<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$B_{p,Rd} = 65144,07$	65144,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^2 F_{ij,Rd} = 198711,37 - 45645,68$	153065,69	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 45346,34 - 17421,68$	27924,65	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 41595,00 - 17421,68$	24173,32	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 70211,25 - 45645,68$	24565,56	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 68910,68 - 45645,68$	23265,00	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 19242,07 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4**

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	27287,93	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(4)} = 28224,00$	28224,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 39033,04$	39033,04	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 65144,07$	65144,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 198711,37 - 64887,75$	133823,62	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 47005,73 - 19242,07$	27763,67	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 46530,00 - 19242,07$	27287,93	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 68849,20 - 36663,75$	32185,45	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 64860,00 - 36663,75$	28196,25	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 93714,11 - 64887,75$	28826,36	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 92175,68 - 64887,75$	27287,93	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 12332,89 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t5,Rd} = \text{Min} (F_{t5,Rd,comp})$	28224,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(5)} = 28224,00$	28224,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 39033,04$	39033,04	Ame de la poutre - traction

<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$B_{p,Rd} = 65144,07$	65144,07	Boulons cisaillement/poinçonnement au
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 198711,37 - 77220,64$	121490,74	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 45346,34 - 12332,89$	33013,45	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 41595,00 - 12332,89$	29262,11	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 68849,20 - 31574,95$	37274,25	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 64860,00 - 31574,95$	33285,05	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 90692,67 - 48996,64$	41696,04	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 83190,00 - 48996,64$	34193,36	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 115557,58 - 77220,64$	38336,95	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 110505,68 - 77220,64$	33285,05	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t5,Rd} = F_{t1,Rd} h_5/h_1$$

$$F_{t5,Rd} = 7841,92 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t6,Rd} = \text{Min} (F_{t6,Rd,comp})$	28224,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,ep,Rd(6)} = 28224,00$	28224,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(6)} = 39033,04$	39033,04	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 65144,07$	65144,07	Boulons cisaillement/poinçonnement au
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 198711,37 - 85062,55$	113648,82	Aile de la poutre - compression
$F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 51213,14 - 7841,92$	43371,22	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 59042,73 - 7841,92$	51200,81	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 74716,01 - 20174,81$	54541,20	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 82307,73 - 20174,81$	62132,92	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 98218,87 - 39416,87$	58802,00	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 105572,73 - 39416,87$	66155,86	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 120062,34 - 56838,55$	63223,79	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 123902,73 - 56838,55$	67064,17	Ame de la poutre - traction - groupe

$F_{t6,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t6,Rd,comp}$	Composant
$F_{t,ep,Rd}(6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1) - \sum_5^1 F_{tj,Rd} = 144927,25 - 85062,55$	59864,70	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd}(6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1) - \sum_5^1 F_{tj,Rd} = 151218,41 - 85062,55$	66155,86	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t6,Rd} = F_{t1,Rd} h_6/h_1$$

$$F_{t6,Rd} = 3350,95 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS**

Nr	$h_j$	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	408,5	28224,00	-	-	28224,00	39033,04	28224,00	65144,07
2	343,5	17421,68	-	-	28224,00	39033,04	28224,00	65144,07
3	278,5	19242,07	-	-	28224,00	39033,04	28224,00	65144,07
4	178,5	12332,89	-	-	28224,00	39033,04	28224,00	65144,07
5	113,5	7841,92	-	-	28224,00	39033,04	28224,00	65144,07
6	48,5	3350,95	-	-	28224,00	39033,04	28224,00	65144,07

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

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

$$M_{j,Rd} = 26126,7667 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,81 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,81)$$

**VERIFICATION DE L'INTERACTION M+N**

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} + N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1 \quad [6.2.5.1.(3)]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} + N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \quad 0,88 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,88)$$

**RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE AU CISAILLEMENT**

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,98 \quad \text{Coefficient réducteur pour les assemblages longs} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 11882,76 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance d'un boulon au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$\alpha_v =$	0,60		Coefficient pour le calcul de $F_{v,Rd}$	[Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,max} =$	14112,0 0	[daN ]	Résistance d'un boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,int} =$	21163,6 4	[daN ]	Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale	[Tableau 3.4]
$F_{b,Rd,ext} =$	28800,0 0	[daN ]	Résistance du boulon de rive en pression diamétrale	[Tableau 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	28224,00	-5230,91	28224,00	22862,70	17631,78	13160,85
2	28224,00	-5230,91	17421,68	14112,34	8881,43	18423,77
3	28224,00	-5230,91	19242,07	15586,93	10356,02	17536,88
4	28224,00	-5230,91	12332,89	9990,19	4759,27	20903,05
5	28224,00	-5230,91	7841,92	6352,30	1121,39	23091,06
6	28224,00	-5230,91	3350,95	2714,42	-2516,49	23765,52

$F_{tj,Rd,N}$  – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

$F_{tj,Ed,N}$  – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

$F_{tj,Rd,M}$  – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

$F_{tj,Ed,M}$  – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

$F_{tj,Ed}$  – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

$F_{vj,Rd}$  – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd} \quad \text{[Tableau 3.4]}$$

$$V_{j,Rd} = 116881,13 \quad \text{[daN]} \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad \text{[Tableau 3.4]}$$

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,09 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,09)$$

### RESISTANCE DES SOUDURES

$$A_w = 248,04 \quad \text{[cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de toutes les soudures} \quad \text{[4.5.3.2 (2)]}$$

$$A_{wy} = 131,04 \quad \text{[cm}^2\text{]} \quad \text{Aire des soudures horizontales} \quad \text{[4.5.3.2 (2)]}$$

$$A_{wz} = 117,00 \quad \text{[cm}^2\text{]} \quad \text{Aire des soudures verticales} \quad \text{[4.5.3.2 (2)]}$$

$A_w =$	248,04	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2 (2)]
$I_{wy} =$	71608,51	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2 (5)]
$\sigma_{\perp \max} = \tau_{\perp \max}$ $ax =$	5241616,66	[daN/m <sup>2</sup> ]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2 (6)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	4969936,26	[daN/m <sup>2</sup> ]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2 (5)]
$\tau_{\parallel} =$	879831,25	[daN/m <sup>2</sup> ]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2 (5)]
$\beta_w =$	0,80		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2 (7)]

$\sqrt{[\sigma_{\perp \max}^2 + 3^*(\tau_{\perp \max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	10483233,31 < 36000000,00	vérifié	(0,29)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3^*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	10056011,87 < 36000000,00	vérifié	(0,28)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$	5241616,66 < 25920000,00	vérifié	(0,20)

### **RIGIDITE DE L'ASSEMBLAGE**

$t_{wash} =$	4,0	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	14,0	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	20,0	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	68,0	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	5,8	[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	65,16	1949,09
1	408,5	∞	∞	65,2	4,9	20,01	817,49
2	343,5	∞	∞	43,8	4,6	15,67	538,39
3	278,5	∞	∞	55,6	4,8	13,30	370,29
4	178,5	∞	∞	55,6	4,8	8,52	152,11
5	113,5	∞	∞	43,8	4,6	5,18	58,78
6	48,5	∞	∞	90,4	5,1	2,48	12,03

$$K_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$Z_{eq} = \sum_j K_{eff,j} h_j^2 / \sum_j K_{eff,j} h_j$$

$$Z_{eq} = 299,1 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 21,8 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

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

$$S_{j,ini} = 40930870,5549 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,69 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

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

$$S_j = 24189701,5418 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

**Classification de l'assemblage par rigidité.**

$$S_{j,rig} = 35813152,9412 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$



$$S_{j,pin} = 2238322,0588 \quad [daN*m] \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \text{ RIGIDE}$$

**COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:**

AME DE LA POUTRE EN TRACTION

<b>Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme</b>	Ratio	0,88
--	-------	------

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019	
	<b>Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	Ratio <b>0,89</b>

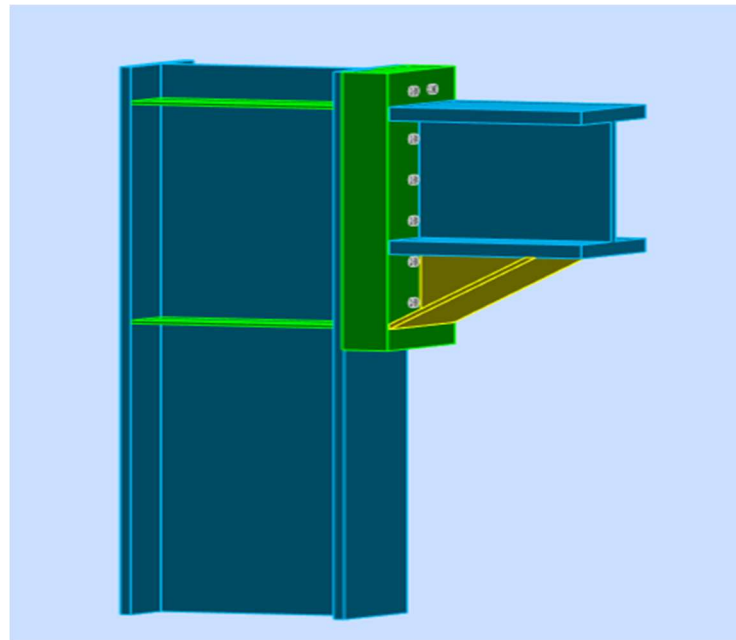
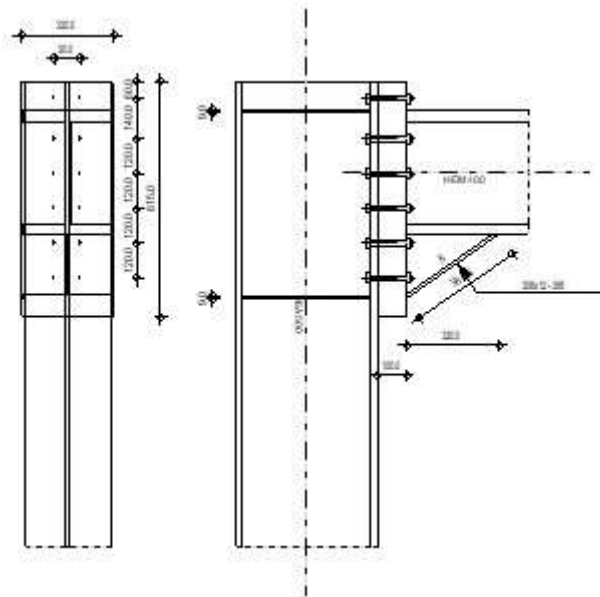


Figure Représentation de l'assemblage poteau poutre.



## Général

Assemblage N°:	1
Nom de l'assemblage :	Angle de portique
Noeud de la structure:	4
Barres de la structure:	2, 26

## Géométrie

## Poteau

Profilé:	HEA 500		
Barre N°:	2		
$\alpha =$	-90,00	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	490,0	[mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	300,0	[mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	12,0	[mm]	Épaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	23,0	[mm]	Épaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	27,0	[mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	197,54	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du poteau
$I_{xc} =$	86974,80	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la section du poteau
Matériau:	S 235		
$f_{yc} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

## Poutre

Profilé:	HEM 400		
Barre N°:	26		
$\alpha =$	-0,00	[Deg]	Angle d'inclinaison
$h_b =$	432,0	[mm]	Hauteur de la section de la poutre
$b_f =$	307,0	[mm]	Largeur de la section de la poutre
$t_{wb} =$	21,0	[mm]	Épaisseur de l'âme de la section de la poutre
$t_{fb} =$	40,0	[mm]	Épaisseur de l'aile de la section de la poutre
$r_b =$	27,0	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$r_b =$	27,0	[mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$A_b =$	325,78	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section de la poutre
$I_{xb} =$	104119,00	[cm <sup>4</sup> ]	Moment d'inertie de la poutre
Matériau:	S 235		
$f_{yb} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

## Boulons

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

$d =$	16,0	[mm]	Diamètre du boulon
Classe =	10.9		Classe du boulon

$d =$	16,0	[mm]	Diamètre du boulon
$F_{tRd} =$	11304,0 0	[daN]	Résistance du boulon à la traction
$n_h =$	2		Nombre de colonnes des boulons
$n_v =$	6		Nombre de rangées des boulons
$h_1 =$	60,0	[mm]	Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
Ecartement $e_i =$	90,0	[mm]	
Entraxe $p_i =$	140,0; 120,0; 120,0; 120,0; 120,0	[mm]	

### Platine

$h_p =$	815,0	[mm]	Hauteur de la platine
$b_p =$	320,0	[mm]	Largeur de la platine
$t_p =$	100,0	[mm]	Epaisseur de la platine
Matériau:	S 235		
$f_{yp} =$	21500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

### Jarret inférieur

$w_d =$	308,0	[mm]	Largeur de la platine
$t_{fd} =$	12,0	[mm]	Epaisseur de l'aile
$h_d =$	220,0	[mm]	Hauteur de la platine
$t_{wd} =$	8,0	[mm]	Epaisseur de l'âme
$l_d =$	320,0	[mm]	Longueur de la platine
$\alpha =$	34,51	[Deg]	Angle d'inclinaison
Matériau:	S 235		
$f_{ybu} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

### Raidisseur poteau

#### Supérieur

$h_{su} =$	444,0	[mm]	Hauteur du raidisseur
$b_{su} =$	144,0	[mm]	Largeur du raidisseur
$t_{hu} =$	9,0	[mm]	Epaisseur du raidisseur
Matériau:	S 235		
$f_{ysu} =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

#### Inférieur

$h_{sd} = 444,0$  [mm] Hauteur du raidisseur  
 $b_{sd} = 144,0$  [mm] Largeur du raidisseur  
 $t_{hd} = 9,0$  [mm] Epaisseur du raidisseur

Matériau: S 235

$f_{ysu} = 23500000,00$  [daN/m<sup>2</sup>] Résistance

### Soudures d'angle

$a_w = 15,0$  [mm] Soudure âme  
 $a_r = 28,0$  [mm] Soudure semelle  
 $a_s = 15,0$  [mm] Soudure du raidisseur  
 $a_{fd} = 5,0$  [mm] Soudure horizontale

### Coefficients de matériau

$\gamma_{M0} = 1,00$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M1} = 1,00$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M2} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]  
 $\gamma_{M3} = 1,25$  Coefficient de sécurité partiel [2.2]

### Efforts

#### Etat limite: ultime

Cas: 11: COMB1 (1+2) \*1.35+5\*1.50

$M_{b1,Ed} = 31748,3201$  [daN\*m] Moment fléchissant dans la poutre droite  
 $V_{b1,Ed} = 25846,05$  [daN] Effort tranchant dans la poutre droite  
 $N_{b1,Ed} = 7905,24$  [daN] Effort axial dans la poutre droite  
 $M_{c1,Ed} = 10412,0436$  [daN\*m] Moment fléchissant dans la poteau inférieur  
 $V_{c1,Ed} = 2579,71$  [daN] Effort tranchant dans le poteau inférieur  
 $N_{c1,Ed} = -54982,28$  [daN] Effort axial dans le poteau inférieur  
 $M_{c2,Ed} = -21336,2764$  [daN\*m] Moment fléchissant dans la poteau supérieur  
 $V_{c2,Ed} = -10484,95$  [daN] Effort tranchant dans le poteau supérieur  
 $N_{c2,Ed} = -29136,23$  [daN] Effort axial dans le poteau supérieur

### Résultats

#### Résistances de la poutre

##### TRACTION

$A_b = 325,78$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section EN1993-1-1:[6.2.3]

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

$N_{tb,Rd} = 765583,0$  [daN] Résistance de calcul de la section à la traction EN1993-1-1:[6.2.3]

### CISAILLEMENT

$A_{vb} = 127,78$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

$$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$$

$V_{cb,Rd} = 173368,4$  [daN] Résistance de calcul de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]

$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$   $0,15 < 1,00$  **vérifié** (0,15)

### FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)

$W_{plb} = 5570,62$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

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

$M_{b,pl,Rd} = 130909,5$  [daN\*m] Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts) EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

### FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} = 11450,58$  [cm<sup>3</sup>] Facteur plastique de la section EN1993-1-1:[6.2.5]

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

$M_{cb,Rd} = 269088,562$  [daN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

### AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 269088,562$  [daN\*m] Résistance de calcul de la section à la flexion EN1993-1-1:[6.2.5]

$h_f = 624,7$  [mm] Distance entre les centres de gravité des ailes [6.2.6.7.(1)]

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

$F_{c,fb,Rd} = 430735,48$  [daN] 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:

$\beta = 0,00$  [Deg] Angle entre la platine d'about et la poutre

$\gamma = 34,51$  [Deg] Angle d'inclinaison du renfort

$b_{eff,c,w} = 435,4$  [mm] Largeur efficace de l'âme à la compression [6.2.6.2.(1)]

$A_{vb} = 110,18$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section au cisaillement EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]

Pression diamétrale:

$\beta =$	0,00	[Deg]	Angle entre la platine d'about et la poutre	
$\omega =$	0,73		Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,E}$ $d =$	4300702 ,93	[daN/ m <sup>2</sup> ]	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)]

$$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$F_{c,wb,Rd1} =$	227015,61	[daN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]
------------------	-----------	-------	----------------------------------	---------------

Flambement:

$d_{wb} =$	298,0	[mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	0,53		Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\rho =$	1,00		Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]

$$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$$

$F_{c,wb,Rd2} =$	227015,61	[daN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]
------------------	-----------	-------	----------------------------------	---------------

Résistance de l'aile du renfort

$$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 \cdot \gamma_{M0})$$

$F_{c,wb,Rd3} =$	108217,50	[daN]	Résistance de l'aile du renfort	[6.2.6.7.(1)]
------------------	-----------	-------	---------------------------------	---------------

Résistance finale:

$$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$$

$F_{c,wb,Rd,low} =$	108217,50	[daN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]
---------------------	-----------	-------	----------------------------------	---------------

## Résistances du poteau

### PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$M_{b1,Ed} =$	31748,3201	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite	[5.3.(3)]
$M_{b2,Ed} =$	0,0000	[daN*m]	Moment fléchissant dans la poutre gauche	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed} =$	2579,71	[daN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed} =$	-10484,95	[daN]	Effort tranchant dans le poteau supérieur	[5.3.(3)]
$z =$	614,7	[mm]	Bras de levier	[6.2.5]

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$

$V_{wp,Ed} =$	45114,57	[daN]	Panneau d'âme en cisaillement	[5.3.(3)]
---------------	----------	-------	-------------------------------	-----------

$A_{vs} =$	74,72	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de cisaillement de l'âme du poteau	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$A_{vc} =$	74,72	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$d_s =$	606,0	[mm]	Distance entre les centres de gravités des raidisseurs	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,fc,Rd} =$	932,3 625	[daN *m]	Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} =$	142,7 625	[daN *m]	Résistance plastique du raidisseur transversal supérieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sti,Rd} =$	142,7 625	[daN *m]	Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0.9 ( A_{vs} * f_{y,wc} ) / ( \sqrt{3} \gamma_{M0} ) + \text{Min}( 4 M_{pl,fc,Rd} / d_s , ( 2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd} ) / d_s )$				
$V_{wp,Rd} =$	94788,5 5	[da N]	Résistance du panneau d'âme au cisaillement	[6.2.6.1]

$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$	$0,48 < 1,00$	<b>vérifié</b>	(0,48)
----------------------------------	---------------	----------------	--------

**AME EN COMPRESSION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE**

Pression diamétrale:

$t_{wc} =$	12,0	[mm]	Epaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,w} =$	543,8	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} =$	74,72	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0,71		Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	6258607 ,71	[daN/ m <sup>2</sup> ]	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)]
$A_s =$	25,92	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1:[6.2.4]

$$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,w} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$$

$F_{c,wc,Rd1} =$	169573,83	[daN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]
------------------	-----------	-------	-------------------------------	---------------

Flambement:

$d_{wc} =$	390, 0	[mm ]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	1,20		Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\rho =$	0,70		Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$$d_{wc} = 390,0 \text{ [mm]} \quad \text{Hauteur de l'âme comprimée} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

$$\lambda_s = 4,41 \quad \text{Elancement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$\chi_s = 1,00 \quad \text{Coefficient de flambement du raidisseur} \quad \text{EN1993-1-1:[6.3.1.2]}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$$

$$F_{c,wc,Rd2} = 136550,64 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

Résistance finale:

$$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$$

$$F_{c,wc,Rd} = 136550,64 \text{ [daN]} \quad \text{Résistance de l'âme du poteau} \quad [6.2.6.2.(1)]$$

## Paramètres géométriques de l'assemblage

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - SEMELLE DU POTEAU

Nr	m	n	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,c</sub> p	l <sub>eff,n</sub> c	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,c</sub> p,g	l <sub>eff,n</sub> c,g	l <sub>eff,1</sub> .g	l <sub>eff,2</sub> .g
1	17,4	-	105,0	-	120	109,3	98,8	98,8	98,8	0,0	0,0	0,0	0,0
2	17,4	-	105,0	-	120	109,3	139,2	109,3	139,2	174,7	98,8	98,8	98,8
3	17,4	-	105,0	-	120	109,3	208	109,3	208	240	120	120	120
4	17,4	-	105,0	-	120	109,3	208	109,3	208	240	120	120	120
5	17,4	-	105,0	-	120	109,3	208	109,3	208	240	120	120	120
6	17,4	-	105,0	-	120	109,3	139,2	109,3	139,2	174,7	98,8	98,8	98,8

### LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m <sub>x</sub>	e	e <sub>x</sub>	p	l <sub>eff,c</sub> p	l <sub>eff,nc</sub>	l <sub>eff,1</sub>	l <sub>eff,2</sub>	l <sub>eff,c</sub> p,g	l <sub>eff,nc,g</sub>	l <sub>eff,1</sub> .g	l <sub>eff,2</sub> .g
1	17,5	83	115,0	60,0	120	52,3	99,1	52,3	99,1	-	-	-	-

r	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>
2	17,5	-	115,0	-	120,0	110,1	140,2	110,1	140,2	175,1	93,3	93,3	93,3
3	17,5	-	115,0	-	120,0	110,1	213,9	110,1	213,9	240,0	120,0	120,0	120,0
4	17,5	-	115,0	-	120,0	110,1	213,9	110,1	213,9	240,0	120,0	120,0	120,0
5	17,5	-	115,0	-	120,0	110,1	213,9	110,1	213,9	240,0	120,0	120,0	120,0
6	17,5	-	115,0	-	120,0	110,1	213,9	110,1	213,9	175,1	166,9	166,9	166,9

- 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

### Résistance de l'assemblage à la traction

$F_{t,Rd} = \frac{11304,0}{0}$  [daN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$B_{p,Rd} = \frac{29966,2}{7}$  [daN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$N_{j,Rd} = \text{Min} (N_{tb,Rd} , n_v n_h F_{t,Rd} , n_v n_h B_{p,Rd})$

$N_{j,Rd} = 135648,00$  [daN] 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)

## Résistance de l'assemblage à la flexion

$F_{t,Rd} = \frac{11304,0}{0}$  [daN] Résistance du boulon à la traction [Tableau 3.4]

$B_{p,Rd} = \frac{29966,2}{7}$  [daN] Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement [Tableau 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$  – résistance de la semelle du poteau à la flexion

$F_{t,wc,Rd}$  – résistance de l'âme du poteau à la traction

$F_{t,ep,Rd}$  – résistance de la platine fléchie à la flexion

$F_{t,wb,Rd}$  – résistance de l'âme à la traction

$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd} , F_{T,2,fc,Rd} , F_{T,3,fc,Rd})$  [6.2.6.4] , [Tab.6.2]

$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$  [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

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t1,Rd,comp}$	Composant
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	22608,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(1)} = 22608,00$	22608,00	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(1)} = 27409,82$	27409,82	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(1)} = 22608,00$	22608,00	Platine d'about - traction
$B_{p,Rd} = 59932,54$	59932,54	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta = 94788,55$	94788,55	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} = 136550,64$	136550,64	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} = 430735,48$	430735,48	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} = 108217,50$	108217,50	Ame de la poutre - compression

### RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formule	$F_{t2,Rd,comp}$	Composant
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	22608,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(2)} = 22608,00$	22608,00	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(2)} = 30230,52$	30230,52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(2)} = 22608,00$	22608,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 54354,44$	54354,44	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 59932,54$	59932,54	Boulons au cisaillement/poinçonnement

<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^1 F_{ti,Rd} = 94788,55 - 22608,00$	72180,55	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 136550,64 - 22608,00$	113942,64	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 430735,48 - 22608,00$	408127,48	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 108217,50 - 22608,00$	85609,50	Ame de la poutre - compression

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h_2/h_1$$

$$F_{t2,Rd} = 17985,49 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t3,Rd} = \text{Min}(F_{t3,Rd,comp})$	22608,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(3)} = 22608,00$	22608,00	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(3)} = 30230,52$	30230,52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(3)} = 22608,00$	22608,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 54354,44$	54354,44	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 59932,54$	59932,54	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{ti,Rd} = 94788,55 - 40593,49$	54195,06	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 136550,64 - 40593,49$	95957,15	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 430735,48 - 40593,49$	390142,00	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 108217,50 - 40593,49$	67624,01	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 17985,49$	27230,51	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 57270,04 - 17985,49$	39284,55	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 17985,49$	27230,51	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 57270,04 - 17985,49$	39284,55	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 17985,49$	27230,51	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 105264,35 - 17985,49$	87278,86	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 17985,49$	27230,51	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 105264,35 - 17985,49$	87278,86	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 14023,34 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4**

<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	22 608, 00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(4)} = 22608,00$	22 608, 00	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(4)} = 30230,52$	30 230, 52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(4)} = 22608,00$	22 608, 00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 54354,44$	54 354, 44	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 59932,54$	59 932, 54	Boulons cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{ti,Rd} = 94788,55 - 54616,83$	40 171, 72	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 136550,64 - 54616,83$	81 933, 81	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 430735,48 - 54616,83$	376 118, 6 6	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 108217,50 - 54616,83$	53 600, 67	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 14023,34$	31 192, 66	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 61960,67 - 14023,34$	47 937, 33	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 32008,83$	35 815, 17	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 81182,83 - 32008,83$	49 174, 00	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 32008,83$	35 815, 17	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 81182,83 - 32008,83$	49 174, 00	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 14023,34$	31 192, 66	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 118440,00 - 14023,34$	104 416, 6 6	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 32008,83$	35 815, 17	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 164484,35 - 32008,83$	132 475, 5 2	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 32008,83$	35 815, 17	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 164484,35 - 32008,83$	132 475, 5 2	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 10061,19 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t5,Rd} = \text{Min} (F_{t5,Rd,comp})$	22608,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(5)} = 22608,00$	22608,00	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(5)} = 30230,52$	30230,52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(5)} = 22608,00$	22608,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(5)} = 54354,44$	54354,44	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 59932,54$	59932,54	Boulons cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^4 F_{ti,Rd} = 94788,55 - 64678,01$	30110,53	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 136550,64 - 64678,01$	71872,62	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 430735,48 - 64678,01$	366057,47	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^4 F_{tj,Rd} = 108217,50 - 64678,01$	43539,49	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 10061,19$	35154,81	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 61960,67 - 10061,19$	51899,48	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 24084,52$	43739,48	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 84760,63 - 24084,52$	60676,10	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 42070,01$	48361,99	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 99059,28 - 42070,01$	56989,26	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 42070,01$	48361,99	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 99059,28 - 42070,01$	56989,26	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 10061,19$	35154,81	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum 4^4 F_{tj,Rd} = 118440,00 - 10061,19$	108378,81	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 24084,52$	43739,48	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum 3^3 F_{tj,Rd} = 177660,00 - 24084,52$	153575,48	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 42070,01$	48361,99	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 223704,35 - 42070,01$	181634,34	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 42070,01$	48361,99	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum 2^2 F_{tj,Rd} = 223704,35 - 42070,01$	181634,34	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t5,Rd} = F_{t1,Rd} h_5/h_1$$

$$F_{t5,Rd} = 6099,03 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**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>
$F_{t6,Rd} = \text{Min} (F_{t6,Rd,comp})$	22608,00	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(6)} = 22608,00$	22608,00	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(6)} = 30230,52$	30230,52	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(6)} = 22608,00$	22608,00	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(6)} = 54354,44$	54354,44	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 59932,54$	59932,54	Boulons cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^5 F_{tj,Rd} = 94788,55 - 70777,05$	24011,50	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^5 F_{tj,Rd} = 136550,64 - 70777,05$	65773,59	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^5 F_{tj,Rd} = 430735,48 - 70777,05$	359958,44	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^5 F_{tj,Rd} = 108217,50 - 70777,05$	37440,45	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 6099,03$	39116,97	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 57270,04 - 6099,03$	51171,01	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 16160,22$	51663,78	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{tj,Rd} = 81182,83 - 16160,22$	65022,61	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 30183,56$	60248,44	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{tj,Rd} = 99059,28 - 30183,56$	68875,72	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 5^2 F_{tj,Rd} = 113040,00 - 48169,05$	64870,95	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum 5^2 F_{tj,Rd} = 110019,93 - 48169,05$	61850,89	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 45216,00 - 6099,03$	39116,97	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum 5^5 F_{tj,Rd} = 141601,87 - 6099,03$	135502,83	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{tj,Rd} = 67824,00 - 16160,22$	51663,78	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum 5^4 F_{tj,Rd} = 200821,87 - 16160,22$	184661,65	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{tj,Rd} = 90432,00 - 30183,56$	60248,44	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum 5^3 F_{tj,Rd} = 260041,87 - 30183,56$	229858,31	Ame de la poutre - traction - groupe

<b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - Formule</b>	<b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b>	<b>Composant</b>
$F_{t,ep,Rd}(6 + 5 + 4 + 3 + 2) - \sum 5^2 F_{tj,Rd} = 113040,00 - 48169,05$	64870,95	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd}(6 + 5 + 4 + 3 + 2) - \sum 5^2 F_{tj,Rd} = 306086,22 - 48169,05$	$\frac{257917,1}{7}$	Ame de la poutre - traction - groupe

**Réduction supplémentaire de la résistance d'une rangée de boulons**

$$F_{t6,Rd} = F_{t1,Rd} h_6/h_1$$

$$F_{t6,Rd} = 2136,88 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance réduite d'une rangée de boulon} \quad [6.2.7.2.(9)]$$

**TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS**

<b>N<sub>r</sub></b>	<b>h<sub>j</sub></b>	<b>F<sub>tj,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,fc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wc,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,ep,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,wb,Rd</sub></b>	<b>F<sub>t,Rd</sub></b>	<b>B<sub>p,Rd</sub></b>
1	684,7	22608,00	22608,00	27409,82	22608,00	-	22608,00	59932,54
2	544,7	17985,49	22608,00	30230,52	22608,00	54354,44	22608,00	59932,54
3	424,7	14023,34	22608,00	30230,52	22608,00	54354,44	22608,00	59932,54
4	304,7	10061,19	22608,00	30230,52	22608,00	54354,44	22608,00	59932,54
5	184,7	6099,03	22608,00	30230,52	22608,00	54354,44	22608,00	59932,54
6	64,7	2136,88	22608,00	30230,52	22608,00	54354,44	22608,00	59932,54

**RÉSISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION M<sub>j,Rd</sub>**

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

$$M_{j,Rd} = 35563,8680 \quad [\text{daN*m}] \quad \text{Résistance de l'assemblage à la flexion} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,89 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,89)$$

**Résistance de l'assemblage au cisaillement**

$$\alpha_v = 0,60 \quad \text{Coefficient pour le calcul de } F_{v,Rd} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$\beta_{Lf} = 0,88 \quad \text{Coefficient réducteur pour les assemblages longs} \quad [3.8]$$

$$F_{v,Rd} = 8504,92 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance d'un boulon au cisaillement} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{t,Rd,max} = 11304,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance d'un boulon à la traction} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$$F_{b,Rd,int} = 26496,00 \quad [\text{daN}] \quad \text{Résistance du boulon intérieur en pression diamétrale} \quad [\text{Tableau 3.4}]$$

$\alpha_v = 0,60$  Coefficient pour le calcul de  $F_{v,Rd}$  [Tableau 3.4]

$F_{b,Rd,ext} = 26496,0$  [daN] Résistance du boulon de rive en pression diamétrale [Tableau 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	22608,00	1317,54	22608,00	20182,45	21499,99	5455,42
2	22608,00	1317,54	17985,49	16055,88	17373,42	7673,10
3	22608,00	1317,54	14023,34	12518,81	13836,35	9573,97
4	22608,00	1317,54	10061,19	8981,75	10299,29	11474,84
5	22608,00	1317,54	6099,03	5444,69	6762,23	13375,72
6	22608,00	1317,54	2136,88	1907,62	3225,16	15276,59

$F_{tj,Rd,N}$  – Résistance d'une rangée de boulons à la traction pure

$F_{tj,Ed,N}$  – Effort dans une rangée de boulons dû à l'effort axial

$F_{tj,Rd,M}$  – Résistance d'une rangée de boulons à la flexion pure

$F_{tj,Ed,M}$  – Effort dans une rangée de boulons dû au moment

$F_{tj,Ed}$  – Effort de traction maximal dans la rangée de boulons

$F_{vj,Rd}$  – Résistance réduite d'une rangée de boulon

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

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

$$V_{j,Rd} = n_h \sum 1^n F_{vj,Rd} \quad \text{[Tableau 3.4]}$$

$V_{j,Rd} = 62829,63$  [daN] Résistance de l'assemblage au cisaillement [Tableau 3.4]

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,41 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,41)$$

## Résistance des soudures

$A_w = 604,07$  [cm<sup>2</sup>] Aire de toutes les soudures [4.5.3.2 (2)]

$A_{wy} = 453,04$  [cm<sup>2</sup>] Aire des soudures horizontales [4.5.3.2 (2)]

$A_{wz} = 151,03$  [cm<sup>2</sup>] Aire des soudures verticales [4.5.3.2 (2)]

$I_{wy} = 366493,03$  [cm<sup>4</sup>] Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz. [4.5.3.2 (5)]

$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,m}$   
 $\sigma_{ax} = 2299731,57$  [daN/m<sup>2</sup>] Contrainte normale dans la soudure [4.5.3.2 (6)]

$A_w =$	604,07	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2 (2)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$	1821321 ,20	[daN/ m <sup>2</sup> ]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2 (5)]
$\tau_{\parallel} =$	1711304 ,25	[daN/ m <sup>2</sup> ]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2 (5)]
$\beta_w =$	0,80		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2 (7)]

$\sqrt{[\sigma_{\perp \max}^2 + 3*(\tau_{\perp \max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	4599463,14 < 36000000,00	vérifié	(0,13)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$	4696225,12 < 36000000,00	vérifié	(0,13)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$	2299731,57 < 25920000,00	vérifié	(0,09)

### Rigidité de l'assemblage

$t_{wash} =$	4,0	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
$h_{head} =$	12,0	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$h_{nut} =$	16,0	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$L_b =$	145,0	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
$k_{10} =$	1,7	[mm]	Coefficient de rigidité des boulons	[6.3.2.(1)]

### RIGIDITES DES RANGEES DE BOULONS

Nr	$h_j$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
					Somme	14,04	557,88
1	684,7	0,0	0,0	81659,6	0,0	0,00	0,00
2	544,7	1,9	205,3	15589,3	0,9	4,88	265,57
3	424,7	2,1	227,3	18402,9	0,9	3,99	169,35
4	304,7	2,1	227,3	18402,9	0,9	2,86	87,17
5	184,7	2,1	227,3	18402,9	0,9	1,73	32,03
6	64,7	1,9	205,3	18402,9	0,9	0,58	3,75

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

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

$$Z_{eq} = 397,4 \quad [mm] \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

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

$$k_{eq} = 3,5 \quad [mm] \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$A_{vc}$ =	74, 72	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\beta$ =	1,0 0		Paramètre de transformation	[5.3.(7)]
$z$ =	397, 4	[m]	Bras de levier	[6.2.5]
$k_1$ =	7,1	[m]	Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en cisaillement	[6.3.2.(1)]
$k_2$ =	$\infty$		Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en compression	[6.3.2.(1)]
$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq})$				[6.3.1.(4)]
$S_{j,ini}$ =	7839700,6423	[daN*m]	Rigidité en rotation initiale	[6.3.1.(4)]
$\mu$ =	2,20		Coefficient de rigidité de l'assemblage	[6.3.1.(6)]
$S_j = S_{j,ini} / \mu$				[6.3.1.(4)]
$S_j$ =	3563947,7506	[daN*m]	Rigidité en rotation finale	[6.3.1.(4)]

**Classification de l'assemblage par rigidité.**

$S_{j,rig}$ =	21864990,0000	[daN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,pin}$ =	1366561,8750	[daN*m]	Rigidité de l'assemblage articulé	[5.2.2.5]

$S_{j,pin} \leq S_{j,ini} < S_{j,rig}$  SEMI-RIGIDE

**Composant le plus faible:**



RUPTURE DES BOULONS

**Remarques**

Epaisseur de l'âme de la contreplaque inférieure à l'épaisseur de l'âme de la poutre      8,0 [mm] < 21,0 [mm]

Epaisseur de l'aile de la contreplaque inférieure à l'épaisseur de l'aile de la poutre      12,0 [mm] < 40,0 [mm]

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme      Ratio      0,89**

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019	
	<b>Calcul de l'assemblage au gousset</b> EN 1993-1-8:2005/AC:2009	

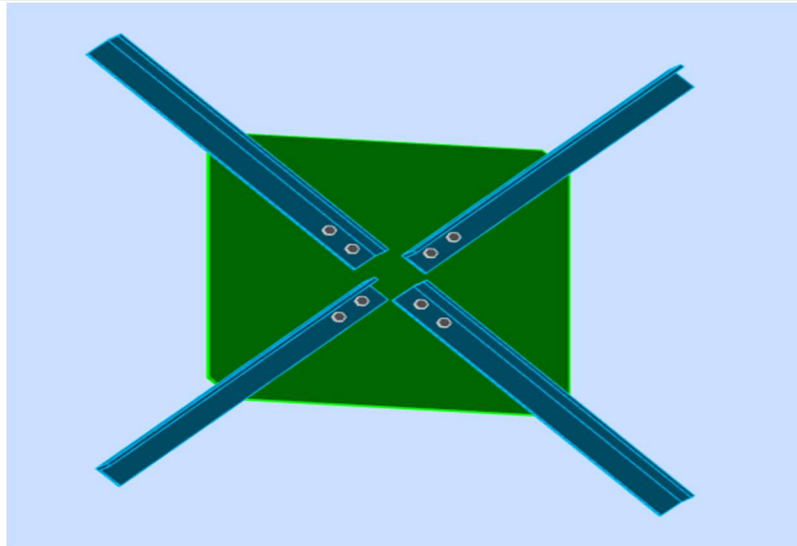
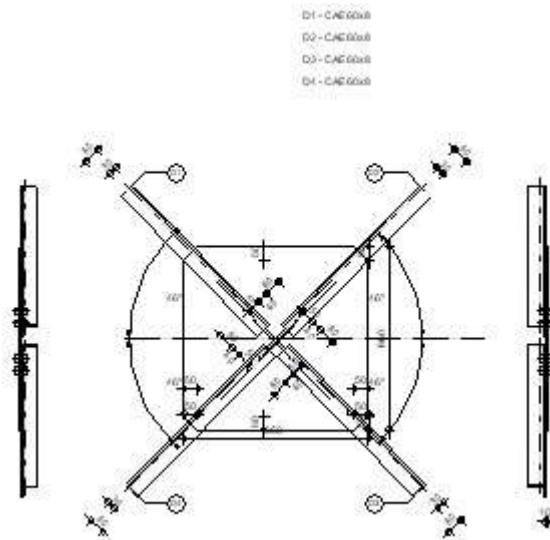


Figure Représentation de l'assemblage gousset



**GENERAL**

---



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

Classe =	8.8		Classe du boulon
$A_v =$	1,13	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section du boulon
$f_{yb} =$	55000000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Limite de plasticité
$f_{ub} =$	80000000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance du boulon à la traction
$n =$	2		Nombre de colonnes des boulons
Espacement des boulons			60 [mm]
$e_1 =$	40	[mm]	Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
$e_2 =$	30	[mm]	Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
$e_c =$	50	[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
$d_0 =$	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
$f_{yb} =$	55000000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Limite de plasticité
$f_{ub} =$	80000000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance du boulon à la traction
$n =$	2		Nombre de colonnes des boulons
Espacement des boulons			60 [mm]
$e_1 =$	40	[mm]	Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
$e_2 =$	30	[mm]	Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
$e_c =$	50	[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
$f_{yb} =$	55000000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Limite de plasticité
$f_{ub} =$	80000000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance du boulon à la traction
$n =$	2		Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons		60 [mm]
$e_1 =$	40 [mm]	Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
$e_2 =$	30 [mm]	Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
$e_c =$	50 [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
$f_{yb} =$	55000000,00 [daN/m <sup>2</sup> ]	Limite de plasticité
$f_{ub} =$	80000000,00 [daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance du boulon à la traction
$n =$	2	Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons		60 [mm]
$e_1 =$	40 [mm]	Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
$e_2 =$	30 [mm]	Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
$e_c =$	50 [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**

$h_1 =$	50 [mm]	Grugeage
$v_1 =$	50 [mm]	Grugeage
$h_2 =$	50 [mm]	Grugeage
$v_2 =$	50 [mm]	Grugeage
$h_3 =$	50 [mm]	Grugeage
$v_3 =$	50 [mm]	Grugeage
$h_4 =$	50 [mm]	Grugeage
$v_4 =$	50 [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:	S		
u:	235		
$f_y =$	23500000,00	[daN/m <sup>2</sup> ]	Résistance

### COEFFICIENTS DE MATERIAU

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

### EFFORTS

Cas: 24: 1.35perm+1.5V2 1\*1.35+3\*1.50

$N_{b1,Ed} =$	-152,62	[daN]	Effort axial
$N_{b2,Ed} =$	-345,59	[daN]	Effort axial
$N_{b3,Ed} =$	-227,70	[daN]	Effort axial
$N_{b4,Ed} =$	-399,20	[daN]	Effort axial

### RESULTATS

#### BARRE 1

##### RESISTANCE DES BOULONS

$F_{v,Rd} =$  4342,94 [daN] Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement  $F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$

##### Pression du boulon sur 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**

$\alpha_{bx} =$  1,0 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**

$F_{b,Rd1x} =$  6912,00 [daN] 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  $F_{b,Rd}$   $k_{1z} = \min[2.8*(e_1/d_0) - 1.7, 1.4*(p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$   $2,50 > 0,00$  **vérifié**

$\alpha_{bz} = 0,77$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $0,77 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd1z} = \frac{5316,9}{2}$  [daN] 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**

$\alpha_{bx} = 1,0$  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**

$F_{b,Rd2x} = \frac{8640}{2}$  [daN] 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**

$F_{b,Rd2z} = \frac{8640,0}{0}$  [daN] 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**

$e = 12$  [mm] Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons

$M_0 = -1,88$  [daN\*m] Moment fléchissant réel  $M_0 = N_{b1,Ed} * e$

$F_{NSd} = 76,31$  [daN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial  $F_{NSd} = N_{b1,Ed}/n$

$F_{MSd} = 31,31$  [daN] Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment  $F_{MSd} = M_0 * x_{max} / \sum x_i^2$

$F_{x,Ed} = 76,31$  [daN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x  $F_{x,Ed} = F_{NSd}$

$F_{z,Ed} = 31,31$  [daN] Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z  $F_{z,Ed} = F_{MSd}$

**cisaillement des boulons**

$e =$	12	[mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons	
$F_{Ed} =$	82,48	[daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} =$	6912,00	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	5316,92	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
<hr/>				
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$			$  -76,31   < 6912,00$	<b>vérifié</b> (0,01)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$			$  -31,31   < 5316,92$	<b>vérifié</b> (0,01)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$			$82,48 < 4342,94$	<b>vérifié</b> (0,02)

**VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS**

$\beta_2 =$	0,65		Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]
$A_{net} =$	7,99	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0 * t_{r1}$
$N_{u,Rd} =$	15045,78	[daN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (\beta_2 * A_{net} * f_{u1}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	19098,45	[daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0.9 * A * f_{y1}) / \gamma_{M2}$
<hr/>				
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{u,Rd}$			$  -152,62   < 15045,78$	<b>vérifié</b> (0,01)
$ N_{b1,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$			$  -152,62   < 19098,45$	<b>vérifié</b> (0,01)

**VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC**

$A_{nt} =$	1,88	[cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} =$	6,44	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} =$	11444,82	[daN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	$V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$
<hr/>				
$ N_{b1,Ed}  \leq V_{effRd}$			$  -152,62   < 11444,82$	<b>vérifié</b> (0,01)

**BARRE 2**

**RESISTANCE DES BOULONS**

$F_{v,Rd} =$	4342,94	[daN]	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**

$\alpha_{bx} = 1,0$  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**

$F_{b,Rd1x} = 6912,00$  [daN] 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**

$\alpha_{bz} = 0,77$  Coefficient pour le calcul de  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $0,77 > 0,00$  **vérifié**

$F_{b,Rd1z} = 5316,92$  [daN] 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**

$\alpha_{bx} = 1,0$  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**

$F_{b,Rd2x} = 8640,00$  [daN] 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**

$F_{b,Rd2z} = 8640,00$  [daN] 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**

$e = 12$  [mm] Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons

$M_0 = -4,25$  [daN\*m] Moment fléchissant réel  $M_0 = N_{b2,Ed} * e$

$e =$	12	[mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons	
$F_{NSd} =$	172,80	[daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{NSd} = N_{b2,Ed}/n$
$F_{MSd} =$	70,91	[daN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment	$F_{MSd} = M_0 * x_{max} / \sum x_i^2$
$F_{x,Ed} =$	172,80	[daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	70,91	[daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	186,78	[daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} =$	6912,00	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	5316,92	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$

$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ -172,80  < 6912,00$	véri fié	(0,02)
---------------------------	-----------------------	-------------	--------

$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ -70,91  < 5316,92$	véri fié	(0,01)
---------------------------	----------------------	-------------	--------

$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$186,78 < 4342,94$	véri fié	(0,04)
-----------------------	--------------------	-------------	--------

### VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$\beta_2 = 0,65$  Coefficient de réduction [Tableau 3.8]

$A_{net} = 7,99$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la section nette  $A_{net} = A - d_0 * t_{r2}$

$N_{u,Rd} = 15045,78$  [daN] Résistance de calcul de la section nette  $N_{u,Rd} = (\beta_2 * A_{net} * f_{u2}) / \gamma_{M2}$

$N_{pl,Rd} = 19098,45$  [daN] 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}$	$ -345,59  < 15045,78$	véri fié	(0,02)
-----------------------------	------------------------	-------------	--------

$ N_{b2,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ -345,59  < 19098,45$	véri fié	(0,02)
------------------------------	------------------------	-------------	--------

### VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$A_{nt} = 1,88$  [cm<sup>2</sup>] Aire nette de la zone de la section en traction

$A_{nv} = 6,44$  [cm<sup>2</sup>] Aire de la zone de la section en traction

$A_{nt} =$	1,88	[c m <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$V_{effR}$ $d =$	11444 ,82	[da N]	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}$	-345,59   11444,82	<	<b>vérifié</b>	(0,0 3)
------------------------------	-----------------------	---	----------------	------------

### **BARRE 3**

#### **RESISTANCE DES BOULONS**

$F_{v,Rd}$ $=$	4342,9 4	[daN ]	Résistance de la tige d'un boulon au cisaillement	$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_v \cdot m / \gamma_{M2}$
-------------------	-------------	-----------	---	---

#### **Pression du boulon sur 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>
----------------	-------------	----------------

$\alpha_{bx}$ $=$	1,0 0	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>
---------------------	-------------	----------------

$F_{b,Rd}$ $1x =$	6912 ,00	[d aN ]	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	<b>vérifié</b>
----------------	-------------	----------------

$\alpha_{bz} =$	0,77	Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
-----------------	------	--	--

$\alpha_{bz} > 0.0$	0,77 > 0,00	<b>vérifié</b>
---------------------	-------------	----------------

$F_{b,Rd1z}$ $=$	5316,9 2	[daN ]	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 platine**

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>
----------------	-------------	----------------

$\alpha_{bx}$ $=$	1,0 0	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>
$F_{b,Rd2x} =$	8640,00	[daN]	Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou		$F_{b,Rd2x} = k_1 * \alpha_b * f_u * d^2 * t_i / \gamma_{M2}$
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>
$F_{b,Rd2z} =$	8640,00	[daN]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale		$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d^2 * t_i / \gamma_{M2}$

### VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

#### cisaillement des boulons

$e =$	12	[mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons	
$M_0 =$	-2,80	[daN*m]	Moment fléchissant réel	$M_0 = N_{b3,Ed} * e$
$F_{NSd} =$	113,85	[daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	$F_{NSd} = N_{b3,Ed} / n$
$F_{MSd} =$	46,72	[daN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment	$F_{MSd} = M_0 * x_{max} / \sum x_i^2$
$F_{x,Ed} =$	113,85	[daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x	$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} =$	46,72	[daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z	$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} =$	123,07	[daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} =$	6912,00	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x	$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$
$F_{Rdz} =$	5316,92	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$
$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$				$  -113,85   < 6912,00$ <b>vérifié</b> (0,02)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$				$  -46,72   < 5316,92$ <b>vérifié</b> (0,01)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$				$123,07 < 4342,94$ <b>vérifié</b> (0,03)

**VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS**

$\beta_2 =$	0,65		Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]
$A_{net} =$	7,99	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0 * t_3$
$N_{u,Rd} =$	15045,78	[daN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (\beta_2 * A_{net} * f_{u3}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	19098,45	[daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0.9 * A * f_{y3}) / \gamma_{M2}$

$ N_{b3,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$ -227,70  < 15045,78$	<b>vérifié</b>	(0,02)
$ N_{b3,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ -227,70  < 19098,45$	<b>vérifié</b>	(0,01)

**VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC**

$A_{nt} =$	1,88	[cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} =$	6,44	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} =$	11444,82	[daN]	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_{b3,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ -227,70  < 11444,82$	<b>vérifié</b>	(0,02)
------------------------------	------------------------	----------------	--------

**BARRE 4**

**RESISTANCE DES BOULONS**

$F_{v,Rd} =$	4342,94	[daN]	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	$\alpha_{bx} = \min[e_1/(3*d_0), p_1/(3*d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$
-----------------	------	--	---	--

$\alpha_{bx} > 0.0$	$1,00 > 0,00$	<b>vérifié</b>	
---------------------	---------------	----------------	--

$F_{b,Rd1x} =$	6912,00	[daN]	Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou	$F_{b,Rd1x} = k_{1x} * \alpha_{bx} * f_u * d * t / \gamma_{M2}$
----------------	---------	-------	--	---

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>	
----------------	---------------	----------------	--

$\alpha_{bz} =$	0,77		Coefficient pour le calcul de $F_{b,Rd}$	$\alpha_{bz} = \min[e_2/(3*d_0), f_{ub}/f_u, 1]$
-----------------	------	--	--	--

$\alpha_{bz} > 0.0$				$0,77 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$F_{b,Rd1z}$ =	5316,9 2	[daN ]	Résistance diamétrale	d'un boulon en pression	$F_{b,Rd1z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t / \gamma_{M2}$

**Pression du boulon sur la platine**

Direction x

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

$k_{1x} > 0.0$				$2,50 > 0,00$	<b>vérifié</b>
$\alpha_{bx}$ =	1,0 0	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>
$F_{b,Rd2x}$ =	8640, 00	[da N]	Résistance de calcul à l'état limite de plastification de la paroi du trou		$F_{b,Rd2x} = k_1 * \alpha_{bx} * f_u * d * t / \gamma_{M2}$

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>
$F_{b,Rd2z}$ =	8640,0 0	[daN ]	Résistance d'un boulon en pression diamétrale		$F_{b,Rd2z} = k_{1z} * \alpha_{bz} * f_u * d * t / \gamma_{M2}$

**VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

**cisaillement des boulons**

$e = 12$	[mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons		
$M_0 = -4,91$	[daN* m]	Moment fléchissant réel		$M_0 = N_{b4,Ed} * e$
$F_{NSd} = 199,60$	[daN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		$F_{NSd} = N_{b4,Ed} / n$
$F_{MSd} = 81,91$	[daN]	Effort composant dans le boulon dû à l'influence du moment		$F_{MSd} = M_0 * X_{max} / \sum X_i^2$
$F_{x,Ed} = 199,60$	[daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction x		$F_{x,Ed} = F_{NSd}$
$F_{z,Ed} = 81,91$	[daN]	Effort de calcul total dans le boulon sur la direction z		$F_{z,Ed} = F_{MSd}$
$F_{Ed} = 215,75$	[daN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2}$
$F_{Rdx} = 6912,00$	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction x		$F_{Rdx} = \min(F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$

$e =$	12	[mm]	Excentricité de l'effort axial par rapport à l'axe des boulons	
$F_{Rdz} =$	5316,92	[daN]	Résistance résultante de calcul du boulon sur la direction z	$F_{Rdz} = \min(F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$

$ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$	$ -199,60  < 6912,00$	véri fié	(0,03)
$ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$	$ -81,91  < 5316,92$	véri fié	(0,02)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$215,75 < 4342,94$	véri fié	(0,05)

**VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS**

$\beta_2 =$	0,65		Coefficient de réduction	[Tableau 3.8]
$A_{net} =$	7,99	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la section nette	$A_{net} = A - d_0 * t_f4$
$N_{u,Rd} =$	15045,78	[daN]	Résistance de calcul de la section nette	$N_{u,Rd} = (\beta_2 * A_{net} * f_{u4}) / \gamma_{M2}$
$N_{pl,Rd} =$	19098,45	[daN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	$N_{pl,Rd} = (0.9 * A * f_{y4}) / \gamma_{M2}$

$ N_{b4,Ed}  \leq N_{u,Rd}$	$ -399,20  < 15045,78$	<	vérifié	(0,03)
$ N_{b4,Ed}  \leq N_{pl,Rd}$	$ -399,20  < 19098,45$	<	vérifié	(0,02)

**VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC**

$A_{nt} =$	1,88	[cm <sup>2</sup> ]	Aire nette de la zone de la section en traction	
$A_{nv} =$	6,44	[cm <sup>2</sup> ]	Aire de la zone de la section en traction	
$V_{effRd} =$	11444,82	[daN]	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_{b4,Ed}  \leq V_{effRd}$	$ -399,20  < 11444,82$	<	vérifié	(0,03)
------------------------------	------------------------	---	---------	--------

**Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme**      Ratio      0,05

# **Chapitre IX : Verification des elements**

## IX-1- Introduction

Lorsque nous entreprenons le calcul des structures, notre objectif premier est de garantir la stabilité globale de l'ossature. Pour ce faire, il est impératif de procéder à une évaluation minutieuse de toutes les sollicitations auxquelles elle pourrait être soumise. Ces sollicitations comprennent les charges permanentes, les charges d'exploitation, les forces sismiques et les conditions climatiques.

Le calcul des structures se base sur l'analyse des combinaisons les plus contraignantes de ces sollicitations, celles auxquelles l'ossature pourrait être exposée tout au long de sa période d'exploitation. Cette démarche vise à s'assurer que l'ossature sera non seulement capable de supporter ces charges, mais également de maintenir sa stabilité et son intégrité structurelle dans toutes les circonstances.

## IX-2- Récapitulatif des éléments utilisés

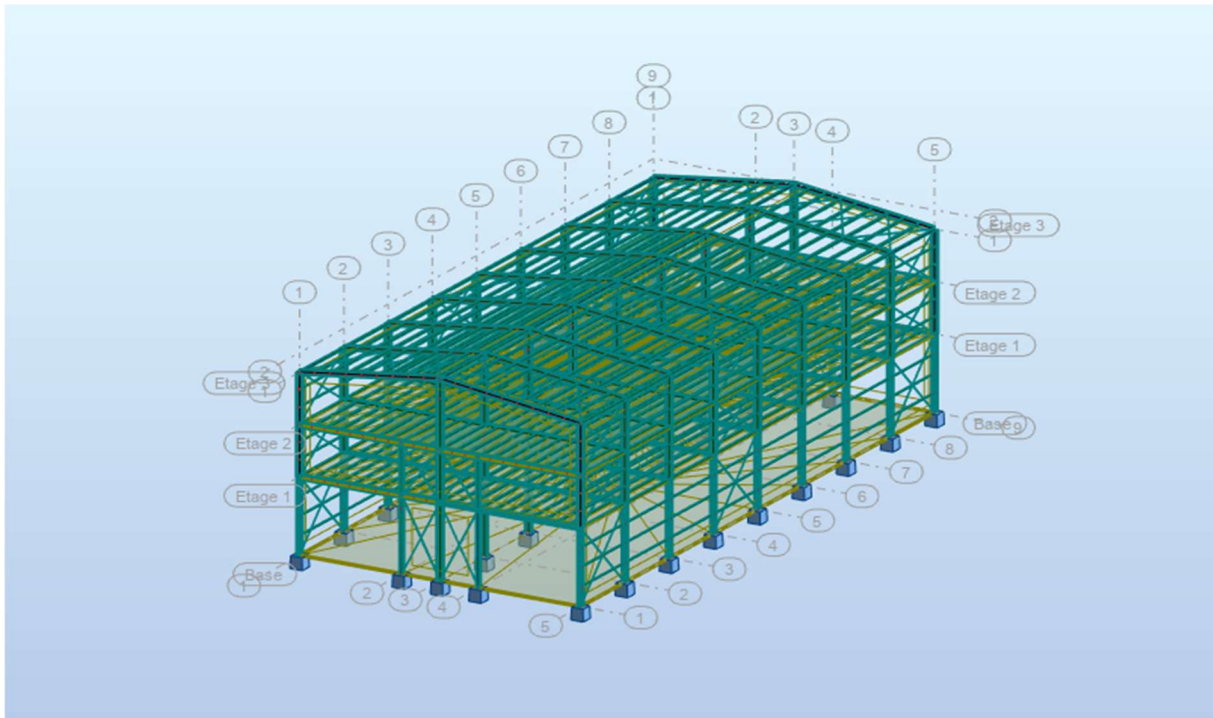


Figure IX.1. vue d'ensemble du projet

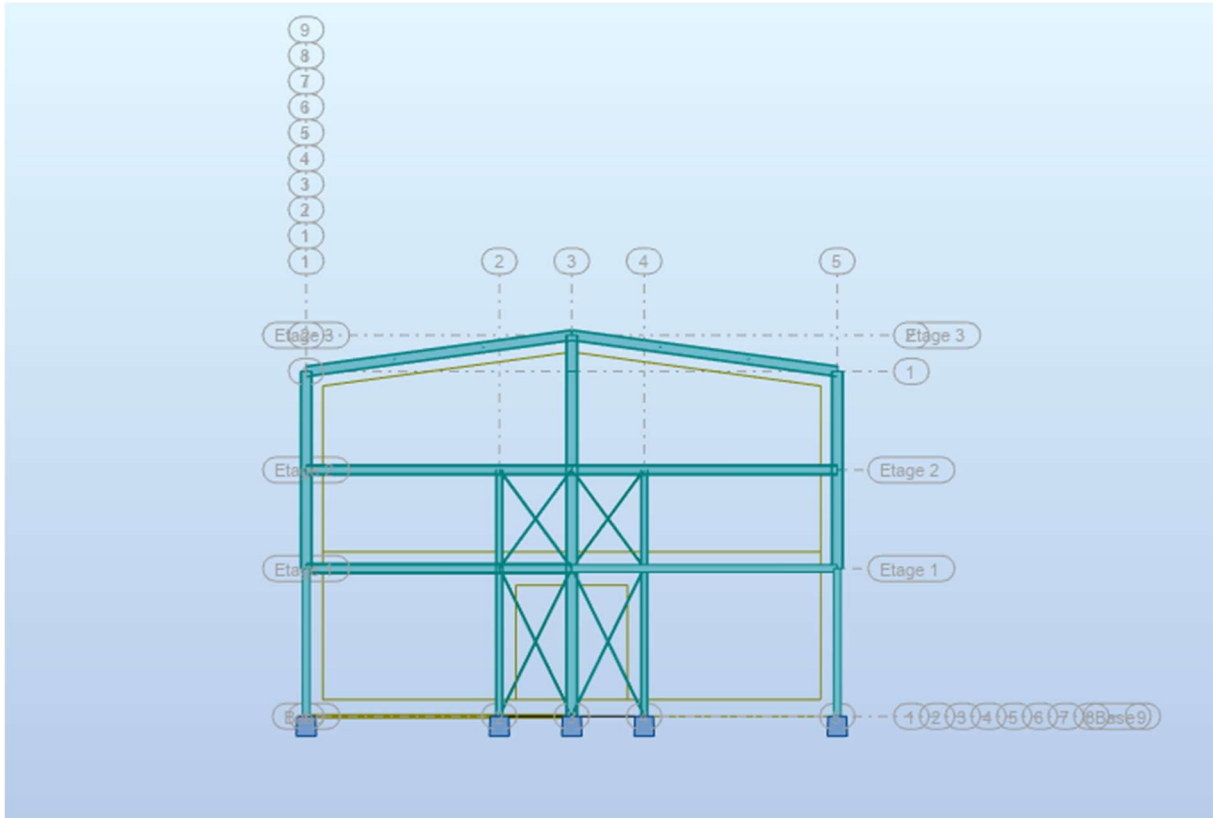


Figure IX.2. vue de pignon

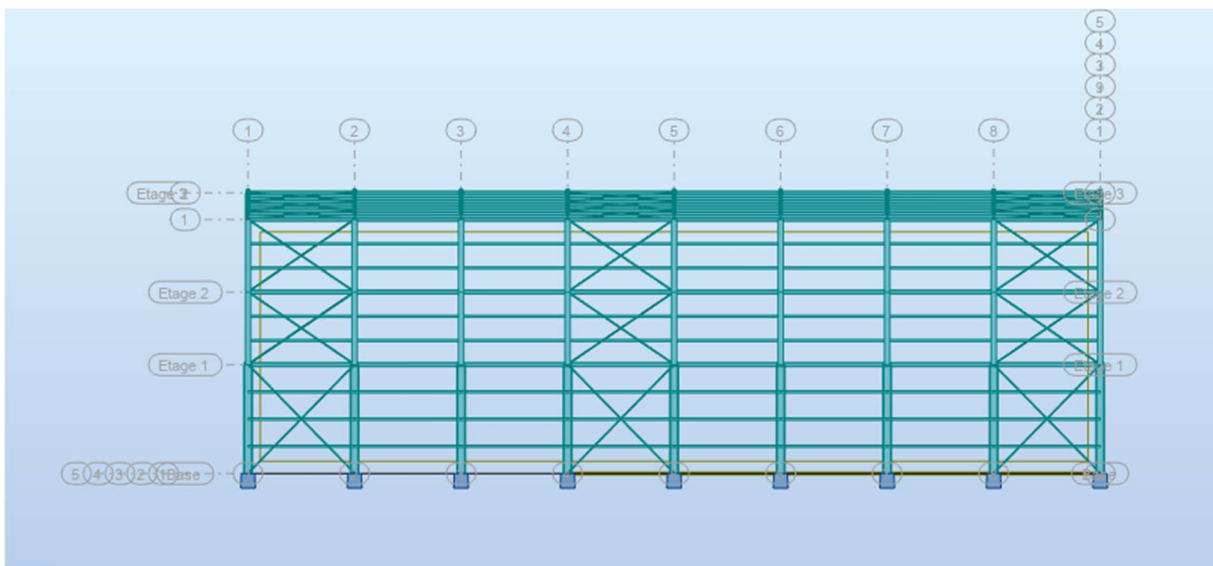


Figure IX.3. Vue de long pan

**Tableau IX.1. Caractéristiques des barres**

	Nom de la section	Liste des barres	AX [cm <sup>2</sup> ]	AY [cm <sup>2</sup> ]	AZ [cm <sup>2</sup> ]	IX [cm <sup>4</sup> ]	IY [cm <sup>4</sup> ]	IZ [cm <sup>4</sup> ]
	CAE 60x8	25A28 858A863 865A8	9,03	0,0	0,0	1,91	29,15	29,15
	HEA 300	45 856 857 1178A1181	112,53	87,02	37,28	85,57	18263,50	6309,56
	HEA 500	1A6 9A12 17A22 212A	197,54	142,68	74,72	310,27	86974,80	10367,10
	HEM 400	13 14 16 29A32 224A2	325,78	255,68	110,18	1519,38	104119,00	19335,50
	IPE 200	957A972 975A1086 11	28,48	17,99	14,00	7,02	1943,17	142,37
	IPE 220	83 84 110 111 128A14	33,37	21,30	15,88	9,11	2771,84	204,89
	IPE 450	7 8 23 24 218A764P91	98,82	58,34	50,85	67,18	33742,90	1675,86
	UPN 120	75A80 82 103A109 22	17,00	11,02	8,80	4,15	368,00	43,20

**Tableau IX.2. Éléments utilisés.**

Éléments	Profils
POTEAUX	HEA 500
POUTRES PP	HEM400
POTELETS	HEA300
SOLIVES	IPE 220
TRAVERSES	IPE 450
PANNES	IPE200
LISSES	UPN 120

### IX-3- Vérification des pannes :

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1202 Poutre\_970

**POINT:** 2

**COORDONNEE:** x = 0.50 L = 3.00 m

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 27 COMB14 (1+26)\*1.35+7\*1.50

**MATERIAU:**

S 235 ( S 235 )  $f_y = 23500000.00$  daN/m<sup>2</sup>



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 200**

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
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=7.02 cm <sup>4</sup>
tf=0.9 cm	Wply=220.64 cm <sup>3</sup>	Wplz=44.61 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N <sub>,Ed</sub> = 26.85 daN	My <sub>,Ed</sub> = -659.70 daN*m	Mz <sub>,Ed</sub> = -4.67 daN*m	Vy <sub>,Ed</sub> = -1.38 daN
Nc,Rd = 66928.00 daN	My <sub>,Ed,max</sub> = -728.95 daN*m		Mz <sub>,Ed,max</sub> = -8.80 daN*m
	Vy <sub>,T,Rd</sub> = 26554.86 daN		
Nb,Rd = 66928.00 daN	My <sub>,c,Rd</sub> = 5185.04 daN*m	Mz <sub>,c,Rd</sub> = 1048.34 daN*m	Vz <sub>,Ed</sub> = 146.39 daN

$$\begin{aligned} MN_{y,Rd} &= 5185.04 \text{ daN}\cdot\text{m} \\ Vz_{T,Rd} &= 18986.89 \text{ daN} \\ Mb_{Rd} &= 2437.59 \text{ daN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MN_{z,Rd} &= 1048.34 \text{ daN}\cdot\text{m} \\ Tt_{Ed} &= -0.06 \text{ daN}\cdot\text{m} \\ \text{Classe de la section} &= 1 \end{aligned}$$



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$$\begin{aligned} z &= 0.00 & M_{cr} &= 2597.06 \text{ daN}\cdot\text{m} & \text{Courbe,LT - b} & & XLT &= 0.47 \\ L_{cr,low} &= 6.00 \text{ m} & \lambda_{m\_LT} &= 1.41 & f_{i,LT} &= 1.42 & XLT_{mod} &= 0.47 \end{aligned}$$

**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:**

$$\begin{aligned} N_{Ed}/N_{c,Rd} &= 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1)) \\ (M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} &= 0.02 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6)) \\ V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} &= 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7) \\ V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} &= 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7) \\ \tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM0) &= 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6) \\ \tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3})\cdot gM0) &= 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6) \end{aligned}$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$\begin{aligned} M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} &= 0.30 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1)) \\ N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) &= 0.31 < 1.00 \quad (6.3.3.(4)) \\ N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) &= 0.31 < 1.00 \quad (6.3.3.(4)) \end{aligned}$$

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPÈRE LOCAL):**

$$\begin{aligned} u_y &= 0.0 \text{ cm} < u_y \text{ max} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} & & \text{Vérfié} \\ \text{Cas de charge décisif: } & 29 \text{ COMB16 } (1+26+7) \cdot 1.00 & & \\ u_z &= 0.4 \text{ cm} < u_z \text{ max} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} & & \text{Vérfié} \\ \text{Cas de charge décisif: } & 29 \text{ COMB16 } (1+26+7) \cdot 1.00 & & \\ u_{inst,y} &= 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,y} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} & & \text{Vérfié} \\ \text{Cas de charge décisif: } & & & \\ u_{inst,z} &= 0.0 \text{ cm} < u_{inst,max,z} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} & & \text{Vérfié} \\ \text{Cas de charge décisif: } & & & \end{aligned}$$



**Déplacements (REPÈRE GLOBAL):**

$$\begin{aligned} v_x &= 0.0 \text{ cm} < v_x \text{ max} = L/150.00 = 4.0 \text{ cm} & & \text{Vérfié} \\ \text{Cas de charge décisif: } & 29 \text{ COMB16 } (1+26+7) \cdot 1.00 & & \\ v_y &= 0.0 \text{ cm} < v_y \text{ max} = L/150.00 = 4.0 \text{ cm} & & \text{Vérfié} \\ \text{Cas de charge décisif: } & 29 \text{ COMB16 } (1+26+7) \cdot 1.00 & & \end{aligned}$$

**Profil correct !!!**

**IX-4- Vérification des lisses :**

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1204 Barre\_237  
6.00 m

**POINT:** 3

**COORDONNEE:** x = 1.00 L =

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 33 COMB18 (1+28)\*1.35+34\*1.50

**MATERIAU:**

S 235 ( S 235 ) fy = 23500000.00 daN/m<sup>2</sup>



**PARAMETRES DE LA SECTION: UPN 120**

h=12.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=5.5 cm	Ay=11.12 cm <sup>2</sup>	Az=8.54 cm <sup>2</sup>	Ax=17.00 cm <sup>2</sup>
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	Wply=72.60 cm <sup>3</sup>	Wplz=21.20 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N,Ed = 1.73 daN	My,Ed = -53.31 daN*m	Mz,Ed = 0.01 daN*m	Vy,Ed = -0.01 daN
Nc,Rd = 39950.00 daN	My,Ed,max = -53.31 daN*m		Mz,Ed,max = -0.02 daN*m
	Vy,T,Rd = 15087.31 daN		
Nb,Rd = 39950.00 daN	My,c,Rd = 1706.10 daN*m	Mz,c,Rd = 498.20 daN*m	Vz,Ed = -53.13 daN
	MN,y,Rd = 1706.10 daN*m		MN,z,Rd = 498.20 daN*m
	Vz,T,Rd = 11586.84 daN		
	Mb,Rd = 729.91 daN*m		Tt,Ed = -0.00 daN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 0.00	Mcr = 1045.06 daN*m	Courbe,LT - d	XLT = 0.42
Lcr,low=6.00 m	Lam_LT = 1.28	fi,LT = 1.45	XLT,mod = 0.43

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:

kyy = 1.00



en z:

kzz = 1.00

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00$  (6.2.4.(1))  
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{1.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.03 < 1.00$  (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)  
 $\tau_{xy,Ed}/(\tau_{xy,Rd}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)  
 $\tau_{xz,Ed}/(\tau_{xz,Rd}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00$  (6.2.6)

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.07 < 1.00$  (6.3.2.1.(1))  
 $N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.07 < 1.00$  (6.3.3.(4))  
 $N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.07 < 1.00$  (6.3.3.(4))

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPÈRE LOCAL):**

$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 30 COMB17 (1+28+34)\*1.00

$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 30 COMB17 (1+28+34)\*1.00

$u_{\text{inst},y} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},y} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:**

$u_{\text{inst},z} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},z} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:**



**Déplacements (REPÈRE GLOBAL):**

$v_x = 0.0 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/150.00 = 4.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 30 COMB17 (1+28+34)\*1.00

$v_y = 0.0 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/150.00 = 4.0 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 30 COMB17 (1+28+34)\*1.00

**Profil correct !!!**

**IX-5- Verification des potelets :**

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1194 Barre\_1179  
6.12 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:** x = 1.00 L =

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 10 COMB3 p (1+5)\*1.35+6\*1.50

**MATERIAU:**

S 235 ( S 235 )  $f_y = 23500000.00 \text{ daN/m}^2$



**PARAMETRES DE LA SECTION:** HEA 300

h=29.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=30.0 cm	Ay=94.85 cm <sup>2</sup>	Az=37.28 cm <sup>2</sup>	Ax=112.53 cm <sup>2</sup>
tw=0.9 cm	Iy=18263.50 cm <sup>4</sup>	Iz=6309.56 cm <sup>4</sup>	Ix=85.57 cm <sup>4</sup>
tf=1.4 cm	Wply=1383.27 cm <sup>3</sup>	Wplz=641.17 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N,Ed = 46628.38 daN	My,Ed = -12.66 daN*m	Mz,Ed = 3.87 daN*m	Vy,Ed = 1.27 daN
Nc,Rd = 264445.50 daN	My,Ed,max = -12.66 daN*m		Mz,Ed,max = -3.91 daN*m
	Vy,T,Rd = 128689.69 daN		
Nb,Rd = 163478.57 daN	My,c,Rd = 32506.85 daN*m		Mz,c,Rd = 15067.49 daN*m
	Vz,Ed = 4.13 daN		
	MN,y,Rd = 30661.97 daN*m		MN,z,Rd = 15067.49 daN*m
daN*m	Vz,T,Rd = 50580.44 daN		
			Tt,Ed = -0.00 daN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

Ly = 6.12 m	Lam_y = 0.51	Lz = 6.12 m	Lam_z = 0.87
Lcr,y = 6.12 m	Xy = 0.88	Lcr,z = 6.12 m	Xz = 0.62
Lamy = 48.04	kzy = 0.55	Lamz = 81.73	kzz = 1.07

**FORMULES DE VERIFICATION:**

*Contrôle de la résistance de la section:*

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.18 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\sigma_{fy}/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\sigma_{fy}/(\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

*Contrôle de la stabilité globale de la barre:*

$$\lambda_{y,Ed} = 48.04 < \lambda_{y,max} = 210.00 \quad \lambda_{z,Ed} = 81.73 < \lambda_{z,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.20 < 1.00$$

(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):**

$$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

$$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

$$u_{\text{inst},y} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},y} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

**Cas de charge décisif:**

$$u_{\text{inst},z} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},z} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

**Cas de charge décisif:**



**Déplacements (REPERE GLOBAL):**

$$v_x = 0.0 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/150.00 = 4.1 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

$$v_y = 0.0 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/150.00 = 4.1 \text{ cm} \quad \text{Vérifié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

**Profil correct !!!**

## IX-6- Vérification des solives :

### CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1196 Barre\_194  
6.00 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:** x = 1.00 L =

**CHARGEMENTS:**

*Cas de charge décisif:* 10 COMB3 p (1+5)\*1.35+6\*1.50

**MATERIAU:**

S 235 ( S 235 )  $f_y = 23500000.00 \text{ daN/m}^2$



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 220**

$h=22.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=11.0 \text{ cm}$	$A_y=22.89 \text{ cm}^2$	$A_z=15.88 \text{ cm}^2$	$A_x=33.37 \text{ cm}^2$
$t_w=0.6 \text{ cm}$	$I_y=2771.84 \text{ cm}^4$	$I_z=204.89 \text{ cm}^4$	$I_x=9.11 \text{ cm}^4$
$t_f=0.9 \text{ cm}$	$W_{ply}=285.41 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=58.11 \text{ cm}^3$	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = 38.35 \text{ daN}$	$M_{y,Ed} = -2922.81 \text{ daN*m}$	$M_{z,Ed} = -0.44 \text{ daN*m}$	$V_{y,Ed} = -0.14 \text{ daN}$
$N_{c,Rd} = 78419.50 \text{ daN}$	$M_{y,Ed,max} = -2922.81 \text{ daN*m}$		$M_{z,Ed,max} = -0.44 \text{ daN*m}$
	$V_{y,c,Rd} = 31058.71 \text{ daN}$		
$N_{b,Rd} = 78419.50 \text{ daN}$	$M_{y,c,Rd} = 6707.14 \text{ daN*m}$	$M_{z,c,Rd} = 1365.59 \text{ daN*m}$	$V_{z,Ed} = 2805.96 \text{ daN}$
	$MN_{y,Rd} = 6707.14 \text{ daN*m}$		$MN_{z,Rd} = 1365.59 \text{ daN*m}$
	$V_{z,c,Rd} = 21546.64 \text{ daN}$		
	$M_{b,Rd} = 3336.36 \text{ daN*m}$		

Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 0.00$	$M_{cr} = 3619.83 \text{ daN*m}$	Courbe,LT - b	$XL T = 0.49$
$L_{cr,low}=6.00 \text{ m}$	$Lam_{LT} = 1.36$	$f_{i,LT} = 1.36$	$XL T_{,mod} = 0.50$

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

$k_{yy} = 1.00$

$k_{zz} = 1.00$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

*Contrôle de la résistance de la section:*

$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.00 < 1.00 \text{ (6.2.4.(1))}$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^1 = 0.19 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.13 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.88 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y * N_{Rk}/gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max}/(X_{LT} * M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.88 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z * N_{Rk}/gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max}/(X_{LT} * M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.88 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

$$u_z = 0.4 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

$$u_{\text{inst},y} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst},\text{max},y} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:**

$$u_{\text{inst},z} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst},\text{max},z} = L/200.00 = 3.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:**



**Déplacements (REPERE GLOBAL):**

$$v_x = 0.0 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/150.00 = 4.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

$$v_y = 0.0 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/150.00 = 4.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 COMB7 p (1+5+6)\*1.00

**Profil correct !!!**

**IX-7- Vérification des poutres principales :**

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** 940 Barre\_16  
8.00 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:**  $x = 0.73 L =$

**CHARGEMENTS:**

*Cas de charge décisif:*  $10 \cdot 1.35(P_p+G_p)+1.5Q \cdot (1+6) \cdot 1.35+7 \cdot 1.50$

**MATERIAU:**

S 235 ( S 235 )  $f_y = 23500000.00 \text{ daN/m}^2$



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEM 400**

$h=43.2 \text{ cm}$	$gM_0=1.00$	$gM_1=1.00$	
$b=30.7 \text{ cm}$	$A_y=263.20 \text{ cm}^2$	$A_z=110.18 \text{ cm}^2$	$A_x=325.78 \text{ cm}^2$
$t_w=2.1 \text{ cm}$	$I_y=104119.00 \text{ cm}^4$	$I_z=19335.50 \text{ cm}^4$	$I_x=1519.38 \text{ cm}^4$
$t_f=4.0 \text{ cm}$	$W_{ply}=5570.62 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=1934.13 \text{ cm}^3$	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = -3450.84 \text{ daN}$	$M_{y,Ed} = -11670.36 \text{ daN} \cdot \text{m}$	$M_{z,Ed} = -491.65 \text{ daN} \cdot \text{m}$	$V_{y,Ed} = -518.27 \text{ daN}$
$N_{t,Rd} = 765583.00 \text{ daN}$	$M_{y,pl,Rd} = 130909.57 \text{ daN} \cdot \text{m}$	$M_{z,pl,Rd} = 45452.06 \text{ daN} \cdot \text{m}$	
	$V_{y,T,Rd} = 329891.54 \text{ daN}$		
	$M_{y,c,Rd} = 130909.57 \text{ daN} \cdot \text{m}$	$M_{z,c,Rd} = 45452.06 \text{ daN} \cdot \text{m}$	
	$V_{z,Ed} = 10073.71 \text{ daN}$		
	$M_{N,y,Rd} = 130909.57 \text{ daN} \cdot \text{m}$	$M_{N,z,Rd} = 45452.06 \text{ daN} \cdot \text{m}$	
	$V_{z,T,Rd} = 143621.66 \text{ daN}$		
	$M_{b,Rd} = 114661.67 \text{ daN} \cdot \text{m}$	$T_{t,Ed} = 944.36 \text{ daN} \cdot \text{m}$	
		Classe de la section = 1	



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$z = 0.00$	$M_{cr} = 239755.42 \text{ daN} \cdot \text{m}$	Courbe,LT - b	$X_{LT} = 0.85$
$L_{cr,low} = 11.00 \text{ m}$	$\lambda_{m\_LT} = 0.74$	$\eta_{i,LT} = 0.76$	$X_{LT,mod} = 0.88$

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^2 + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^1 = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.07 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * g_{M0}) = 0.18 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}) * g_{M0}) = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.12 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$$u_y = 0.3 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 5.5 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 3 V1

$$u_z = 0.2 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 5.5 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 Pp+Gpl+Q (1+6)\*1.35+7\*1.50

$$u_{\text{inst},y} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},y} = L/200.00 = 5.5 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 1\*4 + 1\*7

$$u_{\text{inst},z} = 0.1 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},z} = L/200.00 = 5.5 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 1.5\*7



**Déplacements (REPERE GLOBAL):**

$$v_x = 0.0 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/150.00 = 7.3 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 14 Pp+Gpl+Q (1+6)\*1.35+7\*1.50

$$v_y = 1.6 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/150.00 = 7.3 \text{ cm} \quad \text{Vérfié}$$

**Cas de charge décisif:** 3 V1

**Profil correct !!!**

## IX-8- Vérification des traverses :

## CALCUL DES STRUCTURES ACIER

**NORME:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1206 Barre\_7  
11.10 m

**POINT:** 3

**COORDONNEE:** x = 1.00 L =

**CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 27 COMB14 (1+26)\*1.35+7\*1.50

**MATERIAU:**

S 235 ( S 235 ) fy = 23500000.00 daN/m<sup>2</sup>



**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE 450**

h=45.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=19.0 cm	Ay=63.21 cm <sup>2</sup>	Az=50.84 cm <sup>2</sup>	Ax=98.82 cm <sup>2</sup>
tw=0.9 cm	Iy=33742.90 cm <sup>4</sup>	Iz=1675.86 cm <sup>4</sup>	Ix=67.18 cm <sup>4</sup>
tf=1.5 cm	Wply=1701.79 cm <sup>3</sup>	Wplz=276.38 cm <sup>3</sup>	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N,Ed = -569.18 daN	My,Ed = 1979.35 daN*m	Mz,Ed = 48.49 daN*m	Vy,Ed = -42.39 daN
Nt,Rd = 232227.00 daN	My,pl,Rd = 39992.07 daN*m		Mz,pl,Rd = 6494.93 daN*m
	Vy,T,Rd = 85746.15 daN		Mz,c,Rd = 6494.93 daN*m
	My,c,Rd = 39992.07 daN*m		
	Vz,Ed = 785.59 daN		
	MN,y,Rd = 39992.07 daN*m		MN,z,Rd = 6494.93 daN*m
	Vz,T,Rd = 68974.33 daN		
	Mb,Rd = 14137.50 daN*m		Tt,Ed = 0.35 daN*m
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

z = 0.00	Mcr = 15626.42 daN*m	Courbe,LT - c	XLT = 0.35
Lcr,upp=11.10 m	Lam_LT = 1.60	fi,LT = 1.75	XLT,mod = 0.35

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

**FORMULES DE VERIFICATION:**

**Contrôle de la résistance de la section:**

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.3.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\tau_y/(f_y/(\sqrt{3}) * g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\tau_z/(f_y/(\sqrt{3}) * g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

**Contrôle de la stabilité globale de la barre:**

$$M_{y,Ed}/M_{b,Rd} = 0.14 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPÈRE LOCAL):**

$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_{y \text{ max}} = L/200.00 = 5.6 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 29 COMB16 (1+26+7)\*1.00 Vérifié

$u_z = 0.1 \text{ cm} < u_{z \text{ max}} = L/200.00 = 5.6 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 29 COMB16 (1+26+7)\*1.00 Vérifié

$u_{\text{inst},y} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},y} = L/200.00 = 5.6 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** Vérifié

$u_{\text{inst},z} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},z} = L/200.00 = 5.6 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:**



**Déplacements (REPÈRE GLOBAL):**

$v_x = 0.0 \text{ cm} < v_{x \text{ max}} = L/150.00 = 7.4 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 29 COMB16 (1+26+7)\*1.00 Vérifié

$v_y = 0.0 \text{ cm} < v_{y \text{ max}} = L/150.00 = 7.4 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 29 COMB16 (1+26+7)\*1.00

**Profil correct !!!**

**IX-9- Vérification des poteaux :**

**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

**NORME:** EN 1993-1:2005/A1:2014, Eurocode 3: Design of steel structures.

**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des pièces

**FAMILLE:**

**PIECE:** 1241 Barre\_9  
0.00 m

**POINT:** 1

**COORDONNEE:** x = 0.00 L =

**CHARGEMENTS:**

**Cas de charge décisif:** 30 COMB19 (29+1+5)\*1.35+(6+7)\*1.50

**MATERIAU:**

S 235 ( S 235 )  $f_y = 23500000.00 \text{ daN/m}^2$



**PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 500**

$h=49.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=30.0 \text{ cm}$	$A_y=150.74 \text{ cm}^2$	$A_z=74.72 \text{ cm}^2$	$A_x=197.54 \text{ cm}^2$
$t_w=1.2 \text{ cm}$	$I_y=86974.80 \text{ cm}^4$	$I_z=10367.10 \text{ cm}^4$	$I_x=310.27 \text{ cm}^4$
$t_f=2.3 \text{ cm}$	$W_{ply}=3948.86 \text{ cm}^3$	$W_{plz}=1058.51 \text{ cm}^3$	

**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

$N_{,Ed} = 90719.55 \text{ daN}$	$M_{y,Ed} = -33.48 \text{ daN}\cdot\text{m}$	$M_{z,Ed} = 10.53 \text{ daN}\cdot\text{m}$	$V_{y,Ed} = 2.98 \text{ daN}$
$N_{c,Rd} = 464219.00 \text{ daN}$	$M_{y,Ed,max} = 33.49 \text{ daN}\cdot\text{m}$ $V_{y,T,Rd} = 204519.67 \text{ daN}$		$M_{z,Ed,max} = 10.53 \text{ daN}\cdot\text{m}$
$N_{b,Rd} = 420497.24 \text{ daN}$	$M_{y,c,Rd} = 92798.21 \text{ daN}\cdot\text{m}$ $V_{z,Ed} = 10.94 \text{ daN}$		$M_{z,c,Rd} = 24874.99 \text{ daN}\cdot\text{m}$
$\text{daN}\cdot\text{m}$	$MN_{,y,Rd} = 87911.85 \text{ daN}\cdot\text{m}$ $V_{z,T,Rd} = 101378.01 \text{ daN}$		$MN_{,z,Rd} = 24874.99$
			$T_{t,Ed} = -0.01 \text{ daN}\cdot\text{m}$
			Classe de la section = 1



**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

**PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**



en y:



en z:

$L_y = 6.12 \text{ m}$	$\lambda_{m,y} = 0.16$	$L_z = 6.12 \text{ m}$	$\lambda_{m,z} = 0.45$
$L_{cr,y} = 3.06 \text{ m}$	$X_y = 1.00$	$L_{cr,z} = 3.06 \text{ m}$	$X_z = 0.91$
$L_{amy} = 14.58$	$k_{zy} = 0.51$	$L_{amz} = 42.24$	$k_{zz} = 0.92$

**FORMULES DE VERIFICATION:**

*Contrôle de la résistance de la section:*

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.20 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(M_{y,Ed}/MN_{,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{,z,Rd})^{1.00} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$V_{y,Ed}/V_{y,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$V_{z,Ed}/V_{z,T,Rd} = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$\tau_{y,Ed}/(\sigma_{y,Rd}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{z,Ed}/(\sigma_{z,Rd}/(\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

*Contrôle de la stabilité globale de la barre:*

$$\lambda_{m,y} = 14.58 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \lambda_{m,z} = 42.24 < \lambda_{m,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{,Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.20 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.22 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

**DEPLACEMENTS LIMITES**



**Flèches (REPERE LOCAL):**

$u_y = 0.0 \text{ cm} < u_y \text{ max} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 31 COMB20 (1+5+6+29)\*1.00

$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_z \text{ max} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 31 COMB20 (1+5+6+29)\*1.00

$u_{\text{inst},y} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},y} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:**

$u_{\text{inst},z} = 0.0 \text{ cm} < u_{\text{inst,max},z} = L/200.00 = 3.1 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:**



**Déplacements (REPERE GLOBAL):**

$v_x = 0.0 \text{ cm} < v_x \text{ max} = L/150.00 = 4.1 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 31 COMB20 (1+5+6+29)\*1.00

$v_y = 0.0 \text{ cm} < v_y \text{ max} = L/150.00 = 4.1 \text{ cm}$  Vérifié

**Cas de charge décisif:** 31 COMB20 (1+5+6+29)\*1.00

-----

**Profil correct !!!**

# **Chapitre X : Calcul des fondations**

### **X-1- Introduction**

Dans un ouvrage, les fondations représentent le socle sur lequel repose l'intégralité de la structure. Elles sont bien plus que de simples éléments souterrains ; elles incarnent la base solide qui garantit la stabilité et la durabilité de l'ouvrage dans son ensemble. Qu'il s'agisse d'un gratte-ciel imposant, d'un pont majestueux ou d'une simple maison, les fondations sont l'élément crucial qui assure la sécurité et la pérennité de la construction.

- Reprendre les charges et surcharges supportées par la structure.
- Transmettre ces charges et surcharges au sol dans les bonnes conditions, de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage.

La fondation doit être en équilibre sous :

- Les sollicitations dues à la superstructure.
- Les sollicitations dues au sol.

### **X-2- Etude du sol**

Dans l'étude d'un projet de génie civil, le calcul des fondations ne peut se faire sans une étude géotechnique approfondie du sol et en effectuant plusieurs sondages.

Dans notre cas, la contrainte admissible du sol est égale à « 2 bars ». (Rapport de sol)

### **X-3- Choix du type de fondation**

Le choix du type de fondation se fait en fonction du type de la super structure et des caractéristiques topographiques et géologiques du terrain.

Ce choix doit satisfaire :

- La stabilité de l'ouvrage à fonder.
- La nature du terrain : La connaissance du terrain par sondage et définition des caractéristiques.
- Le site : urbain, montagne, bord de mer.
- La mise en œuvre des fondations : terrain sec, présence d'eau, terrain très meuble.

Pour notre projet on opte pour des fondations superficielles de type « **semelle isolées** ».

**X-4- Etude des semelles**

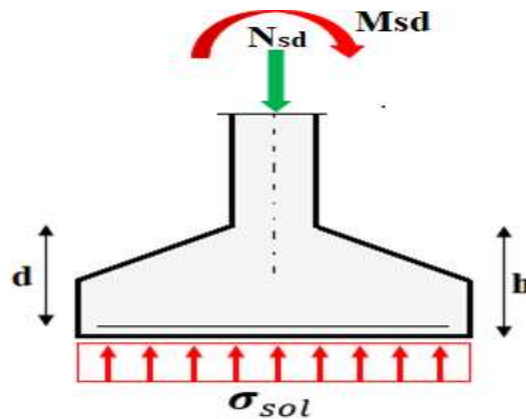


Figure X.1. Diagramme des contraintes agissant sur les fondations.

Les charges à prendre en considération sont celle obtenue dans le logiciel robot lors de l'assemblage du pied poteau :

**ELU**

$N_{sd} = -71200.43 \text{ daN}$                        $M_{sd} = -1276.55 \text{ daN.m}$                        $V_{sd} = 628.06 \text{ daN}$

**ELS**

$N_{sd} = -51621.73 \text{ daN}$                        $M_{sd} = -896.57 \text{ daN.m}$                        $V_{sd} = 441.04 \text{ daN}$

**X-4-1- Dimensionnement de la semelle**

a) Détermination de A et B :

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b} \rightarrow \begin{cases} A = \frac{a \times B}{b} \rightarrow B \geq \sqrt{\frac{b}{a} \times \frac{N_{sd}}{\sigma_{sol}}} \\ B = \frac{b \times A}{b} \rightarrow A \geq \sqrt{\frac{a}{b} \times \frac{N_{sd}}{\sigma_{sol}}} \end{cases}$$

On a :  $b = 580 \text{ mm}$  et  $a = 600 \text{ mm}$

$$B \geq \sqrt{\frac{b}{a} \times \frac{N_{sd}}{\sigma_{sol}}} \rightarrow \frac{B^2 \times a}{b} \geq \frac{N_{sd}}{\sigma_{sol}}$$

$$B^2 \times \frac{600}{580} \geq \frac{71200.43}{20000}$$

$B \geq 1.86$                       **on prend  $B = 1.90 \text{ m}$**

$A = \frac{600 \times 1900}{580} = 1.8$                       **on prend  $A = 1.80 \text{ m}$**

Donc on prend une semelle de dimensions  $(1.90 \times 1.80) \text{ m}^2$ .

**b) Détermination de d et h**

$h = d + c$  avec  $c$  : enrobage des aciers qui est de 5cm

$$d \geq \max\left(\frac{A - a}{4}; \frac{B - b}{4}\right)$$

$$d \geq \max\left(\frac{1.8 - 0.6}{4} = 0.3; \frac{1.90 - 0.58}{4} = 0.33\right)$$

Donc :  $d = 55$  cm et  $h = 60$  cm

**X-4-2- Vérification de la stabilité**

Quel que soit le type de fondation on doit vérifier que l'excentrement de la résultante des forces verticales gravitaire et des forces sismiques reste à l'intérieur de la moitié centrale de la base des éléments de fondations résistant au renversement.

On vérifie  $\Rightarrow A \geq 6e$  Tel que :  $e$  : excentricité.

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{1276.55}{71200.43} = 0.017$$

$A = 1.80\text{m} > 6e = 0.12\text{m}$

CV

**X-4-3- Calcul du ferrailage**

➤ **Nappe supérieur // à A**

**a) A L'ELU**

$$A_u = \frac{N_u(A - a)}{8 \times d \times \sigma_{st}}$$

$$\sigma_{st} = \frac{F_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 347.82\text{MPa}$$

$$A_u = \frac{71200.43 (1.8 - 0.6)}{8 \times 0.55 \times 347.82 \times 10^5} = 5.58\text{cm}^2$$

**b) A L'ELS**

$$A_s = \frac{N_s(A - a)}{8 \times d \times \sigma_{st}}$$

$$\bar{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{n \times f_{c28}}\right) = 266.67\text{MPa}$$

$n$  : coefficient de fissuration = 1,6

$$A_s = \frac{51621.73 (1.8 - 0.6)}{8 \times 0.55 \times 266.6 \times 10^5} = 5.28 \text{ cm}^2$$

Nous avons  $A_u \geq A_s$  donc on prend un ferrailage de 4HA14 Avec :  $6.16 \text{ cm}^2$

➤ **Nappe supérieur // à B**

**a) A L'ELU**

$$A_u = \frac{N_u(B - b)}{8 \times d \times \sigma_{st}}$$

$$\sigma_{st} = \frac{F_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 347.82 \text{ MPa}$$

$$A_u = \frac{71200.43 (1.9 - 0.58)}{8 \times 0.55 \times 347.82 \times 10^5} = 6.12 \text{ cm}^2$$

**b) A L'ELS**

$$A_s = \frac{N_s(B - b)}{8 \times d \times \bar{\sigma}_{st}}$$

$$\bar{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3} f_e; 110\sqrt{n \times f_{c28}}\right) = 266.67 \text{ MPa}$$

n : coefficient de fissuration = 1,6

$$A_s = \frac{51621.73 (1.9 - 0.58)}{8 \times 0.55 \times 266.6 \times 10^5} = 5.80 \text{ cm}^2$$

Nous avons  $A_u \geq A_s$  donc on prend un ferrailage de 4HA14 Avec :  $6.16 \text{ cm}^2$

**XI-3-3-1- Détermination du patin " e "**

$$e \geq \max(6\phi + 6 \text{ cm} ; 15 \text{ cm})$$

$$e \geq \max(13.2 \text{ cm} ; 15 \text{ cm}) \rightarrow e = 15 \text{ cm}$$

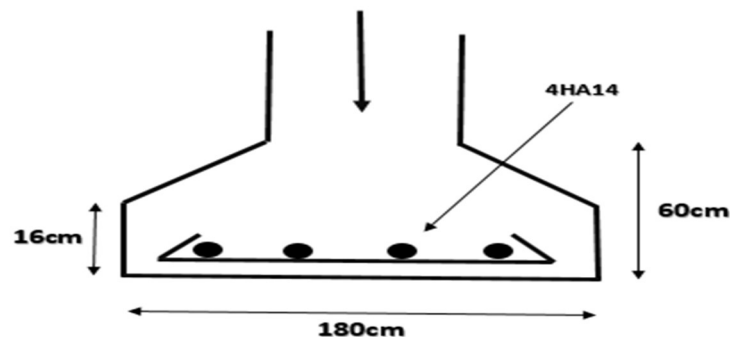


Figure X.2. Détail de la semelle isolé

### X-5- Calcul des longrines

Les longrines ont pour rôle de relier les semelles entre elles, elles sont soumises à un effort de traction.

Une longrine est posée directement sur un béton de propreté pour empêcher la pollution du béton frais de la longrine par le sol. Le béton de propreté offre également un support uniforme à la longrine.

#### a) Dimensionnement des longrines

Selon le RPA99, pour un sol de type S3(meulé) les dimensions minimales de la section transversale des longrines sont : 25 x 30 cm<sup>2</sup>

#### b) Calcul du ferrailage

Les longrines doivent être calculées pour résister à la traction sous l'action d'une force égale à :

$$F = \frac{N_{sd}}{\alpha} \geq 20KN$$

$\alpha$  = coefficient fonction de la zone sismique et de la catégorie de site considérée. ( RPA 99/2003)

$$F = \frac{71743.41}{12} = 5978.61 \geq 2000daN$$

#### c) Calcul du ferrailage longitudinal

$$A_{st} = \frac{F}{\sigma_{st}} = \frac{5978.61}{347.82 \times 10} = 1.71cm^2$$

Le RPA99 exige une section minimale :

$$A_{min} = 0.6\%S = 0.6\% \times (25 \times 30) = 4.5 cm^2$$

Donc on prend 3HA14 avec :  $A_{st} = 4.62 cm^2$

#### d) Vérification de la condition de non-fragilité

$$A_{st} \geq s \times \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{st} \geq s \times \frac{f_{tj}}{f_e} = (25 \times 30) \times \frac{2.1}{400} = 3.94cm^2 \quad CV$$

#### e) Calcul des armatures transversal

$$\varphi_t \leq \min \left\{ \frac{h}{35}; \frac{b}{10}; \varphi_{min} \right\}$$

$$\varphi_t \leq \min \left\{ \frac{300}{35} = 8.57; \frac{250}{10} = 25; \varphi_{min} = 10 \right\}$$

On opte pour  $\varphi_t = 8 mm$

**X-5-1- Calcul de l'espacement des cadres**

Le RPA exige des cadres dont l'espacement ne doit pas dépasser :

$$S_t \leq \min(20cm; 15\phi_t)$$

$$S_t \leq \min(20cm; 9cm)$$

Alors on adopte un espacement :

$$S_t = 9cm$$

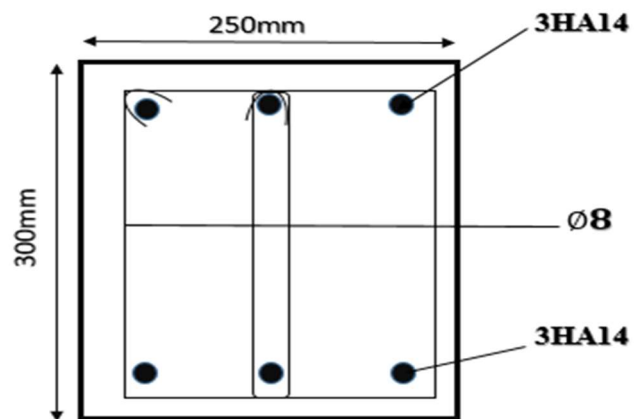


Figure X.3. Ferrailage des longrines

## Conclusion Générale

En génie civil, l'ingénieur conçoit des édifices tout en garantissant leur bon fonctionnement avec le respectant des règles en vigueur, il doit tenir en compte des critères : sécuritaire, économique et architectural.

Ce projet de fin d'étude est une phase très importante dans le cycle de formation de l'ingénieur, il nous a permis de nous familiariser avec les différentes normes et règlement régissant le domaine de la construction métallique.

L'ouvrage réalisé est un hangar (R+2) en construction métallique à usage industrielle, ce projet de fin d'étude nous a permis d'élargir et d'approfondir nos connaissances en passant par les étapes suivantes :

- Pré dimensionnement et le dimensionnement des différents organes constituant cet ouvrage suivant les règles mises au point par les différents règlements de calcul;
- Faire le calcul tridimensionnel et dynamique avec le logiciel « ROBOT »
- Les vérifications des éléments porteurs face aux différents phénomènes d'instabilités conformément aux règlements en vigueur.

Par ailleurs, au cours de cette étude nous sommes parvenu à certaines conclusions :

- L'utilisation des logiciels de calcul est primordiale dans une étude d'un projet, du fait qu'il facilite les calculs, donne une meilleure approche de la réalité ainsi qu'un gain de temps ;
- Les actions du séisme sont les plus défavorables dans les structures métalliques avec plancher mixte acier-béton et à étages multiples ;
- La bonne conception des assemblages est essentielle pour la stabilité des structures;
- L'acier est l'élément phare des futures constructions, de par sa capacité portante, sa légèreté, sa malléabilité rendant les possibilités de construction plus vaste.

Malgré les entraves rencontrées tout au long de ce projet, nous avons utilisé toutes les possibilités pour présenter une étude bien détaillée et rendre ce travail à l'abri des erreurs possibles car toute œuvre humaine n'est jamais parfaite et nul n'est omniscient.

Au final de ce projet constitue une première expérience dans ce vaste domaine, ce qui nous permet de faire nos premiers pas dans notre future vie professionnelle

# Bibliographie

## ❖ Réglemente

DTR C 2-4.7 : « Règlement Neige et Vent version 2013 (RNV2013) » Centre National d'Étude et de Recherche Intégrés du Bâtiment ;

DTR B.C 2.2 : « Charges permanentes et charges d'exploitions » Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique CGS ;

EUROCODE 3 : « Calcul des structures métalliques et document d'application nationale » Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR)

EUROCODE 4 : « Calcul des structures mixtes acier-béton et document d'application nationale » Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR)

DTR B.C 2.44 : « Règles de Conception et de Calcul des Structures en Acier (CCM97) » Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique CGS ;

DTR B.C 2.48 : « Règlement Parasismiques Algériennes (RPA99/version2003) » Centre National de Recherche Appliquée en Génie-Parasismique CGS ;

BAEL 91/99 : « Règles techniques de construction et de calcul des ouvrages en constructions en Béton Armé suivant la méthode des États Limites - BAEL 91 révisé 99 » Avril 99 ;

CNC2M : « Recommandations pour l'application de la NF EN 1991-1-4 aux charpentes et ossatures en acier de bâtiment juillet 2017 »

DAHMANI Lahlou, « Calcul pratique des éléments de construction métallique », 2eme édition 2022

Calcul des Structures Métalliques selon L'EUROCODE 3. Jean Morel. Eyrolles Paris, 2008

## ❖ Logiciels

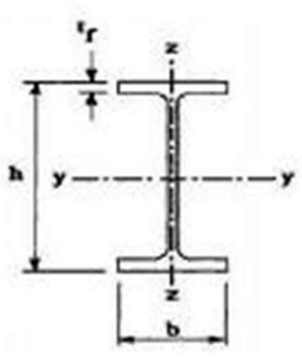
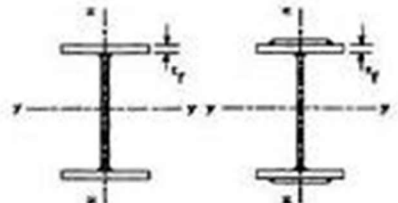
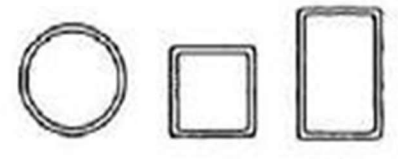
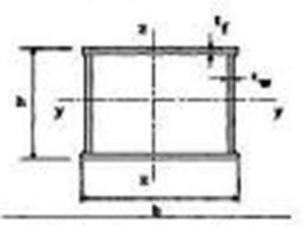

1- ROBOT : « Autodesk Robot Structural Analyses Professional version 2019 »

# **Annexes**

## ❖ Catégories du terrain

Catégorie de terrain	$K_T$	$z_0 (m)$	$z_{min} (m)$	$\varepsilon$
<b>0</b> mer, ou zone côtière exposée aux vents de mer.	0.156	0.003	1	0.38
<b>I</b> Lacs ou zone plate et horizontale à végétation négligeable et libre de tout obstacle.	0.170	0.01	1	0.44
<b>II</b> Zone à végétation basse telle que l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'au moins de 20 fois leur hauteur.	0.190	0.05	2	0.52
<b>III</b> Zones à couverture végétale régulière ou des bâtiments, ou avec des obstacles isolés séparés d'au plus de 20 fois leur hauteur (par exemple des villages, des zones suburbaines, des forêts permanentes).	0.215	0.3	5	0.61
<b>IV</b> Zones urbaines dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m.	0.234	1	10	0.67

## ❖ Choix de la courbe de flambement correspondant à une section

Type de Section	limites	axe de flambement	courbe de flambement
Sections en I laminées 	$h / b > 1,2 :$ $t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	a b
	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y z - z	b c
	$h / b \leq 1,2 :$ $t_f \leq 100 \text{ mm}$ $t_f > 100 \text{ mm}$	y - y z - z y - y z - z	b c d d
Sections en I soudées 	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	b c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y - y z - z	c d
Sections creuses 	laminées à chaud	quel qu'il soit	a
	formées à froid - en utilisant $f_{yb}$ *)	quel qu'il soit	b
	formées à froid - en utilisant $f_{ya}$ *)	quel qu'il soit	c
Caissons soudés 	d'une manière générale (sauf ci-dessous)	quel qu'il soit	b
	Soudures épaisses et  $b / t_f < 30$ $h / t_w < 30$	y - y z - z	c c
Sections en U, L, T et sections pleines 		quel qu'il soit	c

\*) Voir 5.5.1.4 (4) et figure 5.5.2

❖ Valeur du coefficient de flambement  $\chi$  de la courbe  $\alpha$ 

$\lambda$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,2	1,0000	0,9978	0,9956	0,9934	0,9912	0,9889	0,9867	0,9844	0,9821	0,9798
0,3	0,9775	0,9751	0,9728	0,9704	0,9680	0,9655	0,9630	0,9605	0,9580	0,9554
0,4	0,9528	0,9501	0,9474	0,9447	0,9419	0,9391	0,9363	0,9333	0,9304	0,9273
0,5	0,9243	0,9211	0,9179	0,9147	0,9114	0,9080	0,9045	0,9010	0,8974	0,8937
0,6	0,8900	0,8862	0,8823	0,8783	0,8742	0,8700	0,8657	0,8614	0,8569	0,8524
0,7	0,8477	0,8430	0,8382	0,8332	0,8282	0,8230	0,8178	0,8124	0,8069	0,8014
0,8	0,7957	0,7899	0,7841	0,7781	0,7721	0,7659	0,7597	0,7534	0,7470	0,7405
0,9	0,7339	0,7273	0,7206	0,7139	0,7071	0,7003	0,6934	0,6865	0,6796	0,6726
1,0	0,6656	0,6586	0,6516	0,6446	0,6376	0,6306	0,6236	0,6167	0,6098	0,6029
1,1	0,5960	0,5892	0,5824	0,5757	0,5690	0,5623	0,5557	0,5492	0,5427	0,5363
1,2	0,5300	0,5237	0,5175	0,5114	0,5053	0,4993	0,4934	0,4875	0,4817	0,4760
1,3	0,4703	0,4648	0,4593	0,4538	0,4485	0,4432	0,4380	0,4329	0,4278	0,4228
1,4	0,4179	0,4130	0,4083	0,4036	0,3989	0,3943	0,3898	0,3854	0,3810	0,3767
1,5	0,3724	0,3682	0,3641	0,3601	0,3561	0,3521	0,3482	0,3444	0,3406	0,3369
1,6	0,3332	0,3296	0,3261	0,3226	0,3191	0,3157	0,3124	0,3091	0,3058	0,3026
1,7	0,2994	0,2963	0,2933	0,2902	0,2872	0,2843	0,2814	0,2786	0,2757	0,2730
1,8	0,2702	0,2675	0,2649	0,2623	0,2597	0,2571	0,2546	0,2522	0,2497	0,2473
1,9	0,2449	0,2426	0,2403	0,2380	0,2358	0,2335	0,2314	0,2292	0,2271	0,2250
2,0	0,2229	0,2209	0,2188	0,2168	0,2149	0,2129	0,2110	0,2091	0,2073	0,2054
2,1	0,2036	0,2018	0,2001	0,1983	0,1966	0,1949	0,1932	0,1915	0,1899	0,1883
2,2	0,1867	0,1851	0,1836	0,1820	0,1805	0,1790	0,1775	0,1760	0,1746	0,1732
2,3	0,1717	0,1704	0,1690	0,1676	0,1663	0,1649	0,1636	0,1623	0,1610	0,1598
2,4	0,1585	0,1573	0,1560	0,1548	0,1536	0,1524	0,1513	0,1501	0,1490	0,1478
2,5	0,1467	0,1456	0,1445	0,1434	0,1424	0,1413	0,1403	0,1392	0,1382	0,1372
2,6	0,1362	0,1352	0,1342	0,1332	0,1323	0,1313	0,1304	0,1295	0,1285	0,1276
2,7	0,1267	0,1258	0,1250	0,1241	0,1232	0,1224	0,1215	0,1207	0,1198	0,1190
2,8	0,1182	0,1174	0,1166	0,1158	0,1150	0,1143	0,1135	0,1128	0,1120	0,1113
2,9	0,1105	0,1098	0,1091	0,1084	0,1077	0,1070	0,1063	0,1056	0,1049	0,1042
3,0	0,1036	0,1029	0,1022	0,1016	0,1010	0,1003	0,0997	0,0991	0,0985	0,0978


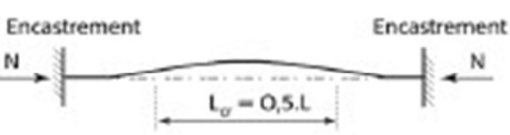
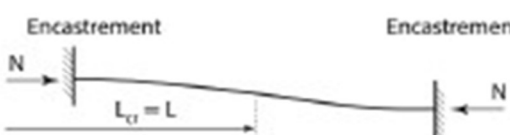
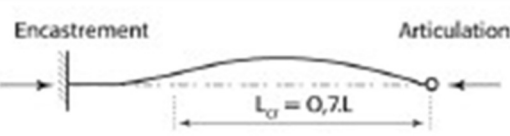
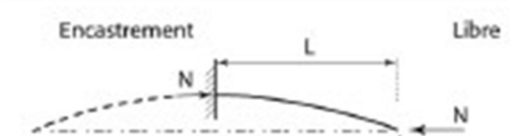

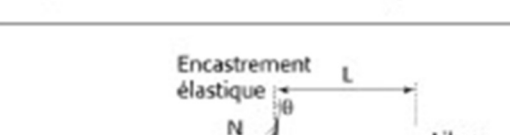


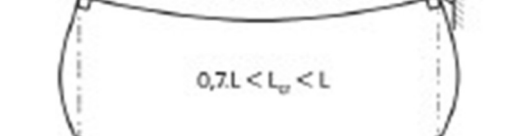
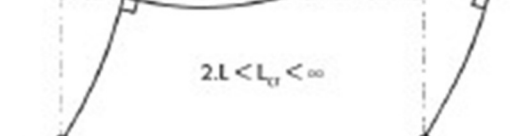
❖ Valeur du coefficient de flambement  $\chi$  de la courbe  $b$ 

$\lambda$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,2	1,0000	0,9965	0,9929	0,9894	0,9858	0,9822	0,9786	0,9750	0,9714	0,9678
0,3	0,9641	0,9604	0,9567	0,9530	0,9492	0,9455	0,9417	0,9378	0,9339	0,9300
0,4	0,9261	0,9221	0,9181	0,9140	0,9099	0,9057	0,9015	0,8973	0,8930	0,8886
0,5	0,8842	0,8798	0,8752	0,8707	0,8661	0,8614	0,8566	0,8518	0,8470	0,8420
0,6	0,8371	0,8320	0,8269	0,8217	0,8165	0,8112	0,8058	0,8004	0,7949	0,7893
0,7	0,7837	0,7780	0,7723	0,7665	0,7606	0,7547	0,7488	0,7428	0,7367	0,7306
0,8	0,7245	0,7183	0,7120	0,7058	0,6995	0,6931	0,6868	0,6804	0,6740	0,6676
0,9	0,6612	0,6547	0,6483	0,6419	0,6354	0,6290	0,6226	0,6162	0,6098	0,6034
1,0	0,5970	0,5907	0,5844	0,5781	0,5719	0,5657	0,5595	0,5534	0,5473	0,5412
1,1	0,5352	0,5293	0,5234	0,5175	0,5117	0,5060	0,5003	0,4947	0,4891	0,4836
1,2	0,4781	0,4727	0,4674	0,4621	0,4569	0,4517	0,4466	0,4416	0,4366	0,4317
1,3	0,4269	0,4221	0,4174	0,4127	0,4081	0,4035	0,3991	0,3946	0,3903	0,3860
1,4	0,3817	0,3775	0,3734	0,3693	0,3653	0,3613	0,3574	0,3535	0,3497	0,3459
1,5	0,3422	0,3386	0,3350	0,3314	0,3279	0,3245	0,3211	0,3177	0,3144	0,3111
1,6	0,3079	0,3047	0,3016	0,2985	0,2955	0,2925	0,2895	0,2866	0,2837	0,2809
1,7	0,2781	0,2753	0,2726	0,2699	0,2672	0,2646	0,2620	0,2595	0,2570	0,2545
1,8	0,2521	0,2496	0,2473	0,2449	0,2426	0,2403	0,2381	0,2359	0,2337	0,2315
1,9	0,2294	0,2272	0,2252	0,2231	0,2211	0,2191	0,2171	0,2152	0,2132	0,2113
2,0	0,2095	0,2076	0,2058	0,2040	0,2022	0,2004	0,1987	0,1970	0,1953	0,1936
2,1	0,1920	0,1903	0,1887	0,1871	0,1855	0,1840	0,1825	0,1809	0,1794	0,1780
2,2	0,1765	0,1751	0,1736	0,1722	0,1708	0,1694	0,1681	0,1667	0,1654	0,1641
2,3	0,1628	0,1615	0,1602	0,1590	0,1577	0,1565	0,1553	0,1541	0,1529	0,1517
2,4	0,1506	0,1494	0,1483	0,1472	0,1461	0,1450	0,1439	0,1428	0,1418	0,1407
2,5	0,1397	0,1387	0,1376	0,1366	0,1356	0,1347	0,1337	0,1327	0,1318	0,1308
2,6	0,1299	0,1290	0,1281	0,1272	0,1263	0,1254	0,1245	0,1237	0,1228	0,1219
2,7	0,1211	0,1203	0,1195	0,1186	0,1178	0,1170	0,1162	0,1155	0,1147	0,1139
2,8	0,1132	0,1124	0,1117	0,1109	0,1102	0,1095	0,1088	0,1081	0,1074	0,1067
2,9	0,1060	0,1053	0,1046	0,1039	0,1033	0,1026	0,1020	0,1013	0,1007	0,1001
3,0	0,0994	0,0988	0,0982	0,0976	0,0970	0,0964	0,0958	0,0952	0,0946	0,0940

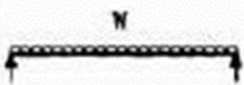

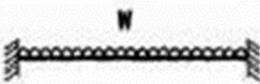

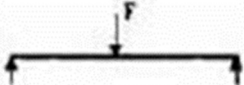



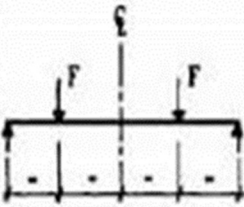

❖ **Section en cm<sup>2</sup> des armatures de diametre  $\emptyset$ (mm)**

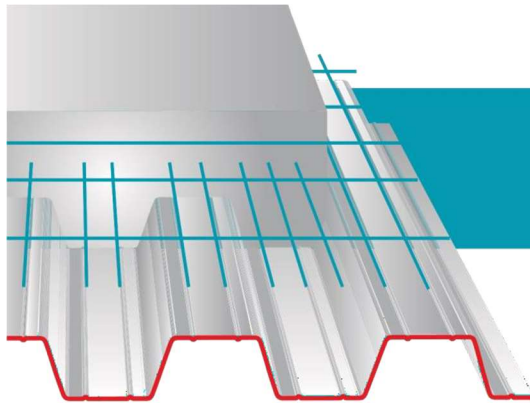
N <sup>o</sup>	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
1	0.20	0.28	0.50	0.79	1.13	1.54	2.01	3.14	4.91	8.04	12.57
2	0.39	0.57	1.01	1.57	2.26	3.08	4.02	6.28	9.82	16.08	25.13
3	0.59	0.85	1.51	2.36	3.39	4.62	6.03	9.42	14.73	24.13	37.70
4	0.79	1.13	2.01	3.14	4.52	6.16	8.04	12.57	19.64	32.17	50.27
5	0.98	1.41	2.51	3.93	5.65	7.70	10.05	15.71	24.54	40.21	62.83
6	1.18	1.70	3.02	4.71	6.79	9.24	12.06	18.85	29.45	48.25	75.40
7	1.37	1.98	3.52	5.50	7.92	10.78	14.07	21.99	34.36	56.30	87.96
8	1.57	2.26	4.02	6.28	9.05	12.31	16.08	25.13	39.27	64.34	100.53
9	1.77	2.54	4.52	7.07	10.18	13.85	18.10	28.27	44.18	72.38	113.10
10	1.96	2.83	5.03	7.85	11.31	15.39	20.11	31.42	49.04	80.42	125.66
11	2.16	3.11	5.53	8.64	12.44	16.93	22.12	34.56	54.00	88.47	138.23
12	2.36	3.39	6.03	9.42	13.57	18.47	24.13	37.70	58.91	96.51	150.80
13	2.55	3.68	6.53	10.21	14.70	20.01	26.14	40.84	63.81	104.55	163.36
14	2.75	3.96	7.04	11.00	15.83	21.55	28.15	43.98	68.72	112.59	175.93
15	2.95	4.24	7.54	11.78	16.96	23.09	30.16	47.12	73.63	120.64	188.50
16	3.14	4.52	8.04	12.57	18.10	24.63	32.17	50.27	78.54	128.68	201.06
17	3.34	4.81	8.55	13.35	19.23	26.17	34.18	53.41	83.45	136.72	213.63
18	3.53	5.09	9.05	14.14	20.36	27.71	36.19	56.55	88.36	144.76	226.20
19	3.73	5.37	9.55	14.92	21.49	29.25	38.20	59.69	93.27	152.81	238.76
20	3.93	5.65	10.05	15.71	22.62	30.79	40.21	62.83	98.17	160.85	251.33

## ❖ Valeur de longueur de flambement en fonction de longueur d'appuis

Structures à nœuds fixes	Structures à nœuds déplaçables
 <p>Articulation      Articulation  <math>L_{cr} = L</math></p>	
 <p>Encastrement      Encastrement  <math>L_{cr} = 0,5L</math></p>	 <p>Encastrement      Encastrement  <math>L_{cr} = L</math></p>
 <p>Encastrement      Articulation  <math>L_{cr} = 0,7L</math></p>	 <p>Encastrement      Libre  <math>L_{cr} = 2L</math></p>
 <p>Encastrement élastique      Articulation  <math>0,7L &lt; L_{cr} &lt; L</math></p>	 <p>Encastrement élastique      Libre  <math>L_{cr} &gt; 2L</math></p>
 <p>Portique articulé en pied  <math>0,7L &lt; L_{cr} &lt; L</math></p>	 <p>Portique articulé en pied  <math>2L &lt; L_{cr} &lt; \infty</math></p>
 <p>Portique encasturé en pied  <math>0,5L &lt; L_{cr} &lt; 0,7L</math></p>	 <p>Portique encasturé en pied  <math>0,5L &lt; L_{cr} &lt; 2L</math></p>

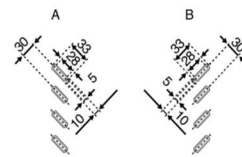
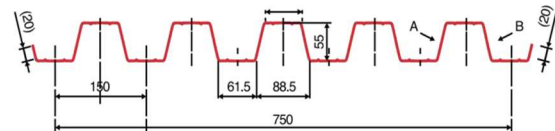
❖ Coefficient  $C_1$  ;  $C_2$  et  $C_3$  pour différente valeur de  $k$ 

Tableau F.1.2 Coefficients $C_1$ , $C_2$ et $C_3$ , pour différentes valeurs de $k$ , dans le cas de charges transversales					
Chargement et conditions d'appuis	Diagramme de moment de flexion	Valeur de $k$	Coefficients		
			$C_1$	$C_2$	$C_3$
		1,0	1,132	0,459	0,525
		0,5	0,972	0,304	0,980
		1,0	1,285	1,562	0,753
		0,5	0,712	0,652	1,070
		1,0	1,365	0,553	1,730
		0,5	1,070	0,432	3,050
		1,0	1,565	1,267	2,640
		0,5	0,938	0,715	4,800
		1,0	1,046	0,430	1,120
		0,5	1,010	0,410	1,890



# Tôles pour plancher collaborant

## Hi-Bond 55



### Identification

Ép. t en cm	Masse en kg/m <sup>2</sup>
0,75	9,56
0,88	11,23
1,00	12,83
1,20	15,30

### Manutention - Emballage

Ép. t en cm	Masse en kg/m <sup>2</sup>
0,75	6,97
0,88	8,18
1,00	9,30
1,20	11,16

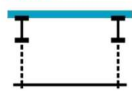
### Valeurs de calcul

Épaisseur t en cm	Ép. Acier en mm	Aire d'Acier en cm <sup>2</sup> /m	Position fibre neutre v <sub>1</sub> en cm	v <sub>2</sub> en cm	Mt d'inertie en cm <sup>4</sup>	Module de résistance i.v <sub>1</sub>	i.v <sub>2</sub>
0,75	0,71	11,18	2,75	2,75	57,54	20,92	20,92
0,88	0,84	13,23	2,75	2,75	68,08	24,76	24,76
1,00	0,96	15,12	2,75	2,75	77,80	28,29	28,29
1,20	1,16	18,27	2,75	2,75	94,01	34,19	34,19

### Portées admissibles au coulage en mètres

Distances maximales franchissable par tôle HI-BOND, telles que mesurées selon la figure de la colonne de gauche, admissibles sans étaielement, pour chaque épaisseur de plancher, en fonction de l'épaisseur nominale  $t$  de la tôle et du nombre de travées couvertes par la tôle, pour une déformation du coffrage de 240/1<sup>ème</sup> de la portée. Les colonnes de droite indiquent la distance maximale de part et d'autre d'une file détails éventuelle.

#### Acier



Portée = Clair + 5 cm

#### Béton



Portée = Clair + 5 cm

#### Bois



Portée = Entraxe

Épaisseur Plancher h cm	t = 0,75 mm			t = 0,88 mm			t = 1,00 mm			t = 1,20 mm						
	Sans Étais	Étais	Étais	Sans Étais	Étais	Étais	Sans Étais	Étais	Étais	Sans Étais	Étais	Étais				
10	2,70	3,60	3,33	3,35	2,85	3,80	3,52	3,63	2,96	3,95	3,66	3,97	3,14	4,18	3,88	4,23
11	2,60	3,48	3,22	3,15	2,74	3,66	3,39	3,48	2,85	3,81	3,53	3,71	3,02	4,03	3,73	4,06
12	2,51	3,36	3,11	2,95	2,65	3,54	3,28	3,35	2,76	3,69	3,41	3,57	2,93	3,91	3,62	3,91
13	2,43	3,26	3,02	2,78	2,57	3,44	3,19	3,18	2,68	3,59	3,32	3,44	2,85	3,81	3,52	3,77
14	2,37	3,17	2,94	2,64	2,50	3,34	3,09	3,01	2,61	3,49	3,23	3,33	2,76	3,70	3,42	3,64
15	2,31	3,10	2,87	2,51	2,44	3,26	3,02	2,86	2,54	3,41	3,15	3,17	2,69	3,61	3,34	3,53
16	2,25	3,02	2,80	2,39	2,38	3,19	2,95	2,72	2,48	3,33	3,08	3,02	2,63	3,53	3,26	3,43
17	2,20	2,95	2,73	2,29	2,33	3,12	2,88	2,60	2,43	3,26	3,01	2,89	2,57	3,45	3,19	2,33
18	2,15	2,89	2,67	2,19	2,28	3,05	2,82	2,49	2,37	3,19	2,95	2,77	2,52	3,38	3,13	3,21
19	2,12	2,84	2,63	2,11	2,23	3,00	2,77	2,40	2,34	3,13	2,90	2,66	2,48	3,33	3,08	3,08
20	2,08	2,79	2,58	2,03	2,19	2,94	2,82	2,31	2,29	3,07	2,84	2,56	2,44	3,27	3,02	2,96
22	2,00	2,69	2,49	1,93	2,11	2,84	2,62	2,15	2,21	2,96	2,74	2,38	2,35	3,15	2,91	2,75
24	1,94	2,60	2,41	1,85	2,05	2,76	2,55	2,01	2,14	2,88	2,66	2,23	2,27	3,05	2,82	2,58

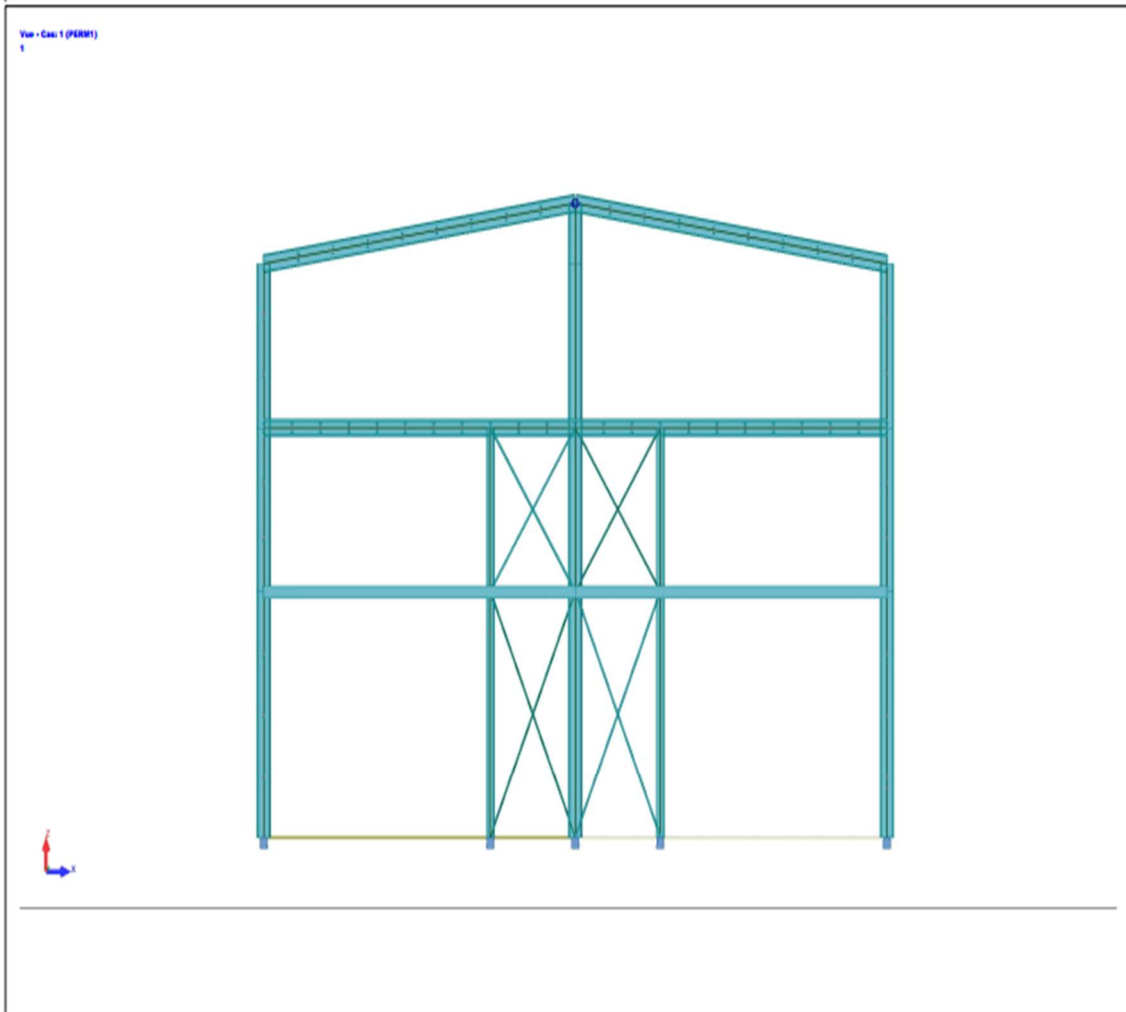
Pour les valeurs en italique, l'élançement du plancher est supérieur à 36.

Ces valeurs maximales conviennent lorsque les arrêts de coulage éventuels sont au droit des supports, aux extrémités des tôles et si toutes les précautions utiles sont prises au moment du coulage pour éviter une surépaisseur de béton même localisée, même temporaire, sur la tôle. En cas contraires, choisir des portées moindres. Fixer les tôles par deux fixations au moins par bac à chaque extrémité.

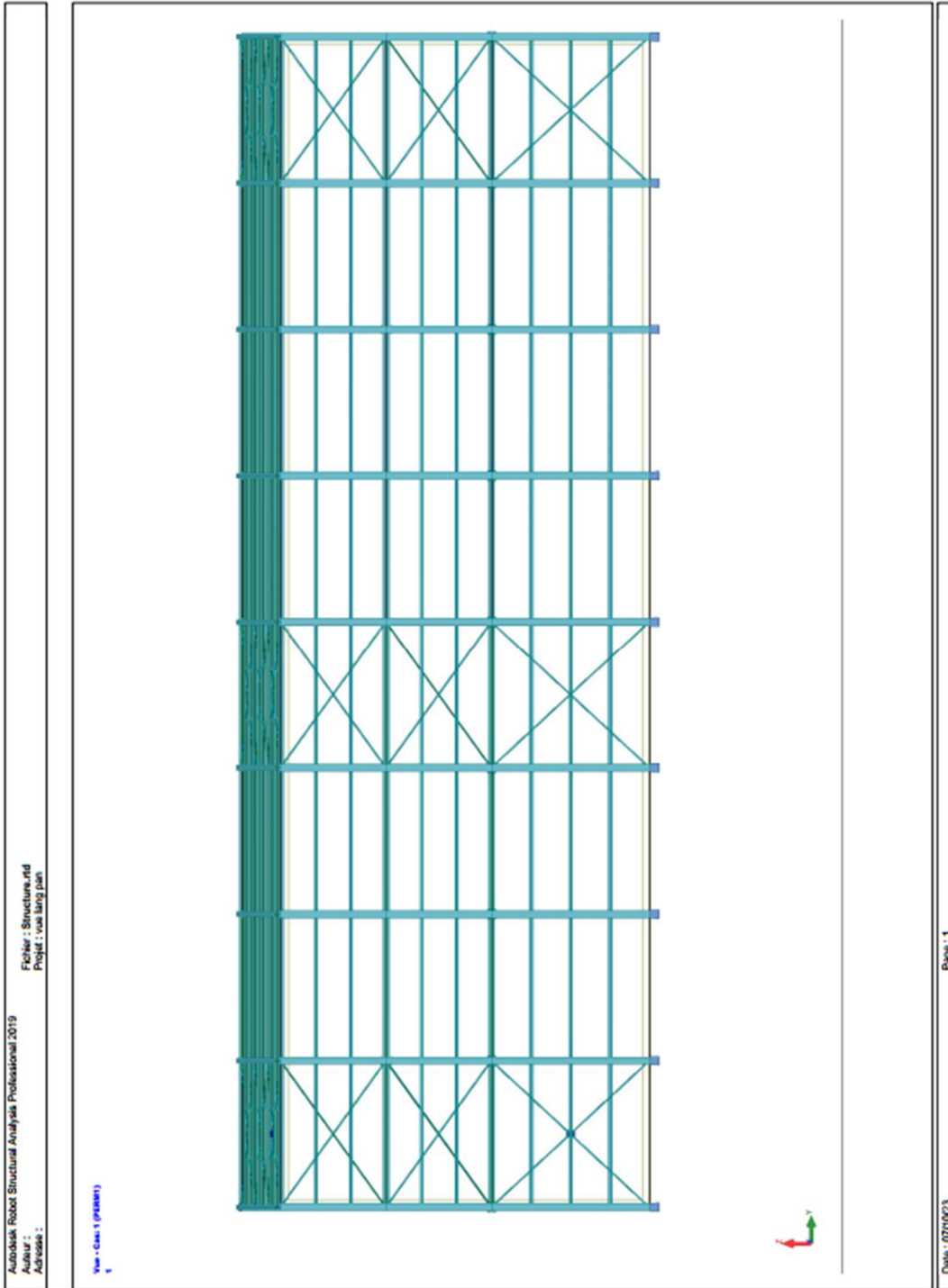


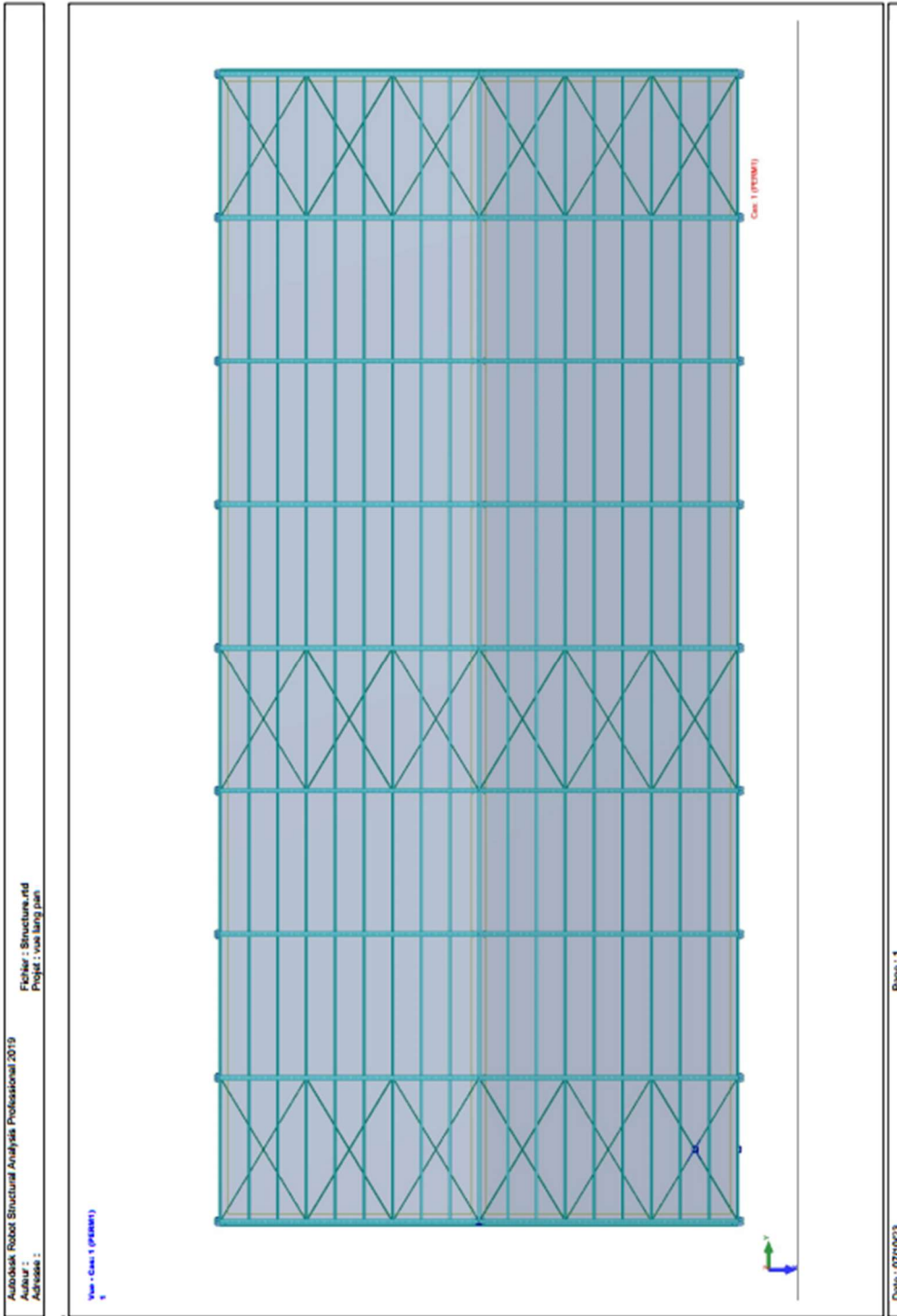
# Plans

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019  
Auteur : Fichier : Structure.rtd  
Adresse : Projet : Structure



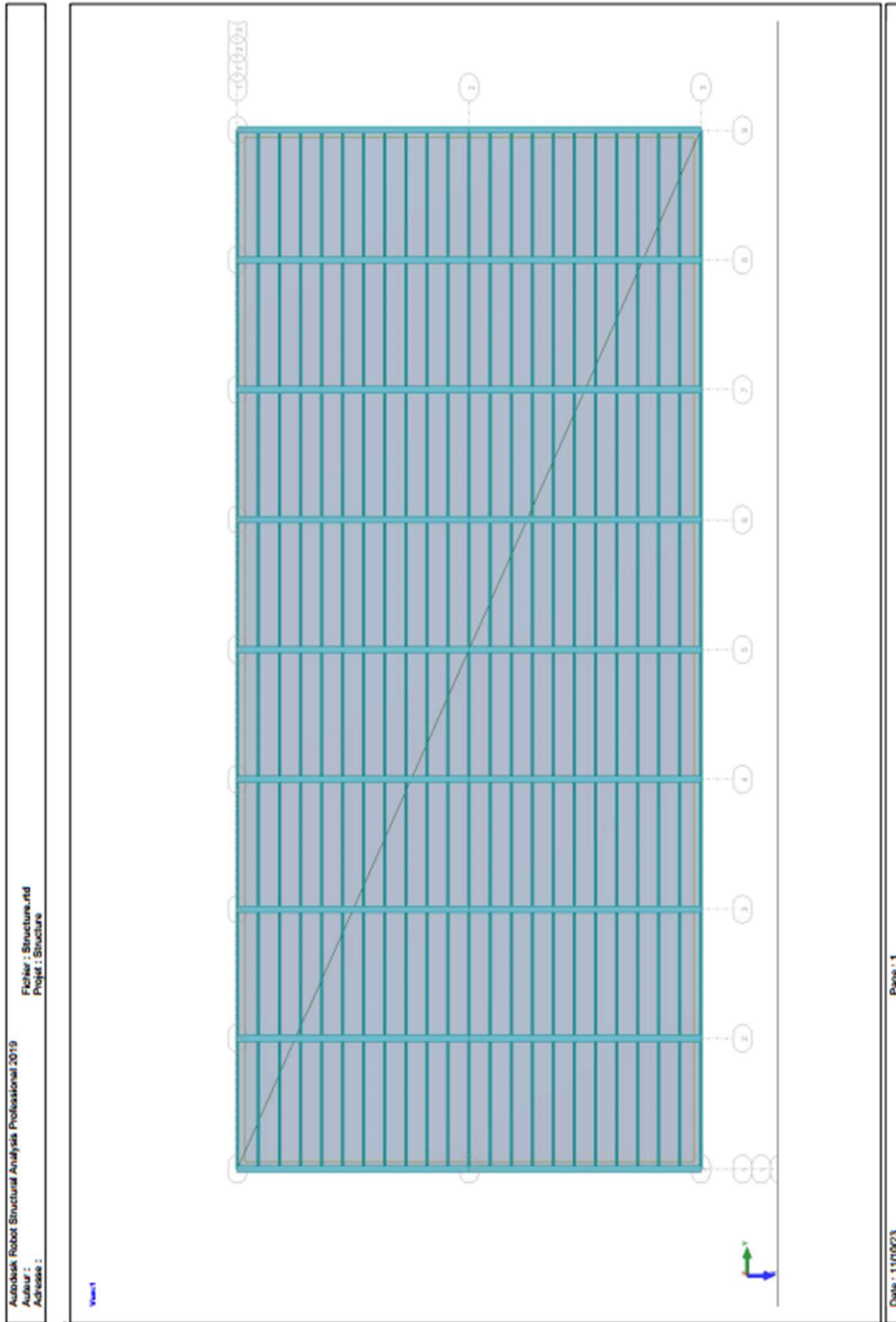
Date : 07/10/23 Page : 1



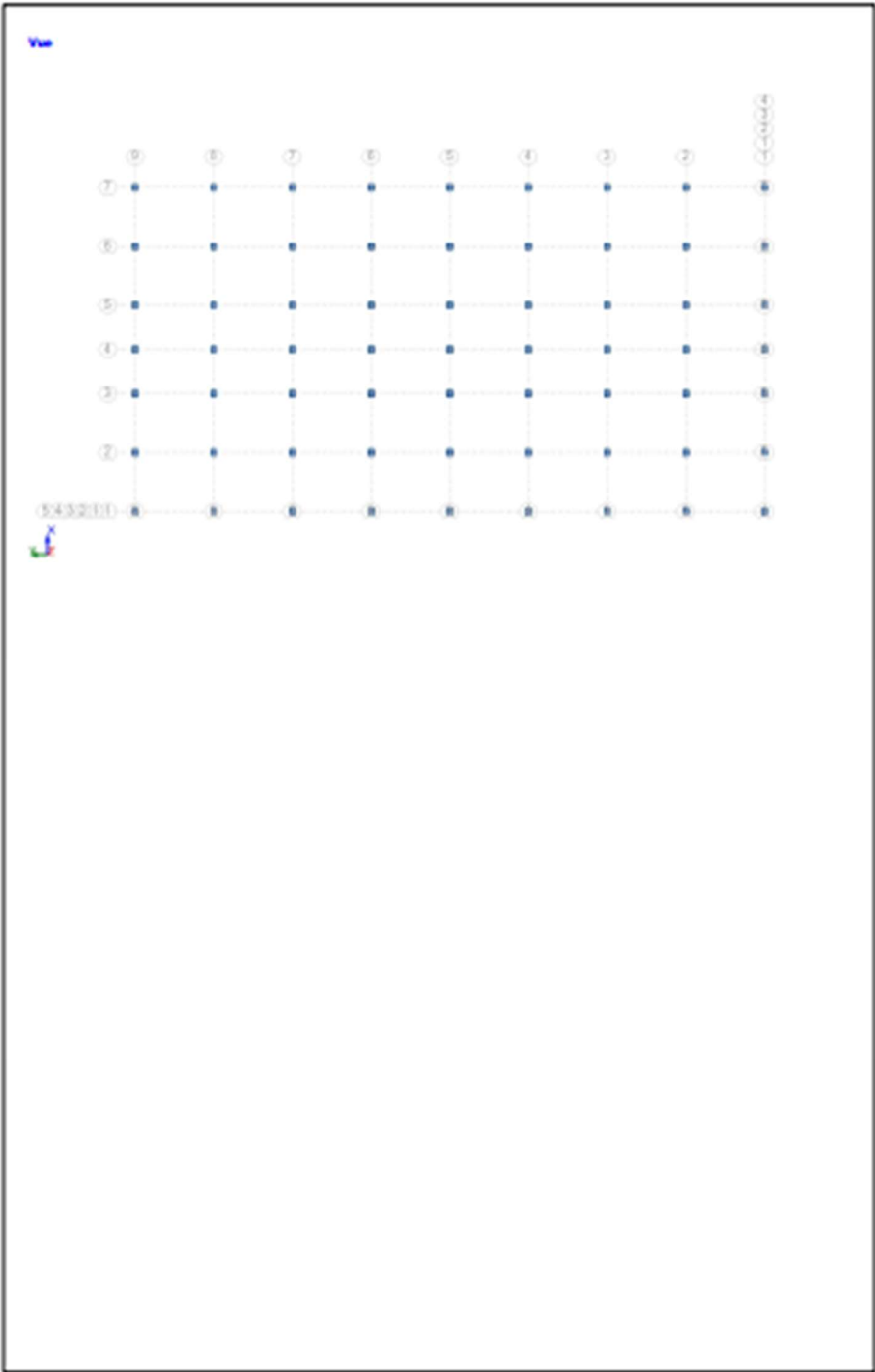


Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019  
Eklhar : Structures and  
Project : vna lang pan  
Address :

Date : 07/10/23  
Page : 1



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019  
Auteur : Fichier :  
Adresse : Projet : Structure



Date : 10/10/23 Page : 1