

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**



UNIVERSITÉ DE BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil



MEMOIRE DE MASTER

Option : Construction Métallique et mixte

Thème

**HANGAR AVEC PONT ROULANT
DE 5 T**

Présenté Par :

Djedjig yamina

Devant le jury composé de :

U. Saad Dahleb-Blida	President	
U. Saad Dahleb-Blida	Examineur	
Mr. ZAHAF Ahmed	U. Saad Dahleb-Blida	Promoteur

Blida , Octobre 2023

الملخص

هذا المشروع هو دراسة وتصميم قاعة معدنية مع جسر رافع تقع ببلدية مفتاح دائرة ولاية البليدة وفقا للوائح الجزائرية يتكون من عدة أروقة مثبتة بدعامات ومغطاة بسقف ذو منحدرين . تم تحضير هذا المشروع في عدة مراحل . أولا تقييم <<الأحمال دراسة الجسر الرافع >> ثم الدراسة المناخية (الرياح و الثلوج) <<R.N.V.99>> بموجب اللائحة الجزائرية نسخة 2013 , سمحت افتراضات الأحمال بحساب مختلف العناصر (الثانوية و الحاملة) . ثم الدراسة الديناميكية <<وفقا للوائح الجزائرية كخطوة نهائية , ثم دراسة البنية التحتية لزلزال <<R .P.A.99 >> . وبعد ذلك تم حساب الوصلات وفقا لقوانين الهياكل المعدنية <<C.C.M.97>> العمل ينتهي مع استنتاجات التحتية وفقا لقواعد <<BAEL91>>

الكلمات المفتاحية: هياكل معدنية , جسر رافع

Résumé

Ce projet consiste à étudier et dimensionner un Hangar métallique avec un pont roulant en charpente métallique situé à la commune maftah , Wilaya de « Blida » . selon les règlements algériens en vigueur.

Il est constitué de plusieurs portiques, stabilisés par des contreventements, et couvert par une toiture à deux versants symétriques.Ce projet a été élaboré en plusieurs étapes ; en premier lieu l'évaluation des charges et surcharges, l'étude climatique (vent, neige) selon le règlement Algérien « R.N.V.

99 » version 2013 . ensuite l'étude du chemin de roulement a été réalisé. Les hypothèses de charges ont permis d'établir la descente des charges pour le dimensionnement des différents éléments (secondaires et porteurs). L'étude dynamique, selon le règlement parasismique Algérien « R.P.A. 99 », a été ensuite menée. Après ceci, les assemblages ont été étudié selon le code de la charpente métallique « C.C.M. 97 ». l'infrastructure a été étudié selon le règlement « BAEL91 ». comme dernier étape Le travail se termine par une conclusion.

Mots-clés : Charpente métallique, Hangar métallique, Pont roulant.

Abstract

This project is a study and a design of a steel hall with a rolling bridge located in the town of maftah, Wilaya of "Blida". use according to the Algerian codes. It consists of several porticos, stabilized by bracing, and covered by a symmetrical gable roof. This project was developed in several stages. First, the evaluation of the loads and the overloads, the climate study (wind and snow) under the Algerian rules of "R.N.V. 99" version 2013. Then, the calculation of the rolling bridge was treated. The assumed loads allowed us to establish the inventory of the loads for the design of the different elements (secondary and bearer). The dynamic study, according to the Algerian earthquake codes "R.P.A. 99" was performed, and the connections were investigated under the steel structures code "C.C.M. 97". As a final step, the infrastructure was studied according to the "BAEL91" rules. The work ends with a conclusion.

.Keywords: Steel structure, Hangar, Rolling Bridge.

Remerciements

En premier lieu, je tiens à exprimer ma gratitude envers le Tout-Puissant, Allah, pour m'avoir accordé la force, le courage et la détermination nécessaires pour accomplir ce modeste travail. De plus, je souhaite remercier chaleureusement mon encadreur Mr . ZAHAF, pour ses précieux conseils et son orientation qui m'ont grandement aidé à réussir dans cette tâche.

Enfin, je remercie vont à toutes les personnes qui ont, de pré ou de loin, apporté aide et encouragements.

yamina

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: géométries de l'ouvrage	2
Figure 1.1 : pont roulant.....	5
Figure 2.1:les panes.....	8
Figure3.2: liernes (L'effort dans les tronçons)	16
Figure3.3: vue en 2D de L'échantignole.....	18
Figure3.4: disposition des lisses de bardages	20
Figure3.5: la ferme.....	25
Figure3.6: les potelets de la face pignon	33
Figure3.7: schéma de la poutre vent	38
Figure3.8 : l'effort (F_d) dans la diagonal d'extrémité	39
Figure3.9: schéma statique de palée dz stabilité de long pan	45
Figure3.10: les poteaux	46
Figure4.1: les4 directions de vent	51
Figure4.2: vue en plan	56
Figure4.3 ::vue en élévation	56
Figure4.4:légende pour les parois verticale V1.	56
Figure4.5: direction du vent $\Theta = 0^\circ$	57
Figure4.6: Répartition des cpe sur la toiture dans le sens V1	59
Figure4.7: vue en plan	59
Figure4.8: élévation	59
Figure4.9: légende pour les parois verticales V2	60
Figure4.10:direction du vent $\Theta = 90^\circ$	61
Figure 3.11:coefficients de pression intérieure cpi des bâtiments sans face dominante.	62
Figure 4.12: Charge de neige répartie sans redistribution par le vent	70

Figure5.1 : spectre de réponse	74
Figure5.2: spectre de réponse	74
Figure 5.3.mode1	74
Figure 5.4.mode2	74
Figure 5.5.mode3	74
Figure5.6: Résultante des forces sismiques à la base E_x	76
Figure5.7: Résultante des forces sismiques à la base E_y	76
Figure5.8:Déplacement par rapport E_x	77
Figure5.9: Déplacement par rapport E_y	77
Figure 6.1 :Les ciseaux	92
Figure7.1: Fondation	95
Figure7.2: ferrailage des semelles isolées	98
Figure7.3: ferrailage des longrines	99
Figure 8.1 : les nœud de la ferme.....	125

Liste des tableaux

Tableau3. 1: les efforts dans les nœuds.....	28
<i>Tableau3.2: les combinaisons les plus défavorables.....</i>	<i>28</i>
Tableau 3.3:coefficient Xmin.....	30
Tableau3.4:coefficient Xmin.....	30
Tableau3.5:coefficient Xmin.....	31
Tableau 3.6: Tableau des coefficients.....	36
Tableau3.7: Tableau des coefficients.....	42
Tableau 3.8: Tableau des coefficients.....	43
Tableau 3.9: Tableau des coefficients.....	49
Tableau4.1:coefficient de la rugosité Cr.....	53
Tableau4.2: intensité de turbulence.....	54
Tableau 4.3 : valeurs de c_e , q_p	55
Tableau4.4: valeur de surface et coefficient Cpe de parois verticale.....	56
Tableau 4.5: les valeurs des surfaces et coefficient cpe de toiture (V1).....	58
<i>Tableau4.6: les valeurs du surface et coefficient Cpe parois verticale V2.....</i>	<i>60</i>
Tableau4.7: les valeurs du surface et coefficient Cpe parois verticale V2.....	61
Tableau4.8:condition de la toiture isolée.....	63
<i>Tableau4.9:condition de la face dominante.....</i>	<i>63</i>
Tableau4.10:les valeurs de pression aérodynamique des parois verticales au long pan V1 et V3.....	64
<i>Tableau4.11:les valeurs de pression aérodynamique de toiture au long pan V1 et V3.....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau4.12:les valeurs de pression aérodynamique des parois verticales au pignon V2.....</i>	<i>65</i>
Tableau4.13:les valeurs de pression aérodynamique de toiture au pignon V2.....	65
Tableau4.14:les valeurs de pression aérodynamique des parois verticales au pignon V4.....	66
Tableau 4.15:les valeurs de pression aérodynamique de toiture au pignon V4.....	66
<i>Tableau4.16: coefficient de forme (toiture à deux versantes).....</i>	<i>69</i>

Tableau5.1: Valeurs des pénalités p_p	72
Tableau 5.2 : Les éléments métalliques constituant la structure.....	73
Tableau5.3: Résultante des forces sismiques à la base.....	76
Tableau5.4: Vérification du déplacement.....	77
Tableau .6.1: Les éléments métalliques constituant la structure.....	80
Tableau9.1 : Caractéristique du pont roulant.....	155
Tableau9.2: Caractéristique géométriques du pont roulant.....	155
Tableau 9.3: Les coefficients et classement de pont roulant.....	156
Tableau 9.4: caractéristiques du rail A65.....	157

LISTE DES SYMBOLES

Anet : Section nette d'une pièce

Aw: Section de l'âme.

A: Aire de cisaillement.

Ct : Coefficient de topographie.

Cr : Coefficient de rugosité.

Ce : Coefficient d'exposition.

Cd : Coefficient dynamique.

Cpe: Coefficient de pression extérieur

Cpi: Coefficient de pression intérieur

E : Module d'élasticité longitudinale de l'acier ($E=2.1 \cdot 10^5$ MPa).

F : Force en générale.

G : Module d'élasticité transversale de l'acier ($G=81000$ MPa).

G : Charge permanente.

I : Moment d'inertie.

Iv : Intensité de turbulence.

K0 : Coefficient de flambement.

Kt : Facteur de terrain.

Ky,θ: Facteur de réduction d'une propriété de l'acier (contrainte ou d'une déformation) à une température élevée θ_a

L : Longueur.

L : la portée du pont roulant

M : Moment de flexion.

Mcrd: moment résistant de la section transversale à la flexion

MSd : Moment fléchissant sollicitant.

MRd: Moment résistant par unité de longueur dans la plaque d'assise.

MPl : Moment plastique.

Mb,Rd : Moment de la résistance au déversement .

Npl ,Rd : Effort normal de la résistance plastique de la section transversale brute.

Nb,Rd : Effort normal d'un élément comprimé au flambement.

NSd : Effort normal sollicitant.

Nt sd : Effort normale de traction.

Ncsd : Effort normal de compression.

Nc,Rd : Valeur de calcul de la résistance de la section transversale à la compression.

Q : Charge d'exploitation.

R : Coefficient de comportement de la structure.

: La charge de la neige.

Vs: Valeur de calcul de l'effort tranchant.

Vréf : Vitesse de référence du vent.

Wpl : Module de résistance plastique.

W : Poids de la structure.

Z : Hauteur au-dessus du sol.

Z0 : Paramètre de rugosité.

Zeq : Hauteur équivalente

Sommaire

ملخص

Résumé

Abstract

Remerciement

Liste des figures

Liste des tableaux

LISTE DES SYMBOLES

Introduction général1

Chapitre 1 : présentation du projet.....2

1.1. introduction.....2

1.2. caractéristique de l'ouvrage2

1.2.1. géométries de l'ouvrage.....2

1.2.2. pont roulant.....3

1.3. localisation et données concernant le site3

1.4. règlements utilise4

1.5. Caractéristique des matériaux.....4

Chapitre2 : A perçus sur les ponts roulants.....5

2.1 introduction.....5

2.2 définitions.....5

2.3 type de poutre de pont roulant.....6

2.4 mécanismes de mouvement.....6

2.5 les données d'un projet avec pont roulant.....7

Chapitre 3 : prédimensionnement des élément.....8

3.1. introduction.....8

3.2. prédimensionnement des pannes.....8

3.2.1.charges et sur charges.....8

3.2.2. combinaisons de charge les plus défavorable.....9

3.2.3	vérification à l'état limite ultime.....	10
3.2.4	vérification à l'état limite de service (la flèche).....	14
3.3.	prédimensionnement des liernes.....	16
3.3.1.	calcul de l'effort maximal revenant aux liernes.....	16
3.3.2.	Dimensionnement des liernes	17
3.4.	Pré-dimensionnement de l'échantignolle.....	18
3.4.1.	Calcul des charges revenant à l'échantignolle.....	18
3.4.2.	Dimensionnement de l'échantignolle.....	19
3.5.	Pré-dimensionnement des lisses de bardages.....	20
3.5.1.	Evaluation des charges et surcharges.....	20
3.5.2.a	l'état limite ultime (long pan).....	21
3.5.3.A	l'état limite de service (long pan).....	23
3.5.4 A	l'état limite ultime (pignon).....	23
3.5.5 A	l'état limite service (pignon)	24
3.6.	Pré dimensionnement des éléments fermes.....	25
3.6.1.	Les charges et surcharges agissantes sur la ferme.....	25
3.6.2.	Calcul des efforts dans les barres.....	26
3.6.3.	Dimensionnement des barres.....	29
3.7.	Pré-dimensionnement des potelés.....	33
3.7.1.	Evaluation des charges et surcharges.....	33
3.7.2.	Dimensionnement du potelet.....	34
3.8.	prédimensionnement des contreventements.....	37
3.8.1.	Poutre au vent	37
3.8.2..	Evaluation des efforts.....	38
3.8.3.	vérification à la résistance ultime de la section	40
3.8.4	prédimensionnement de la palée de stabilité long pan.....	45
3.9.	prédimensionnement des poteaux.....	46
3.9.1.	évaluation des charges et surcharge.....	47
3.9.2.	prédimensionnement.....	47

Chapitre 4 : Etude au vent.....	51
4.1. Introduction	51
4.2. L'effet du vent	51
4.2.1. Définition.....	51
4.2.2. Direction du vent.....	51
4.3. Détermination des différents paramètres et coefficients de calcul	52
4.4. Calcule de la pressio.....	53
4.4.1Détermination de la pression dynamique de pointe (z_e).....	53
4.4.2. Détermination de coefficient de pression extérieure c_{pe}	55
4.4.3. Détermination des coefficients de pression intérieure c_{pi} ...61	
4.4.4.Détermination de la pression aérodynamique $W(z_e)$	64
4.4.5.Détermination de la force de frottement F_{fr}	66
4.5. Action neige.....	67
4.5.1 But de l'étude.....	67
4.5.2.Domaine d'application de règlement neige et vent RNVA	68
4.5.3. Calcul des charges de neige.....	68
 Chapitre 5 : Etude sismique.....	 71
5.1. Introduction.....	71
5.2. Classification.....	71
5.3. Méthode dynamique modale spectrale.....	71
5.4. Spectre de réponse de calcul.....	71
5.5. Les éléments métalliques constituant la structure.....	70
5.6. Analyse dynamique de la structure.....	73
5.7. Exploitation des résultats.....	74
 Chapitre 6 : Vérification des éléments	 78
6.1. introduction.....	78
6.2. Calcul et dimensionnement avec logiciel robot	80
6.3. Combinaison de charge.....	80
6.4. Vérification des éléments.....	80

Chapitre 7 : Etudes des fondations.....	95
7.1. Introduction.....	95
7.2. Type des fondations.....	95
7.3. Les fondations superficielle.....	96
7.4. Calcul des fondation.....	96
7.5. Calcul des longrines.....	98
Chapitre8: Calcul des assemblages.....	100
8.1. Introduction.....	100
8.2. Modes d'assemblages.....	100
8.3. Assemblage avec le logiciel Robot.....	101
8.4 . Calcul et vérification des assemblages.....	101
8.4.1. Pied de Poteau encastré (LES POTEAUX).....	101
8.4.2. Pied de Poteau articulé (POTELET).....	105
8.4.3. Poutre au vent	108
8.4.4. Palée de stabilité.....	113
8.4.5. Assemblage poteau – support de roulement.....	117
8.4.6. Assemblage de la ferme.....	125
Chapitre 9 : Etude du pont roulant.....	156
9.1. Introduction.....	156
9.2. Caractéristiques de pont roulant.....	156
9.3. Définition des charges et coefficients.....	157
9.4. Dimensionnement de la poutre de roulement.....	158
9.5. Dimensionnement du support de chemin de roulement.....	162
CONCLUSION GENERALE	164
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	

Introduction général

Mon projet en main consiste à faire l'étude de l'ossature d'un hangar avec pont roulant en charpente métallique.

La construction en acier présente plusieurs avantages sur la construction en béton , permet ces avant âges on peut citer :

- Une résistance mécanique élevée à la traction permettant d'adaptation plastique pour une plus grande sécurité .
- Le montage se fait avec une rapidité remarquable par boulonnage ou soudure .
- Préfabrication d'un bâtiment en atelier et montage sur chantier
- Possibilité de modification et de recyclage d'un bâtiment .
- Bonne tenue en cas de tremblement de terre .

L'étude de ce projet se fer a tout en respectant les réglementations et recommandation en vigueur à savoir (RPA 99/2003, BAEL et CBA93, CCM97, EUROCODE 3, RNV99 VERSSION 2013)

La méthodologie générale de conception consiste à :

- Déterminer tous les actions agissantes sur la structure (charge permanentes , charges variables , charges climatique).
- Examiner les combinaisons possibles de ces changes pondérées afin d'entier celle la plus défavorable .
- Calculer les sollicitations en résultent .
- Dimensionner les différentes composantes de la structure en tenant compte deux critères : la résistance des pièces (ELU état limite ultime) et la stabilité de forme (ELS état limite de service)

Il faut noter que les éléments d'une structure son dimensionné d'une façon dissonante , la raison est que pour dimensionner un élément donné , il faut au moins savoir le poids des pièces attachées au dessus de cet élément et qui le sollicitent : ce qui nous oblige à faire le calcul de ces pièces au préalable .

CHAPITRE 1 : présentation du projet

1.1.introduction

Notre projet consiste à l'étude d'un hangar a deux vessant en construction métallique avec un pont roulant de 5 tonnes qui est implémenté à la wilaya a de blida (Meftah) dans un site plat .

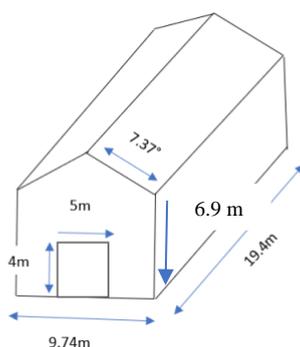


Figure 1.1: géométries de l'ouvrage

1.2.caractéristique de l'ouvrage

1.2.1.géométries de l'ouvrage

- Hauteur totale : 7.53m
- Hauteur au poteau : 6.9 m
- Longueur du long pan : 19.4 m
- La largeur du pignon : 9.74 m
- La pente du versant : 7.37 °

1.2.2.pont roulant

le pont roulant utilisée dans ce projet est un pont roulant bipoutres à utilisation régulière en service intermittent avec un état de charge entre le tiers et les deux tiers de la charge nominale courante , charges nominale assez fréquenté (groupe II)

- Capacité de charge maximale $Q= 5$ tonnes
- Portée de pont $L_p=9.2$ m
- Poids du pont roulant $B= 6t$
- Poids du chariot et de son équipement $K = 3.5$ t
- L'empâtement $e = 2.7$ m
- Vitesse de translation maximale $V_t = 100$ m/min
- Vitesse de direction du chariot $V_d= 30$ m/min
- Vitesse de
- levage $V_e = 7$ m/min

1.3. localisation et données concernant le site

- Le site : wilaya de blida
- L'altitude : 260m
- La zone du vent : zone I
- La zone sismique : IIb
- La zone de neige : zone B (groupe de commune II)
- Contrainte a admissible du sol : $\sigma_{sol} = 2$ bar

1.4. règlements utilise

- CCM97 :«règles de calcul des constructions en a crier»
- Eurocode 3«calcule des structures en a crier »
- DTR-C22 «document technique règlement charges permanentes et charges d'exploitations»
- RPA99-V03 «règles parasismiques algériennes RPA99 version 2003»
- RNV99-V2013«règles définissant les effets de la neige et du vent »
- BAEL91 «béton armé aux états limites »
- CTICM «calcul du pont roulant »

1.5. .Caractéristique des matériaux

❖ Acier

l'acier est une combinaison de fer et carbone , c'est un matériau par transformation le fer l'élément prédominant entant dans sa composition .

- Nuance d'acier : s235
- La limite élastique : $f_y = 235 \text{ MPa}$
- La résistance à la traction : $f_n = 360 \text{ MPa}$
- La masse volumique : $P = 7850 \text{ kg/m}^3$
- Module d'élasticité longitudinale : $E = 210000 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité transversale : $G = 84000 \text{ MPa}$

❖ Béton

- La résistance à la compression : $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- La densité volumique : $P = 2500 \text{ kg/m}^3$
- Coefficient de retrait : $2 \cdot 10^{-4}$

CHAPITRE 2 : A perçus sur les ponts roulants

2.1. introduction

La manutention d'objets lourds dans un hangar industriel nécessite souvent l'emploi d'engins spéciaux dits engins de manutention ou de levage . parmi les plus courants on trouve les ponts roulants , qui ont des caractéristique que fixes fournis par le constructeur .

2.2. définitions

- Pont roulant : appareil destiné au levage et au déplacement de charges, se déplaçant sur des galets le long de poutres de roulement . il comprend un ou plusieurs treuil monté sur des chariots posés ou suspendus .

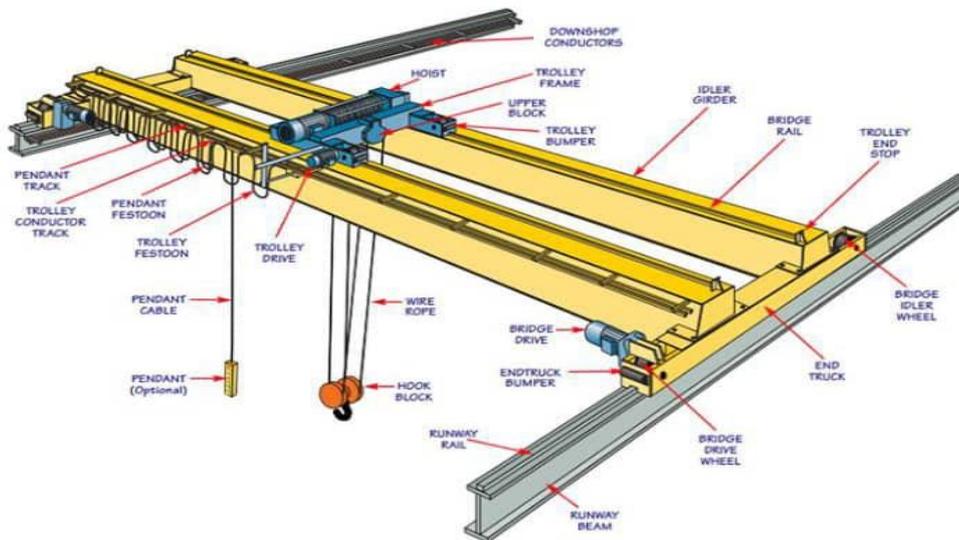


Figure 2.1 : pont roulant

- Treuil : mécanisme destiné au levage des charges
- Chariot : partie d'un pont roulant qui comprend un treuil de levage et qui peut se déplacer sur des rails à la partie supérieure de pont roulant .
- Poutre de pont : partie d'un pont roulant disposée entre les poutres de roulement et qui supporte le chariot ou le treuil de levage .
- Poutre de roulement : poutre le long de laquelle un pont roulant peut se déplacer
- Pont roulant posé : pont roulant appuyé sur la partie supérieure des poutres de roulement il se déplace sur des rails
- pont roulant suspendu : pont roulant appuie sur les ailes inférieures des poutres de roulement

2.3. type de poutre de pont roulent

on distingue 2 familles principales d'appareils dont la construction peut être des deux tyoe suivants :

- le pont roulant bipoutre : lorsque le pont est constituée de deux poutres (chariot bi-rail)
- le pont roulant mon-poutre : lorsque le pont est réalisée avec une seule poutre (le chariot monorail)

2.4. mécanismes de mouvement

les éléments mobiles (crochet , chariot , pont) d'un engin de manutention permettent d'effectuer simultanément trois genres de mouvements :

- levage : mouvement vertical de la charge levée
- direction : mouvement du chariot transversal à la halle
- translation : mouvement du pont roulant longitudinal à la halle

2.5. les données d'un projet avec pont roulant

Parmi les données nécessaires au constructeur du pont roulant , il y a :

- la charge nominale de levage Q_{non}
- la portée S du pont roulant
- les vitesses de levage, de direction et de translation

la base de ces indications , le constructeur fournit à l'ingénieur responsable du projet les données suivantes :

- types et dimensions du chariot.
- Position extrêmes du chariot e et du crachet (g)
- Empattement (écartement a des galets) .
- Diamètre des galets .
- Charges extrêmes des galets du pont roulant sur la poutre de roulement
- Type de rail nécessaire
- Longueur du pont hors tout
- Effort de tamponnement sur le butoir

CHAPITRE 3 : prédimensionnement des éléments

3.1. introduction

Ce chapitre consiste à dimensionner les éléments de la structure, les calculs et les formules de vérification utilisées sont tirées de l'Eurocode 3

3.2. prédimensionnement des pannes

Les pannes sont les éléments qui supportent les panneaux de couvertures généralement en I ou en V. elles sont soumises à la flexion déviée sous l'effet du poids propre de la couverture aux actions climatiques et à la surcharge d'entretien. elles sont disposées parallèlement au filage

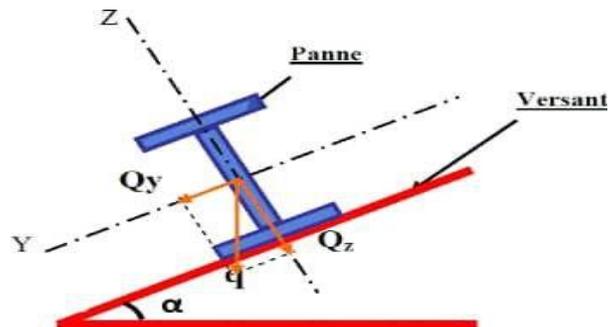


Figure 3.1:les pannes

3.2.1. charges et sur charges

- Données de calcul :
 - Un portique (ferme) recevant 4 pannes par versant et une panne faitière
 - L'espace horizontal des pannes est 1.25 (entre axe 1.26 m)
 - Les fermes sont espacées de 4m
 - La pente du versant est 7.37
 - Poids propre de la panne estimé (12 dan / ml)
 - Poids propre de panneau sandwich T75 (15 dan/m²)
 - Poids propre d'accessoires (5dan/m²)
 - Les pannes sont en acier 235
- Charges permanents G :

$$G = e (p \text{ tôle} + p \text{ accessoires}) + P_{\text{panne}} = 1.26(15+5) + 12 = 37.2 \text{ dan / ml}$$

- Surcharge climatique de vent V :

$$V = -106,749 \times 1,26 = -134.56 \text{ dan/ml}$$

- Surcharge neige N :

$$N = 16,3 \times 1,25 = 20,38 \text{ dan/ml}$$

- Surcharge d'entretien P :

Dans le cas de toitures inaccessibles en considéré uniquement dans les calculs une d'entretien qui est égales aux poids d'un ouvrier et son assistant et qui est équivalente

A deux charges concentrées de 100kg chacune située à $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$ de la porte de la panne.

La charge uniformément répartie P due aux sur charges d'entretien est obtenue en égalisant

Les deux moments maximaux du à P et aux charges ponctuelles P

$$M_{\max} = \frac{p'l}{3} = \frac{pl^2}{8}$$

$$P = \frac{8p'l}{3l} = \frac{8 \times 100}{3 \times 4} = 66,67 \text{ dan/ml}$$

3.2.2. combinaisons de charge les plus défavorables

- Actions vers le bas ↘ :

$$Q_{sd1} = 1,35G + 1,5P = 1,35 \times 37,2 + 1,5 \times 66,67 = 150,23 \text{ dan/ml}$$

$$Q_{sd2} = 1,35G + 1,5N = 1,35 \times 37,2 + 1,5 \times 20,38 = 80,79 \text{ dan/ml}$$

$$Q_{sd} = \text{Max} (Q_{sd1} , Q_{sd2}) = 150,23 \text{ dan/ml}$$

- Actions vers le haut ↑ :

$$Q_{zsd} = G \cos \alpha - 1,5|V| = 37,2 \cos 7,37 - 1,5 \times 134,56 = -164,95 \text{ dan/ml}$$

$$Q_{ysd} = 1,35G \sin \alpha = 1,35 \times 37,2 \sin 7,37 = 6,44 \text{ dan/ml}$$

Résistance en section :

$$Q_{zsd} = Q_{sd} \cos \alpha = 150,23 \cos 7,37 = 148,99 \text{ dan/ml}$$

$$M_{ysd} = \frac{Q_{zsd} \cdot l^2}{8} = \frac{148,99 \times 4^2}{8} = 297,98 \text{ dan.ml}$$

$$Q_{ysd} = Q_{sd} \sin \alpha = 150,23 \sin 7,37 = 19,27 \text{ dan ml}$$

$$M_{zsd} = \frac{Q_{ysd} (\frac{l}{2})^2}{8} = \frac{19,27 (\frac{4}{2})^2}{8} = 9,64 \text{ dan.ml}$$

- Déversement de l'élément :

$$Q_{zsd} = -164,95 \text{ dan/ml}$$

$$M_{ysd} = \frac{Q_{zsd} l^2}{8} = \frac{-164,95 \times 4^2}{8} = -329,9 \text{ dan.ml}$$

$$M_{zsd} = \frac{Q_{zsd} \left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = \frac{6.44 \times 4 / 2^2}{8} = 3.22 \text{ dan.m}$$

3.2.3. vérification à l'état limite ultime

A) vérification à la flexion :

Par tâtonnement on choisit le profilé suivant IPE 100

➤ Classe de la section :

$$\text{Semelle : } \frac{c}{t_f} = \frac{55/2}{5.7} = 4.82 < 10\varepsilon = 10 \dots \text{classe 1}$$

$$\text{Semelle : } \frac{c}{t_w} = \frac{88.6}{4.1} = 4.82 < 72\varepsilon = 72 \dots \text{classe 1}$$

La section est de classe 1 (le calcul plastique)

La nature de la sollicitation est la flexion désirée d'après le CCM97 on utilise la formule suivant :

$$\left(\frac{M_{ySd}}{M_{plrd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{zSd}}{M_{plzrd}}\right)^\beta \leq 1$$

Les coefficients α et β

Pour les section en I et μ sont :

$$\alpha = 2 \quad , \quad \beta = 1 \quad (\beta = 5n \geq 1 \text{ avec } n = \frac{N_{sd}}{M_{plrd}} = 0)$$

AN : IPE 100 ($W_{ply} = 39.4 \text{ cm}^3$ / $W_{pl} = 9.1 \text{ cm}^3$)

- $M_{plrd} = \frac{W_{ply}.f_y}{Y_{mo}} = \frac{39.4 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 841,73 \text{ dan.m}$
- $M_{plzrd} = \frac{W_{pl}.f_y}{Y_{mo}} = \frac{9.1 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 194,4 \text{ dan.m}$
- $\left(\frac{297,98}{841,73}\right)^2 + \left(\frac{9,64}{194,4}\right) = 0.17 \leq 1 \dots \text{vérifiée}$

B) vérification au cisaillement :

la vérification au cisaillement est donnée par les formule suivants :

$$V_{zsd} \leq V_{plzrd}$$

$$V_{ysd} \leq V_{plyrd}$$

$$V_{plzrd} = \frac{A_{vz} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{mo}}$$

$$V_{plyrd} = \frac{A_{vy} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{mo}}$$

$$AN : EPE 100 (A_{vz} = 5.08 \text{ cm}^2)$$

$$A_{vy} = 2btf + (t_w + r)t_w = 2 \times 55 \times 5.7 + (4.1 + 7)4.1 = 6,73 \text{ cm}^2$$

$$V_{plzrd} = \frac{5.08 \times 2350}{1.1 \sqrt{3}} = 6265,83 \text{ dan}$$

$$V_{plyrd} = \frac{6,73 \times 2350}{1.1 \sqrt{3}} = 8300,98 \text{ dan}$$

$$V_{ysd} = \frac{Q_{zsd} l}{2} = \frac{148,99 \times 4}{2} = 297,98 \text{ dan}$$

$$V_{ysd} = 0.625 Q_{ysd} l / 2 = 0.625 \cdot 19,27 / 2 = 24.09 \text{ dan}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{zsd} = 297.98 \text{ dan} < V_{plzrd} = 625.83 \text{ dan} \dots \text{verfier} \\ V_{ysd} = 24.09 \text{ dan} < V_{plyrd} = 8300.98 \text{ dan} \dots \text{verfier} \end{array} \right\}$$

c) condition de voilement :

$$V_{zsd} = 297.98 \text{ dan} < 0.5 V_{plz,rd} = 3132.92 \text{ dan} \dots \text{vérifier}$$

$$V_{ysd} = 24.09 \text{ dan} < 0.5 V_{plyrd} = 4150.49 \text{ dan} \dots \text{vérifier}$$

d) vérification au déversement

déversement = flambement latéral + rotation de la section transversale

- Semelle supérieure qui est comprimée sous l'action des charge verticales descendantes est susceptible de déverser . vu qu'elle est fixée à la toiture il n'y a donc pas risque de déversement .
- Semelle inférieure :

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

- Calcul du moment ultime :

$$M_{ysd} = 329.9 \text{ dan.ml}$$

$$M_{zsd} = 3.22 \text{ dan.ml}$$

$$M_{ply.rd} = \frac{Wply.fy}{Ymo} = \frac{39.4 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 841,73 \text{ dan. m}$$

$$M_{plz.rd} = \frac{Wply.fy}{Ymo} = \frac{9.1 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 194,4 \text{ dan. m}$$

- La formule de vérification au déversement est la suivant :

$$\frac{M_{ysd}}{M_{brd}} + \frac{M_{zsd}}{M_{plzrd}} \leq 1$$

- Calcul du moment résistant au déversement : M_{brd}

$$M_{brd} = X_{lt} \cdot \beta \omega \frac{Wply.fy}{Ym1} = X_{LT} \cdot M_{plyrd}$$

($\beta \omega = 1$ pour les sections de classe 1 et 2)

➤ Méthode analytique :

L'élancement réduit λ_{lt} vaut :

$$\lambda_{lt} = \left[\frac{\beta \omega W_{pl,y,fy}}{M_{er}} \right]^{0.5} = \left[\frac{\lambda_{lt}}{\lambda_1} \right] = [\beta \omega]^{0.5}$$

$$\text{Ou : } \lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 93.9 \varepsilon \text{ et } \varepsilon = 1 \text{ (s235)}$$

$$\lambda_1 = 93.9 \varepsilon = 93.9$$

Pour les poutres à section constante et doublement symétriques (profilés lamines I et H).

l'élancement λ_{lt} vaut :

$$\lambda_{lt} = \frac{\frac{L}{i_z}}{C_1^{0.5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{L/i_z}{h/es} \right)^2 \right]^{0.25}}$$

$$Q_{lt} = 0,5 [1 + \alpha_{lt} (\lambda - 0,2) + \lambda_{lt}^2]$$

$$\alpha_{lt} = \frac{1}{Q_{lt} + (Q_{lt} - \lambda) 0,5} < 1$$

AN : I_{PE} 100 ($i_z = 1,24 \text{ cm}/h=10\text{cm} / l_s = 0.57\text{cm}$)

$C_1 = 1,132$ (une poutre simplement appuis avec une charge répartie)

$$\lambda_{lt} = \frac{\frac{200}{1,24}}{1,132^{0.5} \left[1 + \frac{1}{20} \left(\frac{200/i_1,24}{10/es0.57} \right)^2 \right]^{0.25}} = 100,26$$

$$\lambda_{lt} = \left[\frac{\lambda_{lt}}{\lambda_1} \right] \cdot [\beta \omega]^{0.5} = \frac{100,26}{93.9} \cdot 1^{0.5} = 1,07$$

Sections en I laminnées :

$$\begin{cases} \frac{h}{b} = 1,82 < 2 \Rightarrow \text{coube a } (\alpha_{lt} = 0.21) \\ \frac{h}{b} \geq 2 \Rightarrow \text{coube b } (\alpha_{lt} = 0.37) \end{cases}$$

$$Q_{lt} = 0.5 [1 + 0,21(1,07 - 0,2) + 1,07^2] = 1,16$$

$$\alpha_{lt} = \frac{1}{1,16 + (1,16^2 - 1,07^2)^{0,5}} = 0,62$$

➤ Méthode numérique :

α_{lt} est déterminé dans les tableaux de α en fonction de l'élançement réduit λ_{lt} et de la courbe de flambement approprié.

$$\lambda_{lt} = 1,07 \text{ (courbe de flambement a)}$$

Une fait une interpolation linéaire entre $\lambda_{lt} = 1,1$ et $\lambda_{lt} = 1,2$ (courbe a pour les profils lamines)

$$f(x) = f(x_1) - \frac{(x - x_1)}{x_2 - x_1} (f(x_1) - f(x_2))$$

$$f(x) = 0,596 - \frac{(1,07 - 1,1)}{1,2 - 1,1} (0,5960 - 0,53) = 0,62$$

$$M_{bRd} = \alpha_{lt} M_{plzed} = 0,62 \times 841,73 = 521,87 \text{ dan.m}$$

$$\text{➤ } \frac{329,9}{521,87} + \frac{3,22}{194,4} = 0,65 \leq 1 \text{ Vérifier}$$

3.2.4. vérification à l'état limite de série (la flèche)

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

$$Q_{sd1} = G + N = 37,2 + 20,38 = 57,58 \text{ dan/ml}$$

$$Q_{sd2} = G \cos \alpha - V = 37,2 \cos 7,37 - 134,56 = 129,79 \text{ dan/ml}$$

$$Q_{sd} = \max (Q_{sd1}, Q_{sd2}) = 129,79 \text{ dan/ml}$$

$$Q_{zsd} = Q_{sd} \cos \alpha = 128,72 \text{ dan/ml}$$

$$Q_{ysd} = Q_{sd} \sin \alpha = 16,65 \text{ dan/ml}$$

➤ Flèche verticale suivant ZZ (2 appuis)

$$f_{ad} = \frac{L}{200} = \frac{400}{200} = 2 \text{ cm}$$

$$f = \frac{5}{384} \frac{Q_{zsd} L^4}{E.I_y} = \frac{5 \times 128,72 \times 10^{-2} \times 400^4}{2,1 \times 10^6 \times 171} = 1,19 \text{ cm} < f_{ad} = 2 \text{ cm} \dots \dots \text{verifiée}$$

➤ Flèche latérale suivant (3 appuis)

$$f_{adm} = \frac{\frac{l}{2}}{200} = \frac{400/2}{200} = 1 \text{ cm}$$

$$f_y = \frac{2,05}{384} = \frac{Q_{ysd} (\frac{l}{2})^4}{E.I_z} = \frac{2,05 \times 16,65 \times 10^{-2} \times 200^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 15,92} = 0,04 < f_{adm} = 2 \text{ cm} \dots \dots \text{vérifiée}$$

conclusion : le profile choisi IPE 100 (les pannes) .

Remarque : on a augmenter la section des pannes dans la partie des Prédimensionnement

des poutre au vent (IPE 140)

3.3. Prédimensionnement des liernes

Les liernes sont des tirants qui fonctionnent en traction ils sont généralement formés de barres rondes ou de petites cornières . leur rôle principal est d'éviter la déformation latérale des pannes .

3.3.1. calcul de l'effort maximal revenant aux liernes

- La réaction R au niveau du Leierne

$$R = 1,25 Q_{ysd} \cdot \frac{l}{2}$$

$$R = 1,25 \times 19,27 \cdot \frac{4}{2} = 48,18 \text{ dan}$$

- l'effort de traction dans le tronçon de lierne L_1 provenant de la panne sablière :

$$T_1 = \frac{R}{2} = \frac{48,18}{2} = 24,09 \text{ dan}$$

- L'effort dans le tronçon L_2 :

$$T_2 = R + T_1 = 48,18 + 24,09 = 72,27 \text{ dan}$$

$$T_3 = R + T_2 = 48,18 + 72,27 = 120,45 \text{ dan}$$

- L'effort dans le diagonales L_4 :

$$2T_4 \sin \Theta = T_3 \quad (\Theta = \text{artg} \frac{1,26}{2} = 32,21)$$

$$T_4 = \frac{T_3}{2 \sin \theta} = \frac{120,45}{2 \sin 32,21} = 112,99 \text{ dan}$$

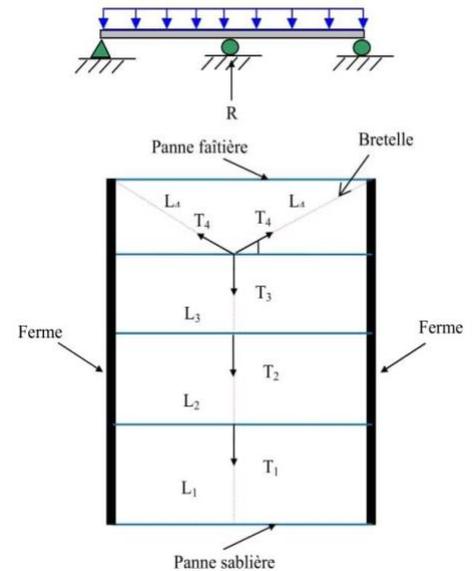


Figure3.2: liernes (L'effort dans les tronçons)

3.3.2. Dimensionnement des liernes

Le tronçon le plus sollicité est L₃

Élément tendu : $N_{sd} \leq N_{plrd}$

$$N_{plrd} = \frac{A f_y}{\gamma_{mo}}$$

$$N_{sd} = T_3 \leq \frac{A f_y}{\gamma_{mo}}$$

$$A \geq \frac{T_3 \gamma_{mo}}{f_y}$$

$$A \geq \frac{120,45 \times 1,1}{2350} = 0,06 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{\pi \theta^2}{4} \geq 180 \text{ cm}^2$$

$$\phi \geq \sqrt{\frac{4 \times 0,06}{\pi}} = 0,28 \text{ cm}$$

Conclusion : soit une barre ronde du diamètre $\phi = 0,5 \text{ cm}$ pour des raisons pratiques et pour plus de sécurité on opte une barre ronde du diamètre $\phi = 10 \text{ mm}$.

3.4. Prédimensionnement de l'échantignolle

L'échantignolle est un dispositif de fixation permettant d'attacher les pannes aux fermes. Elle est réalisée moyennant un plat plié. Elle est dimensionnée en flexion sous l'effet de l'effort de soulèvement du vent et de l'effort suivant versant.

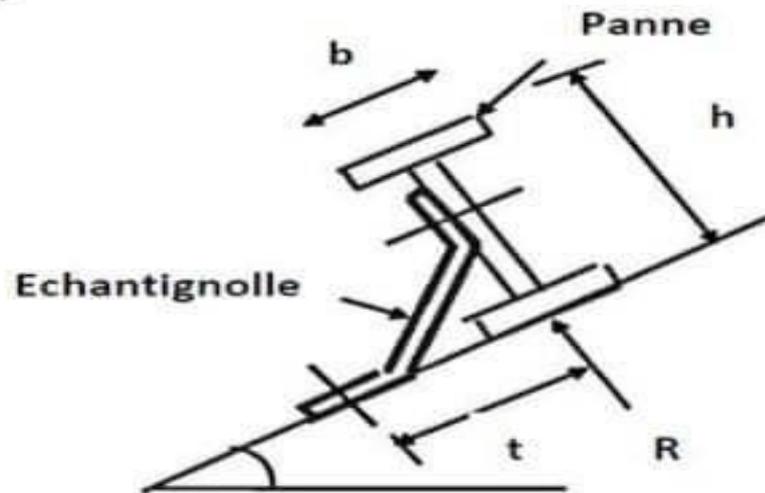


Figure 3.3: vue en 2D de l'échantignolle

3.4.1. Calcul des charges revenant à l'échantignolle

- L'effort de soulèvement :

$$Q_{zsd} = G \cdot \cos\alpha - 1,5V = -164,95 \text{ dan/ml}$$

- L'effort suivant rampant :

$$Q_{ysd} = 1,35 G \sin\alpha = 6,44 \text{ dan/ml}$$

- L'excentrement 't' est limité par la condition suivante : $2\left(\frac{b}{2}\right) \leq t \leq 3\left(\frac{b}{2}\right)$

Pour IPE100 ($b = 5,5 \text{ cm}$ / $h = 10 \text{ cm}$)

$$5,5 \text{ cm} \leq t \leq 8,25 \text{ cm} \text{ soit : } t = 8 \text{ cm}$$

- L'échantignolle de rive :

$$R_z = Q_{zsd} \cdot \frac{l}{2} = 164,95 \cdot \frac{4}{2} = 329,9 \text{ dan}$$

$$R_y = Q_{ysd} \cdot \frac{l}{2} = 6,44 \cdot \frac{4}{2} = 12,88 \text{ dan}$$

- L'échantignolle intermédiaire :

$$R_z = 2 \times 329,9 = 659,8 \text{ dan}$$

$$R_y = 2 \times 12,88 = 25,76 \text{ dan}$$

- Calcul du moment de renversement :

$$M_R = R_z \cdot t + R_y \cdot \frac{h}{2} = 659,8 \times 8 + 25,76 \times \frac{10}{2} = 5407,2 \text{ dan.m}$$

3.4.2. Dimensionnement de l'échantignolle

Flexion simple : généralement les échantignolles sont des éléments formés à froid. La classe de la section est au moins de classe 3 $M_{sd} \leq M_{el,Rd}$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{mo}}$$

$$M_{sd} = M_R \leq \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{mo}}$$

$$W_{el} = \frac{M_R \cdot \gamma_{mo}}{f_y} = \frac{5407,2 \times 1,1}{2350} = 2,53 \text{ cm}^2$$

$$W_{el} = \frac{b \cdot e^2}{6} \quad (\text{section rectangulaire})$$

$$e \geq \sqrt{\frac{6 \cdot W_{el}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \times 2,53}{2 \times 4 + 1}} = 1,3 \text{ cm} \quad (\text{ferme : 2L 40.40.4})$$

3.5. Prédimensionnement des lisses de bardages

Les lisses de bardages sont constituées de poutrelles (UPN, UAP) ou de profils minces pliés. Disposées intermédiaires, l'entre axe des lisses est déterminé par la portée admissible des barres de bardage. Les lisses destinées à reprendre les efforts du vent sur le bardage sont posés naturellement pour présenter leur inertie maximale dans le plan horizontal. La lisse fléchie verticalement en outre, sous l'effet de son poids propre et du poids du bardage qui lui est associé et de ce fait fonctionne à la flexion déviée.

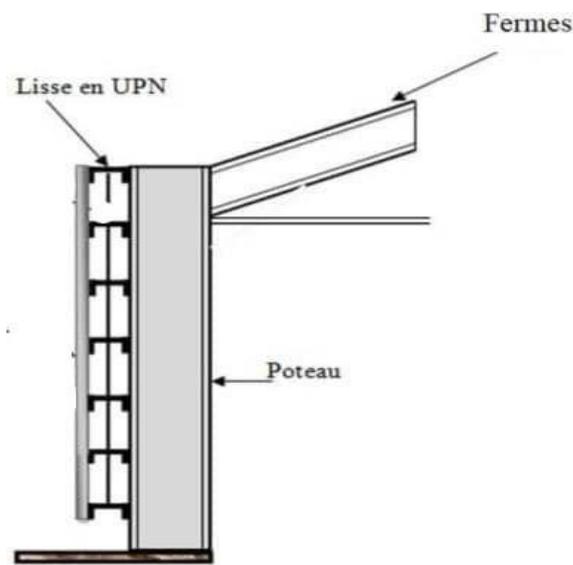


Figure3.4: disposition des lisses de bardages

3.5.1. Evaluation des charges et surcharges

- Donnés de calcul :
- La portée entre axe des lisses $e = 1,5$ m (espace entre 2 lisses) on dispose de 4 lignes de lisses sur chaque paroi.
- Les lisses sont en acier S235
- Poids propre du bardage (12 dan/m^2)
- Poids propre d'accessoires (5 dan/m^2)
- Poids propre de lisse VPN120 ($13,4 \text{ dan/ml}$)

➤ Charge permanentes G :

$$G = (P_{\text{couverture}} + P_{\text{accessoires}}) e + P_{\text{lisse}}$$

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

➤ Surcharge climatique V :

$$V_1 = 97,036 \times 1,5 = 145,55 \text{ dan/ml (long pan / paroi vertical v1)}$$

$$V_4 = 89,878 \times 1,5 = 134,82 \text{ dan/ml (pignon / paroi vertical v4)}$$

3.5.2. A l'état limite ultime (long pan)

➤ Combinaison de charge :

- $Q_{ysd} = 1,35 G = 1,35 \times 38,9 = 52,52 \text{ dan/ml}$
- $Q_{zsd} = 1,5 V_1 = 1,5 \times 145,55 = 218,33 \text{ dan/ml}$
- $M_{zsd} = Q_{ysd} \cdot \frac{(\frac{l}{2})^2}{8} = 52,52 \times \frac{2^2}{8} = 26,26 \text{ dan.m}$
- $M_{ysd} = Q_{zsd} \cdot \frac{l^2}{8} = 218,33 \times \frac{4^2}{8} = 436,66 \text{ dan.m}$

Par tâtonnement on opte pour UPN100

➤ Classification :

- Semelle : $\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{25}{8,5} = 2,49 < 10\varepsilon = 10 \dots\dots\dots$ classe 1
- Ame : $\frac{d}{t_w} = \frac{64}{6} = 10,67 < 72\varepsilon = 72 \dots\dots\dots$ classe 1

Profile UPN100 de classe 1

A) Vérification a la flexion déviée (bi-axiale)

Les lisses travaillent en flexion déviée pour la vérification on utilise la formule suivante :

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{plyRd}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plzRd}} \right)^\alpha < 1$$

Pour les section en N ($\alpha=2$, $\beta = 1$, $N = 0$)

$$M_{plyRd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{mo}} = \frac{49 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 1046,82 \text{ dan.m}$$

$$M_{plzRd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{y_{mo}} = \frac{16,2 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 346,09 \text{ dan.m}$$

AN :

$$\left(\frac{436,66}{1046,82}\right)^2 + \left(\frac{26,26}{346,09}\right)^1 = 0,25 < 1 \quad \text{vérifiée}$$

B) Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement doit satisfaire les formules suivantes :

$$V_{zsd} \leq V_{plzRd}$$

$$V_{ysd} \leq V_{plyRd}$$

$$A_{vy} = A - 2b \cdot t_f + (t_w + V) t_f$$

$$A_{vy} = 1350 - 2 \times 8,5 + (6 + 8,5) 8,5 = 6,23 \text{ mm}^2$$

$$V_{zsd} = \frac{Q_{zsd}}{2} = \frac{218,33 \times 4}{2} = 436,66 \text{ dan}$$

$$V_{ysd} = 0,625 Q_{ysd} \cdot \frac{l}{2} = 0,625 \cdot \frac{52,52 \times 4}{2} = 65,65 \text{ dan}$$

$$V_{plzRd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{y_{mo} \sqrt{3}} = \frac{6,46 \times 2350}{1,1 \sqrt{3}} = 7967,96 \text{ dan}$$

$$V_{plyRd} = \frac{A_{vy} \cdot f_y}{y_{mo} \sqrt{3}} = \frac{6,23 \times 2350}{1,1 \sqrt{3}} = 7684,27 \text{ dan}$$

$$\begin{cases} V_{zsd} = 436,66 \text{ dan} \leq V_{plzRd} = 7967,96 \text{ dan} & \text{vérifier} \\ V_{ysd} = 65,65 \text{ dan} \leq V_{plyRd} = 7684,27 \text{ dan} & \text{vérifier} \end{cases}$$

C) Vérification de l'élément au déversement :

Semelle comprimé : il n'a pas de risque de déversement de la lisse car la semelle comprimé est soutenue latéralement sur toute la longueur par le mur.

3.5.3. A l'état limite de service (long pan)

Le calcul de la flèche se fait par les combinaisons de charge et surcharge de service (non pondérées) $f \leq f_{adm}$

➤ Flèche horizontale (suivant z.z) : $f_{adm} = \frac{l}{200} = \frac{400}{200} = 2 \text{ cm}$

$$F_z = \frac{5}{384} \frac{V_4 \cdot L^4}{E \cdot I_4} = \frac{5 \times 145,55 \times 10^{-2} \times 400^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 206} = 1,22 \text{ cm} < 2 \text{ cm} \quad \text{vérifier}$$

➤ Flèche verticale (suivant y-y) : $f_{adm} = 1 \text{ cm}$

$$F_y = \frac{2,05}{384} \frac{G \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \cdot I_4} = \frac{2,05 \times 38,9 \times 10^{-2} \times 200^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 29,3} = 0,05 \text{ cm} < 1 \text{ cm} \quad \text{vérifier}$$

3.5.4. A l'état limite ultime (pignon)

➤ Combinaison de charge :

- $Q_{ysd} = 1,35 G = 1,35 \times 38,9 = 52,52 \text{ dan/ml}$
- $Q_{zsd} = 1,5 V_4 = 1,5 \times 134,82 = 202,23 \text{ dan/ml}$
- $M_{zsd} = Q_{ysd} \cdot \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = 52,52 \times \frac{2,5^2}{8} = 41,03 \text{ dan.m}$
- $M_{ysd} = Q_{zsd} \cdot \frac{l^2}{8} = 202,23 \cdot \frac{5^2}{8} = 631,97 \text{ dan.m}$

Par tâtonnement on opte pour UPN 100 (de classe 1)

A) Vérification à la flexion dévie :

$$\left(\frac{M_{ysd}}{M_{plyRd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{zsd}}{M_{plzRd}}\right)^\beta < 1$$

$$\left(\frac{631,97}{1046,82}\right)^2 + \left(\frac{41,03}{346,09}\right)^1 = 0,483 < 1 \text{ vérifier}$$

B) Vérification au cisaillement :

La vérification au cisaillement doit satisfaire les formules suivantes :

$$V_{zsd} \leq V_{plzRd}$$

$$V_{ysd} \leq V_{plyRd}$$

- $V_{zsd} = \frac{Q_{zsd} \cdot l}{2} = \frac{202,23 \times 5}{2} = 505,58 \text{ dan}$
- $V_{ysd} = \frac{0,625 Q_{ysd} \cdot l}{2} = 0,625 \times 52,52 \times 2,5 = 82,06 \text{ dan}$
- $V_{plzRd} = 7967,96 \text{ dan}$
- $V_{plyRd} = 7684,27 \text{ dan}$

$$\begin{cases} V_{zsd} = 505,58 \text{ dan} \leq V_{plzRd} = 7967,96 \text{ dan} & \text{vérifier} \\ V_{ysd} = 82,06 \text{ dan} \leq V_{plyRd} = 7684,27 \text{ dan} & \text{vérifier} \end{cases}$$

C) Vérification de l'élément au déversement :

Semelle comprimé : il n'y a pas de risque de déversement de la lisse car la semelle comprimé est soutenue latéralement sur toute la longueur par le mur.

3.5.5. A l'état limite de service (pignon)

$$f \leq f_{adm}$$

➤ Flèche horizontale (suivant zz) : $f_{adm} = \frac{l}{200} = 2,5 \text{ cm}$

$$F_z = \frac{5}{384} \frac{V_4 \cdot L^4}{E \cdot I_4} = \frac{5 \times 134,82 \times 10^{-2} \times 500^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 206} = 2,54 \text{ cm} > 2,5 \text{ cm} \quad \text{pas vérifier}$$

On augmente la section UPN120

$$F = \frac{5 \times 134,82 \times 10^{-2} \times 500^4}{384 \times 2,1 \times 10^{-6} \times 364} = 1,44 \text{ cm} < f_{adm} = 2,5 \text{ cm} \quad \text{vérifier}$$

➤ Flèche verticale (suivant y-y) : $f_{adm} = 1,25 \text{ cm}$

$$F_y = \frac{2,05}{384} \frac{G \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^4}{E \cdot I_z} = \frac{2,05 \times 38,9 \times 10^{-2} \times 250^4}{384 \times 2,1 \times 10^6 \times 43,2} = 0,09 \text{ cm} < 1,25 \text{ cm} \quad \text{vérifier}$$

Conclusion : on choisit UPN120 pour les lisses long pan et pignon.

3.6. Pré dimensionnement des éléments fermes

Les fermes sont les poutres maitresses d'un comble. Elle sont constituées le plus souvent par un système triangulé dont la membrure supérieure appelée arbalétrier est située sous la surface extérieure du comble, les extrémités de cette extrait par les goussets de retombée.

Les deux membrures sont réunies par un système à treillis comprenant montants et diagonales . les fermes sur prennent appui soit sur des poteaux, soit sur des murs et parfois sur sablières.

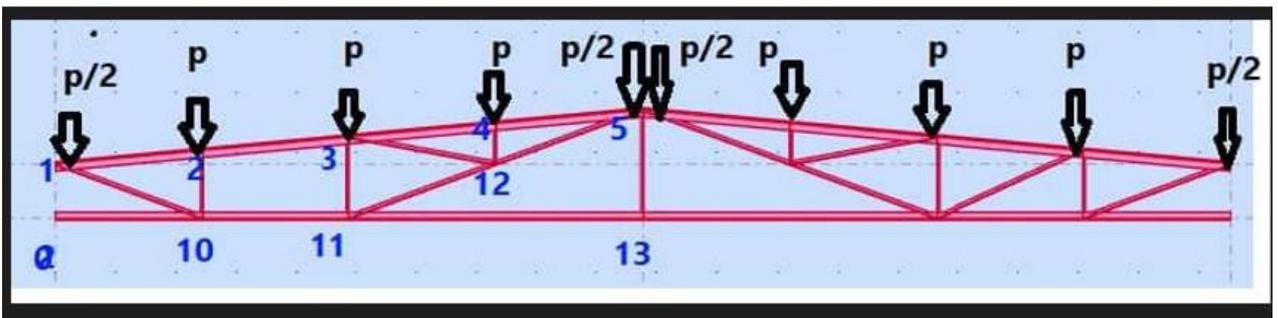


Figure3.5: la ferme

3.6.1. Les charges et surcharges agissantes sur la ferme

- Couverture (LT75) + accessoires de pose (20 dan/m²)
 - IPE100 (8,1 dan/ml)
 - Ferme (16 dan/m²)
 - Contreventement (4 dan/m²)
 - Surcharge de neige (N= 16,3 dan/m²)
 - Surcharge au vent (V= -106,74 dan/m²)
- Calcul des efforts revenant aux nœuds :
- La surface horizontale d'influence qui venant pour chaque nœud $S= 4 \times 1,25=5\text{m}^2$
 - Effort dû aux charges permanents :

$$P_G = (20 + \frac{8,1}{1,25} + 16 + 4) 5 = 232,4 \text{ dan}$$
 - Efforts du aux surcharges de neige :

$$P_N = 16,3 \times 5 = 81,5 \text{ dan}$$

- Efforts du au vent :

$$P_V = -106,74 \times 5 = -533,7 \text{ dan}$$

3.6.2. Calcul des efforts dans les barres

- Calcul des efforts par la méthode des nœuds (cas d'une charge unitaire $P = 1 \text{ dan}$) :

La ferme peut être considérée comme un ensemble de nœuds articulés et de barres soumises à des efforts axiaux. Comme elle est en équilibre. Chaque nœud doit aussi se trouver parfaitement équilibré. Cet équilibre peut être mis en évidence par le schéma du nœuds isolé à partir duquel nous pouvons facilement écrire les équations d'équilibre .

$$P = 1 \text{ dan} \quad / \quad R_A = R_C \quad / \quad R_B = R_D$$

- $\sum M_C = 0$: $-R_B \cdot 9,74 + (0,5 \times 9,74 + 1 \times 8,62 + 1 \times 7,37 + 1 \times 6,12 + 1 \times 4,87 + 1 \times 3,62 + 1 \times 2,37 + 1 \times 1,12) = 0$
- $\sum M_D = 0$: $R_A \cdot 9,74 - (0,5 \times 9,74 + 1 \times 8,62 + 1 \times 7,37 + 1 \times 6,12 + 1 \times 4,87 + 1 \times 3,62 + 1 \times 2,37 + 1 \times 1,12) = 0$

$$R_B = 4 \text{ dan} \quad / \quad R_A = 4 \text{ dan}$$

Nœud 1 :

$$\begin{cases} F_{1-2} + F_{1-10} \cos 29,25 - 0,5 \sin 7,37 + 4 \sin 7,37 = 0 \\ -F_{1-10} \sin 29,25 - 0,5 \cos 7,37 + 4 \cos 7,37 = 0 \end{cases}$$

$$F_{1-2} = -6,64 \text{ dan} \quad / \quad F_{1-10} = 7,1 \text{ dan}$$

Nœud B : $F_{0-10} = 0$

- Nœud 10 :

$$\begin{cases} F_{10-11} - F_{10-1} \sin 68,12 = 0 \\ F_{10-2} + F_{10-1} \cos 68,12 = 0 \end{cases}$$

$$F_{10-11} = 6,59 \text{ dan} \quad / \quad F_{10-2} = -2,64 \text{ dan}$$

- Nœud 2 :

$$\begin{cases} F_{2-1} + F_{2-3} - F_{2-10} \sin 7,37 - \sin 7,37 + F_{2-11} \cos 31,5 = 0 \\ F_{2-10} \cos 7,37 - F_{2-11} \sin 31,5 - \cos 7,37 = 0 \end{cases}$$

$$F_{2-1} = 3,11 \text{ dan} \quad / \quad F_{2-3} = -9,5 \text{ dan}$$

- Nœud 11 :

$$\begin{cases} F_{11-13} - F_{11-10} + F_{11-12} - 12 \cos 19,79 - F_{11-2} \cos 24,13 = 0 \\ F_{11-3} + F_{11-2} \sin 24,13 + F_{11-12} \sin 19,79 = 0 \end{cases}$$

$$F_{11-13} = 8,6 \text{ dan} \quad / \quad F_{11-12} = 0,88 \text{ dan}$$

- Nœud 3 :

$$\begin{cases} F_{3-4} - F_{3-2} + F_{3-12} \cos 17,56 - F_{3-11} \cos 82,63 - \sin 7,37 = 0 \\ -\cos 7,37 - F_{3-12} \sin 17,56 - F_{3-11} \sin 82,63 = 0 \end{cases}$$

$$F_{3-11} = -1,57 \text{ dan} \quad / \quad F_{3-4} = -11,36 \text{ dan}$$

- Nœud 13 :

$$-F_{13-11} + F_{13-15} = 0 \quad / \quad F_{13-5} = 0$$

- Nœud 4 :

$$\begin{cases} F_{5-4} - F_{4-3} - \cos 82,63 F_{4-12} - \sin 7,37 = 0 \\ -\sin 82,63 F_{4-12} - \cos 7,37 = 0 \end{cases}$$

$$F_{4-12} = -1 \text{ dan} \quad / \quad F_{5-4} = -11,36 \text{ dan}$$

- Nœud 12 :

$$\begin{cases} F_{12-5} - F_{12-11} + \cos 70,21 F_{12-4} - \cos 29,98 F_{12-3} = 0 \\ \sin 70,21 F_{12-4} + \sin 29,98 F_{12-3} = 0 \end{cases}$$

$$F_{12-5} = 2,85 \text{ dan} \quad / \quad F_{12-3} = 1,88 \text{ dan}$$

Tableau3. 5: les efforts dans les nœuds

Eléments	N° des barres	P = 1	G=232,4 dan	N=81,5 dan	V=-533,7dan
Membrure supérieure	1-2	-6,64	-1543,14	-541,16	3543,77
	2-3	-9,5	-2207,8	-774,25	5070,15
	3-4	-11,36	-2640,06	-925,84	6062,83
	4-5	-11,36	-6240,06	-925,84	6062,83
Membrure inférieure	0-10	0	0	0	0
	10-11	6,59	1531,52	5370,09	-3517,08
	11-13	8,6	1998,64	700,9	-4589,82
Diagonales	1-10	7,1	1650,04	578,65	-3789,27
	2-11	3,11	722,76	253,47	-1659,81
	11-5	3,73	866,85	304	-1990,7
	3-12	1,88	436,91	153,22	-1003,36
	4-12	-1	-232,4	-81,5	533,7
Montants	2-10	-2,64	-613,54	-215,16	1408,97
	3-11	-1,57	-364,87	-127,96	837,91
	5-13	0	0	0	0

Tableau3.6: les combinaisons les plus défavorables

Eléments	N° des barres	1,35G + 1,5N	G + 1,5V
Membrure supérieure	1-2	-8294 ,98	3772,52
	2-3	-4141,91	5397,43
	3-4	-4952,84	6454,19
	4-5	-4952,84	6454,19
Membrure inférieure	10-11	2873,19	-3744,1
	11-13	3749,51	-4886,09
Diagonales	1-10	3095,53	-4033,87
	2-11	1355,93	-1766,96
	11-5	1626,25	-2119,2
	3-12	819,66	-1068,13
	4-12	-435,99	568,15
Montants	2-10	-1151,02	1499,92
	3-11	-684,51	892

3.6.3. Dimensionnement des barres

A. Membrane supérieure (barre 3-4)

- $N_{sd} = 6454,19 \text{ dan} = 64,54 \text{ KN}$
 - $L_Y = 0,9L_0 = 0,9 \times 1,26 = 1,13 \text{ m}$
 - $L_Z = L_0 = 1,26 \text{ m} \quad /L_{\max} = L_Z$
- Pour le dimensionnement des éléments comprimés il est nécessaire de calculer l'inertie qu'il faut pour résister à la charge critique d'Euler :

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{nec}}{L_{\max}^2} \geq N_{sd}$$

AN :

$$I_{nec} \geq \frac{N_{sd} \cdot L_{\max}^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{64,54 \times 126^2}{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4} = 4,94 \text{ cm}^4$$

On opte donc pour deux cornière 2L.35.35.4 ($I_{4z} = 2,95 \text{ cm}^4$)

$$I = 2 \times 2,95 = 5,9 \text{ cm}^4$$

- Vérification de la barre : ($\Delta = Z_c + 0,5 = 1 + 0,5 = 1,5$)

$$C_y = \sqrt{\frac{2 I_y}{2A}} = \sqrt{\frac{5,9}{2 \times 2,67}} = 1,05 \text{ cm}$$

$$I_z = \sqrt{\frac{2(I_z + A \cdot \Delta^2)}{2A}} = \sqrt{\frac{2(2,95 + 2,67 \times 1,5^2)}{2 \times 2,67}} = 1,83 \text{ cm}$$

- **Classe de section**

$$\frac{h}{t} = \frac{35}{4} = 8,75 < 15\epsilon = 15 \quad \text{vérifié}$$

$$\frac{b+h}{2t} = \frac{35+35}{2 \times 4} = 8,75 < 11,5\epsilon = 11,5 \quad \text{vérifié}$$

La vérification de la section à la résistance et au flambement se fera selon la formule suivante :

$$N_{sd} \leq N_{CRd} \quad \text{avec : } N_{CRd} = \min(N_{plRd} ; N_{bRd})$$

$$N_{bRd} = X_{min} \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} \quad \lambda = \frac{L}{i} \quad / \quad \lambda_{max} = \max(\lambda_y, \lambda_z)$$

$$\Phi = 0,5 [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad / \quad S235$$

$$X_{min} = 1\phi + (\phi^2 - X^2 \max) 0,5 ; \text{ courbe c (section en N)}$$

Tableau 3.7:coefficient Xmin

	λ_1	λ	λ	Φ	X	X_{min}
V	93,91	107,62	1,15	1,93	0,46	0,46
Z	93,91	68,85	0,73	0,9	0,7	

$$N_{bRd} = 0,46 \times \frac{2,67 \times 2 \times 23,5}{1,1} = 52,48 \text{ KN}$$

$$N_{pIRd} = \frac{2,67 \times 2 \times 23,5}{1,1} = 114,08 \text{ KN}$$

$$N_{sd} = 64,54 \text{ KN} > N = 52,48 \text{ KN} \quad \text{pas vérifiée}$$

On augmente la section 2L40.40.4

$$I_{yz} = 4,47 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \sqrt{\frac{2 I_y}{2A}} = \sqrt{\frac{2 \times 4,47}{2 \times 3,08}} = 1,2 \text{ cm}$$

$$I_z = \sqrt{\frac{2(I_z + A \cdot \Delta^2)}{2A}} = \sqrt{\frac{2(7,47 + 3,08 \times 1,62^2)}{2 \times 3,08}} = 2,02 \text{ cm}$$

$$(\Delta = Z_s + 0,5 = 1,12 + 0,5 = 1,62)$$

Tableau3.8:coefficient Xmin

	λ_1	λ	λ	Φ	X	X_{min}
Y	93,91	94,17	1	1,2	0,54	0,54
Z	93,91	62,38	0,66	0,83	0,75	

$$N_{bRd} = 0,54 \times \frac{3,08 \times 2 \times 23,5}{1,1} = 71,06 \text{ KN}$$

$$N_{sd} = 64,54 \text{ KN} > N_{bRd} = 71,06 \text{ KN} \quad \dots\dots\dots \text{ vérifiée}$$

B. Membrane inférieure (barre 11-13)

- $N_{sd} = -48,86 \text{ KN}$
 - $L_Y = 0,8L_0 = 0,8 \times 2,5 = 2 \text{ m}$
 - $L_Z = L_0 = L_{\max} = 2,5 \text{ m}$
- Calcul de la section brute A

$$A \geq \frac{N_{sd} \cdot \gamma_{mo}}{2 \cdot F_y} = \frac{48,86 \times 1,1}{2 \times 23,5} = 2,29 \text{ cm}^2$$

Soit une double cornière 2L 35.35.4 ($A = 2 \cdot 2,67 \text{ cm}^2$, $2A = 5,34 \text{ cm}^2$)

- Vérification de la traction :

Par la formule suivante : $N_{sd} \leq N_{trd} = \min(N_{plRd}, N_{uRd})$

$$N_{plRd} = \frac{A f_y}{\gamma_{mo}} \quad / \quad N_{uRd} = \frac{0,9 \times f_u \times A_{net}}{\gamma_{m2}}$$

$$N_{plRd} = \frac{5,34 \times 23,5}{1,1} = 114,08 \text{ KN} \quad ; \quad d_0 = 13 \text{ mm}$$

$$A_{net} = 2(2,67 - 0,8 \times 1,3) = 3,26 \text{ cm}^2$$

$$N_{uRd} = \frac{0,9 \times 3,26 \times 36}{1,25} = 84,49 \text{ Kn} > N_{sd} = 48,86 \text{ KN} \quad \text{vérifier}$$

C . diagonal (barre 1-10)

Soit une double cornière 2L 35.35.4 ($A = 2 \cdot 2,67 \text{ cm}^2$, $I_{yz} = 2,95 \text{ cm}^4$)

$$2I_{yz} = 5,9 \text{ cm}^4$$

Tableau3.5:coefficient Xmin

	λ	λ	Φ	X_{\min}
Y	100.85	1.074	1.291	0.498
Z	72.59	0.773	0.030	/

$$I_{yz} = 4,47 \text{ cm}^4$$

$$I_y = \sqrt{\frac{2I_y}{2A}} = \sqrt{\frac{2 \times 2,95}{2 \times 2,67}} = 1,051 \text{ cm}$$

$$I_z = \sqrt{\frac{2(I_z + A \cdot \Delta^2)}{2A}} = \sqrt{\frac{2(2,95 + 2,67 \times 1,5^2)}{2 \times 2,67}} = 1,832 \text{ cm}$$

$$(\Delta = Z_s + 0,5 = 1 + 0,5 = 1,5)$$

➤ Vérification a la compression

$$N_{bRd} = X_{\min} \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,498 \times 2 \times 2,67 \times 23,6}{1,1} = 56,81 \text{ KN} > N_{sd} = 40,33 \text{ KN}$$

➤ Vérification a la rigidité

La barre est susceptible de flambement sous l'action de son poids propre
L'élanement limite $\gamma_{lim} = 150$

$$\gamma_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{106}{1,051} = 100,85 < \gamma_{lim} = 150 \quad \text{vérifier}$$

$$\gamma_{lim} = \frac{l_z}{i_z} = \frac{133}{1,832} = 72,59 < \gamma_{lim} = 150 \quad \text{vérifier}$$

D. montant (barre2-10)

- $N_{sd} = 14,99 \text{ KN}$

- $L_Y = 0,8L_0 = 0,45 \text{ m}$

$$L_Z = L_0 = 0,56 \text{ m}$$

Par la même procédure que pour la m.inf

➤ **Calcul de la section brute A**

$$A \geq \frac{N_{sd} \cdot \gamma_{mo}}{2 \cdot F_y} = \frac{14,99 \times 1,1}{2 \times 23,5} = 0,7 \text{ cm}^2$$

Soit une double cornière 2L 25.25.3 ($A = 1,42 \text{ cm}^2$, $2A = 2,84 \text{ cm}^2$)

➤ **Vérification de la traction :**

Par la formule suivante : $N_{sd} \leq N_{trd} = \min(N_{plRd}, N_{uRd})$

$$N_{plRd} = \frac{A f_y}{\gamma_{mo}} \quad / \quad N_{uRd} = \frac{0,9 \times f_u \times A_{net}}{\gamma_{m2}}$$

$$N_{plRd} = \frac{2,84 \times 23,5}{1,1} = 60,6 \text{ KN} \quad ; \quad d_0 = 13 \text{ mm}$$

$$A_{net} = 2(0,76 - 0,5 \times 1,3) = 0,76 \text{ cm}^2$$

$$N_{uRd} = \frac{0,9 \times 0,76 \times 36}{1,25} = 19,67 \text{ Kn} > N_{sd} = 14,99 \text{ KN} \quad \text{vérifier}$$

➤ **Vérification a la rigidité**

La barre est susceptible de flambement sous l'action de son poids propre

L'élancement limite $\gamma_{lim} = 450$

$$\gamma_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{45}{0.749} = 60.89 < \gamma_{lim} = 450 \text{ vérifier}$$

$$\gamma_{lim} = \frac{l_z}{i_z} = \frac{56}{1.432} = 39.106 < \gamma_{lim} = 450 \text{ vérifier}$$

3.7. Prédimensionnement des potelets

Les potelets sont souvent des profilés en I ou en H destinés aux efforts dus au vent ils sont considérés comme articulés aux extrémités.

Le potelet travaille à la flexion sous l'action de vent et à la compression sous l'effet de son poids propre, du poids du bardage et des lisses qui lui est associé et de ce fait il fonctionne à la flexion composée.

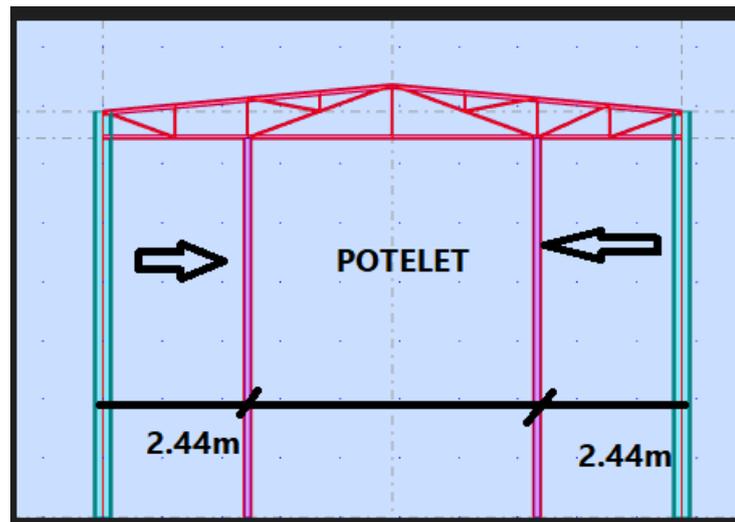


Figure3.6: les potelets de la face pignon

3.7.1. Evaluation des charges et surcharges

- La hauteur du potelet $L = 7,06$ m
- Entre axe de la lisse $e = 1,5$ m
- Nombre de lisses supportés par le potelet 4

➤ Charges permanents :

- Poids propre d'accessoires de posse (5 dan/m²)
- Poids propre de bardage (12 dan/m²)
- Poids propre de la lisse NPN120 (13,4 dan/m²)

➤ Calcul de la charge permanent G : $L_{\text{lisser}} = \frac{5+2,38}{2} = 3,69 \text{ m}$

- $G = (P_{\text{lisser}} \cdot L_{\text{lisser}} \cdot N_{\text{lisser}}) + [(P_{\text{bardage}} + P_{\text{accessoire}}) \cdot S]$

$$G = (13,4 \times 3,69 \times 4) + [(12+5) (3,69 \times 7,06)]$$

$$G = 640,66 \text{ dan}$$

➤ Surcharge climatiques du au vent V :

- $V = 89,878 \times 3,69 = 331,65 \text{ dan/ml}$

3.7.2. Dimensionnement du potelet

A. sous la condition de la flèche :

La vérification de la flèche se fait sous las charges non pondéré $V = 331,65 \text{ dan/ml}$.

$$f_y = \frac{5}{384} \frac{4 l^4}{E \cdot I_y} \leq F_{\text{adm}} = \frac{l}{200}$$

$$I_y \geq \frac{1000 V l^3}{384 E} = \frac{1000}{384} \frac{331,65 \times 10^{-2} \times 706^3}{2,1 \times 10^6} = 1447,25 \text{ cm}^4$$

On choisit la section du profilé ayant la valeur de I_y supérieur ou égale à la valeur trouvé. Ce qui correspond à un profilé IPE200 avec $I_4 = 1943 \text{ cm}^4$

- Classification : S235 , $\epsilon = 1$

$$\text{Semelle : } \frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{50}{8,5} = 5,88 < 10\epsilon = 10 \dots\dots \text{ Semelle classe 1}$$

$$\text{Ame : } \frac{c}{t_f} = \frac{d}{t_w} = \frac{159}{5,6} = 28,39 < 72\epsilon = 72 \dots\dots \text{ âme classe 1}$$

Le profile classe 1

- Calcule de la charge permanent G (avec IPE200)

$$G = 640,66 + (P_{\text{profile}} \cdot h_{\text{profile}}) = 640,66 + (22,4 \times 7,06) = 798,8 \text{ dan}$$

B. Vérification de la section à la résistance :

➤ Incidence de l'effort tranchant :

$$V_{sd} \leq 0,5 V_{plRd}$$

- $Q_{zsd} = 1,5 V = 1,5 \times 331,65 = 497,48 \text{ dan/ml}$
- $V_{zsd} = \frac{Q_{zsd} \cdot l}{2} = \frac{497,48 \times 7,06}{2} = 1756,1 \text{ dan}$
- $V_{plzrd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{y_{mo} \sqrt{3}} = \frac{14 \times 2350}{1,1 \sqrt{3}} = 17268,02 \text{ dan}$

$$V_{sd} = 1756,1 \text{ dan} \leq 0,5 V_{plRd} = 8634,01 \text{ dan} \dots \text{vérifier}$$

➤ Incidence de l'effort normal :

$$N_{sd} \leq \min (0,25 N_{plRd} ; \frac{0,5 A_w \cdot f_y}{y_{mo}})$$

- $N_{sd} = 1,35 G = 1,35 \times 640,66 = 864,89 \text{ dan}$
- $N_{plRd} = \frac{28,48 \times 2350}{1,1} = 60843,63 \text{ dan}$
- $A_w = A - 2b \cdot t_f = 28,46 - 2 \times 10 \times 0,85 = 11,46 \text{ cm}^2$
- $\frac{0,5 A_w \cdot f_y}{y_{mo}} = \frac{0,5 \times 11,46 \times 2350}{1,1} = 12241,36 \text{ dan}$
- $0,25 N_{plRd} = 0,25 \times 60843,63 = 15210,91 \text{ dan}$

$$N_{sd} = 864,89 \text{ dan} \leq 12241,36 \text{ dan} \text{ vérifier}$$

C. Vérification à la flexion :

$$M_{ysd} \leq M_{crd}$$

- $Q_{zsd} = 1,5 V = 1,5 \times 331,65 = 497,48 \text{ dan/ml}$
- $M_{ysd} = \frac{Q_{zsd} \cdot l^2}{8} = \frac{497,48 \times 7,06^2}{8} = 3099,52 \text{ dan.m}$
- $M_{crd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{y_{mo}} = \frac{220,6 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 4712,82 \text{ dan.m}$

$$M_{ysd} = 3099,52 \text{ dan.m} \leq M_{crd} = 4712,82 \text{ dan.m} \dots \text{vérifier}$$

D. Vérification de l'élément aux instabilités :

$$\frac{N_{sd}}{N_{byRd}} + K_{YY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} \leq 1 \quad (\text{flexion composée avec risque flambement})$$

$$\frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} + K_{ZY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} \leq 1 \quad (\text{flexion composée avec risque déversement})$$

$$\begin{cases} N_{byRd} = X_y \cdot N_{plRd} = 0,72 \times 60843,63 = 43807,41 \text{ dan} \\ N_{bzRd} = X_z \cdot N_{plRd} = 0,78 \times 60843,63 = 47458,03 \text{ dan} \\ M_{brd} = X_{LT} \cdot N_{plyRd} = 0,89 \times 4712,82 = 4194,41 \text{ dan.m} \end{cases}$$

➤ **Calcul des coefficients de réduction :****Tableau 3.6: Tableau des coefficients**

	λ	$\bar{\lambda}$	α	Φ	Xmin
Y	85,47	0,91	0,21	0,99	0,72
Z	66,96	0,71	0,34	0,84	0,78
LT	56,6	0,6	0,21	0,72	0,89

➤ **Calcul des coefficients d'interaction Kij : $C_{my} = C_{mz} = C_{MLT} = 0,95$**

- $K_{YY} = \min \left[C_{my} \left(1 + [\bar{\lambda}_y - 0,2] \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right) ; C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min \left[0,95 \left(1 + [0,91 - 0,2] \frac{864,89}{43807,41} \right) ; 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{864,89}{43807,41} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min (0,963 ; 0,965) = 0,963$
- $K_{ZZ} = \min \left[C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) ; C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{bzRd}} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min \left[0,95 \left(1 + (0,71 - 0,6) \frac{864,89}{47458,03} \right) ; 0,95 \left(1 + 1,4 \frac{864,89}{47458,03} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min (0,952 ; 0,974) = 0,952$
- $K_{YZ} = 0,6 K_{ZZ} = 0,6 \times 0,952 = 0,571$

- $K_{ZY} = \max \left(\left(1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT-0,25}} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) ; \left(1 - \frac{0,1}{C_{mLT-0,25}} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) \right)$
 - $K_{ZY} = \max \left(1 - \frac{0,1 \times 0,71}{0,95 - 0,25} \frac{864,89}{47458,03} ; 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \frac{864,89}{47458,03} \right)$
 - $K_{ZY} = \max (0,998 ; 0,997) = 0,998$

➤ Vérification :

- $\frac{N_{sd}}{N_{byRd}} + k_{yy} \frac{M_{ysd}}{M_{bRd}} \leq 1$
 $\frac{864,89}{43807,41} + 0,963 \frac{2960,63}{4194,41} = 0,699 \leq 1$ vérifier
- $\frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} + k_{zy} \frac{M_{ysd}}{M_{bRd}} < 1$
 $\frac{864,89}{47458,03} + 0,998 \frac{2960,63}{4194,41} = 0,706 < 1$ vérifier

Conclusion : on choisit IPE200 pour les potelets.

3.8. Prédimensionnement des contreventements

Les contreventement sont des pièces qui ont pour objet d'assurer la stabilité de l'assoter en s'opérant à l'action des forces horizontales (vent , freinage des port coulants séismes , choisis... et) , ils sont généralement connus 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 de « palées de stabilité » , et doivent reprendre les efforts horizontal appliqués tout sur les pignons aux sur les long pans .

3.8.1. Poutre au vent

Les contreventement sont disposés suivant les versants de la toiture , il sont placés le plus souvent dans les travées de rive, leurs diagonales sont généralement des cornières doubles qui sont fixée sur la traverse (ou ferme) leur rôle principal est de transmettre les efforts du vent du pignon aux fondations

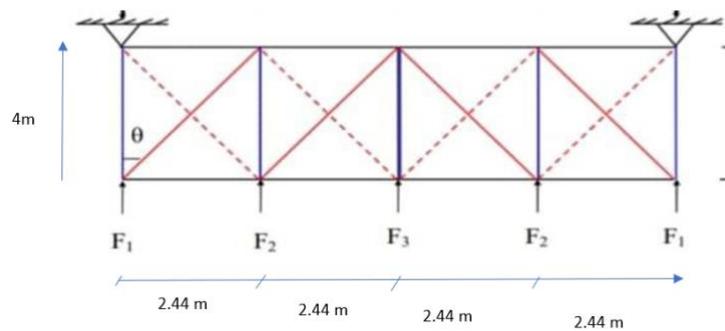


Figure3.7: schéma de la poutre vent

3.8.2. Evaluation des efforts

➤ La force de frottement

Pour tenir compte de la force de frottement qui s'exerce sur les parois parallèles au vent . il faut que l'une des conditions suivantes soit vérifiée

$$\frac{d}{b} \geq 3$$

$$\frac{d}{h} \geq 3$$

On a :

$$\frac{d}{b} = \frac{19,4}{9,74} = 1,99 < 3$$

$$\frac{d}{h} = \frac{19,4}{7,53} = 2,58 < 3$$

la force de frottement n'est pas applicable

➤ **Calculs des efforts F de compression.**

Telle que : $v=970.36 \text{ N/m}^2$ $F_{fr}=0$

$$F1 = \left(V \times \frac{h_1}{2} \times \frac{b}{8} \right) + \frac{F_{fr}}{8} = \frac{97.036 \times 6.9 \times 9.74}{2 \times 8} = 407.59 \text{ daN.}$$

$$F2 = \left(V \times \frac{h_2}{2} \times \frac{b}{4} \right) + \frac{F_{fr}}{4} = \frac{97.036 \times 7.06 \times 9.74}{2 \times 4} = 834.08 \text{ daN}$$

$$F3 = \left(V \times \frac{h_3}{2} \times \frac{b}{4} \right) + \frac{F_{fr}}{4} = \frac{97.036 \times 7.53 \times 9.74}{2 \times 4} = 889.6 \text{ daN.}$$

➤ **Effort de traction dans les diagonales**

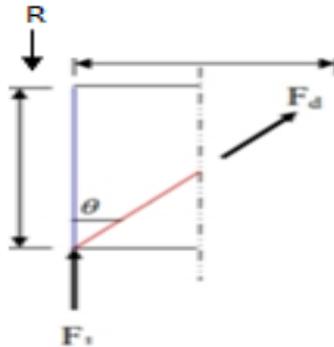


Figure 3.8 : l'effort (F_d) dans la diagonale d'extrémité

$$R = \frac{2(F1+F2)+F3}{2} = \frac{2(407.59+834.08)+889.6}{2} = 1686.47 \text{ daN}$$

$$F_d = \frac{R - F1}{\cos\theta} = \frac{1686.47 - 407.59}{\cos 26.57} = 1429.89 \text{ daN}$$

➤ **Section de la diagonale**

Calcul de la section brute A $N_{sd} \leq N_{plrd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{mo}}$

$$A \geq \frac{N_{sd} \gamma_{mo}}{f_y}$$

$$N_{sd} = 1.5 \times 1429.89 = 21.44 \text{ kn}$$

$$A \geq \frac{21.44 \times 1.1}{23.5} = 1 \text{ cm}^2$$

On opte donc pour une cornière égale L20.20.3 ($A=1.12 \text{ cm}^2$) avec un boulon de 12mm et trous de 13 mm

3.8.3. vérification à la résistance ultime de la section

Pour la vérification de la cornière à la résistance on doit satisfaire la formule suivante :

$$N_{sd} \leq N_{u;rd} = \frac{\beta A_{net} \cdot f_u}{\gamma_m}$$

Avec : $d_0 = d + 1mm = 13mm$

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 1.12 - 0.3 \times 1.3 = 0.73cm^2$$

On prend : une attache de 2 boulon avec $p_1 = 100mm$; $e_1 = 25mm$

$$p_1 = 100mm > 5d_0 = 5 \times 13 = 65mm \quad ; \quad \beta = 0.7$$

$N_{u;rd} = \frac{0.7 \times 0.73 \times 36}{1.25} = 14.72kN < N_{sd} = 21.44kn$ pas vérifier on augmente la section ,
soit une cornière de L30.30.4 ($A=2.27 cm^2$)

$$N_{u;rd} = \frac{0.7 \times (2.27 - 0.4 \times 1.3) \times 36}{1.25} = 35.28 kN > N_{sd} = 21.44kn \quad \text{vérifier}$$

Conclusion : on choisit L30.30.4 pour la poutre au vent .

A. vérification des pannes (montant de la poutre au vent) à la résistance

les montants de la poutre au vent sont des pannes qui travaillent à la flexion déviée sous l'action des charges verticales . et on outre à la compression sous (F) on doit vérifier la panne à la flexion déviée composées

B. charges et surcharge revenant à la panne intermédiaire

4. flexion déviée : $G=37.2 \text{ dan/ml}$; $N=20.38 \text{ dan/ml}$
5. compression : $V=F2=834.08\text{dan}$
6. combinaison de charge : $1.35G+1.35N+1.35V$
7. combinaison simplifiée : $Q_{sd} = 1.35G + 1.35N$; $N_{sd} = 1.35V$
 $AN : Q_{sd} = 1.35 \times 37.2 + 1.35 \times 20.34 = 77.73 \text{ dan/ml}$
 $N_{sd} = 1.35 \times 834.08 = 1126.01\text{dan/ml}$
 $Q_{z.sd} = Q_{sd} \cos\alpha = 77.73 \cos 7.37 = 77.09 \text{ dan/ml}$
 $Q_{y.sd} = Q_{sd} \sin\alpha = 77.73 \sin 7.37 = 9.97 \text{ dan/ml}$

➤ Calcul des panes :

$$M_{y.sd} = 297.98 \text{ dan.m}$$

$$M_{z.sd} = 9.64 \text{ dan.m}$$

$$M_{ply.rd} = 841.73 \text{ dan.m}$$

$$M_{plz.rd} = 194.4 \text{ dan.m} \quad N_{plrd} = 22047.273 \text{ dan}$$

➤ **Incidence de l'effort tranchant**

Si : $V_{sd} = 0.5V_{plrd}$ il n'y a pas d'interaction entre moment fléchissant et l'effort tranchant

➤ **Incidence de l'effort normal**

$$N_{sd} \leq \min(0.25 N_{plRd}, \frac{0.5 A_w f_y}{\gamma_{m0}})$$

ily'a pas d'interaction entre moment et l'effort normal

AN :

$$0.25 N_{plRd} = 0.25 \frac{A_v f_y}{\gamma_{m0}} = 0.25 \times 22047.273 = 5511.818 \text{ dan}$$

$$A_w = A - 2b \cdot t_f = 10.32 - 2 \times 5.5 \times 0.57 = 4.05 \text{ cm}^2$$

$$0.5 \frac{A_w f_y}{\gamma_{m0}} = 0.5 \frac{4.05 \times 2350}{1.1} = 4326.14 \text{ dan}$$

$$N_{sd} = 1126.01 \text{ dan} \leq 4326.14 \text{ dan} \dots\dots\dots \text{Vérifie}$$

➤ L'incidence de l'effort normal sur le moment résistant peut être négligée, d'après CCM97 pour la vérification de la flexion déviée on utilise l'équation suivante :

$$\left(\frac{M_{y, sd}}{M_{plyRd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z, sd}}{M_{plzRd}} \right)^1 < 1$$

$$\left(\frac{297.98}{841.73} \right)^2 + \left(\frac{9.64}{194.4} \right)^1 = 0.17 < 1 \dots\dots\dots \text{vérifier}$$

C. vérification des pannes (montants de la poutre au vent) aux instabilités

➤ **vérification a l'état limite ultime :**

- 1.35 G – 1.5V
- $Q_{z, sd} = G \cdot \cos \alpha - 1.5V$
- $Q_{y, sd} = 1.35 G \cdot \sin \alpha$
- $N_{sd} = 1.5 V$

Avec :

- $G = 37.2 \text{ dan/ml}$
- $V = -134.56 \text{ dan/ml}$
- $V' = F_2 = 834.08 \text{ dan}$
- $Q_{z, sd} = -164.96 \text{ dan/ml}$
- $Q_{y, sd} = 6.44 \text{ dan/ml}$
- $M_{y, sd} = 329.9 \text{ dan.m}$
- $M_{z, sd} = 3.22 \text{ dan.m}$
- $N_{sd} = 1200.96 \text{ dan}$

➤ **Vérification aux instabilités**

$$\frac{N_{sd}}{N_{byRd}} + K_{YY} \frac{M_{y,sd}}{M_{brd}} + K_{YZ} \frac{M_{z,sd}}{M_{plz,rd}} \leq 1 \quad (\text{flexion composée avec risque flambement})$$

$$\frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} + K_{ZY} \frac{M_{y,sd}}{M_{brd}} + K_{ZZ} \frac{M_{z,sd}}{M_{plz,rd}} \leq 1 \quad (\text{flexion composée avec risque déversement})$$

$$\begin{cases} N_{byRd} = X_y \cdot N_{plRd} = 0.63 \times 22047.273 = 13889.782 \text{ dan} \\ N_{bzRd} = X_z \cdot N_{plRd} = 0.27 \times 22047.273 = 5952.764 \text{ dan} \\ M_{brd} = X_{LT} \cdot N_{plyRd} = 0.33 \times 841.73 = 277.77 \text{ dan.m} \end{cases}$$

D. Calcul des coefficients de réduction

Tableau3.7: Tableau des coefficients

	λ	$\bar{\lambda}$	α	Φ	Xmin
Y	98.28	1.05	0.21	1.14	0.63
Z	161.29	1.72	0.34	2.24	0.27
LT	150.03	1.6	0.21	1.93	0.33

E. Calcul des coefficients d'interaction Kij

Pour charge uniformément répartie ($C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0.95$)

- $K_{YY} = \min \left[C_{my} \left(1 + [\bar{\lambda}_y - 0,2] \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right); C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min \left[0,95 \left(1 + [1,05 - 0,2] \frac{1200,96}{13889,782} \right); 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{1200,96}{13889,782} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min (1,02; 1,016) = 1,016$
- $K_{ZZ} = \min \left[C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right); C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{bzRd}} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min \left[0,95 \left(1 + (1,72 * 2 - 0,6) \frac{1200,96}{5952,764} \right); 0,95 \left(1 + 1,4 \frac{1200,96}{5952,764} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min (1,494; 1,218) = 1,218$
- $K_{YZ} = 0,6 \quad K_{ZY} = 0,6 \times 1,218 = 0,731$
- $K_{ZY} = \max \left(\left(1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right); \left(1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) \right)$

- $K_{ZY} = \max\left(1 - \frac{0,1 \times 1,72}{0,95 - 0,25} \frac{1200,96}{5952,764}; 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \frac{1200,96}{5952,764}\right)$
- $K_{ZY} = \max(0,95 ; 0,971) = 0,971$

Vérification :

- $\frac{N_{sd}}{N_{byRd}} + K_{YY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} + K_{YZ} \frac{M_{z.sd}}{M_{plz.rd}} \leq 1$
 $\frac{1200,96}{13889,782} + 1,016 \frac{329,9}{277,77} + 0,731 \frac{3,22}{194,4} = 2,024 > 1$ pas vérifier
- $\frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} + K_{ZY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} + K_{ZZ} \frac{M_{z.sd}}{M_{plz.rd}} \leq 1$

$$\frac{1200,96}{5952,764} + 0,971 \frac{329,9}{277,77} + 1,218 \frac{3,22}{194,4} = 1,375 > 1 \text{ pas vérifier}$$

La condition n'est pas vérifiée on augment la section on choisit IPE140

➤ Déversement de l'élément

- $G = e(P_{TOLE} + P_{accés}) + P_{panne \text{ estimé}} = 1,26(15 + 5) + 16 = 41,2 \text{ dan/ml}$
- $V = -134,56 \text{ dan/ml}$
- $N = 20,38 \text{ dan/ml}$
- $Q_{z.sd} = G \cdot \cos \alpha - 1,5V = 41,2 \cos 7,37 - 1,5 \times 134,56 = -161,01 \text{ dan/ml}$
- $Q_{y.sd} = 1,35 G \cdot \sin \alpha = 1,35 \times 41,2 \sin 7,37 = 7,135 \text{ dan/ml}$
- $M_{y.sd} = \frac{161,01 \times 4^2}{8} = 322,08 \text{ dan.m}$
- $M_{z.sd} = \frac{7,135 \times 2^2}{2} = 3,57 \text{ dan.m}$
- $M_{ply.rd} = \frac{88,34 \times 2350 \times 10^{-2}}{1,1} = 1887,26 \text{ dan.m}$
- $M_{plz.rd} = \frac{19,25 \times 2350}{1,1} \times 10^{-2} = 411,25 \text{ dan.m}$
- $N_{pl.rd} = \frac{16,43 \times 2350}{1,1} \times 10^{-2} = 35100,46 \text{ dan}$

F. Calcul des coefficients de Reduction

Tableau 3.8: Tableau des coefficients

	λ	$\bar{\lambda}$	α	Φ	Xmin
Y	69.69	0.74	0.21	0.83	0.829
Z	121.21	1.29	0.34	1.52	0.43
LT	88.194	0.94	0.21	1.02	0.706

$$\begin{cases} N_{byRd} = X_y \cdot N_{plRd} = 0.829 \times 35100.46 = 29098.28 \text{ dan} \\ N_{bzRd} = X_z \cdot N_{plRd} = 0.43 \times 35100.46 = 15093.198 \text{ dan} \\ M_{brd} = X_{LT} \cdot N_{plyRd} = 0.706 \times 1887.26 = 1332.406 \text{ dan.m} \end{cases}$$

G. Calcul des coefficients d'interaction Kij

Pour charge uniformément répartie ($C_{my} = C_{mz} = C_{mLT} = 0.95$)

- $K_{YY} = \min \left[C_{my} \left(1 + [\bar{\lambda}_y - 0,2] \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right) ; C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min \left[0,95 \left(1 + [0,74 - 0,2] \frac{1200,96}{29098,28} \right) ; 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{1200,96}{29098,28} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min (0,971 ; 0,981) = 0,971$
- $K_{ZZ} = \min \left[C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) ; C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{bzRd}} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min \left[0,95 \left(1 + (1,29 * 2 - 0,6) \frac{1200,96}{15093,198} \right) ; 0,95 \left(1 + 1,4 \frac{1200,96}{15093,198} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min (1,1 ; 1,06) = 1,06$
- $K_{YZ} = 0,66 K_{ZZ} = 0,66 \times 1,06 = 0,697$
- $K_{ZY} = \max \left(\left(1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) ; \left(1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) \right)$
 - $K_{ZY} = \max \left(1 - \frac{0,1 \times 1,29}{0,95 - 0,25} \frac{1200,96}{15093,198} ; 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \frac{1200,96}{15093,198} \right)$
 - $K_{ZY} = \max (0,985 ; 0,989) = 0,989$

Vérification :

- $\frac{N_{sd}}{N_{byRd}} + K_{YY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} + K_{YZ} \frac{M_{z.sd}}{M_{plz.rd}} \leq 1$

$$\frac{1200,96}{29098,28} + 0,971 \frac{322,08}{1332,406} + 0,697 \frac{3,57}{411,25} = 0,282 < 1 \text{ vérifier}$$
- $\frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} + K_{ZY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} + K_{ZZ} \frac{M_{z.sd}}{M_{plz.rd}} \leq 1$

$$\frac{1200,96}{15093,198} + 0,989 \frac{322,08}{1332,406} + 1,06 \frac{3,57}{411,25} = 0,328 < 1 \text{ vérifier}$$

Conclusion : le profile choisi IPE140 est comme montant de la poutre au vent (les pannes).

3.8.4. Prédimensionnement de la palée de stabilité long pan

les palées de stabilité doivent reprendre les efforts de 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

➤ *effort de traction dans la diagonale tendue*

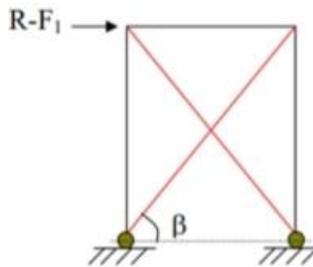


Figure3.9: schéma statique de palée de stabilité de long pan

$$\tan\beta = \frac{6.9}{4} = 1.725 \quad , \quad \beta = 60$$

$$F_d = \frac{R - F1}{\cos\theta} = \frac{1686.47 - 407.59}{\cos 60} = 2557.76 \text{ dan}$$

A. section de la diagonale

Calcul de la section brute A on a :

$$N_{sd} \leq N_{plrd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$A \geq \frac{N_{sd} \gamma_{m0}}{f_y}$$

$$N_{sd} = 1.5 \times 2557.76 = 3836.64 \text{ dan}$$

$$A \geq \frac{38.3664 \times 1.1}{23.5} = 1.796 \text{ cm}^2$$

On opte donc pour une cornière égale L25.25.4 ($A=1.85 \text{ cm}^2$) avec un boulon de 12mm et trous de 13 mm

B. vérification à la résistance ultime de la section

Pour la vérification de la cornière à la résistance on doit satisfaire la formule suivante :

$$N_{sd} \leq N_{u;rd} = \frac{\beta A_{net} \cdot f_u}{\gamma_m}$$

Avec : $d_0 = d + 1mm = 13mm$

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 1.85 - 0.4 \times 1.3 = 1.33cm^2$$

On prend : une attache de 2 boulon avec $p_1 = 100mm$; $e_1 = 25mm$

$$p_1 = 100mm > 5d_0 = 5 \times 13 = 65mm \quad ; \quad \beta = 0.7$$

$N_{u;rd} = \frac{0.7 \times 1.33 \times 36}{1.25} = 26.81kN < N_{sd} = 38.36kN$ pas vérifier on augmente la section ,
soit une cornière de L35.35.4 ($A=2.67 cm^2$)

$$N_{u;rd} = \frac{0.7 \times (2.67 - 0.4 \times 1.3) \times 36}{1.25} = 43.344kN > N_{sd} = 38.36kN \quad \text{vérifier}$$

Conclusion : on choisi L35.35.4 comme palée de stabilité long pan

3.9. prédimensionnement des poteaux

les poteaux sont des éléments porteurs verticaux des ossatures de bâtiment qui transmettent les efforts extérieurs provenant des charges permanentes . de la neige de la charge d'exploitation en fondation . les poteaux sont soumis à la compression avec éventuellement de la flexion selon le système statique adopté .

les profilés laminés en I ou en h sont les plus utilisés comme poteau de charpente métallique .ils conviennent particulièrement bien à l'assemblage des poutres dans les deux directions perpendiculaires avec facilité d'assemblage

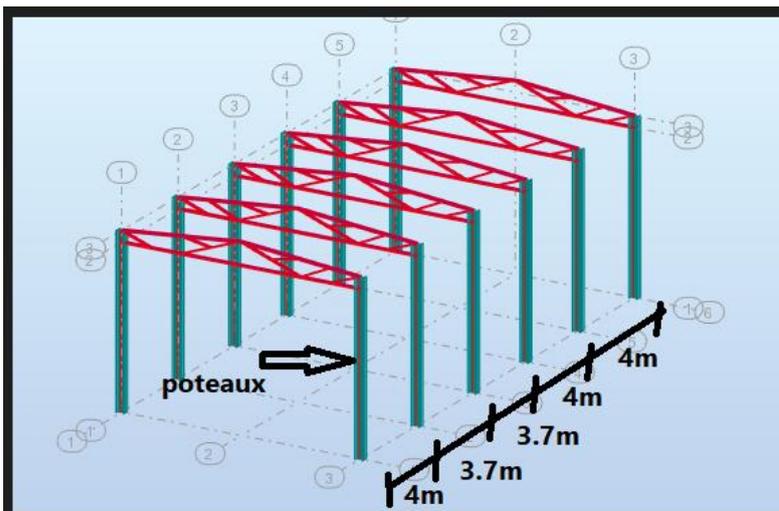


Figure3.10: les poteaux

3.9.1. évaluation des charges et surcharge

- Les pannes IPE14012.9kg/m²
- La ferme208.04Kg
- Accessoire de pose5dan/m²
- Couverture (panneau sandwich TL75).....15dan/m²
- Poids de poteaux estimé88.3Kg/m
- Poids propre de la lisses UPN12013.4dan/m
- Charges d'entretien66.67dan/ml
- La charge verticale de pont roulantRmax=30.6Kn
- La charge de poutre de roulement HEB200.....61.3Kg/m
- Support de roulement HEB16042.6Kg/m
- Neige16.3dan/m²
- Contreventement4dan/m²
- **Charges permanentes**
- $G_{pannes}=0.129 *4.87 =0.628kn$
- $G_{ferme}=2.0804/2= 1/04kN$
- $G_{acces}=0.05(4.91*4+4*6.9)=2.36 kn$
- $G_{pot}=0.883*6.9=6.09kn$
- $G_{couv}=0.15(19.64+27.6)=7.09 Kn$
- $G_{lisses}=0.134*4*4+2.14Kn$
- $G_{couv}=0.04(19.64+27.6)=1.89 Kn$
- $G_{Rmax}=30.6 Kn$
- $G_{p.roul}=0.613*4= 2.452 Kn$
- $G_{s.roul}=0.426*0.28=0.12kn$

$$\sum G = 53.41Kn$$

- **Charges climatique**
- $S_{neige}=0.163 *19.64 =3.201 Kn$
- $V=97.036 *4 = 3.88 kn/m$

3.9.2. Pré-dimensionnement

A. Condition de la flèche

$$f = \frac{5}{384} \frac{V.L^4}{E.I_Y} \leq F_{adm} = \frac{L}{200}$$

$$I_Y \geq \frac{1000 \cdot 388.144 \times 10^{-2} \times 600^3}{384 \cdot 2.1 \times 10^6}$$

$$I_Y \geq 1581.21 \text{ cm}^4$$

On choisit HEA160 ($I_Y = 1673 \text{ cm}^4$) S235

B. Vérification de la résistance

• **Incidence de l'effort tranchant**

- $V_{zsd} = \frac{1.4VL}{2} = \frac{1.5 \times 388.144 \times 6.9}{2} + \frac{1.5 \times 2 \times 1380 \times 1.67}{6.9} = 3010.64 \text{ dan}$
- $V_{PLrd} = \frac{A_{vz} f_y}{\gamma_{m0, \sqrt{3}}} = \frac{13.21 \times 2350}{1.1 \sqrt{3}} = 16293.61 \text{ dan}$

$$V_{zsd} = 3010.64 \text{ dan} \leq 0.5 V_{PLrd} = 8146.81 \text{ dan} \dots \dots \dots \text{vérifier}$$

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

• **Incidence de l'effort normal**

$$N_{sd} \leq \min (0.25 N_{plrd} \quad , \quad \frac{0.5 A_w f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$N_{sd} = 1.35 G + 1.5(Q + S) = 1.35 \times 54.41 + 1.5 (3.273 + 3.201) = 8116 \text{ dan}$$

$$0.25 N_{PLrd} = 0.25 \frac{A_v f_y}{\gamma_{m0}} = 0.25 \frac{38.77 \times 2350}{1.1} = 20706.705 \text{ dan}$$

$$A_w = A - 2b \cdot t_f = 38.77 - 2 \times 16 \times 0.9 = 9.97 \text{ cm}^2$$

$$0.5 \frac{A_w f_y}{\gamma_{m0}} = 0.5 \frac{9.97 \times 2350}{1.1} = 10649.77 \text{ dan}$$

$$N_{sd} = 8116 \text{ dan} \leq 10649.77 \text{ dan} \dots \dots \dots \text{Vérifie}$$

ily'apasd'interactionentremomentetl'effortnormal

C. Vérification à la flexion

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

- $M_{y.sd} = \frac{1.5VL^2}{8} + \frac{1.5 \times 2P.a.b}{L} = \frac{1.5 \times 388.14 \times 6.9^2}{8} + \frac{1.5 \times 2 \times 1830 \times 1.67 \times 6.38}{6.9} = 11942.26 \text{ dan.m}$

- $M_{c.rd} = \frac{W_{ply}}{\gamma_{m0}} f_y = \frac{245.1 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 5428.5 \text{ dan . m}$

$M_{y.sd} \geq M_{c.rd}$ pas vérifié on augmente la section HEA320

- $M_{c.rd} = \frac{W_{ply}}{\gamma_{m0}} f_y = \frac{1628 \times 2350 \times 10^{-2}}{1.1} = 34780 \text{ dan . m} \geq M_{y.sd} = 11942.26 \text{ dan.m} \dots \text{OK}$

D. Vérification de l'élément aux instabilités

$$\frac{N_{sd}}{N_{byRd}} + K_{YY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} \leq 1 \quad (\text{flexion composée avec risque flambement})$$

$$\frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} + K_{ZY} \frac{M_{ysd}}{M_{brd}} \leq 1 \quad (\text{flexion composée avec risque déversement})$$

$$\begin{cases} N_{byRd} = X_y \cdot N_{plRd} = 0.893 \times 265763.63 = 237.326 \times 10^3 \text{ dan} \\ N_{bzRd} = X_z \cdot N_{plRd} = 0.993 \times 265763.63 = 263.9 \times 10^3 \text{ dan} \\ M_{brd} = X_{LT} \cdot N_{plyRd} = 1.001 \times 34780 = 34814.78 \text{ dan.m} \end{cases}$$

➤ Calcul des coefficients de réduction :

Tableau 3.9: Tableau des coefficients

	λ	$\bar{\lambda}$	α	Φ	Xmin
Y	44.85	0.478	0.34	0.662	0.893
Z	20.03	0.213	0.49	0.526	0.993
LT	18.59	0.198	0.34	0.519	1.001

➤ Calcul des coefficients d'interaction Kij

- $K_{YY} = \min \left[C_{my} \left(1 + [\bar{\lambda}_y - 0,2] \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right) ; C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{plRd}} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min \left[0,95 \left(1 + [0,478 - 0,2] \frac{8116}{237.326 \times 10^3} \right) ; 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{8116}{237.326 \times 10^3} \right) \right]$
 - $K_{YY} = \min (0,959 ; 0,976) = 0,959$
- $K_{ZZ} = \min \left[C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) ; C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{sd}}{X_y \cdot N_{bzRd}} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min \left[0,95 \left(1 + (0,213 - 0,6) \frac{8116}{263.9 \times 10^3} \right) ; 0,95 \left(1 + 1,4 \frac{8116}{263.9 \times 10^3} \right) \right]$
 - $K_{ZZ} = \min (0,939 ; 0,991) = 0,939$
- $K_{YZ} = 0,6 K_{ZZ} = 0,6 \times 0,939 = 0,563$
- $K_{ZY} = \max \left(\left(1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT-0,25} N_{bzRd}} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) ; \left(1 - \frac{0,1}{C_{mLT-0,25} N_{bzRd}} \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} \right) \right)$
 - $K_{ZY} = \max \left(1 - \frac{0,1 \times 0,213}{0,95 - 0,25} \frac{8116}{263.9 \times 10^3} ; 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} \frac{8116}{263.9 \times 10^3} \right)$
 - $K_{ZY} = \max (0,999 ; 0,996) = 0,99$

➤ Vérification :

$$\bullet \frac{N_{sd}}{N_{byRd}} + k_{yy} \frac{M_{ysd}}{M_{bRd}} \leq 1$$

$$\frac{8116}{237.326 \times 10^3} + 0,959 \frac{11942.26}{34814.78} = 0,363 \leq 1 \quad \text{vérifier}$$

$$\bullet \frac{N_{sd}}{N_{bzRd}} + k_{zy} \frac{M_{ysd}}{M_{bRd}} < 1$$

$$\frac{8116}{263.9 \times 10^3} + 0,996 \frac{11942.26}{34814.78} = 0,372 < 1 \quad \text{vérifier}$$

Conclusion : on opte un HEA320

CHAPITRE 4 : Etude au vent

4.1. Introduction

Ce chapitre donne les principes généraux et procédures de détermination des différentes sollicitations climatiques produites pas les charges du vent et de la neige agissant sur l'ensemble de l'ouvrage et ses parties individuelles selon le règlement algérien neige et vent (RNV 2013).

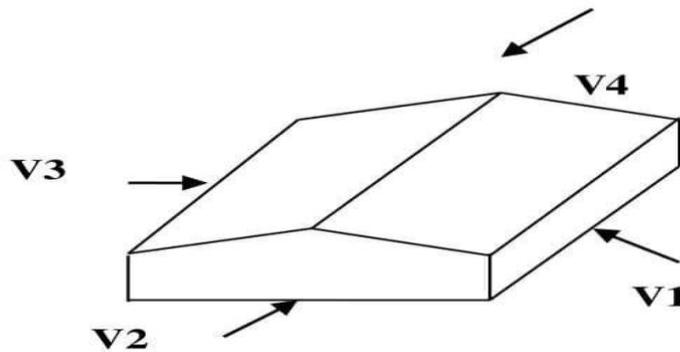


Figure4.1: les4 directions de vent

4.2. effet du vent

4.2.1. Définition

L'action du vent est représentée soit comme une pression soit comme une force. L'action de la pression du vent sur la structure est supposée perpendiculaire à la surface de la construction.

4.2.2. Direction du vent

Le calcul doit être effectué séparément pour chacune des directions perpendiculaires aux différentes parois de la construction.

Dans notre projet "hangar" on considérera les deux directions du vent car la construction est rectangulaire et symétrique.

- Vent perpendiculaire au long pan V_1 ($\Theta = 0^\circ$).
- Vent perpendiculaire au pignon V_2 ($\Theta = 90^\circ$).

4.3. Détermination des différents paramètres et coefficients de calcul

a) effet de la région

Notre projet est situé dans la willaya de Blida la zone I, dont la pression dynamique de référence est donnée par le tableau 2-2 du RNV 2013 Chapitre II – base de calcul)

Donc : $q_{\text{réf}} = 375 \text{ N/m}^2$

b) effet de site

La structure sera implanté en zone industriel. Donc d'après les données de tableau 2.4 dans le RNV A2013 (chapitre 2- bases de calcul) la catégorie de terrain est II.

D'où :

- K_T : le facteur de terrain
- Z_O : le paramètre de rugosité
- Z_{min} : la hauteur minimale
- ε : coefficient utilisé pour le calcul du coefficient C_d

Alors :

$$K_T = 0,19 \quad ; \quad Z_O \text{ (m)} = 0,05 \quad ; \quad Z_{\text{min}} = 2 \quad ; \quad \varepsilon = 0,52$$

c) coefficient de topographie

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

Le site est plat donc $Q < 0,05$ alors le coefficient de topographie $C_t = 1$ (§ 2,4,5,2 chapitre 2RNV2013).

d) coefficient dynamique C_d

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

La valeur de coefficient C_d pour les structure métalliques est données par le paragraphe valeur simplifiée (chapitre 3 : coefficient dynamique dans RNV2013)

Dans notre projet la hauteur totale de le hangar $H= 7,53$ m est inférieur à 15 m donc on prendre la valeur simplifiée de C_d : $C_d =1$ donc $C_d < 1,2$

4.4. Calcule de la pression

4.4.1. Détermination de la pression dynamique de pointe (z_e)

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

$$q_p(z_e) = q_{réf} \cdot c_e(z_e) \quad [N/m^2]$$

Tel que : $q_{réf} = 375$ N/m²

$C_e(z_e)$: coefficient d'exposition au vent.

a) coefficient de la rugosité C_r

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

$$\begin{cases} C_r(z) = k_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{pour } z_{min} \leq z \leq 200 \text{ m} \\ C_r(z) = k_t \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) & \text{pour } z < z_{min} \end{cases}$$

Ou :

K_t est le facteur de terrain.

Z_0 (en m) est le paramètre de rugosité.

Z_{min} (en m) est la hauteur minimale.

Z (en m) est la hauteur considérée.

AN :

Tableau4.1:coefficient de la rugosité C_r

Parois verticale ($z_e = 6,9$ m)	Toiture ($z_0 = 7,53$ m)
<ul style="list-style-type: none"> • $z_{min} = 2$ m • $z_{min} = 2 \leq Z = 6,9 \leq 200$ m • $C_r(6,9) = k_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ $= 0,19 \ln\left(\frac{6,9}{0,05}\right)$ $= 0,936$ 	<ul style="list-style-type: none"> • $z_{min} = 2$ m • $z_{min} = 2 \leq Z = 7,53 \leq 200$ m • $C_r(7,53) = k_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ $= 0,19 \ln\left(\frac{7,53}{0,05}\right)$ $= 0,953$

b) intensité de turbulence

L'intensité de la turbulence est définie comme étant l'écart type de la turbulence divisé par la vitesse moyenne du vent, elle est donnée par les équations qui suivent :

$$\begin{cases} I_V(z) = \frac{1}{C_t(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} & \text{pour } z > z_{min} \\ I_V(z) = \frac{1}{C_t(z) \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right)} & \text{pour } z \leq z_{min} \end{cases}$$

AN :

Tableau4.2: intensité de turbulence

Parois verticales ($z_e = 6,9 \text{ m}$)	Toiture ($z_e = 7,53 \text{ m}$)
<ul style="list-style-type: none"> • $Z=6,9 > z_{min} = 2 \text{ m}$ • $I_V(6,9) = \frac{1}{C_t(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$ $= \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{6,9}{0,05}\right)}$ $= 0,203$ 	<ul style="list-style-type: none"> • $Z= 7,53\text{m} > z_{min} = 2 \text{ m}$ • $I_V(7,53) = \frac{1}{C_t(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$ $= \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{7,53}{0,05}\right)}$ $= 0,199$

c) coefficient d'exposition $C_e (Z_e)$

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

$$C_e(z) = C_r^2(z) \cdot C_t^2(z) + (1+7I_V(z))$$

Ou :

C_r : est le coefficient de rugosité

C_t : est le coefficient de topographie

$I_V(z)$: est l'intensité de la turbulence

Z (en m) : est la hauteur considérée

AN :

Tableau 4.3 : valeurs de c_e , q_p .

Parois verticales ($z_e = 6,9$ m)	Toiture ($z_e = 7,53$ m)
<ul style="list-style-type: none"> $C_e(z) = C_t^2(z) \cdot C_r^2(z) + (1+7I_v(z))$ $C_e(6,9) = 1^2 \cdot 0,936^2 + (1+7 \times 0,203)$ $C_e(6,9) = 2,121$	<ul style="list-style-type: none"> $C_e(z) = C_t^2(z) \cdot C_r^2(z) + (1+7I_v(z))$ $C_e(7,53) = 1^2 \cdot 0,953^2 + (1+7 \times 0,199)$ $C_e(7,53) = 2,173$
<ul style="list-style-type: none"> $q_p(z_e) = q_{ref} \cdot C_e(z_e)$ $q_p(6,9) = 375 \times 2,121$ $q_p(6,9) = 795,38N/m^2$	<ul style="list-style-type: none"> $q_p(z_e) = q_{ref} \cdot C_e(z_e)$ $q_p(7,53) = 375 \times 2,173$ $q_p(7,53) = 814,88N/m^2$

4.4.2. Détermination de coefficient de pression extérieure c_{pe}

Les coefficients de pression extérieure c_{pe} des constructions à base rectangulaire et de leurs éléments constitutifs individuels dépend de la dimension de la surface charge. Ils sont définis pour des surfaces chargées de $1m^2$ et $10m^2$. aux quelles correspondent les coefficients de pression notés respectivement c_{pe1} et c_{pe10} (chapitre 5 construction à base rectangulaire RVVA 2013). c_{pe} s’obtient à partir des formules suivantes :

$$\begin{cases} c_{pe} = c_{pe_1} \text{ si } S \leq 1m^2 \\ c_{pe} = c_{pe_1} + (c_{pe_{10}} - c_{pe_1}) \cdot \log(s) \text{ si } 1m^2 < S < 10m^2 \\ c_{pe} = c_{pe_{10}} \text{ si } S \geq 10m^2 \end{cases}$$

Ou S (en m^2) désigne la surface chargé de la paroi considérée.

a) Vent perpendiculaire au long pan V_1 ($\Theta = 0$)

➤ **parois verticales :**

pour cette direction du vent on a : $b= 19,4$ m , $h= 6,9$ m , $d= 9,74$ m.

$e= \min(b, 2h) = \min(19,4 ; 13,8) = 13,8$ m ; $e= 13,8$ m

on a : $d= 9,74$ m $\leq e= 13,8$, donc on utilise la légende suivante :

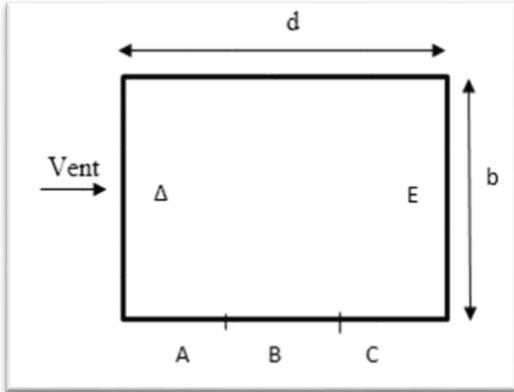


Figure 4.2: vue en plan

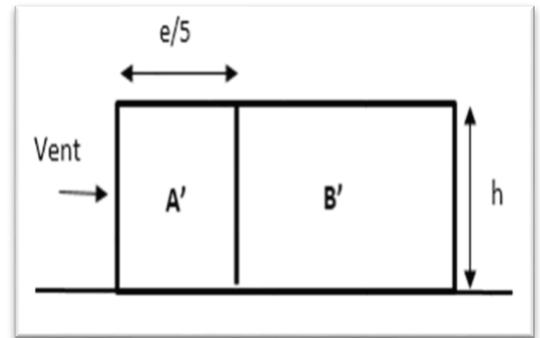


Figure 4.3 :vue en élévation

Tableau 4.4: valeur de surface et coefficient Cpe de parois verticale

zone	Surface (m ²)	Cpe
A'	$\frac{e}{5} \cdot h = \frac{13,8}{5} \cdot 6,9 = 19,04 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	-1
B'	$(d - \frac{e}{5}) \cdot h = \frac{13,8}{5} \cdot 6,9 = 19,04 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	-0,8
D	$b \cdot h = 19,4 \times 6,9 = 133,86 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	+0,8
E	$b \cdot h = 19,4 \times 6,9 = 133,86 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	-0,3

La figure suivante illustre la répartition des cpe pour les parois verticale.

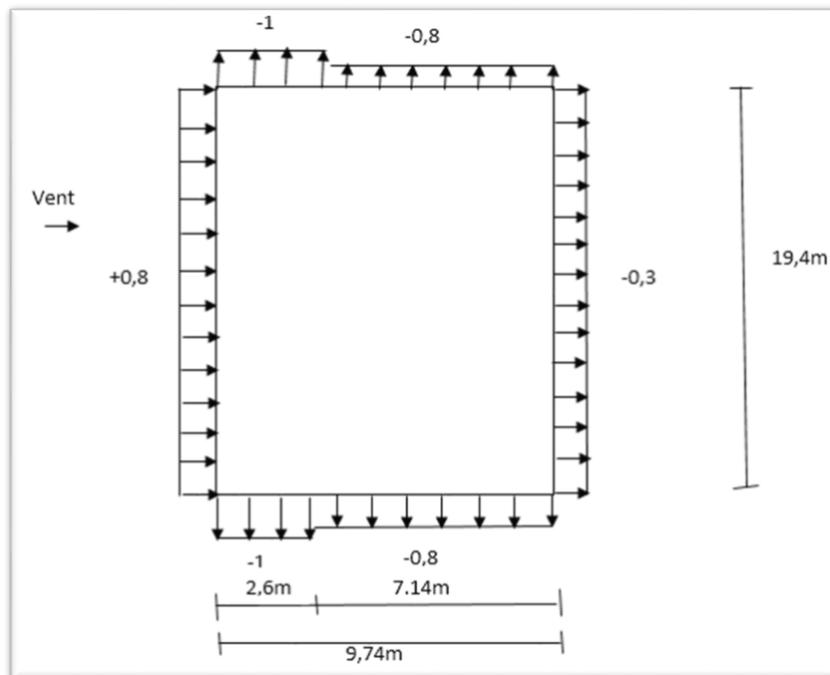


Figure 4.4: légende pour les parois verticale V1.

➤ **Toiture**

- Dans le cas de notre hangar, il existe une toiture a deux versant tel que $\alpha = 7,37^\circ$; $b = 19,4$ m ; $h = 7,53$ m ; $d = 9,74$ m ; $e = \min(b, 2h) = (19,4 ; 15,06) = 15,06$; $e = 15,06$ m
- Pour la valeur $\alpha = 7,37^\circ$ on fait une interpolation linéaire entre $\alpha = 5^\circ$ et $\alpha = 15^\circ$ avec la formule suivante : $f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1)-f(x_0)}{x_1-x_0}(x-x_0)$
- On utilise la légende pour les toitures à deux versants suivante :

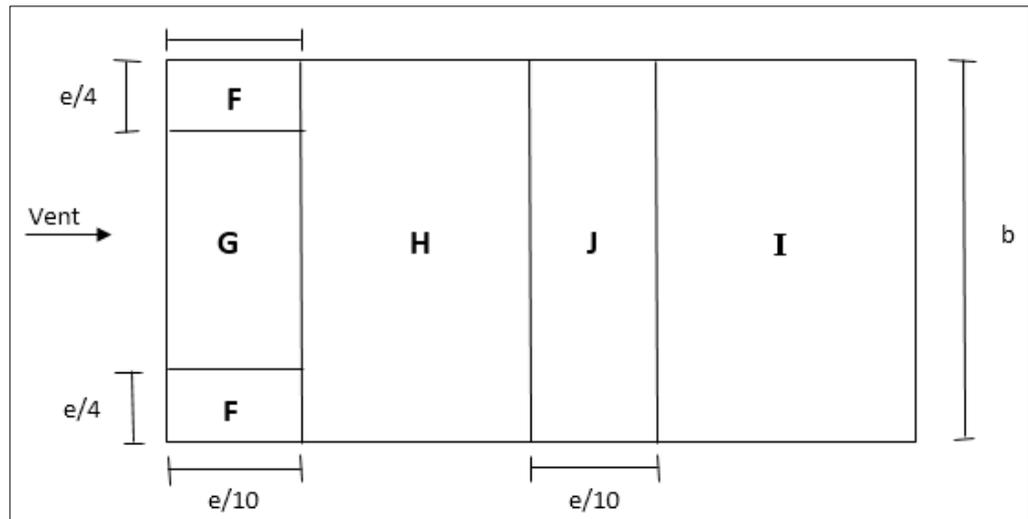


Figure4.5 direction du vent $\Theta = 0^\circ$

Tableau4.5: les valeurs des surfaces et coefficient cpe de toiture (V1)

Zone	Surface (m ²)	Cpe (α=5)	Cpe (α=7,37)	Cpe (α=15)
F	$\frac{e}{10} \times \frac{e}{4} = \frac{15,06}{10} \cdot \frac{15,06}{4} = 5,67$ $\rightarrow 1m < s = 5,67m < 10m$ $\rightarrow cpe = cpe_1 + (cpe_{10} - cpe_1)$	-1,9	-1,73	-1,17
		+0	+0,05	+0,2
G	$\frac{e}{10} \left(b - 2 \cdot \frac{e}{4} \right) = \frac{15,06}{10} \left(19,4 - 2 \cdot \frac{15,06}{4} \right)$ $= 17,88m$ $\rightarrow 17,88 m > 10 m \rightarrow cpe = cpe_{10}$	-1,2	-1,11	-0,8
		+0	+0,05	+0,2
H	$\left(\frac{d}{2} - \frac{e}{10} \right) b = \left(\frac{9,74}{2} - \frac{15,06}{10} \right) 19,4 = 65,26 m$ $\rightarrow 65,26 m > 10 m \rightarrow cpe = cpe_{10}$	-0,6	-0,53	-0,3
		+0	+0,05	+0,2
I	$\left(\frac{d}{2} - \frac{e}{10} \right) b = \left(\frac{9,74}{2} - \frac{15,06}{10} \right) 19,4 = 65,26 m$ $\rightarrow 65,26 m > 10 m \rightarrow cpe = cpe_{10}$	-0,6	-0,55	-0,4
J	$\frac{e}{10} \times b = \frac{15,06}{10} \times 19,4 = 29,22 m > 10 m$ $\rightarrow cpe = cpe_{10}$	-0,6	-0,69	-1
		+0,2	+0,15	0

Prend un exemple pour savoir comment on a calculer cpe (7,37°) avec la formule de l'interpolation linéaire.

AN :

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

$$Cpe(7,37) = -1,9 + \frac{-1,17 - (-1,9)}{15 - 5} (7,37 - 5)$$

$$Cpe(7,37) = -1,73$$

- Dans la figure suivante représentent la répartition des cpe sur la toiture dans le sens V₁

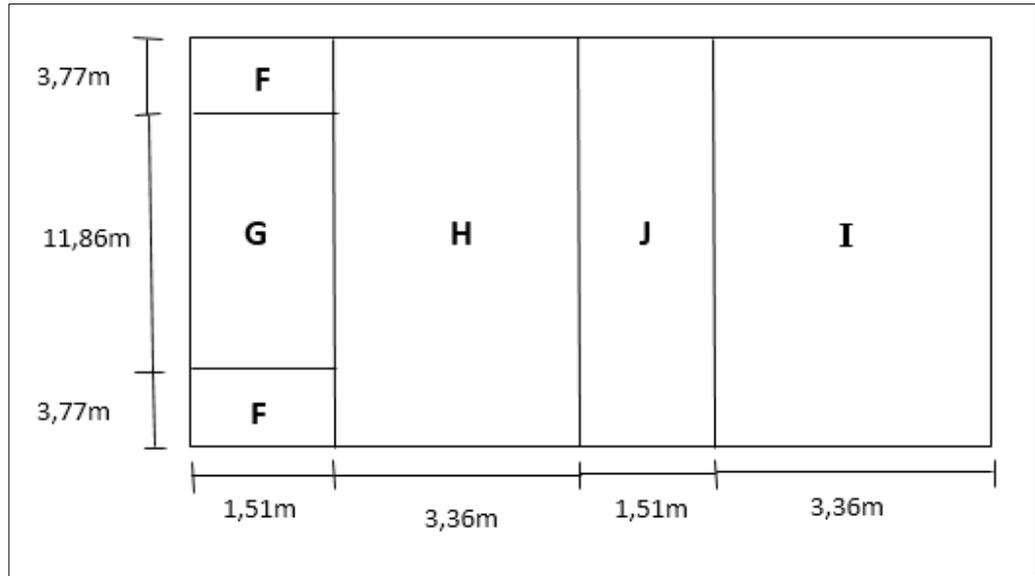


Figure4.6: Répartition des cpe sur la toiture dans le sens V1

b) Vent perpendiculaire au pignon V₂ (Θ=90°)

➤ Parois verticale

Pour cette direction du vent on a : $b = 9,74 \text{ m}$; $d = 19,4 \text{ m}$; $h = 6,9 \text{ m}$;

$e = \min (b, 2h) = (9,74 ; 13,8) = 9,74 \text{ m}$

$d = 19,4 \text{ m} > e = 9,74 \text{ m}$ donc on utilise la légende suivante :

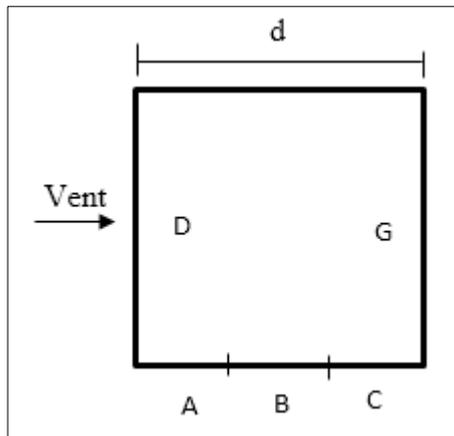


Figure4.7: vue en plan

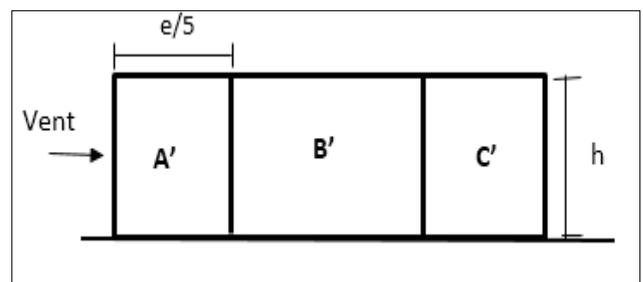


Figure4.8: élévation

Tableau4.6: les valeurs du surface et coefficient Cpe parois verticale V2

zone	Surface (m ²)	Cpe
A	$\frac{e}{5} \cdot h = \frac{13,8}{5} \cdot 6,9 = 19,04 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	-1
B	$(e - \frac{e}{5}) \cdot h = (13,8 - \frac{13,8}{5}) \cdot 6,9 = 76,18 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	-0,8
C	$(d - e) \cdot h = (19,4 - 13,8) \times 6,9 = 38,64 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	-0,5
D	$b \cdot h = 9,74 \times 6,9 = 67,21 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	+0,8
E	$b \cdot h = 9,74 \times 6,9 = 67,21 \text{ m} > 10 \rightarrow Cpe = Cp_{10}$	-0,3

La figure suivante illustre la répartition des cpe pour les parois verticales :

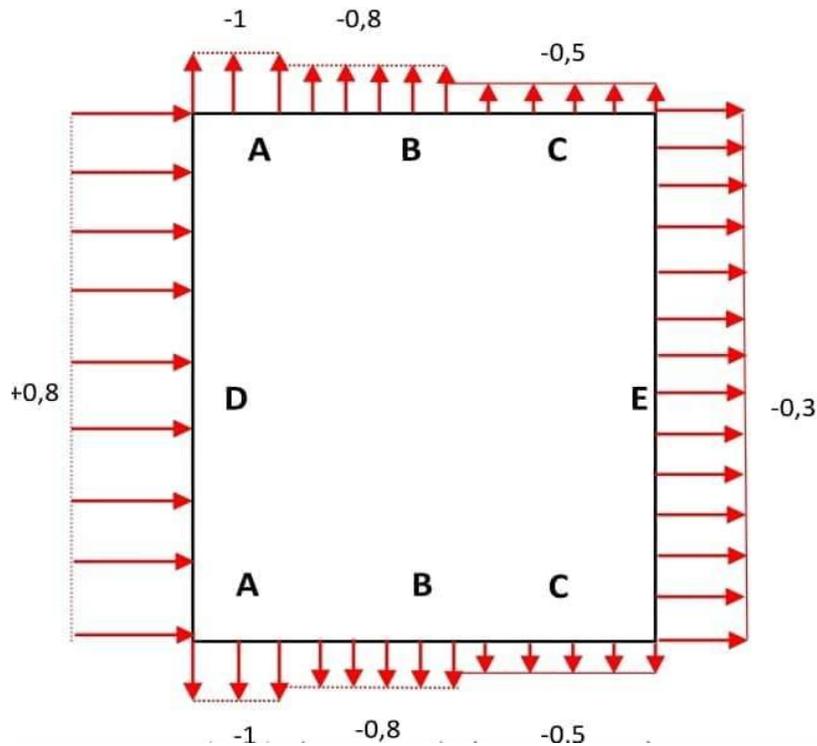


Figure4.9: légende pour les parois verticales V2

➤ **Toiture**

- Dans le cas de notre hangar avec une toiture a deux versant tel que $\alpha = 7,37^\circ$; $b = 9,74 \text{ m}$; $h = 7,53 \text{ m}$; $d = 19,4 \text{ m}$; $e = \min (b, 2h) = (9,74 ; 15,06) = 9,74$; $e = 15,06 \text{ m}$
- Pour la valeur $\alpha = 7,37^\circ$ on fait une interpolation linéaire avec la formule suivante :

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

- On utilise la légende pour les toitures à deux versants suivante :

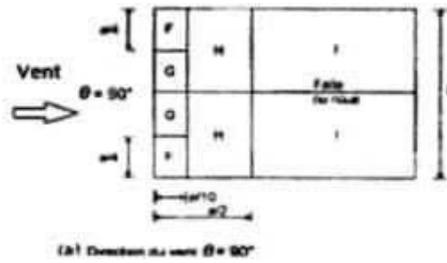


Figure4.10:direction du vent $\Theta = 90^\circ$

Tableau4.7: les valeurs du surface et coefficient Cpe parois verticale V2

Zone	Surface (m ²)	Cpe ($\alpha=5$)	Cpe ($\alpha=7,37$)	Cpe ($\alpha=15$)
F	$\frac{e}{10} \times \frac{e}{4} = \frac{9,74}{4} \cdot \frac{9,74}{10} = 2,37$ donc $\rightarrow cpe = cpe_1 + (cpe_{10} - cpe_1) \log_{10}(s)$	-1,98	-1,92	-1,74
G	$(b - 2 \cdot \frac{e}{4}) \frac{e}{10} = (9,74 - 2 \cdot \frac{9,74}{4}) \frac{9,74}{10} = 4,74$ m donc : $cpe = cpe_1 + (cpe_{10} - cpe_1) \log_{10}(s)$	-1,53	-1,53	-1,53
H	$(\frac{e}{2} - \frac{e}{10}) b = (\frac{9,74}{2} - \frac{9,74}{10}) 9,74 = 37,95$ m > 10 donc : $cpe = cpe_{10}$	-0,7	-0,68	-0,6
I	$(d - \frac{e}{2}) b = (19,4 - \frac{9,74}{2}) 9,74 = 141,52$ m > 10 Donc : $cpe = cpe_{10}$	-0,6	-0,58	-0,5

4.4.3. Détermination des coefficients de pression intérieure cpe

- Dans le cas d'un bâtiment ayant une face dominante le coefficient du pression intérieure est donné par :
 - Cpi = 0,75 cpe lorsque l'aire des ouvertures dans la face dominante est égale à deux fois l'aire des ouvertures dans les autres faces.
 - Cpi = 0,7 cpe lorsque l'aire des ouvertures dans la face dominante est au moins égale à trois fois l'aire des ouvertures dans les autres faces.

- Pour les bâtiments sans face dominante, les coefficients de pression intérieure c_{pi} est déterminée à partir de la figure 5.14 RNVA2013 avec (h) la hauteur du bâtiment, (d) sa profondeur et u_p l'indice de perméabilité donné par :

$$U_p = \frac{\sum \text{les surfaces des ouvertures ou } c_{pe} \leq 0}{\sum \text{les surfaces de toutes les ouvertures}}$$

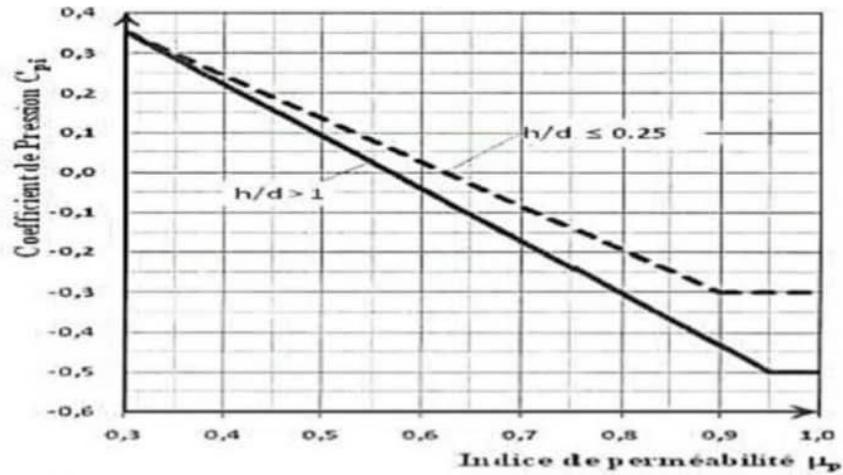


Figure 4.11:coefficients de pression intérieure c_{pi} des bâtiments sans face dominante.

Notre hangar possède une seule porte pour le pignon principale de dimension (5×4) m²

a)- vérification des conditions de la toiture isolée

lorsque, sur au moins deux faces du bâtiments, l'aire totale des ouvertures existant sur chacun des faces représente 30% de l'aire de cette face, il convient de calculer les actions exercées sur la construction à partir des règles définies pour les toitures isolées (§ 5.2.1.3 RNVA 2013).

Tableau4.8:condition de la toiture isolée

	Surface des ouvertures dans la face (m ²)	Surface de les faces (m ²)	%
Face1 (pinion1)	$5 \times 4 = 24$	$9,74 \times 6,9 + \frac{9,74 \times 0,63}{2} = 70,27$	28,46
Face2 (pinion2)	0	$6,9 \times 19,4 = 133,86$	0
Face3 (pinion3)	0	$9,74 \times 6,9 + \frac{9,74 \times 0,63}{2} = 70,27$	0
Face4 (long pan2)	0	$6,9 \times 19,4 = 133,86$	0
Face5 (toiture)	0	$2 \times 4,91 \times 19,4 = 190,51$	0

Aucune surface des ouvertures ne représente plus de 30% de la surface des faces, donc les conditions de la toiture isolée ne sont pas vérifier.

b)-Vérification des conditions de la face dominante

une face d'un bâtiment est considérée comme dominante lorsque l'aire des ouvertures dans la dite face est au moins égale à deux fois l'aire des ouvertures et des fuites d'aires dans les autres faces du bâtiment..... (§ 5.2.1.3 RNVA 2013).

Tableau4.9:condition de la face dominante

	Surface des ouvertures dans la face (m ²)	Surface de les faces (m ²)	S _{our} >2S _{our} autre face
Face1 (pinion1)	$5 \times 4 = 24$	$2 (0+0+0+0) = 0$	Oui
Face2 (long pan1)	0	$2 (20+0+0+0) = 40$	Non
Face3 (pinion2)	0	$2 (20+0+0+0) = 40$	Non
Face4 (long pan2)	0	$2 (20+0+0+0) = 40$	Non
Face5 (toiture)	0	$2 (20+0+0+0) = 40$	Non

Condition vérifiée dans pinion1 : donc il y a une surface dominante.

c)- coefficient de pression :

- Vent perpendiculaire à long pan (V₁) et (V₃)

$$U_p = \frac{20+0+0}{20+0+0+0} = 1$$

Le rapport $\frac{h}{d} = \frac{6,9}{9,74} = 0,71 \rightarrow 0,25 \leq \frac{h}{d} \leq 1$

On utilise l'interpolation linéaire pour déterminer les valeurs de cpi selon la note de figure 5.14 de RNVA 2013, cpi est compris entre -0,5 et -0,3

$C_{pi}(0,71) = -0,5 + \frac{-0,3+0,5}{0,25-1} (0,71 - 1) = 0,42 \quad c_{pi} = -0,42$

- Vent perpendiculaire à pinion1 (V₂)

On a une surface dominante dans le pinion1 alors cpe = 0,75 cpe

- Vent perpendiculaire à pinion2 (V₄)

$U_p = \frac{20+0+0}{20+0+0+0} = 1$

Le rapport $\frac{h}{d} = \frac{6,9}{19,4} = 0,36 \rightarrow 0,25 \leq \frac{h}{d} \leq 1$

On utilise l'interpolation linéaire :

$C_{pi}(0,36) = -0,5 + \frac{-0,3+0,5}{0,25-1} (0,36 - 1) = -0,33 \quad c_{pi} = -0,33$

4.4.4. Détermination de la pression aérodynamique W (ze)

La pression aérodynamique W(z_j) agissant sur une paroi est obtenue à l'aide de la formule suivant :

$W(z_j) = C_d \cdot q_{dyn}(z_e) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \dots\dots(\text{chapitre2 : base de calcul})$

a) Vent perpendiculaire au long pan V₁ et V₃ :

- **Paroi verticale :**

Tableau4.10:les valeurs de pression aérodynamique des parois verticales au long pan V1 et V3

Zone	Qp (N/m ²)	Cpe	cpi	W(ze) [N/m ²]
A'	795,38	-1	-0,42	-461,32
B'	795,38	-0,8	-0,42	-302,24
D	795,38	+0,8	-0,42	970,36
E	795,38	-0,3	-0,42	95,45

➤ **Toiture :****Tableau4.11:les valeurs de pression aérodynamique de toiture au long pan V1 et V3**

➤ Zone	Qp (N/m ²)	Cpe	cpi	W (ze) [N/m ²]
F	814,88	-1,73	-0,42	-1067,49
		+0,05		+382,99
G	814,88	-1,11	-0,42	-562,27
		+0,05		+382,99
H	814,88	-0,53	-0,42	-89,64
		+0,05		+382,99
I	814,88	-0,55	-0,42	-105,93
J	814,88	-0,69	-0,42	-220,02
		+0,15		464,48

b) Vent perpendiculaire au pinion V₂

cpi = 0,75 cpe

➤ **Paroi verticale :****Tableau4.12:les valeurs de pression aérodynamique des parois verticales au pignon V2**

Zone	Qp (N/m ²)	Cpe	cpi	W(ze) [N/m ²]
A	795,38	-1	-0,75	-198,85
B	795,38	-0,8	-0,6	-159,08
C	795,38	-0,5	-0,38	-95,45
D	795,38	+0,8	+0,6	159,08
E	795,38	-0,3	-0,23	-55,68

➤ **Toiture :****Tableau4.13:les valeurs de pression aérodynamique de toiture au pignon V2.**

Zone	Qp (N/m ²)	Cpe	cpi	W(ze) [N/m ²]
F	814,88	-1,92	-1,44	-391,14
G	814,88	-1,53	-1,15	-309,65
H	814,88	-0,68	-0,51	-138,53
I	814,88	-0,58	-0,44	-114,08

c) Vent perpendiculaire au pignon V₄ :

➤ Parois verticales :

Tableau 4.14: les valeurs de pression aérodynamique des parois verticales au pignon v4

Zone	Q _p (N/m ²)	C _{pe}	c _{pi}	W(ze) [N/m ²]
A	795,38	-1	-0,33	-532,9
B	795,38	-0,8	-0,33	-373,83
C	795,38	-0,5	-0,33	-135,21
D	795,38	+0,8	+0,33	+898,78
E	795,38	-0,3	-0,33	23,86

➤ Toiture :

Tableau 4.15: les valeurs de pression aérodynamique de toiture au pignon V4

Zone	Q _p (N/m ²)	C _{pe}	c _{pi}	W(ze) [N/m ²]
F	814,88	-1,44	-0,33	-904,52
G	814,88	-1,15	-0,33	-668,2
H	814,88	-0,51	-0,33	-146,68
I	814,88	-0,44	-0,33	-89,64

4.4.5. Détermination de la force de frottement F_{fr}

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 vent) est inférieure ou égale à 4 fois l'aire totale de toutes les surfaces extérieures perpendiculaires au vent (au vent est sous le vent) (selon RNVA 2013 chapitre 2 Article 2.6.3)

La force de frottement F_{fr} est donnée par :

$$F_{fr} = C_{fr} \cdot q_p(ze) \times A_{fr}$$

Où :

C_{fr} est le coefficient de frottement

A_{fr} est l'aire de la surface extérieure parallèle au vent.

a) direction perpendiculaire au long pan

- Calcul des surfaces parallèles au vent
- La surface des deux pinons

$$S_{\text{pignon}} = 2 (9,74 \times 6,9 + \left(\frac{9,74 \times 0,63}{2} \right)) = 140,55 \text{ m}^2$$

- La toiture qui est faiblement inclinée par rapport à la direction du vent

$$S_{\text{toit}} = 2 \times 4,91 \times 19,4 = 190,51 \text{ m}^2$$

- Totale des surfaces parallèles au vent

$$A_{\text{ftj}} = 140,55 + 190,51 = 331,06 \text{ m}^2$$

- Calcul des surfaces perpendiculaires au vent

- $S_{\text{long pan}} = 2 \times 6,9 \times 19,4 = 267,72 \text{ m}^2$

- Vérification de la condition (article 2.6.3 RNVA 2013)

L'aire totale des surfaces parallèles au vent $< 4 \times$ l'aire totale des surfaces perpendiculaire au vent

$$S = 331,06 \text{ m}^2 \leq 4 \times 267,72 = 1070,88 \text{ m}^2 \quad \dots\dots\dots \text{Condition vérifier}$$

b) direction perpendiculaire au pignon

- Calcul des surfaces parallèles au vent

- La surface des deux parois verticales long pan

$$S_{\text{long pan}} = 2 \times 19,4 \times 6,9 = 267,72 \text{ m}^2$$

- La toiture qui est faiblement inclinée par rapport à la direction du vent

$$S_{\text{toit}} = 2 \times 4,91 \times 19,4 = 190,51 \text{ m}^2$$

- Totale des surfaces parallèles au vent

$$A_{\text{ftj}} = 267,72 + 190,51 = 458,23 \text{ m}^2$$

- Calcul des surfaces perpendiculaires au vent

La surface des deux pinions :

$$S_{\text{pignon}} = 2 \left(9,74 \times 6,9 + \left(\frac{9,74 \times 0,63}{2} \right) \right) = 140,55 \text{ m}^2$$

- Vérification de la condition (article 2.6.3 RNVA 2013)

$$S = 458,23 \text{ m}^2 \leq 4 \times 140,55 = 562,2 \text{ m}^2 \quad \dots\dots\dots \text{Condition vérifié}$$

- ✓ Donc on doit négliger l'effet de frottement.

4.5. Action neige

4.5.1. But de l'étude

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

4.5.2. Domaine d'application de règlement neige et vent RNVA 2013

Ce règlement s'applique à l'ensemble des constructions en Algérie à une altitude inférieure à 2000 m

4.5.3. Calcul des charges de neige

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

La charge caractéristique de la neige par unité de surface est donnée par la formule suivante :

$$S = \mu \cdot S_k \text{ KN/m}^2$$

Avec :

S : charge caractéristique de la neige par unité de surface

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

S_k : charge de la neige sur le sol

a) la charge de la neige sur le sol

la valeur de S_k en KN/m^2 est déterminée par la loi de variation suivante en fonction de l'altitude de H en m (par rapport au niveau de la mer) du site considéré et représenté graphiquement sur figure 3 RNVA 2013.

- Zone A : $S_k = \frac{0,007H + 15}{100}$
- Zone B : $S_k = \frac{0,04 H + 10}{100}$
- Zone C : $S_k = \frac{0,0325 H}{100}$

Notre projet est implanté à Blida (maftah) qui est classé en zone B selon RNVA 2013 avec une altitude d'environ 260m .

AN :

$$S_k = \frac{0,04H + 10}{100} = \frac{0,04 \times 260 + 10}{100} = 0,204 \text{ KN/m}^2$$

b) Coefficient du forme de la toiture

Les coefficients de la forme pour les toitures à deux versants sans obstacles de retenu sont illustrées dans la figure suivante :

Tableau 4.16: coefficient de forme (toiture à deux versantes)

(α) angle des versants par rapport à l'horizontale.	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
Coefficient V_1	0,8	$0,8 \left(\frac{60-\alpha}{30} \right)$	0

Les dispositions de charge à prendre en compte sont celles produisant les effets les plus défavorables parmi les cas de la figure 15.

Pour notre hangar l'inclinaison de la toiture par rapport à l'horizontale est $\alpha = 7,37$

- Calcul des coefficients de forme U
- Charge de neige répartie sans redistribution par le vent
 - Versants symétriques : $0 \leq \alpha = 7,37 < 30 \rightarrow U = 0,8$
 - Par projection horizontale : $S = \mu \cdot S_k = 0,8 \times 0,204 = 0,163 \text{ KN/m}^2$
 - Suivant rampant : $S' = S \cdot \cos(\alpha) = 0,163 \cos(7,37) = 0,162 \text{ KN/m}^2$

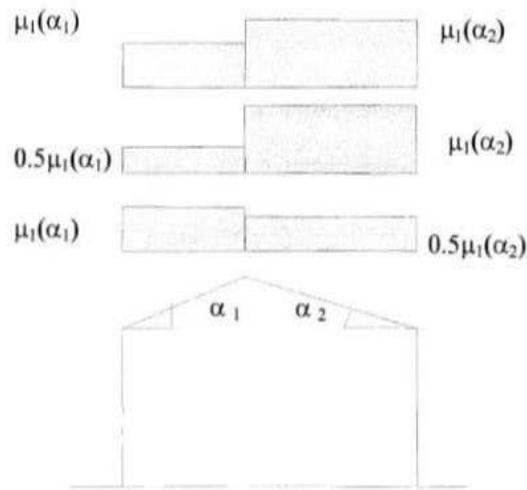


Figure 4.12: Charge de neige répartie sans redistribution par le vent.

- Charge de neige répartie avec redistribution par le vent

L'un des versants aura la moitié de sa charge de neige calculé sans redistribution , par projection horizontale $S = 0,163 \text{ KN/m}^2$

$$0,5 S = 0,5 \times 0,163 = 0,082 \text{ KN/m}^2$$

Figure 5.14 : charge de neige répartie avec redistribution par le vent.

Conclusion :

- Le calcul des charges de neige et du vent permettre par la suite de déterminer les charges de calcul pour le prédimensionnement des éléments de la structure.
- La charge la plus défavorable de neige est : $S = 0,163 \text{ N/m}^2$
- La charge la plus défavorable de vent est : $W (ze) = -1067,49 \text{ N/m}^2$
- La charge de toiture la plus défavorable de vent est : $W (ze) = 970,36 \text{ N/m}^2$

CHAPITRE 5 : Etude sismique

5.1. Introduction

les actions sismiques sur un bâtiment sont des actions dynamiques complexes .elle se manifestent par des mouvements essentiellement horizontaux imposés aux fondations .

l'objectif de ce chapitre est la détermination des efforts sismiques susceptibles à solliciter la structure .

le calcul sismique se fait selon le règlement parasismique algérienne RPA99 /2003 , qui met un à notre disposition trois méthodes de calcul :

- méthode statique équivalente
- méthode d'analyse spectrale
- méthode d'analyse dynamique par accélérographe

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

5.2. Classification

Notre projet est un bâtiment industriels située dans la Wilaya de Blida (Meftah)

- Zone sismique : IIb (Annexe 1 RPA page 118)
- Groupe d usage : 2

5.3. Méthode dynamique modale spectrale

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

5.4. Spectre de réponse de calcul

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

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

- **A** : coefficient d'accélération de zone (tableau 4.1 RPA page 116)
 - Zone : IIb
 - Groupe : 2
 - **A=0.15** (tableau 4.1 RPA page 116)
- **ξ** : pourcentage d'amortissement critique (selon RPA tableau 4.2 : valeur de ξ%)
On a : portique en acier dense (5%)
- **η** : facteur de correction d'amortissement

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} = 1 \quad , \quad (\xi = 5\%)$$
- **R** : coefficient de comportement de la structure (selon RPA tableau 4.3 : valeurs du coefficient de comportement page 41)

On a : ossature en acier contreventée par palées triangulées en X

R=4

- **T1, T2** : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site (selon RPA tableau 4.7 valeurs de T1 et T2 page 49)
Sol supposé très meuble (S4) alors :
 - T1= 0 .15 s
 - T2= 0.7 s
- **Q** : facteur de qualité

Tableau5.1: Valeurs des pénalités p_p

Critère q	Pq (Axe x)	Pq (Axe y)
1. Conditions minimales sur les files de contreventement	N/observe 0,05	N/observe 0,05
2. Redondance en plan	Observé 0	N/observe 0,05
3. Régularité en plan	Observé 0	Observé 0
4. Régularité en élévation	Observé 0	Observé 0
5. Contrôle de la qualité des matériaux	N/observe 0,05	N/observe 0,05
6. Contrôle de la qualité de l'exécution	N/observe 0,1	N/observe 0,1
	$\sum Pq = 0,2$	$\sum Pq = 0,25$

La valeurs de **Q**est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^6 Pq$$

- $Q_x = 1 + 0,2 = 1,2$
- $Q_y = 1 + 0,25 = 1,25$

➤ **W** : poids total de la structure

Avec $W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$

- **W_{Gi}** : poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires de la structure
- **W_{Qi}** : charges d'exploitation
- **β** : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par (Tableau 4.5 : valeurs du coefficient de pondération β de RPA page 44)
on a un hangar : **β = 0,50**

5.5. Les éléments métalliques constituant la structure

Tableau 5.2 : Les éléments métalliques constituant la structure

Les éléments	Profilés	
Poteaux	HEA 320	
Poutre de roulement	HEB 200	
Support de roulement	HEB 160	
Poutre au vent	L30 .30. 4	
palée de stabilité	L35 .35. 4	
Panne	IPE140	
Potelet	IPE200	
Les lisses	UPN120	
Ferme	m.sup	2L40.40.4
	m.inf	2L .35.35.4
	Montant	2L25.25.3
	Diagonal	2L35.35.4

5.6. Analyse dynamique de la structure

l'étude dynamique d'une structure telle qu'elle se présente réellement est souvent très complexe pour . cette raison qu'on fait souvent appel à des modélisation qui permettent de simplifier suffisamment le problème pour pouvoir l'analyser .

la modélisation représente l'établissement d'un modèle à partir de la structure réelle . le logiciel choisi dans notre modélisation et ROBOT .

pour modéliser notre structure . nous allons suivre les étapes suivantes .

- opter pour un système d'unité (Kn et m)
- définition de la géométrie de base
- définition des matériaux
- définition de section

- affecter à chaque élément les sections déjà prédéfinis
- définition des données sismiques
- définition des combinaisons des charges
- définition des conditions aux limites
- lancer l'analyse

5.7. Exploitation des résultats

afin d'éviter la torsion dans le cas du pont roulant a l'extrémité de la structure, on doit bloquer (rigidifie)les portique de rive.

on propose d'ajouter un système de contreventement selon l'axe x

après la modélisation de la structure en possède à l'exploitation des résultats :

- La masse cumulée selon x et y atteindre 90 % c'est vérifié
(mode 48 : 24.81 Hz < 33 Hz)

	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masses Cumulées UZ [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]	Masse Modale UZ [%]
MAX	24,81	0,34	90,05	92,60	5,85	82,94	85,49	4,34
Cas	16	16	16	16	16	16	16	16
Mode	48	1	48	48	48	1	2	20
MIN	2,91	0,04	82,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cas	16	16	16	16	16	16	16	16
Mode	1	48	1	1	1	2	39	33

Figure5.1 : spectre de réponse

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masses Cumulées UZ [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]	Masse Modale UZ [%]	Tot.mas.UX [kg]
16/ 1	2,91	0,34	82,94	0,00	0,00	82,94	0,00	0,00	52103,51
16/ 2	3,40	0,29	82,94	85,49	0,00	0,00	85,49	0,00	52103,51

Figure5.2: spectre de réponse

- Le premier mode (mode de translation) : c'est vérifié
- Le 2^e mode (mode de translation) : c'est vérifié

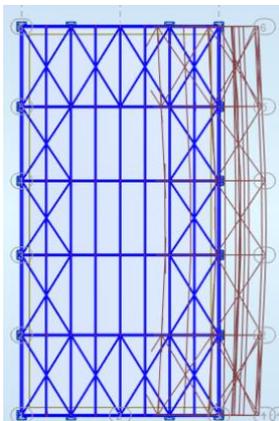


Figure 5.3 :.mode1

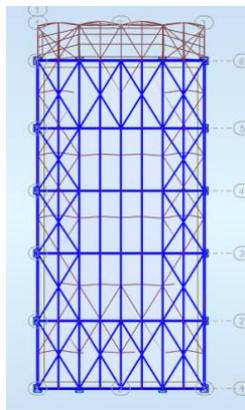


Figure 5.4 :mode2

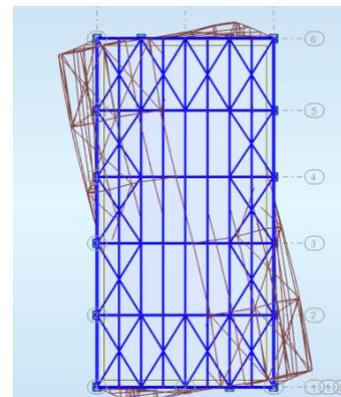


Figure 5.5 :mode3

- faire une comparaison entre la période fondamentale (T du mode 1) qui est déterminé par le logiciel et la période empirique du RPA 2003

la période empirique est donnée par la formule suivante :

$$T_{RPA} = C_t * h_n^{\frac{3}{4}} = 0.085 * 7.53^{\frac{3}{4}} = 0.386 \text{ s} \quad (T_{RPA} = 0.5018 \text{ s})$$

C_t : coefficient donné en fonction de système de contreventement et du type de remplissage ($C_t = 0.085$ portiques auto-stables en acier sans remplissage en maçonnerie).

h_n : hauteur mesurer en mètre à partir de la base de la structure ($h_n = 7.53 \text{ m}$)

$$T_{log} = 0.34 \text{ s} < 1.3 T_{RPA} = 0.5018 \text{ s} \quad \text{c'est vérifié}$$

- déterminer la valeur du facteur d'amplification dynamique D en fonction de T et T_2 (période caractéristique du sol en fonction de la catégorie du site)

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0\text{s} \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{\frac{2}{3}}(3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0\text{s} \end{cases}$$

$$D = 2.5\eta = 2.5 * 1 = 2.5 \quad (0 \leq T = 0.5018\text{s} \leq T_2 = 0.7 \text{ s})$$

- comparer entre les deux valeurs de l'effort tranchant à la base : $V_t \geq 0.8V$ La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

$$V = \frac{A.D.Q}{R} W \quad (W = 52103.51 \text{ kg})$$

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
43/ 28 (C) (C	4,54	0,14	28,17	0,03	12,72	-0,00
44/ 28 (C) (C	3,09	0,01	12,22	0,00	0,00	0,00
46/ 28 (C) (C	2,96	0,14	28,18	0,03	12,66	0,00
48/ 28 (C) (C	3,19	0,01	12,22	0,00	0,00	0,00
59/ 28 (C) (C	3,70	-0,02	20,99	0,03	16,27	-0,00
70/ 28 (C) (C	2,45	-0,02	21,00	0,03	13,53	0,00
79/ 28 (C) (C	4,09	0,00	20,92	0,02	17,76	0,00
90/ 28 (C) (C	2,70	0,00	20,91	0,02	14,69	0,00
99/ 28 (C) (C	4,03	0,01	20,39	0,02	17,57	0,00
110/ 28 (C) (C	2,67	0,01	20,40	0,02	14,57	0,00
119/ 28 (C) (C	3,64	0,10	20,36	0,01	16,08	0,00
130/ 28 (C) (C	2,43	0,10	20,36	0,01	13,41	-0,00
141/ 28 (C) (C	4,56	-0,04	28,17	0,01	12,67	0,00
143/ 28 (C) (C	3,05	0,02	14,97	-0,00	0,00	0,00
153/ 28 (C) (C	3,07	-0,03	28,17	0,01	12,72	-0,00
164/ 28 (C) (C	3,15	0,02	14,97	0,00	0,00	0,00
Cas 28 (C) (CQC)	0.8G+Ex					
Somme totale	53,33	0,46	332,41	0,26	174,66	0,00
Somme réactions	53,18	0,01	246,14	2444,76	-858,34	516,87
Somme efforts	53,18	0,01	-245,62	-2443,72	1541,69	516,87
Vérification	106,37	0,02	0,52	1,04	683,34	1033,74
Précision	1,55247e-01	3,46693e+00				

Figure5.6: Résultante des forces sismiques à la base Ex

Noeud/Cas	FX [kN]	FY [kN]	FZ [kN]	MX [kNm]	MY [kNm]	MZ [kNm]
43/ 29 (C) (C	0,84	7,01	36,64	4,16	0,07	0,02
44/ 29 (C) (C	0,02	0,13	3,64	0,00	0,00	0,00
46/ 29 (C) (C	-0,75	7,00	36,64	4,15	-0,01	0,02
48/ 29 (C) (C	0,11	0,13	3,62	0,00	0,00	0,00
59/ 29 (C) (C	0,64	6,81	40,04	4,16	1,41	0,02
70/ 29 (C) (C	-0,61	6,80	40,00	4,15	-1,32	0,02
79/ 29 (C) (C	0,70	1,07	20,09	4,16	1,55	0,02
90/ 29 (C) (C	-0,69	1,07	20,09	4,15	-1,52	0,02
99/ 29 (C) (C	0,68	1,08	19,53	4,15	1,52	0,02
110/ 29 (C) (C	-0,67	1,07	19,53	4,14	-1,48	0,02
119/ 29 (C) (C	0,62	6,95	39,41	4,15	1,36	0,02
130/ 29 (C) (C	-0,58	6,93	39,36	4,13	-1,27	0,02
141/ 29 (C) (C	0,77	6,80	36,64	4,14	0,02	0,02
143/ 29 (C) (C	0,02	0,29	6,50	0,00	0,00	0,00
153/ 29 (C) (C	-0,73	6,79	36,62	4,13	0,06	0,02
164/ 29 (C) (C	0,11	0,29	6,47	0,00	0,00	0,00
Cas 29 (C) (CQC)	0.8G+Ey					
Somme totale	0,47	60,21	404,82	49,78	0,38	0,24
Somme réactions	0,01	59,94	245,91	2827,09	-1199,87	291,63
Somme efforts	0,01	59,94	-245,85	-2061,42	1200,15	291,64
Vérification	0,02	119,88	0,06	765,67	0,27	583,27
Précision	1,55247e-01	3,46693e+00				

Figure5.7: Résultante des forces sismiques à la base Ey

Tableau5.3: Résultante des forces sismiques à la base

	V _t (KN)	V(KN)	80 %V(KN)	V _t > 80%V
V _X	53.33	58.61	46.89	c'est vérifié
V _Y	60.21	61.05	48.84	c'est vérifié

➤ vérification des déplacements dans les deux directions :

$$\delta_k < 0.1 h_c$$

telle que :

$$\delta_k = R \delta_{ek} \quad , h_c = 7.53 \text{ m}$$

	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
MAX	1,7	0,0	0,4	0,001	0,004	0,000
Noeud	91	163	12	26	30	120
Cas	17	17	17	17	17	17
Mode	1	CQC	CQC	CQC	CQC	CQC
MIN	-0,0	-0,0	-0,4	-0,000	-0,004	-0,000
Noeud	91	144	12	49	30	60
Cas	17	17	17	17	17	17
Mode	7	1	1	1	1	1

Figure5.8: Déplacement par rapport Ex

	UX [cm]	UY [cm]	UZ [cm]	RX [Rad]	RY [Rad]	RZ [Rad]
MAX	0,0	1,4	0,0	0,003	0,000	0,005
Noeud	718	161	3	143	64	668
Cas	18	18	18	18	18	18
Mode	2	CQC	CQC	CQC	CQC	CQC
MIN	-0,0	-0,1	-0,0	-0,003	-0,000	-0,004
Noeud	47	68	154	143	64	670
Cas	18	18	18	18	18	18
Mode	2	25	2	2	2	2

Figure5.9: Déplacement par rapport Ey

Tableau5.4: Vérification du déplacement

	δ_{ek} (cm)	R	δ_k (cm)	0,01H (cm)	condition
Selon x	1.7	4	6.8	7.53	c'est vérifié
Selon y	1.4	4	5.6	7.53	c'est vérifié

Conclusion :

Toutes les conditions sont vérifiées , on peut dire que la structure est parasismique selon RPA

CHAPITRE 6 : Vérification des éléments

6.1. introduction

Le calcul de la structure a pour but de vérifier tous les éléments aux sollicitations afin d'assurer la stabilité globale de l'ossature.

La vérification de l'ossature nécessite au préalable l'évaluation de toutes les charges (permanentes, d'exploitations, séismiques et climatiques) qui lui seraient appliquées. Le calcul se fait sous les combinaisons d'actions les plus défavorables auxquelles ils pourraient être soumis durant toute leur période d'exploitation de l'ouvrage.

Les sollicitations obtenues servent à la vérification des éléments (poteaux, poutres, etc.), elles servent également au calcul des assemblages, ainsi qu'à celui de l'infrastructure.

6.2. Calcul et dimensionnement avec logiciel robot :

le logiciel choisi pour notre PFE c'est le logiciel Robot .

Robot permet la création de modèles 3D détaillés de structures complexes, y compris des bâtiments, des ponts, des tours, etc. il offre une large gamme d'éléments structuraux, de matériaux et de charges, permettant de représenter fidèlement la réalité.

Robot effectue des analyses de résistance, de rigidité et de stabilité, garantissant que la structure répond aux normes de sécurité et de performance. Le logiciel propose également un dimensionnement automatique des éléments, simplifiant le processus de conception.

Les étapes de la modélisation des structures sous Robot :

1. Opter la préférence de l'affaire pour un système d'unité (KN/m)
2. Définition de la géométrie de base
3. Définition des matériaux et des sections
4. Définition des éléments
5. Définition des charges a appliqué
6. Définition du type d'analyse (les directions et les force sismiques)
7. Définition des combinaisons de charge
8. Lancer l'analyse et le calcul
9. Vérifier les paramétrages de chaque élément (pièces ou familles)
10. Vérifications des éléments
11. Imprimer la note de calcul

6.3. Combinaison de charge

➤ **REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 / VERSION 2003 :**

Les combinaisons d’actions à considérer pour la détermination des sollicitations et des déformations de calcul sont :

- $G + Q \pm E$
- $0.8 G \pm E$

Pour Les poteaux dans les ossatures auto stables :

- $G + Q \pm 1.25 E$

G : charges permanentes

Q : charges d’exploitation non pondérées

E : action du séisme représentée par ses composantes horizontales

- $G + Q \pm 1.5 E$ (assemblage)

➤ **REGLES DE CONCEPTION ET DE CALCUL DES SRTUCTURES EN ACIER "CCM97"**

ELU :

Pour les structures de bâtiments l'expression symbolique donnée ci-dessus pe être remplacée par la plus contraignante des 2 formules suivantes ;

avec prise en compte uniquement de l'action variable la plus défavorabl

$$\Sigma_j \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + 1.5 Q_{k,max} \dots\dots\dots(2.4)$$

avec prise en compte de toutes les actions variables défavorables

$$\Sigma_j \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + 1.35 \Sigma_{i>1} \cdot Q_{ki} \dots\dots\dots(2.5)$$

ELS :

(4) *Pour les structures de bâtiment la combinaison rare et la combinaison fréquente peuvent être remplacées par la plus contraignante des 2 expressions suivantes*

avec prise en compte uniquement de l'action variable la plus défavorable

$$\Sigma_j G_{kj} + Q_{k,max} \dots\dots\dots(2.11)$$

avec prise en compte de toutes les actions variables défavorables

$$\Sigma_j G_{kj} + 0.9 \Sigma_{i>1} Q_{ki} \dots\dots\dots(2.12)$$

Les éléments métalliques constituant la structure

Tableau .6.1:Les éléments métalliques constituant la structure

Les éléments	Profilés	
Poteaux	HEA 320	
Poutre de roulement	HEB 200	
Support de roulement	HEB160	
Poutre au vent	L30 .30. 4	
palée de stabilité	L35 .35. 4	
Panne	IPE140	
Potelet	IPE200	
Les lisses	UPN120	
Ferme	m.sup	2L40.40.4
	m.inf	2L35.35.4
	Mantant	2L25.25.3
	Diagonal	2L35.35.4

6 .4. Vérification des éléments

A) Poteaux

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 1 poteaux

PIECE: 77
m

POINT: 3

COORDONNEE: $x = 0.74 L = 5.10$

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 69 ELU /19/ 1*1.35 + 12/19*1.50

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235000.00$ kPa



PARAMETRES DE LA SECTION: HEA 320

h=31.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=30.0 cm	Ay=104.12 cm ²	Az=41.13 cm ²	Ax=124.37 cm ²
tw=0.9 cm	Iy=22928.60 cm ⁴	Iz=6985.24 cm ⁴	Ix=102.00 cm ⁴
tf=1.6 cm	Wply=1628.23 cm ³	Wplz=709.75 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N_{Ed} = 56.10 kN M_{y,Ed} = -31.01 kN*m M_{z,Ed} = 1.31 kN*m V_{y,Ed} = -0.71 kN

Nc,Rd = 2922.65 kN	My,Ed,max = -31.01 kN*m	Mz,Ed,max = 1.31 kN*m
Nb,Rd = 1597.48 kN	Tau,y,max,Ed = -109.91 kPa	Vz,Ed = -11.52 kN
	My,c,Rd = 382.63 kN*m	MN,y,Rd = 382.63 kN*m
	Mz,c,Rd = 166.79 kN*m	MN,z,Rd = 166.79 kN*m
	Mb,Rd = 381.11 kN*m	Tau,z,max,Ed = -4507.74 kPa
		Tt,Ed = -0.12 kN*m
		Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

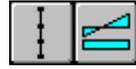
z = 0.00	Mcr = 1178.00 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.89
Lcr,low=6.90 m	Lam_LT = 0.57	fi,LT = 0.71	XLT,mod = 1.00

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 6.90 m	Lam_y = 1.08
Lcr,y = 13.79 m	Xy = 0.55
Lamy = 101.53	kyy = 0.93



en z:

Lz = 6.90 m	Lam_z = 0.21
Lcr,z = 1.50 m	Xz = 0.99
Lamz = 20.01	kyz = 0.54

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{Ed}/N_{c,Rd} = 0.02 < 1.00$ (6.2.4.(1))
 $(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.01 < 1.00$ (6.2.9.1.(6))
 $(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.01 < 1.00$ (6.2.6-7)
 $(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} * gM0)) = 0.04 < 1.00$ (6.2.6-7)

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$\lambda_{y} = 101.53 < \lambda_{max} = 210.00$ $\lambda_{z} = 20.01 < \lambda_{max} = 210.00$ STABLE

$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.08 < 1.00$ (6.3.2.1.(1))

$N_{Ed} / (X_y * N_{Rk} / gM1) + k_{yy} * M_{y,Ed,max} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.11 < 1.00$ (6.3.3.(4))

$N_{Ed} / (X_z * N_{Rk} / gM1) + k_{zy} * M_{y,Ed,max} / (XLT * M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.09 < 1.00$ (6.3.3.(4))

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL): Non analysé



Déplacements (REPERE GLOBAL):

$v_x = 0.1 \text{ cm} < v_x \text{ max} = L/150.00 = 4.6 \text{ cm}$ Vérifié

Cas de charge décisif: 74 ULS /34/ 1*1.00 + 12/34*1.00

$v_y = 0.1 \text{ cm} < v_y \text{ max} = L/150.00 = 4.6 \text{ cm}$ Vérifié

Cas de charge décisif: 80 ELS (1+6)*1.00

Profil correct !!!

B) potelet.

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 2 potelet

PIECE: 134 Potelet_134

POINT: 1

COORDONNEE: x = 0.47 L = 3.00

m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 78 ELU 1*1.35+6*1.50

MATERIAU:ACIER $f_y = 235000.00$ kPa**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE200**

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=10.0 cm	Ay=19.58 cm ²	Az=14.00 cm ²	Ax=28.48 cm ²
tw=0.6 cm	Iy=1943.17 cm ⁴	Iz=142.37 cm ⁴	Ix=6.46 cm ⁴
tf=0.9 cm	Wply=220.66 cm ³	Wplz=44.61 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 2.43 kN	My,Ed = 22.00 kN*m	Mz,Ed = 0.00 kN*m	Vy,Ed = 0.00 kN
Nc,Rd = 669.38 kN	My,Ed,max = 22.00 kN*m	Mz,Ed,max = 0.00 kN*m	Tau,y,max,Ed = 2.86 kPa
Nb,Rd = 519.10 kN	My,c,Rd = 51.85 kN*m	Mz,c,Rd = 10.48 kN*m	Vz,Ed = -1.46 kN
	MN,y,Rd = 51.85 kN*m	MN,z,Rd = 10.48 kN*m	Tau,z,max,Ed = -1475.88 kPa
			Classe de la section = 1

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:****PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:

Ly = 6.45 m	Lam_y = 0.83
Lcr,y = 6.45 m	Xy = 0.78
Lamy = 78.09	kyy = 0.90



en z:

Lz = 6.45 m	Lam_z = 0.71
Lcr,z = 1.50 m	Xz = 0.78
Lamz = 67.09	kyz = 0.54

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

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.18 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$Tau,y,max,Ed/(f_y/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(4))$$

$$Tau,z,max,Ed/(f_y/(\sqrt{3}) * gM0) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6.(4))$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$Lambda,y = 78.09 < Lambda,max = 210.00 \quad Lambda,z = 67.09 < Lambda,max = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N,Ed/(Xy * N,Rk/gM1) + kyy * My,Ed,max/(XLT * My,Rk/gM1) + kyz * Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.39 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N,Ed/(Xz * N,Rk/gM1) + kzy * My,Ed,max/(XLT * My,Rk/gM1) + kzz * Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.23 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

DEPLACEMENTS LIMITES**Flèches (REPERE LOCAL):**

uz = 1.5 cm < uz max = L/200.00 = 3.2 cm Vérifié

Cas de charge décisif: 80 ELS (1+6)*1.00**Déplacements (REPERE GLOBAL):** Non analysé**Profil correct !!!****C) poutre au vent****CALCUL DES STRUCTURES ACIER****NORME:** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des familles

FAMILLE: 3 poutre au vent

PIECE: 15
m

POINT: 1

COORDONNEE: $x = 0.00$ $L = 0.00$ **CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 69 ELU /12/ 1*1.35 + 12/12*1.50

MATERIAU:ACIER $f_y = 235000.00$ kPa**PARAMETRES DE LA SECTION: CAE 30x4**

h=3.0 cm

gM0=1.00

gM1=1.00

b=3.0 cm

Ay=1.20 cm²Az=1.20 cm²Ax=2.27 cm²

tw=0.4 cm

Iy=1.80 cm⁴Iz=1.80 cm⁴Ix=0.12 cm⁴

tf=0.4 cm

Wely=0.85 cm³Welz=0.85 cm³**EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:**

N,Ed = 2.63 kN

Nc,Rd = 53.27 kN

Nb,Rd = 53.27 kN

Classe de la section = 3

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:****PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

N,Ed/Nc,Rd = 0.05 < 1.00 (6.2.4.(1))

Profil correct !!!**D)palée de stabilité****CALCUL DES STRUCTURES ACIER**NORME: [NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009](#), Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 4 palée de stabilité

PIECE: 51 CV_51
m

POINT: 3

COORDONNEE: $x = 1.00$ $L = 6.90$ **CHARGEMENTS:**

Cas de charge décisif: 69 ELU /1/ 1*1.35 + 12/1*1.50

MATERIAU:ACIER $f_y = 235000.00$ kPa**PARAMETRES DE LA SECTION: CAE 35x4**

h=3.5 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=3.5 cm	Ay=1.40 cm ²	Az=1.40 cm ²	Ax=2.67 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=2.95 cm ⁴	Iz=2.95 cm ⁴	Ix=0.14 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wely=1.18 cm ³	Welz=1.18 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 4.01 kN
 Nc,Rd = 62.67 kN
 Nb,Rd = 62.67 kN

Classe de la section = 3

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:****PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:



en z:

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

N,Ed/Nc,Rd = 0.06 < 1.00 (6.2.4.(1))

Profil correct !!!**E) les pannes****CALCUL DES STRUCTURES ACIER****NORME:** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des familles**FAMILLE:** 5 Les pannes**PIECE:** 205**POINT:** 4**COORDONNEE:** x = 0.50 L = 2.00

m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 78 ELU 1*1.35+6*1.50

MATERIAU:

ACIER fy = 235000.00 kPa

**PARAMETRES DE LA SECTION: IPE140**

h=14.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=7.3 cm	Ay=11.15 cm ²	Az=7.64 cm ²	Ax=16.43 cm ²
tw=0.5 cm	Iy=541.22 cm ⁴	Iz=44.92 cm ⁴	Ix=2.54 cm ⁴
tf=0.7 cm	Wply=88.35 cm ³	Wplz=19.25 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 7.22 kN	My,Ed = 0.34 kN*m	Mz,Ed = -0.03 kN*m
Nc,Rd = 386.01 kN	My,Ed,max = 0.34 kN*m	Mz,Ed,max = -0.03 kN*m
Nb,Rd = 386.01 kN	My,c,Rd = 20.76 kN*m	Mz,c,Rd = 4.52 kN*m

$$MN_{y,Rd} = 20.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Mb_{Rd} = 10.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$MN_{z,Rd} = 4.52 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$Tt_{Ed} = 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Classe de la section = 1

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:**

$$z = 0.00$$

$$M_{cr} = 13.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Courbe,LT -

$$XLT = 0.49$$

$$L_{cr,upp} = 4.00 \text{ m}$$

$$\lambda_{m,LT} = 1.26$$

$$f_{i,LT} = 1.41$$

$$XLT_{mod} = 0.50$$

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:

en y:

$$k_{yy} = 1.00$$



en z:

$$k_{zz} = 1.00$$

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

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

$$(M_{y,Ed}/M_{N,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/M_{N,z,Rd})^{1.00} = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$\tau_{ty,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}\cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

$$\tau_{tz,Ed}/(f_y/(\sqrt{3}\cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6)$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.03 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{Ed}/(X_y \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.06 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_z \cdot N_{Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.06 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

DEPLACEMENTS LIMITES*Flèches (REPERE LOCAL):*

$$u_z = 0.0 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 2.0 \text{ cm} \quad \text{Vérfifié}$$

Cas de charge décisif: 79 ELS (1+5)*1.00*Déplacements (REPERE GLOBAL):* Non analysé**Profil correct !!!****F) poutre de roulement****CALCUL DES STRUCTURES ACIER****NORME:** NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.**TYPE D'ANALYSE:** Vérification des familles**FAMILLE:** 6 poutre de R**PIECE:** 341 Poutre_341**POINT:** 2**COORDONNEE:** x = 0.50 L = 2.00

m

CHARGEMENTS:*Cas de charge décisif:* 69 ELU /31/ 1*1.35 + 12/31*1.50**MATERIAU:**ACIER $f_y = 235000.00 \text{ kPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION: HEB 200

h=20.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=20.0 cm	Ay=66.02 cm ²	Az=24.83 cm ²	Ax=78.08 cm ²
tw=0.9 cm	Iy=5696.18 cm ⁴	Iz=2003.37 cm ⁴	Ix=61.40 cm ⁴
tf=1.5 cm	Wply=642.58 cm ³	Wplz=305.82 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 7.68 kN	My,Ed = 40.64 kN*m	Mz,Ed = -17.34 kN*m	Vy,Ed = 8.67 kN
Nc,Rd = 1834.91 kN	My,Ed,max = 45.57 kN*m	Mz,Ed,max = -19.55 kN*m	Tau,y,max,Ed = 2054.31 kPa
Nb,Rd = 1834.91 kN	My,c,Rd = 151.01 kN*m	Mz,c,Rd = 71.87 kN*m	Vz,Ed = 19.51 kN
	MN,y,Rd = 151.01 kN*m	MN,z,Rd = 71.87 kN*m	Tau,z,max,Ed = 12151.07 kPa
	Mb,Rd = 133.39 kN*m		Tt,Ed = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

z = 1.00	Mcr = 371.48 kN*m	Courbe,LT -	XLT = 0.86
Lcr,upp=4.00 m	Lam_LT = 0.64	fi,LT = 0.76	XLT,mod = 0.88

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$$k_{yy} = 0.90$$



en z:

$$k_{yz} = 0.54$$

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$N,Ed/Nc,Rd = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$$

$$(My,Ed/MN,y,Rd)^{2.00} + (Mz,Ed/MN,z,Rd)^{1.00} = 0.31 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

$$(Tau,y,max,Ed + Tau,ty,Ed)/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.02 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(Tau,z,max,Ed + Tau,tz,Ed)/(fy/(sqrt(3)*gM0)) = 0.09 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$My,Ed,max/Mb,Rd = 0.34 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N,Ed/(Xy*N,Rk/gM1) + k_{yy}*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + k_{yz}*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.46 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N,Ed/(Xz*N,Rk/gM1) + k_{zy}*My,Ed,max/(XLT*My,Rk/gM1) + k_{zz}*Mz,Ed,max/(Mz,Rk/gM1) = 0.45 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL):

uy = 0.4 cm < uy max = L/200.00 = 2.0 cm Vérifié

Cas de charge décisif: 74 ULS /30/ 1*1.00 + 12/30*1.00

uz = 0.4 cm < uz max = L/200.00 = 2.0 cm Vérifié

Cas de charge décisif: 74 ULS /30/ 1*1.00 + 12/30*1.00



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

Profil correct !!!

G) membrure supérieur

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 7 membrure supérieur

PIECE: 657 m sup_657
m

POINT: 3

COORDONNEE: $x = 1.00$ $L = 1.23$

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 78 ELU $1*1.35+6*1.50$

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235000.00$ kPa



PARAMETRES DE LA SECTION: 2 CAE 40x4

h=4.0 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=9.0 cm	Ay=3.20 cm ²	Az=2.88 cm ²	Ax=6.16 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=8.94 cm ⁴	Iz=25.10 cm ⁴	Ix=0.32 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wely=3.10 cm ³	Welz=5.58 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 1.04 kN	My,Ed = -0.03 kN*m	Mz,Ed = -0.04 kN*m	Vy,Ed = 0.03 kN
Nc,Rd = 144.70 kN	My,Ed,max = -0.03 kN*m	Mz,Ed,max = -0.04 kN*m	Tau,y,max,Ed = 109.78 kPa
Nb,Rd = 88.75 kN	My,c,Rd = 0.73 kN*m	Mz,c,Rd = 1.31 kN*m	Vz,Ed = -0.03 kN
			Tau,z,max,Ed = -93.18 kPa
			Classe de la section = 3



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

Ly = 1.23 m	Lam_y = 0.97
Lcr,y = 1.10 m	Xy = 0.61
Lamy = 91.51	kyy = 0.91



en z:

Lz = 1.23 m	Lam_z = 0.65
Lcr,z = 1.23 m	Xz = 0.81
Lamz = 60.68	kyz = 0.90

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$N,Ed/Nc,Rd + My,Ed/My,c,Rd + Mz,Ed/Mz,c,Rd = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig},x,Ed^2 + 3*\text{Tau},y,\text{max},Ed^2)/(f_y/gM0)} = 0.08 < 1.00 \quad (6.2.1(5))$$

$$\text{Tau},y,\text{max},Ed/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6(4))$$

$$\text{Tau},z,\text{max},Ed/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6(4))$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$\text{Lambda},y = 91.51 < \text{Lambda},\text{max} = 210.00 \quad \text{Lambda},z = 60.68 < \text{Lambda},\text{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N,Ed/(X_{\text{min}}*N,Rk/gM1) + k_{yy}*My,Ed,\text{max}/(XLT*My,Rk/gM1) + k_{yz}*Mz,Ed,\text{max}/(Mz,Rk/gM1) = 0.05 < 1.00 \quad (6.3.3(4))$$

$$N,Ed/(X_{\text{min}}*N,Rk/gM1) + k_{zy}*My,Ed,\text{max}/(XLT*My,Rk/gM1) + k_{zz}*Mz,Ed,\text{max}/(Mz,Rk/gM1) = 0.05 < 1.00 \quad (6.3.3(4))$$

Profil correct !!!

H) membrure inférieur**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 8 membrure inférieur

PIECE: 663 m inf_663
m

POINT: 3

COORDONNEE: x = 1.00 L = 1.22

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 69 ELU /13/ 1*1.35 + 12/13*1.50

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235000.00$ kPa

**PARAMETRES DE LA SECTION: 2 CAE 35x4**

h=3.5 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=8.0 cm	Ay=2.80 cm ²	Az=2.52 cm ²	Ax=5.33 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=5.90 cm ⁴	Iz=17.90 cm ⁴	Ix=0.28 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wely=2.36 cm ³	Welz=4.48 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N _{Ed} = 2.75 kN	My _{Ed} = -0.04 kN*m	Mz _{Ed} = 0.07 kN*m	Vy _{Ed} = -0.07 kN
N _{c,Rd} = 125.34 kN	My _{Ed,max} = -0.04 kN*m	Mz _{Ed,max} = 0.07 kN*m	Tau _{y,max,Ed} = -270.51 kPa
N _{b,Rd} = 66.22 kN	My _{c,Rd} = 0.55 kN*m	Mz _{c,Rd} = 1.05 kN*m	Vz _{Ed} = -0.04 kN
			Tau _{z,max,Ed} = -143.97 kPa
			Tt _{Ed} = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 3

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:****PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:

Ly = 1.22 m	Lam _y = 1.11
Lcr,y = 1.10 m	Xy = 0.53
Lamy = 104.40	kyy = 0.92



en z:

Lz = 1.22 m	Lam _z = 0.71
Lcr,z = 1.22 m	Xz = 0.78
Lamz = 66.59	kyz = 0.91

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

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.11 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig}_{x,Ed}^2 + 3 \cdot \text{Tau}_{y,max,Ed}^2)} / (f_y/gM0) = 0.15 < 1.00 \quad (6.2.1(5))$$

$$\text{Tau}_{y,max,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6(4))$$

$$\text{Tau}_{z,max,Ed} / (f_y / (\sqrt{3} \cdot gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6(4))$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$\text{Lambda}_{y} = 104.40 < \text{Lambda}_{max} = 210.00 \quad \text{Lambda}_{z} = 66.59 < \text{Lambda}_{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed} / (X_{min} \cdot N_{Rk} / gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max} / (X_{LT} \cdot M_{y,Rk} / gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.13 < 1.00 \quad (6.3.3(4))$$

$$N_{Ed} / (X_{min} \cdot N_{Rk} / gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max} / (X_{LT} \cdot M_{y,Rk} / gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max} / (M_{z,Rk} / gM1) = 0.12 < 1.00 \quad (6.3.3(4))$$

Profil correct !!!

I) mantant

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 9 mantant

PIECE: 388 mantant_388
m

POINT: 2

COORDONNEE: $x = 0.50 L = 0.28$

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 78 ELU 1*1.35+6*1.50

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235000.00$ kPa



PARAMETRES DE LA SECTION: 2 CAE 25x3

$h=2.5$ cm	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=6.0$ cm	$A_y=1.50$ cm ²	$A_z=1.35$ cm ²	$A_x=2.85$ cm ²
$tw=0.3$ cm	$I_y=1.60$ cm ⁴	$I_z=5.85$ cm ⁴	$I_x=0.08$ cm ⁴
$tf=0.3$ cm	$W_{ely}=0.90$ cm ³	$W_{elz}=1.95$ cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{,Ed} = 0.47$ kN	$M_{z,Ed} = 0.02$ kN*m
$N_{c,Rd} = 67.08$ kN	$M_{z,Ed,max} = 0.02$ kN*m
$N_{b,Rd} = 54.77$ kN	$M_{z,c,Rd} = 0.46$ kN*m
	$T_{t,Ed} = -0.00$ kN*m
	Classe de la section = 3



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$L_y = 0.56$ m	$Lam_y = 0.64$
$L_{cr,y} = 0.45$ m	$X_y = 0.82$
$L_{amy} = 60.10$	$k_{yz} = 0.90$



en z:

$L_z = 0.56$ m	$Lam_z = 0.42$
$L_{cr,z} = 0.56$ m	$X_z = 0.92$
$L_{amz} = 39.30$	$k_{zz} = 0.90$

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$$M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.5.(1))$$

$$N_{,Ed}/N_{c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.05 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$Lambda_{,y} = 60.10 < Lambda_{,max} = 210.00 \quad Lambda_{,z} = 39.30 < Lambda_{,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{,Ed}/(X_{min} * N_{,Rk}/gM1) + k_{yz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.04 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed}/(X_{min} * N_{,Rk}/gM1) + k_{zz} * M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.04 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Profil correct !!!

J)diagonal**CALCUL DES STRUCTURES ACIER**

NORME: *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 10 diagonal

PIECE: 403 diagonal_403
m

POINT: 2

COORDONNEE: $x = 0.25 L = 0.65$ m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 78 ELU $1*1.35+6*1.50$

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235000.00$ kPa

**PARAMETRES DE LA SECTION: 2 CAE 35x4**

h=3.5 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=8.0 cm	Ay=2.80 cm ²	Az=2.52 cm ²	Ax=5.33 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=5.90 cm ⁴	Iz=17.90 cm ⁴	Ix=0.28 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wely=2.36 cm ³	Welz=4.48 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 2.58 kN	My,Ed = 0.01 kN*m	Mz,Ed = -0.32 kN*m	Vy,Ed = 0.40 kN
Nc,Rd = 125.34 kN	My,Ed,max = -0.01 kN*m	Mz,Ed,max = -0.51 kN*m	Tau,y,max,Ed = 1575.50 kPa
Nb,Rd = 23.93 kN	My,c,Rd = 0.55 kN*m	Mz,c,Rd = 1.05 kN*m	Vz,Ed = -0.01 kN
			Tau,z,max,Ed = -29.23 kPa
			Tt,Ed = -0.00 kN*m
			Classe de la section = 3

**PARAMETRES DE DEVERSEMENT:****PARAMETRES DE FLAMBEMENT:**

en y:

Ly = 2.60 m	Lam_y = 2.11
Lcr,y = 2.08 m	Xy = 0.19
Lamy = 197.82	kyy = 1.02



en z:

Lz = 2.60 m	Lam_z = 1.51
Lcr,z = 2.60 m	Xz = 0.34
Lamz = 141.96	kyz = 0.95

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

$$N,Ed/Nc,Rd + My,Ed/My,c,Rd + Mz,Ed/Mz,c,Rd = 0.32 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\text{Sig},x,Ed^2 + 3*\text{Tau},z,\text{max},Ed^2)/(f_y/gM0)} = 0.34 < 1.00 \quad (6.2.1.(5))$$

$$\text{Tau},y,\text{max},Ed/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6.(4))$$

$$\text{Tau},z,\text{max},Ed/(f_y/(\sqrt{3}*gM0)) = 0.00 < 1.00 \quad (6.2.6.(4))$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$\text{Lambda},y = 197.82 < \text{Lambda},\text{max} = 210.00 \quad \text{Lambda},z = 141.96 < \text{Lambda},\text{max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N,Ed/(X_{\text{min}}*N,Rk/gM1) + k_{yy}*My,Ed,\text{max}/(XLT*My,Rk/gM1) + k_{yz}*Mz,Ed,\text{max}/(Mz,Rk/gM1) = 0.58 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N,Ed/(X_{\text{min}}*N,Rk/gM1) + k_{zy}*My,Ed,\text{max}/(XLT*My,Rk/gM1) + k_{zz}*Mz,Ed,\text{max}/(Mz,Rk/gM1) = 0.58 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

Profil correct !!!

K) support de roulement

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 11 support de R

PIECE: 321
m

POINT: 1

COORDONNEE: $x = 0.00$ $L = 0.00$

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 69 ELU /19/ $1 \cdot 1.35 + 12/19 \cdot 1.50$

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235000.00$ kPa



PARAMETRES DE LA SECTION: HEB160

$h = 16.0$ cm	$gM0 = 1.00$	$gM1 = 1.00$	
$b = 16.0$ cm	$A_y = 45.93$ cm ²	$A_z = 17.59$ cm ²	$A_x = 54.25$ cm ²
$tw = 0.8$ cm	$I_y = 2492.00$ cm ⁴	$I_z = 889.23$ cm ⁴	$I_x = 32.20$ cm ⁴
$tf = 1.3$ cm	$W_{ply} = 353.98$ cm ³	$W_{plz} = 169.97$ cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{,Ed} = 20.40$ kN	$M_{y,Ed} = -13.70$ kN*m	$M_{z,Ed} = -0.43$ kN*m	$V_{y,Ed} = -1.55$ kN
$N_{c,Rd} = 1274.91$ kN	$M_{y,Ed,max} = -13.70$ kN*m		$M_{z,Ed,max} = -0.43$ kN*m
	$V_{y,c,Rd} = 623.18$ kN		
$N_{b,Rd} = 1274.91$ kN	$M_{y,c,Rd} = 83.19$ kN*m	$M_{z,c,Rd} = 39.94$ kN*m	$V_{z,Ed} = 49.06$ kN
	$MN_{,y,Rd} = 83.19$ kN*m	$MN_{,z,Rd} = 39.94$ kN*m	$V_{z,c,Rd} = 238.68$ kN
	$M_{b,Rd} = 83.19$ kN*m		

Classe de la section = 1



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

$z = 1.00$	$M_{cr} = 31038.54$ kN*m	Courbe, LT -	$XLT = 1.00$
$L_{cr,low} = 0.28$ m	$\lambda_{m,LT} = 0.05$	$f_{i,LT} = 0.45$	$XLT,mod = 1.00$

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$k_{yy} = 1.00$



en z:

$k_{zz} = 1.00$

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

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

$$(M_{y,Ed}/MN_{,y,Rd})^{2.00} + (M_{z,Ed}/MN_{,z,Rd})^{1.00} = 0.04 < 1.00 \quad (6.2.9.1.(6))$$

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

$$V_{z,Ed}/V_{z,c,Rd} = 0.21 < 1.00 \quad (6.2.6.(1))$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$M_{y,Ed,max}/M_{b,Rd} = 0.16 < 1.00 \quad (6.3.2.1.(1))$$

$$N_{,Ed}/(X_y \cdot N_{,Rk}/gM1) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.19 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{,Ed}/(X_z \cdot N_{,Rk}/gM1) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(XLT \cdot M_{y,Rk}/gM1) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/gM1) = 0.19 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches (REPERE LOCAL):

uy = 0.0 cm <uy max = L/200.00 = 0.1 cm Vérifié
 Cas de charge décisif: 74 ULS /26/ 1*1.00 + 12/26*1.00
 uz = 0.0 cm <uz max = L/200.00 = 0.1 cm Vérifié
 Cas de charge décisif: 74 ULS /19/ 1*1.00 + 12/19*1.00



Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé

Profil correct !!!

L) Les ciseaux

ROBOT propose L 35.35.4 comme des ciseaux

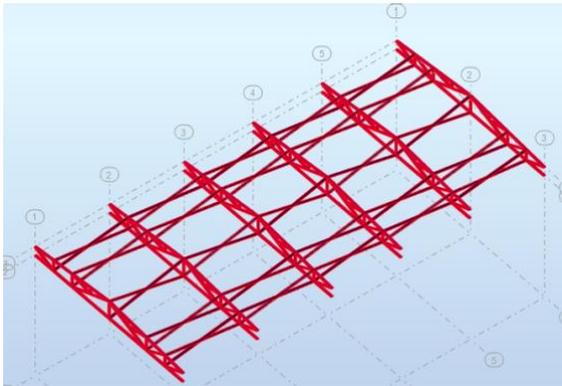


Figure 6.1 :Les ciseaux

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.

TYPE D'ANALYSE: Vérification des familles

FAMILLE: 12 les ciseaux

PIECE: 618 CV_618

POINT: 7

COORDONNEE: x = 1.00 L = 6.90

m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 69 ELU /34/ 1*1.35 + 12/34*1.50

MATERIAU:

ACIER fy = 235000.00 kPa



PARAMETRES DE LA SECTION: CAE 35x4

h=3.5 cm	gM0=1.00	gM1=1.00	
b=3.5 cm	Ay=1.40 cm ²	Az=1.40 cm ²	Ax=2.67 cm ²
tw=0.4 cm	Iy=2.95 cm ⁴	Iz=2.95 cm ⁴	Ix=0.14 cm ⁴
tf=0.4 cm	Wely=1.18 cm ³	Welz=1.18 cm ³	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

N,Ed = 6.16 kN

$N_{c,Rd} = 62.67 \text{ kN}$
 $N_{b,Rd} = 62.67 \text{ kN}$

Classe de la section = 3



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:



en z:

FORMULES DE VERIFICATION:

Contrôle de la résistance de la section:

$N_{,Ed}/N_{c,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.4.(1))$

Profil correct !!!

M) Les lisses

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME: *NF EN 1993-1:2005/NA:2007/AC:2009, Eurocode 3: Design of steel structures.*

TYPE D'ANALYSE: *Vérification des familles*

FAMILLE: 13 Les pannes

PIECE: 111

POINT: 2

COORDONNEE: $x = 0.50 L = 1.22$

m

CHARGEMENTS:

Cas de charge décisif: 78 ELU $1*1.35+6*1.50$

MATERIAU:

ACIER $f_y = 235000.00 \text{ kPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION: UPN120

$h=12.0 \text{ cm}$	$gM0=1.00$	$gM1=1.00$	
$b=5.5 \text{ cm}$	$A_y=11.00 \text{ cm}^2$	$A_z=8.42 \text{ cm}^2$	$A_x=16.88 \text{ cm}^2$
$tw=0.7 \text{ cm}$	$I_y=364.25 \text{ cm}^4$	$I_z=43.08 \text{ cm}^4$	$I_x=3.77 \text{ cm}^4$
$tf=0.9 \text{ cm}$	$W_{ely}=60.71 \text{ cm}^3$	$W_{elz}=11.06 \text{ cm}^3$	

EFFORTS INTERNES ET RESISTANCES ULTIMES:

$N_{,Ed} = 0.01 \text{ kN}$	$M_{y,Ed} = 0.48 \text{ kN*m}$	$M_{z,Ed} = -0.18 \text{ kN*m}$	$V_{y,Ed} = 0.04 \text{ kN}$
$N_{c,Rd} = 396.80 \text{ kN}$	$M_{y,Ed,max} = 0.48 \text{ kN*m}$	$M_{z,Ed,max} = -0.19 \text{ kN*m}$	$\tau_{y,max,Ed} = 75.53 \text{ kPa}$
$N_{b,Rd} = 109.84 \text{ kN}$	$M_{y,c,Rd} = 14.27 \text{ kN*m}$	$M_{z,c,Rd} = 2.60 \text{ kN*m}$	
			$T_{t,Ed} = 0.00 \text{ kN*m}$
			Classe de la section = 3



PARAMETRES DE DEVERSEMENT:

PARAMETRES DE FLAMBEMENT:



en y:

$L_y = 2.44 \text{ m}$	$\lambda_{m,y} = 0.56$
$L_{cr,y} = 2.44 \text{ m}$	$\chi_y = 0.81$
$\lambda_{my} = 52.53$	$\eta_y = 0.90$



en z:

$L_z = 2.44 \text{ m}$	$\lambda_{m,z} = 1.63$
$L_{cr,z} = 2.44 \text{ m}$	$\chi_z = 0.28$
$\lambda_{mz} = 152.76$	$\eta_z = 0.90$

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

$$N_{Ed}/N_{c,Rd} + M_{y,Ed}/M_{y,c,Rd} + M_{z,Ed}/M_{z,c,Rd} = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.1(7))$$

$$\sqrt{(\sigma_{x,Ed})^2 + 3 \cdot (\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed})^2} / (f_y/g_{M0}) = 0.10 < 1.00 \quad (6.2.1(5))$$

$$(\tau_{y,max,Ed} + \tau_{ty,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

$$(\tau_{z,max,Ed} + \tau_{tz,Ed}) / (f_y / (\sqrt{3} \cdot g_{M0})) = 0.01 < 1.00 \quad (6.2.6-7)$$

Contrôle de la stabilité globale de la barre:

$$\lambda_{y} = 52.53 < \lambda_{y,max} = 210.00 \quad \lambda_{z} = 152.76 < \lambda_{z,max} = 210.00 \quad \text{STABLE}$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{yy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{yz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.10 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

$$N_{Ed}/(X_{min} \cdot N_{Rk}/g_{M1}) + k_{zy} \cdot M_{y,Ed,max}/(X_{LT} \cdot M_{y,Rk}/g_{M1}) + k_{zz} \cdot M_{z,Ed,max}/(M_{z,Rk}/g_{M1}) = 0.09 < 1.00 \quad (6.3.3.(4))$$

DEPLACEMENTS LIMITES**Flèches (REPERE LOCAL):**

$$u_y = 1.6 \text{ cm} < u_{y,max} = L/200.00 = 2.4 \text{ cm} \quad \text{Vérfifié}$$

$$\text{Cas de charge décisif: } 80 \text{ ELS } (1+6) \cdot 1.00$$

$$u_z = 1.3 \text{ cm} < u_{z,max} = L/200.00 = 2.4 \text{ cm} \quad \text{Vérfifié}$$

$$\text{Cas de charge décisif: } 80 \text{ ELS } (1+6) \cdot 1.00$$

**Déplacements (REPERE GLOBAL): Non analysé**

Profil correct !!!

CHAPITRE 7 : Etudes des fondations

7.1. Introduction

Lorsque on aura un ouvrage qui s'appui sur le sol, il lui transmet donc un ensemble des charges. Ces charges doivent être accueillir et transmettre verticalement, horizontalement ou oblique par les fondations qui sont la partie enterré d'un ouvrage dans le sol pour but d'assurer la stabilité

La structure porteuse d'un ouvrage supporte différentes charges telles que :

- des charges verticales : le poids des éléments porteurs, le poids des éléments non porteurs ,le poids des meubles, le poids des personnes....., le poids de la neige.
- des charges horizontales (ou obliques) : la poussée des terres , la poussée de l'eau ou du vent.

7.2. Type des fondations

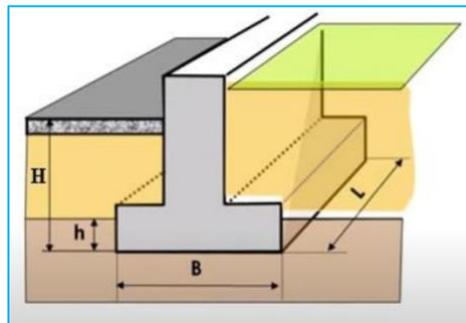


Figure7.1: Fondation

•**Fondations superficielles** :Les fondations sont dites superficielles si une des deux conditions suivantes est respectée : $H/B < 6$ m

Avec H : profondeur de la fondation et L : largeur de la fondation.

•**Fondations semi profondes** : Profondeur du bon sol $H/B > 10$ m

• **Fondations profondes** : Profondeur du bon sol $H < 20$ m

7.3. Les fondations superficielle

•**Semelle isolé** : pour charges ponctuelles (poteau) sur sol pourtant faiblement compressible

dans le cas d'une semelle excentré on aura le risque de renversement alors il faut liée cette semaine avec une autre semelle centrale à l'aide d'une redressement

•**Semelle filante** :qui sont les fondations des murs , surtout les murs en parpaings et les voiles . les semelles filantes servent à répartir les charges sur une plus grande surface afin que l'ouvrage ne s'enfonce pas dans le sol .

•**Radier** : le radier et une semelle générale étendue à toute la surface de bâtiment en contact avec le sol , il est utilisé : quand la contrainte admissible du sol d'assise est faible, la surface des semelles obtenue et supérieure à la moitié de la surface au sol du bâtiment, quand le sol n'est pas homogène il risque de provoquer des tassements différentiels .

Le choix du type de fondation dépend essentiellement de ces facteurs suivants en tenant compte de la sécurité et de l'économie :

- La capacité portante du sol d'assise .
- La nature et le poids de la superstructure .
- Le taux de charges transmises .
- La distance entre axe des poteaux .
- L'environnement.

7.4. Calcul des fondation

On va dimensionner pour des semelles isolées sollicité à un moment fléchissant et un effort normal sous poteau encastéré.

Les charges à prendre en considération :

$$N_u = 56.1 \text{ kN}$$

$$N_s = 46.38 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 19.13 \text{ KN.m}$$

$$\sigma_{sol} = 2 \text{ bar}$$

➤ **Dimensionnement de la semelle :**

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b} \implies \left\{ \begin{array}{l} A = \frac{a}{b} B \implies B \geq \sqrt{\frac{b Nsd}{a \sigma_{sol}}} \\ B = \frac{b}{a} A \implies A \geq \sqrt{\frac{a Nsd}{b \sigma_{sol}}} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} a=b=31 \text{ cm} \\ A=B \end{array} \right.$$

Donc :

$$\left\{ \begin{array}{l} A \geq 0.52 \text{ m} \\ B \geq 0.52 \text{ m} \end{array} \right.$$

Nous allons opter pour une semelle de dimension (1.2 m ; 1.2m)

➤ **Détermination de d et h**

$$h = d + 50\text{mm} \geq d_{min} \quad (d_{min} = 40\text{cm})$$

$$\frac{B-b}{4} < d < A - a \implies 22.25 \text{ cm} < d < 89\text{cm}$$

donc : $h = 85 + 5 = 90 \text{ cm}$

➤ **Vérification de la stabilité au renversement**

On doit vérifier que l'excentrement de la résultante des forces verticales gravitaire reste à l'intérieur de la moitié centrale de la base de fondation résistant au renversement

$$P_s = 46.38 + (1.20 * 1.2 * 0.9 * 25) = 78.78 \text{ kn}$$

$$e_o = \frac{M_s}{P_s} = \frac{19.13}{78.78} = 0.24 \text{ m} \leq \frac{B}{4} = 0.3 \text{ m} \implies \text{condition vérifiée}$$

➤ **Calcul du ferrailage**

- ELU :

$$A_u = \frac{N_u \times (A - a)}{8 \times d \times \sigma_{st}}$$

Avec : $\sigma_{st} = \frac{f_e}{1.15} = \frac{400}{1.15} = 347.83 \text{ Mpa}$

$$A_u = \frac{56.1 \times (1.2 - 0.31)}{8 \times 0.85 \times 347.83} = 2.11 \text{ cm}^2$$

- ULS :

$$A_s = \frac{N_s \times (A - a)}{8 \times d \times \sigma_s}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min\left(\frac{2}{3} f_e ; 110 \sqrt{n \times f_{c28}}\right) = (266.67 ; 201.63) = 201.63 \text{ Mpa}$$

$$A_s = \frac{46.38 \times (1.2 - 0.31)}{8 \times 0.85 \times 201.63} = 3.19 \text{ cm}^2$$

$A_u < A_s$ donc on prend un ferrailage 8T12=9.05 cm²

➤ **Détermination de la hauteur du patin e**

$$e \geq \max(6\emptyset + 6\text{cm} ; 15\text{cm})$$

$$e \geq \max(13.2\text{cm} ; 15\text{cm}) \text{ donc en prend } e=20 \text{ cm}$$

/

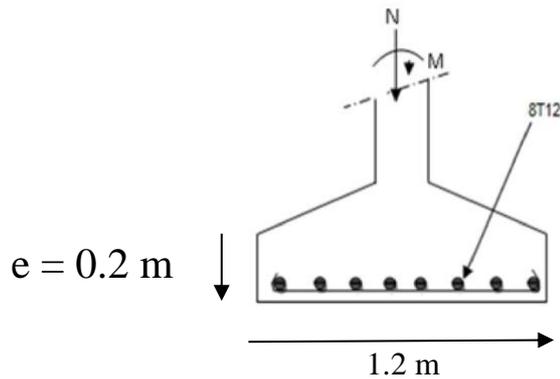


Figure 7.2: ferrailage des semelles isolées

7.5. 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 support lors du coulage du béton. Le béton de propreté offre également un support uniforme à la longrine.

➤ Dimensionnement des longrines

Selon le RPA99, pour un sol de type S4 les dimensions minimales de la section transversale des longrines sont : 30 cm x 30 cm.

➤ Calcul du ferrailage

Les longrines doivent être calculées pour résister à la traction sous l'action d'une force égale à :

$$F = \max \left(\frac{N}{A} ; 20 \text{ Kn} \right)$$

Avec :

N : Egale à la valeur maximale des charges verticales de gravité apportées par les points d'appui solidarités.

A : Coefficient de fonction de la zone sismique et de la catégorie de site considérée, pour les sols S4 ($\alpha = 10$)

- ULU : $F_u = \max \left(\frac{N_u}{A} ; 20 \text{ Kn} \right) = \left(\frac{56.1}{10} ; 20 \text{ Kn} \right) = 5.61 \text{ kN}$
- ULS : $F_s = \max \left(\frac{N_s}{A} ; 20 \text{ Kn} \right) = \left(\frac{46.38}{10} ; 20 \text{ Kn} \right) = 4.638 \text{ KN}$
- $A_{stu} = \frac{F}{\sigma_{stu}} = \frac{5.61}{347.83} = 0.16 \text{ cm}^2$
- $A_{sts} = \frac{F}{\sigma_s} = \frac{4.638}{201.63} = 0.2 \text{ cm}^2$

Le RPA exige une section minimale : $0.6\%B = (30 * 30) = 5.4 \text{ cm}^2$

On opte donc : $A = 6T12 = 6.76 \text{ cm}^2$

➤ Vérification de la condition de la fragilité

$$A_{st} \leq 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{c28}}{f_e}$$

$$6.76 \text{ cm}^2 \leq 0.23 * 30 * 30 \frac{25}{400} = 12.93 \text{ cm}^2 \text{ c est vérifiée}$$

➤ **Calcul d armatures transversales**

$$\phi_t \leq \min \left(\frac{h}{35} ; \phi_L ; \frac{b}{10} \right)$$

$$\phi_t \leq \min \left(\frac{300}{35} ; 12 ; \frac{300}{10} \right) = \min(8.57 ; 12 ; 30) = 8.57 \text{ mm}$$

On prend : $\phi_t = 8 \text{ mm}$

➤ **Calcul d espacement des cadres**

Le RPA99 exige des cadres dont l espacement ne doit pas dépasses :

$$S_t \leq (20 \text{ cm} ; 15\phi_t) = (20 \text{ cm} ; 12 \text{ cm}) \implies S_t = 10 \text{ cm}$$

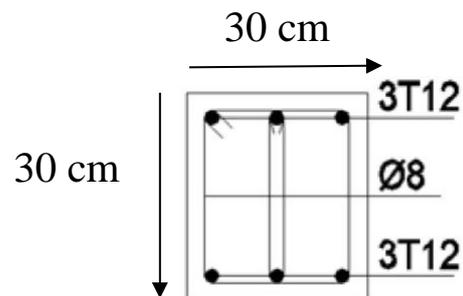


Figure7.3: ferrailage des longrines

CHAPITRE 8 : Calcul des assemblages

8.1. Introduction

un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles . en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces . sans générer de sollicitations parasites notamment de torsions

le dimensionnement des assemblages doit être effectué de sorte que la structure garde son efficacité .

8.2. Modes d'assemblages

Les différents procédés d'assemblage couramment utilisés sont :

• Le rivetage :(ouvrage ancien, n'est plus guère usité)

• Le boulonnage par boulons ordinaires :

les boulons ordinaires ont leurs limites en termes de résistance à la traction et à la charge. Pour les applications nécessitant une résistance supérieure, on peut utiliser des boulons à haute résistance

• Le boulonnage par boulons à haute résistance (hr) :

Les boulons à haute résistance ou à serrage contrôlé permettent de réaliser des assemblages où les forces de frottement développées entre les surfaces à assembler s'opposent à l'effort de cisaillement appliqué. Les forces de frottement sont obtenues en appliquant un effort de serrage ($F_p C_d$) qui compriment les éléments assemblés . Pour ce type d'assemblage, il existe uniquement deux classes de boulons H.R à savoir, les boulons H.R 8.8 et H.R10.9 . Ils sont utilisés dans les assemblages soumis à des sollicitations cycliques ou sismiques.

• Le soudage :

Le soudage consiste à fondre l'acier localement avec le métal d'apport de manière à reconstituer une continuité parfaite de la matière . Il faut que cette continuité soit capable de transmettre dans des conditions correctes les efforts agissant dans la section.

8.3. Assemblage avec le logiciel Robot

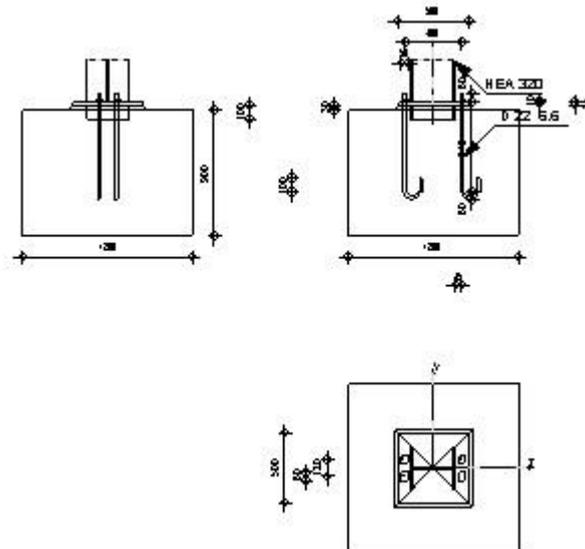
Pour le calcul et vérification des assemblages, nous allons utiliser le logiciel Robot Structural Analysis Professional 2018 qui nous permettra de vérifier automatiquement les différents assemblages .

Un bon dimensionnement n'est pas suffisant, si la conception n'est pas correcte, au travers de l'assemblage la transmission parfaite des forces doit être parfaite afin de ne pas créer des efforts ou des moments secondaires parasites.

8.4 . Calcul et vérification des assemblages

8.4.7. Pied de Poteau encastré (LES POTEAUX)

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	
	Calcul du Pied de Poteau encastré Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings in concrete	



GENERAL

Assemblage N°: 1
 Nom de l'assemblage : Pied de poteau encastré

GEOMETRIE

POTEAU

Profilé: HEA 320
 $L_c = 6,9$ [m] Longueur du poteau
 Matériau: ACIER

PLATINE DE PRESCELLEMENT

$l_{pd} = 500$ [mm] Longueur
 $b_{pd} = 500$ [mm] Largeur
 $t_{pd} = 25$ [mm] Epaisseur
 Matériau: ACIER E24
 $f_{ypd} = 235000,00$ [kPa] Résistance
 $f_{upd} = 365000,00$ [kPa] Résistance ultime du matériau

ANCRAGE

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

Classe = 6.6 Classe de tiges d'ancrage
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité du matériau du boulon
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] Résistance du matériau du boulon à la traction
 $d = 22$ [mm] Diamètre du boulon
 $n_H = 2$ Nombre de colonnes des boulons
 $n_V = 2$ Nombre de rangées des boulons
 Ecartement $e_{Hi} = 400$ [mm]
 Entraxe $e_{Vi} = 120$ [mm]

BECHE

Profilé: HEA 320
 $l_w = 100$ [mm] Longueur
 Matériau: ACIER E24
 $f_{yw} = 235000,00$ [kPa] Résistance

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

$L = 1200$ [mm] Longueur de la semelle
 $B = 1200$ [mm] Largeur de la semelle
 $H = 900$ [mm] Hauteur de la semelle

Béton

Classe BETON25
 $f_{ck} = 25000,00$ [kPa] Résistance caractéristique à la compression

Mortier de calage

$t_g = 30$ [mm] Epaisseur du mortier de calage
 $f_{ck,g} = 12000,00$ [kPa] Résistance caractéristique à la compression
 $C_{f,d} = 0,30$ Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton

SOUDURES

$a_p = 4$ [mm] Plaque principale du pied de poteau
 $a_w = 4$ [mm] Bêche

EFFORTS

Cas: Calculs manuels

$N_{j,Ed}$	=	-10,00	[kN]	Effort axial
$V_{j,Ed,y}$	=	10,00	[kN]	Effort tranchant
$V_{j,Ed,z}$	=	10,00	[kN]	Effort tranchant
$M_{j,Ed,y}$	=	5,00	[kN*m]	Moment fléchissant
$M_{j,Ed,z}$	=	5,00	[kN*m]	Moment fléchissant

RESULTATS**ZONE COMPRIMEE****COMPRESSION DU BETON**

c	=	43	[mm]	Largeur de l'appui additionnelle	[6.2.5.(4)]
f_{jd}	=	33333,33	[kPa]	Résistance de calcul du matériau du joint	[6.2.5.(7)]
$F_{c,Rd,n}$	=	3212,22	[kN]	Résistance du béton à la compression	[6.2.8.2.(1)]
$F_{c,Rd,y}$	=	1301,02	[kN]	Résistance du béton à la flexion M_y	[6.2.8.3.(1)]
$F_{c,Rd,z}$	=	1301,02	[kN]	Résistance du béton à la flexion M_z	[6.2.8.3.(1)]

AILE ET AME DU POTEAU EN COMPRESSION

$M_{c,Rd,y}$	=	382,63	[kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_{f,y}$	=	295	[mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fc,Rd,y}$	=	1299,27	[kN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]
$M_{c,Rd,z}$	=	166,79	[kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_{f,z}$	=	193	[mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fc,Rd,z}$	=	864,89	[kN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]

RESISTANCE DE LA SEMELLE DANS LA ZONE COMPRIMEE

$N_{j,Rd}$	=	$F_{c,Rd,n}$			
$N_{j,Rd}$	=	3212,22	[kN]	Résistance de la semelle à l'effort axial	[6.2.8.2.(1)]
$F_{c,Rd,y}$	=	$\min(F_{c,Rd,y}, F_{c,fc,Rd,y})$			
$F_{c,Rd,y}$	=	1299,27	[kN]	Résistance de la semelle dans la zone comprimée	[6.2.8.3]
$F_{c,Rd,z}$	=	$\min(F_{c,Rd,z}, F_{c,fc,Rd,z})$			
$F_{c,Rd,z}$	=	864,89	[kN]	Résistance de la semelle dans la zone comprimée	[6.2.8.3]

ZONE TENDUE**RUPTURE DU BOULON D'ANCRAGE**

$F_{t,Rd,s1}$	=	111,26	[kN]	Résistance du boulon à la rupture	[Tableau 3.4]
$F_{t,Rd,s2}$	=	90,90	[kN]	Résistance du boulon à la rupture	CEB [9.2.2]
$F_{t,Rd,s}$	=	$\min(F_{t,Rd,s1}, F_{t,Rd,s2})$			
$F_{t,Rd,s}$	=	90,90	[kN]	Résistance du boulon à la rupture	

ARRACHEMENT DU BOULON D'ANCRAGE DU BETON

$F_{t,Rd,p}$	=	119,13	[kN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	EN 1992-1:[8.4.2.(2)]
--------------	---	--------	------	-----------------------------------------	-----------------------

ARRACHEMENT DU CONE DE BETON

$N_{Rk,c}^0$	=	256,14	[kN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	CEB [9.2.4]
$F_{t,Rd,c}$	=	88,67	[kN]	Résistance de calcul du boulon d'ancrage à l'arrachement du cône de béton EN 1992-1:[8.4.2.(2)]	

FENDAGE DU BETON

$N_{Rk,c}^0$	=	607,16	[kN]	Résistance de calc. pour le soulèvement	CEB [9.2.5]
$F_{t,Rd,sp}$	=	120,77	[kN]	Résistance de calcul du boulon d'ancrage au fendage du béton	CEB [9.2.5]

RESISTANCE DU BOULON D'ANCRAGE A LA TRACTION

$F_{t,Rd}$	=	$\min(F_{t,Rd,s}, F_{t,Rd,p}, F_{t,Rd,c}, F_{t,Rd,sp})$			
$F_{t,Rd}$	=	88,67	[kN]	Résistance du boulon d'ancrage à traction	

FLEXION DE LA PLAQUE DE BASE

$F_{t,pl,Rd,y}$	=	177,34	[kN]	Résistance de la dalle pour le mode à la traction	[6.2.4]
$F_{t,pl,Rd,z}$	=	177,34	[kN]	Résistance de la dalle pour le mode à la traction	[6.2.4]

RESISTANCES DE SEMELLE DANS LA ZONE TENDUE

$$F_{T,Rd,y} = F_{t,pl,Rd,y}$$

$$F_{T,Rd,y} = 177,34 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de la semelle dans la zone tendue} \quad [6.2.8.3]$$

$$F_{T,Rd,z} = F_{t,pl,Rd,z}$$

$$F_{T,Rd,z} = 177,34 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de la semelle dans la zone tendue} \quad [6.2.8.3]$$

CONTROLE DE LA RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	$0,00 < 1,00$	vérifié	(0,00)
$M_{j,Rd,y} = 87,29$ [kN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion		[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} \leq 1,0$ (6.23)	$0,06 < 1,00$	vérifié	(0,06)
$M_{j,Rd,z} = 34,37$ [kN*m]	Résistance de l'assemblage à la flexion		[6.2.8.3]
$M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$ (6.23)	$0,15 < 1,00$	vérifié	(0,15)
$M_{j,Ed,y} / M_{j,Rd,y} + M_{j,Ed,z} / M_{j,Rd,z} \leq 1,0$	$0,20 < 1,00$	vérifié	(0,20)

CISAILLEMENT**PRESSIION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE**

$$F_{1,vb,Rd,y} = 401,50 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$F_{1,vb,Rd,z} = 278,82 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise} \quad [6.2.2.(7)]$$

CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE

$$F_{2,vb,Rd} = 60,58 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier} \quad [6.2.2.(7)]$$

$$F_{v,Rd,sm} = 14,59 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement - avec bras de levier} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

RUPTURE DU BETON PAR EFFET DE LEVIER

$$F_{v,Rd,cp} = 177,34 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du béton à l'effet de levier} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

ECRASEMENT DU BORD DU BETON

$$F_{v,Rd,c,y} = 216,75 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du béton pour l'écrasement du bord} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

$$F_{v,Rd,c,z} = 288,02 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance du béton pour l'écrasement du bord} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

GLISSEMENT DE LA SEMELLE

$$F_{f,Rd} = 3,00 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance au glissement} \quad [6.2.2.(6)]$$

CONTACT DE LA CALE D'ARRÊT AVEC BETON

$$F_{v,Rd,wg,y} = 700,00 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton}$$

$$F_{v,Rd,wg,z} = 350,00 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton}$$

CONTROLE DU CISAILLEMENT

$$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,y} = 761,36 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0 \quad 0,01 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,01)$$

$$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$$

$$V_{j,Rd,z} = 411,36 \quad [\text{kN}] \quad \text{Résistance de l'assemblage au cisaillement} \quad \text{CEB [9.3.1]}$$

$$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,02 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,02)$$

$$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0 \quad 0,04 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,04)$$

SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE

$$\sigma_{\perp} = 20623,55 \quad [\text{kPa}] \quad \text{Contrainte normale dans la soudure} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{\perp} = 20623,55 \quad [\text{kPa}] \quad \text{Contrainte tangentielle perpendiculaire} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{yII} = 2115,06 \quad [\text{kPa}] \quad \text{Contrainte tangentielle parallèle à } V_{j,Ed,y} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\tau_{zII} = 4480,29 \quad [\text{kPa}] \quad \text{Contrainte tangentielle parallèle à } V_{j,Ed,z} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\beta_w = 0,85 \quad \text{Coefficient dépendant de la résistance} \quad [4.5.3.(7)]$$

$$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,08 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,08)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,12 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,12)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0 \quad (4.1) \quad 0,04 < 1,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,04)$$

RIGIDITE DE L'ASSEMBLAGEMoment fléchissant $M_{j,Ed,y}$

$k_{13,y} =$	24	[mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$k_{15,y} =$	17	[mm]	Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction	[Tableau 6.11]
$k_{16,y} =$	2	[mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,y} =$	0,39		Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,y} =$	54232,61	[kN*m]	Rigidité en rotation initiale	[Tableau 6.12]
$S_{j,rig,y} =$	288900,36	[kN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,y} < S_{j,rig,y}$ SEMI-RIGIDE				[5.2.2.5.(2)]
Moment fléchissant $M_{j,Ed,z}$				
$k_{13,z} =$	24	[mm]	Coef. de rigidité du béton comprimé	[Tableau 6.11]
$k_{15,z} =$	22	[mm]	Coef. de rigidité de la plaque d'assise en traction	[Tableau 6.11]
$k_{16,z} =$	2	[mm]	Coef. de rigidité du boulon d'ancrage en traction	[Tableau 6.11]
$\lambda_{0,z} =$	0,71		Elancement du poteau	[5.2.2.5.(2)]
$S_{j,ini,z} =$	10217,31	[kN*m]	Rigidité en rotation initiale	[6.3.1.(4)]
$S_{j,rig,z} =$	88014,02	[kN*m]	Rigidité de l'assemblage rigide	[5.2.2.5]
$S_{j,ini,z} < S_{j,rig,z}$ SEMI-RIGIDE				[5.2.2.5.(2)]

COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

FONDATION A L'ARRACHEMENT DU CONE DE BETON

REMARQUES

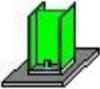
Rayon de courbure de l'ancrage trop faible.

60 [mm] < 66 [mm]

Segment L4 du boulon d'ancrage à crosse trop court.

100 [mm] < 110 [mm]

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,20**8.4.2 . Pied de Poteau articulé (POTELET)**

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	
	Calcul du Pied de Poteau articulé Eurocode 3: NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009 + CEB Design Guide: Design of fastenings in concrete	

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 =	1200	[mm]	Longueur de la semelle
B =	1200	[mm]	Largeur de la semelle
H =	900	[mm]	Hauteur de la semelle

Béton

Classe	BETON25	
$f_{ck} =$	25000,00	[kPa] Résistance caractéristique à la compression

Mortier de calage

$t_g =$	30	[mm]	Epaisseur du mortier de calage
$f_{ck,g} =$	12000,00	[kPa]	Résistance caractéristique à la compression
$C_{f,d} =$	0,30		Coef. de frottement entre la plaque d'assise et le béton

SOUDURES

$a_p =$	4	[mm]	Plaque principale du pied de poteau
$a_w =$	4	[mm]	Bêche

EFFORTS

Cas:		Calculs manuels	
$N_{j,Ed} =$	-10,00	[kN]	Effort axial
$V_{j,Ed,y} =$	10,00	[kN]	Effort tranchant
$V_{j,Ed,z} =$	10,00	[kN]	Effort tranchant

RESULTATS**ZONE COMPRIMEE****COMPRESSION DU BETON**

c =	38	[mm]	Largeur de l'appui additionnelle	[6.2.5.(4)]
$f_{jd} =$	33333,33	[kPa]	Résistance de calcul du matériau du joint	[6.2.5.(7)]
$F_{c,Rd,n} =$	1294,33	[kN]	Résistance du béton à la compression	[6.2.8.2.(1)]

RESISTANCE DE LA SEMELLE DANS LA ZONE COMPRIMEE

$N_{j,Rd} = F_{c,Rd,n}$			
$N_{j,Rd} =$	1294,33	[kN]	Résistance de la semelle à l'effort axial [6.2.8.2.(1)]

CONTROLE DE LA RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE

$N_{j,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$ (6.24)	0,01 < 1,00	vérifié	(0,01)
---------------------------------------	-------------	---------	--------

CISAILLEMENT**PRESSION DU BOULON D'ANCRAGE SUR LA PLAQUE D'ASSISE**

$F_{1,vb,Rd,y} =$	323,52	[kN]	Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise	[6.2.2.(7)]
$F_{1,vb,Rd,z} =$	365,00	[kN]	Résistance du boulon d'ancrage à la pression sur la plaque d'assise	[6.2.2.(7)]

CISAILLEMENT DU BOULON D'ANCRAGE

$F_{2,vb,Rd} =$	37,00	[kN]	Résistance du boulon au cisaillement - sans bras de levier	[6.2.2.(7)]
$F_{v,Rd,sm} =$	8,98	[kN]	Résistance du boulon au cisaillement - avec bras de levier	CEB [9.3.1]

RUPTURE DU BETON PAR EFFET DE LEVIER

$F_{v,Rd,cp} = 245,35$ [kN] Résistance du béton à l'effet de levier CEB [9.3.1]

ECRASUREMENT DU BORD DU BETON

$F_{v,Rd,c,y} = 306,23$ [kN] Résistance du béton pour l'écrasement du bord CEB [9.3.1]

$F_{v,Rd,c,z} = 312,80$ [kN] Résistance du béton pour l'écrasement du bord CEB [9.3.1]

GLISSEMENT DE LA SEMELLE

$F_{f,Rd} = 3,00$ [kN] Résistance au glissement [6.2.2.(6)]

CONTACT DE LA CALE D'ARRÊT AVEC BETON

$F_{v,Rd,wg,y} = 700,00$ [kN] Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton

$F_{v,Rd,wg,z} = 350,00$ [kN] Résistance au contact de la cale d'arrêt avec béton

CONTROLE DU CISAILLEMENT

$V_{j,Rd,y} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,y}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,y}) + F_{v,Rd,wg,y} + F_{f,Rd}$

$V_{j,Rd,y} = 720,95$ [kN] Résistance de l'assemblage au cisaillement CEB [9.3.1]

$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} \leq 1,0$ $0,01 < 1,00$ **vérifié** (0,01)

$V_{j,Rd,z} = n_b \cdot \min(F_{1,vb,Rd,z}, F_{2,vb,Rd}, F_{v,Rd,sm}, F_{v,Rd,cp}, F_{v,Rd,c,z}) + F_{v,Rd,wg,z} + F_{f,Rd}$

$V_{j,Rd,z} = 370,95$ [kN] Résistance de l'assemblage au cisaillement CEB [9.3.1]

$V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$ $0,03 < 1,00$ **vérifié** (0,03)

$V_{j,Ed,y} / V_{j,Rd,y} + V_{j,Ed,z} / V_{j,Rd,z} \leq 1,0$ $0,04 < 1,00$ **vérifié** (0,04)

SOUDURES ENTRE LE POTEAU ET LA PLAQUE D'ASSISE

$\sigma_{\perp} = 1756,53$ [kPa] Contrainte normale dans la soudure [4.5.3.(7)]

$\tau_{\perp} = 1756,53$ [kPa] Contrainte tangentielle perpendiculaire [4.5.3.(7)]

$\tau_{yII} = 6430,04$ [kPa] Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,y}$ [4.5.3.(7)]

$\tau_{zII} = 6830,60$ [kPa] Contrainte tangentielle parallèle à $V_{j,Ed,z}$ [4.5.3.(7)]

$\beta_w = 0,85$ Coefficient dépendant de la résistance [4.5.3.(7)]

$\sigma_{\perp} / (0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2}) \leq 1.0$ (4.1) $0,01 < 1,00$ **vérifié** (0,01)

$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{yII}^2 + \tau_{zII}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1) $0,03 < 1,00$ **vérifié** (0,03)

$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3.0 (\tau_{zII}^2 + \tau_{\perp}^2)) / (f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}))} \leq 1.0$ (4.1) $0,04 < 1,00$ **vérifié** (0,04)

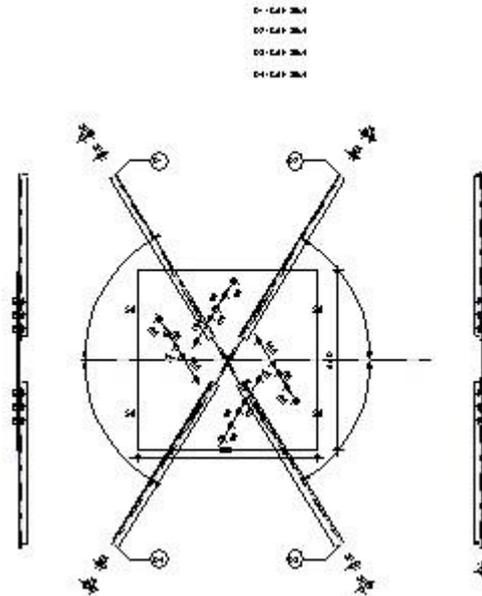
COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

BOULON D'ANCRAGE AU CISAILLEMENT - AVEC BRAS DE LEVIER

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,04

8.4.3. Poutre au vent

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018	
	Calcul de l'assemblage au gousset NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	



GENERAL

Assemblage N°: 9
 Nom de l'assemblage : Gousset - contreventement

GEOMETRIE

BARRES

	Barre 1	Barre 2	Barre 3	Barre 4		
Profilé:	CAE 30x4	CAE 30x4	CAE 30x4	CAE 30x4		
Matériau:	ACIER	ACIER	ACIER	ACIER		
	f_y	235000,00	235000,00	235000,00	235000,00	kPa
	f_u	365000,00	365000,00	365000,00	365000,00	kPa
Angle	α	58,5	58,5	58,5	58,5	Deg

BOULONS

Barre 1

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

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60; 60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 15$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 2

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

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 15$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 3

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

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 15$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 4

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

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 15$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

GOUSSET

$l_p = 660$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 660$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;0)

$e_v = 330$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_H = 330$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 Matériau: ACIER
 $f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b1,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b2,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b3,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b4,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial

RESULTATS

BARRE 1

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} =$	3,33	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} =$	0,52	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} =$	3,37	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} =$	24,74	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} =$	13,27	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	3,33 < 24,74		vérifié	(0,13)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	0,52 < 13,27		vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	3,37 < 30,16		vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} =$	37,41	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} =$	48,01	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$	10,00 < 37,41		vérifié	(0,27)
$ N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	10,00 < 48,01		vérifié	(0,21)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} =$	77,46	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$	10,00 < 77,46		vérifié	(0,13)

BARRE 2

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} =$	3,33	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} =$	0,52	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} =$	3,37	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} =$	24,74	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} =$	13,27	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	3,33 < 24,74		vérifié	(0,13)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	0,52 < 13,27		vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	3,37 < 30,16		vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 37,41$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 48,01$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ N_{b2,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$10,00 < 37,41$	vérifié (0,27)
$ N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$10,00 < 48,01$	vérifié (0,21)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 77,46$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ N_{b2,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 10,00 < 77,46$	vérifié (0,13)

BARRE 3

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 3,33$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,52$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 3,37$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 24,74$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 13,27$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$3,33 < 24,74$	vérifié (0,13)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,52 < 13,27$	vérifié (0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$3,37 < 30,16$	vérifié (0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 37,41$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 48,01$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$10,00 < 37,41$	vérifié (0,27)
$ N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$10,00 < 48,01$	vérifié (0,21)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 77,46$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 10,00 < 77,46$	vérifié (0,13)

BARRE 4

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 3,33$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,52$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 3,37$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 24,74$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 13,27$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$3,33 < 24,74$	vérifié (0,13)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,52 < 13,27$	vérifié (0,04)

$F_{x,Ed} = 3,33$ [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial
 $F_{Ed} \leq F_{vRd}$ $3,37 < 30,16$ **vérifié** (0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 37,41$ [kN] Résistance de calcul de la section nette [3.10.3]
 $N_{pl,Rd} = 48,01$ [kN] Résistance de calcul plastique de la section brute [3.10.3]
 $|N_{b4,Ed}| \leq N_{u,Rd}$ $10,00 < 37,41$ **vérifié** (0,27)
 $|N_{b4,Ed}| \leq N_{pl,Rd}$ $10,00 < 48,01$ **vérifié** (0,21)

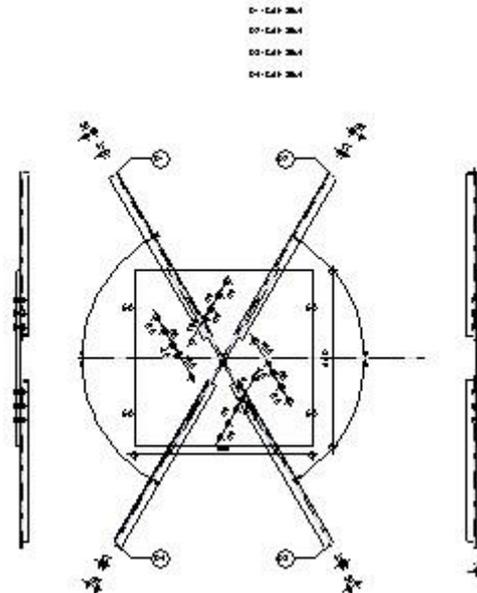
VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 77,46$ [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous [3.10.2 (3)]
 $|N_{b4,Ed}| \leq V_{effRd}$ $|10,00| < 77,46$ **vérifié** (0,13)

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,27

8.4.4. Palée de stabilité

 <p>Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 Calcul de l'assemblage au gousset NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009</p>	



GENERAL

Assemblage N°: 10
 Nom de l'assemblage : Gousset - contreventement

GEOMETRIE

BARRES

	Barre 1	Barre 2	Barre 3	Barre 4		
Profilé:	CAE 35x4	CAE 35x4	CAE 35x4	CAE 35x4		
Matériau:	ACIER	ACIER	ACIER	ACIER		
	f_y	235000,00	235000,00	235000,00	235000,00	kPa
	f_u	365000,00	365000,00	365000,00	365000,00	kPa
Angle	α	60,0	60,0	60,0	60,0	Deg

BOULONS

Barre 1

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

Classe = 8.8 Classe du boulon

$d = 10$ [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon

$f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité

$f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction

$n = 3$ Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60; 60 [mm]

$e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 17$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 2

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

Classe = 8.8 Classe du boulon

$d = 10$ [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon

$f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 17$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 3

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

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 17$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 4

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

Classe = 8.8 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 550000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 800000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 17$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

GOUSSET

$l_p = 660$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 660$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;0)

$e_v = 330$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_H = 330$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 Matériau: ACIER
 $f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b1,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b2,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b3,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b4,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial

RESULTATS

BARRE 1

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} =$	3,33	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} =$	0,58	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} =$	3,38	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} =$	29,20	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} =$	15,04	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	3,33 < 29,20		vérifié	(0,11)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	0,58 < 15,04		vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	3,38 < 30,16		vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} =$	45,52	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} =$	56,40	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$	10,00 < 45,52		vérifié	(0,22)
$ N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	10,00 < 56,40		vérifié	(0,18)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} =$	79,21	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$	10,00 < 79,21		vérifié	(0,13)

BARRE 2

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} =$	3,33	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} =$	0,58	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} =$	3,38	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} =$	29,20	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} =$	15,04	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	3,33 < 29,20		vérifié	(0,11)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	0,58 < 15,04		vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	3,38 < 30,16		vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ N_{b2,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$10,00 < 45,52$	vérifié (0,22)
$ N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$10,00 < 56,40$	vérifié (0,18)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 79,21$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ N_{b2,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 10,00 < 79,21$	vérifié (0,13)

BARRE 3

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 3,33$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,58$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 3,38$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 29,20$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 15,04$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$3,33 < 29,20$	vérifié (0,11)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,58 < 15,04$	vérifié (0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$3,38 < 30,16$	vérifié (0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$10,00 < 45,52$	vérifié (0,22)
$ N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$10,00 < 56,40$	vérifié (0,18)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 79,21$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 10,00 < 79,21$	vérifié (0,13)

BARRE 4

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 3,33$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,58$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 3,38$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 29,20$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 15,04$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$3,33 < 29,20$	vérifié (0,11)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,58 < 15,04$	vérifié (0,04)

Assemblage N°: 11
 Nom de l'assemblage : Poutre - poteau

GEOMETRIE

POTEAU

Profilé: HEA 320
 $\alpha = -90,0$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_c = 310$ [mm] Hauteur de la section du poteau
 $b_{fc} = 300$ [mm] Largeur de la section du poteau
 $t_{wc} = 9$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau
 $t_{fc} = 16$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau
 $r_c = 27$ [mm] Rayon de congé de la section du poteau
 $A_c = 124,37$ [cm²] Aire de la section du poteau
 $I_{xc} = 22928,60$ [cm⁴] Moment d'inertie de la section du poteau
 Matériau: ACIER
 $f_{yc} = 235000,00$ [kPa] Résistance

POUTRE

Profilé: HEB 160
 $\alpha = 0,0$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_b = 160$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_f = 160$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wb} = 8$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{fb} = 13$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_b = 15$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $r_b = 15$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_b = 54,25$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{xb} = 2492,00$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre
 Matériau: ACIER
 $f_{yb} = 235000,00$ [kPa] Résistance

BOULONS

Le plan de cisaillement passe par la partie NON FILETÉE du boulon
 $d = 22$ [mm] Diamètre du boulon
 Classe = HR 10.9 Classe du boulon
 $F_{tRd} = 261,79$ [kN] Résistance du boulon à la traction
 $n_h = 2$ Nombre de colonnes des boulons
 $n_v = 6$ Nombre de rangées des boulons
 $h_1 = 53$ [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about
 Ecartement $e_i = 70$ [mm]
 Entraxe $p_i = 70; 70; 70; 70; 70$ [mm]

PLATINE

$h_p = 460$ [mm] Hauteur de la platine
 $b_p = 160$ [mm] Largeur de la platine
 $t_p = 20$ [mm] Epaisseur de la platine
 Matériau: ACIER
 $f_{yp} = 235000,00$ [kPa] Résistance

JARRET INFERIEUR

$w_d = 160$ [mm] Largeur de la platine
 $t_{fd} = 12$ [mm] Epaisseur de l'aile
 $h_d = 140$ [mm] Hauteur de la platine

JARRET INFERIEUR

$w_d =$	160	[mm]	Largeur de la platine
$t_{wd} =$	8	[mm]	Epaisseur de l'âme
$l_d =$	300	[mm]	Longueur de la platine
$\alpha =$	25,0	[Deg]	Angle d'inclinaison
Matériau:	ACIER		
$f_{ybu} =$	235000,00	[kPa]	Résistance

RAIDISSEUR POTEAU**Supérieur**

$h_{su} =$	279	[mm]	Hauteur du raidisseur
$b_{su} =$	146	[mm]	Largeur du raidisseur
$t_{hu} =$	8	[mm]	Epaisseur du raidisseur
Matériau:	ACIER		
$f_{ysu} =$	235000,00	[kPa]	Résistance

Inférieur

$h_{sd} =$	279	[mm]	Hauteur du raidisseur
$b_{sd} =$	146	[mm]	Largeur du raidisseur
$t_{hd} =$	8	[mm]	Epaisseur du raidisseur
Matériau:	ACIER		
$f_{ysu} =$	235000,00	[kPa]	Résistance

SOUDURES D'ANGLE

$a_w =$	5	[mm]	Soudure âme
$a_f =$	8	[mm]	Soudure semelle
$a_s =$	5	[mm]	Soudure du raidisseur
$a_{fd} =$	5	[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]
$\gamma_{M3} =$	1,10	Coefficient de sécurité partiel	[2.2]

EFFORTS**Etat limite: ultime**

Cas: Calculs manuels

$M_{b1,Ed} =$	50,00	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite
---------------	-------	--------	------------------------------------------

RESULTATS**RESISTANCES DE LA POUTRE****FLEXION - MOMENT PLASTIQUE (SANS RENFORTS)**

$W_{plb} =$	353,98	[cm ³]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
-------------	--------	--------------------	---------------------------------	------------------------

$$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$M_{b,pl,Rd} =$	83,19	[kN*m]	Résistance plastique de la section à la flexion (sans renforts)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
-----------------	-------	--------	-----------------------------------------------------------------	------------------------

FLEXION AU CONTACT DE LA PLAQUE AVEC L'ELEMENT ASSEMBLE

$W_{pl} =$	752,11	[cm ³]	Facteur plastique de la section	EN1993-1-1:[6.2.5]
------------	--------	--------------------	---------------------------------	--------------------

$$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

$M_{cb,Rd} =$	176,75	[kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
---------------	--------	--------	-------------------------------------------------	--------------------

AILE ET AME EN COMPRESSION

$M_{cb,Rd} = 176,75$	[kN*m]	Résistance de calcul de la section à la flexion	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f = 287$	[mm]	Distance entre les centres de gravité des ailes	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$			
$F_{c,fb,Rd} = 616,10$	[kN]	Résistance de l'aile et de l'âme comprimées	[6.2.6.7.(1)]

AME OU AILE DU RENFORT EN COMPRESSION - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$\beta = 0,0$	[Deg]	Angle entre la platine d'about et la poutre	
$\gamma = 25,0$	[Deg]	Angle d'inclinaison du renfort	
$b_{eff,c,wb} = 191$	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vb} = 17,59$	[cm ²]	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)]
$\sigma_{com,Ed} = 104333,87$	[kPa]	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)]
$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$			
$F_{c,wb,Rd1} = 546,72$	[kN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wb} = 104$	[mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p = 0,55$		Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\rho = 1,00$		Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$			
$F_{c,wb,Rd2} = 546,72$	[kN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]

Résistance finale:

$F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1} , F_{c,wb,Rd2})$			
$F_{c,wb,Rd,low} = 546,72$	[kN]	Résistance de l'âme de la poutre	[6.2.6.2.(1)]

RESISTANCES DU POTEAU

PANNEAU D'AME EN CISAILLEMENT

$M_{b1,Ed} = 50,00$	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre droite	[5.3.(3)]
$M_{b2,Ed} = 0,00$	[kN*m]	Moment fléchissant dans la poutre gauche	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed} = 0,00$	[kN]	Effort tranchant dans le poteau inférieur	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed} = 0,00$	[kN]	Effort tranchant dans le poteau supérieur	[5.3.(3)]
$Z = 216$	[mm]	Bras de levier	[6.2.5]
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / Z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$			
$V_{wp,Ed} = 231,83$	[kN]	Panneau d'âme en cisaillement	[5.3.(3)]
$A_{vs} = 41,13$	[cm ²]	Aire de cisaillement de l'âme du poteau	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$A_{vc} = 41,13$	[cm ²]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$d_s = 432$	[mm]	Distance entre les centres de gravités des raidisseurs	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,fc,Rd} = 4,23$	[kN*m]	Résistance plastique de l'aile du poteau en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} = 1,13$	[kN*m]	Résistance plastique du raidisseur transversal supérieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sti,Rd} = 1,13$	[kN*m]	Résistance plastique du raidisseur transversal inférieur en flexion	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} * f_{y,wc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s , (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd}) / d_s)$			
$V_{wp,Rd} = 527,10$	[kN]	Résistance du panneau d'âme au cisaillement	[6.2.6.1]
$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$		$0,44 < 1,00$	vérifié (0,44)

AME EN COMPRESSION TRANSVERSALE - NIVEAU DE L'AILE INFERIEURE DE LA POUTRE

Pression diamétrale:

$t_{wc} = 9$	[mm]	Epaisseur efficace de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} = 288$	[mm]	Largeur efficace de l'âme à la compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} = 41,13$	[cm ²]	Aire de la section au cisaillement	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega = 0,81$		Coefficient réducteur pour l'interaction avec le cisaillement	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} = 0,00$	[kPa]	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)]
$A_s = 19,32$	[cm ²]	Aire de la section du raidisseur renforçant l'âme	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$			
$F_{c,wc,Rd1} = 949,23$	[kN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

Flambement:

$d_{wc} = 225$	[mm]	Hauteur de l'âme comprimée	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p = 0,88$		Elancement de plaque	[6.2.6.2.(1)]
$\rho = 0,88$		Coefficient réducteur pour le flambement de l'élément	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_s = 2,56$		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]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho_{\text{beff},c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$			
$F_{c,wc,Rd2} = 888,04$	[kN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]
Résistance finale:			
$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$			
$F_{c,wc,Rd} = 888,04$	[kN]	Résistance de l'âme du poteau	[6.2.6.2.(1)]

PARAMETRES GEOMETRIQUES DE L'ASSEMBLAGE

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - SEMELLE DU POTEAU

Nr	m	m_x	e	e_x	p	$l_{\text{eff,cp}}$	$l_{\text{eff,nc}}$	$l_{\text{eff},1}$	$l_{\text{eff},2}$	$l_{\text{eff,cp,g}}$	$l_{\text{eff,nc,g}}$	$l_{\text{eff},1,g}$	$l_{\text{eff},2,g}$
1	9	-	115	-	70	56	71	56	71	98	17	17	17
2	9	-	115	-	70	56	179	56	179	140	70	70	70
3	9	-	115	-	70	56	179	56	179	140	70	70	70
4	9	-	115	-	70	56	71	56	71	98	17	17	17
5	9	-	115	-	70	56	71	56	71	98	17	17	17
6	9	-	115	-	70	56	147	56	147	98	92	92	92

LONGUEURS EFFICACES ET PARAMETRES - PLATINE D'ABOUT

Nr	m	m_x	e	e_x	p	$l_{\text{eff,cp}}$	$l_{\text{eff,nc}}$	$l_{\text{eff},1}$	$l_{\text{eff},2}$	$l_{\text{eff,cp,a}}$	$l_{\text{eff,nc,a}}$	$l_{\text{eff},1,a}$	$l_{\text{eff},2,a}$
1	25	-	45	-	70	159	190	159	190	150	147	147	147
2	25	-	45	-	70	159	158	158	158	140	70	70	70
3	25	-	45	-	70	159	158	158	158	140	70	70	70
4	25	-	45	-	70	159	158	158	158	150	114	114	114
5	25	84	45	57	70	333	80	80	80	-	-	-	-
6	25	84	45	57	70	333	80	80	80	-	-	-	-

- m – Distance du boulon de l'âme
- m_x – Distance du boulon de l'aile de la poutre
- e – Pince entre le boulon et le bord extérieur
- e_x – Pince entre le boulon et le bord extérieur horizontal
- p – Entraxe des boulons
- $l_{\text{eff,cp}}$ – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes circulaires
- $l_{\text{eff,nc}}$ – Longueur efficace pour un boulon dans les mécanismes non circulaires
- $l_{\text{eff},1}$ – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 1
- $l_{\text{eff},2}$ – Longueur efficace pour un boulon pour le mode 2
- $l_{\text{eff,cp,g}}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes circulaires
- $l_{\text{eff,nc,g}}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons dans les mécanismes non circulaires
- $l_{\text{eff},1,g}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 1
- $l_{\text{eff},2,g}$ – Longueur efficace pour un groupe de boulons pour le mode 2

RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION

$F_{t,Rd} = 261,79$	[kN]	Résistance du boulon à la traction	[Tableau 3.4]
$B_{p,Rd} = 281,53$	[kN]	Résistance du boulon au cisaillement au poinçonnement	[Tableau 3.4]
$F_{t,fc,Rd}$ – résistance de la semelle du poteau à la flexion			
$F_{t,wc,Rd}$ – résistance de l'âme du poteau à la traction			
$F_{t,ep,Rd}$ – résistance de la platine 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]
$F_{t,wc,Rd} = \omega_{\text{beff},t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$			[6.2.6.3.(1)]
$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$			[6.2.6.5] , [Tab.6.2]
$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$			[6.2.6.8.(1)]

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 1

F_{t1,Rd,comp} - Formule	F_{t1,Rd,comp}	Composant
$F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$	117, 14	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(1)} = 354,74$	354, 74	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(1)} = 117,14$	117, 14	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(1)} = 447,77$	447, 77	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(1)} = 299,36$	299, 36	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 563,07$	563, 07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta = 527,10$	527, 10	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} = 888,04$	888, 04	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} = 616,10$	616, 10	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} = 546,72$	546, 72	Ame de la poutre - compression

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 2

F_{t2,Rd,comp} - Formule	F_{t2,Rd,comp}	Composant
$F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$	61, 74	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(2)} = 354,74$	354, 74	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(2)} = 117,14$	117, 14	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(2)} = 420,80$	420, 80	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(2)} = 296,33$	296, 33	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 563,07$	563, 07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^1 F_{ti,Rd} = 527,10 - 117,14$	409, 96	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^1 F_{ij,Rd} = 888,04 - 117,14$	770, 90	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^1 F_{ij,Rd} = 616,10 - 117,14$	498, 96	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^1 F_{ij,Rd} = 546,72 - 117,14$	429, 58	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{ij,Rd} = 548,89 - 117,14$	431, 75	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{ij,Rd} = 178,88 - 117,14$	61, 74	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{ij,Rd} = 760,24 - 117,14$	643, 10	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum 1^1 F_{ij,Rd} = 407,08 - 117,14$	289, 94	Ame de la poutre - traction - groupe

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 3

F_{t3,Rd,comp} - Formule	F_{t3,Rd,comp}	Composant
$F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$	117, 14	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(3)} = 354,74$	354, 74	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(3)} = 117,14$	117, 14	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(3)} = 420,80$	420, 80	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(3)} = 296,33$	296, 33	Ame de la poutre - traction
$B_{p,Rd} = 563,07$	563, 07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^2 F_{ti,Rd} = 527,10 - 178,88$	348, 22	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^2 F_{ij,Rd} = 888,04 - 178,88$	709, 16	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^2 F_{ij,Rd} = 616,10 - 178,88$	437, 22	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^2 F_{ij,Rd} = 546,72 - 178,88$	367, 84	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 779,12 - 61,74$	717, 38	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 279,54 - 61,74$	217, 80	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 992,94 - 178,88$	814, 06	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 308,37 - 178,88$	129, 49	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 519,27 - 61,74$	457, 53	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum 2^2 F_{ij,Rd} = 263,20 - 61,74$	201, 46	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 1062,78 - 178,88$	883, 90	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum 2^1 F_{ij,Rd} = 538,68 - 178,88$	359, 80	Ame de la poutre - traction - groupe

RESISTANCE DE LA RANGEE DE BOULONS N° 4

F_{t4,Rd,comp} - Formule	F_{t4,Rd,comp}	Composant
$F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$	40, 01	Résistance d'une rangée de boulon
$F_{t,fc,Rd(4)} = 354,74$	354, 74	Aile du poteau - traction
$F_{t,wc,Rd(4)} = 117,14$	117, 14	Ame du poteau - traction
$F_{t,ep,Rd(4)} = 420,80$	420, 80	Platine d'about - traction
$F_{t,wb,Rd(4)} = 296,33$	296, 33	Ame de la poutre - traction

F_{t4,Rd,comp} - Formule	F_{t4,Rd,comp}	Composant
$B_{p,Rd} = 563,07$	563,07	Boulons au cisaillement/poinçonnement
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum 1^3 F_{ti,Rd} = 527,10 - 296,02$	231,08	Panneau d'âme - compression
$F_{c,wc,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 888,04 - 296,02$	592,02	Ame du poteau - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 616,10 - 296,02$	320,08	Aile de la poutre - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum 1^3 F_{ij,Rd} = 546,72 - 296,02$	250,70	Ame de la poutre - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 548,89 - 117,14$	431,75	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 178,88 - 117,14$	61,74	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 992,94 - 178,88$	814,06	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 308,37 - 178,88$	129,49	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,fc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1097,77 - 296,02$	801,76	Aile du poteau - traction - groupe
$F_{t,wc,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 336,02 - 296,02$	40,01	Ame du poteau - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 681,77 - 117,14$	564,64	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum 3^3 F_{ij,Rd} = 345,57 - 117,14$	228,43	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 941,41 - 178,88$	762,53	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum 3^2 F_{ij,Rd} = 477,17 - 178,88$	298,28	Ame de la poutre - traction - groupe
$F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 1484,91 - 296,02$	1188,89	Platine d'about - traction - groupe
$F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum 3^1 F_{ij,Rd} = 752,65 - 296,02$	456,63	Ame de la poutre - traction - groupe

Les autres boulons sont inactifs (ils ne transfèrent pas de charges) car la résistance d'un des composants de l'assemblage s'est épuisée ou ces boulons sont situés au-dessous du centre de rotation.

TABLEAU RECAPITULATIF DES EFFORTS

Nr	h _i	F _{ti,Rd}	F _{t,fc,Rd}	F _{t,wc,Rd}	F _{t,ep,Rd}	F _{t,wb,Rd}	F _{t,Rd}	B _{p,Rd}
1	251	117,14	354,74	117,14	447,77	299,36	523,58	563,07
2	181	61,74	354,74	117,14	420,80	296,33	523,58	563,07
3	111	117,14	354,74	117,14	420,80	296,33	523,58	563,07
4	41	40,01	354,74	117,14	420,80	296,33	523,58	563,07
5	-29	-	354,74	117,14	89,90	-	523,58	563,07
6	-99	-	354,74	117,14	89,90	-	523,58	563,07

RESISTANCE DE L'ASSEMBLAGE A LA FLEXION M_{ij,Rd}

$M_{ij,Rd} = \sum h_j F_{ij,Rd}$

$M_{ij,Rd} = 55,11$ [kN*m] Résistance de l'assemblage à la flexion [6.2]

$M_{b1,Ed} / M_{ij,Rd} \leq 1,0$ 0,91 < 1,00 **vérifié** (0,91)

RESISTANCE DES SOUDURES

A _w =	90,92	[cm ²]	Aire de toutes les soudures	[4.5.3.2(2)]
A _{wy} =	67,84	[cm ²]	Aire des soudures horizontales	[4.5.3.2(2)]
A _{wz} =	23,08	[cm ²]	Aire des soudures verticales	[4.5.3.2(2)]
I _{wy} =	11258,33	[cm ⁴]	Moment d'inertie du système de soudures par rapport à l'axe horiz.	[4.5.3.2(5)]
$\sigma_{\perp max} = \tau_{\perp max}$ =	50098,83	[kPa]	Contrainte normale dans la soudure	[4.5.3.2(6)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$ =	-41209,90	[kPa]	Contraintes dans la soudure verticale	[4.5.3.2(5)]
τ_{\parallel} =	0,00	[kPa]	Contrainte tangentielle	[4.5.3.2(5)]
β_w =	0,80		Coefficient de corrélation	[4.5.3.2(7)]
$\sqrt{[\sigma_{\perp max}^2 + 3*(\tau_{\perp max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	100197,66	< 365000,00	vérifié	(0,27)
$\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$	82419,80	< 365000,00	vérifié	(0,23)
$\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}$	50098,83	< 262800,00	vérifié	(0,19)

RIGIDITE DE L'ASSEMBLAGE

t _{wash} =	5	[mm]	Epaisseur de la plaquette	[6.2.6.3.(2)]
h _{head} =	16	[mm]	Hauteur de la tête du boulon	[6.2.6.3.(2)]
h _{nut} =	22	[mm]	Hauteur de l'écrou du boulon	[6.2.6.3.(2)]
L _b =	65	[mm]	Longueur du boulon	[6.2.6.3.(2)]
k ₁₀ =	8	[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,i}	k _{eff,i} h _i	k _{eff,i} h _i ²
					Somme	4,06	69,41
1	251	0	79	65	0	0,88	22,12
2	181	1	266	31	1	1,88	33,97
3	111	1	266	31	1	1,15	12,75
4	41	0	79	50	0	0,14	0,58

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$Z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$$

$$Z_{eq} = 171 \text{ [mm]} \quad \text{Bras de levier équivalent} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / Z_{eq}$$

$$k_{eq} = 2 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficient de rigidité équivalent du système de boulons} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 41,13 \text{ [cm}^2\text{]} \quad \text{Aire de la section au cisaillement} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 1,00 \quad \text{Paramètre de transformation} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 171 \text{ [mm]} \quad \text{Bras de levier} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 9 \text{ [mm]} \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en cisaillement} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \infty \quad \text{Coefficient de rigidité du panneau d'âme du poteau en compression} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E Z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 11573,09 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité en rotation initiale} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 2,30 \quad \text{Coefficient de rigidité de l'assemblage} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 5036,61 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité en rotation finale} \quad [6.3.1.(4)]$$

Classification de l'assemblage par rigidité.

$$S_{j,rig} = 8373,12 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité de l'assemblage rigide} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 523,32 \text{ [kN*m]} \quad \text{Rigidité de l'assemblage articulé} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \text{ RIGIDE}$$

COMPOSANT LE PLUS FAIBLE:

AME DU POTEAU EN TRACTION

REMARQUES

Epaisseur de l'aile de la contreplaque inférieure à l'épaisseur de l'aile de la poutre 12 [mm] < 13 [mm]

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,91

8.4.6. Assemblage de la ferme

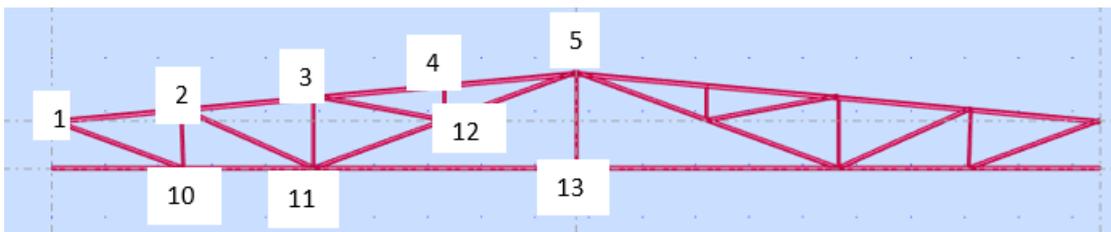
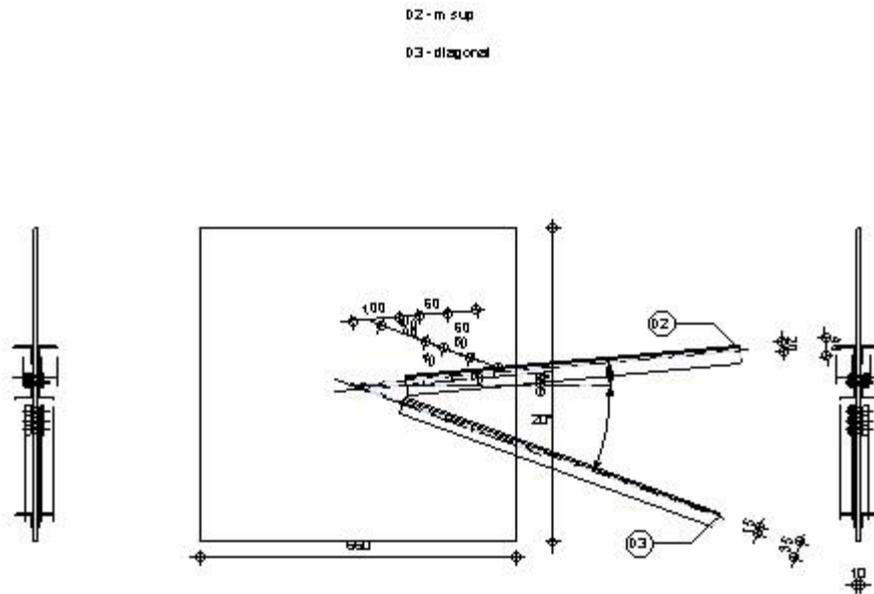


Figure 8.1 : les nœud de la ferme

A. Assemblage membrure supérieure – daigonal (nœud 1)

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 Calcul de l'assemblage au gousset NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	 Ratio 0,11
-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------



GENERAL

Assemblage N°: 1
 Nom de l'assemblage : Gousset - contreventement
 Noeud de la structure: 142
 Barres de la structure: 652, 665,

GEOMETRIE

BARRES

		Barre 2	Barre 3			
Barre N°:		652	665			
Profilé:		m sup	diagonal			
Matériau:		ACIER	ACIER			
	f_y	235000,00	235000,00			kPa
	f_u	365000,00	365000,00			kPa
Angle	α	5,3	20,2			Deg
Longueur	l	0,00	0,00			m

BOULONS

Barre 2

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 20$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 3

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 3$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60;60 [mm]
 $e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 $e_2 = 15$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

GOUSSET

$l_p = 660$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 660$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;0)

$e_v = 330$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_H = 330$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériau: ACIER E24

$f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b2,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b3,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial

RESULTATS

BARRE 2**VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

$F_{x,Ed} = 3,33$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,73$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 3,41$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 58,40$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 35,39$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$3,33 < 58,40$	vérifié (0,06)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,73 < 35,39$	vérifié (0,02)
$F_{Ed} \leq F_{VRd}$		$3,41 < 45,24$	vérifié (0,08)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 53,93$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 65,11$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 53,93$	vérifié (0,09)
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 65,11$	vérifié (0,08)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 80,38$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 80,38$	vérifié (0,06)

BARRE 3**VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

$F_{x,Ed} = 3,33$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,41$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 3,36$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 49,48$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 26,55$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$3,33 < 49,48$	vérifié (0,07)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,41 < 26,55$	vérifié (0,02)
$F_{Ed} \leq F_{VRd}$		$3,36 < 45,24$	vérifié (0,07)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 45,52$	vérifié (0,11)
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 56,40$	vérifié (0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 80,38$ [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous [3.10.2 (3)]
 $|0.5 \cdot N_{b3,Ed}| \leq V_{effRd}$ $15,00 < 80,38$ **vérifié** (0,06)

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,11

B. Assemblage membrure inférieure – montant (nœud 13)



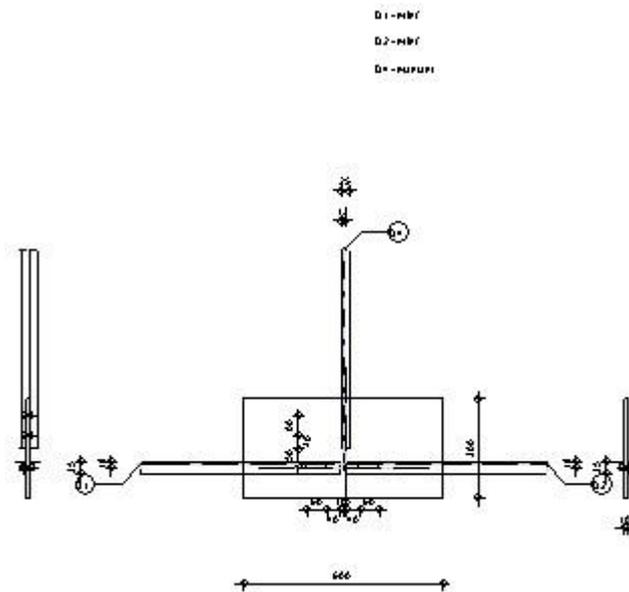
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Calcul de l'assemblage au gousset

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



Ratio
0,21



GENERAL

Assemblage N°: 1
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis
 Noeud de la structure: 147
 Barres de la structure: 655, 656, 671,

GEOMETRIE

BARRES

	Barre 1	Barre 2	Barre 4		
Barre N° :	655	656	671		
Profilé :	m inf	m inf	mantant		
Matériau :	ACIER	ACIER	ACIER		
f_y	235000,00	235000,00	235000,00		kPa
f_u	365000,00	365000,00	365000,00		kPa

		Barre 1	Barre 2	Barre 4		
Angle	α	0,0	0,0	90,0		Deg
Longueur	l	4,88	0,90	4,88		m

BOULONS

Barre 1

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]

e₁ = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 e₂ = 18 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 e_c = 10 [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 = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]

e₁ = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 e₂ = 18 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 e_c = 10 [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 = 6.6 Classe du boulon
 d = 8 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 9 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]

e₁ = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 e₂ = 13 [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 = 600 [mm] Longueur de la platine
 h_p = 300 [mm] Hauteur de la platine
 t_p = 10 [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

h₁ = 0 [mm] Grugeage
 v₁ = 0 [mm] Grugeage
 h₂ = 0 [mm] Grugeage
 v₂ = 0 [mm] Grugeage
 h₃ = 0 [mm] Grugeage
 v₃ = 0 [mm] Grugeage
 h₄ = 0 [mm] Grugeage
 v₄ = 0 [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0,50)

$e_v = 100$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_H = 300$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_0 = 0$ [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau: ACIER

$f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b1,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial

$N_{b2,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial

$N_{b4,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial

RESULTATS

BARRE 1

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial

$F_{z,Ed} = 1,25$ [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant

$F_{Ed} = 5,15$ [kN] Effort tranchant résultant dans le boulon

$F_{Rdx} = 58,40$ [kN] Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]

$F_{Rdz} = 30,97$ [kN] Résistance résultante de calcul du boulon [Tableau 3.4]

$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$ $5,00 < 58,40$ **vérifié** (0,09)

$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$ $1,25 < 30,97$ **vérifié** (0,04)

$F_{Ed} \leq F_{vRd}$ $5,15 < 45,24$ **vérifié** (0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$ [kN] Résistance de calcul de la section nette [3.10.3]

$N_{pl,Rd} = 56,40$ [kN] Résistance de calcul plastique de la section brute [3.10.3]

$|0.5*N_{b1,Ed}| \leq N_{u,Rd}$ $5,00 < 45,52$ **vérifié** (0,11)

$|0.5*N_{b1,Ed}| \leq N_{pl,Rd}$ $5,00 < 56,40$ **vérifié** (0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$ [kN] Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous [3.10.2 (3)]

$|0.5*N_{b1,Ed}| \leq V_{effRd}$ $|5,00| < 52,32$ **vérifié** (0,10)

BARRE 2

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 1,25$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,15$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 58,40$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 58,40$	vérifié (0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$1,25 < 30,97$	vérifié (0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$5,15 < 45,24$	vérifié (0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 45,52$	vérifié (0,11)
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 56,40$	vérifié (0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 52,32$	vérifié (0,10)

BARRE 4

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,88$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,08$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 30,68$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 16,22$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 30,68$	vérifié (0,16)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,88 < 16,22$	vérifié (0,05)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$5,08 < 28,95$	vérifié (0,18)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 23,65$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 30,18$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 23,65$	vérifié (0,21)
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 30,18$	vérifié (0,17)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 38,71$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 38,71$	vérifié (0,13)

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,21

C . Assemblage membrure supérieur – montant- diagonal (nœud 5)



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

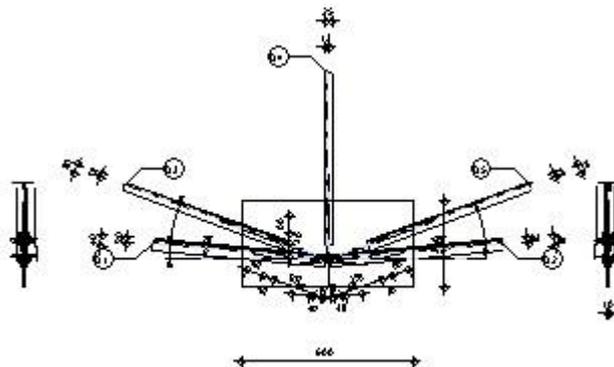
Calcul de l'assemblage au gousset

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009

OK

Ratio
0,21

- D1 - mantant
- D2 - mantant
- D3 - diagonal
- D4 - membrure
- D5 - diagonal



GENERAL

Assemblage N°: 2
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis
 Noeud de la structure: 145
 Barres de la structure: 654, 652, 674, 671, 667,

GEOMETRIE

BARRES

	Barre 1	Barre 2	Barre 3	Barre 4	Barre 5	
Barre N°:	654	652	674	671	667	
Profilé:	m sup	m sup	diagonal	mantant	diagonal	
Matériau:	ACIER	ACIER	ACIER	ACIER	ACIER	
f_y	235000,00	235000,00	235000,00	235000,00	235000,00	kPa
f_u	365000,00	365000,00	365000,00	365000,00	365000,00	kPa
Angle α	-5,3	5,3	20,2	90,0	20,2	Deg
Longueur l	4,90	2,60	0,90	2,60	4,90	m

BOULONS

Barre 1

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 e₁ = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 e₂ = 20 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 e_c = 10 [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 = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 e₁ = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 e₂ = 20 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 e_c = 10 [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 = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 e₁ = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 e₂ = 18 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 e_c = 150 [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 = 6.6 Classe du boulon
 d = 8 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 9 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 e₁ = 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
 e₂ = 13 [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 5

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] 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 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre $e_c = 150$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres**GOUSSET** $l_p = 600$ [mm] Longueur de la platine $h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine**Paramètres** $h_1 = 0$ [mm] Grugeage $v_1 = 0$ [mm] Grugeage $h_2 = 0$ [mm] Grugeage $v_2 = 0$ [mm] Grugeage $h_3 = 0$ [mm] Grugeage $v_3 = 0$ [mm] Grugeage $h_4 = 0$ [mm] Grugeage $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres

(0;50)

 $e_v = 100$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres $e_H = 300$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres $e_0 = 0$ [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau: ACIER E24

 $f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

 $N_{b1,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial $N_{b2,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial $N_{b3,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial $N_{b4,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial $N_{b5,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial**RESULTATS****BARRE 1****VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS** $F_{x,Ed} = 5,00$ [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial $F_{z,Ed} = 1,47$ [kN] Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant $F_{Ed} = 5,21$ [kN] Effort tranchant résultant dans le boulon $F_{Rdx} = 58,40$ [kN] Résistance résultante de calcul du boulon

[Tableau 3.4]

 $F_{Rdz} = 35,39$ [kN] Résistance résultante de calcul du boulon

[Tableau 3.4]

 $F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$ 5,00 < 58,40

vérifié

(0,09)

 $F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$ 1,47 < 35,39

vérifié

(0,04)

 $F_{Ed} \leq F_{VRd}$ 5,21 < 45,24

vérifié

(0,12)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 53,93$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 65,11$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 53,93$	vérifié (0,09)
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 65,11$	vérifié (0,08)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 53,78$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 53,78$	vérifié (0,09)

BARRE 2

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 1,47$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,21$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 58,40$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 35,39$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 58,40$	vérifié (0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$1,47 < 35,39$	vérifié (0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$5,21 < 45,24$	vérifié (0,12)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 53,93$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 65,11$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 53,93$	vérifié (0,09)
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 65,11$	vérifié (0,08)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 53,78$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b2,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 53,78$	vérifié (0,09)

BARRE 3

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 1,25$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,15$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 58,40$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 58,40$	vérifié (0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$1,25 < 30,97$	vérifié (0,04)

$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 58,40$	vérifié	(0,09)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,15 < 45,24$	vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 45,52$	vérifié (0,11)
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 56,40$	vérifié (0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 5,00 < 52,32$	vérifié (0,10)

BARRE 4

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,88$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,08$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 30,68$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 16,22$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 30,68$	vérifié (0,16)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$0,88 < 16,22$	vérifié (0,05)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,08 < 28,95$	vérifié (0,18)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 23,65$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 30,18$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 23,65$	vérifié (0,21)
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 30,18$	vérifié (0,17)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 38,71$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 5,00 < 38,71$	vérifié (0,13)

BARRE 5

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 1,25$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,15$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 58,40$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]

$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 58,40$	vérifié	(0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$1,25 < 30,97$	vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,15 < 45,24$	vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 45,52$	vérifié (0,11)
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 56,40$	vérifié (0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq V_{effRd}$	$15,001 < 52,32$	vérifié (0,10)

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,21

D . Assemblage membrure inférieure- Diagonal- Montant (noeud 10)



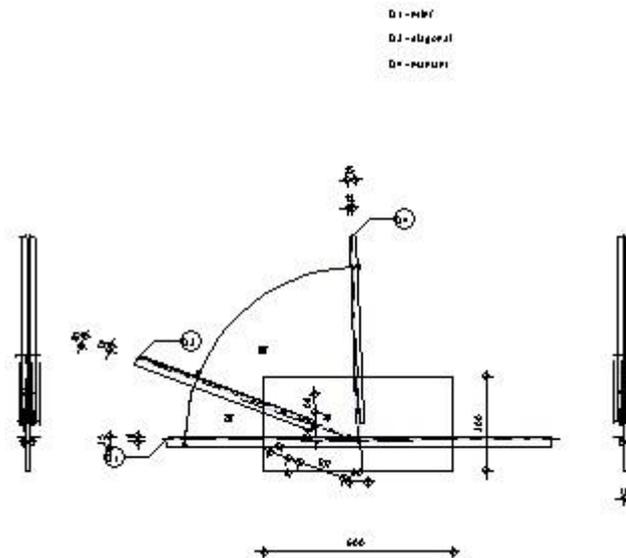
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018

Calcul de l'assemblage au gousset

NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009



Ratio
0,21



GENERAL

Assemblage N°: 3
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis
 Noeud de la structure: 148
 Barres de la structure: 655, 655, 665, 669,

Assemblage N°: 3

GEOMETRIE

BARRES

	Barre 1-2	Barre 3	Barre 4	
Barre N° :	655	665	669	
Profilé :	m inf	diagonal	mantant	
Matériau :	ACIER	ACIER	ACIER	
f_y	235000,00	235000,00	235000,00	kPa
f_u	365000,00	365000,00	365000,00	kPa
Angle	α 0,0	20,2	92,0	Deg
Longueur	1 4,88	0,56	4,88	m

BOULONS

Barre 1-2

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 2$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

Barre 3

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 150$ [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 = 6.6 Classe du boulon
 $d = 8$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 9$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 13$ [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

$l_p = 600$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine

GOUSSET

$l_p = 600$ [mm] Longueur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;50)

$e_v = 100$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_H = 300$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_0 = 0$ [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau: ACIER

$f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b1,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b2,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b3,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b4,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial

RESULTATS**BARRE 1-2****VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

$F_{x,Ed} = 0,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 0,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Ed} = 0,00$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		
$F_{Rdx} = 58,40$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$0,00 < 58,40$	vérifié	(0,00)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$0,00 < 30,97$	vérifié	(0,00)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$0,00 < 45,24$	vérifié	(0,00)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$0,00 < 45,52$	vérifié (0,00)
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$0,00 < 56,40$	vérifié (0,00)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 0,00 < 52,32$	vérifié (0,00)

BARRE 3

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 1,25$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,15$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 58,40$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 58,40$	vérifié (0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$1,25 < 30,97$	vérifié (0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$5,15 < 45,24$	vérifié (0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 45,52$	vérifié (0,11)
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 56,40$	vérifié (0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 52,32$	vérifié (0,10)

BARRE 4

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,88$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,08$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 30,68$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 16,22$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 30,68$	vérifié (0,16)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,88 < 16,22$	vérifié (0,05)

$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 30,68$	vérifié	(0,16)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,08 < 28,95$	vérifié	(0,18)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 23,65$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 30,18$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5 * N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 23,65$	vérifié (0,21)
$ 0.5 * N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 30,18$	vérifié (0,17)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 38,71$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5 * N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 5,00 < 38,71$	vérifié (0,13)

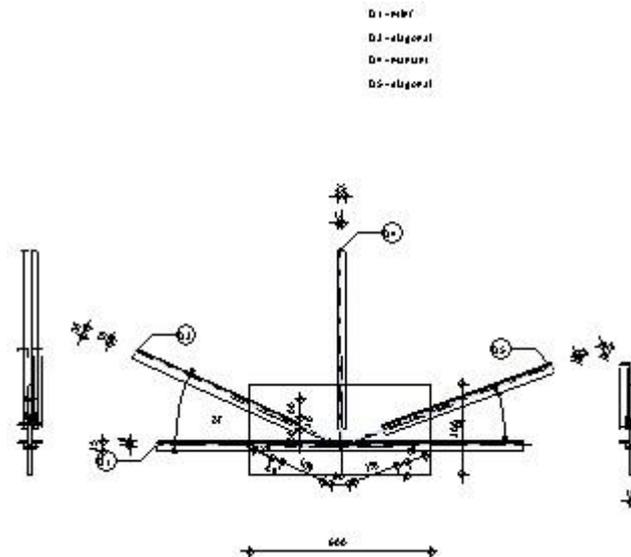
REMARQUES

Pince boulon-extrémité extérieur de la barre 2 trop faible 18 [mm] < 22 [mm]

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,21

E. Assemblage membrure inférieure- Diagonal -Montant (nœud 11)

	<p>Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018</p> <p>Calcul de l'assemblage au gousset</p> <p>NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009</p>	
		<p>Ratio</p> <p>0,21</p>



GENERAL

Assemblage N°: 4
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis
 Noeud de la structure: 144
 Barres de la structure: 655, 655, 666, 670, 667,

GEOMETRIE

BARRES

	Barre 1-2	Barre 3	Barre 4	Barre 5	
Barre N°:	655	666	670	667	
Profilé:	m inf	diagonal	mantant	diagonal	
Matériau:	ACIER	ACIER	ACIER	ACIER	
	f_y 235000,00	235000,00	235000,00	235000,00	kPa
	f_u 365000,00	365000,00	365000,00	365000,00	kPa
Angle	α 0,0	24,3	90,0	20,2	Deg
Longueur	l 4,88	0,67	2,60	4,88	m

BOULONS

Barre 1-2

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 e₂ = 18 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

Barre 3

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 150$ [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 = 6.6 Classe du boulon
 $d = 8$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 9$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 13$ [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 5

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 150$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

GOUSSET

$l_p = 600$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0 ; 50)

$e_v = 100$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_H = 300$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_0 = 0$ [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau: ACIER E24

$f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b1,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b2,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b3,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b4,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial
$N_{b5,Ed} =$	10,00	[kN]	Effort axial

RESULTATS**BARRE 1-2****VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

$F_{x,Ed} =$	0,00	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} =$	0,00	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} =$	0,00	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} =$	58,40	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} =$	30,97	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	0,00	<	58,40	vérifié (0,00)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	0,00	<	30,97	vérifié (0,00)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	0,00	<	45,24	vérifié (0,00)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} =$	45,52	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} =$	56,40	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$	0,00	<	45,52	vérifié (0,00)
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	0,00	<	56,40	vérifié (0,00)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} =$	52,32	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$	0,00	<	52,32	vérifié (0,00)

BARRE 3**VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

$F_{x,Ed} =$	5,00	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} =$	1,25	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} =$	5,15	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} =$	58,40	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{Rdz} = 30,97$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 58,40$	vérifié	(0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$1,25 < 30,97$	vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,15 < 45,24$	vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 45,52$	vérifié	(0,11)
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 56,40$	vérifié	(0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 5,00 < 52,32$	vérifié	(0,10)

BARRE 4

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 0,88$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Ed} = 5,08$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		
$F_{Rdx} = 30,68$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 16,22$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 30,68$	vérifié	(0,16)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$0,88 < 16,22$	vérifié	(0,05)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,08 < 28,95$	vérifié	(0,18)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 23,65$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 30,18$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 23,65$	vérifié	(0,21)
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 30,18$	vérifié	(0,17)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 38,71$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
$ 0.5*N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 5,00 < 38,71$	vérifié	(0,13)

BARRE 5

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 1,25$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{Ed} = 5,15$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		
$F_{Rdx} = 58,40$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 58,40$	vérifié	(0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$1,25 < 30,97$	vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,15 < 45,24$	vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 45,52$	vérifié	(0,11)
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 56,40$	vérifié	(0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 5,00 < 52,32$	vérifié	(0,10)

REMARQUES

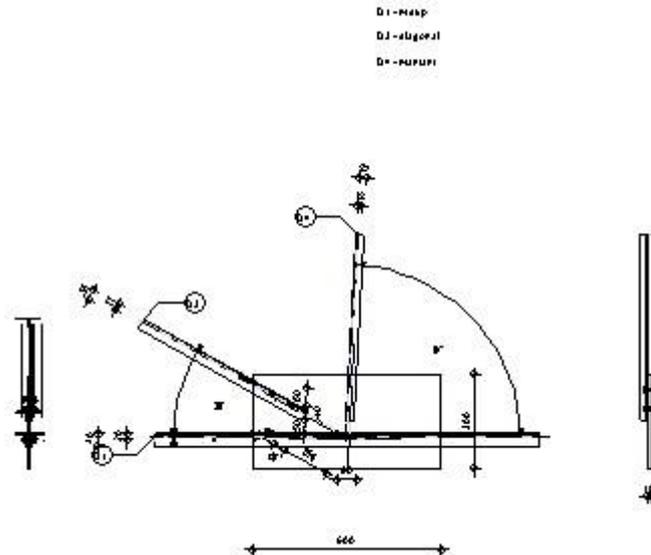
Pince boulon-extrémité extérieur de la barre 2 trop faible 18 [mm] < 22 [mm]

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,21

F. Assemblage membrure supérieure - Montant (nœud 2)

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 Calcul de l'assemblage au gousset NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	
		Ratio 0,21



GENERAL

Assemblage N°: 5
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis
 Noeud de la structure: 920
 Barres de la structure: 652, 652, 666, 669,

GEOMETRIE

BARRES

	Barre 1-2	Barre 3	Barre 4		
Barre N° :	652	666	669		
Profilé :	m sup	diagonal	mantant		
Matériau :	ACIER	ACIER	ACIER		
	f_y	235000,00	235000,00	235000,00	kPa
	f_u	365000,00	365000,00	365000,00	kPa
Angle	α	-0,0	29,6	86,8	Deg
Longueur	l	4,90	0,56	4,90	m

BOULONS

Barre 1-2

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon
 f_{yb} = 360000,00 [kPa] Limite de plasticité
 f_{ub} = 600000,00 [kPa] Résistance du boulon à la traction
 n = 2 Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 e₂ = 20 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

Barre 3

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 d = 10 [mm] Diamètre du boulon
 d₀ = 11 [mm] Diamètre du trou de boulon

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 150$ [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 = 6.6 Classe du boulon
 $d = 8$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 9$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 13$ [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

$l_p = 600$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;50)

$e_v = 100$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_H = 300$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_0 = 0$ [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau: ACIER E24
 $f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b1,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b2,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b3,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b4,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial

RESULTATS

BARRE 1-2

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 0,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 0,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Ed} = 0,00$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		
$F_{Rdx} = 58,40$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 35,39$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$0,00 < 58,40$	vérifié	(0,00)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$0,00 < 35,39$	vérifié	(0,00)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$0,00 < 45,24$	vérifié	(0,00)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 53,93$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 65,11$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$0,00 < 53,93$	vérifié	(0,00)
$ 0.5 \cdot N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$0,00 < 65,11$	vérifié	(0,00)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 53,78$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
$ 0.5 \cdot N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 0,00 < 53,78$	vérifié	(0,00)

BARRE 3

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 1,25$ [kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Ed} = 5,15$ [kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		
$F_{Rdx} = 58,40$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$ [kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$	$5,00 < 58,40$	vérifié	(0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$	$1,25 < 30,97$	vérifié	(0,04)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$	$5,15 < 45,24$	vérifié	(0,11)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$ [kN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$ [kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$	$5,00 < 45,52$	vérifié	(0,11)
$ 0.5 \cdot N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$	$5,00 < 56,40$	vérifié	(0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$ [kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
--------------------------	------------------------------------------------------------	--	--------------

$ 0.5 \cdot N_{b3,Ed} \leq V_{effRd}$	$ 5,00 < 52,32$	vérifié	(0,10)
----------------------------------------	------------------	----------------	--------

BARRE 4

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 0,88$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,08$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 30,68$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 16,22$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 30,68$	vérifié (0,16)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,88 < 16,22$	vérifié (0,05)
$F_{Ed} \leq F_{VRd}$		$5,08 < 28,95$	vérifié (0,18)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 23,65$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 30,18$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b4,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 23,65$	vérifié (0,21)
$ 0.5 \cdot N_{b4,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 30,18$	vérifié (0,17)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 38,71$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5 \cdot N_{b4,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 38,71$	vérifié (0,13)

REMARQUES

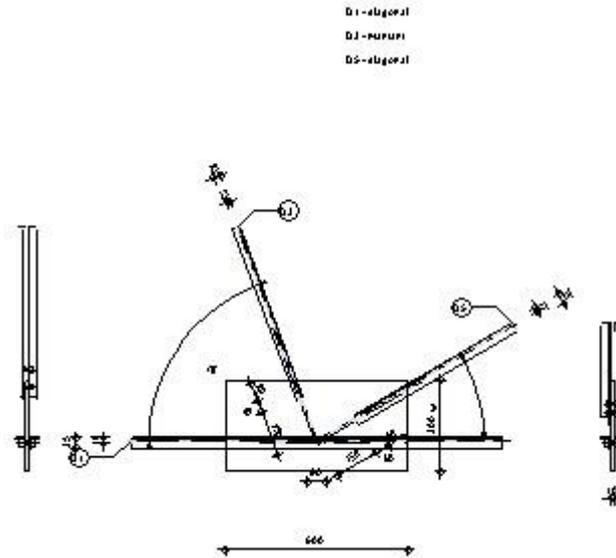
Pince boulon-extrémité extérieur de la barre 2 trop faible

20 [mm] < 22 [mm]

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,21

I. Assemblage Diagonal – Montant- Diagonal (nœud 12)

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2018 Calcul de l'assemblage au gousset NF EN 1993-1-8:2005/NA:2007/AC:2009	
		Ratio 0,21



GENERAL

Assemblage N°: 7
 Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis
 Noeud de la structure: 151
 Barres de la structure: 667, 667, 678, 668,

GEOMETRIE

BARRES

		Barre 1-2	Barre 3	Barre 5		
Barre N° :		667	678	668		
Profilé :		diagonal	mantant	diagonal		
Matériau :		ACIER	ACIER	ACIER		
	f_y	235000,00	235000,00	235000,00		kPa
	f_u	365000,00	365000,00	365000,00		kPa
Angle	α	0,0	69,8	30,7		Deg
Longueur	l	1,24	2,60	2,60		m

BOULONS

Barre 1-2

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

Classe = 4.8 Classe du boulon
 $d = 16$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 18$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 280000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 400000,00$ [kPa] Résistance du boulon à la traction
 $n = 2$ Nombre de colonnes des boulons
 Espacement des boulons 60 [mm]
 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

Barre 3

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

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $d = 8$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 9$ [mm] Diamètre du trou de boulon

Classe = 6.6 Classe du boulon
 $f_{yb} = 360000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 600000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 13$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 150$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 5

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

Classe = 4.8 Classe du boulon
 $d = 10$ [mm] Diamètre du boulon
 $d_0 = 11$ [mm] Diamètre du trou de boulon
 $f_{yb} = 280000,00$ [kPa] Limite de plasticité
 $f_{ub} = 400000,00$ [kPa] 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
 $e_2 = 18$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
 $e_c = 150$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

GOUSSET

$l_p = 600$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;50)

$e_v = 100$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_H = 300$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres
 $e_0 = 0$ [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau: ACIER E24
 $f_y = 235000,00$ [kPa] 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: Calculs manuels

$N_{b1,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b2,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b3,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial
 $N_{b5,Ed} = 10,00$ [kN] Effort axial

RESULTATS

BARRE 1-2**VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

$F_{x,Ed} = 0,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 0,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Ed} = 0,00$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		
$F_{Rdx} = 28,30$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,28$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$0,00 < 28,30$	vérifié	(0,00)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,00 < 30,28$	vérifié	(0,00)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$0,00 < 77,21$	vérifié	(0,00)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 28,42$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b1,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$0,00 < 28,42$	vérifié	(0,00)
$ 0.5 \cdot N_{b1,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$0,00 < 56,40$	vérifié	(0,00)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 44,58$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
$ 0.5 \cdot N_{b1,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 0,00 < 44,58$	vérifié	(0,00)

BARRE 3**VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS**

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial		
$F_{z,Ed} = 0,88$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant		
$F_{Ed} = 5,08$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon		
$F_{Rdx} = 30,68$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 16,22$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon		[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 30,68$	vérifié	(0,16)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$0,88 < 16,22$	vérifié	(0,05)
$F_{Ed} \leq F_{vRd}$		$5,08 < 28,95$	vérifié	(0,18)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 23,65$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette		[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 30,18$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute		[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b3,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 23,65$	vérifié	(0,21)
$ 0.5 \cdot N_{b3,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 30,18$	vérifié	(0,17)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 38,71$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous		[3.10.2 (3)]
---------------------	------	------------------------------------------------------------	--	--------------

$$|0.5 \cdot N_{b3,Ed}| \leq V_{effRd} \quad |5,00| < 38,71 \quad \text{vérifié} \quad (0,13)$$

BARRE 5

VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE POUR LES EFFORTS AGISSANT SUR LES BOULONS

$F_{x,Ed} = 5,00$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort axial	
$F_{z,Ed} = 1,25$	[kN]	Force résultante dans le boulon due à l'influence de l'effort tranchant	
$F_{Ed} = 5,15$	[kN]	Effort tranchant résultant dans le boulon	
$F_{Rdx} = 58,40$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{Rdz} = 30,97$	[kN]	Résistance résultante de calcul du boulon	[Tableau 3.4]
$F_{x,Ed} \leq F_{Rdx}$		$5,00 < 58,40$	vérifié (0,09)
$F_{z,Ed} \leq F_{Rdz}$		$1,25 < 30,97$	vérifié (0,04)
$F_{Ed} \leq F_{VRd}$		$5,15 < 30,16$	vérifié (0,17)

VERIFICATION DE LA SECTION DE LA POUTRE AFFAIBLIE PAR LES TROUS

$N_{u,Rd} = 45,52$	[kN]	Résistance de calcul de la section nette	[3.10.3]
$N_{pl,Rd} = 56,40$	[kN]	Résistance de calcul plastique de la section brute	[3.10.3]
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq N_{u,Rd}$		$5,00 < 45,52$	vérifié (0,11)
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq N_{pl,Rd}$		$5,00 < 56,40$	vérifié (0,09)

VERIFICATION DE LA BARRE POUR LE CISAILLEMENT DE BLOC

$V_{effRd} = 52,32$	[kN]	Résistance de calcul de la section affaiblie par les trous	[3.10.2 (3)]
$ 0.5 \cdot N_{b5,Ed} \leq V_{effRd}$		$ 5,00 < 52,32$	vérifié (0,10)

REMARQUES

Pince boulon-extrémité extérieur de la barre 1 trop faible	18 [mm] < 22 [mm]
Pince boulon-extrémité extérieur de la barre 2 trop faible	18 [mm] < 22 [mm]
Boulon hors de la platine pour la barre 3	

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,21

CHAPITRE 9 : Etude du pont roulant

9.1. Introduction

Ce chapitre représente le calcul de la voie de roulement d'un hangar de 19,4 m de portée abritant un pont roulant bipoutre de 5T de puissance.

9.2. Caractéristiques de pont roulant

Dans notre projet le pont roulant choisi est un pont roulant bipoutre, les ponts roulants ont les caractéristiques qui sont fournies par le constructeur de la marque ABUS.

Tableau9.1 : Caractéristique du pont roulant

Puissance (t)	Portée (m)	Vitesse (m/min)			Poids (t)			Réaction (KN)	
		levage	direction	translation	Pont B	Chariot K	Charge B+K	R _{MAX}	R _{MIN}
	9,2	7	30	100	6	3,5	9	30,6	6,9

Tableau9.2: Caractéristique géométriques du pont roulant.

Puissance (t)	L (m)	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)	e(m)
N = 5	9,2	0,66	0,15	0,2	0,77	2,7

❖ Classement des ponts roulants

Cette classification a été établie par la fédération européenne de la manutention F.E.M.

➤ Conditions d'utilisations :

- Classe A : utilisation occasionnelle avec longue périodes de repos.
- Classe B : utilisation régulière en service intermittent.
- Classe C : utilisation régulière avec service intensif.
- Classe D : service intensif sévère.

Dans notre projet utilisation régulière en service intermittent : classe B.

➤ Etat de charge :

0 : Charges très faibles soulevées couramment, charges nominale soulevée exceptionnellement.

1 : Charges très de l'ordre du tiers de la charge nominale courant, charge nominale soulèvement rarement.

2 : Charges entre le tiers et les deux tiers de la charge nominale courant, charge nominale assez fréquente.

3 : Charges régulièrement au voisinage de la charge nominale dans notre projet l'état de charge : 2

Tableau 9.3: Les coefficients et classement de pont roulant

Groupe	La flèche	Chemin de roulement Q_1	Support de chemin de roulement Q_2	Classement
I	1/500	1,05	1	A ₁ / A ₂ / B ₁ / C ₁
II	1/500	1,15	1,05	A ₃ / B ₂ / C ₂
III	1/750	1,25	1,1	B ₂ / C ₃
IV	1/750	1,35	1,15	/

Dans notre projet (B₂ / groupe II) : $Q_1 = 1,55$; $Q_2 = 1,05$

9.3. Définition des charges et coefficients

A. Charge Verticales $R_{V_{max}}$:

- Le poids des poutres de roulement.
- Le poids du pont, du chariot et de la charge soulevée.
- Les surcharges sur passerelles si elles existent.

$$R_{V_{max}} = Q_1 \cdot R_{max} = 1,15 \times 30,06 = 35,19 \text{ KN}$$

$$R_{V_{min}} = Q_1 \cdot R_{min} = 1,15 \times 6,9 = 7,94 \text{ KN}$$

B. Charges horizontales transversales $R_{H_{max}}$:

- Réaction transversales provoqué par les roulements.
- Freinage de direction.
- Vent sur la poutre dans le cas des poutres de roulement à l'extérieur du hangar.

$$R_{H1_{max}} = \pm \left[0,024 (K + N + B) \frac{L}{e} + 0,021 (N + K) \right]$$

$$R_{H1\max} = \pm \left[0,024 (3,5 + 5 + 6) \frac{9,2}{2,7} + 0,021 (5 + 3,5) \right] = \mp 13,6 \text{ KN}$$

$$R_{H1\min} = \pm \left[0,024 (K + N + B) \frac{L}{e} + 0,021 (N + K) \right]$$

$$R_{H1\min} = \pm \left[0,024 (3,5 + 5 + 6) \frac{9,2}{2,7} + 0,021 (5 + 3,5) \right] = \mp 10,01 \text{ KN}$$

C. Charges horizontales longitudinales R_{\max} :

- Freinage longitudinale (de translation).
- Effet de tamponnement.
- Vent sur pont s'il est à l'extérieur du hangar.

$$R_{\max} = C \cdot R_{\max} = 0,2 \times 30,06 = 6,12 \text{ KN}$$

$$R_{\min} = C \cdot R_{\min} = 0,2 \times 6,9 = 1,38 \text{ KN}$$

E. Coefficients :

- Coefficient d'adhérence d'un galet sur son rail $c = 0,2$
- Coefficient de majoration : $\psi_1 = 1,15$ / $\psi_2 = 1,05$

F. Choix du rail :

Le tableau surcharges admissible sur les galets, nous donne en fonction du diamètre des galets, les caractéristiques du rail on prend comme du pont roulant A65.

Tableau 9.4: caractéristiques du rail A65

A 65	A (cm ²)	P (kg/m)	I (cm ⁴)	Wy(cm ³)	Iz (cm ³)	Wz(cm ³)	k (mm)	hr (mm)
	55,4	43,5	327	73,3	609	69,6	65	75

9.4. Dimensionnement de la poutre de roulement

La flèche admissible est obtenue quand les deux charges sont en position symétrique par rapport au milieu de la poutre.

$$f \leq f_{\text{adm}} = \frac{L}{750} = \frac{400}{750} = 0,53 \text{ cm}$$

$$f = \frac{P \cdot a \cdot l^2}{24 \cdot E \cdot I} \left(3 - \frac{4a^2}{l^2} \right)$$

$$I_4 \geq \frac{P \cdot a \cdot l^2 (3l^2 - 4a^2)}{f \times 24 \cdot E \cdot I} = \frac{35190 \times 650 \times 4000^2 (3 \times 4000^2 - 4 \times 650^2)}{5,3 \times 24 \times 2,1 \times 10^5 \times 4000^2} = 3965,53 \text{ cm}^4$$

Donc on choisit HEB200 dont les caractéristiques sont :

$I_4 = 5696 \text{ cm}^4$; $W_{\text{ply}} = 642,5 \text{ cm}^3$; $A = 78,08 \text{ cm}^2$; $I_z = 2003 \text{ cm}^4$; $W_{\text{plz}} = 305,8 \text{ cm}^3$; $G = 61,3 \text{ kg/m}$;

$h = 200 \text{ mm}$; $b = 200 \text{ mm}$; $t_f = 15 \text{ mm}$; $t_w = 9 \text{ mm}$

- Classe du profilé :

$$A_{me} : \frac{d}{t_w} = \frac{134}{9} = 14,89 < 72\varepsilon \dots\dots \hat{a}me \text{ classe 1}$$

$$\text{Semelle} : \frac{b/2}{t_f} = \frac{100}{17} = 5,88 < 10\varepsilon \dots\dots \text{Semelle classe 1}$$

Donc le profilé est de classe 1.

A. Vérification de la flèche :

$$f = f_1 + f_2 < f_{adm} = \frac{L}{750} = \frac{400}{750} = 0,53 \text{ cm}$$

- Les deux charges sur galets :

$$f_1 = \frac{P \cdot a \cdot l^2}{24 \cdot E \cdot I} \left(3 - \frac{4a^2}{l^2} \right)$$

$$f_1 = \frac{35190 \times 650 \times 4000^2}{24 \times 2,1 \times 10^5 \times 5696 \times 10^4} \left(3 - \frac{4 \times 650^2}{4000^2} \right) = 3,69 \text{ mm}$$

- Le poids propre de la poutre :

$$f_2 = \frac{5Q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 1,05 \times 4000^4}{384 \times 2,1 \times 10^5 \times 5696 \times 10^4} = 0,29 \text{ mm}$$

$$f = f_1 + f_2 = 3,98 \text{ mm}$$

$$f = 3,98 \text{ mm} < f_{adm} = 5,3 \text{ mm} \quad \text{vérifiée}$$

B. Vérification du profilé sous charges verticales :

- Vérification à l'ELU (effort tranchant + moment fléchissant) : $V_{sd} \leq 0,5 V_{plrd}$

$$\bullet V_{plrd} = \frac{0,5 A_v \cdot f_y}{\gamma_{mo}} = \frac{0,5 \times 2483 \times 235}{1,1} = 265,23 \text{ KN}$$

$$\bullet V_{sd} = R_{V_{max}} \cdot \frac{4a}{l} + \frac{G \cdot L}{4} = 35,19 \frac{4 \times 0,65}{4} + \frac{1,05 \times 4}{4} = 24,19 \text{ KN}$$

$$G = G_{poutre} + G_{rail}$$

$$V_{sd} = 24,19 \text{ KN} \leq 0,5 V_{plrd} = 265,23 \text{ KN} \quad \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

- L'effort tranchant peut être négligé et donc la vérification devient : $M_{ysd} \leq M_{crd}$

$$\bullet M_{crd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{mo}} = \frac{642,5 \times 10^3 \times 235}{1,1} = 137,26 \text{ KN.m}$$

M_{ysd} : Moment sollicitant due à RV et poids propre de chemin de roulement.

$$\bullet M_{ysd} = 1,35 M_{pp} + 1,5 M_V = 1,35 \frac{R_{V_{max}}}{l} \left(\frac{l}{2} - \frac{e}{4} \right)^2 + 1,5 \frac{G \cdot l^2}{8}$$

$$M_{ysd} = 1,35 \frac{2 \times 35,19}{4} \left(\frac{4}{2} - \frac{2,7}{4} \right)^2 + 1,5 \frac{1,05 \times 4^2}{8} = 44,85 \text{ KN.m}$$

$$M_{ysd} = 44,85 \text{ KN.m} \leq M_{crd} = 137,26 \text{ KN.m} \quad \dots\dots \text{Vérifiée}$$

C. Vérification du profilé sous charges horizontale

$$M_{sd} < M_{crd}$$

- $M_{crd} = \frac{W_{plz} \cdot f_y}{\gamma_{mo}} = \frac{305,8 \times 10^3 \times 235}{1,1} = 65,33 \text{ KN.m}$

M_{ysd} : Moment sollicitant due à RH

- $M_{sd} = 2 \frac{R_H}{L} \left(\frac{l}{2} - \frac{e}{4} \right)^2 = \frac{2 \times 13,6}{4} \left(\frac{4}{2} - \frac{2,7}{4} \right)^2 = 11,94 \text{ KN.m}$

$M_{sd} = 11,94 \text{ KN.m} < M_{crd} = 65,33 \text{ KN.m} \dots\dots\dots$ verifier

D. Résistance de l'âme au voilement par cisaillement

Si $\frac{d}{t_w} \leq 69\epsilon$ il n'est pas nécessaire de vérifier le voilement par

cisaillement

$\epsilon = 1$ (S235)

$\frac{d}{t_w} = \frac{134}{9} = 14,89 < 69\epsilon$

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

E. Résistance au déversement

Selon le CCM97, le moment résistant est donnée par la formule suivante :

$M_{brd} = \frac{K_{LT} \cdot B_w \cdot W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{m1}}$

Avec : $B_w = 1$ (section de classe 1) / $\alpha_{LT} = 0,21$ pour profilé laminé

- $\lambda_{LT} = \frac{l \left(\frac{W_{ply}^2}{I_z \cdot I_w} \right)^{0,25}}{C_1^{0,5} \left[1 + \frac{l^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_w} \right]^{0,25}} = \frac{4000 \left(\frac{612300^2}{I_z \cdot I_w} \right)^{0,25}}{1,132^{0,5} \left[1 + \frac{4000^2 \times 8,06 \times 10^6 \times 59,28 \times 10^4}{\pi^2 \times 2,1 \times 10^5 \times 171 \times 10^9} \right]^{0,25}} = 18,26$

- $\overline{\lambda}_{LT} = \left[\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \sqrt{B_w} = \frac{18,26}{93,9} = 0,19 < 0,4$

Donc il y'a pas risque de déversement.

F. Résistance de l'âme à la charge transversale

Résistance à l'écrasement : $F_{sd} \leq R_{yrd}$

- $R_{yrd} = \frac{S_y \cdot t_w \cdot f_{yw}}{\gamma_{m1}}$ l'effort résistant à l'écrasement

- $S_y = 2 (h_r + t_f) \sqrt{\left(1 - \left(\frac{\gamma_{mo} \cdot \sigma_{FED}}{F_{yf}} \right)^2 \right)}$ longuer d'appui rigide

AN :

- $\sigma_{FED} = \frac{M_{ysd}}{W_{ely}} = \frac{11,94 \times 10^6}{569,6 \times 10^3} = 20,96 \text{ N/mm}^2$

- $S_y = 2 (75 + 15) \sqrt{\left(1 - \left(\frac{1,1 \times 20,96}{235}\right)^2\right)} = 0,18 \text{ mm}$

- $R_{yrd} = \frac{0,18 \times 103 \times 9 \times 235}{1,1} \times 10^{-3} = 346,09 \text{ KN}$

$F_{sd} = R_{hmax} = 13,6 \text{ KN} < R_{yRd} = 346,09 \text{ KN} \dots\dots\dots$ vérifier

➤ Résistance à l'enfoncement local :

$F_{sd} \leq R_{yrd}$

$M_{sd} < M_{crd}$

$\frac{F_{sd}}{R_{ard}} + \frac{M_{sd}}{M_{crs}} \leq 1,5$

- $R_{ard} = 0,5 \cdot t_w^2 \cdot (E \cdot F_{yw})^{0,5} \left[\left(\frac{t_f}{t_w}\right)^{0,5} + 3 \left(\frac{t_w}{t_f}\right) \cdot \left(\frac{S_s}{d}\right) / y_{mo} \right]$

$R_{ard} = 0,5 \cdot 9^2 \cdot (2,1 \times 10^5 \times 235)^{0,5} \left[\left(\frac{15}{9}\right)^{0,5} + 3 \left(\frac{9}{15}\right) \cdot (0,2) / 1,1 \right] = 427,02 \text{ KN}$

- $F_{sd} = R_{Hmax} = 13,6 \text{ KN} < R_{ard} = 427,02 \text{ KN} \dots\dots\dots$ vérifiée

$M_{sd} = 44,85 \text{ KN.m} < M_{crd} = 137,26 \text{ KN.m} \dots\dots\dots$ vérifiée

$\frac{F_{sd}}{R_{ard}} + \frac{M_{sd}}{M_{crs}} = 0,36 \leq 1,5 \dots\dots\dots$ Vérifiée

G. Résistance au voilement de l'âme : $b_{eff} \leq b$

- $b_{eff} = \sqrt{h^2 + S_s^2} = \sqrt{200^2 + 86,83^2} = 218,04 > \dots\dots\dots$ non vérifiée

l'ame ne résiste pas un voilement local dans ce cas on rajoute des raidisseurs transversaux intermédiaires d'une épaisseur de 10 mm, soudés avec des cordons de 8 mm chaque 1m le long du chemin de roulement.

H. Flambement de la semelle comprimé dans le plan de l'âme

$\frac{d}{t_w} \leq K \cdot \frac{E}{F_{yt}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$

- $A_w = t_w (h - 2t_f) = 9(200 - 2 \times 15) = 1530 \text{ mm}^2$

- $A_{fc} = b \cdot t_f = 200 \times 15 = 3000 \text{ mm}^2$

- $F_{yt} = 235 \text{ N/mm}^2$

- K : coefficient près égale 0,3 pour une semelle de classe 1

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{t_w} = \frac{134}{9} = 14,89 \\ K \cdot \frac{E}{F_{yt}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0,3 \frac{2,1 \times 10^5}{235} \sqrt{\frac{1530}{3000}} = 191,45 \end{array} \right.$$

$\frac{d}{t_w} = 14,89 < 191,45$

Il n'y a pas risque de flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme.

9.5. Dimensionnement du support de chemin de roulement

Le chemin de roulement est supporté par une console qui est sollicité par les efforts suivante :

- Le poids propre de la poutre de roulement et du rail.
- Les actions verticales et horizontales des galets du pont roulant.
- Le poids propre de la console elle-même.

➤ **Charge verticale :**

- Charge non pondérée :

$$P_1 = Q \cdot l + R_{V\max} \left(2 - \frac{e}{l}\right) \psi_2 = 1,05 \times 4 + 35,19 \left(2 - \frac{2,7}{4}\right) \times 1,05 = 53,16 \text{ KN}$$

- Charge pondérée :

$$P_2 = 1,35 Q \cdot l + 1,5 R_{V\max} \left(2 - \frac{e}{l}\right) \psi_2 = 1,35 \times 1,05 \times 4 + 1,5 \times 35,19 \left(2 - \frac{2,7}{4}\right) \times 1,05$$

$$P_2 = 79,11 \text{ KN}$$

➤ **Charge horizontale :**

$$P_H = 1,5 R_H \left(1 - \frac{e}{l}\right) \psi_2 = 1,5 \times 13,6 \left(1 - \frac{2,7}{4}\right) \times 1,05 = 6,96 \text{ KN}$$

➤ **Condition de la flèche :**

La longueur de chemin de roulement $d_2 = 280 \text{ mm}$ / $d_1 = 140 \text{ mm}$

La flèche du support de roulement est limitée à $\frac{d}{500}$

$$P = P_1 \cdot \frac{d^3}{3 E \cdot I} \leq \frac{d}{500}$$

$$I \geq \frac{P_1 d^2 \cdot 500}{3E} = \frac{53,16 \times 10^3 \times 140^2 \times 500}{3 \times 2,1 \times 10^5} = 82,62 \text{ cm}^4$$

Selon le moment d'inertie obtenue on choisit HEB100 de caractéristique suivante :

classe1 (Env 1993-1-1)

$$I_y = 449,5 \text{ cm}^4 \quad / \quad I_z = 167,3 \text{ cm}^4 \quad / \quad G = 20,4 \text{ kg/m} \quad / \quad h = 100 \text{ mm} \quad / \quad t_B = 100 \text{ mm}$$

$$W_{ply} = 104,2 \text{ cm}^3 \quad / \quad A = 26,04^2 \quad / \quad B = 100 \text{ mm} \quad / \quad t_w = 6 \text{ mm} \quad / \quad W_{plz} = 167,3 \text{ cm}^3$$

A. Vérification au flambement de la semelle comprimé dans le plan de l'âme :

$$\frac{d}{t_w} \leq K \cdot \frac{E}{F_{yt}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

- $A_w = t_w (h - 2t_f) = 6 (100 - 2 \times 10) = 480 \text{ mm}^2$
- $A_{fc} = b \cdot t_f = 100 \times 10 = 1000 \text{ mm}^2$

$$AN : \frac{d}{t_w} = \frac{56}{6} = 9,33 \leq 0,3 \frac{2,1 \times 10^5}{235} \sqrt{\frac{480}{1000}} = 185,73$$

Il n'y a pas de flambement de la semelle comprimé dans le plan de l'âme.

B. Vérification à l'effort tranchant + Moment fléchissant :

$$V_{sd} \leq V_{plRd}$$

- $V_{plRd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{mo} \sqrt{3}} = \frac{904 \times 235}{1,1 \sqrt{3}} = 111,5 \text{ KN}$

$$V_{sd} = P_2 = 79,11 \text{ KN} \leq 0,5 V_{plRd} = 55,75 \text{ KN}$$

Pas vérifié on augmente la section HEB160

- $V_{plRd} = \frac{1759 \times 235}{1,1 \sqrt{3}} = 216,96 \text{ KN}$

$$V_{sd} = 79,11 \text{ KN} < 0,5 V_{plRd} = 108,48 \text{ KN} \dots\dots\dots \text{Vérifiée}$$

Donc n'y a pas lieu de vérifier l'effort tranchant.

La condition devient : $M_{ysd} \leq M_{crd}$

- $M_{ysd} = P_2 \cdot d_2 = 79,11 \times 0,14 = 11,08 \text{ KN.m}$

- $M_{crd} = \frac{W_{ply} \cdot f_y}{\gamma_{mo}} = \frac{354 \times 10^3 \times 235}{1,1} = 75,63 \text{ KN.m}$

$$M_{ysd} = 11,08 \text{ KN.m} < M_{crd} = 75,63 \text{ KN.m}$$

C. Vérification de la flèche :

$$f_{\max} \leq f_{adm} = \frac{d_1}{500} = \frac{280}{500} = 0,56 \text{ mm}$$

$$f_{\max} = \frac{P \cdot d \cdot e^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{53160 \times 140^3}{3 \times 2,1 \times 10^5 \times 2492 \times 10^4} = 0,01 \text{ mm} < 0,56 \text{ mm} \text{ vérifiée}$$

Conclusion :

Le profilé en HEB200 vérifiée bien les conditions de résistance et de stabilité de la poutre de roulement et aussi le support de chemin de roulement (HEB160) est vérifiées.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

- Notre projet de fin d'étude est une phase importante dans le cycle de formation de l'ingénieur et c'est la meilleure occasion pour mettre en évidence toutes les connaissances théoriques acquises durant 5 ans dans cette formation.
- En plus il m'a donné l'avantage d'approfondir mes connaissances en ce qui concerne les codes de construction appliqués en vigueur dans le domaine de la construction métallique.
- La bonne maîtrise des codes de calcul et les logiciels sont très importants pour une meilleure précision et optimisation d'éléments constructifs.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- DAHMANI LAHLOU 2012 : calcul des éléments résistants d'une construction métallique selon l'Eurocode 03 office des publications universitaires Tizi-ouzou.
- CCM97 « Règle de calcul des construction en acier »
- EUROCODE 3 « Calcul des structure en acier »
- DTR-C22 « Document technique règlement charges permanentes et charges d'exploitations »
- RPA99-V03 « Règle parasismique algériennes RPA99 version 2003 »
- RNV99-V2013 « Règle définissant les effets de la neige et du vent »
- BAEL91 « Béton armé aux état limites »
- CTCM « Calcul du pont roulant »

