

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Année 2019

**MEMOIRE**

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

*Thème :*

**Réalisation d'une unité de production de joints hydrauliques  
en charpente métallique ( hangar à multiple versants )**

**Domaine : Sciences et Technique**

**Spécialité :**

**GENIE CIVIL**

**OPTION**

**CONSTRUCTIONS METALLIQUES ET MIXTES**

**Par**

**Noms, Prénoms des Etudiants (es)**

**1/ Diabi Boubakeur Redouane**

**2/Boussadia Chems Eddine**

**DIRECTEUR DU MEMOIRE : MME Mezighech Nawel. GRADE, GENIE CIVIL, U B M ANNABA**

DEVANT LE JURY

**PRESIDENT : FELLAH FARID**

**EXAMINATEURS : SLIMANI FAYÇAL**

**MME MEZIGHECHE NAWEL**

## ***REMERCIEMENT***

Nous adressons nos plus sincères sentiments de reconnaissance et de remerciements envers le bon DIEU, le clément et le miséricordieux, lequel nous a accordé la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à nos deux encadreurs :

Madame Mezighech Nawel et Mr. Hadidane Yazid pour le temps qu'il nous ont accordé, de leur confiance, de leur aide scientifique ainsi que leur précieux conseils.

Nous saisissons cette occasion pour vous exprimer notre profonde gratitude tout en vous témoignant notre respect.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce travail.

Enfin, nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, apporté aide et encouragement.

*Merci à tous*

*Boussadia. C & Diabi. B*

## *liste des figures*

II.4.2. Valeurs Cpi pour le versant 1 : .....	23
II.4.2. Valeur Cpi pour versants : 2, 3, 4, 5 et 6 :.....	24
II.4.2. Répartition du coefficient de pression extérieur sur les parois verticales :.....	25
II.4.2. Vue sur les ouvertures : .....	27
III.3.Charge du vent et de la neige sur une poutre.....	33
III.7.1 Panne vis-à-vis du déversement : .....	39
Figure IV.3. Charge permanente : .....	55
Figure IV.3 Charge du poids propre : .....	55
Figure IV.3 Charge d'entretien : .....	56
Figure IV.3 Charge de V1 : .....	56
Figure IV.3. Charge de V2 : .....	57
Figure IV.3. Charge de V3 : .....	57
Figure IV.3. Charge de V4 : .....	57
Figure IV.3. Charge de la neige : .....	58
Figure IV.3. Cas de chargement le plus défavorable :.....	58
IV.7.1 Contreventement horizontales : .....	68
IV.7.3. Contreventement vertical : .....	70
V.1. Représentation de l'assemblage Poteau – Traverse :.....	74
V.7.1 Représentation de l'assemblage traverse _ traverse :.....	79

<b>V.8.1. schéma de jonction poteau-fondation : .....</b>	<b>84</b>
<b>VI.4. Disposition des armatures :.....</b>	<b>91</b>
<b>VII.2. Corrosion différenciée sur deux métaux plus et moins oxydables :..</b>	<b>93</b>
<b>VII.3. Protection par peinture intumescente : .....</b>	<b>95</b>
<b>VII.3. Protection par produits projetés : .....</b>	<b>96</b>
<b>VII.3. Protection par produits en plaque : .....</b>	<b>97</b>

## *liste des tableaux*

II.4.2. Tableau de pression extérieure ( paroi verticale long pong ) :.....	26
II.4.2. Tableau de pression extérieure ( paroi verticale pignon ) :.....	28
II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V2 ( Long-Pan ) :.....	28
II.4.2. Pression sur la toiture versant 1 direction V2 ( Long-Pan ) :.....	28
II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 2 et 3 ; direction v2 (long-pan).....	29
II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 4,5 et 6 ; direction v2 (long pan) :.....	29
II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V4 ( Long-Pan ) :.....	29
II.4.2. Pression sur la toiture versant 1 direction V4 ( Long-Pan ) :.....	30
II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 2 et 3 ; direction v4 (long-pan) : .....	30
II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 4 . 5 et 6 ; direction v4 (long-pan) :.....	30
II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V1 ( pignon ) :.....	30
II.4.2. Pression sur la toiture direction V1 ( pignon ) :.....	31
II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V3 ( pignon ) :.....	31
II.4.2. Pression sur la toiture direction V3 ( Pignon ) :.....	31
III.8.2 Les caractéristique de profile IPE 140 : .....	43

**III.9.2 Les caractéristique de profile IPE 240 : .....47**

**Tableau IV.4.1. Caractéristiques de profilés HEA 300 :.....59**

**Tableau IV.6.1 Caractéristique du profilé : .....63**

## ***LISTE DES NOTATIONS***

$A$  : Section brute d'une pièce ;

$A_{\text{net}}$  : Section nette d'une pièce ;

$A_w$  : Section de l'âme ;

$A_v$  : Aire de cisaillement

$C_t$  : Coefficient de topographie ;

$C_r$  : Coefficient de rugosité ;

$C_p$  : Coefficient de pression ;

$C_e$  : Coefficient d'exposition ;

$C_d$  : Coefficient dynamique ;

$E$  : Module d'élasticité longitudinale de l'acier ;

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

$G$  : Charge permanente ;

$I$  : Moment d'inertie ;

$K$  : Coefficient d'encastrement ou de Rigidité poteaux/Poutre ;

$K_0$  : Coefficient de flambement ;

$K_T$  : Facteur de terrain ;

$L$  : Longueur ;

$M_{Sd}$  : Moment sollicitant;

$M_{Rd}$  : Moment résistant par unité de longueur dans la plaque d'assise ;

$M_{Pl}$  : Moment plastique ;

$M_{Cr}$  : Moment critique ;

$M_{b,Rd}$  : Valeur de calcul de la résistance au déversement ;

$N_{pl,Rd}$  : Valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute ;

$N_{b,Rd}$  : Valeur de calcul d'un élément comprimé au flambement ;

$N_{Sd}$  : Effort normal ;

$N_{t, sd}$  : Effort normal de traction ;

$N_{c, sd}$  : Effort normal de compression ;

$N_{pl}$  : Effort normal plastique ;

$N_{c, Rd}$  : Valeur de calcul de la résistance de la section transversale à la compression uniforme ;

$Q$  : Charge d'exploitation ;

$R$  : Coefficient de comportement de la structure ;

$S$  : Surface ;

$S$  : La charge de la neige ;

$S_k$  : La charge de la neige sur le sol ;

$V_{sd}$  : Valeur de calcul de l'effort tranchant ;

$V_{pl, Rd}$  : Valeur de calcul de la résistance plastique au cisaillement ;

$V_{réf}$  : Vitesse de référence du vent ;

$W_{el}$  : Module de résistance élastique ;

$W_{pl}$  : Module de résistance plastique ;

$W$  : Poids de la structure

$d$  : Diamètre d'une section circulaire ;

$f$  : La flèche ;

$f_y$  : Limite d'élasticité ;

$h$  : Hauteur d'une pièce ;

$l$  : Longueur d'une pièce (Poutre, Poteau);

$l_f$  : Longueur de flambement ;

$r$  : Rayon d'une section circulaire ;

$t$  : Épaisseur d'une pièce ;

$t_f$  : Épaisseur d'une semelle de poutre ;

$t_w$  : Épaisseur de l'âme de poutre ;

$z$  : Hauteur au-dessus du sol ;  
 $z_0$  : Paramètre de rugosité ;  
 $z_{eq}$  : Hauteur équivalente ;  
 $Z_{min}$  : Hauteur minimale ;  
 $\chi$  : Coefficient de réduction pour le mode de flambement approprié ;  
 $\beta$  : Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation ;  
 $\beta_w$  : Facteur de corrélation ;  
 $\beta_M$  : Facteur de moment uniforme équivalent ;  
 $\lambda_M$  : Coefficient de sécurité ;  
 $\lambda$  : Élancement ;  
 $\lambda_{LT}$  : Élancement de déversement ;  
 $\alpha$  : Facteur d'imperfection ;  
 $\emptyset$  : Rotation ;  
 $\emptyset_{LT}$  : Rotation de déversement ;  
 $\tau$  : Contrainte limite de cisaillement en élasticité ;  
 $\varepsilon$  : Coefficient de réduction élastique de l'acier ;  
 $\xi$  : Pourcentage d'amortissement critique ;  
 $\eta$  : Facteur de correction d'amortissement ;  
 $\delta_{ek}$  : Déplacement dû aux forces sismiques  $F_i$  ;  
 $\mu$  : coefficient de forme de la charge de neige ;

# *Sommaire*

<b>Remerciements</b> :.....	<b>2</b>
<b>Liste des figures</b> :.....	<b>3</b>
<b>Liste des tableaux</b> :.....	<b>5</b>
<b>Liste des notations</b> :.....	<b>6</b>
<b>Sommaire</b> : .....	<b>9</b>
<i>Introduction générale</i> :.....	<i>13</i>
<b>Chapitre I : Généralités</b> : .....	<b>14</b>
<b>I.1. Introduction</b> : .....	<b>14</b>
<b>I.2. Les avantages de l'acier</b> :.....	<b>14</b>
<b>I.3. Les inconvénients</b> :. ....	<b>15</b>
<b>I.4. Présentation de l'ouvrage</b> :.....	<b>16</b>
<b>I.5. Données concernant le site</b> :.....	<b>16</b>
<b>I.6. Règlements utilisés</b> :.....	<b>16</b>
<b>I.7. Logiciel utilisé</b> :.....	<b>16</b>
<b>I.8. Matériau utilisé</b> :.....	<b>16</b>
<b>I.8.1. l'acier de construction</b> :.....	<b>16</b>
<b>Chapitre II : Evaluation des charges</b> :... ..	<b>17</b>
<b>II.1.Introduction</b> :.....	<b>17</b>
<b>II.2.Charges permanentes</b> : .....	<b>17</b>
<b>II.3.Surcharges d'exploitation</b> : .....	<b>17</b>
<b>II.4.Surcharges climatiques</b> .....	<b>17</b>

<b>II.4.1. Charge de la neige :</b>	<b>17</b>
<b>II.4.2. Charge du vent :</b>	<b>19</b>
<b>Chapitre III : Elément secondaires :</b>	<b>32</b>
<b>III.1. Caractéristiques géométriques :</b>	<b>32</b>
<b>III.2. Les Pannes :</b>	<b>33</b>
<b>III.3. Charges à prendre en considération :</b>	<b>33</b>
<b>III.4. Espacement entre pannes :</b>	<b>33</b>
<b>III.5. Dimensionnement des pannes :</b>	<b>34</b>
<b>III.6. Classification profilé IPE140 :</b>	<b>37</b>
<b>III.7. Vérification des contraintes :</b>	<b>38</b>
<b>III.7.1. Résistance au déversement :</b>	<b>39</b>
<b>III.7.2. Résistance au voilement par cisaillement :</b>	<b>41</b>
<b>III.7.3. Stabilité au flambement de la semelle :</b>	<b>41</b>
<b>III.8.1. Calcul des efforts dans les liernes :</b>	<b>42</b>
<b>III.8.2 Dimensionnement des liernes :</b>	<b>42</b>
<b>III.8.3. Vérification de flèche :</b>	<b>45</b>
<b>III.9.1. Calcul des potelets :</b>	<b>46</b>
<b>III.9.2. Dimensionnement des potelets :</b>	<b>46</b>
<b>III.9.3. Classe du profilé :</b>	<b>48</b>
<b>III.9.4 Résistance du potelet au flambement :</b>	<b>50</b>
<b>Chapitre IV : dimensionnement des éléments structuraux :</b>	<b>54</b>
<b>IV.1. Introduction :</b>	<b>54</b>
<b>IV.2. Choix de profilé :</b>	<b>54</b>

<b>IV.3. Bilan des charges :</b> .....	<b>55</b>
<b>IV.4. Dimensionnement des poteaux :</b> .....	<b>58</b>
<b>IV.4.2. Classe de la section transversale du poteau :</b> .....	<b>59</b>
<b>IV.4.3. Condition de résistance aux instabilités :</b> .....	<b>60</b>
<b>IV.5. Vérification de flambement :</b> .....	<b>60</b>
<b>IV.6. Calcul des traverses :</b> .....	<b>62</b>
<b>IV.6.1. Caractéristiques de la traverse :</b> .....	<b>63</b>
<b>IV.6.2. Condition de résistance :</b> .....	<b>64</b>
<b>IV.6.3. Résistance de la traverse au déversement :</b> .....	<b>66</b>
<b>IV.7.1 Vérification du contreventement et de la poutre au vent :</b> .....	<b>68</b>
<b>IV.7.2 Eléments tendus :</b> .....	<b>68</b>
<b>IV.7.3. Contreventement verticales :</b> .....	<b>70</b>
<b>IV.8. Justification du profilé de la poutre sablière :..</b> .....	<b>71</b>
<b>IV.8.1. Les efforts sollicitant les plus défavorable :</b> .....	<b>71</b>
<b>IV.8.2. Classe de la section transversale de la poutre sablière :</b> .....	<b>71</b>
<b>IV.8.3. Vérification de la flèche :</b> .....	<b>71</b>
<b>IV.8.4. Résistance de la poutre au déversement :</b> .....	<b>72</b>
<b>Chapitre V : Les assemblages</b> .....	<b>73</b>
<b>V.1. Assemblage poteau _ traverse :</b> .....	<b>73</b>
<b>V.1. Détermination des efforts dans les boulons :</b> .....	<b>75</b>
<b>V.2. Dimensionnement des boulons :</b> .....	<b>76</b>
<b>V.3. Condition de résistance des boulons :</b> .....	<b>76</b>

<b>V.4. Moment résistant effectif de l'assemblage .....</b>	<b>77</b>
<b>V.5. Résistance d'un boulon à l'interaction cisaillement-traction :.....</b>	<b>77</b>
<b>V.6. Vérification au poinçonnement :.....</b>	<b>78</b>
<b>V.7.1 Assemblage traverse _ traverse : .....</b>	<b>79</b>
<b>V.7.2. Détermination des efforts dans les boulons :.....</b>	<b>80</b>
<b>V.7.3. Dimensionnement des boulons : .....</b>	<b>80</b>
<b>V.7.4. Moment résistant effectif de l'assemblage : .....</b>	<b>81</b>
<b>V.7.5. Résistance d'un boulon à l'interaction cisaillement-traction :.....</b>	<b>81</b>
<b>V.7.6. Vérification au poinçonnement : .....</b>	<b>82</b>
<b>V.8. LES PIEDS DE POTEAUX : .....</b>	<b>83</b>
<b>V.8.1. Dimensionnement de la plaque d'assise : .....</b>	<b>84</b>
<b>V.8.2. Dimensionnement de la tige d'ancrage : .....</b>	<b>85</b>
<b>V.8.3. Vérification de la tige d'ancrage : .....</b>	<b>86</b>
<b>V.8.4. Condition d'équilibre du BAEL .....</b>	<b>86</b>
<b>Chapitre VI : Fondation de la structure : .....</b>	<b>88</b>
<b>VI.1. Introduction .....</b>	<b>88</b>
<b>VI.2. Caractéristiques des matériaux : .....</b>	<b>88</b>
<b>VI.3. Choix du type de fondation : .....</b>	<b>89</b>
<b>VI.3.1. Dimensionnement des fondations : .....</b>	<b>89</b>
<b>VI.3.2. Calcul de la hauteur de la semelle : .....</b>	<b>89</b>
<b>VI.3.3. Vérification de la stabilité : .....</b>	<b>90</b>
<b>VI.4. Ferrailage de la semelle isolée : .....</b>	<b>90</b>
<b>Chapitre VII : Protection de la structure : .....</b>	<b>92</b>

<b>VI.1. Introduction :</b> .....	<b>92</b>
<b>VII.2. La corrosion :</b> .....	<b>92</b>
<b>VII.2.1. Protection contre la corrosion :</b> .....	<b>93</b>
<b>VII.3. Le feu :</b> .....	<b>94</b>
<b>VII.4. Conclusion :</b> .....	<b>97</b>
<b>Conclusion générale :</b> .....	<b>98</b>
<b>Bibliographie :</b> .....	<b>99</b>
<b>Annexes :</b> .....	<b>100</b>

## *Introduction générale*

La construction métallique est un domaine de construction, mais aussi de la mécanique ou du génie civil qui s'intéresse à la construction d'ouvrage en métal et plus particulièrement en acier.

Une telle construction est maintenue par une ossature métallique résultante de l'assemblage de différents composants, cet assemblage doit être conçu globalement de manière à assurer de la structure

réalisé répond à l'usage prévu pour l'ouvrage, c'est-à-dire de toutes les actions qui lui sont appliquées ; assurer la cohérence des déformations relatives des systèmes structuraux

Le principe de ce présent travail est l'étude d'un hangar à usage de fabrication de filtres auto. L'étude de pré-dimensionnement des différents éléments ont été élaborés selon les différents règlements techniques de calcul et de conception, à savoir : (RPA99 V03, BAEL91, CCM97, RNV99)

## **Chapitre I : Généralités**

### **I.1. Introduction :**

Dans le cadre de notre formation, nous sommes amenés, à l'issue de notre cursus, à réaliser un projet de fin d'études. Le but de ce projet est d'être confronté à une situation professionnelle concrète. Notre projet consiste à dimensionner les éléments d'un hangar métallique de forme rectangulaire destiné à la fabrication des filtres auto

### **I.2. Les avantages de l'acier :**

La charpente métallique est en général composée d'acier. Sa conception basée sur la distribution des efforts réclame une connaissance approfondie de la mise en œuvre des calculs de structures, des normes de construction (Normes Eurocode) et de sécurité.

- **La charpente métallique, une construction économique :**

Une construction à charpente métallique permet un gain financier d'environ 10% par rapport à une construction béton ou bois. Cette économie importante est liée en grande partie au mode de fabrication d'une structure acier. Puisque tout est préparé en atelier, sur le chantier seul l'assemblage est à mettre en œuvre. Le poids réduit de la structure entraîne lui aussi des économies logistiques d'une part, et d'autre part sur l'épaisseur des fondations qui peuvent être sensiblement réduites. Sur le long terme, ce type de construction est rentable. Grâce à une isolation extérieure optimale et à l'inertie thermique de ces constructions, les frais de chauffage sont réduits. Quant aux frais d'entretien, ils sont quasi inexistantes. En effet, l'acier est imputrescible et résiste aux insectes et diverses maladies, les traitements sont donc inutiles.

- **La rapidité de montage: point fort**

Le montage d'une charpente métallique est étonnamment facile et rapide. Sa conception en atelier facilite largement le montage sur site. Il est nécessaire de faire appel à un professionnel de l'ossature métallique lorsque celle-ci, de grande amplitude, réclame des engins de levage ou bien lorsque l'on souhaite des garanties de montages maximales. Les auto-constructeurs se tourneront eux vers les charpentes en kit. Conçues en série ou sur mesure, elles doivent impérativement être livrées avec un plan de montage détaillé. L'extension ou l'élévation d'une telle charpente est plus facile que sur les charpentes traditionnelles en bois ou béton.

- **Les avantages environnementaux de la structure métallique :**

À l'heure où nous apportons une grande importance au respect de l'environnement, il est agréable de constater que les **structures métalliques participent à sa préservation**. L'acier étant entièrement recyclable, et ceci à l'infini, il permet ainsi la préservation des ressources naturelles. Aussi, lors de sa construction, la **structure métallique à l'avantage d'assurer une économie d'eau** et de minimiser la pollution des nappes d'eau souterraines. De plus, n'ayant nul besoin d'être traitée par des produits chimiques, la **structure métallique est une solution très écologique**.

- **La résistance d'une structure métallique : un avantage majeur :**

Construites en acier, les **structures métalliques** sont durables dans le temps. En effet, l'acier est résistant aux intempéries ainsi qu'aux insectes qui pourraient endommager la structure. De plus, **l'avantage de la structure métallique est d'être plus résistante contre les tremblements de terre** que les structures traditionnelles, ce qui présente un important avantage dans les régions propices aux séismes. La **structure métallique n'est pas sujette aux effondrements**. Comme nous venons de le voir, la **structure métallique présente de nombreux avantages** qui ne sont pas négligeables notamment au niveau économique et écologique. Ces structures faites d'acier ne demandent aucun entretien particulier et résistent aux effondrements. De plus, par la flexibilité de son acier, les **structures métalliques s'adaptent à toutes les constructions architecturales** possibles.

### **I.3. Les inconvénients :**

L'acier présente 2 inconvénients majeurs :

1. Sa corrodabilité et sa faible résistance au feu du fait qu'il perd sa résistance et s'écroule sous une température élevée.
2. Le cout élevé

### **I.4. Présentation de l'ouvrage :**

L'ouvrage sera implanté dans la commune de Berrahal wilaya d'Annaba et a une forme en plan rectangulaire caractérisé par les dimensions comme suit :

- La hauteur totale : 7,1m

- La hauteur des poteaux ( à la poutre sablière ) : 5,8m
- La pente de versant : 10%
- La longueur de la structure : 60m
- La largeur de la structure : 36m

### **I.5. Données concernant le site :**

Le projet est implanté dans un terrain plat à la commune de Berrahal, wilaya d'Annaba, les données du site sont :

- Altitude : 30m
- Zone de neige : Zone B
- Zone du vent : Zone III
- Zone sismique : Zone II a

### **I.6. Règlements utilisés :**

- **CCM 97** : règles de calcul de constructions en acier.
- **EUROCODE 3** : calcul des structures en acier.
- **DTR BC.2.2** : document technique règlement charges permanente et d'exploitation.
- **BAEL 91** : béton armé aux états limites.
- **RNV V-2013** : règles définissant les effets du vent et de la neige

### **I.7. Logiciel utilisé :**

On a utilisé le logiciel ROBOT 2014 pour la modélisation de la structure.

### **I.8. Matériau utilisé :**

#### **I.8.1. l'acier de construction :**

- Nuance d'acier : FE 360
- La limite élastique :  $f_y = 235$  MPA
- La résistance à la traction :  $f_u = 360$  MPA
- La masse volumique :  $\rho = 7850$  Kg/m<sup>3</sup>
- Module d'élasticité longitudinale :  $E = 210000$  MPA
- Module d'élasticité transversale :  $G = E/[2(1+\nu)]$
- Le coefficient de poisson :  $\nu = 0.3$

## **Chapitre II : Evaluation des charges**

### **II.1.Introduction :**

Dans ce chapitre nous allons définir les différentes charges agissantes sur notre structure qui se résument dans l'action des charges permanentes et d'exploitation et des effets climatiques. Ces derniers ont une grande influence sur la stabilité de l'ouvrage. Pour cela une étude approfondie doit être élaborée pour la détermination de ces différentes actions.

### **II.2.Charges permanentes :**

Elle comprend le poids propre des éléments principaux ainsi que les éléments secondaire, mais aussi le poids des éléments incorporés aux éléments porteurs, tels que la couverture ou le bardage

### **II.3.Surcharges d'exploitation :**

Ce sont les charges mécaniques statiques permanentes ou dynamique non permanentes .

Elles englobent la pression du vent, le poids de la neige, le poids des personne et le mobilier, on peut aussi parler des surcharges d'entretien qui sont définies comme, charges ponctuelles de 100 daN au 1/3 et 2/3 de la portée d'une poutre.

### **II.4.Surcharges climatiques :**

#### **II.4.1.Charge de la neige :**

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

Il se fait conformément à la réglementation <<RNV-VERSION 2013 >>

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

La charge caractéristique de neige S par unité de surface en projection horizontale de toiture s'obtient par la formule suivante :

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

Avec:

$S_k$ : charge de neige sur le sol, elle est en fonction de l'altitude et de la zone de neige.

$\mu$ : coefficient d'ajustement des charges, il est en fonction de la forme de la toiture.

### **a. La charge de la neige sur le sol $S_k$ :**

Le projet se trouve dans la wilaya d'Annaba, classé en **zone B** dont l'altitude est de 30m

$$\text{Zone B : } S_k = \frac{0.04 \cdot H + 10}{100}$$

$$S_k = 0.112 \text{ KN/m}^2$$

### **b. Coefficient de la forme de toiture :**

notre cas :  $\alpha = 10^\circ$  donc :  $0^\circ \leq (\alpha = 10^\circ) \leq 30^\circ \rightarrow \mu = 0.8$

$$S = \mu \times S_k$$

$$S = 0.8 \times 0.112$$

$$S = 0.0896 \text{ kN/m}^2 = 8.96 \text{ daN/m}^2$$

Par projection Hz :  $S = 8.96 \times \cos 5.71^\circ = 8.91 \text{ daN/m}^2$

Les dispositions de charge à prendre :

$$0.5\mu = 0.4$$

$$S = 8.91 \times 0.4 = 3.56 \text{ daN/m}^2$$

## **II.4.2. Charge du vent :**

L'effet du vent sur une construction métallique est généralement prépondérant, une étude approfondie doit être élaborée pour la détermination des différentes actions dues au vent et ce, dans toutes les directions possibles. Les calculs seront menés conformément au règlement neige et vent RNVA2013.

Les valeurs de pression du vent dépendent d'un certain nombre de facteurs :

- De la région.
- De site d'implantation.
- De la hauteur de la construction.
- De la forme géométrique de la construction.
- De la rigidité de la construction.
- Des ouvertures (ou de la perméabilité à l'air) de la construction
- Selon le sens du vent et l'état des ouvertures, quatre cas ont été envisagés :

- Vent sur long-pan avec surpression intérieure.
- Vent sur long-pan avec dépression intérieure.
- Vent sur pignon avec surpression intérieure.
- Vent sur pignon avec dépression intérieure.

**Données relatives au site :**

Le site du projet se trouve à Berrahal, Annaba

**Zone III**

$q_{réf} = 500 \text{ N/m}^2$

**Catégorie I**                       **$K_T = 0.170$  ( facteur de terrain )**

**$Z_0 = 0.01 \text{ m}$  ( paramètre de rugosité )**

**$Z_{min} = 1 \text{ m}$  ( hauteurs minimales )**

**$\xi = 0.44$**

**$C_T = 1$**

**Nature du site : Plat**

**a. Pression dynamique  $q_p$  :  $q_p(z_j) = q_{réf} * c_e(z_j) \dots\dots\dots [\text{N/m}^2]$**

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

**$q_{réf} = 500 \text{ N/m}^2$**

**$C_e$**  : coefficient d'exposition au vent, en fonction du coefficient de rugosité ( **$C_r$** ), et du coefficient topographique ( **$C_t$** )

**$Z_j$**  : hauteur de référence : 7.1m

• **Coefficient de rugosité (  $C_r$  ) :**

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

$$C_r(z) = K_T \left\{ \begin{array}{ll} \times \ln \frac{z}{z_0} & \text{si } z_{min} \leq z \leq 200 \text{ m.} \\ \times \ln \frac{z_{min}}{z_0} & \text{si } z < z_{min}. \end{array} \right.$$

$$Z = 7.1 \text{ m} \quad Z_{\min} = 1 \text{ m} \text{ pour } Z_{\min} \leq Z \leq 200 \text{ m}$$

$$C_r = 0.170 * \ln(Z/Z_0) = 0.170 * \ln(7.1/0.01)$$

$$C_r = 1.116$$

- **Intensité de turbulence  $I_v(z)$**

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

$$I_v(Z) = \frac{1}{C_t(Z) * \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}$$

$$I_v(z) = 0.152$$

- **Coefficient d'exposition ( $C_e$ ) :**

$C_e(z)$  tient en compte des effets de la rugosité du terrain, de la topographie du site et de la hauteur au-dessus du sol ; autrement dit, il tient compte de la nature turbulente du vent, il est donné par :

$$C_e(Z_j) = C_t(Z)^2 * C_r(Z)^2 * [1 + 7 I_v(Z)]$$

$$C_e(Z_j) = 1^2 * 1.116^2 * [1 + 7(0.152)]$$

$$C_e(Z_j) = 2.57$$

Après avoir défini tous les coefficients qui nous permettent de prendre en compte les différents effets provoqués par le vent, on peut calculer la pression dynamique comme suit :

$$q_p = q_{\text{ref}} * C_e$$

$$q_p = 500 * 2.57 = 1285 \text{ N/m}^2$$

## **b. Coefficient de pression extérieure $C_{pe}$ :**

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

1.  $b$  : la dimension perpendiculaire à la direction du vent.
2.  $d$  : la dimension parallèle à la direction du vent.

Les coefficients de pression extérieure  $C_{pe}$  applicables aux bâtiments et aux parties de bâtiments dépendent de la dimension de la surface chargée  $A$ , qui est la surface de la construction produisant l'action du vent dans la section à calculer. Les coefficients de pression extérieure sont donnés pour des surfaces chargées  $A$  de  $1 \text{ m}^2$  et  $10 \text{ m}^2$  dans les tableaux relatifs

aux configurations de bâtiment appropriées ; ils sont notés  $C_{pe1}$  pour les coefficients locaux, et  $C_{pe10}$  pour les coefficients globaux, respectivement

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

Tel que :  $s$  : est la surface chargée de la paroi considérée en  $m^2$ .

**Dans notre cas :  $S > 10m^2 \rightarrow C_{pe} = C_{pe.10}$**

- **Toiture :**

**Vue sur pignon :**

toiture a versants multiples

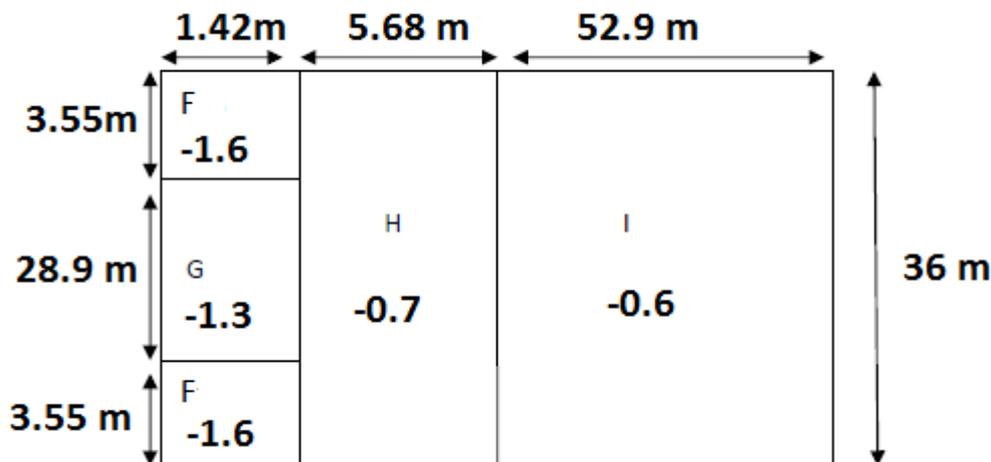
Chaque versant 1,2,3,4,5,6 :

$$e = \min[b ; 2h]$$

$$b = 60 \text{ m}$$

$$h = 7.1 \text{ m}$$

$$\alpha = 5.71^\circ$$



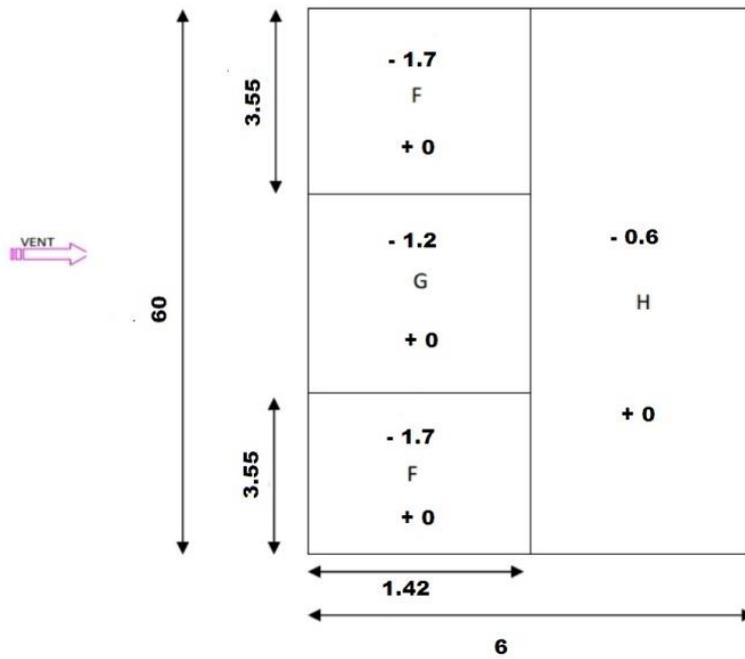
- **Vue sur long-pan :**

- Pour un vent dont la direction est perpendiculaire aux génératrices, pour des surfaces supérieures à  $10 \text{ m}^2$ , on prendra :

- Toiture dont les versants sont à pente positive (cas « a » de la figure 5.7 RNV

- Les valeurs de  $C_{pe}$  d'une toiture à un versant correspondant à  $\phi = 0^\circ$  pour le premier versant ;
- Les valeurs indiquées sur la figure sont pour les autres versant ;

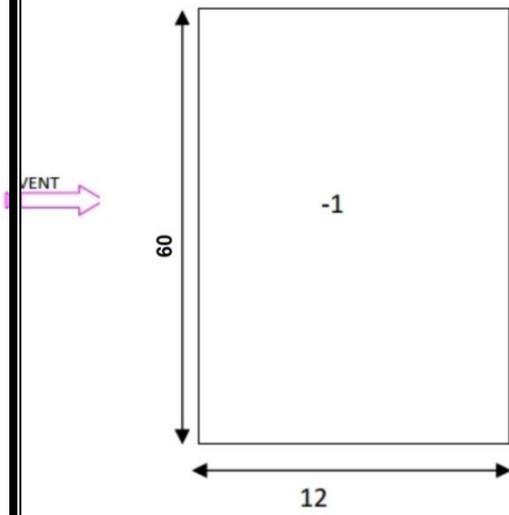
**-Versant 1 :**



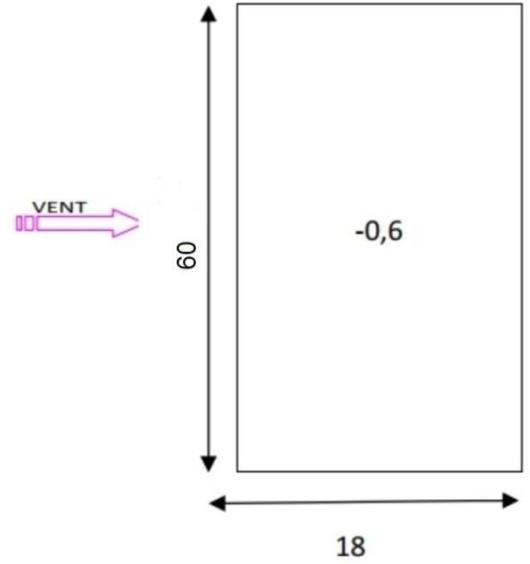
© Z CAMERA

**II.4.2. Valeurs  $C_{pi}$  pour le versant 1**

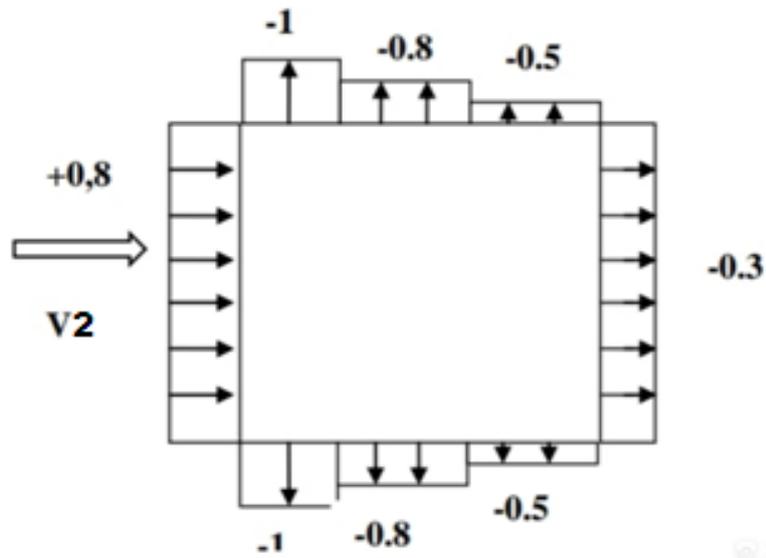
**-Versant 2 et 3 :**



**-Versants 4,5 et 6 :**



**II.4.2. Valeur Cpi pour versants : 2, 3, 4, 5 et 6**

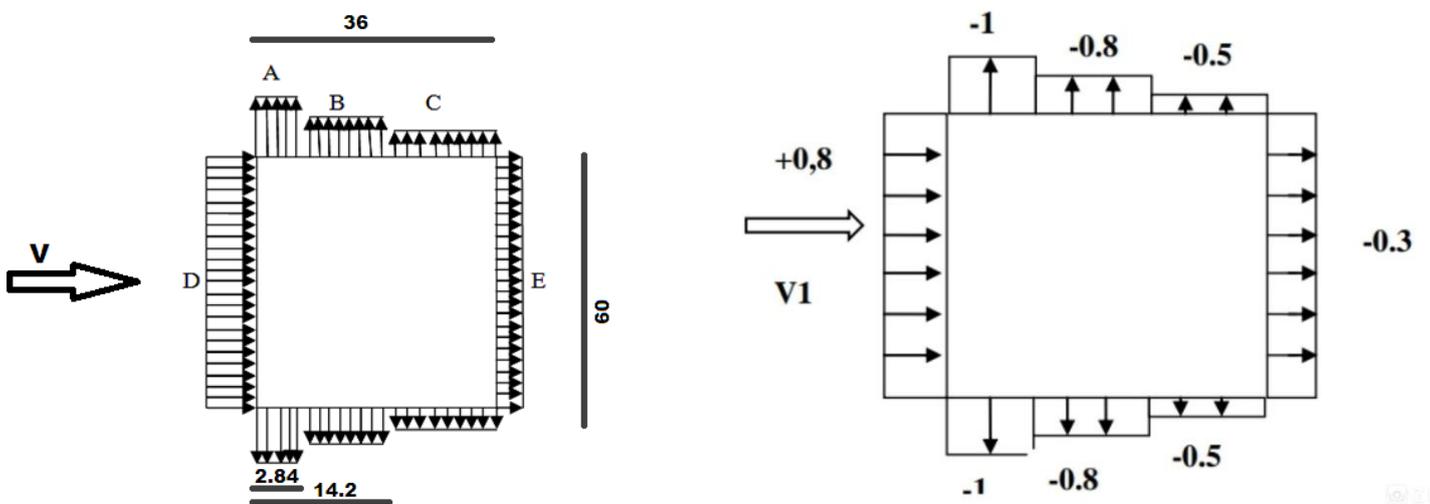


- **Parois verticales :**

- Vue sur long-pan :

	A	B	C	D	E
Surface m <sup>2</sup>	20.164	80.656	154.78	255.6	255.6
coefficient	-1	-0,8	-0,5	0,8	-0,3

### II.4.2. Tableau de pression extérieure ( paroi verticale long pong )

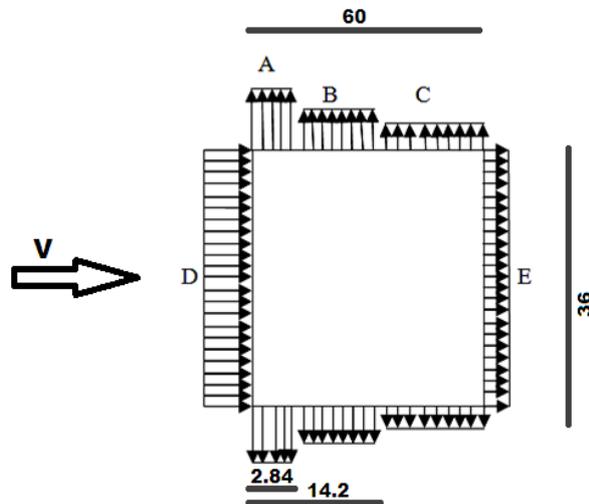


### II.4.2. Répartition du coefficient de pression extérieure sur les parois verticales

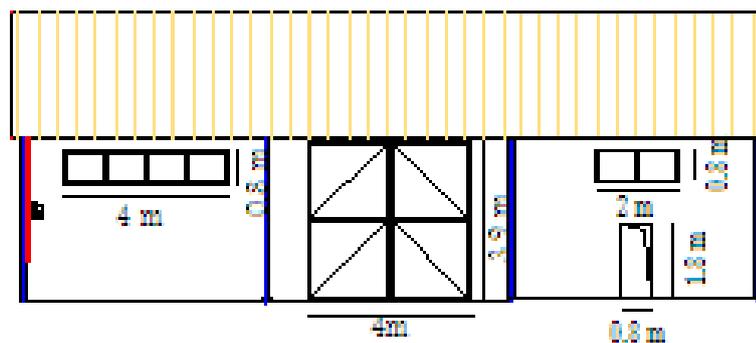
- Vue sur pignon :

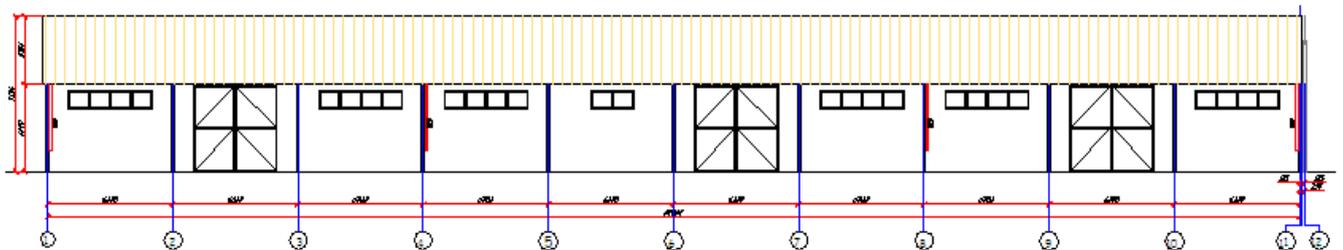
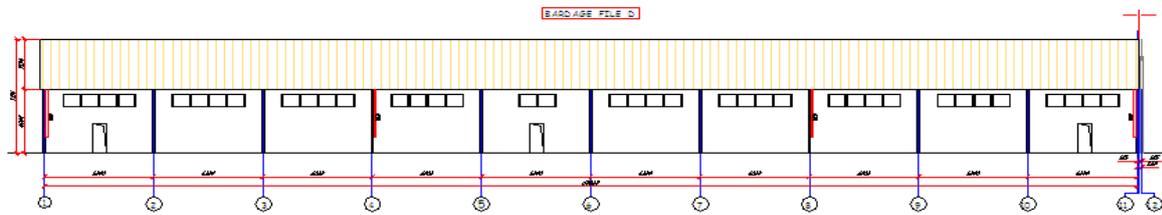
	A	B	C	D	E
Surface m <sup>2</sup>	102.24	408.96	1648.8	2160	2160
coefficient	-1	-0,8	-0,5	0,8	-0,3

#### II.4.2. Tableau de pression extérieure ( paroi verticale pignon )



- Coefficient de pression extérieur :





## II.4.2. Vue sur les ouvertures

V1 →  $\mu = 1$  → Cpi = -0.3

V2 →  $\mu = 0.33$  → Cpi = 0.32

V3 →  $\mu = 1$  → Cpi = -0.3

V4 →  $\mu = 0.66$  → Cpi = -0.04

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>A</b>	<b>1285</b>	<b>-1</b>	<b>0.32</b>	<b>-1696.2</b>
<b>B</b>		<b>-0.8</b>		<b>-1439.2</b>
<b>C</b>		<b>-0.5</b>		<b>-1053.7</b>
<b>D</b>		<b>+0.8</b>		<b>616.8</b>
<b>E</b>		<b>-0.3</b>		<b>-796.7</b>

#### II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V2 ( Long-Pan )

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>F</b>	<b>1285</b>	<b>-1.7</b>	<b>0.32</b>	<b>-2595.7</b>
<b>G</b>		<b>-1.2</b>		<b>-1953.2</b>
<b>H</b>		<b>-0.6</b>		<b>-1182.2</b>

#### II.4.2. Pression sur la toiture versant 1 direction V2 ( Long-Pan )

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>I</b>	<b>1285</b>	<b>-1</b>	<b>0.32</b>	<b>-1696.2</b>

#### II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 2 et 3 ; direction v2 (long-pan)

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>J</b>	<b>1285</b>	<b>-0.6</b>	<b>0.32</b>	<b>-1182.2</b>

#### II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 4,5 et 6 ; direction v2 (long-

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
A	1285	-1	-0.04	-1233.6
B		-0.8		-976.6
C		-0.5		-591.1
D		+0.8		1079.4
E		-0.3		-334.1

pan)

#### II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V4 ( Long-Pan )

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
F	1285	-1.7	-0.04	-2133.1
G		-1.2		-1490.6
H		-0.6		-719.6

#### II.4.2. Pression sur la toiture versant 1 direction V4 ( Long-Pan )

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
I	1285	-1	-0.04	-1233.6

#### II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 2 et 3 ; direction v4 (long-pan)

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
J	1285	-0.6	-0.04	-719.6

**II.4.2. Pression du vent sur la toiture versant 4 . 5 et 6 ; direction v4 (long-pan)**

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>A</b>	<b>1285</b>	<b>-1</b>	<b>-0.3</b>	<b>-899.5</b>
<b>B</b>		<b>-0.8</b>		<b>-642.5</b>
<b>C</b>		<b>-0.5</b>		<b>-257</b>
<b>D</b>		<b>+0.8</b>		<b>1413.5</b>
<b>E</b>		<b>-0.3</b>		<b>0</b>

**II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V1 ( pignon )**

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>F</b>	<b>1285</b>	<b>-1.6</b>	<b>-0.3</b>	<b>-1670.5</b>
<b>G</b>		<b>-1.3</b>		<b>-1285</b>
<b>H</b>		<b>-0.7</b>		<b>-514</b>
<b>I</b>		<b>-0.6</b>		<b>-385.5</b>

**II.4.2. Pression sur la toiture direction V1 ( pignon )**

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>A</b>	<b>1285</b>	<b>-1</b>	<b>-0.3</b>	<b>-899.5</b>
<b>B</b>		<b>-0.8</b>		<b>-642.5</b>
<b>C</b>		<b>-0.5</b>		<b>-257</b>
<b>D</b>		<b>+0.8</b>		<b>1413.5</b>
<b>E</b>		<b>-0.3</b>		<b>0</b>

**II.4.2. Pression sur les parois verticales direction V3 ( pignon )**

La Zone	$q_p$	$C_{pe}$	$C_{pi}$	$W_j$
<b>F</b>	<b>1285</b>	<b>-1.6</b>	<b>-0.3</b>	<b>-1670.5</b>
<b>G</b>		<b>-1.3</b>		<b>-1285</b>
<b>H</b>		<b>-0.7</b>		<b>-514</b>
<b>I</b>		<b>-0.6</b>		<b>-385.5</b>

#### II.4.2. Pression sur la toiture direction V3 ( Pignon )

**Remarque :**

La structure du bâtiment étant une structure métallique, dont la hauteur est inférieure a 15m ( 7.1 m ) donc :

$$C_d = 1$$

## Chapitre III Elément secondaires :

- Poids propre de la TN40 :  $p = 0.11 \text{ KN/M}^2$
- Contrainte de rupture :  $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$
- Module d'élasticité :  $E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
- Contrainte élastique :  $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$
- Flèche admissible :  $\delta_{\max} = l/200$

### III.1. Caractéristiques géométriques :

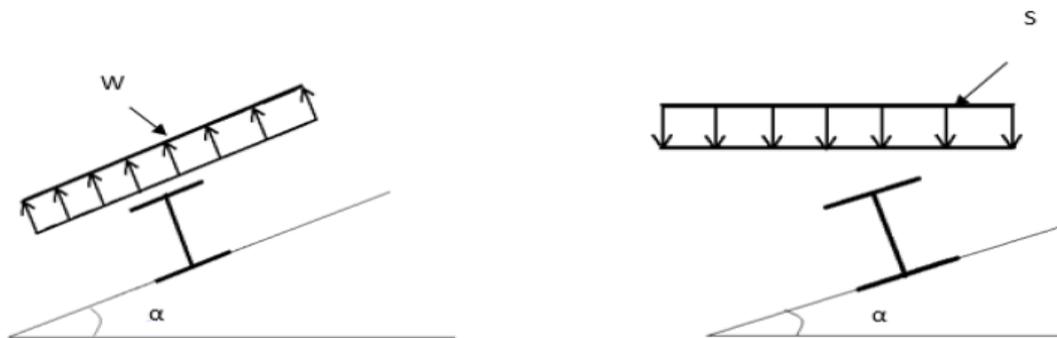
- Inertie de la TN 40 pour une bande de 1 ml :  $I \text{ de la TN40} = 27.21 \text{ cm}^2 / \text{ml}$
- Module de résistance  $\omega = 9.24 \text{ cm}^3/\text{ml}$

### III.2. Les Pannes :

Les pannes de couverture sont des poutrelles laminées généralement en IPE, elles sont soumises à la flexion bi axiale sous l'effet du poids propre de la couverture, des actions climatiques et de la surcharge d'entretien . Cette dernière n'étant cumulable avec le vent et la neige .Elles sont disposées perpendiculairement aux traverses des portiques.

### III.3. Charges à prendre en considération :

1. Charges permanentes  $G = 11 \text{ Kg/m}^2$
2. Charges d'entretien  $Q = 100 \text{ daN}$
3. Action de la neige  $S = 3.56 \text{ daN/m}^2$
4. Action du vent  $W = -167.05 \text{ daN}$



III.3. Charge du vent et de la neige sur une poutre

### III.4. Espacement entre pannes :

L'espacement entre les pannes est déterminé en fonction de la portée admissible de la couverture. On suppose que la couverture de longueur de 6m et appuyé sur 5 appuis ce qui donne un espacement moyen de 1.5m

$$\cos 5.71^\circ \rightarrow x = 5.88$$

on a :

$$G = 11 * 1.4 = 15.4 \text{ daN/ml}$$

$$W = -167.05 * 1.4 = -233.87 \text{ daN/ml}$$

$$S = 3.56 * 1.4 = 4.98 \text{ daN/ml}$$

$$Q = 100 \text{ daN/ml}$$

### III.5. Dimensionnement des pannes :

#### a) combinaison des charges :

à l'ELU : ( axe y-y)

- $G_y = G * \cos \alpha = 15.4 * \cos 5.71 = 15.32 \text{ daN/ml}$
- $S_y = S * \cos \alpha = 4.95 \text{ daN/ml}$
- $Q_y = Q * \cos \alpha = 99.50 \text{ daN/ml}$
- $W_y = W = -233.87 \text{ daN/ml}$

Combinaison :

$$q_1 = 1,35 G + 1,5 Q_y = 1.35 * (15.32) + 1.5 * (99.50) = 169.93 \text{ daN/ml}$$

$$q_2 = 1,35 G + 1,5 W_y = 1.35 * (15.32) + 1.5 * (-233.87) = -330.12 \text{ daN/ml}$$

$$q_3 = 1,35 G + 1,5 S_y = 1.35 * (15.32) + 1.5 * (4.95) = 28.107 \text{ daN/ml}$$

#### b) Moment maximum pour poutre continue sur 5 appuis simples :

$$M_{\max} = 0.1071 q l^2 \rightarrow q = -3.30 \text{ KN/ml}$$

$l$  : représente l'espacement entre panne

$$6 = \frac{M_{\max}}{\omega} \rightarrow 0.1071ql^2 < f_y * \omega$$

$$\Rightarrow l \leq \sqrt{\frac{f_y * W}{0.1q}} \quad \text{Avec} \quad \begin{cases} W \text{ (module de résistance)} \\ W = 5,17 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \end{cases}$$

$$l \leq \sqrt{\frac{235 * 10^3 * 5.17 * 10^{-6}}{0.1071 * (-3.30)}} =$$

On prend  $L = 1.4\text{m}$

**c) Moment de charge :**

$$M_{y1} = 1.35 M_{gy} + 1.5 M_{qy} = 1.35 * \left(\frac{15.32 * 6^2}{8}\right) + 1.5 \left(\frac{99.50 * 6}{3}\right) = 391.56 \text{ daN.m}$$

$$M_{y2} = \frac{Qy2 * l^2}{8} = \frac{-330.12 * 6^2}{8} = -1485.54 \text{ daN.m}$$

$$M_{y3} = \frac{Qy3 * l^2}{8} = \frac{28.107 * 6^2}{8} = 126.48 \text{ daN.m}$$

$$M_{y,sd} = 1485.54 \text{ daN.m}$$

Pour le dimensionnement des pannes le CCM97 impose la vérification suivante :

$$M_{sd,y} < M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} * F_y}{\gamma_{m0}} \rightarrow W_{ply} \geq \frac{M_{sd,y} * \gamma_{m0}}{F_y} = \frac{1485.54 * 1.1}{2350} = 69.5 \text{ cm}^3$$

Le profil qui satisfait les deux conditions à l'ELU et l'ELS sera un IPE 140 des caractéristiques géométriques suivantes :

DESIGNATION abrégée	Poids kg/m	Section cm <sup>2</sup>	Dimension			Caractéristique					
			H mm	B mm	t <sub>f</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>pl-y</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>pl-z</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	i <sub>z</sub> cm
IPE140	12.9	16.43	140	73	6.9	541.2	44.92	88.34	19.25	5.75	1.65

### III.5. Les caractéristique du profilé IPE 140

Axe ( z-z ) :

$$G_z = G \sin \alpha + g = 14.43 \text{ daN/ml}$$

$$S_z = S \sin \alpha = 0.49 \text{ daN/ml}$$

$$Q_z = Q \sin \alpha = 9.94 \text{ daN/ml}$$

- **Combinaison de charge :**

$$Q_z = 1.35 G_z + 1.5 S_z = 20.21 \text{ daN/ml}$$

- **Moment de charge :**

$$M_{z1} = 1.35 M_{zg} + 1.5 M_{zq} = \frac{1.35 \cdot 14.41 \cdot 3^2}{8} + \frac{1.5 \cdot 9.94 \cdot 3}{3}$$

$$M_{z1} = 36.82 \text{ daN.m}$$

$$M_{z2} = \frac{q l^2}{8} = \frac{20.21 \cdot 3^2}{8} = 22.74 \text{ daN.m}$$

$$M_{sd,z} = 36.82$$

**NB :** Pour le dimensionnement de la panne, on tiendra compte de la combinaison la plus défavorable.

**à l'ELS : plan ( y-y )**



$$q_1 = G_y + W = ( 15.32 + 12.9 ) + ( -233.87 )$$

$$q_1 = -205.65 \text{ daN/ml}$$

$$q_2 = G_y + S_y = ( 15.32 + 12.9 ) + 4.45$$

$$q_2 = 36.97 \text{ daN/ml}$$

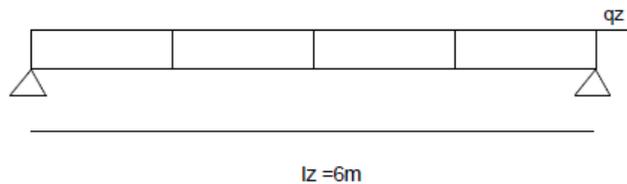
$$q_{\max} = 205.65 \text{ daN/ml}$$

$$F_y = \frac{2.05 \cdot Q_{sy} \cdot Lz^4}{384 \cdot EI_z} = \frac{2.05 \cdot 2.0565 \cdot 3000^2}{384 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 44.9 \cdot 10^4}$$

$$F_y = 0.98 \text{ mm}$$

$$F_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{3000}{200} = 15 \text{ mm} \rightarrow F_y < F_{\max}$$

**Plan (z-z) :**



$$q_1 = Gz + Sz = 14.43 + 0.49 = 14.92 \text{ daN/ml}$$

$$F_z = \frac{5 \cdot Q_{sz} \cdot Lz^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = 2.21 \text{ mm}$$

$$F_{\max} = \frac{L}{200} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ mm}$$

$$F_z \leq F_{\max}$$

$$F_{\text{total}} = \sqrt{F_z^2 + F_y^2} \leq F_{\max}$$

$$F_{\text{total}} = \sqrt{(0.98)^2 + (2.21)^2} \leq F_{\max} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

### III.6. Classification profilé IPE140 :

**a. Classe de l'âme fléchie :**

$$\frac{d}{tw} \leq 73\varepsilon \text{ avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{F_y}}$$

$$\frac{d}{tw} = \frac{112.2}{4.7} = 23.87 \text{ mm}$$

$$\text{avec } 72\epsilon = 72 \sqrt{\frac{235}{235}} = 72$$

$$\frac{d}{tw} \leq 72\epsilon \rightarrow \text{donc l'ame est de classe I}$$

**b. Classe de la semelle comprimée :**

$$\frac{c}{tf} = \frac{b/2}{tf} \leq 10\epsilon$$

$$\text{avec : } 10\epsilon = 10 \sqrt{\frac{235}{235}} = 10$$

$$\frac{36.5}{6.9} = 5.28 \text{ mm} \leq 10\epsilon \rightarrow \text{Donc la semelle est de classe I}$$

**Donc la section globale est de classe I**

### III.7. Vérification des contraintes :

Les pannes travaillent à la flexion déviée, il faut donc vérifier que

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

Pour un profilé laminé en I :  $\alpha = 2$  et  $\beta = 1$

$$M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} \cdot F_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88.34 \cdot 2350 \cdot 10^{-2}}{1.1} = 1887.6 \text{ dan.m}$$

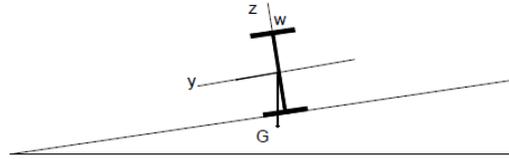
$$M_{plz,Rd} = \frac{W_{plz} \cdot F_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19.25 \cdot 2350 \cdot 10^{-2}}{1.1} = 411.25 \text{ dan.m}$$

$$\left(\frac{1485.54}{1887.6}\right)^2 + \left(\frac{36.82}{411.25}\right)^1 = 0.70$$

$0.70 \leq 1 \rightarrow$  Donc les pannes sont vérifiées.

### III.7.1. Résistance au déversement :

Le déversement est un phénomène d'instabilité qui se caractérise par une déformation latérale des parties comprimées de la section de la panne sous l'action du vent en soulèvement.



### III.7.1 Panne vis-à-vis du déversement

Le moment résistant du déversement est donné par :

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{lt} * \beta_w * W_{ply} * F_y}{\gamma_{M1}}$$

avec :

$$\beta_w = 1 \text{ ( section de classe I )}$$

$\chi_{lt}$  : facteur de réduction pour le déversement

$$F_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\chi_{lt} = \sqrt{\frac{\beta_w * W_{ply} * F_y}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$  : Moment critique élastique de déversement donné par :

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{L^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z}} \rightarrow \text{(annexe B page 145 CCM97)}$$

avec :

$$C_1 = 1.132 \text{ ( charge uniformément répartie )} \rightarrow \text{( tableau B 1.2 page 144 CCM 97 )}$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \rightarrow \begin{cases} E = 21 * 10^6 \\ \nu = 0.3 \end{cases} \rightarrow G = 8.07 * 10^6 \text{ N/cm}^2 \text{ ( Module de cisaillement )}$$

$$I_t : \text{Moment d'inertie de torsion ( } I_t = 2.45 \text{ cm}^4 \text{ )}$$

$$I_w : \text{Moment d'inertie de gauchissement ( } I_w = 1.98 * 10^3 \text{ cm}^6 \text{ )}$$

$I_z$  : Moment d'inertie de flexion suivant l'axe faible ( $I_z = 44.92 \text{ cm}^4$ )

E et  $\nu$  : sont donnés dans le tableau 3.2 ( page 15 CCM 97 )

E : module d'élasticité

$\nu$  : coefficient de poisson

$$M_{cr} = 1.132 * \frac{3.14^2 * 21 * 10^6 * 44.92}{300^2} \times \sqrt{\frac{1.98 * 10^3}{44.92} + \frac{300^2 * 8.07 * 10^6 * 2.45}{3.14^2 * 21 * 10^6 * 44.92}}$$

$$M_{cr} = 1794825.66 \text{ N.cm}$$

$$\lambda_{lt} = \sqrt{\frac{1 * 60.7 * 235 * 10^2}{1794825.66}} = 1.07$$

$$\lambda_{lt} = 1.07$$

$$\text{On calcule : } \chi_{lt} = \frac{1}{\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 - \lambda_{lt}^2}} \leq 1$$

avec :

$$\phi_{lt} = 0.5 \times [ 1 + \alpha_{lt} ( \lambda_{lt} - 0.2 ) ] + \lambda_{lt}^2$$

$\alpha_{lt} = 0.21$  pour les profilés laminés

$$\phi_{lt} = 1.16$$

$$\chi_{lt} = \frac{1}{1.16 + \sqrt{1.16^2 - 1.07^2}} = 0.62$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0.62 * 1 * 88.34 * 23.5}{1.1} = 1170 \text{ KN.m}$$

$$M_{b,Rd} = 1170 \text{ KN.m}$$

$M_{sd} = 14.85 \text{ KN.m} < M_{b,Rd} = 1170 \text{ KN.m} \rightarrow$  condition vérifiée.

### III.7.2. Résistance au voilement par cisaillement :

$$\frac{d}{t_w} \leq 69\epsilon$$

avec :  $d = 112.2 \text{ mm}$  et  $t_w = 4.7 \text{ mm}$

$$\frac{d}{tw} = \frac{112.2}{4.7} = 23.87 \text{ mm} \leq 69 \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

### III.7.3. Stabilité au flambement de la semelle :

$$\frac{d}{tw} \leq K \times \frac{E}{F_y} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

$$A_w = tw (h - 2tf) = 593.14 \text{ mm}^2$$

$$A_{fc} = b \times tf = 73 * 6.9 = 503.7 \text{ mm}^2$$

$$K = 0.3 \text{ (semelle de classe I)}$$

$$\frac{d}{tw} \leq K \times \frac{E}{F_y} \times \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0.3 \times \frac{21 \cdot 10^4}{235} \times \sqrt{\frac{593.14}{503.7}} = 291$$

$$\frac{d}{tw} = \frac{140 - (2 \cdot 6.9)}{4.7} = 26.87 \rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

### III.8.1. Calcul des efforts dans les 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 latéral des pannes.

$$R = 1.25q_y \left(\frac{l}{2}\right) = 1.25 (20.21) * 3$$

$$R = 75.78 \text{ daN}$$

$$T_1 = \frac{R}{2} = 37.89 \text{ daN}$$

$$T_2 = R + T_1 = 113.67 \text{ daN}$$

$$T_3 = R + T_2 = 189.45 \text{ daN}$$

- **Effort dans les diagonales :**

$$2T_4 = \cos \vartheta = T_3$$

$$\vartheta = \arctan \left( \frac{1.4}{3} \right) = 25.01^\circ$$

$$T_4 = \frac{T_3}{2 \sin \vartheta} = 224.05 \text{ daN}$$

### III.8.2 Dimensionnement des liernes :

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} = A_s \left( \frac{F_y}{\gamma_{M0}} \right)$$

avec :

$N_{sd}$  : effort normal sollicitant

$N_{pl,Rd}$  : Effort normal résistant

$$\rightarrow A_s \geq \frac{N_{sd} \cdot \gamma_{M0}}{F_y} \rightarrow A_s \geq \frac{2.24 \cdot 1.1}{0.235} = 10.48 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq 10.48 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = 10.48$$

#### 1. Moment sollicitant $M_{sd}$ :

**Plan (y-y)**

#### 2. Pignon :

$$M_{sd,y} = 1,5 F_z \frac{l_z^2}{8} = 1,5 \times 148.4 \times \frac{6^2}{8} = 1001.76 \text{ daN.m}$$

$$M_{y,sd} \leq M_{y,cRd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\Leftrightarrow W_{ply} \geq \frac{M_{y,sd} \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{10.01 \times 1.1 \times 10^3}{235} = 46.85 \text{ cm}^3$$

**On adopte IPE 140**

$$M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88.34 \times 235}{1.1} \times 10^{-1} = 1887.26 \text{ daN.m}$$

#### 3. Long pan :

$$M_{sd,y} = 1,5 F_z \frac{l_z^2}{8} = 1,5 \times 172.1 \times \frac{6^2}{8} = 1202.17 \text{ daN.m}$$

$$W_{ply} \geq \frac{M_{y,sd} \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{12.17 \times 1.1 \times 10^3}{235} = 56.27 \text{ cm}^3$$

$$\text{On adopte IPE 140} \rightarrow M_{ply,Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{88.34 \times 235}{1.1} \times 10^{-1} = 1887.26 \text{ daN.m}$$

### . Choix du profilé :

Le profilé qui satisfait les deux conditions à l'ELU et l'ELS est un IPE 140 sur pignon et long pan

DESIGNATION abrégée	Poids	Section	Dimension			Caractéristique					
	P Kg/m	A cm <sup>2</sup>	H mm	B mm	t <sub>r</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>pl-y</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>pl-z</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	i <sub>z</sub> cm
IPE140	12.9	16.43	140	73	6.9	541.2	44.92	88.34	19.25	5.75	1.65

### III.8.2 Les caractéristique de profile IPE 140

**Plan (z-z) :**

**Fy: Charge verticale (pignon)**

$$F_y = g + (G \times esp) = 12.9 + (11.5 \times 1.05) = 25.02 \text{ daN/m}$$

**Fy: Charge verticale (long pan)**

$$F_y = g + (G \times esp) = 12.9 + (11.5 \times 1.05) = 25.02 \text{ daN/m}$$

**4. Pignon :**

$$M_{sd,z} = 1.35 F_y \frac{l_y^2}{8} = 1.35 \times 25.02 \times \frac{3^2}{8} = 37.99 \text{ daN.m}$$

$$M_{plz,Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19.25 \times 235}{1.1} \times 10^{-1} = 411.21 \text{ daN.m}$$

**5. Long pan**

$$M_{sd,z} = 1.35 F_y \frac{l_y^2}{8} = 1.35 \times 25.02 \times \frac{3^2}{8} = 37.99 \text{ daN.m}$$

$$M_{plz,Rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19.25 \times 235}{1.1} \times 10^{-1} = 411.21 \text{ daN.m}$$

**Vérification de contraintes**

$$\left( \frac{M_{y.sd}}{M_{Ny.Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z.sd}}{M_{Nz.Rd}} \right)^\beta \leq 1 \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 1 \end{cases}$$

### 6. IPE 140 (pignon)

$$\left(\frac{1001.76}{1887.26}\right)^2 + \left(\frac{37.99}{411.25}\right)^1 \leq 1 = 0.37 \leq 1 \Rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

### 7. IPE 140 (long pan)

$$\left(\frac{1202.17}{1887.26}\right)^2 + \left(\frac{37.99}{411.25}\right)^1 \leq 1 = 0.49 \leq 1 \Rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

## III.8.3. Vérification de flèche :

### IPE 140 (pignon)

L'ELS

Charge horizontale  $F_z$

$$F_z = W_{max} \times esp = 141.35 \times 1.05 = 148.41 \text{ daN/m}$$

Charge verticale  $F_y$

$$F_y = g + (G \times esp) = 12.9 + (11.5 \times 1.05) = 25.02 \text{ daN/m}$$

Plan y-y :

$$f_y = 0,415 \frac{5 \times F_y \times l_y^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = \frac{2.05 \times 0.2502 \times 3000^4}{384 \times 21 \times 10^5 \times 44.92 \times 10^4} = 1.14 \text{ mm}$$

$$f_{max} = \frac{l}{200} = \frac{3000}{200} = 15 \text{ mm} \geq f_y$$

Plan z-z :

$$f_z = \frac{5 \times F_z \times l_z^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = \frac{5 \times 1.484 \times 6000^4}{384 \times 21 \times 10^5 \times 541.2 \times 10^4} = 22.03 \text{ mm}$$

$$f_{max} = \frac{l}{200} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ mm} \geq f_z$$

$$f_{total} = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} \leq f_{max} \Rightarrow \text{Condition de flèche est vérifiée.}$$

### IPE 140 (long pan)

Charge horizontale  $F_z$

$$F_z = W_{max} \times esp = 169.62 \times 1.05 = 178.1 \text{ daN/m}$$

### Charge verticale $F_y$

$$F_y = g + (G \times esp) = 12.9 + (11.5 \times 1.05) = 25.02 \text{ daN/m}$$

Plan y-y :

$$f_y = 0,415 \frac{5 \times F_y \times L_z^4}{384 \cdot E \cdot I_z} = \frac{2.05 \times 0.2502 \times 3000^4}{384 \times 21 \times 10^5 \times 44.92 \times 10^4} = 1.14 \text{ mm}$$

$$f_{\max} = \frac{l}{200} = \frac{3000}{200} = 15 \text{ mm} \geq f_y$$

Plan z-z :

$$f_z = \frac{5 \times F_y \times L_y^4}{384 \cdot E \cdot I_y} = \frac{5 \times 1.78 \times 6000^4}{384 \times 2.1 \times 10^5 \times 541.2 \times 10^4} = 26.42 \text{ mm}$$

$$f_{\max} = \frac{l}{200} = \frac{6000}{200} = 30 \text{ mm} \geq f_z$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{f_y^2 + f_z^2} \leq f_{\max} \quad \Rightarrow \text{Condition de flèche est vérifiée.}$$

### III.9.1. Calcul des potelets :

Ce sont des éléments secondaires souvent des profilés en I ou H prévus sur le pignon pour réduire la portée entre les poteaux et diminuer la portée des lisses supportant le bardage isolants. Ils sont sollicités en flexion composée :

- Une flexion sous l'action du vent sur les parois du pignon.
- Une compression sous l'action des charges permanentes dues au poids propre des lisses, de bardage, et celui du potelet lui-même.

### III.9.2. Dimensionnement des potelets :

#### a. Action et sollicitations

- Poids du bardage (11 daN/m<sup>2</sup>).
- Poids des lisses IPEN140 (12.9 daN).
- Poids propre du potelet (à déterminer).
- Action du vent sur le pignon (141.35 daN/m<sup>2</sup>)

**b. Calcul du moment sollicitant de flexion  $M_{sd}$  :**

$$M_{sd} = \frac{q_w \times l^2}{8}$$

$$q_w = (141.35 \times 6) \times 1.05 = 1335.63 \text{ daN/ml}$$

$$M_{sd} = \frac{q_w \times l^2}{8} = \frac{1335.63 \times 6.3^2}{8} = 6626.69 \text{ daN.m}$$

Les verifications suivants sont imposées par le CCM97

$$M_{sd} \leq M_{crd}$$

**Avec :**

$$M_{sd} \leq M_{CRd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow W_{pl} = \frac{M_{sd} \times \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{66.27 \times 1.1 \times 10^3}{235} = 310.2 \text{ cm}^3$$

On adopte IPE 240 :  $W_{pl} = 366.6 \text{ cm}^3$

**c. Condition de flèche :**

$$q_w = (141.35 \times 6) = 848.1 \text{ daN/ml}$$

$$\sigma = \frac{5 \times q_w \times l^2}{384 \times E \times I} \leq \sigma_{max}$$

$$\sigma_{max} = \frac{6300}{200} = 31.5 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{5 \times 848.1 \times 10^{-2} \times 6300^2}{384 \times 2.1 \times 10^5 \times 3892 \times 10^4} = 21.28 \text{ mm} \leq \sigma_{max}$$

**Donc Condition de flèche est vérifiée.**

**d. Choix du profilé :**

DESIGNATION abrégée	Poids	Section	Dimension			Caractéristique					
	P Kg/m	A cm <sup>2</sup>	H mm	B mm	t <sub>f</sub> mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>pl-y</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>pl-z</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	i <sub>z</sub> cm
<b>IPE 240</b>	<b>30.7</b>	<b>39.12</b>	<b>240</b>	<b>120</b>	<b>9.8</b>	<b>3892</b>	<b>283.6</b>	<b>366.6</b>	<b>73.92</b>	<b>9.97</b>	<b>2.69</b>

### III.9.2 Les caractéristique de profile IPE 240

Le profilé qui convient comme potelets est **IPE 240**.

### III.9.3. Classe du profilé :

**a - Classe de l'âme :**

$$\frac{d}{t_w} \leq 33\varepsilon \quad \text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad ; d = 190.4 \text{ mm} \quad ; t_w = 6.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{d}{t_w} = \frac{190.4}{6.2} = 30.7 \\ 33\varepsilon = 33\sqrt{\frac{235}{235}} = 33 \end{cases} \Rightarrow \frac{d}{t_w} \leq 33\varepsilon \quad \text{Donc l'âme est de classe I}$$

**b. Classe de la semelle :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon \quad \text{Avec : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad ; c = \frac{b}{2} = 60 \text{ mm} \quad ; t_f = 9.8 \text{ mm}$$

$$\begin{cases} \frac{c}{t_f} = \frac{60}{9.8} = 6.12 \\ 10\varepsilon = 10\sqrt{\frac{235}{235}} = 10 \end{cases} \Rightarrow \frac{c}{t_f} \leq 10\varepsilon \quad \text{Donc la semelle est de classe I.}$$

- Donc la section globale est de classe I.

### Vérification des contraintes

Les potelets soumis à la flexion composée, il faut donc vérifier :

$$M_{sd} \leq M_{N.Rd}$$

**Avec :**

$M_{sd}$ : Moment sollicitant (66.27 KN.m)

$M_{N.Rd}$ : Moment de résistance plastique réduit par la prise en compte de l'effort axial

$$M_{N.Rd} = M_{pl.Rd} \left[ \frac{(1-n)}{(1-0.5\alpha)} \right] = W_{ply} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \left[ \frac{(1-n)}{(1-0.5\alpha)} \right]$$

### 8. Calcul de l'effort normal sollicitant $N_{sd}$ :

$$N_{sd} = (Pp \text{ bardage}) + (Pp \text{ lisse}) + (Pp \text{ potelet})$$

**Avec :**

- Poids du bardage (11 daN/m<sup>2</sup>).
- Poids des lisses IPE (12.9 daN/m<sup>2</sup>).
- Poids propre du potelet (30.7 daN/m).
- Espacement entre le potelet et le poteau (6 m).
- Longueur du potelet (6.3 m).
- Nombres des lisses (2).

$$N_{sd} = (0.11 \times 6 \times 6.3) + (0.129 \times 6 \times 2) + (0.307 \times 6.3) = 7.64 \text{ KN}$$

$$n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{A \times f_y} = \frac{7.64 \times 1.1}{39.1 \times 23.5} = 0.009$$

$$\alpha = \min\left(\frac{A_w}{A}; 0.5\right)$$

$$\text{avec } A_w = A - 2 b_f t_f \Rightarrow A_w = 39.1 - (2 \times 12 \times 0.98) = 15.58 \text{ cm}^2$$

$$\text{Donc : } \alpha = \min\left(\frac{15.58}{39.1}, 0.5\right) = \min(0.39, 0.5) = 0.39$$

**Alors :**

$$M_{N,Rd} = 367 \cdot \frac{235 \times 10^{-3}}{1.1} \left[ \frac{(1-0.009)}{(1-(0.5 \times 0.39))} \right] = 96.5 \text{ KN.m}$$

**Donc :**

$$M_{sd} \leq M_{N,Rd} \Rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

### III.9.4 Résistance du potelet au flambement :

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

**Avec :**

- $N_{b,Rd}$ : Résistance au flambement.
- $\beta_A = 1$  pour les sections de classe I.
- $\gamma_{M1} = 1,1$ .
- $\chi$ : Coefficient de réduction dépend de  $\lambda$ .
- $\lambda$  : Elancement réduit.

$$\lambda = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right) \sqrt{\beta_A} = \frac{\lambda}{93.9\epsilon}$$

$\lambda$  : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{b_f} = \frac{240}{120} = 2 > 1.2 \\ t_f = 9.8 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{axe de flambement} \Rightarrow \begin{cases} (y-y) \\ (z-z) \end{cases} \\ \text{courbe de flambement} \Rightarrow \begin{cases} a \\ b \end{cases} \end{array} \right.$$

### 9. Plan (y-y) :

Axe (y-y)  $\Rightarrow$  courbe (a)  $\Rightarrow a = 0.21$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{i_y} = \frac{630}{9.97} = 63.18 \Rightarrow \lambda_y = \frac{\lambda_y}{93.9} = \frac{63.18}{93.9} = 0.67$$

### 10. Plan (z-z) :

Axe (z-z)  $\Rightarrow$  courbe (b)  $\Rightarrow a = 0.34$

$$\lambda_z = \frac{L_z}{i_z} = \frac{630}{2.69} = 234.2 \Rightarrow \lambda_z = \frac{\lambda_z}{93.9} = \frac{234.2}{93.9} = 2.49$$

$$\lambda = \max(\lambda_y, \lambda_z) = 2.49$$

### 1. Coefficient de réduction

A partir de tableau 55.2 page 76 CCM97 déterminer  $\chi$  en fonction de l'élanement réduit  $\lambda$ , Et la courbe de flambement  $\lambda = 2.49$

$$\Rightarrow \chi = 0.0994$$

AN :

$$N_{b,Rd} = \frac{0.0994 \times 1 \times 3910 \times 235 \times 10^{-3}}{1.1} = 83.03 \text{ KN}$$

Donc :

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} \Rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

### 2. Résistance au voilement par cisaillement :

$$\frac{d}{t_w} \leq 69\epsilon \quad \text{Avec : } \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad ; d = 190.4 \text{ mm} \quad ; t_w = 6.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{d}{t_w} = \frac{190.4}{6.2} = 30.7 \\ 69\epsilon = 69\sqrt{\frac{235}{235}} = 69 \end{cases} \Rightarrow \frac{d}{t_w} \leq 69\epsilon$$

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

### 3. Stabilité au flambement de la semelle comprimée dans le plan de l'âme :

$$\frac{d}{t_w} \leq K \frac{E}{f_{yt}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

Avec :

$$A_w: \text{Aire de l'âme } A_w = t_w \times d = 190.4 \times 6.2 = 1180.4 \text{ mm}^2$$

$A_{fc}$ : Aire de la semelle comprimée

$$A_{fc} = b_f \cdot t_f = 120 \times 9.8 = 1176 \text{ mm}^2$$

$f_{yt}$ : Limite d'élasticité de la semelle comprimée ( $f_{yt} = 235 \text{ N/mm}^2$ )

K : Coefficient pris égal à 0,3 pour une semelle de classe I.

$$\begin{cases} K \frac{E}{f_{yt}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = 0.3 \times \frac{21 \times 10^4}{235} \sqrt{\frac{1180.4}{1176}} = 268.61 \\ \frac{d}{t_w} = \frac{190.4}{6.2} = 30.7 \end{cases}$$

⇒ Condition vérifiée.

### 4. Résistance du potelet au déversement :

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{lt} \times \beta_w \times W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec :

$$\beta_w = 1 \text{ section de classe I}$$

$\chi_{lt}$  est le facteur de réduction pour le déversement.

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M1} = 1.1$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{\beta_w \times W_{ply} \times f_y}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$ : Moment critique élastique de déversement donné par la formule suivante :

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \times \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$

**Avec :**

$C_1 = 1.132$  (Charge uniformément répartie)

$$G = \frac{E}{2(1-\nu)} \Rightarrow \begin{cases} E = 21 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2 \\ \nu = 0.3 \end{cases} \Rightarrow G = 8,07 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$$

$I_t$ : Moment d'inertie de torsion ( $I_t = 12.88 \text{ cm}^4$ )

$I_w$ : Moment d'inertie de gauchissement ( $I_w = 37.39 \times 10^3 \text{ cm}^6$ )

$I_z$ : Moment d'inertie de flexion suivant l'axe faible inertie ( $I_z = 283.6 \text{ cm}^2$ )

$$M_{cr} = 1.123 \times \frac{3,14^2 \times 21 \cdot 10^6 \times 283.6}{630^2} \times \sqrt{\frac{37.39 \times 10^3}{283.6} + \frac{630^2 \times 8,07 \times 10^6 \times 12.88}{3,14^2 \times 21 \times 10^6 \times 283.6}}$$

$$M_{cr} = 490656.72 \text{ N.cm}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{1 \times 366.6 \times 235.10^2}{490656.72}} = 4.19$$

**On calcul :**

$$\chi_{lt} = \frac{1}{(\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 - \lambda_{lt}^2})} \leq 1$$

Avec :

$$\phi_{lt} = 0.5 \times [1 + \alpha_{lt}(\lambda_{lt} - 0.2) + \lambda_{lt}^2]$$

$\alpha_{lt} = 0.21$  Pour les profils laminés

$$\phi_{lt} = 0,5 \times [1 + 0,21(4.19 - 0,2) + 4.19^2] = 9.69$$

**Donc :**

$$\chi_{lt} = \frac{1}{(9.69 + \sqrt{9.69^2 - 4.19^2})} = 0.05$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0.05 \times 1 \times 366.6 \times 23.5}{1.1} = 391.6 \text{ KN.m}$$

$M_{sd} \leq M_{b,Rd}$     **⇒ Condition vérifiée.**

## Chapitre IV dimensionnement des éléments structuraux :

### IV.1. Introduction :

Pour la vérification du portique, on va prendre en considération l'effet de la rigidité et les différents chargements qui sollicitent de manière variable à chaque portique, donc avec ces raisons et d'autre, on va faire l'étude de portique qui contient le poteau et la traverse la plus sollicitée.

Le portique et une ossature métallique porteuse dont les éléments sont rigides et généralement sollicités principalement à la flexion et pour plus de précision nous avons fait les calculs avec le logiciel robot.

### IV.2. Choix de profilé :

Les barres : 2, 3, 4 et 5 → HEA300

Les barres : 6, 7, 8, 9, 10 et 11 → HEA 300

Appuis : 1, 3, 5 et 7 → Encastrés

### IV.3. Bilan des charges :

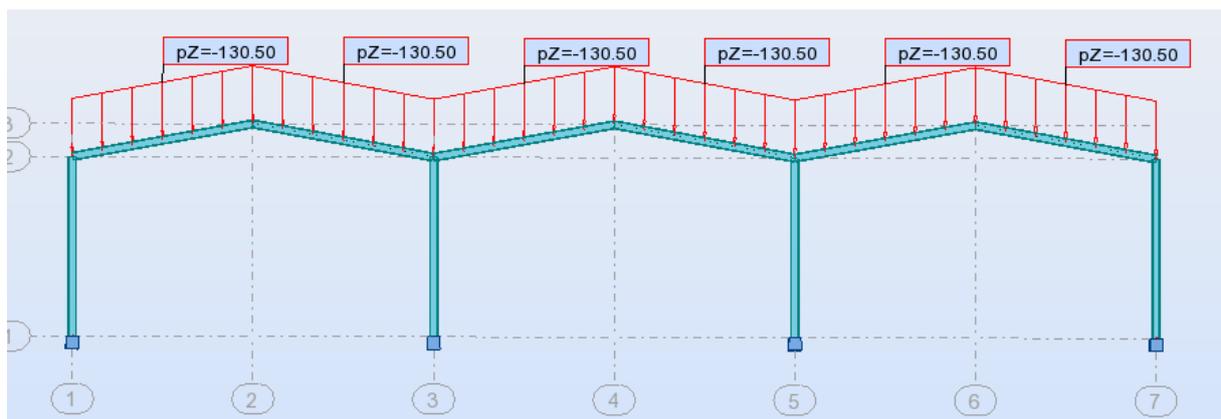
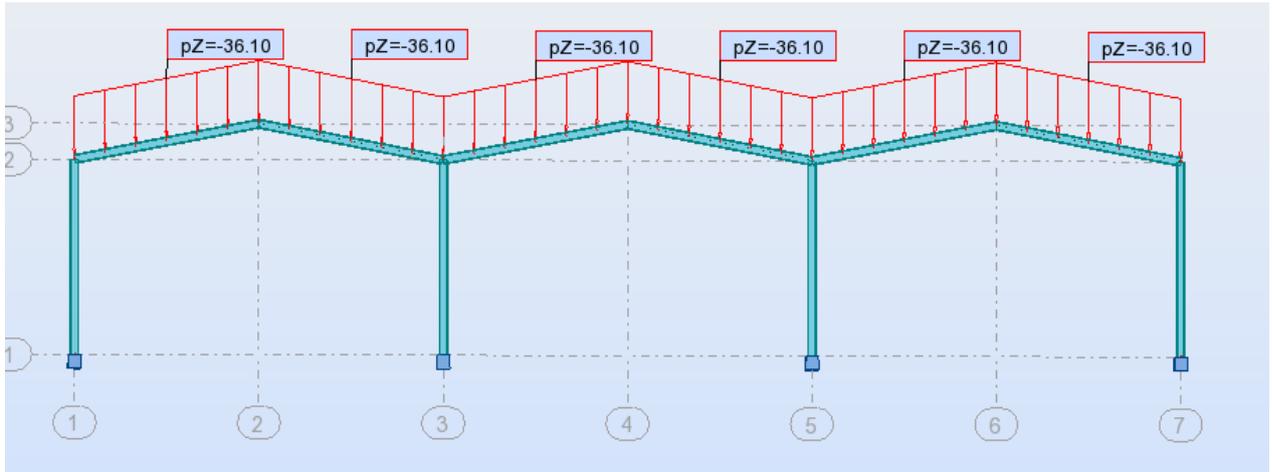
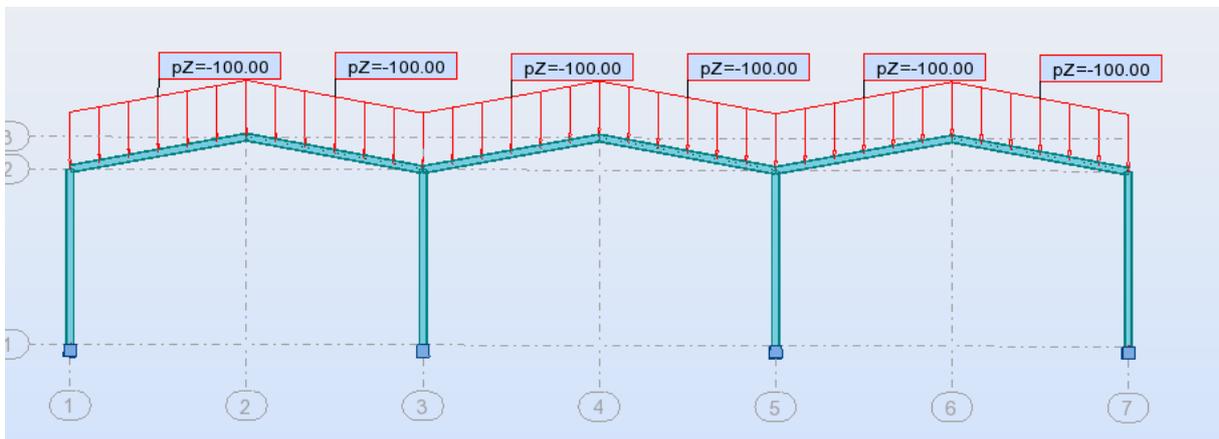


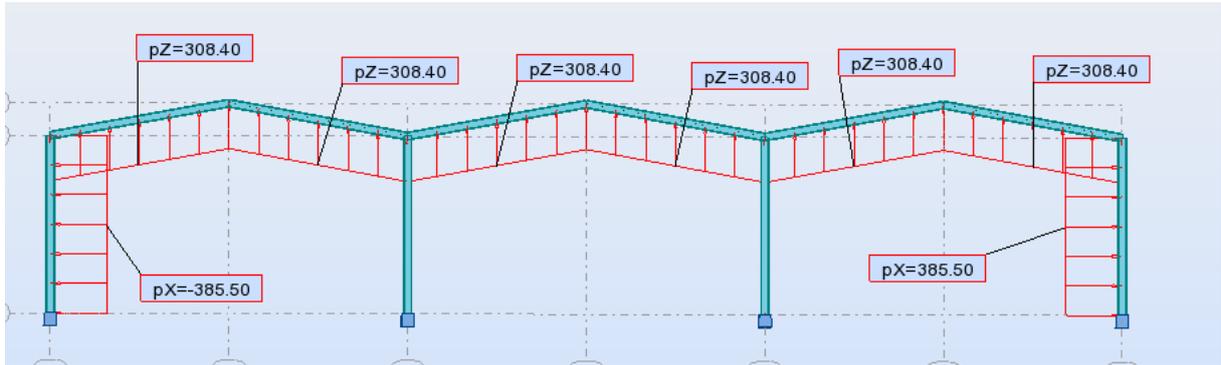
Figure IV.3. Charge permanente



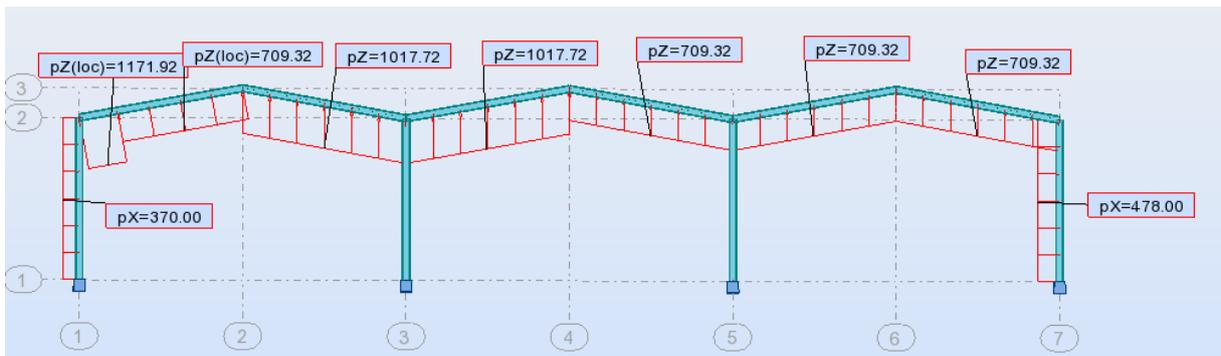
**Figure IV.3 Charge du poids propre**



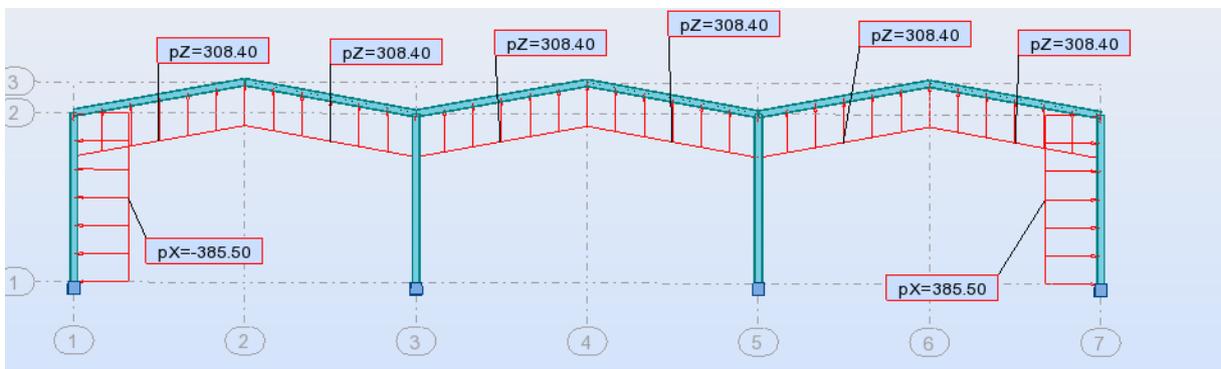
**Figure IV.3 Charge d'entretien**



**Figure IV.3 Charge de V1**



**Figure IV.3. Charge de V2**



**Figure IV.3. Charge de V3**

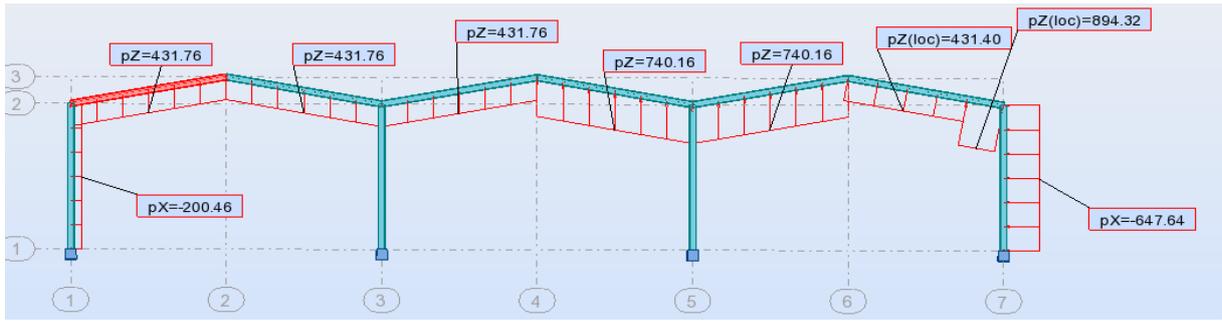


Figure IV.3. Charge de V4

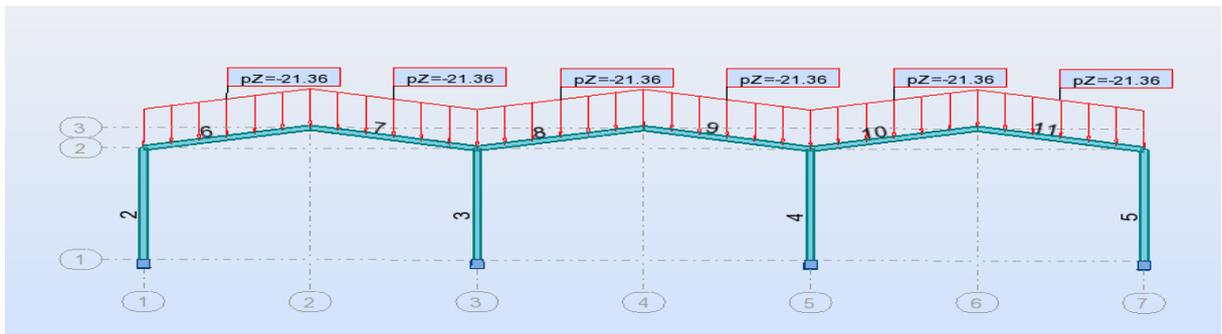


Figure IV.3. Charge de la neige

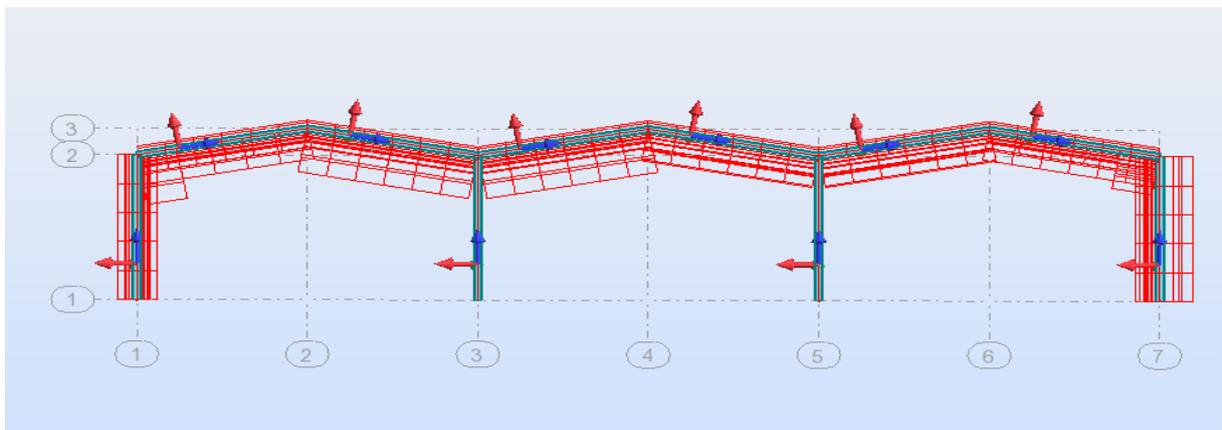


Figure IV.3. Cas de chargement le plus défavorable

#### IV.4. Dimensionnement des poteaux :

Les poteaux sont des éléments verticaux qui supportent les charges et les surcharges, et qui transmettent ces derniers aux fondations, ils sont généralement des profilés en HEA ou HEB.

Les efforts sollicitant les plus défavorables calculées par le logiciel ROBOT :

- $M_{sd} = 116,96 \text{ KN.m}$
- $N_{sd} = 62,02 \text{ KN}$
- $V_{sd} = 58,30 \text{ KN}$

##### IV.4.1. Caractéristiques du profilé du poteau :

Profil	Poids	Section	Dimensions					Caractéristiques					
	P Kg/m	A cm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	d mm	I <sub>y</sub> <sup>4</sup> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> <sup>4</sup> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> <sup>3</sup> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> <sup>3</sup> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	i <sub>z</sub> cm
HEA 300	88,3	113	290	300	14	8,5	208	18260	6310	1380	642	12,7	7,49

Tableau IV.4.1. Caractéristiques de profilés HEA 300

##### IV.4.2. Classe de la section transversale du poteau :

###### a. Classe de l'âme

$$\frac{d}{t_w} \leq 38\varepsilon$$

Avec :

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

$$d = 208 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,5 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{d}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,47 \\ 38\varepsilon = 38\sqrt{\frac{235}{235}} = 33 \end{cases} \Rightarrow \frac{d}{t_w} \leq 33\varepsilon \quad \text{Donc l'âme est de classe II.}$$

**b. Classe de la semelle :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 11\varepsilon$$

Avec :

$$c = \frac{b}{2} = 150\text{mm}$$

$$t_f = 14\text{mm}$$

$$\begin{cases} \frac{c}{t_f} = \frac{150}{14} = 10,71 \\ 10\varepsilon = 11\sqrt{\frac{235}{235}} = 10 \end{cases} \Rightarrow \frac{c}{t_f} \leq 10\varepsilon \quad \text{Donc la semelle est de classe II..}$$

La section globale est de classe II.

#### **IV.4.3. Condition de résistance aux instabilités :**

Les poteaux sont sollicités en flexion composée, alors il faut qu'il satisfait la condition suivante :

$$\left(\frac{M_{sd}}{M_{pl.Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{N_{sd}}{N_{pl.Rd}}\right)^\beta \leq 1$$

Avec :

$$M_{pl.Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1383 \times 0.235}{1,1} = 295,45 \text{ KN}$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11300 \times 0.235}{1,1} = 2414.09 \text{ KN}$$

$$\left(\frac{116,96}{295,45}\right)^1 + \left(\frac{62,02}{2414,09}\right)^2 = 0,39 \leq 1 \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

#### IV.5. Vérification de flambement :

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd}$$

Avec :

$N_{sd}$ : Effort de compression.

$N_{b,Rd}$ : La résistance de calcul d'un élément comprimé au flambement, elle être prise

égale à:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

Avec :

-  $N_{b,Rd}$ : Résistance au flambement.

-  $\beta_A = 1$  pour les sections de classe I.

-  $\gamma_{M0} = 1,1$ .

-  $\chi$ : Coefficient de réduction dépend de  $\lambda$ .

-  $\lambda$ : Elancement réduit.

$$\lambda = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right) \sqrt{\beta_A} = \frac{\lambda}{93,9E}$$

$\lambda$  : calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{b_f} = \frac{290}{300} = 0,96 < 1,2 \\ t_f = 14 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{axe de flambement} \Rightarrow \begin{cases} (y - y) \\ (z - z) \end{cases} \\ \text{courbe de flambement} \Rightarrow \begin{cases} b \\ c \end{cases} \end{array} \right.$$

**a. Longueur de flambement :**

$$L_f = 0,5 \times L_0$$

Plan (y-y) :

Axe (y-y)  $\Rightarrow$  Courbe (b)  $\Rightarrow \alpha = 0,34$

$$\lambda_y = \frac{L_{fy}}{i_y} = \frac{300}{12,74} = 23,54 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{93,9\text{E}} = \frac{23,54}{93,9} = 0,25$$

Plan (z-z) :

Axe (z-z)  $\Rightarrow$  Courbe (c)  $\Rightarrow \alpha = 0,49$

$$\lambda_z = \frac{L_{fz}}{i_z} = \frac{210}{7,49} = 28,03 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda}{93,9\text{E}} = \frac{28,03}{93,9} = 0,29$$

$$\lambda = \max = 0,29$$

**b. Détermination de coefficient de flambement :**

$$\chi_{lt} = \frac{1}{(\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 - \lambda_{lt}^2})} \leq 1$$

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

$$\phi_{lt} = 0,5 \times [1 + 0,49(0,29 - 0,2) + 0,29^2] = 0,56$$

$$\chi_{lt} = \frac{1}{(0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,29^2})} = 0,96$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,96 \times 1 \times 113 \times 10^2 \times 235 \cdot 10^{-3}}{1,1} = 2317,5 \text{ KN.m}$$

$$N_{sd} = 62,02 \text{ KN.m} \leq N_{b,Rd} = 2317,5 \text{ KN.m}$$

**$\Rightarrow$ Condition Vérifiée.**

## IV.6. Calcul des traverses :

Justification des traverses (HEA 300)

Les moments maximaux sollicitant la traverse sont obtenus par le logiciel robot.

- $M_{sd} = 116,96 \text{ KN.m}$
- $N_{sd} = 62,02 \text{ KN}$
- $V_{sd} = 58,30 \text{ KN}$

### IV.6.1. Caractéristiques de la traverse :

#### 1. Choix du profilé :

Profil	Poids	Section	Dimensions					Caractéristiques					
	P Kg/m	A cm <sup>2</sup>	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	d mm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	i <sub>z</sub> cm
HEA 300	88,3	113	290	300	14	8,5	208	18260	6310	1380	642	12,7	7,49

Tableau IV.6.1 Caractéristique du profilé

#### 2. Classe de la section transversale :

##### a. Classe de l'âme

$$\frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon$$

Avec :

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

$$d = 208 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,5 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,47 \\ 38\varepsilon = 38\sqrt{\frac{235}{235}} = 33 \end{array} \right. \Rightarrow \frac{d}{t_w} \leq 72\varepsilon \quad \text{Donc l'âme est de classe I.}$$

**b. Classe de la semelle :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 11\varepsilon$$

Avec :

$$c = \frac{b}{2} = 150\text{mm}$$

$$t_f = 14\text{mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{c}{t_f} = \frac{150}{14} = 10,71 \\ 11\varepsilon = 10\sqrt{\frac{235}{235}} = 11 \end{array} \right. \Rightarrow \frac{c}{t_f} \leq 11 \varepsilon \quad \text{Donc la semelle est de classe II..}$$

La section globale est de classe II.

#### **IV.6.2. Condition de résistance :**

a. Vérification de la flèche : (ELS)

$$f \leq f_{ad}$$

Avec :

$$f = 3\text{mm (calculé par robot)}$$

$$f_{ad} = 1/200 = 6100/200 = 30.5\text{mm}$$

**Donc :**

$$f \leq f_{ad} \rightarrow \text{La flèche est donc vérifiée.}$$

**b. Vérification de l'effort tranchant :**

$$V_{pl.Rd} = \frac{A_V \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{m0}}$$

$$A_V = A - 2b \cdot t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f$$

$$A_V = 11300 - 2(300) \cdot 14 + (8,5 + 54)14 = 3775 \text{ mm}^2$$

Donc :

$$V_{pl.Rd} = \frac{3775 \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1,1} = 4656.19 \text{ KN}$$

$$V_{sd} = 58.30 \text{ KN} \leq 50\% V_{pl.Rd} = 4656.19 \text{ KN}$$

**Donc on ne tient pas de l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.**

$$\left(\frac{M_{sd}}{M_{pl.Rd}}\right)^1 + \left(\frac{N_{sd}}{N_{pl.Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$M_{pl.Rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1383 \times 0.235}{1,1} = 295,45 \text{ KN}$$

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11300 \times 0.235}{1,1} = 2414.09 \text{ KN}$$

$$\left(\frac{116,96}{295,45}\right)^1 + \left(\frac{62,02}{2414,09}\right)^2 = 0,39 \leq 1 \Rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

### IV.6.3. Résistance de la traverse au déversement :

Le moment résistant de déversement est donnée par :

$$M_{bRd} = \frac{x_{lt} \times B_w \times W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}}$$

Avec :

- $B=1$  « section transversale de classe I »
- $\chi_{lt}$  est le facteur de réduction pour le déversement.
- $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$
- $\gamma_{M1} = 1,1$

$$\chi_{lt} = \left( \frac{\lambda}{\lambda_1} \right) \sqrt{B_w}$$

$$\lambda = \frac{L \times \left( \frac{W_{ply}^2}{I_z I_w} \right)^{0,25}}{C_1^{0,5} \left( \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_w} \right)^{0,25}}$$

Avec :

$C_1 = 1,132$  (Charge uniformément répartie)

$$G = \frac{E}{2(1-\nu)} \Rightarrow \begin{cases} E = 21.10^6 \text{ N/cm}^2 \\ \nu = 0,3 \end{cases} \Rightarrow G = 8,08.10^6 \text{ N/cm}^2$$

$I_t$ : Moment d'inertie de torsion ( $I_t = 87,7 \text{ cm}^4$ )

$I_w$ : Moment d'inertie de gauchissement ( $I_w = 1199,9 \times 10^3 \text{ cm}^6$ )

$I_z$ : Moment d'inertie de flexion suivant l'axe faible inertie ( $I_z = 6310 \text{ cm}^4$ )

$$\lambda = 3620,18$$

$$\lambda_1 = 93,9 \text{ E} = 93,9$$

$$\chi_{lt} = \left( \frac{3620,18}{93,9} \right) \sqrt{1} = 0,385$$

$$\phi_{lt} = 0.5 \times [1 + \alpha_{lt}(\lambda_{lt}^- - 0.2) + \lambda_{lt}^{-2}]$$

$$\phi_{lt} = 0.5 \times [1 + 0,21(0,385 - 0.2) + 0,385^2]$$

$$\phi_{lt} = 0,593$$

Donc :

$$\chi_{lt} = \frac{1}{(0,593 + \sqrt{0,593^2 - 0,385^2})} = 0,76$$

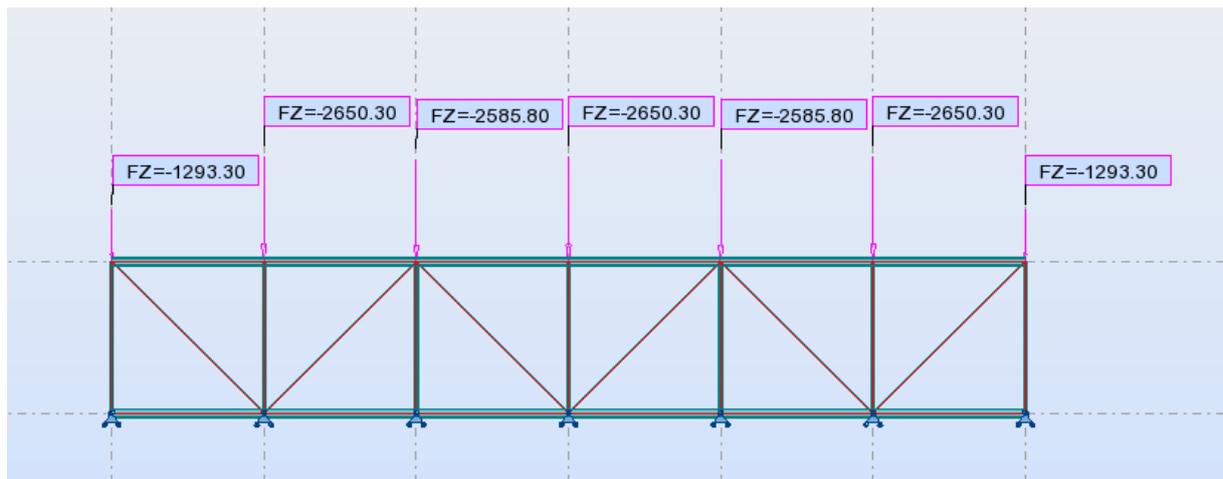
$\alpha_{lt} = 0.21$  pour les profile laminés

$$M_{b,Rd} = \frac{0.76 \times 1 \times 1380 \times 10^{-6} \times 235 \times 10^3}{1.1} = 224,06 \text{ KN.m}$$

$$M_{sd} = 116,96 \text{ KN.m} < M_{b,Rd} = 224,06 \text{ KN.m}$$

⇒ **Condition vérifiée**

#### IV.7.1 Vérification du contreventement et de la poutre au vent :



#### IV.7.1 Contreventement horizontales

On a :

$$V = 141.35 \text{ daN/m}^2$$

$$F_1 = V.S$$

$$\text{Avec : } S_1 = \frac{(3+3.10)*3}{2} = 9.11 \text{ m}^2$$

$$F_1 = 141.35 * 9.11 = 1293.3 \text{ daN}$$

$$F_2 = V.S_2$$

$$\text{Avec : } S_2 = (3.1+3.15) * 3 = 18.75 \text{ m}^2$$

$$F_2 = V.S_2 = 141.35 * 18.75 = 2650.3 \text{ daN}$$

$$F_3 = V.S_3$$

$$\text{Avec : } S_3 = (3+3.1) * 3 = 18.3 \text{ m}^2$$

$$F_3 = 141.3 * 18.3 = 2585.8 \text{ daN}$$

#### **IV.7.2 Eléments tendus :**

$$N_{tsd} \leq N_{trd}$$

$$\text{Avec : } N_{tsd} = 353.57 \text{ ( calculé par logiciel ROBOT )}$$

##### **a. Résistance ultime :**

$$N_{tsd} \leq N_{trd} = \frac{A * F_u}{\gamma m_1} \rightarrow A \geq \frac{N_{tsd} * \gamma m_1}{F_u}$$

$$A = \frac{353.57 * 1.1}{2350} = 0.16 \text{ cm}^2$$

**On adopte : 2L 50×50×5 ( A = 4.80 cm<sup>2</sup> )**

##### **b. Résistance ultime de la section brute :**

$$N_{pl,Rd} = \frac{2A * F_y}{\gamma m_0} = \frac{2(4.80) * 2350}{1.1}$$

$$N_{pl,Rd} = 20509 \text{ daN}$$

**c. Résistance ultime :**

$$N_u = 0.9 \times \frac{A_{net} \times F_u}{\gamma_{m0}}$$

$$A_{net} = 3.38 \text{ cm}^2$$

$$N_u = 0.9 \times \frac{3.38 \times 3600}{1.1}$$

$$N_u = 9955.6 \text{ daN}$$

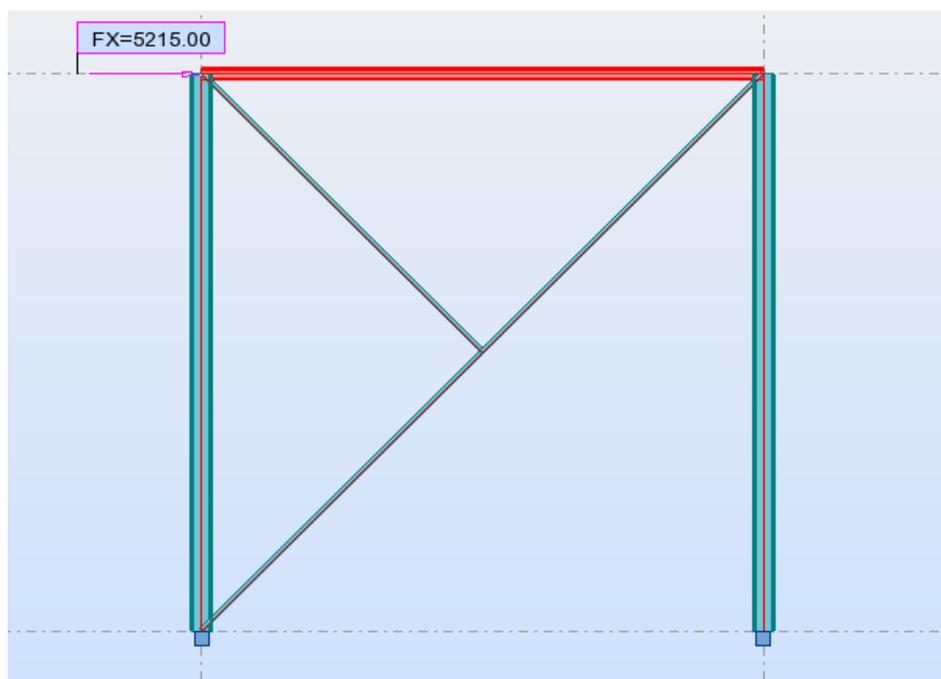
**d. Résistance de calcul de la section nette :**

$$N_{net,Rd} = \frac{A \times F_y}{\gamma_{m0}} = \frac{3.38 \times 2350}{1.1}$$

$$N_{net,Rd} = 7220.9 \text{ daN}$$

$$N_{tsd} \leq \min ( N_{pl,Rd} ; N_{u,Rd} ; N_{net,Rd} ) \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

**IV.7.3. Contreventement verticales :**



**IV.7.3. Contreventement vertical**

$$F = V \times S$$

$$S = (3.15 + 3) \times 6$$

$$F = 5215 \text{ daN}$$

$$N_{tsd} \leq N_{t,Rd}$$

$$N_{tsd} = 6010 \text{ daN}$$

$$N_{tsd} \leq N_{t,Rd} = \frac{A \times F_u}{\gamma_{m1}} \rightarrow A \geq \frac{N_{tsd} \times \gamma_{m1}}{F_y} \rightarrow A = 3.12 \text{ cm}^2$$

$$\text{On prend : } 2L \times 50 \times 50 \times 5 \rightarrow A = 4.80 \text{ cm}^2$$

#### **IV.8. Justification du profilé de la poutre sablière :**

##### **IV.8.1. Les efforts sollicitant les plus défavorable :**

$$N_{sd} = 4960.11 \text{ daN}$$

$$V_{sd} = 195.31 \text{ daN}$$

$$M_{sd} = 432.41 \text{ daN}$$

##### **IV.8.2. Classe de la section transversale de la poutre sablière :**

###### **a. Classe de l'âme fléchie :**

$$\frac{d}{t_w} \leq 72\epsilon$$

$$\frac{92}{5.5} \leq 72 \sqrt{\frac{235}{235}} = 16.72 \leq 72 \rightarrow \text{l'âme est de classe I}$$

###### **b. Classe de la semelle comprimée :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\epsilon$$

$$\frac{70}{8.5} = 8.52 \leq 10 \rightarrow \text{la semelle est de classe I}$$

### IV.8.3. Vérification de la flèche :

$f \leq f_{\max}$  avec  $f = 0.1\text{cm}$  ( calculée par le logiciel ROBOT )

$$f_{\max} = 1/200 = 600/200 = 3\text{cm}$$

$f \leq f_{\max} \rightarrow$  **condition vérifiée.**

Donc on néglige l'effet de l'effort tranchant dans la vérification.

### IV.8.4. Résistance de la poutre au déversement :

Le moment résistant de déversement est donné par :

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{lt} \times Bw \times Wply \times Fy}{\gamma_{m1}}$$

Avec :

$Bw = 1$  ( section de classe I )

$\chi_{lt}$  : est le facteur de réduction pour le déversement

$$Fy = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\chi_{lt} = \sqrt{\frac{Bw \times Wply \times Fy}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$  : Moment critique élastique de déversement donné par la formule suivante :

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times Iz}{L^2} \sqrt{\frac{Iw}{Iz} + \frac{l^2 \times G \times It}{\pi^2 \times E \times Iz}}$$

Avec :  $K = 0.5$  donc :  $C = 0.712$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \rightarrow G = 8.07 \times 10^6 \text{ N/cm}^2 \text{ ( module de cisaillement )}$$

$I_t$  : Moment d'inertie de torsion ( $I_t = 8.13 \text{ cm}^4$  )

$I_w$  : Moment d'inertie de gauchissement ( $I_w = 15.06 \times 10^3 \text{ cm}^6$  )

$I_z$  : Moment d'inertie de flexion suivant l'axe faible ( $I_z = 398.3 \text{ cm}^4$ )

E et  $\nu$  sont donnés par le tableau 3.2 ( page 15 CCM 97 )

E : Module d'élasticité longitudinale

$\nu$  : Coefficient de poisson

$$M_{cr} = 0.712 \times \frac{3.14^2 \times 21 \times 10^6 \times 398.4}{600^2} \times \sqrt{\frac{15.06 \times 10^3}{398.4} + \frac{600^2 \times 8.07 \times 10^6 \times 8.13}{3.14^2 \times 21 \times 10^6 \times 398.4}}$$

$$M_{cr} = \mathbf{2937210.2 \text{ N.cm}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{1 \times 155 \times 235 \times 10^2}{2937210.2}} = 1.11$$

On calcule :

$$\chi_{lt} = \frac{1}{\phi_{lt} + \sqrt{\phi_{lt}^2 - \lambda_{lt}^2}} \leq 1$$

Avec :

$$\phi_{lt} = 0.5 \times [1 + \alpha_{lt} (\lambda_{lt} - 0.2) + \lambda_{lt}^2]$$

$\alpha_{lt} = 0.21$  ( pour les profilés laminés )

$$\phi_{lt} = 1.21$$

Donc :

$$\chi_{lt} = \frac{1}{1.21 + \sqrt{1.21^2 - 1.11^2}}$$

$$\chi_{lt} = 0.59$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0.59 \times 1 \times 155 \times 235 \times 10^3}{1.1}$$

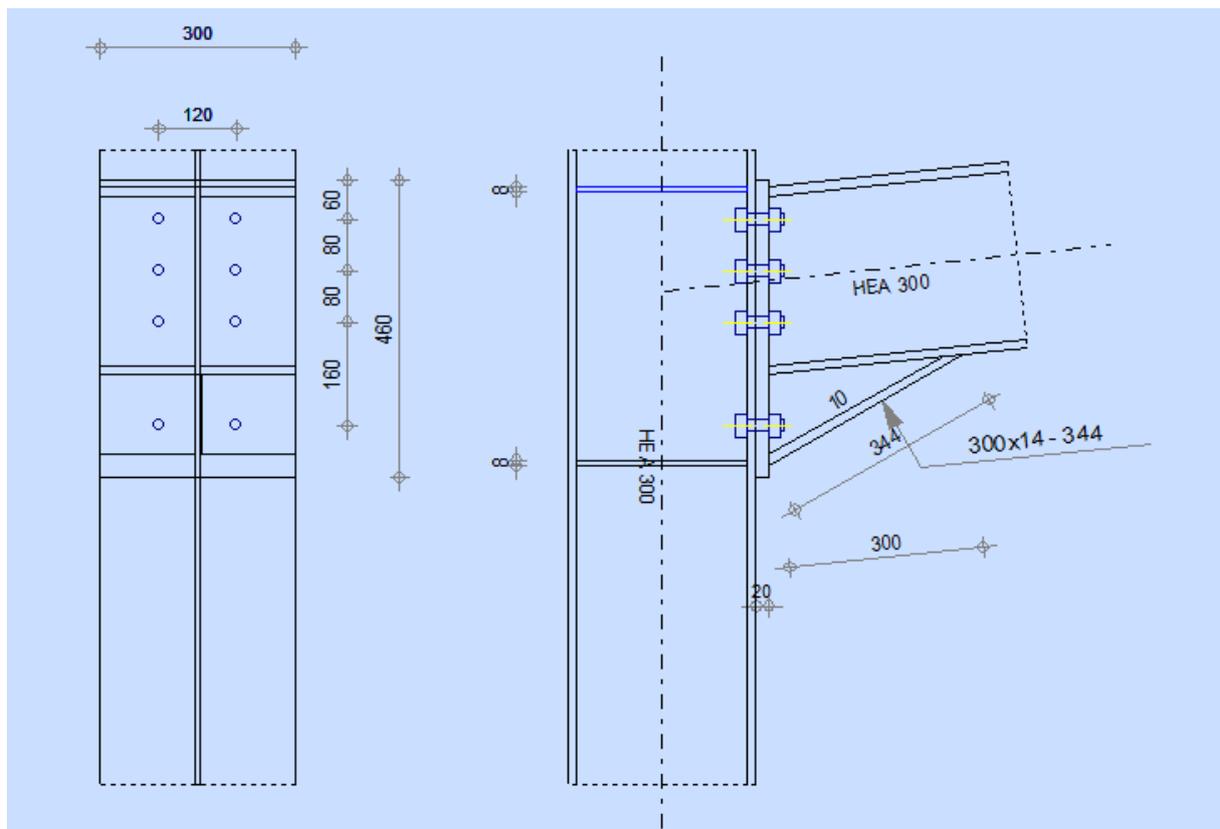
$$M_{b,Rd} = 19.53 \text{ KN.m}$$

$M_{sd} = 4.32 \text{ KN.m} \leq M_{b,Rd} = 19.53 \text{ KN.m} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$

## Chapitre V : Les assemblages :

### V.1. Assemblage poteau \_ traverse :

- l'assemblage poteau – traverse est réalisé à l'aide d'une platine boulonnée à la traverse et au poteau.
- l'assemblage est sollicité par un moment fléchissant, effort tranchant et un effort normal.



### V.1. Représentation de l'assemblage Poteau – Traverse

#### L'effort sollicitant :

$$V_{sd} = 50.04 \text{ KN}$$

$$N_{sd} = 23.77 \text{ KN}$$

$$M_{sd} = 83.17 \text{ KN.m}$$

- **Epaisseur de la platine :**

$$ep = 20 \text{ mm}$$

$$18 \text{ mm} \leq t_{max} \leq 25 \text{ mm}$$

$$a_{min} = 5 \text{ mm}$$

$$a_{max} = 0,7t = 14 \text{ mm}$$

On prend un cordon de soudure d'épaisseur  $a = 8 \text{ mm}$

- **Soudure de la platine :**

- a. Soudure de la semelle :**

$$N_d \leq \min ( R_w ; R_s )$$

$$N_d = \frac{M_{sd}}{h} + N_{sd} = \frac{83,17}{0,3} + 23,77 = 301 \text{ KN}$$

$$R_s = \frac{0,7 \times f_y \times a \sqrt{2} \times l}{\gamma_{M1}} = \frac{0,7 \times 23587 \sqrt{2} \times 300 \times 10^{-3}}{1,1} = 507,57 \text{ KN}$$

$$R_w = \frac{0,5 \times FUE \times a \times l}{\gamma_{M1}} = \frac{0,7 \times 360 \times 8 \times 300 \times 10^{-3}}{1,1} = 392,72 \text{ KN}$$

Donc :

$$N_d \leq \min ( R_w, R_s ) \Rightarrow \text{la condition vérifiée}$$

- b. Soudure de l'âme :**

$$R_s = \frac{0,7 \times f_y \times a \sqrt{2} \times l}{\gamma_{M1}} = \frac{0,7 \times 2358 \times 8 \sqrt{2} \times 290 \times 10^{-3}}{1,1} = 490,65$$

$$V_{sd} \leq R_s \Rightarrow \text{condition vérifiée.}$$

### V.1. Détermination des efforts dans les boulons :

Nous considérons uniquement les boulons tendus, c'est à dire les 3 rangées supérieures des boulons.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Boulons de classe 8.8} \\ \text{Nombre de boulons : 8} \\ \text{Nombre de files : 2} \end{array} \right.$$

### **Poteau HEA300 – Traverse HEA300 :**

$$d_1 = 374 \text{ mm} , d_2 = 294 \text{ mm} , d_3 = 214 \text{ mm}$$

$$\sum di^2 = d_1^2 + d_2^2 + d_3^2$$

$$\sum di^2 = 360^2 + 270^2 + 180^2 = 0,27 \text{ m}^2$$

$$N_t = \frac{M_{sd} \times di}{\sum di^2}$$

$$N_1 = \frac{83.17 \times 0,374}{0,27} = 115.2 \text{ KN}$$

$$N_2 = \frac{83.17 \times 0,294}{0,27} = 90.56 \text{ KN}$$

$$N_3 = \frac{83.17 \times 0,214}{0,27} = 65.9 \text{ KN}$$

### **V.2. Dimensionnement des boulons :**

$$A_s \geq \frac{N_1}{0,7 \times f_{ub} \times n} = \frac{115.2}{0,7 \times 800 \times 2} = 102.85 \text{ mm}^2$$

On choisit un boulon M18 classe 8.8

$$A_s = 192 \text{ mm}^2 , A = 254 \text{ mm}^2 , d_0 = 20 \text{ mm}$$

### **V.3. Condition de résistance des boulons :**

#### **Distance entre axe des boulons :**

#### **• entre axe des boulons**

$$P_1 \geq 2,2 d_0 \quad ; \quad P_2 \geq 3 d_0$$

$$P_1 \geq 2,2 \times 20 = 44 \text{ mm} \quad ; \quad P_2 \geq 3 \times 20 = 60 \text{ mm}$$

**•Pince longitudinale :**

$$e_1 \geq 1,2 d_0$$

$$e_1 \geq 1,2 \times 20 = 24 \text{ mm}$$

On prend :

$$e_1 = 60 \text{ mm}$$

$$P_1 = 80 \text{ mm}$$

**•Pince transversale:**

$$e_2 \geq 1.5 d_0$$

$$e_2 \geq 1,5 \times 20 = 30 \text{ mm}$$

on prend :

$$e_2 = 90 \text{ mm}$$

$$P_2 = 120 \text{ mm}$$

**V.4. Moment résistant effectif de l'assemblage :**

$$M_{rd} = \frac{F_{pc} \times \sum d_i^2}{d_1} < M_{sd}$$

$$F_p = 0,7 \times f_{ub} \times A_s \Rightarrow F_p = 0,7 \times 800 \times 192 \times 10^{-3} = 107.52 \text{ KN}$$

$$M_{rd} = \frac{107.52 \times 0.27}{0.374} = 77.62 \text{ KN} < M_{sd} = 83.17 \text{ KN} \Rightarrow \text{Vérifiée.}$$

**V.5. Résistance d'un boulon à l'interaction cisaillement-traction :**

**assemblages résistant au glissement à l'état limite ultime.**

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \cdot \mu (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd})}{\gamma_{Ms,ult}}$$

Avec :

$\mu$  = coefficient de frottement des surfaces assemblées ( $\mu = 0.3$ )

$K_s = 1$  si les trous sont normaux.

$n$  = nombre d'interfaces de frottement.

$$F_{t,sd} = \frac{F_p}{2} = \frac{107.52}{2} = 53.76 \text{ KN}$$

• **Effort de cisaillement sollicitant par boulon**

$$F_{V,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{50.04}{8} = 6.25 \text{ KN}$$

• **Effort résistant de l'interaction cisaillement-traction sollicitons :**

$$\Rightarrow F_{S,rd} = \frac{1 \times 1 \times 0,3 \times (107.52 - (0,8 \times 53.76))}{1,1} = 17.59 \text{ KN}$$

$F_{V,sd} < F_{S,rd} \rightarrow$  **La condition est vérifiée.**

**V.6. Vérification au poinçonnement :**

Il faut vérifier que :

$$B_{prd} > F_{t,sd}$$

$B_{prd}$  : est la résistance au cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon.

$F_{t,sd}$  : l'effort de traction par boulon à l'état limite ultime.

$$B_{prd} = 0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times \frac{f_u}{\gamma_{Mb}}$$

$t_p$  : épaisseur de la plaque sous la tête du boulon ou de l'écrou

$d_m$  : diamètre moyen de la tête du boulon ou de l'écrou (plus petite des deux valeurs).

$$B_{prd} = 0,6 \times 3,14 \times 29.1 \times 1.4 \times \frac{36}{1.1}$$

$$\Rightarrow B_{prd} = 251.19 \text{ KN}$$

$$\text{Donc : } B_{prd} > F_{t,sd} = 128,52 \text{ KN}$$

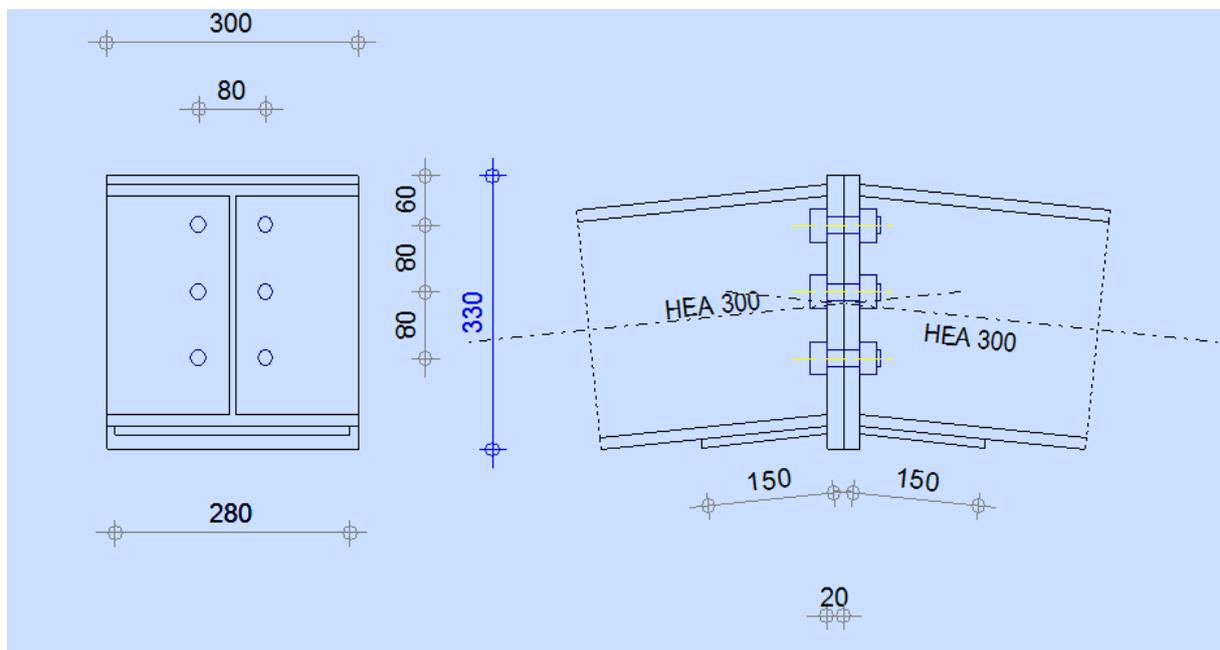
**$\rightarrow$  La condition est vérifiée.**

### V.7.1 Assemblage traverse \_ traverse :

#### Traverse HEA300 - HEA300 :

L'assemblage traverse – traverse est réalisé par l'intermédiaire d'une platine boulonnée.

Si la portée du portique ne dépasse pas certaines limites pour le transport (environ 16m), L'assemblage du faitage peut être réalisé en usine, hors chantier, permettant ainsi des économies.



#### V.7.1 Représentation de l'assemblage traverse \_ traverse.

On choisit des boulons de classe 8.8

Nombre de boulons = 6

Traverse : HEA300

$$M_{max} = 46.50 \text{ KN} \quad V_{sd} = 0.03 \text{ KN}$$

#### V.7.2. Détermination des efforts dans les boulons :

Nous considérons uniquement les boulons tendus, c'est à dire les 3 rangées supérieures des boulons .

$$d_1 = 203 \text{ mm} , d_2 = 123 \text{ mm}$$

$$\sum di^2 = d_1^2 + d_2^2$$

$$\sum di^2 = 203^2 + 123^2 = 0.056338m^2$$

$$N_i = \frac{M_{sd} \times di}{\sum di^2}$$

$$N_1 = \frac{46.50 \times 0.203}{0.056} = 168.56 \text{ KN}$$

$$N_2 = \frac{46.50 \times 0.123}{0,056} = 102.13 \text{ KN}$$

### V.7.3. Dimensionnement des boulons :

Il faut vérifier que :  $N_1 \leq n \times F_p$  avec  $F_p = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$

$$A_s \geq \frac{N_1}{0,7 \times f_{ub} \times n} = \frac{168.56}{0,7 \times 800 \times 2} = 150.5 \text{ mm}^2$$

On choisit un boulon M20 classe 8.8

$$A_s = 245 \text{ mm}^2, A = 314 \text{ mm}^2, d_0 = 22 \text{ mm}$$

- **Condition de résistance des boulons :**

**Distance entre axe des boulons :**

$$P_1 \geq 2,2 d_0 \quad ; P_2 \geq 3 d_0$$

$$P_1 \geq 2,2 \times 22 = 48.4 \text{ mm} \quad ; P_2 \geq 3 \times 22 = 66 \text{ mm}$$

- **Pince longitudinale :**

$$e_1 \geq 1,2 d_0$$

$$e_1 \geq 1,2 \times 22 = 26.4 \text{ mm}$$

- **Pince transversale:**

$$e_2 \geq 1,5 d_0$$

$$e_2 \geq 1,5 \times 22 = 33 \text{ m}$$

On prend :

$$e_1 = 80 \text{ mm}$$

$$P_1 = 80 \text{ mm}$$

on prend :

$$e_2 = 60 \text{ mm}$$

$$P_2 = 80 \text{ mm}$$

#### V.7.4. Moment résistant effectif de l'assemblage :

$$M_{rd} = \frac{F_p \times \sum d_i^2}{d_1} < M_{sd}$$

$$F_p = 0,7 \times f_{ub} \times A_s \Rightarrow F_p = 0,7 \times 800 \times 245 \times 10^{-3} = 137.2 \text{ KN}$$

Et  $137.2 \times 2 = 274.4$  pour chaque rangers

$$M_{rd} = \frac{274.4 \times 0,056}{0.203} = 75.69 \text{ KN} > M_{sd} = 46.50 \text{ KN} \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

#### V.7.5. Résistance d'un boulon à l'interaction cisaillement-traction :

##### assemblages résistant au glissement à l'état limite ultime :

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \cdot \mu (F_{p,Cd} - 0,8 \cdot F_{t,Sd})}{\gamma_{Ms,ult}}$$

Avec :

$\mu$  = coefficient de frottement des surfaces assemblées.

$K_s = 1$  si les trous sont normaux.

$n$  = nombre d'interfaces de frottement.

$$F_{t,sd} = \frac{F_p}{2} = \frac{137.2}{2} = 68.6 \text{ KN}$$

• Effort de cisaillement sollicitant par boulon

$$F_{V,sd} = \frac{V_{sd}}{n} = \frac{0.03}{6} = 0.005 \text{ KN}$$

• Effort résistant de l'interaction cisaillement-traction sollicitons :

$$\rightarrow F_{S,rd} = \frac{1 \times 1 \times 0,3 \times (137,2 - (0,8 \times 68,6))}{1,1} = 22,45 \text{ KN}$$

$F_{V,sd} < F_{S,rd} \rightarrow$  La condition vérifiée.

### V.7.6. Vérification au poinçonnement :

Il faut vérifier que :

$$B_{prd} > F_{t,sd}$$

$B_{prd}$  : est la résistance au cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon.

$F_{t,sd}$  : l'effort de traction par boulon à l'état limite ultime.

$$B_{prd} = 0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times \frac{f_u}{\gamma_{Mb}}$$

$t_p$  : épaisseur de la plaque sous la tête du boulon ou de l'écrou

$d_m$  : diamètre moyen de la tête du boulon ou de l'écrou (plus petite des deux valeurs).

$$B_{prd} = 0,6 \times 3,14 \times 32,4 \times 14 \times \frac{36}{1,25}$$

$$\Rightarrow B_{prd} = 246,11 \text{ KN}$$

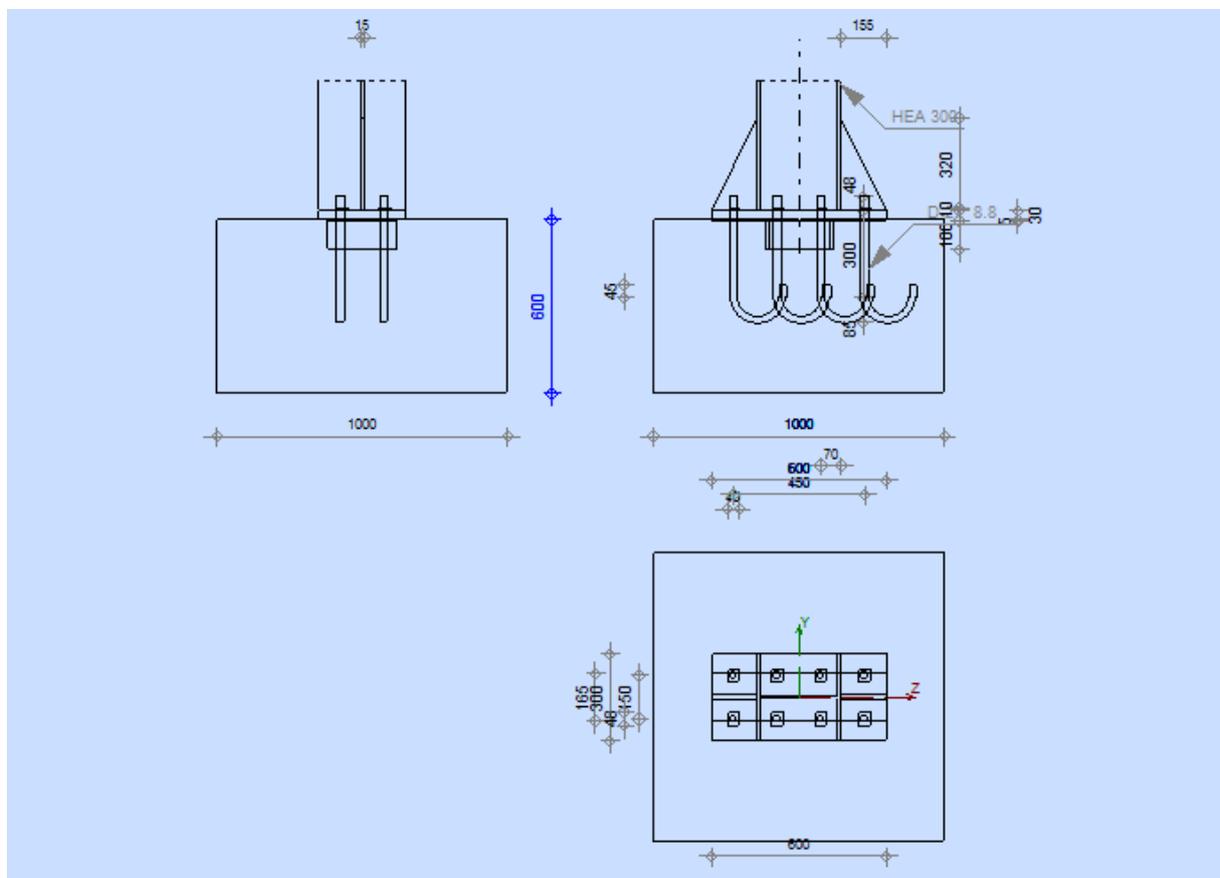
Donc :  $B_{prd} > F_{t,sd} = 68,6 \text{ KN}$

$\rightarrow$  La condition vérifiée.

## V.8. LES PIEDS DE POTEAUX :

Cette partie, traite les liaisons en pieds de poteaux, qui sont encastrés. Ces liaisons impliquent donc la transmission d'un effort vertical de compression ou de soulèvement suivant les combinaisons de cas de charges considérées, un moment fléchissant, et un effort horizontal.

### V.8.1. Dimensionnement de la plaque d'assise :



V.8.1. schéma de jonction poteau-fondation

#### a. Cordons de soudure :

- Semelle HEA 300 :

$$a_s = 0,7t_f = 0,7 \times 14 = 9,8 \quad \Rightarrow \quad \text{On prend : } a_s = 14\text{mm}$$

- **Ame HEA 300:**

$$a_a = 0,7t_w = 0,7 \times 8,5 = 5,95 \Rightarrow \text{On prend : } a_a = 8\text{mm}$$

**b. Epaisseur de la platine :**

$$t \geq U\sqrt{3\sigma/\sigma_e}$$

$$u = 70$$

$$\sigma = \frac{N}{a.b} = \frac{4649}{600 \times 300} = 0.025 \text{ daN/mm}^2$$

$$t \geq 70\sqrt{3 \times 0.025/24} \quad t \geq 3.97 \text{ mm} \rightarrow \text{On prend : } t = 30 \text{ mm}$$

**V.8.2. Dimensionnement de la tige d'ancrage :**

$$b = h + 2c$$

$$b = 290 + 2(100) = 490$$

h : la hauteur de la section HEA300  $h = 290 \text{ mm}$

c : le débord, donne par :  $c = (100 \div 150)$

On prend :  $c = 100 \text{ mm}$

$$a = h + 2c = 290 + 2 \times 100 = 490 \text{ mm}$$

$$b = b + 2c = 300 + 2 \times 100 = 500 \text{ mm}$$

Les tiges d'ancrages sont dimensionnées à la traction simple, sous un effort de traction ( $N_{st}$ )

$$F = \frac{N_t}{N} + \frac{M_y}{3P_1}$$

$$\rightarrow \frac{46.49}{8} + \frac{102.86}{3 \times 0.5} = 74.38 \text{ KN}$$

N : l'encrage est réalisé par 8 tiges

$N_t$ : Effort sollicitant de traction

$$F \leq \frac{\pi \phi^2}{12} f_y$$

$$\phi = \sqrt{\frac{8 \times 74.38}{3.14 \times 23.5}} = 2.6 \text{ cm}$$

Donc on choisit pour les tiges le diamètre :  $\phi = 27 \text{ mm}$

### V.8.3. Vérification de la tige d'ancrage :

$$Na = 0.1 \left( 1 + \frac{7gc}{1000} \right) \frac{\phi}{\left( 1 + \frac{\phi}{d_1} \right)^2} (l_1 + 6.4r + 3.5l_2)$$

$$l_1 : 20\phi = 20 \times 27 = 540 \text{ mm}$$

$$l_2 : 2\phi = 2 \times 2.7 = 54 \text{ mm}$$

$$r = 3\phi = 3 \times 2.7 = 81 \text{ mm}$$

$$d_1 = 40$$

gc : le dosage en ciment 350kg/m<sup>3</sup>

$$Na = 101.96 \text{ KN}$$

$Na = 101.96 \text{ KN} > F = 74.38 \text{ KN} \rightarrow$  Condition vérifiée.

### V.8.4. Condition d'équilibre du BAEL :

$$\frac{N}{4} \leq F_A = \pi \cdot T_{SU} \cdot \phi \cdot l_1$$

Avec :

$$l_1 : 20\phi = 540 \text{ mm}$$

$$T_{SU} : 0,6\phi_s f_{tj}$$

$\phi_s$  : 1 (Rond lisse)

$$F_A = \pi \times 1,26 \times 27 \times 20 \times 27 = 57684,3 \text{ N}$$

$$\frac{N}{4} = 11,6 \text{ KN}$$

$N \leq F_A \rightarrow$  Condition vérifiée.

## Chapitre VI : Fondation de la structure

### VI.1. Introduction :

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de l'ouvrage qui sont en contact avec le sol auquel elles transmettent les charges de la superstructure, Elles constituent donc la partie essentielle de l'ouvrage puisque de leur bonne conception et réalisation découle la bonne tenue de l'ensemble.

### VI.2. Caractéristiques des matériaux :

#### a. Béton :

Résistance caractéristique de calcul  $f_{c28} = 30$  MPA

- **Sous actions normales :**

$$\sigma_b = 0.85 \times f_{c28} / \gamma_b = 0.85 \times 30 / 1.5 = 17 \text{ MPA} = 17 \text{ daN/mm}^2$$

$$f_{t28} = 0.6 + 0.06 f_{c28} = 0.6 + 0.06 \times 30 = 2.4 \text{ MPA} = 2.4 \text{ daN/mm}^2$$

- **Etat limite de service :**

$$\sigma_b = 0.6 \times f_{c28} = 0.6 \times 30 = 18 \text{ MPA.}$$

- **Sollicitations sous actions accidentelles :**

$$\sigma_b = 0.85 \times f_{c28} / \gamma_b = 0.85 \times 30 / 1.15 = 22.17 \text{ MPA.}$$

#### b. Acier :

Acier HEA

- **Sollicitations sous actions normales :**

$$\sigma_s = F_e / \gamma_s = 360 / 1.15 = 313.04 \text{ MPA.}$$

- **b. Etat limite de service :**

$$\sigma_s = 2/3 F_e = 2/3 \times 360 = 240 \text{ MPA.}$$

- **c. Sollicitations sous actions accidentelles :**

$$\sigma_s = 360 \text{ MPA.}$$

### VI.3. Choix du type de fondation :

Le choix de type de fondation se fait suivant trois paramètres :

1. La nature et le poids de la superstructure.
2. La qualité et la quantité des charges appliquées sur la construction.

3. La qualité du sol de fondation.

Vu la nature du sol (une contrainte moyenne admissible = 1.2bars) et la descente des Charges : On opte pour des fondations superficielles de type "semelles isolées"

### **VI.3.1. Dimensionnement des fondations :**

Pour le dimensionnement des fondations, on choisit une semelle qui se trouve sous le poteau (A), les autres poteaux doivent être calculés de la même manière

- **Sollicitations maximales :**

$$N_{sd} = 74.14 \text{ KN}$$

$$M_{sd} = 1.78 \text{ KN.m}$$

$$V_{sd} = 34.7 \text{ KN}$$

$$\sigma_{sol} = 1.2 \text{ bar} = 0.12 \text{ MPA}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b}$$

$$\sigma_{sol} = \frac{N_{sd}}{A \times B} \Rightarrow A \times B \geq \frac{7414}{1200} = 0.6$$

$$\Rightarrow A \times B \geq 0.6$$

$$A = B = 0.77 \text{ m}$$

**On prend une semelle carrée A = B = 1.5 m**

### **VI.3.2. Calcul de la hauteur de la semelle :**

La hauteur de la semelle est :  $h_t = d + 5$

$$d \geq \frac{B-b}{4}$$

$$b = 30 \text{ cm} = 0.3 \text{ m} \text{ (poteaux HEA 300)}$$

$$d \geq \frac{1.5-0.3}{4} \Rightarrow d \geq 0.3$$

$$\rightarrow d = 0.4 \text{ m}$$

$$h_t = d + 5 \rightarrow h_t = 40 + 5 = 45 \text{ cm}$$

### VI.3.3. Vérification de la stabilité :

Quel que soit le type de fondation on doit vérifier que l'excentrement de la résultante des Forces verticales gravitaires et des forces sismiques reste à l'intérieur de la moitié centrale de La base des éléments de fondation résistant au renversement

Stabilité  $\rightarrow A \geq 6e_1$ , tel que :  $e_1$  : excentricité

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} = \frac{1.78}{74.14} = 0.024$$

$$6e = 6 \times 0.024 = 0.144 \text{ m}$$

$A > 6e \rightarrow$  Condition de stabilité est vérifiée.

### VI.4. Ferrailage de la semelle isolée /

$$e = 0.024 \text{ m} < \frac{B}{6} = 0.25$$

$$\sigma_{sol}^- = \min ( 2/3 F_e, 110 \sqrt{n \times F_c 28} )$$

$$A_a = N_{sd} \frac{A-a}{8 \times 0.45 \times 240} = 1.02 \text{ cm}^2$$

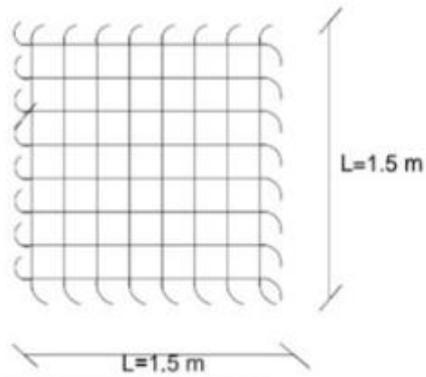
$$A_b = N_{sd} \frac{B-b}{8 \times 0.45 \times 240} = 0.7 \text{ cm}^2$$

on prend un ferrailage de **8T12 = 9,05 cm<sup>2</sup>**

- **Calcule l'espacement des cadres :**

$$S \leq (20 \text{ cm}, 15 \varnothing)$$

$$S \leq (20 \text{ cm}, 15 \times 1.2) = 18 \text{ cm}$$



#### **VI.4. Disposition des armatures**

## Chapitre VII : Protection de la structure :

### VI.1. Introduction :

L'acier est un matériau incombustible qui perd une partie de sa résistance mécanique quand sa température augmente au-delà de 550 °C. Sa protection passe par des produits rapportés tels que des plaques, des enduits ou des peintures, mais également par des solutions mixtes acier béton.

### VII.2. La corrosion :

La **corrosion** désigne l'altération d'un matériau par réaction chimique avec un oxydant (le dioxygène et le cation  $H^+$  en majorité). Il faut en exclure les effets purement mécaniques (cela ne concerne pas, par exemple, la rupture sous l'effet de chocs), mais la corrosion peut se combiner avec les effets mécaniques et donner de la corrosion sous contrainte et de la fatigue-corrosion ; de même, elle intervient dans certaines formes d'usures des surfaces dont les causes sont à la fois physicochimiques et mécaniques.

Les exemples les plus connus sont l'oxydation des métaux à l'air ou dans l'eau : rouille du fer et de l'acier, formation de vert-de-gris sur le cuivre et ses alliages ( bronze, laiton ).

Cependant, la corrosion touche plus largement toutes sortes de matériaux ( métaux, céramiques, polymères ) dans des environnements variables (milieu aqueux, atmosphère, hautes [températures](#)).



**VII.2. Corrosion différenciée sur deux métaux plus et moins oxydables.**

## **VII.2.1. Protection contre la corrosion :**

Il faut créer sur la surface de la pièce à protéger, une couche protectrice inaltérable et imperméable afin d'isoler le métal du milieu ambiant.

Pour cela il faut préparer cette surface :

- dégraissage
- décapage
- polissage ( éventuellement )

## **LES REVETEMENTS COURANTS :**

### **a. Huiles et graisses : (minérales ou neutres, ex : vaseline ) :**

Stockage et protection ( pièces en mouvement )

### **b. Peintures et vernis**

1. Impressions (couche primaire) réalisent la base d'accrochage de la peinture (minium de plomb, pyrolac...)

2. Les peintures et vernis (couche de finition)réalisent la couche protectrice :

- A l'huile de lin, mélangée à de l'essence de térébenthine et à des colorants, son durcissement est obtenu par polymérisation de l'huile de lin au contact de l'oxygène de l'air.

- Glycérophtaliques, ont les mêmes composants que ci-dessus avec addition de résine glyptol augmentant la tension et la dureté de la peau.

- Cellulosiques, sont un mélange de résines cellulosiques et d'un diluant durcissant(acétone), le durcissement est obtenu par évaporation du diluant, ces peintures sont très résistantes et faciles à déposer au pistolet

- Les résines (à base de matières plastiques, époxy, épikote), durcissement est obtenu à l'aide d'un produit complémentaire (durcisseur), dureté et résistance exceptionnelles, leur grande souplesse permet de les déposer avant mise en forme de la pièce (ex : casserole TEFAL)

- Les émaux, les pièces sont saupoudrées d'émail (silice pure) et chauffées au four à 800°, il y a vitrification de la couche protectrice très dure mais très fragile.

### **VII.3. Le feu :**

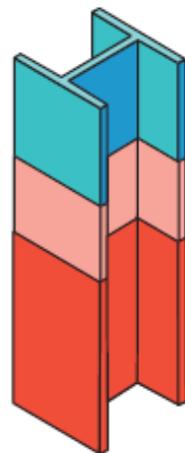
Le principe de développement du feu repose sur la présence de 3 éléments qui sont :

1. Le combustible
2. Le carburant
3. La source de chaleur

L'acier est un matériau incombustible, mais reste un bon conducteur de chaleur, cependant on a aujourd'hui plusieurs moyen efficace de protéger notre structure contre le feu.

- **La peinture intumescente :**

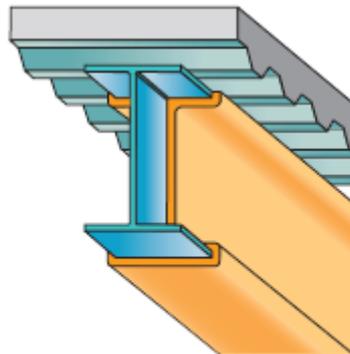
Ce produit se présente sous l'aspect d'un film de peinture de 0,5 mm à 4 mm d'épaisseur. Chauffé entre 100° et 200 °C, il gonfle et se transforme en mousse à l'aspect meringué dont l'épaisseur peut atteindre 30 à 40 mm. Il provoque alors une isolation thermique des structures. Il est utilisé pour des degrés SF de 30 min, plus rarement pour une SF de 60 min ou 120 min. Produit relativement onéreux, il permet cependant de ne pas altérer la perception visuelle des structures.



### **VII.3. Protection par peinture intumescente**

- **Les produits projetés (flocage) :**

Les produits dits de flocage sont projetés directement sur l'élément. Ils sont généralement composés soit de produits de faible densité ( $< 250 \text{ kg/m}^3$ ) constitués de fibres minérales agglomérées par un liant, soit de produits pâteux à forte densité ( $>450 \text{ kg/m}^3$ ) tels que vermiculite, ciment, plâtre, laitier, tous exempts d'amiante. Les enduits pâteux sont le plus souvent préférables aux enduits fibreux. Ils sont appliqués en plusieurs couches. Certains d'entre eux peuvent aussi s'appliquer sur une structure non protégée contre la corrosion. Ces produits peuvent procurer des SF allant jusqu'à 240 min. Secs et compactés par roulage, ils peuvent être peints. Ces matériaux présentent l'inconvénient d'être fragiles (cas des enduits fibreux) et d'un aspect peu esthétique.



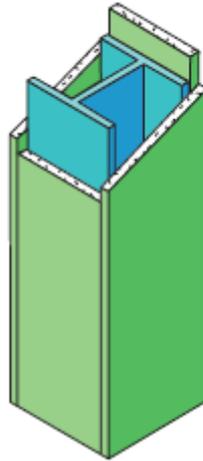
### **VII.3. Protection par produits projetés**

- **Les produits en plaque :**

- Les produits en plaque forment un caisson isolant autour du profilé métallique. Ils sont généralement fabriqués à base de fibres minérales (plaques de faible densité  $< 180 \text{ kg/m}^3$ ) ou de plâtre, vermiculite, ou composants silico-calcaires (plaques de forte densité  $> 450 \text{ kg/m}^3$ ).

- Les plaques sont fixées mécaniquement sur une ossature secondaire propre par vissage ou par collage. Dans les deux cas de figure, une mise en œuvre soignée des joints est nécessaire. Cette technique est particulièrement utilisée pour des profils de section constante. Il est possible d'obtenir jusqu'à 240 min de stabilité au feu.

- Le plâtre est le matériau le plus utilisé parce qu'il est économique, léger, maniable et partiellement composé avec de l'eau de cristallisation qui lui assure son bon comportement au feu. En assurant la protection au feu, il a aussi le mérite de constituer un parement de paroi verticale comme horizontale prêt à la finition. L'utilisation de plaques de plâtre spéciales feu permet de doubler la durée de protection.



### **VII.3. Protection par produits en plaque**

#### **VII.4. Conclusion :**

Puisque la structure correspond à un hangar, les systèmes de protection les plus appropriés contre la corrosion et le feu sont la protection par peinture ( pour la facilité de son exécution ) et par plaque ( pour des raisons esthétiques )

## *Conclusion Générale*

Ce projet de fin d'étude nous a permis de mettre à profit les connaissances apportées dans le cadre de la formation de Master Génie Civil et de mieux les intégrer dans un projet complet.

Grace à ce projet de fin d'étude, nous avons appris à utiliser à intégrer les connaissances prodiguées lors de notre formation. Il nous a permis de pré-dimensionner, calculer et vérifier des éléments d'une construction métallique tout en tenant en compte des effets d'instabilité.

D'une manière plus précise, nous avons mis en application les règlements telle que C.C.M. 97, R.N.V.99.

La conception d'une structure métallique repose le dimensionnement aux états limites ultimes en tenant compte des actions environnantes les plus sévères tel que les surcharges d'exploitation, la neige, le vent.

Ce travail consiste à étudier et dimensionner un hangar de fabrication de filtre autos, conçue sous forme régulière. Après avoir défini les charges agissantes sur la structure, les poteaux, poutres sablières, fermes, contreventements, stabilités, pannes, potelets et lisses de bardage comme éléments de la structure ont été dimensionnés.

Ce dimensionnement concerne chaque élément, assemblage, connexion ou partie sensible de la construction. La précision et la rigueur dans les calculs et vérification d'une part et la définition exacte des différents détails de la construction sont requises.

A la fin de ce projet qui constitue pour nous une première expérience dans ce vaste domaine, il nous a acquis des grandeurs très importantes pour mettre le premier pas dans ma future vie professionnelle.

## ***Bibliographie***

- **Charges permanentes et charges d'exploitation** : << D.T.R.B.C2.2>>
- **Règles de conception et de calcul de structures en acier** : << CCM97 >>
- **Règlement Neige et Vent** : << R.N.V 99 version 2013 >>( D.T.R.C 2-4.7)

MINISTRE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, ( ALGERIE )

- **EUROCODE 3** << Calcul des structures en acier, document d'application national partie 1-1 >>
- **Yezli. M ( 2013 )** : Etude et dimensionnement d'une hall métallique. Département de génie civil, Faculté de technologie, université Aboubaker Belkaid, Tlemcen.
- **Bensalah. H et Lahmer. I ( 2017 )** : ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN HANGAR METALLIQUE DE STOCKAGE A AIN TEMOUCHENT. Département de génie civil, Faculté de technologie, université Aboubaker Belkaid, Tlemcen.
- **Farfar Med ILYES ( 2018 )** : ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN HANGAR METALLIQUE à deux versant. Département de génie civil, Faculté de technologie, université Badji Mokhtar, Annaba.

## Annexe A

### Chapitre II : Evaluation des charges

#### A.1 Effet de la neige :

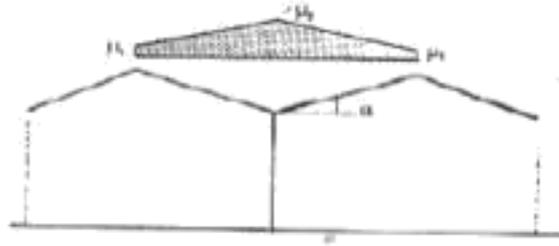


Figure 6.3 : Coefficient de forme des toitures à versants multiples

( $\alpha$ ) angle du versant par rapport à l'horizontale (en °)	$0 \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$
coefficient de forme $\mu_1$	0.8	$0.8 \cdot \left(\frac{60 - \alpha}{30}\right)$
coefficient de forme $\mu_2$	$0.8 + 0.8 \left(\frac{\alpha}{30}\right)$	1.6

Tableau 6.3 : Coefficients de forme - toitures à versants multiples

#### A.2 Effet du vent :

Zone	$q_{ref}$ (N/m <sup>2</sup> )	$q_{temp}$ (N/m <sup>2</sup> )
I	375	270
II	470	340
III	575	415

Tableau 2.3 : Valeurs de la pression dynamique de référence

Catégories de terrain	$K_T$	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)	$\epsilon$
I En bord de mer, au bord d'un plan d'eau offrant au moins 5 km de longueur au vent, régions lisses et sans obstacles.	0,17	0,01	2	0,11
II Régions de culture avec haies et avec quelques petites fermes, maisons ou arbres.	0,19	0,05	4	0,26
III Zones industrielles ou suburbaines, forêt, zones urbaines ne rentrant pas dans la catégorie de terrain IV	0,22	0,3	8	0,37
IV Zones urbaines dont au moins 15% de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m.	0,24	1	16	0,46

Tableau 2.4 : Définition des catégories de terrain

Site	$C_i(z)$
site plat ( $\Phi < 0,05$ , voir § 4.3.4)	1
site aux alentours des vallées et oueds sans effet d'entonnoir	1
site aux alentours des vallées et oueds avec effet d'entonnoir	1,3
site aux alentours des plateaux	1,15
site aux alentours des collines	1,15
site montagneux	1,5

Tableau 2.5 : Valeurs de  $C_i(z)$

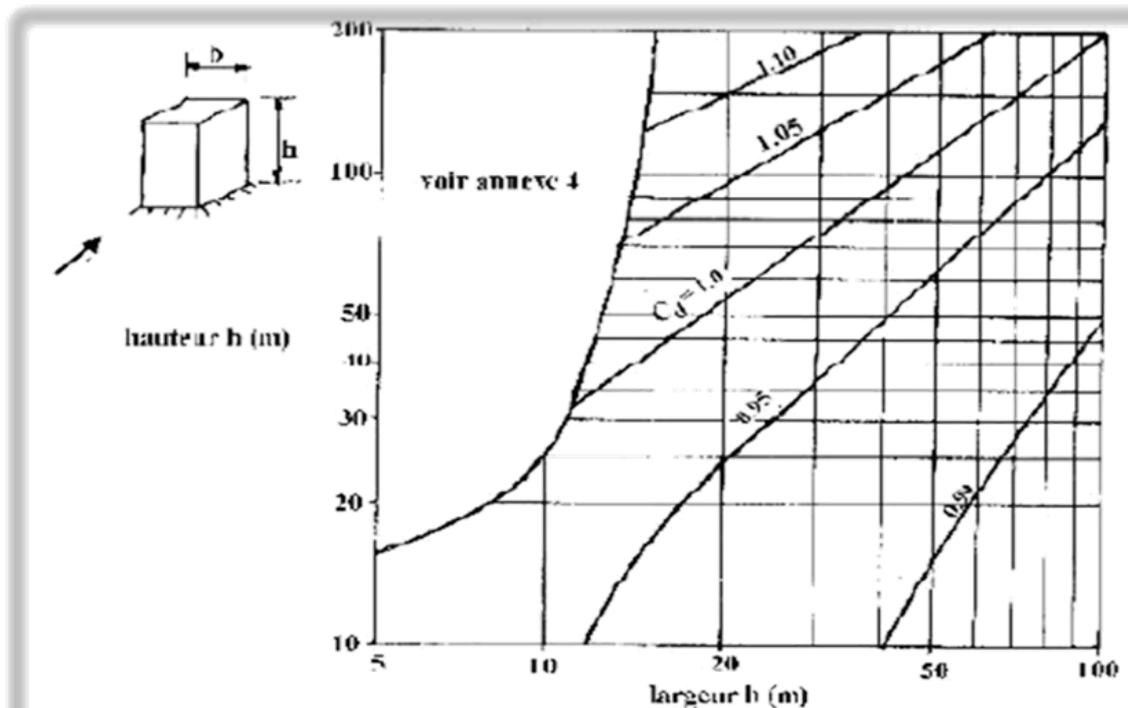


Figure 3.2 : Valeurs de  $C_d$  pour les structures métalliques

### A.3 Force de frottement :

État de surface	Coefficient de frottement
Lisse (acier, béton lisse, ondulations parallèles au vent, paroi enduite, etc.)	0,01
Rugueux (béton rugueux, paroi non enduite, etc.)	0,02
Très rugueux (ondulations perpendiculaires au vent, nervures, plissements, etc.)	0,04

Tableau 2.1 : Valeurs des coefficients de frottement

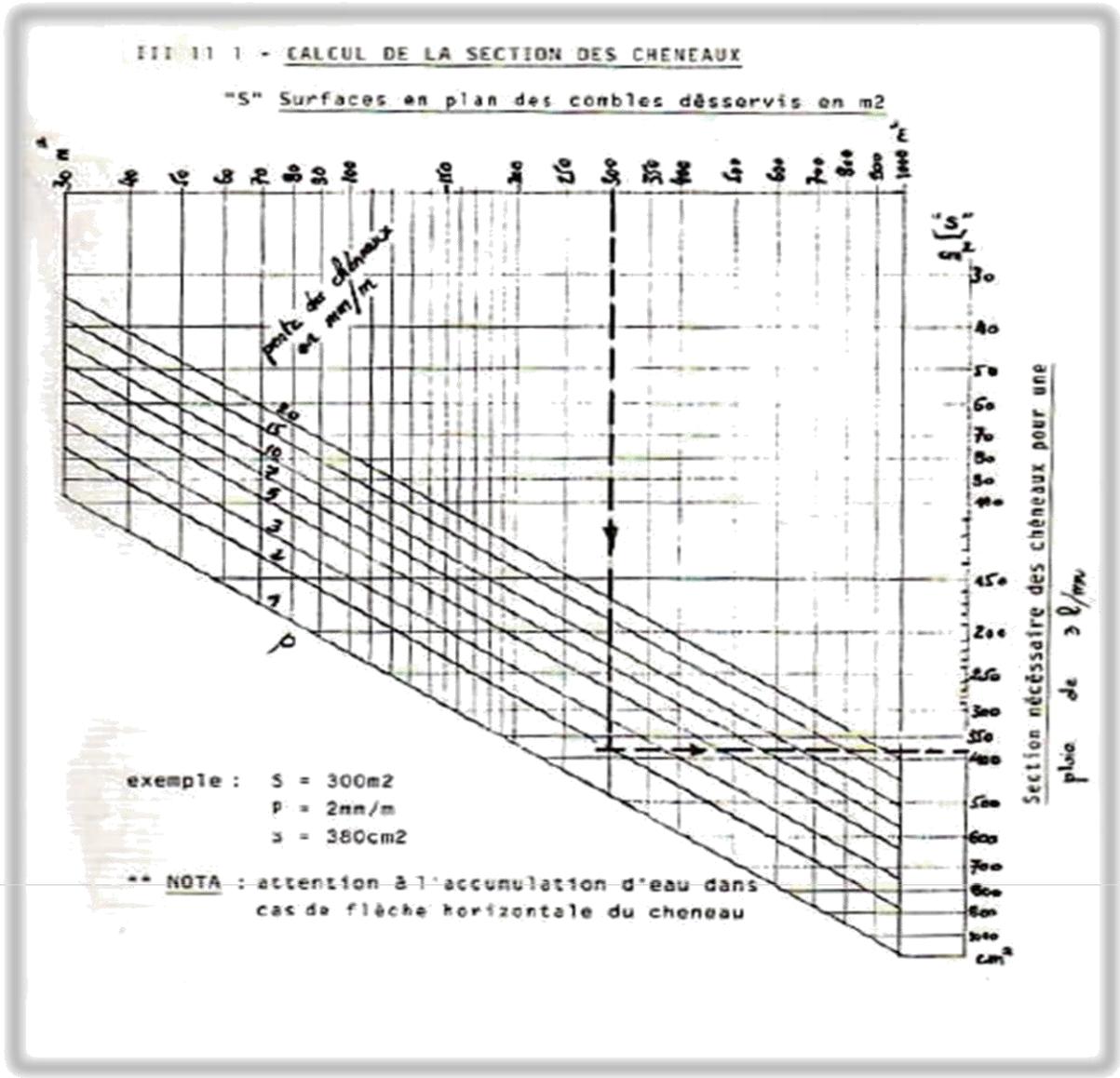
Type de paroi	Schéma	$S_{r_i}$ ou $S_{r_{i,j}}$ (en m <sup>2</sup> )
Paroi verticale		$S_{r_{i,j}} = d \times h_i$ $S_{r_i} = d \times h$
Toiture plate ou couverture		$S_{r_i} = d \times b$
Toiture à deux versants Vent parallèle aux génératrices		$S_{r_i} = (\text{longueur ABC du développé}) \times d$
Toiture à versants multiples-Toiture en sheds Vent parallèle aux génératrices		$S_{r_i} = (\text{somme des longueurs des développés de la toiture}) \times d$
Toiture à versants multiples - Toiture en sheds Vent perpendiculaire aux génératrices		$S_{r_i} = (\text{longueur AB}) \times d$ AB est la longueur projetée en plan de la toiture sans considérer le premier et le dernier versant
Toiture en forme de voûte Vent parallèle aux génératrices		$S_{r_i} = (\text{longueur de l'arc AB}) \times d$

Tableau 2.2. : Aire de frottement  $S_r$

# Annexe B

## Chapitre III : Dimensionnement

B1 :



III 11 2 - CALCUL DU DIAMETRE DES DESCENTES D'EAU

(écartement maxi des descentes = 30m)

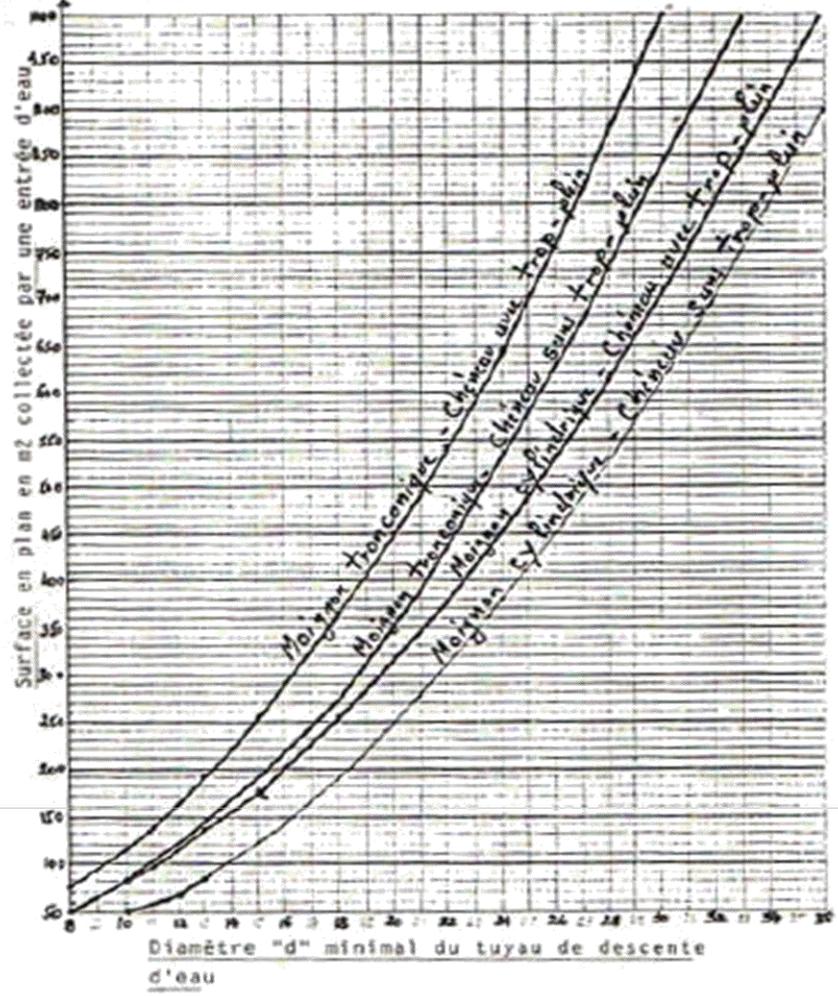
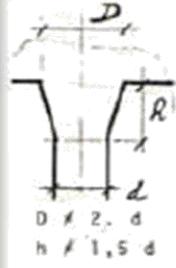
(d min1 = 8cm )

S maxi = 1000m2

oignon cylindrique



oignon tronconique



## Annexe C

### Chapitre V : Étude des assemblages

	M 12	M 16	M 20	M 24	M 27
Diamètre tige d (mm)	12	16	20	24	27
Diamètre Trou d (mm)	14	18	22	26	30
Section Tige A (mm <sup>2</sup> )	113	201	314	452	573
Section Résistance A <sub>s</sub>	84	157	245	353	459

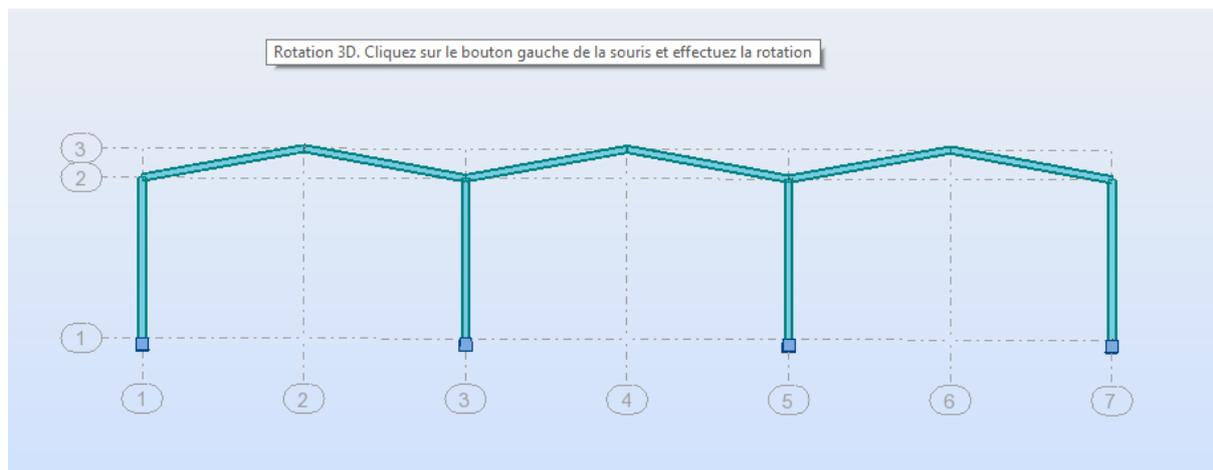
### Caractéristique des boulons

Boulons	Valeurs usuelles (mm)			Valeurs minimales (mm)		
	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub>	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>
M 12	40	25	20	35	20	15
M 16	50	35	25	40	25	20
M 20	60	40	30	45	30	25
M 24	70	50	40	55	35	30
M 27	80	55	45	65	40	35

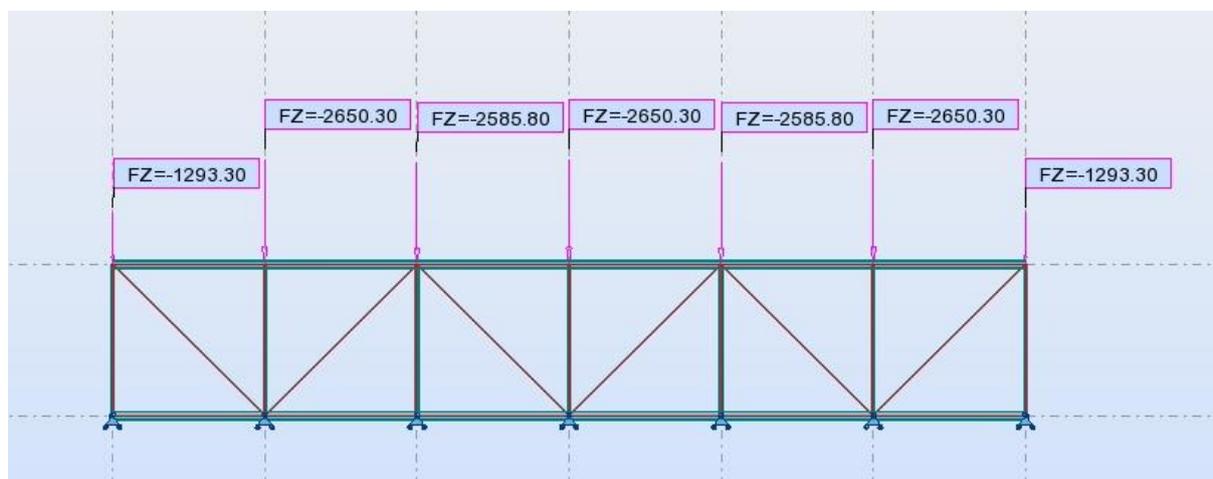
Tableau : entraxe des boulons et pincés

## AnnexeD

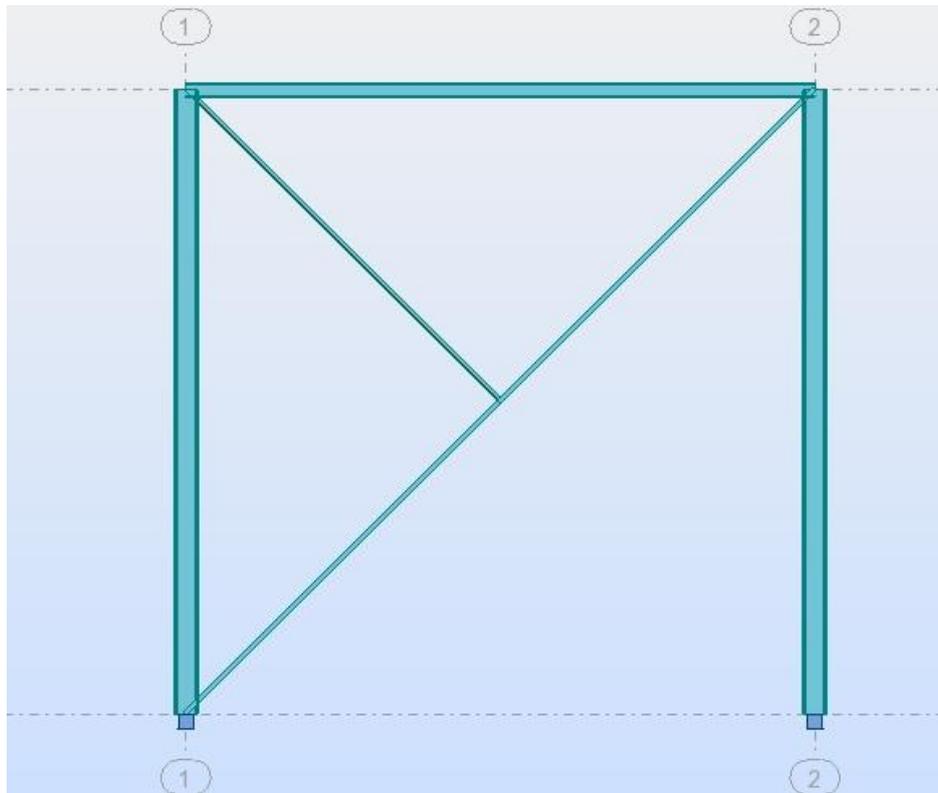
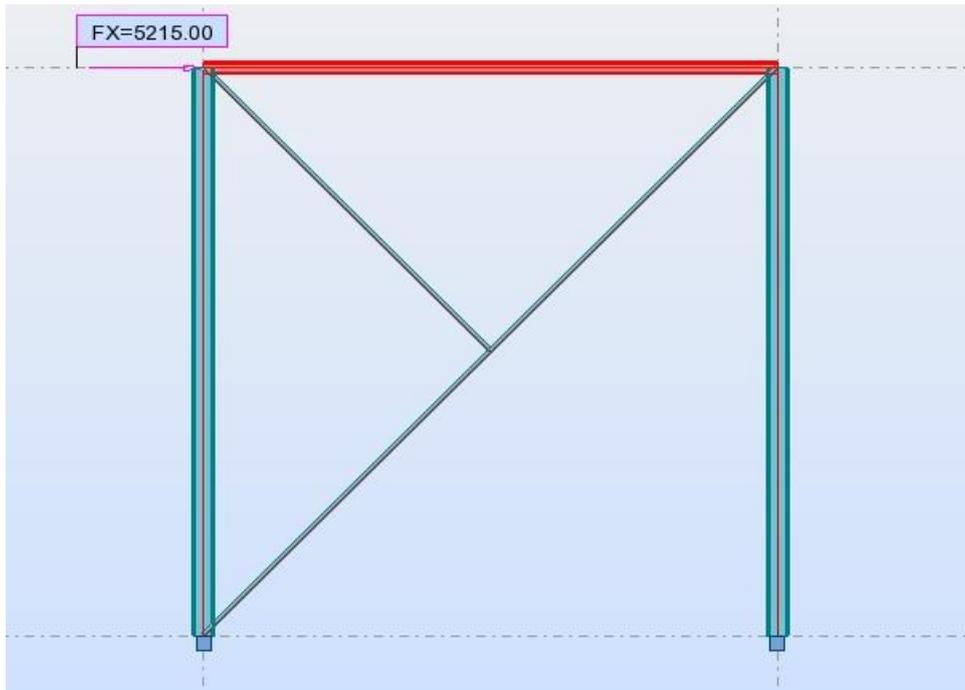
Les différentes captures sur la vue depuis logiciel ROBOT



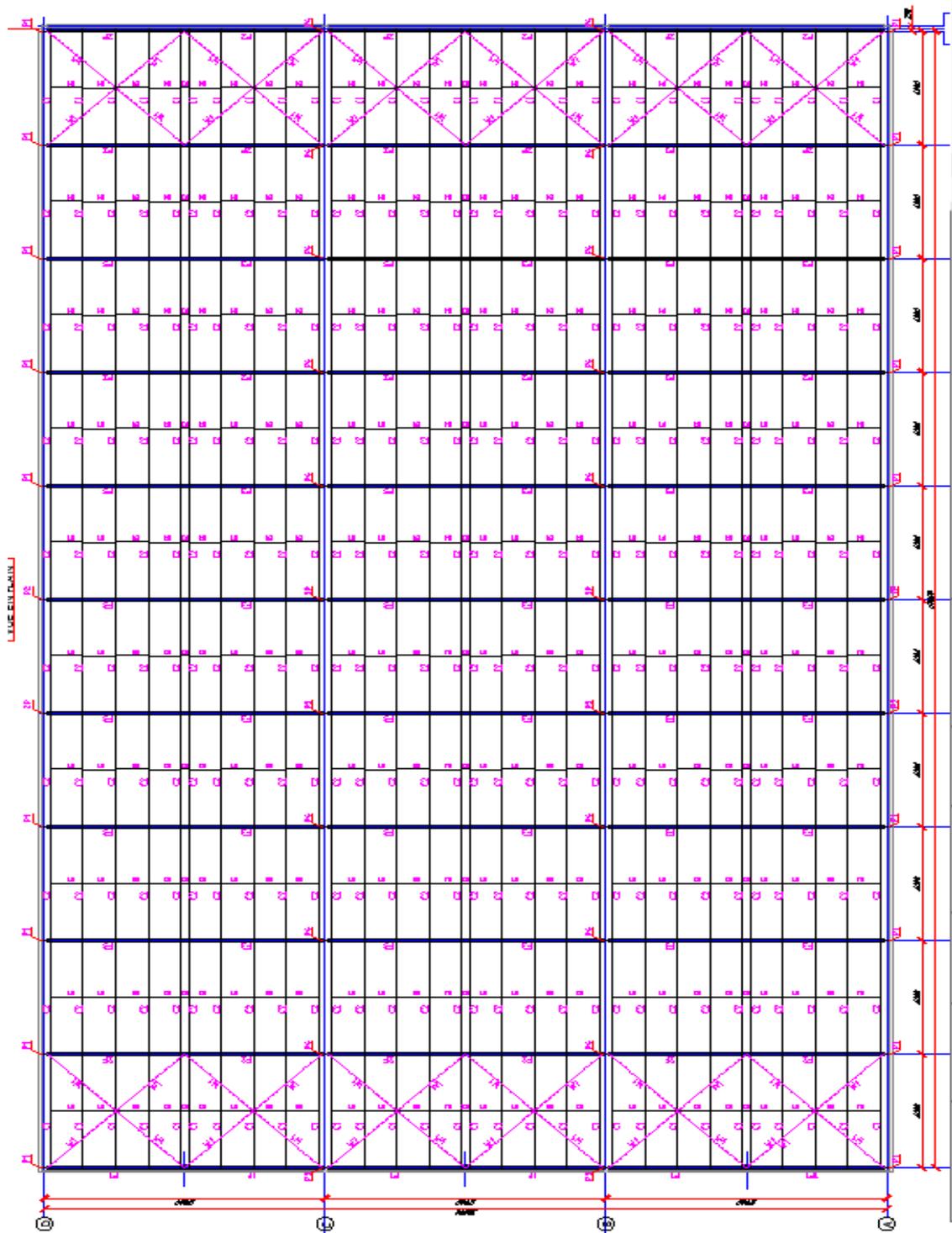
**Vue de face sur le portique**



**Vue de face sur les elements tendus**



**Disposition de paliés de stabilités**



**Disposition des contreventements**