

Ordre...../F.S.S.A/UAMOB/2020

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département Génie Civil

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :

**Chelali Farouk**

**Rezig Abdelkader**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : **Génie Civil**

Option : **Structure**

**Thème :**

**Etude d'un hangar métallique avec un pont roulant**

**Devant le jury composé de :**

Mme. Boumaiza M.

Mr. Arbaoui A.

Mme. Rouabah A.

UAMOB

UAMOB

UAMOB

Présidente

Encadreur

Examinatrice

Année Universitaire 2019/2020

## ***REMERCIEMENTS***

Au terme de ce modeste travail, nous rendons louange à Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de l'avoir accompli.

Comme nous tendons à adresser nos vifs remerciements à :

A nos familles : Qui nous ont toujours encouragés et soutenus durant toutes nos études.

A ***M<sup>er</sup> A.ARBAOUI*** : Notre promoteur, pour avoir accepté de nous guider sur le bon chemin du travail.

Aux membres de jury : Pour avoir accepté de juger notre travail.

**Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.**

***ABDELKADER et FAROUK.***

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail à mes parents qui me sont les plus chers, qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours scolaire, que Dieu les garde et les protège.

A Mes chers frères et toute ma famille et tous ce qui sont cher pour moi. A mon binôme Mr CHELALI FAROUK.

Une spéciale dédicace à notre promoteur Mr A. ARBAOUI pour sa disponibilité et sa précieuse collaboration.

A tous mes amis et collègues sans exception.

## **Dédicace**

Je dédie ce modeste travail à mes parents qui me sont les plus chers, qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours scolaire, que Dieu les garde et les protège.

A Mes chers frères et toute ma famille et tous ce qui sont cher pour moi. A mon binôme Mr REZIG ABDELKADER.

Une spéciale dédicace à notre promoteur Mr A. ARBAOUI pour sa disponibilité et sa précieuse collaboration.

A tous mes amis et collègues sans exception.

## Résumé

Notre projet de fin d'études consiste à faire une étude et dimensionnement d'un hangar métallique avec un pont roulant situé à la wilaya de DJELFA. Il est constitué de plusieurs portiques, stabilisés par des contreventements, et couvert par une toiture à quatre versants symétriques. Ce projet est élaboré en plusieurs étapes ; en premier lieu l'évaluation des charges et surcharges ainsi que les effets des actions climatiques (neige et vent) selon le règlement Algérien « RNVA 2013 », ensuite le dimensionnement des différents éléments (secondaires et porteurs), puis l'étude des assemblages selon le « CCM 97 », et enfin l'étude de l'infrastructure selon le « BAEL 91 », et comme logiciel nous avons utilisé le « ROBOT ». Le mémoire a été achevé par une conclusion.

**Mots clé :** Hangar métallique - Pont roulant – Toiture – assemblage

## Abstract

Our project of end of studies is to study and design of a metal shed with an overhead crane located in the wilaya of DJELFA. It is composed of several frames, stabilized by bracing, and covered by a roof with four symmetrical slopes. The work is developed through several stages; first of all, the assessment of loadings as climate effects (snow and wind) under the Algerian climatic rules « RNVA 2013 », and the evaluation of the structural steel's secondary and principal elements according to their resistances, then, the assemblies are studied by the « CCM 97 ». Finally, the foundations are dimensioned according to the code « BAEL 91 ». For the structural analysis, the used software is « ROBOT ».

The work ends with a conclusion.

**Keywords:** Metal shed - overhead crane – roof – Assembly

## ملخص

يتطرق هذا المشروع الى تصميم و دراسة مبنى معدني , والمكون من رافعة متحركة و الواقع في ولاية الجلفة. كما يشتمل على عدة اروقة مدعمة مغطاة بأربع سفوح متماثلة. حيث ان هذا المشروع يجمع عدة خطوات, اولها تقييم الاحمال و الحمل الزائد بالإضافة إلى تأثيرات المناخ (الرياح و الثلوج). و هذا بموجب التنظيم الجزائري, « RNVA 2013 » ثم دراسة القياس لمختلف العناصر الاساسية منها و الثانوية, بعد ذلك دراسة الوصلات و التجميعات وفقا للتنظيم, « CCM 97 » و كخطوة نهائية تمت دراسة البنى التحتية وفقا للقواعد « BAEL 91 » اما بالنسبة للبرنامج المستعمل استخدمنا, « ROBOT ». و ختمنا هذا العمل باستنتاج شامل.

**الكلمات المفتاحية :** مبنى معدني - رافعة متحركة - سقف - التجميع

# SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| Introduction générale.....   | 1  |
| <b>CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'OUVRAGE</b>                                  |    |
| I.1.Introduction.....  | 2  |
| I.2.Caractéristiques géométriques de l'ouvrage.....                            | 2  |
| I.2.1.Géométrie de l'ouvrage.....  | 2  |
| I.2.2.Pont Roulant.....  | 2  |
| I.2.3.Etude de sol.....  | 2  |
| I.3.Caractéristiques structurales.....   | 3  |
| I.3.1.Les Couvertures.....   | 3  |
| I.3.2.Ossature de la structure.....  | 3  |
| I.4.Matériaux Utilises.....  | 3  |
| I.4.1.Acier.....   | 3  |
| I.4.2.Béton.....   | 3  |
| I.5.Règlements techniques.....   | 3  |
| <b>CHAPITRE II : ETUDE CLIMATIQUE</b>  |    |
| II.1.Action du vent.....   | 5  |
| II.1.1.Détermination de la pression dynamique de pointe.....                   | 5  |
| II.1.1.1.La pression dynamique de référence.....                               | 6  |
| II.1.1.2.Hauteur de référence $z_e$ .....                                      | 6  |
| II.1.1.3.Coefficient de topographie ( $C_t$ ).....                             | 6  |
| II.1.1.4.Le coefficient de rugosité ( $C_r$ ).....                             | 7  |
| II.1.1.5.L'intensité de la turbulence $I_v(z)$ .....                           | 8  |
| II.1.1.6.Calcul de Coefficient d'exposition ( $C_e$ ).....                     | 8  |
| II.1.1.7.Détermination de coefficient dynamique ( $C_d$ ).....                 | 9  |
| II.1.2.Détermination des coefficients de pression extérieure ( $c_{pe}$ )..... | 9  |
| II.1.3.Détermination des coefficients de pression intérieure ( $c_{pi}$ )..... | 16 |
| II.1.4.Calcul de la pression aérodynamique.....                                | 18 |
| II.1.4.1.Cas de vent perpendiculaire au long-pan (sens V1).....                | 18 |

|   |    |
|---|----|
| II.1.4.2.Cas de vent perpendiculaire au pignon (sensV2).....          | 18 |
| II.1.5.Action d'ensemble.....   | 19 |
| II.1.5.1.Cas de direction du vent vers le long-pan (V1).....          | 19 |
| II.1.5.2.Cas de direction du vent vers pignon (V2).....               | 22 |
| II.2.Action neige.....  | 25 |
| II.2.1.But.....   | 25 |
| II.2.2.Domaine d'application.....                                     | 25 |
| II.2.3.La charge de la neige sur le sol (Sk).....                     | 25 |
| II.2.4.Coefficient de forme de la toiture.....                        | 26 |
| II.2.5 .Calcul des charges de la neige sur la toiture.....            | 26 |
| <b>CHAPITRE III : PRE-DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS</b>                |    |
| III.1.Introduction.....   | 28 |
| III.2.Calcul des pannes.....  | 28 |
| III.2.1.Détermination des sollicitations.....                         | 28 |
| III.2.1.1.Evaluation des charges et surcharges.....                   | 29 |
| III.2.1.2.Les charges et surcharges appliquée.....                    | 30 |
| III.2.1.3.Les combinaisons d'actions.....                             | 31 |
| III.2.2.Principe de pré dimensionnement.....                          | 32 |
| III.2.3.Dimensionnement des pannes.....                               | 33 |
| III.2.3.1.Condition de la flèche.....                                 | 33 |
| III.2.3.2.Condition de L'ELU.....                                     | 33 |
| III.3.Calcul des liernes.....   | 37 |
| III.3.1.Evaluation des charges.....                                   | 37 |
| III.3.2.Dimensionnement des liernes sous l'effort de la traction..... | 37 |
| III.3.3.Calcul de la section de lierne.....                           | 38 |
| III.4.Calcul de l'échantignole.....                                   | 38 |
| III.4.1.Calcul de réaction.....                                       | 39 |
| III.4.2.Calcul du moment de renversement.....                         | 39 |
| III.4.3.Epaisseur de l'échantignole.....                              | 39 |

|   |    |
|---|----|
| III.5. Lisses de bardages.....  | 40 |
| III.5.1.Modes de fonctionnement.....                                    | 40 |
| III.5.2.dimensionnement des lisses de long pan.....                     | 40 |
| III.5.2.1.Evaluation des charges.....                                   | 41 |
| III.5.2.2.Condition de la flèche.....                                   | 42 |
| III.5.2.3.Condition de la résistance (ELU).....                         | 43 |
| III.5.3.dimensionnement des lisses de pignon.....                       | 46 |
| III.5.3.1.Evaluation des charges.....                                   | 46 |
| III.5.3.2.Condition de la flèche.....                                   | 47 |
| III.5.3.3.Condition de la résistance (ELU).....                         | 48 |
| III.6.Calcul des suspentes.....   | 50 |
| III.6.1.Evaluation des charges.....                                     | 51 |
| III.6.2.Dimensionnement des suspentes sous l'effort de la traction..... | 51 |
| III.6.3.Calcul de la section de suspente.....                           | 52 |
| III.7.Calcul des potelets.....  | 52 |
| III.7.1.Les potelets du pignon.....                                     | 53 |
| III.7.1.1.La condition de la flèche.....                                | 53 |
| III.7.1.2.Evaluation des charges.....                                   | 54 |
| III.7.1.3.Vérification de la stabilité de potelet.....                  | 54 |
| III.7.1.3.1.Vérification de l'effort axial.....                         | 54 |
| III.7.1.3.2.Vérification de l'effort tranchant.....                     | 54 |
| III.7.1.3.3.Vérification de la stabilité au flambement flexion.....     | 55 |
| III.7.1.3.4.Vérification au diversement sous Nysd et Mysd.....          | 57 |
| III.7.2.Les potelets du long pan.....                                   | 58 |
| III.7.2.1.La condition de la flèche.....                                | 58 |
| III.7.2.2.Evaluation des charges.....                                   | 59 |
| III.7.2.3.Vérification de la stabilité de potelet.....                  | 59 |
| III.7.2.3.1. Vérification de l'effort axial.....                        | 59 |
| III.7.2.3.2.Vérification de l'effort tranchant.....                     | 60 |

|  |    |
|--|----|
| III.7.2.3.3. Vérification de la stabilité au flambement flexion..... | 60 |
| III.7.2.3.4. Vérification au diversement sous Nysd et Mysd.....      | 62 |
| III.8.Conclusion.....  | 64 |

## **CHAPITRE IV : ETUDE DE CHEMIN DE ROULEMENT DU PONT ROULANT**

|  |    |
|--|----|
| IV.1.Introduction.....   | 65 |
| IV.2.Règlement utilisé.....  | 65 |
| IV.3.Caractéristique de pont roulant mono poutre posé.....   | 65 |
| IV.3.1.Caractéristique géométrique de pont roulant.....  | 66 |
| IV.3.2.Caractéristique mécanique de pont roulant.....  | 66 |
| IV.4.Les actions générées par le pont roulant.....   | 67 |
| IV.4.1.Actions variable.....   | 67 |
| IV.4.2.Actions accidentelles.....  | 67 |
| IV.5.Charges verticales.....   | 67 |
| IV.5.1.Avec masse à lever (en charge) $Q_h = 30 \text{ KN}$ .....  | 67 |
| IV.5.2.Sans masse à lever $Q_r, \text{max}$ .....  | 68 |
| IV.6.Forces horizontales.....  | 70 |
| IV.6.1. Forces horizontales longitudinales (HL.1).....   | 70 |
| IV.6.2.Forces horizontales transversales ( $HT_i$ ).....   | 72 |
| IV.6.3.Force horizontale de tamponnement HB, 2 liées au déplacement du chariot.....  | 73 |
| IV.6.4.Force longitudinales ( $HL_i$ ) et forces transversales ( $HT_i$ ) dues à la marche en crabe de l'appareil de levage..... | 73 |
| IV.7.Pré - dimensionnement de la poutre de roulement.....  | 76 |
| IV.7.1.Choix du rail.....  | 77 |
| IV.7.2.Les charges totales supportées par la poutre de roulement.....  | 77 |
| IV.8.Vérification aux états limites de service.....  | 77 |
| IV.8.1.Vérification de la flèche verticale pour HEA360.....  | 77 |
| IV.8.2.Vérification de la flèche horizontale pour la PDR.....  | 78 |
| IV.9.Vérification aux états limites ultimes de la poutre de roulement.....   | 78 |
| IV.9.1.Vérification sous charge verticale.....   | 78 |

|   |    |
|---|----|
| IV.9.2.Vérification sous charge horizontale.....  | 79 |
| IV.9.3.Verification sous charge horizontale et verticale (flexion bi axiale).....   | 80 |
| IV.9.4.Resistance de l'âme aux charges des galets.....  | 81 |
| IV.9.5.Résistance au voilement (EC3 page 177).....  | 82 |
| IV.9.6.Résistance au Déversement.....   | 82 |
| IV.10.La fatigue.....   | 83 |
| IV.10.1.Exigence relative à l'évaluation de la fatigue.....   | 83 |
| IV.10.2.Vérification de la fatigue.....   | 84 |
| IV.10.3.Vérification de section transversale.....   | 84 |
| IV.10.3.1.Contrainte normal à la semelle supérieure .....   | 85 |
| IV.10.3.2.Contrainte normal à la semelle inférieure.....  | 86 |
| IV.10.3.3.Vérification de l'âme.....  | 86 |
| IV.10.3.4.Contraintes locales provoquées dans l'âme par l'excentrement des charges des galets appliquées par l'intermédiaire d'un rail..... | 88 |
| IV.10.3.5.Interaction entre effort tranchant et la contrainte dans l'âme.....   | 89 |
| IV.11.pré-dimensionnement du support du chemin de roulement.....  | 90 |
| IV.11.1.Vérification à l'effort tranchant.....  | 90 |
| IV.12.Conclusion.....   | 91 |

## **CHAPITRE V : ETUDES DES CONTREVENTEMENTS**

|   |    |
|---|----|
| V.1.Introduction.....   | 92 |
| V.2.Rôle des systèmes de contreventement.....                   | 92 |
| V.3.Calcul de la poutre au vent en pignon.....                  | 92 |
| V.3.1.Calcul des réactions.....                                 | 94 |
| V.3.1.1.Calcul des efforts de traction dans les diagonales..... | 94 |
| V.3.1.2.Calcul de la section brute A de la diagonale.....       | 95 |
| V.3.1.3.Calcul de la section nette.....                         | 95 |
| V.3.1.4.Vérification à la résistance ultime de la section.....  | 95 |
| V.3.2. Vérification des montants de la poutre au vent.....      | 95 |
| V.3.2.1. Vérification de la panne montante.....                 | 95 |

|  |     |
|--|-----|
| V.4.Calcul de la poutre sablière.....                          | 102 |
| V.4.1.Pré dimensionnement.....                                 | 103 |
| V.4.2.Vérification de la résistance de la poutre sablière..... | 103 |
| V.4.2.1.Vérification aux instabilités.....                     | 103 |
| V.4.2.2.Vérification à l'effort normal.....                    | 103 |
| V.5.Contreventement vertical du long-pan.....                  | 103 |
| V.5.1.Dimensionnement de palée de stabilité.....               | 104 |
| V.5.1.1.Calcul de stabilité.....                               | 104 |
| <b>CHAPITRE VI : ETUDE PORTIQUE</b>                            |     |
| VI.1.Introduction.....   | 106 |
| VI.2.Portique de projet.....                                   | 106 |
| VI.2.1.Le portique le plus sollicité.....                      | 107 |
| VI.3.Définir les cas de chargement.....                        | 107 |
| VI.3.1.Les charges permanentes (G).....                        | 107 |
| VI.3.2.La Neige (N).....                                       | 107 |
| VI.3.3.Le pont roulant (P).....                                | 107 |
| VI.3.4.Le vent (W).....  | 107 |
| VI.4. Les combinaisons.....                                    | 107 |
| VI.4.1.Comparaison entre les sollicitations obtenues.....      | 109 |
| VI.5.Pré dimensionnement.....                                  | 110 |
| VI.5.1.Traverse.....   | 110 |
| VI.5.1.1.Vérification de la traverse.....                      | 110 |
| VI.5.2.Poteau.....   | 111 |
| VI.5.2.1.Vérification du poteau.....                           | 111 |
| VI.6.Calcul du jarret.....                                     | 111 |
| IV.7.Conclusion.....   | 112 |
| <b>CHAPITRE VII : VERIFICATION DES ELEMENTS</b>                |     |
| VII.1.Introduction.....  | 113 |
| VII.2.Vérification des traverses.....                          | 113 |

|  |     |
|--|-----|
| VII.2.1.Vérification de la section à la résistance.....                | 113 |
| VII.2.2.Vérification de l'élément aux instabilités.....                | 115 |
| VII.2.3.Vérification avec le logiciel robot.....                       | 118 |
| VII.3.Vérification des poteaux.....                                    | 119 |
| VII.3.1.Vérification à la résistance.....                              | 119 |
| VII.3.2.Vérification de l'élément aux instabilités.....                | 120 |
| VII.3.3.Vérification avec le logiciel robot.....                       | 122 |
| VII.4.Vérification des diagonales des contreventements.....            | 122 |
| VII.4.1.Vérification de la poutre au vent PIGNON.....                  | 122 |
| VII.4.2.Vérification avec le logiciel robot.....                       | 124 |
| VII.5.Vérification des palées de stabilités de long pan (CEA40×4)..... | 124 |
| VII.5.1.Vérification avec le logiciel robot.....                       | 125 |
| VII.6.Résumé des résultats.....  | 125 |

## **CHAPITRE VIII : CALCUL DES ASSEMBLAGES**

|  |     |
|--|-----|
| VIII.1.Introduction.....   | 127 |
| VIII.1.1.Fonctionnement des assemblages.....   | 127 |
| VIII.1.2.Rôle des assemblages.....   | 128 |
| VIII.2.Assemblage Poteau-Traverse.....   | 129 |
| VIII.2.1.Les composants de l'assemblage.....   | 129 |
| VIII.2.2.Disposition des boulons.....  | 129 |
| VIII.2.3.Détermination des efforts dans les boulons.....                             | 130 |
| VIII.2.3.1.Effort de cisaillement.....   | 130 |
| VIII.2.3.2.Effort de traction.....   | 130 |
| VIII.2.4.Pré dimensionnement des boulons.....  | 131 |
| VIII.2.5.Vérification vis-à-vis au cisaillement.....                                 | 131 |
| VIII.2.6.Vérification d'un boulon à l'interaction traction cisaillement.....         | 131 |
| VIII.2.7.Vérification au poinçonnement.....  | 132 |
| VIII.2.8.Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone tendue.....    | 132 |
| VIII.2.9.Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone comprimée..... | 132 |

|  |     |
|--|-----|
| VIII.2.10. Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone cisailé..... | 133 |
| VIII.2.11. Assemblage platine traverse.....  | 133 |
| VIII.2.11.1. Distribution des efforts sur les différents cordons.....                | 133 |
| VIII.2.11.2. Vérification.....   | 134 |
| VIII.3. Assemblage traverse-traverse.....  | 134 |
| VIII.3.1. Les composants d'assemblage.....   | 135 |
| VIII.3.2. Disposition des boulons.....   | 135 |
| VIII.3.3. Détermination des efforts dans les boulons.....                            | 136 |
| VIII.3.4. Pré dimensionnement des boulons.....                                       | 136 |
| VIII.3.5. Vérification vis-à-vis le moment résistant de l'assemblage.....            | 136 |
| VIII.3.6. Vérification vis-à-vis au cisaillement + traction de chaque boulon.....    | 137 |
| VIII.3.7. Vérification au risque de poinçonnement lors de serrage.....               | 137 |
| VIII.3.8. Dimensionnement de la soudure patine-traverse.....                         | 138 |
| VIII.3.8.1. Distribution des efforts sur les différents cordons.....                 | 138 |
| VIII.3.8.2. Vérification.....  | 138 |
| VIII.4. Assemblage des éléments de la Poutre au vent.....                            | 138 |
| VIII.4.1. Dimensionnement du gousset.....  | 138 |
| VIII.4.2. Distribution de l'effort normal sur les boulons.....                       | 139 |
| VIII.4.3. Pré dimensionnement des boulons.....                                       | 139 |
| VIII.4.4. Disposition géométrique.....   | 139 |
| VIII.4.5. Vérification.....  | 140 |
| VIII.4.5.1. Vérification à la pression diamétrale.....                               | 140 |
| VIII.4.5.2. Vérification à la résistance ultime de la section nette.....             | 140 |
| VIII.4.5.3. Vérification vis-à-vis des assemblages trop longs.....                   | 141 |
| VIII.4.5.4. Dimensionnement de l'assemblage des diagonales avec la traverse.....     | 141 |
| VIII.5. Contreventement vertical.....  | 142 |
| VIII.5.1. Palée de stabilité.....  | 142 |
| VIII.5.2. Assemblage de la diagonale sur le gousset.....                             | 142 |
| VIII.5.2.1. Pré dimensionnement du gousset.....                                      | 142 |

|  |     |
|--|-----|
| VIII.5.2.2. Distribution de l'effort normale sur les boulons.....              | 143 |
| VIII.5.2.3. Dimensionnements des boulons.....                                  | 143 |
| VIII.5.2.4. Disposition géométrique.....                                       | 143 |
| VIII.5.3. Vérification.....  | 144 |
| VIII.5.3.1. Vérification à la pression diamétrale.....                         | 144 |
| VIII.5.3.2. Vérification à la résistance ultime de la section nette.....       | 144 |
| VIII.5.3.3. Vérification vis-à-vis des assemblages trop longs.....             | 144 |
| VIII.5.4. Dimensionnement des cordons de soudure gousset-poteau.....           | 145 |
| VIII.6. Assemblage de l'échantignolle.....                                     | 145 |
| VIII.6.1. Calcul de l'effort de cisaillement revenant pour un seul boulon..... | 146 |
| VIII.6.2. Dimensionnement des boulons.....                                     | 146 |
| VIII.7. Calcul des pieds de poteaux.....                                       | 146 |
| VIII.7.1. Dimensionnement des tiges d'ancrages.....                            | 147 |
| VIII.7.2. Vérification de la tige d'ancrage.....                               | 148 |
| VIII.7.3. Vérification des contraintes dans le béton et l'acier.....           | 148 |
| VIII.7.4. Contraintes dans le béton.....                                       | 149 |
| VIII.7.5. Contrainte dans l'acier.....   | 150 |
| VIII.7.6. Dimensionnement de l'épaisseur de la platine.....                    | 150 |
| <b>CHAPITRE IX : ETUDE DE L'INFRASTRUCTURE</b>                                 |     |
| IX.1. Introduction.....  | 153 |
| IX.2. Choix du type de fondations.....   | 153 |
| IX.2.1. Semelle isolée.....  | 153 |
| IX.2.2. Calcul de la hauteur (h) de la semelle.....                            | 154 |
| IX.2.3. Calcul de ferrailage.....  | 154 |
| IX.2.4. Vérification de ferrailage.....  | 155 |
| IX.3. Calcul des longrines.....  | 156 |
| IX.3.1. Dimensionnement des longrines.....                                     | 156 |
| IX.3.2. Calcul du ferrailage.....  | 156 |
| IX.3.3. Calcul des armatures.....  | 156 |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| IX3.3.1.Armatures transversales..... | 157 |
| CONCLUSION GENERALE.....             | 158 |
| Références bibliographiques.....     | 159 |
| <b>ANNEXES</b>                       |     |
| ANNEXE 1.....                        | 160 |
| ANNEXE 2.....                        | 161 |
| ANNEXE 3.....                        | 162 |
| ANNEXE 4.....                        | 165 |
| ANNEXE 5.....                        | 179 |

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure I.1: Vue en 3D de la structure.....   | 2  |
| Figure II.1 : Les directions principales du vent.....  | 5  |
| Figure II.2: Hauteur de référence $Z_e$ et profil correspondant de la pression dynamique.....  | 6  |
| Figure II.3 : Paramètres pour la détermination de $C_t(z)$ aux alentours des falaises et escarpements (RNVA 2013 Chap2, figure 2.3)..... | 7  |
| Figure II.4 : la répartition de la pression dynamique de pointe sur la hauteur $Z_e$ .....   | 9  |
| Figure II.5 : Légendes pour les parois verticales V1.....  | 10 |
| Figure II.6 : Répartition des $C_{pe}$ sur les parois dans le sens V1.....   | 11 |
| Figure II.7 : Légende pour la toiture à versants multiples.....  | 11 |
| Figure II.8 : Répartition des zones de vent sur la toiture.....  | 12 |
| Figure II.9 : Répartition des $C_{pe}$ sur la toiture dans le sens V1.....   | 13 |
| Figure II.10 : Légendes pour les parois verticales V2.....   | 13 |
| Figure II.11 : Répartition des $C_{pe}$ sur les parois dans le sens V2.....  | 14 |
| Figure II.12 : Légende pour la toiture.....  | 15 |
| Figure II.13 : Répartition des $C_{pe}$ sur la toiture dans le sens V2.....  | 16 |
| Figure II.14 : les surfaces des ouvertures.....  | 16 |
| Figure II.15 : coefficient de pression intérieure $C_{pi}$ des bâtiments sans face dominante, (Figure 5.14 de RNVA2013).....             | 17 |
| Figure II.16 : représentation des charges statique de neige sur la toiture et sur le sol.....  | 27 |
| Figure III.1 : Dispositions des pannes sur la toiture avec l'entraxe.....  | 28 |
| Figure III.2 : Schéma statique des surcharges d'entretien sur les pannes.....  | 29 |
| Figure III.3 : Charge du vent sur les pannes.....  | 30 |
| Figure III.4 : Charge de la neige sur les pannes.....  | 30 |
| Figure III.5 : Représentation de phénomène de déversement dans la semelle inférieure.....  | 35 |
| Figure III.6 : disposition des liernes.....  | 37 |
| Figure III.7 : Schème statique de la panne avec lierne.....  | 37 |
| Figure III.8 : échantignolle.....  | 38 |
| Figure III.9 : disposition des lisses sur le travée de long pan.....   | 40 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure III.10 : disposition des lisses.....   | 41  |
| Figure III.11 : la répartition des charges sur les lisses de long pan.....  | 42  |
| Figure III.12: Disposition des lisses sur le pignon.....  | 46  |
| Figure III.13 : la répartition des charges sur les lisses de long pan.....  | 47  |
| Figure III.14: les suspentes des lisses de pignon.....  | 51  |
| Figure III.15 : Disposition des potelets sur le pignon et le long pan.....  | 53  |
| Figure IV.1 : présentation de pont roulant sur le portique.....   | 66  |
| Figure IV.2 : présentation de pont roulant.....   | 66  |
| Figure IV.3 : Position de l'appareil de levage en charge pour obtenir le chargement maximal de la poutre de roulement.....                                    | 67  |
| Figure IV.4 : Position de l'appareil de levage à vide pour obtenir le chargement minimal de la poutre de roulement.....                                       | 69  |
| Figure IV.5 : Dispositions de charge induites par les forces horizontales longitudinales et transversales produit par les accélérations et décélérations..... | 70  |
| Figure IV.6 : Charges horizontales longitudinales $HL. i$ .....   | 70  |
| Figure IV.7 : Charges horizontales transversales HT.1.....  | 72  |
| Figure IV.8 : système de guidage assure par les flasques de galets.....   | 74  |
| Figure IV.9 : Disposition des charges des galets sur la poutre de roulement.....  | 76  |
| Figure IV.10 : Disposition de la charge horizontale.....  | 80  |
| FigureIV.11 : certaines catégories de détails avec leurs descriptions.....  | 86  |
| Figure IV.12 : longueur chargée efficace.....   | 87  |
| Figure IV.13 : torsion de la semelle supérieure.....  | 88  |
| Figure IV.14 : le moment maximal.....   | 90  |
| Figure V.1 : Vue en plan de la poutre au vent.....  | 93  |
| Figure V.2 : Schéma statique de la poutre au vent.....  | 93  |
| Figure V. 3 : valeurs des forces et réaction.....   | 94  |
| Figure V.4 : Isolation du nœud 1.....   | 94  |
| Figure V.5 : schéma statique de la poutre sablière.....   | 102 |
| Figure V.6 : schéma statique de la palée de stabilité sur long pan.....   | 104 |
| Figure VI.1 : vue de portique en 2D.....  | 106 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure VI.2 : la répartition de moment $M_{max}$ sur le portique encastré.....            | 109 |
| Figure VI.3 : la répartition de moment $M_{max}$ sur le portique articulé.....            | 109 |
| Figure VI.4 : la répartition de moment $M_{max}$ sur le portique.....                     | 111 |
| Figure VII.1 : Illustration de la traverse la plus sollicité.....                         | 113 |
| Figure VII.2 : Illustration de poteau le plus sollicité.....                              | 119 |
| Figure VII.3: Illustration de la diagonale la plus sollicité.....                         | 123 |
| Figure VII.4 : Illustration de la barre la plus sollicité en bleu.....                    | 124 |
| Figure VIII.1 : assemblage poteau-traverse.....   | 130 |
| Figure VIII.2 : distribution des efforts sur les boulons tendus.....                      | 130 |
| Figure VIII.3: vue 3D pour l'assemblage poteau-traverse.....                              | 134 |
| Figure VIII.4 : Assemblage traverse – traverse.....                                       | 135 |
| Figure VIII.5 : Désignation des entraxes et des pinces.....                               | 136 |
| Figure VIII.6 : Vue 3D pour l'assemblage traverse-traverse.....                           | 137 |
| Figure VIII.7 : la disposition géométrique des boulons des contreventements horizontaux.. | 140 |
| Figure VIII.8 : vue 3D d'assemblage des diagonales de contreventement horizontale.....    | 141 |
| Figure VIII.9 : Exemple d'assemblage des diagonales de poutre au vent avec la traverse... | 141 |
| Figure VIII.10 : Représentation de l'assemblage diagonale de rive.....                    | 142 |
| Figure VIII.11 : Assemblage des diagonales de rive.....                                   | 143 |
| Figure VIII.12 : Assemblage gousset-poteau.....   | 145 |
| Figure VIII.13 : Vue de face de l'échantignole.....                                       | 146 |
| Figure VIII.14 : tige d'ancrage de pied de poteau.....                                    | 147 |
| Figure VIII.15 : Dispositions constructives.....  | 147 |
| Figure VIII.16 : Vue 3D de la disposition des tiges ancrages.....                         | 148 |
| Figure VIII.17 : Pied de poteau encastré.....   | 149 |
| Figure VIII.18 : Vérification dans la section 1-1.....                                    | 150 |
| Figure VIII.19 : Vérification dans la section 2-2.....                                    | 151 |
| Figure VIII.20 : Vérification dans la section 3-3.....                                    | 151 |
| Figure VIII.21 : Disposition de la bèche.....   | 152 |
| Figure IX.1 : schéma de ferrailage de la semelle au-dessous de poteau.....                | 155 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure IX.2 : schéma de ferrailage des longrines..... | 157 |
|---|-----|

### Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau II.1: Les valeurs de coefficient de rugosité $C_r$ en fonction de $Z$ .....   | 8  |
| Tableau II.2 : Les valeurs de Coefficient d'exposition $C_e$ en fonction de $Z$ .....   | 8  |
| Tableau II.3 : Les valeurs de pression dynamique de pointe $q_p(z_e)$ .....   | 9  |
| Tableau II.4 : Les valeurs des surfaces des zones de vent des parois dans le sens $V_1$ .....   | 10 |
| Tableau II.5 : les valeurs de $C_{pe}$ sur les parois dans le sens $V_1$ .....  | 10 |
| Tableau II.6 : les valeurs des surfaces des zones de vent de la toiture sens $v_1$ .....  | 12 |
| Tableau II.7 : Les valeurs des $C_{pe}$ sur la toiture dans le sens $V_1$ .....   | 13 |
| Tableau II.8 : Les valeurs des surfaces des zones de vent des parois dans le sens $V_2$ .....   | 14 |
| Tableau II.9 : Les valeurs des $c_{pe}$ sur les parois dans le sens $V_2$ .....   | 14 |
| Tableau II.10 : les valeurs des surfaces des zones de vent de la toiture sens $v_2$ .....   | 15 |
| Tableau II.11 : Les valeurs des $C_{pe}$ sur la toiture dans le sens $V_2$ .....  | 15 |
| Tableau II.12 : valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales $V_1$ .....  | 18 |
| Tableau II.13 : Valeurs des pressions sur la toiture dans le sens $V_1$ avec $C_{pi} = 0.13$ .....  | 18 |
| Tableau II.14 : valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales $V_2$ .....  | 18 |
| Tableau II.15 : Valeurs des pressions sur la toiture dans le sens $V_2$ avec $C_{pi} = 0.15$ .....  | 19 |
| Tableau II.16 : les résultants de calcul de pression extérieure $W_e$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens $v_1$ )..... | 20 |
| Tableau II.17 : les résultants de calcul de force extérieure $F_{we}$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens $V_1$ )..... | 20 |
| Tableau II.18 : les résultants de calcul de pression intérieure $W_i$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens $v_1$ )..... | 20 |
| Tableau II.19 : les résultants de calcul de force intérieure $F_{wi}$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens $V_1$ )..... | 21 |
| Tableau II.20 : les résultants de calcul de la force aérodynamique résultante $F_{w,e}$ cas la direction de vent sur le long pan (sens $V_1$ ).....             | 22 |
| Tableau II.21 : les résultants de calcul de pression extérieure $W_e$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens $v_2$ ).....   | 22 |
| Tableau II.22 : les résultants de calcul de force extérieure $F_{we}$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens $V_2$ ).....   | 23 |

|  |     |
|--|-----|
| Tableau II.23 : les résultants de calcul de pression intérieur $W_i$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens V2)..... | 23  |
| Tableau II.24 : les résultants de calcul de force intérieur $F_{wi}$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens V2)..... | 23  |
| Tableau II.25 : les résultants de calcul de la force aérodynamique résultante $F_w$ , cas la direction de vent sur le pignon (sens V2).....              | 25  |
| Tableau II.26 : charge de la neige sur le sol dans chaque zone.....  | 26  |
| Tableau II.27 : coefficient de forme-toiture à versant multiple.....   | 26  |
| Tableau III.1 : Les charges et surcharges appliquées.....  | 30  |
| Tableau III.2 : Caractéristiques de l'UPE 80.....  | 43  |
| Tableau III.3 Caractéristiques de l'UPE 100.....   | 48  |
| Tableau III.4 : Coefficient de flambement correspondant à la section IPE220.....   | 56  |
| Tableau III.5 : Coefficient de flambement correspondant à la section IPE180.....   | 61  |
| Tableau IV.1 : Dimensions de pont roulant.....   | 66  |
| Tableau IV.2 : les charges et les vitesses caractérisé par le pont.....  | 66  |
| Tableau IV.3 : Les valeurs de $\beta_2$ et $\phi_{2.min}$ .....  | 68  |
| Tableau IV.4 : Tableau de définition de $\alpha_f$ , $\alpha_v$ , $\alpha_0$ .....   | 74  |
| Tableau IV.5 : détermination de la distance h.....   | 75  |
| Tableau IV.6 : Définition des valeurs $\lambda_s$ , $i$ , $j$ .....  | 75  |
| Tableau IV.7 : Caractéristiques de profilé HEB340.....   | 77  |
| Tableau IV.8 : Caractéristiques de profilé rail A55.....   | 77  |
| Tableau V.1 : Les résultats de $F_i$ .....   | 94  |
| Tableau VI.1 : les coefficients de $\psi_i$ en fonction des charges.....   | 108 |
| Tableau VI.2 : Les combinaisons Des charges agissant sur le portique.....  | 108 |
| Tableau VI.3 : comparaison des sollicitations des deux types de portique.....  | 109 |
| Tableau VI.4 : Les sollicitations maximales à chaque élément de portique.....  | 110 |
| Tableau VII.1 : caractéristique de profile IPN360.....   | 113 |
| Tableau VII.2 : caractéristique de profile HEA300.....   | 119 |
| Tableau VII.3 : liste des éléments et de leurs sections choisies.....  | 125 |
| Tableau VIII.1 : Caractéristique mécanique des boulons selon leur classe d'acier.....  | 127 |

|  |     |
|--|-----|
| Tableau VIII.2 : Valeur du coefficient de frottement $\mu$ selon la surface..... | 128 |
| Tableau VIII.3: Principales caractéristiques géométrique.....                    | 128 |
| Tableau VIII.4 : épaisseur du gousset en fonction de l'effort appliqué.....      | 138 |
| Tableau IX.1 : les sollicitations à la base des poteaux HEA300.....              | 153 |

## Notations et symboles

### Sollicitation-Contrainte-Déformation

***qp***: Pression dynamique de pointe.

***qréf*** : Pression dynamique moyen de référence.

***W*** : Pression aérodynamique.

***Fw***: Force aérodynamique résultante.

***S*** : Charge caractéristique de la neige.

***Sk*** : Charge de la neige sur le sol.

***G***: Action permanente.

***Q***: Action d'exploitation.

***g***: Charge permanente uniformément répartie.

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

***E*** : Module d'élasticité longitudinale de l'acier ( $E = 210\,000\text{ MPa}$ ).

***G*** : Module d'élasticité transversale de l'acier.

***Fp*** : Effort de précontrainte dans un boulon.

***M***: Moment sollicitant, en général.

***Mcr***: Moment critique élastique.

***Meff*** : Moment efficace (section de classe 4).

***Mel*** : Moment élastique.

***M<sub>N</sub>*** : Moment résistant plastique réduit du fait de l'effort axial.

***Mpl*** : Moment plastique.

***Mr*** : Moment résistant.

***Nr*** : Effort normal résistant.

***Npl*** : Effort normal de plastification.

***Nu***: Effort normal ultime.

***V*** : Effort tranchant sollicitant.

***Vpl*** : Effort tranchant de plastification.

**$Nk$**  : Effort normal critique d'Euler.

**$Npl$**  : Effort normal de plastification.

**$Nu$**  : Effort normal ultime.

**$Vu$**  : Effort tranchant ultime.

**$f$  (ou  $\delta$ )** : Flèche d'une poutre.

**$fub$**  : Contrainte de rupture d'un boulon.

**$fu$**  : Contrainte de rupture d'une pièce.

**$fy$**  : Limite d'élasticité d'un acier.

**$fred$**  : Limite d'élasticité réduite pour l'aire de cisaillement  $fred = (1 - \rho) \cdot fy$ .

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

**$\epsilon y$**  : Déformation correspondant à la limite d'élasticité.

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

**$\sigma k$**  : Contrainte critique d'Euler.

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

### **Caractéristique Géométriques**

**$A$**  : Section brute d'une pièce (cm<sup>2</sup>).

**$Anet$**  : Section nette d'une pièce (cm<sup>2</sup>).

**$Av$**  : Aire de cisaillement (cm<sup>2</sup>).

**$Aw$**  : Section de l'âme d'une pièce (cm<sup>2</sup>).

**$As$**  : Section résistante de la tige d'un boulon en fond de filet (cm<sup>2</sup>).

**$It$**  : Moment d'inertie de torsion (cm<sup>4</sup>).

**$Iw$**  : Facteur de gauchissement d'une section (cm<sup>4</sup>).

**$Iy$**  : Moment d'inertie de flexion maximal (cm<sup>4</sup>).

**$Iz$**  : Moment d'inertie de flexion minimal (cm<sup>4</sup>).

**$Wel$**  : Module de résistance élastique (cm<sup>3</sup>).

**$Wpl$**  : Module de résistance plastique (cm<sup>3</sup>).

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

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

**$d_0$**  : Diamètre nominal des tiges des boulons (cm).

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

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

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

**$l_f$**  : Longueur de flambement (mm, cm, m).

**$l_d$**  : Longueur de déversement d'une poutre (mm, cm, m).

**$l_K$**  : Longueur de flambement d'une poutre (mm, cm, m).

**$R$**  : Rigidité d'une barre (cm<sup>3</sup>).

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

**$t_f$**  : Epaisseur d'une semelle de poutre (mm, cm).

**$t_w$**  : Epaisseur d'une âme de poutre (mm, cm).

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

### **Coefficients et Grandeurs sans Dimensions**

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

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

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

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

**$k_y$  et  $k_z$**  : Coefficients de flambement flexion.

**$k_\tau$**  : Coefficient de voilement par cisaillement.

**$n = N / N_{pl}$**  : Ou nombre de boulons.

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

**$\beta_w$**  : Facteur de corrélation (soudures).

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

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

**$\lambda$  (*lambda*)** : Elancement.

**$\lambda_{cr}$**  : Elancement critique d'Euler.

**$\lambda_k$**  : Élancement eulérien.

**$\bar{\lambda}$**  : Elancement réduit.

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

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

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

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

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

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

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

## **Introduction Générale :**

L'exigence des grandes surfaces bâties, comme le cas des hangars industriels ou de stockage pour l'installation des équipements et les grandes espaces de stockage, font toujours appel à la solution charpente métallique.

Un projet de charpente métallique doit en conséquence être conçu et élaboré de façon à ce que les propriétés du matériau acier soient utilisées au mieux, soit sa haute résistance mécanique, sa grande ductilité et sa soudabilité.

La conception de la structure porteuse d'un hangar est basée sur son utilisation prévue, soit essentiellement ces caractéristiques de résistance (pour assurer une sécurité structurale suffisante), et de déformabilité (pour garantir une bonne aptitude au service), elle est donc fortement influencée par les propriétés des matériaux qui la composent.

Notre travail est de but de maîtriser les étapes de calcul et les différentes vérifications des structures en charpente métallique se feront tout en respectant les réglementations et recommandations (RNVA2013, CCM97, EUROCODE 3, BAEL). Ce travail est réparti en neuf chapitres, Le premier chapitre consiste à faire la présentation de l'ouvrage après en deuxième et troisième chapitre on effectua l'étude climatique de la structure et l'étude des éléments secondaires.

En quatrième chapitre on fait l'étude chemin de roulement, après l'étude de contreventement en cinquième chapitre.

Dans le sixième, le septième, le huitième et le neuvième chapitre on fait successivement : l'étude portique, vérification des éléments, calcul des assemblages et en fin l'étude de l'infrastructure.

En termine par une conclusion générale et des recommandations.

CHAPITRE I :  
PRESENTATION DE  
L'OUVRAGE

## I.1.Introduction :

La présente étude consiste à dimensionner par calcul et vérification, la stabilité d'un Hangar industriel en Construction Métallique avec une toiture de quatre versants et un pont roulant.

L'ouvrage sera implanté à wilaya de DJELFA qui est classée selon le règlement parasismique Algérien (RPA99 version 2003) comme zone de faible sismicité (I).

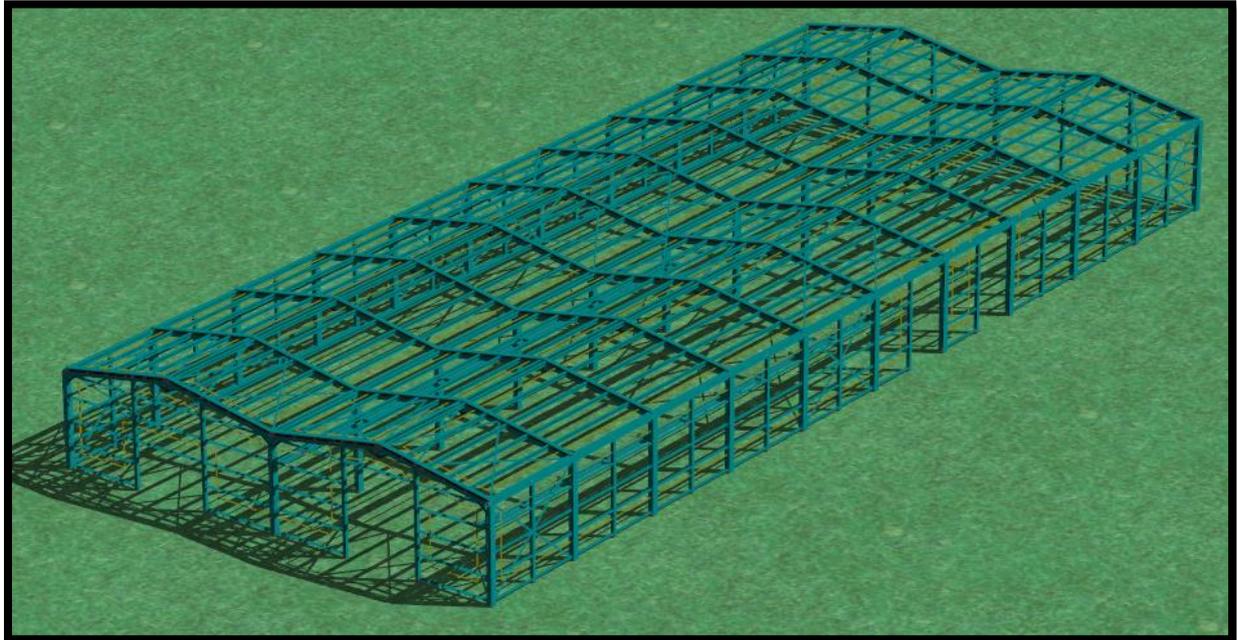


Figure I.1: Vue en 3D de la structure.

## I.2.Caractéristiques géométriques de l'ouvrage :

### I.2.1.Géométrie de l'ouvrage :

- Longueur total = 72.00m.
- Largeur total = 30.00m.
- Hauteur total = 7.30m.
- Hauteur des poteaux = 5.988m.
- Entraxe entre portiques =7.2m

### I.2.2.Pont Roulant :

- Masse à lever = 3tonnes.
- Porté de pont roulant  $L_p = 15m$ .
- Le poids du pont= 5.5tonnes.

### I.2.3.Etude de sol :

Les études faites sur le sol ou le projet sera implanté nous renseignement sur :

- La contrainte admissible du sol tirée de la portance :  $\sigma_{adm} = 2 \text{ bar}$ .

- Un système de fondation en semelles superficielles a une profondeur d'ancrage de 2.00m.

### **I.3.Caractéristiques structurales :**

#### **I.3.1.Les Couvertures :**

La couverture sera réalisée par des panneaux sandwich, ils sont constitués :

- De deux tôles de parement intérieur et extérieur.
- D'une âme en mousse isolante.
- De profils latéraux destinés à protéger l'isolant et réaliser des assemblages aisés.

#### **I.3.2.Ossature de la structure :**

L'ossature de l'ouvrage sera constituée par des portiques métalliques auto-stables qui assurent la stabilité verticale et horizontale.

### **I.4.Matériaux Utilisés :**

#### **I.4.1.Acier :**

Pour la réalisation de notre structure on a utilisé l'acier S235 de caractéristiques :

- Résistance limite d'élasticité :  $f_y = 23.5 \text{ daN/mm}^2$ .
- Module de cisaillement :  $G = 0.4E \text{ daN/mm}^2$ .
- Coefficient de poisson :  $\mu = 0,3$
- Module de Young :  $E = 21\,000 \text{ daN/mm}^2$
- Poids volumique :  $\rho = 78750 \text{ daN/mm}^3$ .
- Coefficient de dilatation thermique  $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ .

#### **I.4.2.Béton :**

- Le béton est un matériau économique qui résiste bien à la compression.
- Le béton utilisé pour les fondations est dosé à  $350\text{kg/m}^3$  de ciment ordinaire CPA 325 dont les caractéristiques physique et mécanique sont :
- Masse volumique  $\rho = 2.5 \text{ t/m}^3$ .
- La résistance à la compression à 28 jours :  $f_{c28} = 25\text{MPa}$ .
- La résistance à la traction à 28 jours :  $f_{t28} = 2.1\text{MPa}$ .
- Coefficient de retrait  $\varepsilon = 4.10^{-6}$

### **I.5.Règlements techniques :**

Les règlements techniques utilisés dans cette étude sont :

**EUROCODE 3 et CCM97** : Règle de calcul des constructions en acier.

**EUROCODE 1 partie 3** : Actions induites par les appareils de levage et les machines.

**EUROCODE 0** : base de calcul des structures.

**RPA99** : Règle Parasismique Algériennes version 2003.

**RNVA 2013** : Règle définissant les effets de la neige et du vent.

**BAEL 91** : Béton armé aux états limites.

**DTR C2.2** : Charges et structure.

**CHAPITRE II**

**ETUDE**

**CLIMATIQUE**

## II.1.Action du vent :

### Introduction :

Le vent est une action horizontale très importante qui agit directement sur la structure dans ces deux directions principales. Pour cela, une étude approfondie est prise en compte lors de dimensionnement de l'ossature métallique, cette étude est réalisée à partir des caractéristiques dépendant de la structure ainsi que le site d'implantation.

Dans notre cas ces caractéristiques sont les suivantes :

#### Les caractères géométriques de hangar :

La longueur  $l=72\text{m}$

La largeur  $b= 30\text{m}$

La hauteur des parois vertical  $h= 5.988\text{m}$ .

La hauteur totale  $H=7.30\text{m}$ .

Les deux directions principales du vent :

- (V1) : le vent perpendiculaire au long pan.

-(V2) : le vent perpendiculaire au pignon.

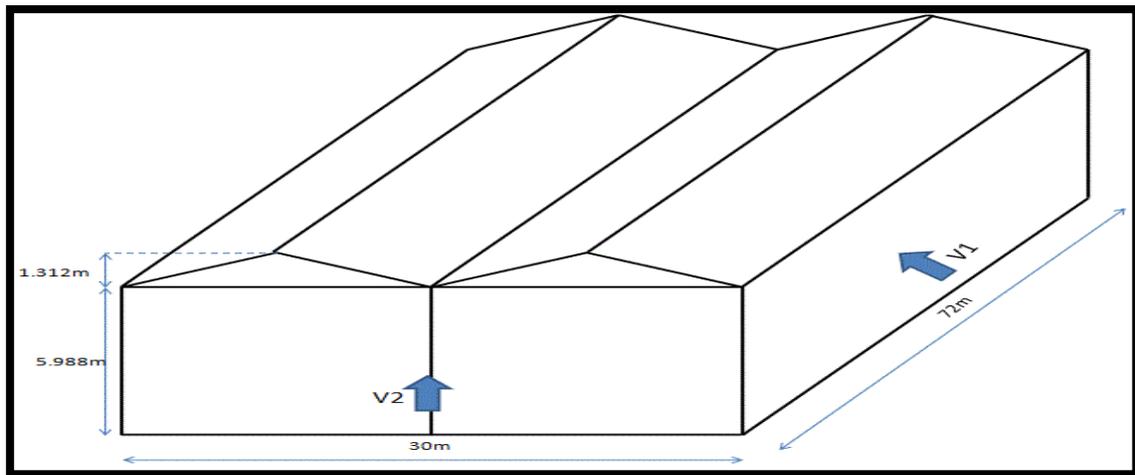


Figure II.1 : Les directions principales du vent.

### II.1.1.Détermination de la pression dynamique de pointe :

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

$$| q_p(z_e) = q_{réf} \times C_e(z_e) \quad [N/m^2] \quad (\text{Chap 2 RNVA 2013 Formule 2.1})$$

$q_{réf}$  (en  $N/m^2$ ) est la pression dynamique de référence donnée par le **tableau 2.2 de RNVA2013** en fonction de la zone de vent.

$C_e$  est le coefficient d'exposition au vent.

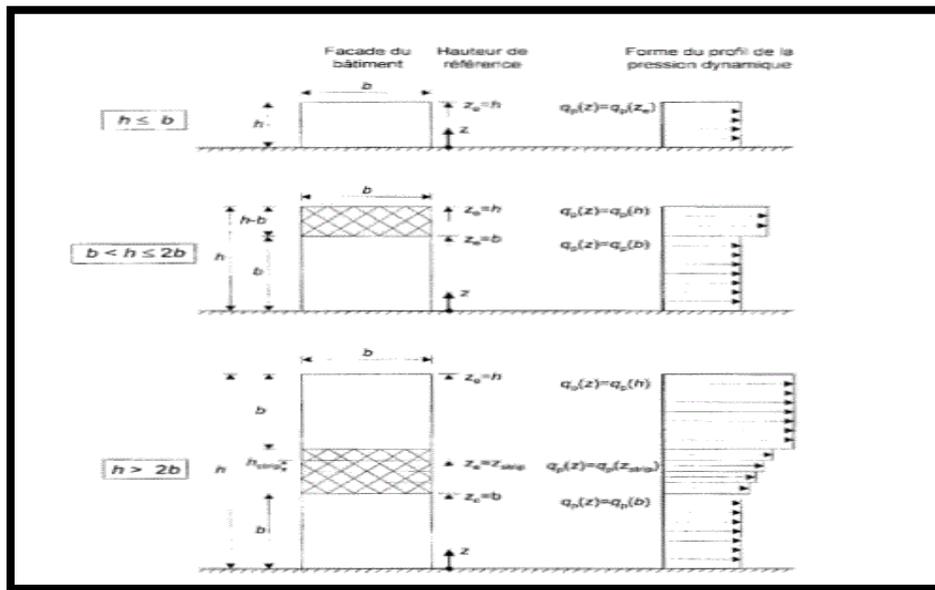
$z_e$  (en m) est la hauteur de référence.

**II.1.1.1.La pression dynamique de référence :**

C'est en fonction de la zone de vent. Notre projet situé à la wilaya de Djelfa, d'après RNVA 2013 la wilaya de Djelfa classé en (zone III) de la carte climatique de vent, Et suivant le tableau 2.2 RNVA 2013 :  $q_{réf} = 500 N/m^2$

**II.1.1.2.Hauteur de référence  $Z_e$  :**

- Pour les murs au vent des bâtiments à parois verticales,  $Z_e$  est déterminé comme indiqué par la figure 2.1 de RNVA 2013.



**Figure II.2: Hauteur de référence  $Z_e$  et profil correspondant de la pression dynamique.**

Comme notre cas la hauteur des parois  $h=5.988m$ , Et la largeur  $b=30m$

→  $[[h \leq b]]$

→  $Z_e = h = 5.988m$

- Pour les toitures,  $Z_e$  est pris égal à la hauteur maximale des bâtiments ; (Selon RNVA 2013 Chap. 2 article 2.3.2). →  $Z_e = H = 7.30m$ .

**II.1.1.3.Coefficient de topographie ( $C_t$ ) :**

Le coefficient de topographie  $C_t(z)$  prend en compte l'accroissement de la vitesse du vent

Lorsque celui-ci souffle sur des obstacles tels que les collines, les dénivellations isolées, etc.

$$\begin{cases} C_t(z) = 1 & \text{pour } \phi < 0.05 \\ C_t(z) = 1 + S_{max} \times \left(1 - \frac{|x|}{K_{red} \times L}\right) \times e^{-\alpha(z/L)} & \text{pour } \phi \geq 0.05 \end{cases} \quad (\text{Selon RNVA 2013 Chap2, formule 2.4})$$

formule 2.4)

-  $\phi$  est la pente du versant au vent  $\phi = H/L_u$  ;

- H(en m) est la hauteur du versant ;
- L est la longueur du versant sous le vent ;

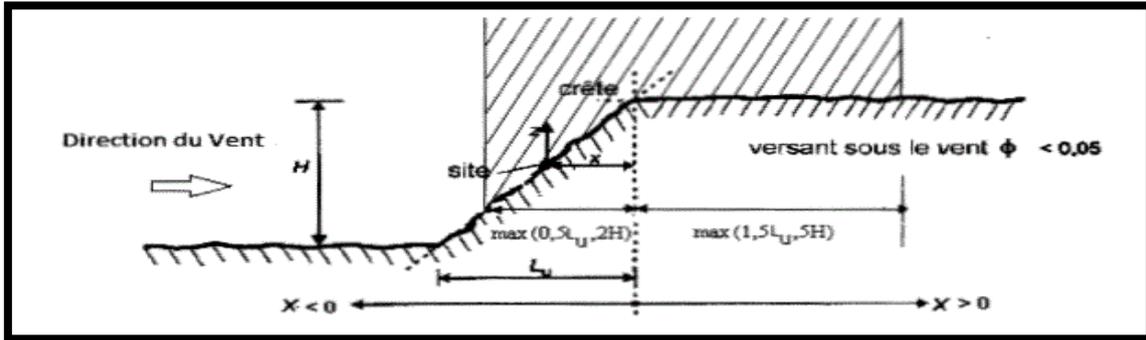


Figure II.3 : Paramètres pour la détermination de  $C_t(z)$  aux alentours des falaises et escarpements (RNVA 2013 Chap2, figure 2.3).

Calcul de  $\phi$  :

Comme notre structure sera implantée dans un site totalement plan, ( $H=0m$ ) pour toutes les directions

Du vent.  $\rightarrow \phi = 0/L_u = 0 \rightarrow \phi = 0 \rightarrow \phi < 0.05 \rightarrow (C_t = 1)$

#### II.1.1.4. Le coefficient de rugosité $C_r$ :

Le coefficient de rugosité  $C_r(z)$  traduit l'influence de la rugosité et de la hauteur sur la vitesse moyenne du vent. Il est donné par la relation suivante :

$$\begin{cases} C_r(z) = KT \times \ln \frac{z}{z_0} & \text{pour } z_{min} \leq z \leq 200m; \\ C_r(z) = KT \times \ln \frac{z_{min}}{z_0} & \text{pour } z < z_{min}; \end{cases} \quad (\text{Selon RNVA2013, Chap2, formule 2.3})$$

Avec :

- $KT$  : Facteur de terrain ;
- $Z_0$  (en m) le paramètre de rugosité ;
- $Z_{min}$  (en m) la hauteur minimale ;
- $Z$  (en m) la hauteur considérée ;

On Utilise le **tableau (2.4) de RNVA 2013** pour définir les valeurs de  $KT$  ;  $Z_0$  et  $Z_{min}$  :

La structure sera implantée dans une zone à couverture végétale régulière ou des bâtiments,

Le terrain est de Catégories III d'où :

- Facteur de terrain  $KT = 0.215$  ;
- le paramètre de rugosité  $Z_0 = 0.3m$  ;
- la hauteur minimale  $Z_{min} = 5m$  ;

✓ Calcul de Cr pour les parois verticales (Z=5.988m) ⇒ Zmin ≤ Z ≤ 200m ;

$$Cr(z) = Kt \times \ln \frac{Z}{Z_0} \rightarrow Cr(Z = 5.988m) = 0.215 \times \ln \frac{5.988}{0.3} \rightarrow Cr(Z = 5.988m) = 0.643$$

✓ Calcul de Cr pour la toiture (Z=7.30m) ⇒ Zmin ≤ Z ≤ 200m ;

$$Cr(z) = Kt \times \ln \frac{Z}{Z_0} \rightarrow Cr(Z = 7.30m) = 0.215 \times \ln \frac{7.30}{0.3} \rightarrow Cr(Z = 7.30m) = 0.680$$

| Niveau            | Z(m)  | Zmin(m) | Cr(z) |
|-------------------|-------|---------|-------|
| Parois verticales | 5.988 | 5       | 0.643 |
| Toiture           | 7.30  | 5       | 0.680 |

Tableau II.1: Les valeurs de coefficient de rugosité Cr en fonction de Z.

II.1.1.5.L'intensité de la turbulence Iv(z) :

Est définie comme étant type de la turbulence divisée par la vitesse moyenne du vent et est donnée par l'équation :

$$\begin{cases} Iv(z) = \frac{1}{Ct(z) \times \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)} & \text{pour } Z > Zmin \\ Iv(z) = \frac{1}{Ct(z) \times \ln \left( \frac{Zmin}{Z_0} \right)} & \text{pour } Z < Zmin \end{cases} \quad (\text{RNVA 2013 Chap2, formule 2.5})$$

✓ Calcul de Iv(z) pour les parois verticales (Z=5.988m) ⇒ Z > Zmin :

$$Iv(z) = \frac{1}{Ct(z) \times \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)} \rightarrow Iv(z = 5.988m) = \frac{1}{1 \times \ln \left( \frac{5.988}{0.3} \right)} \rightarrow Iv(z = 5.988m) = 0.334$$

✓ Calcul de Iv(z) pour la toiture (Z=7.30m) ⇒ Z > Zmin :

$$Iv(z) = \frac{1}{Ct(z) \times \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)} \rightarrow Iv(z = 7.30m) = \frac{1}{1 \times \ln \left( \frac{7.30}{0.3} \right)} \rightarrow Iv(z = 7.30m) = 0.310$$

II.1.1.6.Calcul de Coefficient d'exposition (Ce) :

$$Ce(z) = Ct^2(z) \times Cr^2(z) \times [1 + 7 \times Iv(z)] ; \quad (\text{RNVA 2013 Chap. 2, formule 2.2}) ;$$

✓ Calcul de Ce pour les parois verticales (Z=5.988m) :

$$Ce(z) = 1^2 \times 0.643^2 \times [1 + (7 \times 0.334)] \rightarrow Ce(z) = 1.380$$

✓ Calcul de Ce pour la toiture (Z=7.30m) :

$$Ce(z) = 1^2 \times 0.680^2 \times [1 + (7 \times 0.310)] \rightarrow Ce(z) = 1.465$$

| Niveau                        | Ct(Z) | Cr(Z) | Iv(Z) | Ce(Z) |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Parois vertical<br>(Z=5.988m) | 1     | 0.643 | 0.334 | 1.380 |
| Toiture (Z=7.30m)             | 1     | 0.680 | 0.310 | 1.465 |

Tableau II.2 : Les valeurs de Coefficient d'exposition Ce en fonction de Z.

## ❖ Calcul de la pression dynamique de pointe :

$$q_p(z_e) = q_{réf} \times C_e(z_e) \quad [N/m^2] \quad (\text{Chap 2 RNVA 2013 Formule 2.1}) ;$$

## ✓ Application numérique :

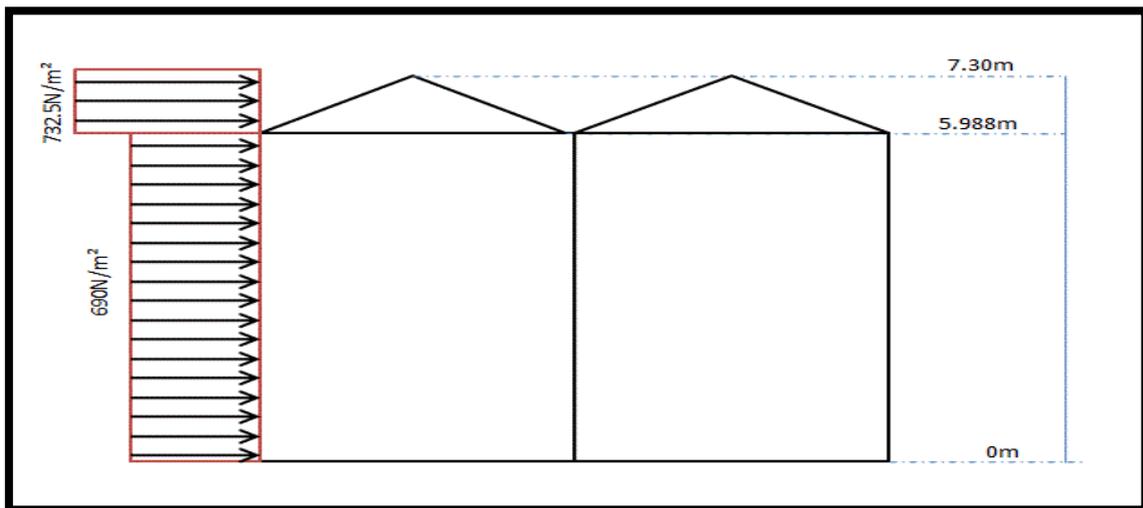
- Calcul de  $q_p$  pour les parois verticales ( $Z=5.988m$ ) :

$$q_p = 500 \times 1.380 = 690 \text{ N/m}^2$$

- Calcul de  $q_p$  pour la toiture ( $Z=7.30m$ )

$$q_p = 500 \times 1.465 = 732.5 \text{ N/m}^2$$

| Niveau                              | $q_{réf}$ [N/m <sup>2</sup> ] | $C_e(z)$ | $q_p(z_e)$ [N/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------|-------------------------------|----------|--------------------------------|
| Parois verticales<br>( $Z=5.988m$ ) | 500                           | 1.380    | 690                            |
| Toiture<br>( $Z=7.30m$ )            | 500                           | 1.465    | 732.5                          |

Tableau II.3 : Les valeurs de pression dynamique de pointe  $q_p(z_e)$ .Figure II.4 : la répartition de la pression dynamique de pointe sur la hauteur  $Z_e$ .II.1.1.7. Détermination de coefficient dynamique  $C_d$  :

Le coefficient dynamique  $C_d$  est donné en chapitre 3 de RNV/2013. Dans le cas de notre projet la hauteur totale de la structure  $H=7.30$  m est inférieure strictement à 15 m donc on peut prendre la valeur simplifiée de  $C_d$  :

$$C_d = 1 \quad [\text{\S 3.2-RNV/2013}]$$

II.1.2. Détermination des coefficients de pression extérieure  $C_{pe}$ 

## ✓ Vent perpendiculaire au long-pan (sens V1) :

- Parois verticales :

$b=72m$  ;  $d=30$  ;  $h=5.988m$  donc :

$e = \text{Min}(b ; 2h) = \text{Min}(72 \times 11.976) = 11.976\text{m}$

On voit bien que  $d > e$ , donc les parois verticales au vent V1 seront subdivisées en trois zones A, B et C comme suit :

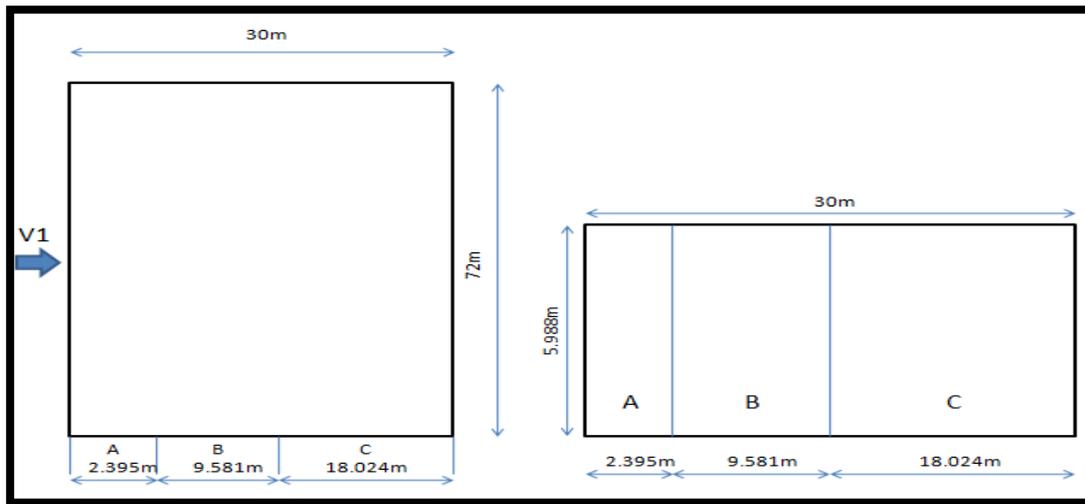


Figure II.5 : Légendes pour les parois verticales V1.

Les surfaces des zones A, B, C, D, et E sont données par le tableau suivant :

La surface de chaque zone est  $> 10\text{m}^2$  donc :

| Zone                             | A      |       | B      |       | C       |       | D       |       | E       |       |
|----------------------------------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| <b>Dimension géométrique (m)</b> | e/5    | h     | e-e/5  | h     | d-e     | h     | b       | h     | B       | h     |
|                                  | 2.395  | 5.988 | 9.581  | 5.988 | 18.024  | 5.988 | 72      | 5.988 | 72      | 5.988 |
| <b>Surface (m<sup>2</sup>)</b>   | 14.341 |       | 57.371 |       | 107.927 |       | 431.136 |       | 431.136 |       |

Tableau II.4 : Les valeurs des surfaces des zones de vent des parois dans le sens V1.

$C_{pe} = C_{pe,10}$

[§5.1.1.2-RNV/2013]

| Zone                  | A    | B    | C    | D    | E    |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| <b>C<sub>pe</sub></b> | -1.0 | -0.8 | -0.5 | +0.8 | -0.3 |

Tableau II.5 : les valeurs de  $C_{pe}$  sur les parois dans le sens V1

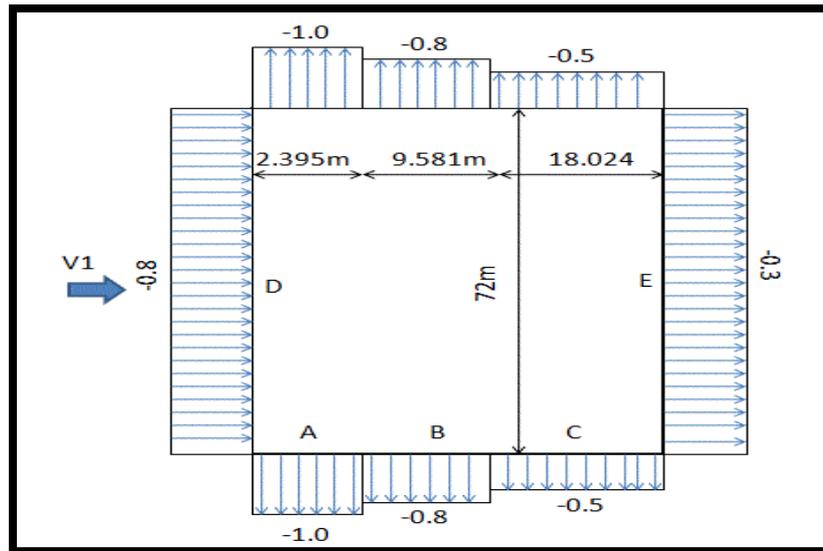


Figure II.6 : Répartition des Cpe sur les parois dans le sens V1

- Toiture :

Dans notre cas on a ( $\alpha = 9.922^\circ$ ),

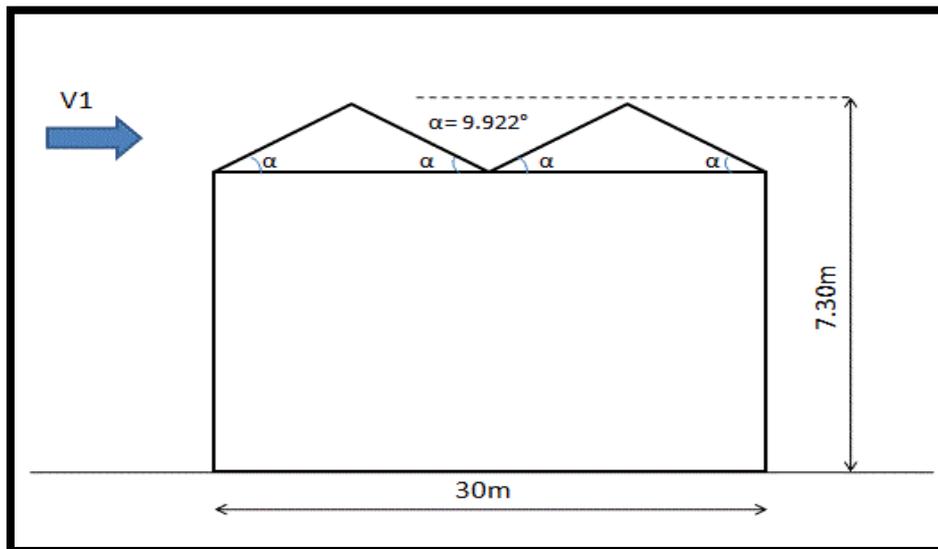


Figure II.7 : Légende pour la toiture à versants multiples.

On a une toiture a versant multiple  $\alpha=9,922^\circ$ , le vent perpendiculaire a la génératrice ; on prendra les valeurs  $C_{pe}$  de toiture à deux versant (RNV 2013 5.1.8) modifié pour leur position selon la (figure 5.7) ;  $\theta=0^\circ$   $b=72m$ ,  $d= 30m$ ,  $h=7,3m$ ,  $\alpha=9,922^\circ$

On a  $\alpha=9.922^\circ$  ;  $b=72m$  ;  $d=30m$  ;  $H=7.30m$

$e=\text{Min} (b ; 2h) = \text{Min} (72 ; 2 \times 7.3) = 14.6 m$

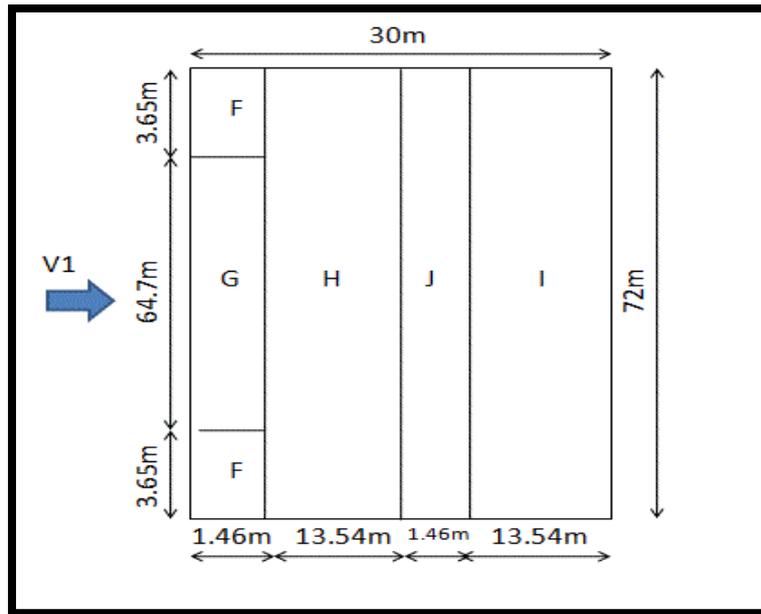


Figure II.8 : Répartition des zones de vent sur la toiture.

Les surfaces des zones F, G, H J et I sont données par le tableau suivant :

| Zone                      | F      | G      | H      | J      | I      |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Surface (m <sup>2</sup> ) | 10.658 | 94.462 | 974.88 | 105.12 | 974.88 |

Tableau II.6 : les valeurs des surfaces des zones de vent de la toiture sens v1.

La surface de chaque zone est > 10m<sup>2</sup> donc :

$$C_{pe} = C_{pe,10}$$

Les valeurs de  $C_{pe}$  sont déterminées par une interpolation linéaire entre les deux valeurs de même signe pour  $\alpha=5^\circ$  et  $\alpha=15^\circ$  tirées du (tableau 5.4 RNVA2013) ( $\theta=0^\circ$ ).

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1)-f(x_0)}{x_1-x_0} \times (x - X_0) \dots \dots \dots (La\ formule\ de\ l'interpolation)$$

$$Zone\ F : S = 10.658m^2 > 10m^2$$

$$C_{pe} = C_{pe,10} = -1.7 + \frac{-0.9-(-1.7)}{15-5} \times (9.922 - 5) = -1.306$$

$$Zone\ G : S = 94.462\ m^2 > 10m^2$$

$$C_{pe} = C_{pe,10} = -1.2 + \frac{-0.8-(-1.2)}{15-5} \times (9.922 - 5) = -1.003$$

La même procédure pour calculer les coefficients d'autres zones, les résultants sont comme suit :

| Zone       | F      | G      | H      | J      | I      |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <i>Cpe</i> | -1.306 | -1.003 | -0.461 | -0.512 | -0.333 |

Tableau II.7 : Les valeurs des *Cpe* sur la toiture dans le sens V1.

Dans la figure suivante les indices *IJ* représentent des *Cpe* indiqués dans la [figure 5.7 (cas A du RNV 2013)], et leur surfaces représentent la surface de chaque versant

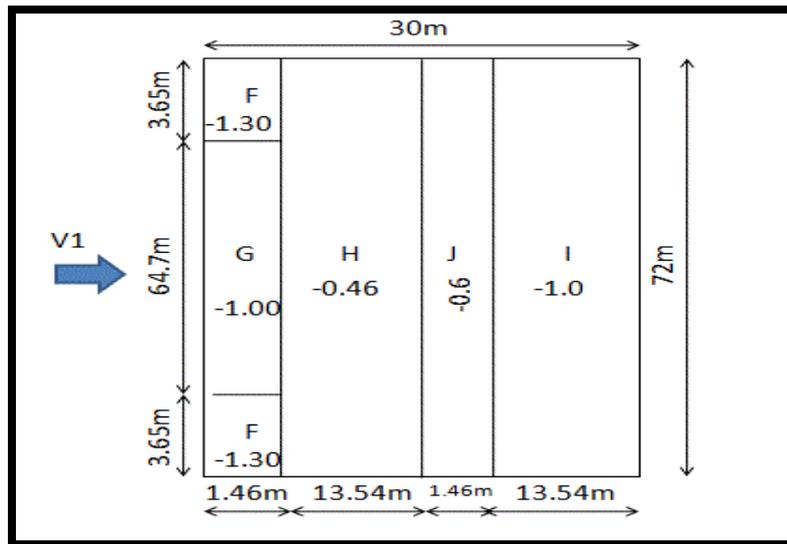


Figure II.9 : Répartition des *Cpe* sur la toiture dans le sens V1.

✓ Vent perpendiculaire au pignon (sensV2) :

- Parois verticales :

$b = 30m ; d=72m ; h=5.988m$  donc :

$e = \text{Min} (b ; 2h) = \text{Min} (30 ; 11.976) = 11.976m$

On voit bien que  $d > e$ , donc les parois verticales au vent V1 seront subdivisées en trois zones A, B et C comme suit :

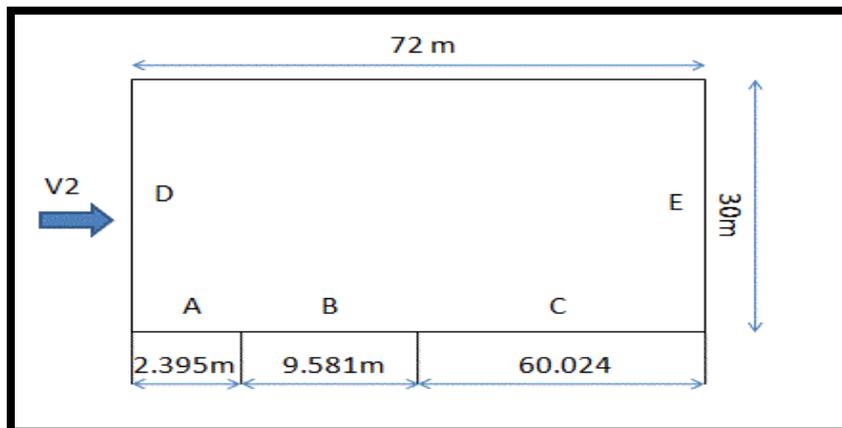


Figure II.10 : Légendes pour les parois verticales V2.

Les surfaces des zones A, B, C, D, et E sont données par le tableau suivant :

| Zone                     | A      | B      | C      | D      | E      |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Surface(m <sup>2</sup> ) | 14.341 | 57.371 | 359.42 | 179.64 | 179.64 |

**Tableau II.8 : Les valeurs des surfaces des zones de vent des parois dans le sens V2.**

La surface de chaque zone est >10m<sup>2</sup> donc :

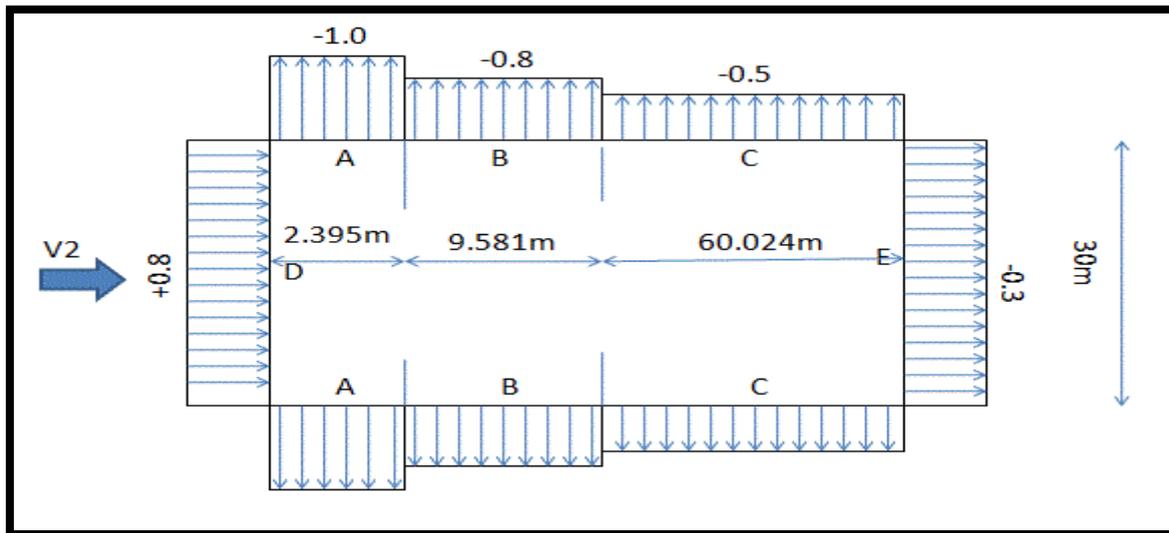
$$C_{pe} = C_{pe10}$$

[&5.1.1.2-RNV/2013]

Le tableau suivant donne les valeurs de C<sub>pe</sub> de chaque zone

| Zone            | A    | B    | C    | D    | E    |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| C <sub>pe</sub> | -1.0 | -0.8 | -0.5 | +0.8 | -0.3 |

**Tableau II.9 : Les valeurs des c<sub>pe</sub> sur les parois dans le sens V2.**



**Figure II.11 : Répartition des C<sub>pe</sub> sur les parois dans le sens V2.**

- **Toiture :**

On a une toiture à versant multiple  $\alpha=9,922$  Pour un vent dont la direction est parallèle aux génératrices, les coefficients C<sub>pe</sub> s'obtiennent en utilisant les valeurs de toiture à un versant pour  $\Theta=90^\circ$  (RNV 2013 5.1.8)

On a  $\alpha=9.922^\circ$ ; b=30m; d=72m; H=7.30m

$$E = \text{Min}(b ; 2h) = \text{Min}(30 ; 2 \times 7.3) = 14.6 \text{ m}$$

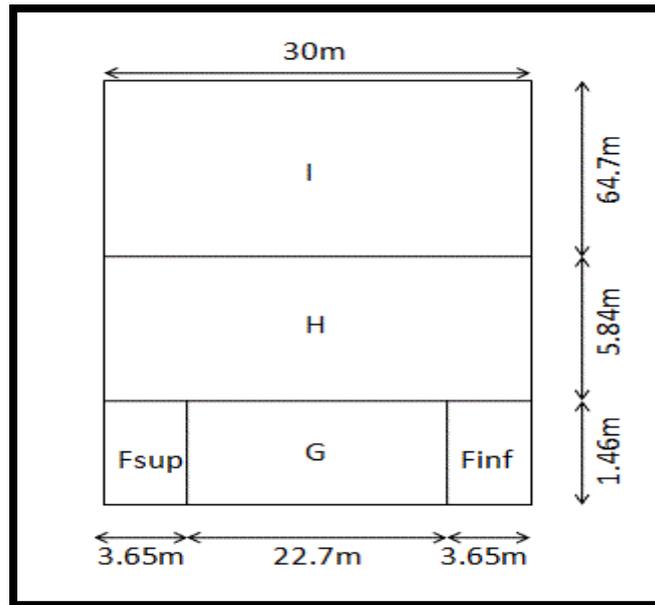


Figure II.12 : Légende pour la toiture.

Les surfaces des zones F, G, H et I sont données par le tableau suivant :

| Zone                   | <i>Finf</i> | <i>Fsup</i> | G      | H     | I    |
|------------------------|-------------|-------------|--------|-------|------|
| surface m <sup>2</sup> | 5.329       | 5.329       | 33.142 | 175.2 | 1941 |

Tableau II.10 : les valeurs des surfaces des zones de vent de la toiture sens v2.

La surface de chaque zone est > 10m<sup>2</sup> donc :

$$Cpe = Cpe,10$$

Les valeurs de *Cpe* sont déterminées par une interpolation linéaire entre les deux valeurs de même signe pour  $\alpha=5^\circ$  et  $\alpha=15^\circ$  tirées du (5-1 RNV 2013)

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{X_1 - X_0} \times (x - X_0) \dots \dots \dots (La\ formule\ de\ l'interpolation)$$

Zone **Fsup** :  $S = 10.658m^2 > 10m^2$

$$Cpe = Cpe,10 = -2.1 + \frac{-2.4 - (-2.1)}{15 - 5} \times (9.922 - 5) = -2.200$$

Zone **Finf** :  $S = 10.658m^2 > 10m^2$

$$Cpe = Cpe,10 = -2.1 + \frac{-1.6 - (-2.1)}{15 - 5} \times (9.922 - 5) = -1.853$$

La même procédure pour calculer les coefficients d'autres zones, les résultants sont comme suit :

| Zone       | <i>Fsup</i> | <i>Finf</i> | G      | H      | I      |
|------------|-------------|-------------|--------|--------|--------|
| <b>Cpe</b> | -2.200      | -1.853      | -1.849 | -0.698 | -0.598 |

Tableau II.11 : Les valeurs des *Cpe* sur la toiture dans le sens V2

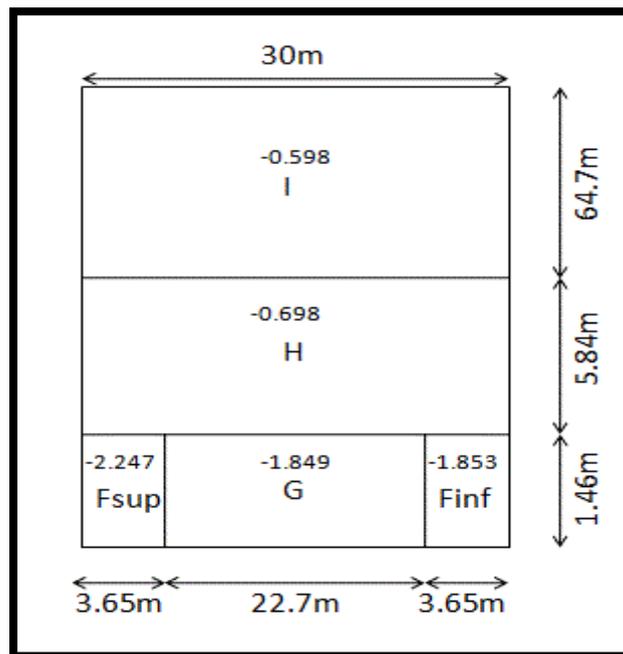


Figure II.13 : Répartition des *Cpe* sur la toiture dans le sens V2.

II.1.3.Détermination des coefficients de pression intérieure *Cpi* :

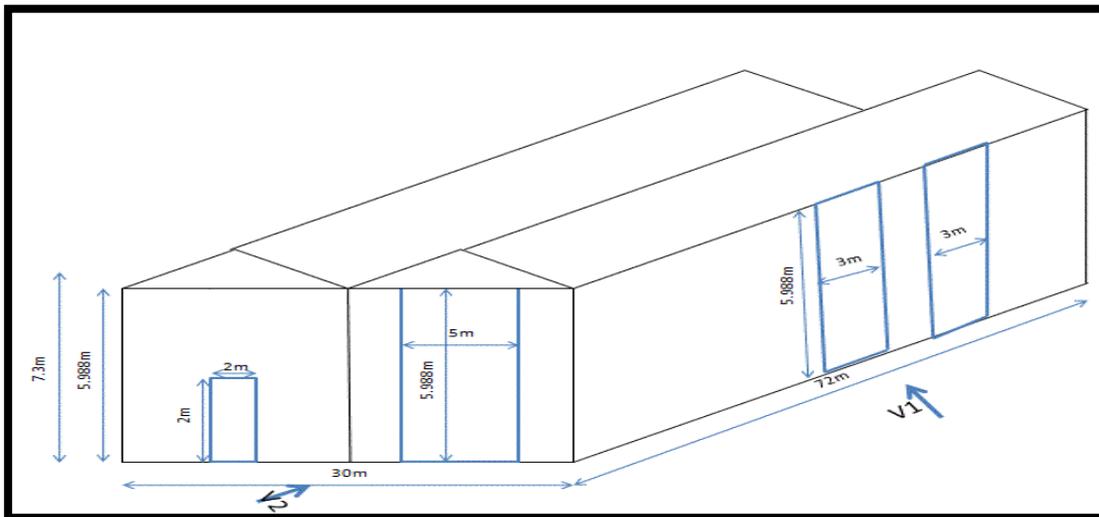


Figure II.14 : les surfaces des ouvertures.

✓ Vent perpendiculaire au long-pan (sensV1) :

pour les bâtiments sans face dominante, le coefficient de pression intérieure *Cpi* est déterminé à partir de la figure 5.14 de RNVA 2013 avec (h) la hauteur du bâtiment, (d) sa profondeur et  $\mu_p$  l'indice de perméabilité donné par :

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

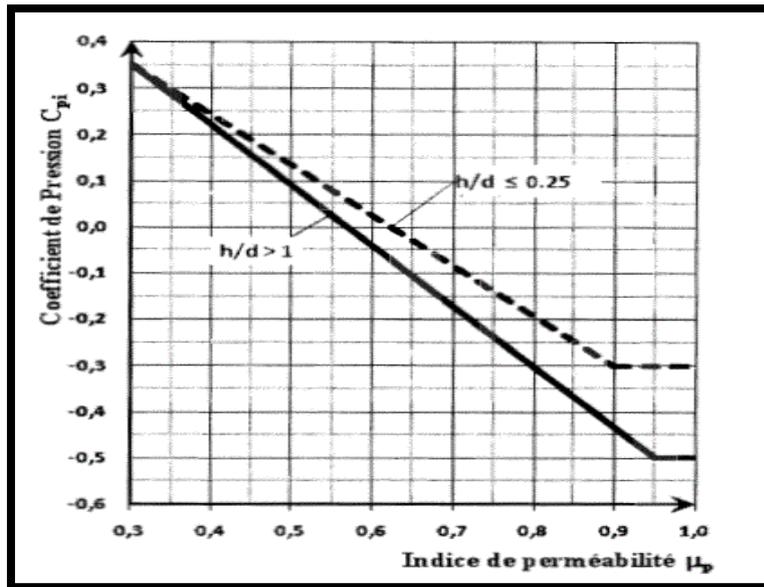


Figure II.15 : coefficient de pression intérieure  $C_{pi}$  des bâtiments sans face dominante.

(Figure 5.14 de RNVA2013).

- La somme des surfaces de toutes les ouvertures :  $69.868 \text{ m}^2$

- La somme des ouvertures où  $C_{pe} \leq 0$  :  $35.928 \text{ m}^2$

$$\mu_p = \frac{(5.988 \times 3) \times 2}{[(5.988 \times 3) \times 2] + (2 \times 2) + (5.988 \times 5)} = 0.514$$

On a :  $\frac{7.3}{30} = 0.243$

$$0.243 \leq 0.25$$

D'après figure 5.14 de RNVA2013  $\rightarrow C_{pi} = +0.13$

✓ **Vent perpendiculaire au pignon (sens V2) :**

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

- La somme des surfaces de toutes les ouvertures :  $69.868 \text{ m}^2$

- La somme des ouvertures où  $C_{pe} \leq 0$  :  $35.928 \text{ m}^2$

$$\mu_p = \frac{(2 \times 2) + (5.988 \times 5)}{[(5.988 \times 3) \times 2] + (2 \times 2) + (5.988 \times 5)} = 0.485$$

On a :  $\frac{7.3}{72} = 0.101 \rightarrow 0.101 \leq 0.25$

D'après figure 5.14 de RNVA2013  $\rightarrow C_{pi} = +0.15$

### II.1.4. Calcul de la pression aérodynamique :

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

- Si une face de la paroi est intérieure à la construction, l'autre extérieure :

$$W(zj) = qp(ze) [\times [Cpe - Cpi] \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (\text{RNVA2013 Chap. 2, formule 2.6})$$

#### II.1.4.1. Cas de vent perpendiculaire au long-pan (sens V1) :

- Parois verticales :

| Zone | $qp(ze)$ [N/m <sup>2</sup> ] | $Cpe$ | $Cpi$ | $W(zj)$ [N/m <sup>2</sup> ] |
|------|------------------------------|-------|-------|-----------------------------|
| A    | 690                          | -1.0  | 0.13  | -779.7                      |
| B    | 690                          | -0.8  | 0.13  | -641.7                      |
| C    | 690                          | -0.5  | 0.13  | -434.7                      |
| D    | 690                          | +0.8  | 0.13  | +462.3                      |
| E    | 690                          | -0.3  | 0.13  | -296.7                      |

Tableau II.12 : valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales V1.

- Toiture :

Le tableau suivant donne les valeurs de la pression sur la toiture pour la direction de vent V1

| Zone | $qp(ze)$ [N/m <sup>2</sup> ] | $Cpe$ | $Cpi$ | $W(zj)$ [N/m <sup>2</sup> ] |
|------|------------------------------|-------|-------|-----------------------------|
| F    | 732.5                        | -1.3  | 0.13  | -1047.475                   |
| G    | 732.5                        | -1.0  | 0.13  | -827.725                    |
| H    | 732.5                        | -0.46 | 0.13  | 432.175                     |
| J    | 732.5                        | -0.6  | 0.13  | -534.725                    |
| I    | 732.5                        | -1.0  | 0.13  | -827.725                    |

Tableau II.13 : Valeurs des pressions sur la toiture dans le sens V1 avec  $Cpi = 0.13$ .

#### II.1.4.2. Cas de vent perpendiculaire au pignon (sens V2) :

- Parois verticales :

| Zone | $qp(ze)$ [N/m <sup>2</sup> ] | $Cpe$ | $Cpi$ | $W(zj)$ [N/m <sup>2</sup> ] |
|------|------------------------------|-------|-------|-----------------------------|
| A    | 690                          | -1.0  | 0.15  | -793.5                      |
| B    | 690                          | -0.8  | 0.15  | -655.5                      |
| C    | 690                          | -0.5  | 0.15  | -448.5                      |
| D    | 690                          | +0.8  | 0.15  | +448.5                      |
| E    | 690                          | -0.3  | 0.15  | -310.5                      |

Tableau II.14 : valeurs de la pression aérodynamique sur les parois verticales V2.

- **Toiture :**

Le tableau suivant donne les valeurs de la pression sur la toiture pour la direction de vent V2

| Zone                   | $qp(z_e)$ [N/m <sup>2</sup> ] | $C_{pe}$ | $C_{pi}$ | $W(z_j)$ [N/m <sup>2</sup> ] |
|------------------------|-------------------------------|----------|----------|------------------------------|
| <b>F<sub>sup</sub></b> | 732.5                         | -2.200   | 0.15     | -1721.375                    |
| <b>F<sub>inf</sub></b> | 732.5                         | -1.853   | 0.15     | -1467.197                    |
| <b>G</b>               | 732.5                         | -0.849   | 0.15     | -731.767                     |
| <b>H</b>               | 732.5                         | -0.698   | 0.15     | -636.424                     |
| <b>I</b>               | 732.5                         | -0.598   | 0.15     | -561.374                     |

**Tableau II.15 : Valeurs des pressions sur la toiture dans le sens V2 avec  $C_{pi} = 0.15$ .**

### II.1.5.Action d'ensemble :

La force exercée par le vent  $F_w$  agissant sur une construction ou un élément de construction peut être déterminée par la sommation vectorielle des forces  $F_{w,e}$  ;  $F_{w,i}$  et  $F_{fr}$  respectivement données par :

- Forces extérieures :  $F_{w,e} = C_d \times \sum W_e \times A_{réf}$

- Forces intérieures :  $F_{w,i} = \sum W_i \times A_{réf}$

- Force de frottement :  $F_{fr} = C_{fr} \times qp(z_e) \times A_{fr}$

Où :

-  $W_e$  : est la pression extérieure exercée sur la surface élémentaire de la hauteur  $Z_e$  donnée par l'expression ;

$$W_e = qp(z_e) \times C_{pe}$$

-  $W_i$  : est la pression intérieure exercée sur la surface élémentaire de la hauteur  $Z_i$  donnée par l'expression ;

$$W_i = qp(z_i) \times C_{pi}$$

-  $A_{réf}$  : est l'aire de référence de la surface élémentaire ;

-  $C_{fr}$  : est le coefficient de frottement ;

-  $A_{fr}$  : est l'aire de la surface extérieure parallèle au vent ;

-  $Z_e$  ;  $Z_i$  respectivement les hauteurs de référence des pressions extérieures. Et intérieures ;

**(Selon le RNVA 2013, Chapitre 2, Article 2.6.2).**

#### II.1.5.1.Cas de direction du vent vers le long-pan (V1):

- **détermination de la force extérieure  $F_{w,e}$  :**

$$F_{w,e} = C_d \times \sum W_e \times A_{réf} \quad C_d = 1; \quad \text{Avec } W_e = qp(z_e) \times C_{pe};$$

Calcul de la pression extérieure  $We$  :

| zone | $qp (ze) [N/m^2]$ | $Cpe$ | $We [KN/m^2]$ |
|------|-------------------|-------|---------------|
| D    | 690               | +0.8  | 0.552         |
| E    | 690               | -0.3  | -0.207        |
| F    | 732.5             | -1.30 | -0.952        |
| G    | 732.5             | -1.00 | -0.732        |
| H    | 732.5             | -0.46 | -0.336        |
| I    | 732.5             | -1.00 | -0.732        |
| J    | 732.5             | -0.6  | -0.439        |

**Tableau II.16 : les résultants de calcul de pression extérieure  $We$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens v1).**

- Calcul de la force extérieure  $Fw, e$  :

| Éléments  | Zone | $Cd$ | $We [Kn /m^2]$ | $Aref [m^2]$                                   | Composantes horizontales de $Fw, e [Kn]$ | Composantes verticales $Fw, e [Kn]$ |
|-----------|------|------|----------------|--|--|-------------------------------------|
| Parois .v | D    | 1    | 0.552          | 431.136  | 237.987                                  | 0                                   |
| Parois .v | E    | 1    | -0.207         | 431.136  | -89.245                                  | 0                                   |
| Toiture   | F    | 1    | -0.952         | 10.658   | 0  | -10.146                             |
| Toiture   | G    | 1    | -0.732         | 94.462   | 0  | -69.146                             |
| Toiture   | H    | 1    | -0.336         | 974.888  | 0  | -327.562                            |
| Toiture   | I    | 1    | -0.732         | 974.888  | 0  | -713.618                            |
| Toiture   | J    | 1    | -0.439         | 105.125  | 0  | -46.149                             |
|           |      |      |                | <b><math>Fw, e</math>(résultante)<br/>[KN]</b> | <b>148.742</b>                           | <b>-1166.621</b>                    |

**Tableau II.17 : les résultants de calcul de force extérieure  $Fwe$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens V1).**

- Détermination de la force intérieure  $Fw, i$  :

$$Fw, i = \sum Wi \times Aref ; \quad ; \quad \text{Avec } Wi = qp (zi) \times Cpi;$$

- Calcul de la pression intérieure  $Wi$  :

| Zone | $qp (ze) [N/m2]$ | $Cpi$ | $Wi [KN/m2]$ |
|------|------------------|-------|--------------|
| D    | 690              | 0.13  | 0.089        |
| E    | 690              | 0.13  | 0.089        |
| F    | 732.5            | 0.13  | 0.095        |
| G    | 732.5            | 0.13  | 0.095        |
| H    | 732.5            | 0.13  | 0.095        |
| I    | 732.5            | 0.13  | 0.095        |
| J    | 732.5            | 0.13  | 0.095        |

**Tableau II.18 : les résultants de calcul de pression intérieur  $Wi$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens v1).**

- Calcul de force intérieure  $F_{w,i}$  :

| Éléments                                    | Zone | $W_i$ [Kn/m <sup>2</sup> ] | $A_{ref}$ [m <sup>2</sup> ] | Composantes horizontales de $F_{w,i}$ [Kn] | Composantes verticales $F_{w,i}$ [Kn] |
|---|------|----------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| Parois .v                                   | D    | 0.089                      | 431.136                     | 38.371                                     | 0                                     |
| Parois .v                                   | E    | 0.089                      | 431.136                     | 38.371                                     | 0                                     |
| Toiture                                     | F    | 0.095                      | 10.658                      | 0  | 1.011                                 |
| Toiture                                     | G    | 0.095                      | 94.462                      | 0  | 8.973                                 |
| Toiture                                     | H    | 0.095                      | 974.888                     | 0  | 92.614                                |
| Toiture                                     | I    | 0.095                      | 974.888                     | 0  | 92.614                                |
| Toiture                                     | J    | 0.095                      | 105.125                     |  | 9.986                                 |
| <b><math>F_{w,(résultante)}</math> [KN]</b> |      |                            |                             | <b>76.742</b>                              | <b>205.198</b>                        |

**Tableau II.19 : les résultants de calcul de force intérieur  $F_{wi}$  , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le long pan (sens V1).**

- **Détermination de la force de frottement :**

Les effets de frottement du vent sur la surface peuvent être négligés. Lorsque l'aire totale de toutes les surfaces parallèles au vent (ou faiblement inclinées par rapport à la direction du vent) est inférieure ou égale à 4 fois l'aire totale de toutes les surfaces extérieure perpendiculaires au vent (au sous le vent). (Selon RNVA 2013, Chapitre 2, Article 3.6.3) ;

- Dans ce cas la direction du vent elle est perpendiculaire au long pan :

Calcul des surfaces parallèles au vent :

Les surfaces des deux pignons :

$$[(30 \times 5.988) + (1.312 \times 15)] \times 2 = 398.64m^2$$

La toiture qui est faiblement inclinée par rapport de la direction du vent :

$$15 \times 30 = 450 m^2$$

( Selon RNVA 2013, Tableau2.9, Chapitre 2) ;

➔ Total des surfaces parallèle au vent :  $398.64 + 450 = 848.64m^2$

Calcul des surfaces perpendiculaire au vent (et sous le vent):

Les surfaces des deux longs pans :

$$(5.988 \times 72) \times 2 = 862.272m^2$$

Vérification de la condition

(article 2.6.3 RNVA2013) ;

L'aire totale des surfaces parallèle au vent  $\leq 4 \times$  (l'aire totale des surfaces perpendiculaire au vent)

$$846.64 \leq 4 \times (862.272) \rightarrow 846.64m^2 \leq 3449.088m^2 \rightarrow C'est\ vérifié.\checkmark$$

→ Donc on doit négliger l'effet de frottement cas de vent perpendiculaire au long pan.

- Calcul de  $F_w$  :

La force résultante  $F_w$  agissant sur une construction, égale à la sommation vectorielle des forces  $F_{w,e}$  ;  $F_{w,i}$  et  $F_{fr}$  respectivement données par :

- Forces extérieures :  $F_{w,e} = C_d \times \sum W_e \times A_{réf}$
- Forces intérieures :  $F_{w,i} = \sum W_i \times A_{réf}$
- Force de frottement :  $F_{fr} = C_{fr} \times q_p(z_e) \times A_{fr}$

| Forces                           | Composantes horizontales<br>[KN] | Composantes verticales<br>[KN] |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Forces extérieure ( $F_{w,e}$ )  | 148.742                          | -1166.621                      |
| Forces intérieure ( $F_{w,i}$ )  | 76.742                           | 205.198                        |
| Force de frottement ( $F_{fr}$ ) | 0                                | 0                              |
| La force résultante ( $F_w$ )    | 225.484                          | -961.423                       |

Tableau II.20 : les résultants de calcul de la force aérodynamique résultante  $F_{w,e}$  cas la direction de vent sur le long pan (sens V1).

#### II.1.5.2. Cas de direction du vent vers pignon (V2):

- détermination de la force extérieure  $F_{w,e}$  :

$$F_{w,e} = C_d \times \sum W_e \times A_{réf} \quad C_d = 1; \quad \text{Avec } W_e = q_p(z_e) \times C_{pe};$$

- Calcul de la pression extérieure  $W_e$  :

| Zone      | $q_p(z_e)$ [N/m <sup>2</sup> ] | $C_{pe}$ | $W_e$ [KN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------|--------------------------------|----------|----------------------------|
| D         | 690                            | +0.8     | 0.552                      |
| E         | 690                            | -0.3     | -0.207                     |
| $F_{sup}$ | 732.5                          | -2.200   | -1.611                     |
| $F_{inf}$ | 732.5                          | -1.853   | -1.357                     |
| G         | 732.5                          | -1.849   | -1.354                     |
| H         | 732.5                          | -0.698   | -0.511                     |
| I         | 732.5                          | -0.598   | -0.438                     |

Tableau II.21 : les résultants de calcul de pression extérieure  $W_e$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens v2).

- Calcul de la force extérieure  $Fw, e$  :

| Éléments                                   | Zone        | $Cd$ | $We [Kn/m^2]$ | $Aref [m^2]$ | Composantes horizontales de $Fw, e [Kn]$ | Composantes verticales $Fw, e [Kn]$ |
|--|-------------|------|---------------|--------------|--|-------------------------------------|
| Parois .v                                  | D           | 1    | 0.552         | 179.64       | 99.161                                   | 0                                   |
| Parois .v                                  | E           | 1    | -0.207        | 179.64       | -37.185                                  | 0                                   |
| Toiture                                    | <i>Fsup</i> | 1    | -1.611        | 5.329        | 0  | -8.585                              |
| Toiture                                    | <i>Finf</i> | 1    | -1.357        | 5.329        | 0  | -7.231                              |
| Toiture                                    | G           | 1    | -1.354        | 33.142       | 0  | -44.874                             |
| Toiture                                    | H           | 1    | -0.511        | 175.2        | 0  | -89.520                             |
| Toiture                                    | I           |      | -0.438        | 1941         | 0  | -850.158                            |
| <b><math>Fw, e</math>(résultante) [KN]</b> |             |      |               |              | <b>61.976</b>                            | <b>-1000.368</b>                    |

Tableau II.22 : les résultants de calcul de force extérieure  $Fwe$  , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens V2).

- Détermination de la force intérieure  $Fw, i$  :

$$Fw, i = \sum Wi \times Aref ; \quad ; \quad \text{Avec } Wi = qp (zi) \times Cpi;$$

- Calcul de la pression intérieure  $Wi$  :

| Zone        | $qp (ze) [N/m2]$ | $Cpi$ | $We [KN/m2]$ |
|-------------|------------------|-------|--------------|
| D           | 690              | 0.15  | 0.103        |
| E           | 690              | 0.15  | 0.103        |
| <i>Fsup</i> | 732.5            | 0.15  | 0.109        |
| <i>Finf</i> | 732.5            | 0.15  | 0.109        |
| G           | 732.5            | 0.15  | 0.109        |
| H           | 732.5            | 0.15  | 0.109        |
| I           | 732.5            | 0.15  | 0.109        |

Tableau II.23 : les résultants de calcul de pression intérieur  $Wi$ , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens V2).

- Calcul de force intérieure  $Fw, i$  :

| Éléments                                   | Zone        | $Wi [Kn/m^2]$ | $Aref [m^2]$ | Composantes horizontales de $Fw, i [Kn]$ | Composantes verticales $Fw, i [Kn]$ |
|--|-------------|---------------|--------------|--|-------------------------------------|
| Parois .v                                  | D           | 0.103         | 179.64       | 18.502                                   | 0                                   |
| Parois .v                                  | E           | 0.103         | 179.64       | 18.502                                   | 0                                   |
| Toiture                                    | <i>Fsup</i> | 0.109         | 5.329        | 0  | 0.580                               |
| Toiture                                    | <i>Finf</i> | 0.109         | 5.329        | 0  | 0.580                               |
| Toiture                                    | G           | 0.109         | 33.142       | 0  | 3.612                               |
| Toiture                                    | H           | 0.109         | 175.2        | 0  | 19.096                              |
| Toiture                                    | I           | 0.109         | 1941         | 0  | 211.569                             |
| <b><math>Fw, i</math>(résultante) [KN]</b> |             |               |              | <b>37.004</b>                            | <b>235.437</b>                      |

Tableau II.24 : les résultants de calcul de force intérieur  $Fwi$  , correspondant à chaque zone cas la direction de vent sur le pignon (sens V2).

- **Détermination de la force de frottement :**

Les effets de frottement du vent sur la surface peuvent être négligés. Lorsque l'aire totale de toutes les surfaces parallèles au vent (ou faiblement inclinées par rapport à la direction du vent) est inférieure ou égale à 4 fois l'aire totale de toutes les surfaces extérieures perpendiculaires au vent (au sous le vent). (Selon RNVA 2013, Chapitre 2, Article 3.6.3) ;

- Dans ce cas la direction du vent elle est perpendiculaire au pignon:

Calcul des surfaces parallèles au vent :

Les surfaces des deux long pan:

$$(5.988 \times 72) \times 2 = 862.272m^2$$

La toiture qui est faiblement inclinée par rapport de la direction du vent :

$$\left[ \left( \frac{1.312}{\sin 9.922} \right) \times 4 \times 72 \right] = 2192.918m^2 \text{ ( Selon RNVA 2013, Tableau 2. 9, Chapitre 2)}$$

$$\rightarrow \text{Total des surfaces parallèle au vent : } 862.272 + 2192.918 = 3055.19m^2$$

Calcul des surfaces perpendiculaire au vent (et sous le vent):

Les surfaces des deux pignons :

$$[(30 \times 5.988) + (1.312 \times 15)] \times 2 = 398.64m^2$$

Vérification de la condition (article 2.6.3 RNVA2013) :

L'aire totale des surfaces parallèle au vent  $\leq 4 \times$  (l'aire totale des surfaces perpendiculaire au vent)

$$3055.19 \leq 4 \times (398.64) \rightarrow 3055.19m^2 > 1594.56m^2 \rightarrow \text{N'est pas vérifier.}$$

**$\rightarrow$  Donc on ne doit pas négligé l'effet de frottement cas de vent perpendiculaire au pignon**

$$Ffr = Cfr \times qp(ze) \times Afr ;$$

$Cfr$  : Coefficient de frottement donné par le tableau 2.8 de RNVA 2013 ;

Dans notre cas, nous avons une couverture en toiture dont les ondulations sont perpendiculaires à la direction du vent et un bardage de parois verticales dont les ondulations sont aussi perpendiculaires à la direction du vent.

Donc :  $Cfr(\text{toiture}) = Cfr(\text{parois verticales}) = 0.04$  ;

Pour la toiture :

$$Ze = 7.30m \rightarrow qp(7.30m) = 732.5 N/m^2 \rightarrow Afr = \left[ \left( \frac{1.312}{\sin 9.922} \right) \times 4 \times 72 \right] = 2192.918m^2$$

$$Ffr(\text{toiture}) = 0.04 \times 732.5 \times 2192.918 = 64252.497 N \rightarrow Ffr(\text{toiture}) = 64.252KN$$

Pour une seul paroi verticale :

$$Ze = 5.988m \rightarrow qp(5.988m) = 690N/m^2 \rightarrow Afr = 5.988 * 72 = 431.136m^2$$

$$Ffr(Pv) = 0.04 \times 690 \times 431.136 = 11899.353N \rightarrow Ffr(Pv) = 11.899KN$$

La force de frottement total :

$$Ffr = Ffr(toiture) + [2 \times Ffr(pv)] = 64.252 + (2 * 11.899) \rightarrow Ffr = 88.05KN$$

- Calcul de  $Fw$  :

La force résultante  $Fw$  agissant sur une construction, égale à la sommation vectorielle des forces  $Fw, e$  ;  $Fw, i$  et  $Ffr$  respectivement données par :

- Forces extérieures :  $Fw, e = Cd \times \sum We \times Aréf$
- Forces intérieures :  $Fw, i = \sum Wi \times Aréf$
- Force de frottement :  $Ffr = Cfr \times qp(ze) \times Afr$

| Forces                        | Composantes horizontales<br>[KN] | Composantes verticales<br>[KN] |
|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Forces extérieure ( $Fw, e$ ) | 61.976                           | -1000.368                      |
| Forces intérieure ( $Fw, i$ ) | 37.004                           | 235.437                        |
| Force de frottement ( $Ffr$ ) | 88.05                            | 0                              |
| La force résultante ( $Fw$ )  | 187.03                           | -764.931                       |

**Tableau II.25 : les résultants de calcul de la force aérodynamique résultante  $Fw$ , cas la direction de vent sur le pignon (sens V2).**

## II.2.Action neige :

### II.2.1.But :

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

### II.2.2.Domaine d'application :

Le présent règlement s'applique à l'ensemble des constructions en Algérie situées à une altitude inférieure ou égale à 2000m (Selon RNVA 2013 partie I, Article 2.2).

### II.2.3.La charge de la neige sur le sol ( $Sk$ ) :

La charge caractéristique de neige sur le sol  $SK$  par unité de surface est fonction de la localisation géographique et de l'altitude du lieu considéré.

Dans notre cas :

- Le projet est implanté dans la wilaya de Djelfa qui est classé en zone c selon la classification de RNVA2013. - L'altitude du projet est d'environ 1150m.

-SK est donnée par le tableau suivant :

| Zone      | A                        | B                        | C                          | D                      |
|-----------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|
| <b>SK</b> | $\frac{0.07H + 15}{100}$ | $\frac{0.04H + 10}{100}$ | $\frac{0.0325H + 10}{100}$ | Pas de charge de neige |

**Tableau II.26 : charge de la neige sur le sol dans chaque zone.**

Djelfa appartient à la zone C donc :

$$Sk = \frac{0.0325H + 10}{100} [KN/m^2]$$

Avec :

H : altitude du site par rapport au niveau de la mer : H = 1150m

$$SK = \frac{(0.0325 \times 1150) + 10}{100} = 0.473KN/m^2$$

**II.2.4.Coefficient de forme de la toiture :**

La structure est de toitures à versant multiples symétriques

Les coefficients résume dans le tableau suivant..... (Tableau 3 §6.2.3 RNVA2013)

| $\alpha$                              | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$                         |
|---------------------------------------|---|
| <b>Coefficient <math>\mu_1</math></b> | <b>0.8</b>  |
| <b>Coefficient <math>\mu_2</math></b> | <b><math>0.8 + 0.8\left(\frac{\alpha}{30}\right)</math></b> |

**Tableau II.27 : coefficient de forme-toiture à versant multiple.**

On a :

$$\alpha = 9.922^\circ \rightarrow 0^\circ \leq 9.922^\circ \leq 30^\circ$$

Donc

$$\begin{cases} \mu_1 = 0.8 \\ \mu_2 = 0.8 + 0.8\left(\frac{9.922}{30}\right) = 1.064 \end{cases}$$

**II.2.5 .Calcul des charges de la neige sur la toiture :**

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

$$S = \mu.SK \quad [KN/m^2]$$

$$\begin{cases} S_1 = \mu_1 \times Sk \\ S_2 = \mu_2 \times Sk \end{cases}$$

D'où :

$$\begin{cases} S_1 = 0.8 \times 0.473 = 0.378KN/m^2 \\ S_2 = 1.064 \times 0.473 = 0.503KN/m^2 \end{cases}$$

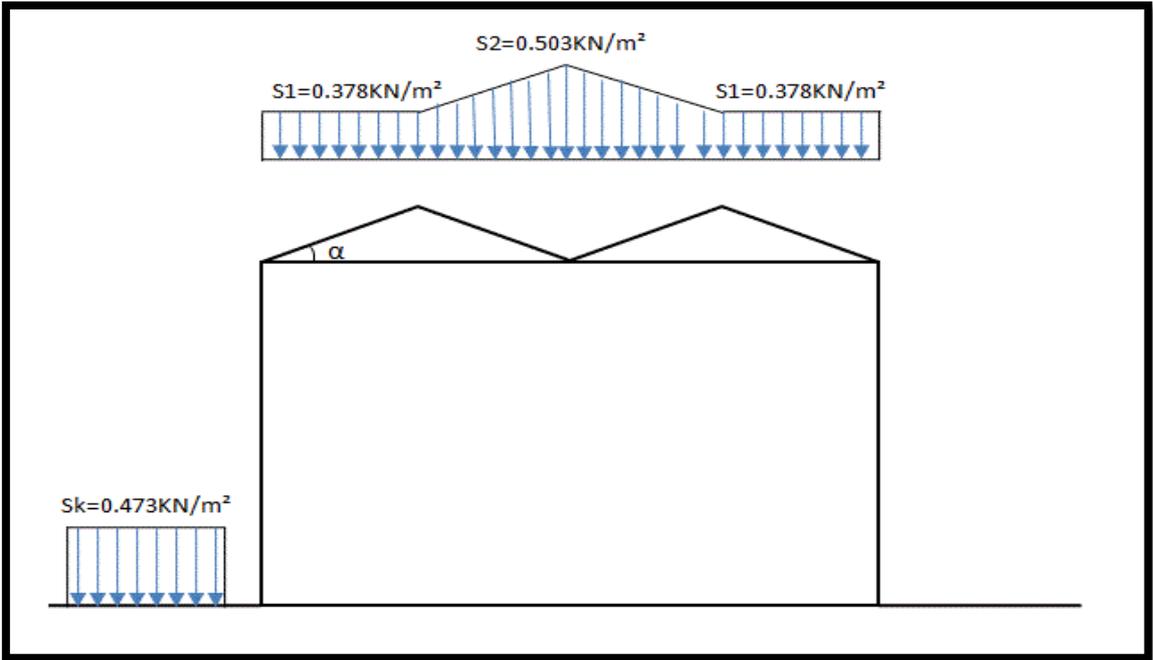


Figure II.16 : représentation des charges statique de neige sur la toiture et sur le sol.

**CHAPITRE III**

**PRE-**

**DIMENSIONNEMENT**

**DES ELEMENTS**

### III.1.Introduction :

Les éléments secondaires d'une halle sont les éléments de construction constituant essentiellement l'enveloppe, c'est-à-dire la toiture et les façades.

Ils sont importants que les éléments primaires et doivent être pris en considération dès le début de la conception globale. Nous traitons dans ce chapitre, la vérification des profils qui doivent résister aux différents sollicitations auxquelles ils sont soumis, la vérification consiste à choisir des profilés puis effectuer une vérification nécessaire de leur résistance et leur stabilité.

### III.2.Calcul des pannes :

Les pannes qui ont pour fonction de supporter la couverture sont disposées parallèlement à la ligne de faitage, dans le plan des versants.

Disposées à entraxes constants, elles sont jumelées en faitage (pannes faitières) et peuvent être renforcé en rives pour reprendre des efforts horizontaux dues au vent (panne sabliers) leur portée correspond à l'entraxe des fermes (travées) et leurs entraxe est déterminée par la portée admissible des bacs couvertures.

#### III.2.1.Détermination des sollicitations :

Les pannes sont soumises à des charges verticales (poids propre des pannes, du complexe de couverture neige et charge accrochées éventuellement).

Dans notre structure nous utiliserons des formé à chaud en (I).

-Longueur de versant :  $L=7.5\text{m}$

-nombre de pannes sur chaque versant : 6 pannes

On étudie la panne  $L=7.20\text{m}$ , incliné d'un angle  $\alpha = 9.922^\circ$  et dans l'entraxe « d » égale à 1.50m.

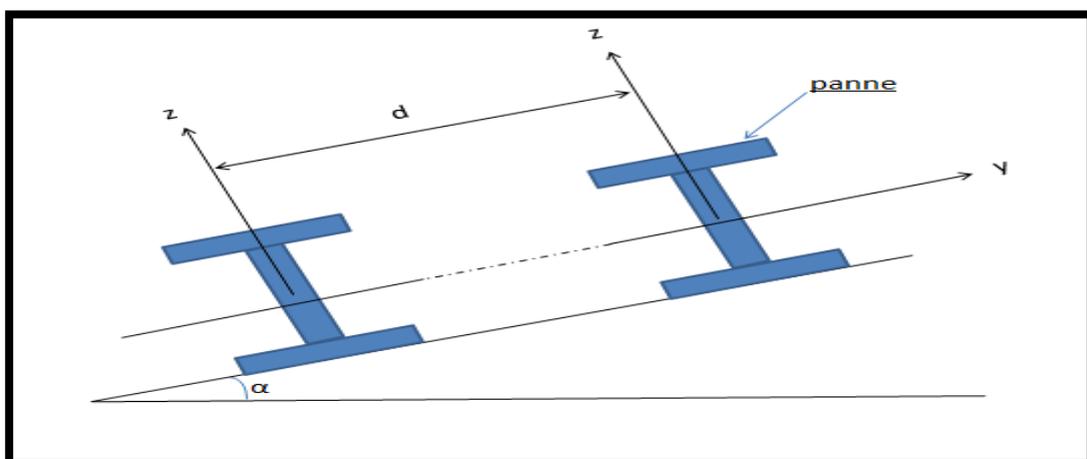


Figure III.1 : Dispositions des pannes sur la toiture avec l'entraxe.

**III.2.1.1. Evaluation des charges et surcharges :**

**a) Les charges permanentes (G) :**

- Poids propre de la couverture (panneaux. sandwichs).....13Kg/m<sup>2</sup>
- Poids propre d'accessoire d'attache.....1.5Kg/m<sup>2</sup>
- Poids propre de la panne (estimé) .....12.9Kg/ml.

$$G = (P \text{ couverture} + P \text{ accessoire}) \times d + P \text{ panne}$$

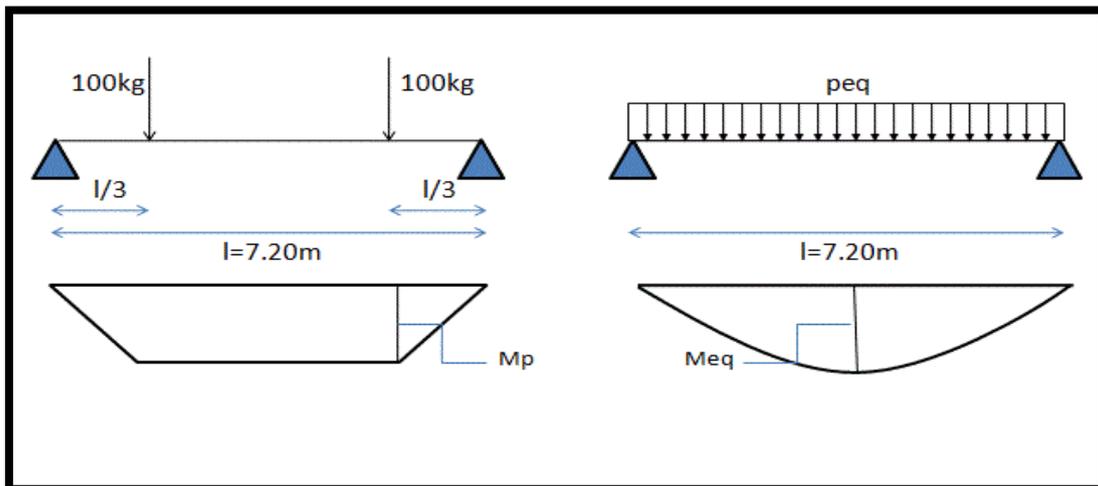
d: espacement entre les pannes (d= 1.5m)

$$G = (13 + 1.5) \times 1.5 + (12.9) = 34.45 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.344 \text{ KN/ml.}$$

**b) Surcharges d'entretien (P) :**

Dans le cas des toitures inaccessible on considéré uniquement dans le calcul une charge d'entretien qui est égale au poids d'un ouvrier et de son assistant et qui est équivalente à Deux charges concentrées de 100Kg chacune située à (1/3) et (2/3) de la portée de la panne. Afin de vérifier la flèche sous les charges (charges permanentes) et les surcharges (charges d'exploitations), on cherche la charge uniformément répartie équivalente (Peq) qui nous donne le même moment trouvé par les deux charges concentrées. La charge uniformément répartie (Peq) due à la surcharge d'entretien est obtenue en égalisant le moment maximal au moment maximal du aux charges ponctuelles (P).



**Figure III.2 : Schéma statique des surcharges d'entretien sur les pannes.**

$$M_{max} = \frac{p'l}{3} = \frac{pl^2}{8} \implies p = \frac{8 \times p'}{3 \times l} = \frac{8 \times 100}{3 \times 7.2} = 37.03 \text{ kg/ml}$$

$$Peq = 0.370 \text{ KN/ml.}$$

**c) Surcharges climatiques :**

- Surcharge du vent :

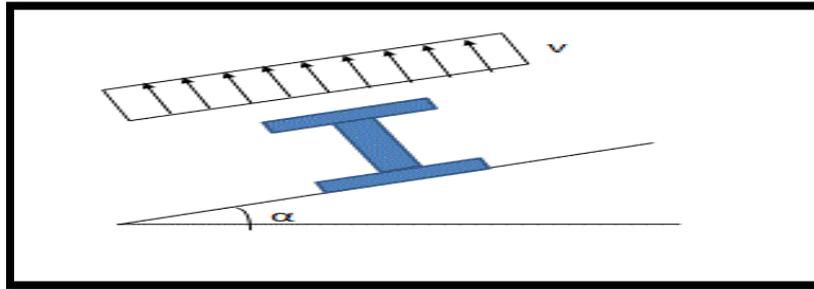


Figure III.3 : Charge du vent sur les pannes.

La sollicitation extrême est dans le cas du vent sur le pignon

avec :  $W = -1721.375 \text{ N/m}^2 \rightarrow W = -1.721 \text{ KN/m}^2$

La charge linéaire du vent est égal à :

$$W = -1.721 \times 1.5 = -2.581 \text{ KN/ml} \rightarrow W = -2.581 \text{ KN/ml}$$

- Surcharge de la neige :

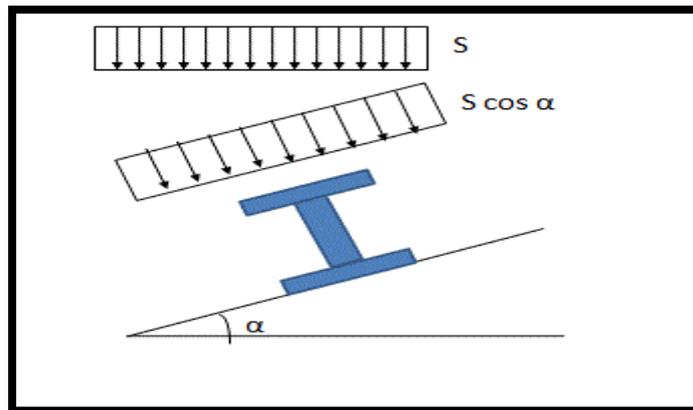


Figure III.4 : Charge de la neige sur les pannes.

S : charge de la neige.

Sur la toiture :  $S1 = 0.378 \text{ KN/m}^2$

$$S2 = 0.503 \text{ KN/m}^2$$

La charge linéaire de la neige sur la toiture est égal à :

$$S1 = 0.378 \times 1.5 \Rightarrow S1 = 0.567 \text{ KN/ml}$$

$$S2 = 0.503 \times 1.5 \Rightarrow S2 = 0.754 \text{ KN/ml}$$

On prend le max  $S = 0.754 \text{ KN/ml}$

III.2.1.2. Les charges et surcharges appliquées :

| G [KN/ml] | Q [KN/ml] | W [KN/ml] | S [KN/ml] |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0.344     | 0.370     | -2.581    | 0.754     |

Tableau III.1 : Les charges et surcharges appliquées.

Décomposition des charges :

→ Suivant l'axe Z-Z :

$$GZ = G \cos \alpha = 0.338 \text{ KN/ml.}$$

$$Qz = Q \cos \alpha = 0.364 \text{ KN/ml.}$$

$$Wz = -2.581 \text{ KN/ml.}$$

$$Sz = S \cos \alpha = 0.742 \text{ KN/ml.}$$

→ Suivant l'axe Y-Y :

$$GY = G \sin \alpha = 0.059 \text{ KN/ml.}$$

$$QY = Q \sin \alpha = 0.063 \text{ KN/ml.}$$

$$SY = S \sin \alpha = 0.129 \text{ KN/ml.}$$

**III.2.1.3. Les combinaisons d'actions :**

**a) A l'état limite ultime (ELU) :**

1) Le vent :

$$q_{uz} = (1 \times Gz) + 1.5Wz = 0.338 + 1.5 \times (-2.581) = -3.533 \text{ KN/ml.}$$

$$q_{uy} = 1.35Gy = 1.35 \times 0.059 = 0.079 \text{ KN/ml.}$$

2) La neige

$$q_{uz} = 1.35 Gz + 1.5 Sz = 1.35 \times 0.338 + 1.5 \times 0.742 = 1.569 \text{ KN/ml.}$$

$$q_{uy} = 1.35 Gy + 1.5 Sy = 1.35 \times 0.059 + 1.5 \times 0.129 = 0.273 \text{ KN/ml.}$$

3) La surcharge d'entretien :

$$q_{uz} = 1.35 Gz + 1.5 Qz = 1.35 \times 0.338 + 1.5 \times 0.364 = 1.00 \text{ KN/ml.}$$

$$q_{uy} = 1.35 Gy + 1.5 Qy = 1.35 \times 0.059 + 1.5 \times 0.063 = 0.174 \text{ KN/ml.}$$

**Donc** Selon les deux axes y et z, les charges maximales à l'ELU revenant à la panne la plus sollicitée :

$$q_{uz} = -3.533 \text{ KN/ml}$$

$$q_{uy} = 0.273 \text{ KN/ml.}$$

**b) A l'état limite service (ELS) :**

On considérera dans ce cas juste les combinaisons les plus défavorables :

$$q_{sz} = Gz + Wz = 0.338 - 2.581 = -2.243 \text{ KN/ml}$$

$$q_{sy} = Gy + Sy = 0.059 + 0.129 = 0.188 \text{ KN/ml}$$

**Donc** Selon les deux axes y et z, les charges maximales à l'ELS revenant à la panne la plus sollicitée :

$$q_{sz} = -2.243 \text{ KN/ml}$$

$$q_{sy} = 0.188 \text{ KN/ml}$$

### III.2.2.Principe de prédimensionnement :

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

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

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

#### ➤ Vérification à l'ELS :

La flèche à l'état limite de service se fait avec les charges et surcharges de service (non pondérée) :  $f \leq f_{adm}$ .

Pour une poutre sur deux appuis uniformément chargée (axe Z-Z) :

$$f \leq \frac{l}{200} \text{ avec } f_z = \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times I_y}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{720}{200} = 3.6 \text{ cm}$$

$$\rightarrow I_y \geq \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times 3.6} \rightarrow I_y \geq \frac{5 \times 2.243 \times 10^{-2} \times 720^4}{384 \times 21000 \times 3.6} \rightarrow I_y \geq 1038.188 \text{ cm}^4$$

Ce qui correspondant à un **IPE180** avec  $I_y = 1317 \text{ cm}^4$  ;  $I_z = 101 \text{ cm}^4$  et leur poids propre  $P = 18.8 \text{ Kg/m}$ .

On recalcul la condition de la flèche avec poids réel :

Le poids propre réel G devient :

$$G = (13 + 1.5) \times 1.5 + (18.8) = 40.55 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.405 \text{ KN/ml.}$$

$$G_z = 0.405 \times \cos\alpha = 0.398 \text{ KN/ml}$$

$$G_y = 0.405 \times \sin\alpha = 0.069 \text{ KN/ml}$$

La combinaison les plus défavorables devinent :

#### A L'ELU:

$$\begin{cases} q_{uz} = (1 \times G_z) + 1.5W_z = 0.398 + 1.5 \times (-2.581) = -3.478 \text{ KN/ml.} \\ q_{uz} = (-3.478) \times 1.25 = -4.347 \text{ KN/m}^2. \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{uy} = 1.35 G_y + 1.5 S_y = 1.35 \times 0.069 + 1.5 \times 0.129 = 0.286 \text{ KN/ml.} \\ q_{uy} = (0.286) \times 1.25 = 0.357 \text{ KN/m}^2 \end{cases}$$

#### A L'ELS:

$$\begin{cases} q_{sz} = G_z + W_z = 0.398 - 2.581 = -2.183 \text{ KN/ml} \\ q_{sz} = (-2.183) \times 1.25 = -2.720 \text{ KN/m}^2. \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{sy} = G_y + S_y = 0.069 + 0.129 = 0.190 \text{ KN/ml} \\ q_{sy} = (0.190) \times 1.25 = 0.237 \text{ KN/m}^2 \end{cases}$$

**III.2.3. Dimensionnement des pannes :**

**III.2.3.1. Condition de la flèche :**

a) **Vérification de la flèche suivant l'axe Z-Z :**

$$f \leq f_{adm} = \frac{l}{200} \text{ avec } f_z = \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times I_y}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{720}{200} = 3.6cm$$

$$f_z = \frac{5 \times 2.720 \times 10^{-2} \times 720^4}{384 \times 21000 \times 1317} = 3.4cm < f_{adm} = 3.6cm$$

Donc la flèche est vérifiée selon l'axe Z-Z

b) **Vérification de la flèche suivant l'axe Y-Y :**

$$f \leq f_{adm} = \frac{l}{200} \text{ avec } f_y = \frac{5 \times q_{sy} \times l^4}{384 \times E \times I_z}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{360}{200} = 1.8cm \dots \text{ en tenant compte des liernes}$$

$$f_y = \frac{5 \times 0.237 \times 10^{-2} \times 360^4}{384 \times 21000 \times 101} = 0.244cm < f_{adm} = 1.8cm$$

Donc la flèche est vérifiée selon l'axe Y-Y → alors on adopte un IPE180.

**III.2.3.2. Condition de L'ELU :**

a) **Vérification à la flexion déviée :**

Détermination de la classe de profile :

• **Ame :**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{146}{5.3} = 27.54 < 72\varepsilon = 72 \rightarrow \text{Ame de classe 1}$$

$$\text{Et : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \Rightarrow \varepsilon = 1$$

• **Semelle :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{91/2}{8} = 5.687 < 10\varepsilon = 10 \rightarrow \text{semelle de classe 1}$$

Alors la section est de classe 1

Tant que la section est de classe 1 les calculs seront effectués en plasticité.

S'agissant de flexion déviée (biaxial) il faut vérifier que :

$$\left[ \frac{M_y}{M_{pl,y}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_z}{M_{pl,z}} \right]^\beta \leq 1 \dots \dots \dots [l' Eurocode 3 - 5.4.8.11(11)]$$

Où  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes

$$\text{Section en I} \rightarrow \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n \geq 1 \end{cases} \quad (l'effort normal N = 0 \rightarrow \frac{N}{N_{pl}} = 0 \rightarrow \beta = 1)$$

$$\text{Et : } Msd = \frac{q \times l^2}{8} \rightarrow \begin{cases} Mz.sd = \frac{q_{uy} \times l^2}{8} = \frac{0.357 \times (7.2/2)^2}{8} = 0.578 \text{KN.m} \\ My.sd = \frac{q_{uz} \times l^2}{8} = \frac{4.347 \times 7.2^2}{8} = 28.160 \text{KN.m} \end{cases}$$

$$\text{Et : } Mpl = \frac{Wpl \times fy}{\gamma m_0} \rightarrow \begin{cases} Mpl,z,rd = \frac{Wplz \times fy}{\gamma m_0} = \frac{34.6 \times 23.5 \times 10^{-2}}{1} = 8.131 \text{KN.m} \\ Mpl,y,rd = \frac{Wply \times fy}{\gamma m_0} = \frac{166 \times 23.5 \times 10^{-2}}{1} = 39.010 \text{KN.m} \end{cases}$$

Et la condition sera :

$$\left[ \frac{My}{Mpl.y} \right]^\alpha + \left[ \frac{Mz}{Mpl.z} \right]^\beta \leq 1 \rightarrow \left[ \frac{28.160}{39.010} \right]^2 + \left[ \frac{0.578}{8.131} \right]^1 = 0.521 + 0.071 = 0.592; 0.592 \leq 1$$

→ Donc la flexion déviée est vérifiée.

#### b) Vérification au cisaillement :

$$Vz, sd \leq Vpl,z,rd \text{ et } Vy, sd \leq Vpl,y,rd$$

$$Vz, sd = \frac{q_{uz} \times l}{2} = \frac{4.347 \times 7.2}{2} = 15.649 \text{KN}$$

$$Vpl,z,rd = \frac{Avz \times fy}{\sqrt{3} \times \gamma m_0}$$

$$Avz = A - 2btf + (tw + 2r)tf \rightarrow Avz = 23.9 - (2 \times 9.1 \times 0.8) + (0.53 + 1.8) \times 0.8$$

$$Avz = 10.804 \text{cm}^2$$

$$Vpl,z,rd = \frac{10.804 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 146.585 \text{KN}$$

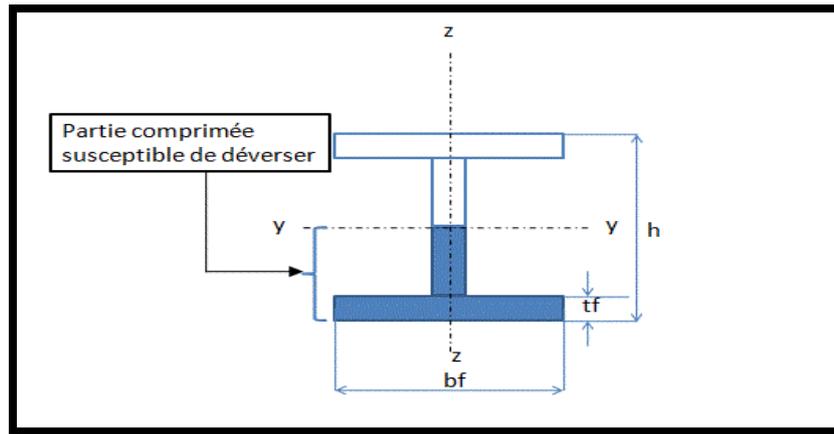
Donc  $Vz, sd < Vpl,z,rd$  ..... Donc la résistance des pannes au cisaillement est vérifiée.

#### c) Vérification au déversement :

Déversement = flambement latéral + rotation de la section transversale.

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

On rappelle la combinaison de charge défavorable pour le risque de déversement. Il s'agit de la première combinaison dans laquelle le vent agit seul et risque de faire déverser la panne (fléchie vers le haut) et en comprimant la semelle inférieure au niveau de la mi-travée (voir la figure III.5)



**Figure III.5 :Représentation de phénomène de déversement dans la semelle inférieure.**

La formule de vérification est la suivante :

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

- Calcul du moment ultime :

$$M_{y, sd} = \frac{q_{uz} \times l^2}{8} = \frac{4.347 \times 3.6^2}{8} = 28.10 \text{ KN.m}$$

- Calcul du moment résistant au déversement :

$$M_{b, rd} = X_{LT} \cdot \beta_w \cdot \frac{W_{pl, y} \times f_y}{\gamma_{m1}}$$

Avec :

$$\beta_w = 1 \rightarrow \text{Section de classe 1}$$

$X_{LT}$  : coefficient de réduction en fonction de  $\bar{\lambda}_{LT}$ .

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

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

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 E I_z}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 \cdot Z_g) \right\} \text{EC3 Art F. 1. 2(1)}$$

$$G = 0.4E ; I_t = 4.79 \text{ cm}^4 ; I_w = 7430 \text{ cm}^6 . I_z = 101 \text{ cm}^4 \quad (\text{IPE180}).$$

$G$  : Module d'élasticité transversale

$E = 210000 \text{ MPA}$  : module d'élasticité longitudinal

$I_t$  : Moment d'inertie de torsion

$I_w$  : Moment d'inertie de gauchissement

$I_z$  : Moment d'inertie de flexion suivant l'axe de faible inertie

$K$  et  $K_w$  : Les facteurs de longueur effective avec :

$K = 1$  Appui simple (**tableau F.1.2 EC03**)

$K_w = 1$

$C1, C2, C3$  : Facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement ( $K = 1$ ).

$C1 = 1.132$        $C2 = 0.459$        $C3 = 0.525$       (**tableau F. 1. 2 EC03**)

$L$  = longueur de maintien latéral =  $360\text{cm}$ .

$Z_g = Z_a - Z_s$

$Z_g$ : est la distance du point d'application de la charge au centre de torsion de la section ( $Z_g$  est positif si la charge agit vers le centre de torsion et négatif dans le cas contraire).

$Z_a$ : Coordonnée du point d'application de la charge

$Z_s$ : Coordonnée du centre de cisaillement

$Z_a = -9\text{cm}$

$Z_s = 0$

$Z_j = 0$

$Z_g = Z_a - Z_s = -9\text{cm}$ .

$$M_{cr} = \frac{1.132 \times 3.14^2 \times 21000 \times 101}{(1 \times 360)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{(360)^2 \cdot 0.4 \times 4.79}{3.14^2 \times 101} + (0.459 \times 9)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.459 \times (-9)) \right\}$$

$$M_{cr} = 182.659 \times \left[ (73.564 + 249.359 + 17.065)^{\frac{1}{2}} + 4.131 \right]$$

$$M_{cr} = 41.22\text{KN.m}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{39.010}{41.22}} = 0.97 \rightarrow \bar{\lambda} = 0.97 > 0.4 \text{ Donc il y'a risque de déversement.}$$

Donc :

-  $\alpha = 0,21$  Profilé laminé

-  $\bar{\lambda} = 0.97 \rightarrow XLT = 0.7339 \rightarrow$  **A partir de tableau 5.5.2 p(5 – 72)EC3**

$$M_{b,rd} = 0.7339 \times 1 \times \frac{166 \times 23.5}{1} = 28.63\text{KN.m}$$

$$M_{b,rd} = 28.63\text{KN.m}$$

**Donc  $M_{y,sd} < M_{b,rd}$  Condition vérifié**

La stabilité au déversement des pannes est vérifiée avec IPE 180 en tenant des liernes à mi-travée

### III.3.Calcul des liernes :

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

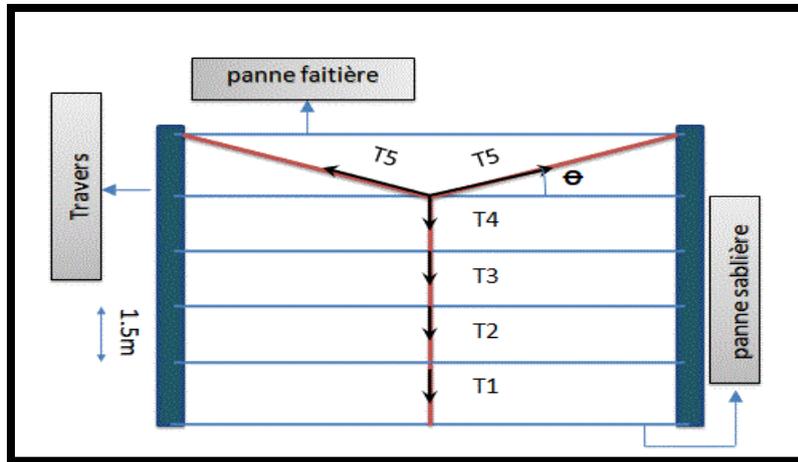


Figure III.6 : disposition des liernes.

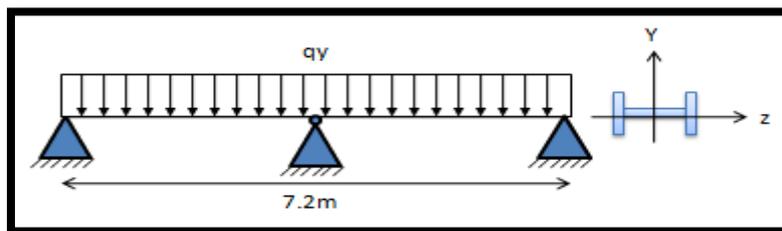


Figure III.7 : Schème statique de la panne avec lierne.

#### III.3.1.Evaluation des charges :

→ Pour notre cas la combinaison de la surcharge de la neige avec le poids propre de la panne elle est plus défavorable que la charge d'entretien avec la panne.

La combinaison les plus défavorables devinent :

A L'ELU :

$$G = (13 + 1.5) \times 1.5 + (18.8) = 40.55 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.405 \text{ KN/ml.}$$

$$G_y = 0.405 \times \sin \alpha = 0.069 \text{ KN/ml}$$

$$q_{uy} = 1.35 G_y + 1.5 S_y = 1.35 \times 0.069 + 1.5 \times 0.129 = 0.286 \text{ KN/ml.}$$

$$q_{uy} = 0.286 \text{ KN/ml.}$$

#### III.3.2.Dimensionnement des liernes sous l'effort de la traction :

Calcul de l'effort de traction sollicité chaque liernes :

Avec R la réaction d'une seule lierne :

$$R = 1.25 \cdot q_{uy} \cdot \frac{l}{2} = 1.25 \times 0.286 \times \frac{7.2}{2} = 1.287 \text{KN}$$

Tn : la somme des réactions à mi- travée :

$$Tn = (2n - 1) \times \frac{R}{2}$$

n : est nombre de lierne

Calcul la réaction dans la lierne L4

$$T4 = (2 \times 4 - 1) \times \frac{1.287}{2} = 4.504 \text{KN}$$

L'effort max dans les bretelles :

$$2 \cdot T5 \cdot \sin \theta = T4 = 4.504 \text{KN}$$

$$\text{Avec : } \theta = \arctg = \left( \frac{1.5}{3.6} \right) = 22.61^\circ$$

$$T5 = \frac{4.504}{2 \times \sin 22.61} = 5.858 \text{KN}$$

### III.3.3. Calcul de la section de lierne :

Le tronçon le plus sollicité est L5 :

$$A = \frac{T_{max}}{f_y} = \frac{5.858}{23.5} = 24.92 \text{mm}^2$$

$$Et : \phi = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 5.634 \text{mm}$$

Donc on adopte des ronds avec  $\phi = 10 \text{mm}$

### III.4. Calcul de l'échantignole :

L'échantignole est un dispositif de fixation Permettent d'attacher les pannes aux fermes ou aux traverses des portiques.

Le principal effort de résistance de l'échantignole est le moment de déversement dû au chargement (surtout sous l'action de soulèvement du vent).

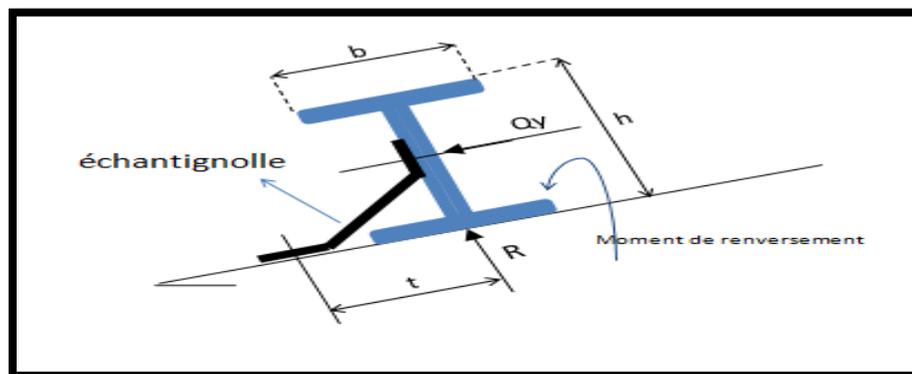


Figure III.8 : échantignole.

L'excentrement  $t$  est limité par la condition suivante :

$$2 \times \left(\frac{b}{2}\right) \leq t \leq 3 \times \left(\frac{b}{2}\right)$$

Pour un IPE180 :

$b = 9.1\text{cm}$  ;  $h = 18\text{cm}$  ;

$10\text{cm} \leq t \leq 15\text{cm}$ , On adopte  $t = 10\text{cm}$

la combinaison des charges :

$$\begin{cases} q_{uz} = (1 \times G_z) + 1.5W_z = 0.398 + 1.5 \times (-2.581) = -3.478 \text{ KN/ml.} \\ q_{uz} = (-3.478) \times 1.25 = -4.347 \text{ KN/m}^2. \\ q_{uy} = 1.35 G_y + 1.5 S_y = 1.35 \times 0.069 + 1.5 \times 0.129 = 0.286 \text{ KN/ml.} \\ q_{uy} = (0.286) \times 1.25 = 0.357 \text{ KN/m}^2 \end{cases}$$

#### III.4.1. Calcul de réaction :

L'effort  $R$  revenant à l'échantignole n'est rien que la réaction d'appui des pannes. On prendra l'effort maximal correspondant à l'échantignole intermédiaire (et non l'échantignole de rive).

$$R = q_{uz} \times l \rightarrow R = 4.347 \times 7.2 = 31.298 \text{ KN}$$

#### III.4.2. Calcul du moment de renversement :

L'effort  $R$  risque de provoquer le pliage de l'échantignole. Pour prévenir ce risque, il faut vérifier que le moment de renversement  $M_r$  ne dépasse pas le moment de pliage  $M_{\text{pliage}}$ .

$$M_r \leq M_{\text{pliage}}$$

$$M_r = (R \times t) + q_{uy} \times \left(\frac{h}{2}\right) = (31.298 \times 10) + (0.357 \times 10) = 316.55 \text{ KN.cm}$$

$$\rightarrow M_r = 316.55 \text{ KN.cm}$$

$M_{\text{pliage}}$  : est le moment résistant au pliage de l'échantignole. Généralement les échantignoles sont des éléments formés à froid. La classe de la section est au moins de classe 3. Avec le calcul élastique on aura :

$$M_{\text{pliage}} = \frac{W_{el,y} \times f_y}{\gamma_{m0}} \geq M_r;$$

$$W_{el,y} \geq \frac{M_r \times \gamma_{m0}}{f_y} = \frac{316.55 \times 1}{23.5} = 13.47 \text{ cm}^3$$

#### III.4.3. Epaisseur de l'échantignole :

→ La largeur de l'échantignole «  $b$  » est calculée après avoir dimensionné la traverse.

On prend  $b = 17\text{cm}$ .

$$w_{el,y} = \left( \frac{17 \times e^3}{6} \right) \rightarrow e = \sqrt{\frac{w_{el,y} \times 6}{17}} = \sqrt{\frac{13.47 \times 6}{17}} = 2.180 \text{ cm}$$

$e = 21 \text{ mm} \rightarrow$  On adopte  $e=16 \text{ mm}$  et mettre un raidisseur pour renforcer et facilité le pliage .

### III.5. Lisses de bardages :

Les lisses de bardages sont constituées de poutrelles (IPE,UAP) ou de profils minces pliés. Etant disposées horizontalement, elles sont portées soit par les poteaux de portiques, soit par les potelets intermédiaires. L'entre axe des lisse est déterminé par la portée admissible des bacs de bardage.

#### III.5.1.Mode de fonctionnement :

Les lisses, ont pour rôle de reprendre les efforts du vent exercés sur le bardage. Elles sont posées (ou orientées) dans le sens d'une plus grande inertie (maximale) dans le plans horizontal. Autrement dit ; l'âme doit être placée horizontalement. Par ailleurs, la lisse doit reprendre son poids propre et le poids du bardage qu'elle supporte. De ce fait, elle fléchit verticalement sous l'effet de ces actions permanentes par rapport à son axe faible inertie. En présence simultanée du vent et de ces actions permanentes, elle fonctionne à la flexion bi-axiale ou déviée. Pour les lisses de bardage, dans la quasi-totalité des cas, ce sont les conditions, de limitation de flèches (calculs à l'ELS) qui sont les plus défavorables (ou bien qui dimensionnent) .

#### III.5.2.dimensionnement des lisses de long pan :

##### ➤ Données de calcul :

- Chaque lisse repose sur 2appuis.(un poteau et un potelet)
- Le porté entre axe des lisses  $e=1.4 \text{ m}$  (espace entre 2 lisses).
- On dispose de 5 lignes de lisses sur chaque paroi.
- Les pannes sont en acier S235.

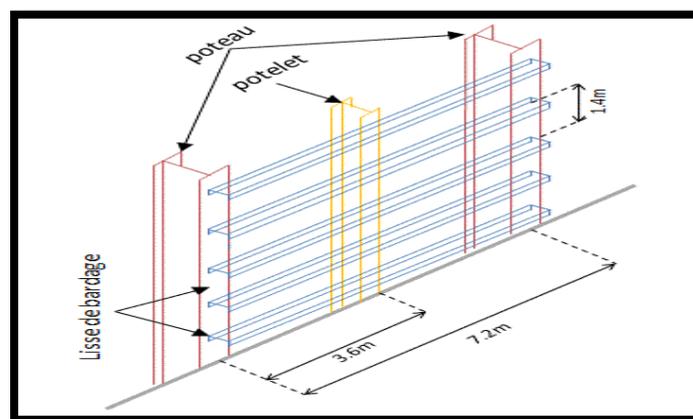


Figure III.9 : disposition des lisses sur le travée de long pan.

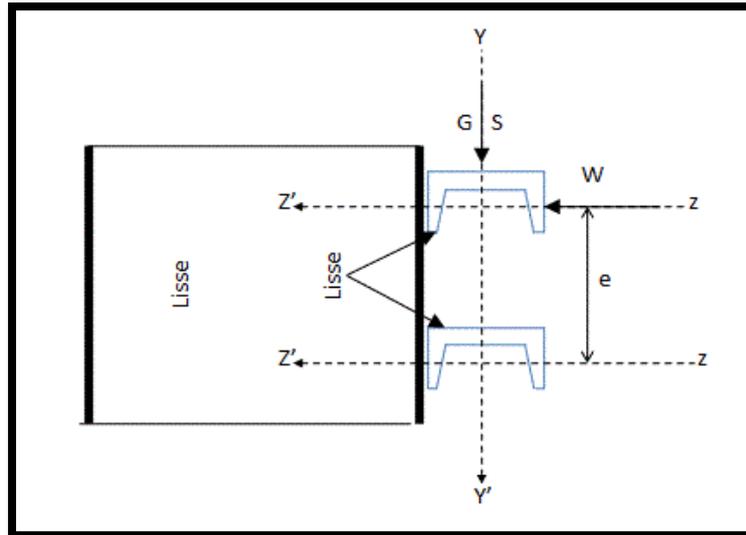


Figure III.10 : disposition des lisses.

### III.5.2.1. Evaluation des charges :

a) Charges permanentes :

Poids propre de bardage (panneaux sandwichs).....13Kg/m<sup>2</sup>.

Poids propre d'accessoire d'attache.....3Kg/m<sup>2</sup>.

Poids propre de l'UPE (estimé).....9.82Kg/ml.

$$G = (P \text{ couverture} + P \text{ accessoire}) \times e + P \text{ lisse}$$

$$G = (13 + 3) \times 1.4 + (9.82) = 32.22 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.322 \text{ KN/ml}$$

b) Charge due au vent maximale sur les parois verticales W :

$$W = -779.7 \text{ N/m}^2$$

$$W = -0.779 \times 1.4 = -1.090 \text{ KN/ml.}$$

Les lisses de long pan sont appuyées sur un poteau et un potelet de portée de  $l=3.6\text{m}$ , soumises à la flexion bi axiale.

- L'état limite ultime (ELU) :

$$\text{Sur l'axe } z - z : q_{uz} = 1.5 \times 1.090 = 1.635 \text{ KN/ml.}$$

$$\text{Sur l'axe } y - y : q_{uy} = 1.35 \times 0.322 = 0.434 \text{ KN/ml.}$$

- L'état limite service (ELS) :

$$\text{Sur l'axe } z - z : q_{sz} = 1.090 \text{ KN/ml}$$

$$\text{Sur l'axe } y - y : q_{sy} = 0.322 \text{ KN/ml}$$

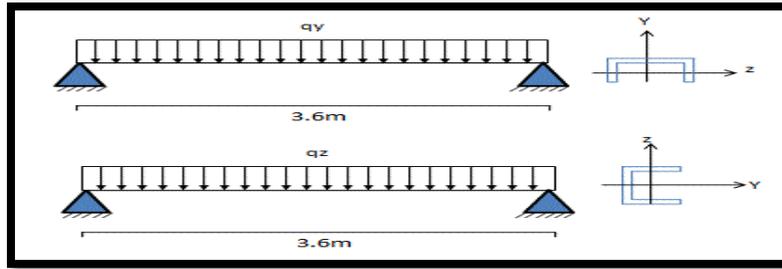


Figure III.11 : la répartition des charges sur les lisses de long pan.

### III.5.2.2. Condition de la flèche :

La vérification à l'état limite de service se fait avec les charges et surcharges de service (non pondérée) :  $f \leq f_{adm}$ .

Pour une poutre sur deux appuis uniformément chargée (axe Z-Z) :

$$f \leq \frac{l}{200} \text{ avec } f_z = \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times I_y}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{360}{200} = 1.8 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow I_y \geq \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times 1.8} \Rightarrow I_y \geq \frac{5 \times 1.090 \times 10^{-2} \times 360^4}{384 \times 21000 \times 1.8} \Rightarrow I_y \geq 63.064 \text{ cm}^4$$

Ce qui correspond à un **UPE80** avec  $I_y = 107 \text{ cm}^4$  ;  $I_z = 25.5 \text{ cm}^4$  et leur poids propre  $P = 7.90 \text{ Kg/m}$ .

### On recalcule la condition de la flèche avec poids réel :

Le poids propre réel G devient :

$$G = (13 + 3) \times 1.4 + (7.90) = 30.3 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.303 \text{ KN/ml.}$$

La combinaison les plus défavorables devinent :

- L'état limite ultime (ELU) :

$$\text{Sur l'axe } z - z : q_{uz} = 1.5 \times 1.090 = 1.635 \text{ KN/ml.}$$

$$\text{Sur l'axe } y - y : q_{uy} = 1.35 \times 0.303 = 0.409 \text{ KN/ml.}$$

- L'état limite service (ELS) :

$$\text{Sur l'axe } z - z : q_{sz} = 1.090 \text{ KN/ml}$$

$$\text{Sur l'axe } y - y : q_{sy} = 0.303 \text{ KN/ml}$$

a) Vérification de la flèche suivant l'axe Z-Z :

$$f \leq f_{adm} = \frac{l}{200} \text{ avec } f_z = \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times I_y}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{360}{200} = 1.8 \text{ cm}$$

$$f_z = \frac{5 \times 1.090 \times 10^{-2} \times 360^4}{384 \times 21000 \times 107} = 1.060 \text{ cm} < f_{adm} = 1.8 \text{ cm}$$

Donc la flèche est vérifiée selon l'axe Z-Z

b) Vérification de la flèche suivant l'axe Y-Y :

$$f \leq f_{adm} = \frac{l}{200} \text{ avec } f_y = \frac{5 \times qsy \times l^4}{384 \times E \times I_z}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{360}{200} = 1.8cm$$

$$f_y = \frac{5 \times 0.303 \times 10^{-2} \times 360^4}{384 \times 21000 \times 25.5} = 1.237cm < f_{adm} = 1.8cm$$

Donc la flèche est vérifiée selon l'axe Y-Y

alors on adopte un UPE 80.

| G       | h    | b  | t <sub>w</sub> | t <sub>f</sub> | r   | A                                   | I <sub>y</sub>  | d  | Ø  | e <sub>min</sub> | e <sub>max</sub> | A <sub>t</sub>    | A <sub>c</sub>    |
|---------|------|----|----------------|----------------|-----|-------------------------------------|-----------------|----|----|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| kg/m    | mm   | mm | mm             | mm             | mm  | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup> | mm |    | mm               | mm               | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /t |
| UPE 80* | 7,90 | 80 | 50             | 4,0            | 7,0 | 10                                  | 10,1            | 66 | 46 | -                | -                | 0,343             | 43,45             |

| G      | I <sub>y</sub>                      | W <sub>el,y</sub>                   | W <sub>ply</sub>                    | i <sub>y</sub> | A <sub>z</sub>                      | I <sub>z</sub>                      | W <sub>el,z</sub>                   | W <sub>pl,z</sub>                   | i <sub>z</sub> | S <sub>s</sub> | I <sub>t</sub>                      | I <sub>w</sub>                      | y <sub>s</sub> | y <sub>m</sub> | S <sub>235</sub> |   |
|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|------------------|---|
| kg/m   | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm<br>x10      | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm<br>x10      | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>6</sup><br>x10 <sup>9</sup> | mm<br>x10      | mm<br>x10      |                  |   |
| UPE 80 | 7,90                                | 107                                 | 26,8                                | 31,2           | 3,26                                | 4,05                                | 25,5                                | 8,0                                 | 14,3           | 1,59           | 16,9                                | 1,47                                | 0,22           | 1,82           | 3,71             | 1 |

Tableau III.2 : Caractéristiques de l'UPE 80.

III.5.2.3. Condition de la résistance (ELU) :

a) Vérification à la flexion déviée :

Détermination de la classe de profile :

- **Ame :**

$$\frac{d}{t_w} = \frac{46}{4} = 11.5 < 72\varepsilon = 72 \rightarrow \text{Ame de classe 1}$$

$$Et : \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \Rightarrow \varepsilon = 1$$

- **Semelle :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} = \frac{50/2}{7} = 3.571 < 10\varepsilon = 10 \rightarrow \text{semelle de classe 1}$$

Alors la section est de classe 1

Tant que la section est de classe 1 les calculs seront effectués en plasticité.

S'agissant de flexion déviée (biaxial) il faut vérifier que :

$$\left[ \frac{M_y}{M_{pl,y}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_z}{M_{pl,z}} \right]^\beta \leq 1 \dots \dots \dots [l' Eurocode 3 - 5.4.8.11(11)]$$

Où α et β sont des constantes

Section en I → 
$$\begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n \geq 1 \text{ (l'effort normal } N = 0 \rightarrow \frac{N}{N_{pl}} = 0 \rightarrow \beta = 1 \end{cases}$$

$$\text{Et : } Msd = \frac{q \times l^2}{8} \rightarrow \begin{cases} Mz.sd = \frac{quy \times l^2}{8} = \frac{0.303 \times 3.6^2}{8} = 0.490 \text{KN.m} \\ My.sd = \frac{quz \times l^2}{8} = \frac{1.635 \times 3.6^2}{8} = 2.684 \text{KN.m} \end{cases}$$

$$\text{Et : } Mpl = \frac{wpl \times fy}{\gamma m0} \rightarrow \begin{cases} Mpl,z,rd = \frac{wplz \times fy}{\gamma m0} = \frac{14.3 \times 23.5 \times 10^{-2}}{1} = 3.360 \text{KN.m} \\ Mpl,y,rd = \frac{wply \times fy}{\gamma m0} = \frac{31.2 \times 23.5 \times 10^{-2}}{1} = 7.332 \text{KN.m} \end{cases}$$

Et la condition sera :

$$\left[ \frac{My}{Mpl.y} \right]^\alpha + \left[ \frac{Mz}{Mpl.z} \right]^\beta \leq 1 \rightarrow \left[ \frac{2.684}{7.332} \right]^2 + \left[ \frac{0.490}{3.360} \right]^1 = 0.134 + 0.145 = 0.279; 0.279 \leq 1$$

→ Donc la flexion déviée est vérifiée.

#### b) Vérification au cisaillement :

$$Vz, sd \leq Vpl,z, rd \text{ et } Vy, sd \leq Vpl,y, rd$$

$$Vz, sd = \frac{quz \times l}{2} = \frac{1.635 \times 3.6}{2} = 2.943 \text{KN}$$

$$Vpl,z, rd = \frac{Avz \times fy}{\sqrt{3} \times \gamma m0} \rightarrow Vpl,z, rd = \frac{4.05 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 54.949 \text{KN}$$

Donc  $Vz, sd < Vpl,z, rd$

$$Vy, sd = \frac{quy \times l}{2} = \frac{0.409 \times 3.6}{2} = 0.736 \text{KN}$$

$$Avy = A - Avz \rightarrow Avy = 10.1 - 4.05 = 6.05 \text{cm}^2$$

$$Vpl,y, rd = \frac{Avy \times fy}{\sqrt{3} \times \gamma m0} \rightarrow Vpl,y, rd = \frac{6.05 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 82.084 \text{KN}$$

Donc  $Vy, sd < Vpl,y, rd$

On voit bien que la résistance du lisse au cisaillement est vérifiée.

#### c) Vérification au déversement :

$$My, sd \leq Mb, rd ;$$

- Calcul du moment ultime :

$$My, sd = \frac{quz \times l^2}{8} = \frac{1.635 \times 3.6^2}{8} = 2.648 \text{KN.m}$$

- Calcul du moment résistant au déversement :

$$Mb, rd = XLT. \beta w. \frac{wpl,y \times fy}{\gamma m1}$$

Avec :

$$\beta w = 1 \rightarrow \text{Section de classe 1}$$

$X_{lt}$  : coefficient de réduction en fonction de  $\bar{\lambda}LT$ .

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

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

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 EI_z}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot G I_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 \cdot Z_g) \right\} \text{EC3 Art F. 1. 2(1)}$$

$$G = 0.4E ; I_t = 1.47 \text{ cm}^4 ; I_w = 220 \text{ cm}^6 . I_z = 25.5 \text{ cm}^4 \quad (\text{UPE80}).$$

$G$  : Module d'élasticité transversale

$E = 210000 \text{ MPA}$  : module d'élasticité longitudinal

$I_t$  : Moment d'inertie de torsion

$I_w$  : Moment d'inertie de gauchissement

$I_z$  : Moment d'inertie de flexion suivant l'axe de faible inertie

$K$  et  $K_w$  : Les facteurs de longueur effective avec :

$K = 1$  Appui simple (**tableau F.1.2 EC03**)

$K_w = 1$

$C_1, C_2, C_3$  : Facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement ( $K = 1$ ).

$$C_1 = 1.132 \quad C_2 = 0.459 \quad C_3 = 0.525 \quad (\text{tableau F.1.2 EC03})$$

$L$  = longueur de maintien latéral =  $360 \text{ cm}$ .

$$Z_g = Z_a - Z_s$$

$Z_g$ : est la distance du point d'application de la charge au centre de torsion de la section ( $Z_g$  est positif si la charge agit vers le centre de torsion et négatif dans le cas contraire).

$Z_a$ : Coordonnée du point d'application de la charge

$Z_s$ : Coordonnée du centre de cisaillement

$$Z_a = -4 \text{ cm}$$

$$Z_s = 0$$

$$Z_j = 0$$

$$Z_g = Z_a - Z_s = -4 \text{ cm}.$$

$$M_{cr} = \frac{1.132 \times 3.14^2 \times 21000 \times 25.5}{(1 \times 360)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot \frac{220}{25.5} + \frac{(360)^2 \cdot 0.4 \times 1.47}{3.14^2 \times 25.5} + (0.459 \cdot 4)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.459 \times (-4)) \right\}$$

$$M_{cr} = 46.116 \times \left[ (8.627 + 303.097 + 3.370)^{\frac{1}{2}} + 1.836 \right]$$

$$M_{cr} = 9.032 \text{ KN.m}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{7.332}{9.032}} = 0.900 \rightarrow \bar{\lambda} = 0.900 > 0.4 \text{ Donc il y'a risque de déversement.}$$

Donc :

-  $\alpha = 0,49$  section en U

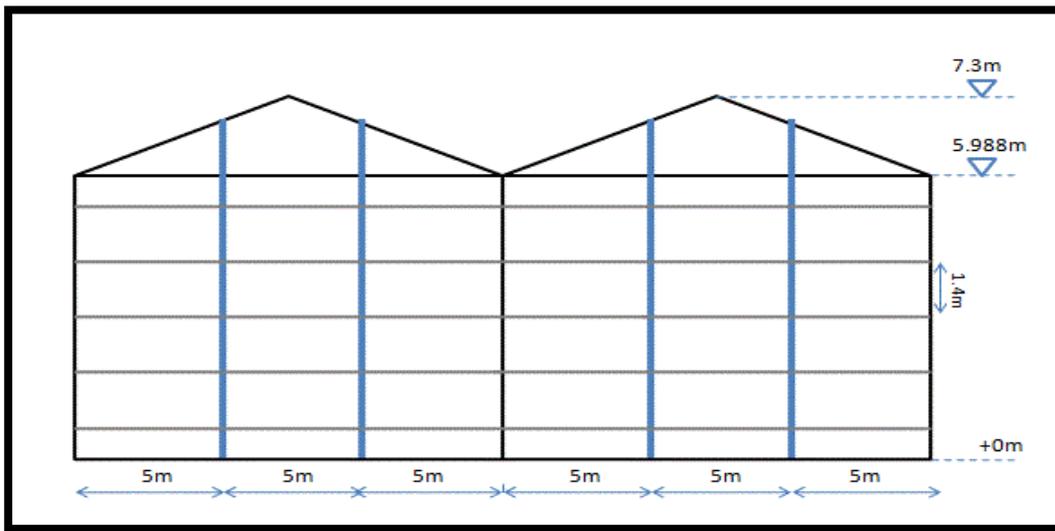
-  $\bar{\lambda} = 0.900 \rightarrow XLT = 0.5998 \rightarrow$  *A partir de tableau 5.5.2 p(5 – 72)EC3*

$$M_{b,rd} = 0.5998 \times 1 \times \frac{31.2 \times 23.5}{1.1} = 4.00 \text{KN.m}$$

$$M_{b,rd} = 4.00 \text{KN.m}$$

**Donc  $M_{y,sd} < M_{b,rd}$  Condition vérifié**

**III.5.3.dimensionnement des lisses de pignon:**



**Figure III.12: Disposition des lisses sur le pignon.**

**III.5.3.1.Evaluation des charges :**

a) Charges permanentes :

Poids propre de bardage (panneaux sandwichs).....13Kg/m<sup>2</sup>.

Poids propre d'accessoire d'attache.....3Kg/m<sup>2</sup>.

Poids propre de l'UPE (estimé).....9.82Kg/ml.

$$G = (P \text{ couverture} + P \text{ accessoire}) \times e + P \text{ lisse}$$

$$G = (13 + 3) \times 1.4 + (9.82) = 32.22 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.322 \text{KN/ml}$$

b) Charge due au vent maximale sur les parois verticales W :

$$W = -793.5 \text{N/m}^2$$

$$W = -0.793 \times 1.4 = -1.110 \text{KN/ml}.$$

Les lisses de pignon sont appuyées sur un poteau et un potelet de portée de l=5m, soumises à la flexion bi axiale.

- L'état limite ultime (ELU) :  
 Sur l'axe  $z - z$  :  $q_{uz} = 1.5 \times 1.110 = 1.665 \text{ KN/ml}$ .  
 Sur l'axe  $y - y$  :  $q_{uy} = 1.35 \times 0.322 = 0.434 \text{ KN/ml}$ .
- L'état limite service (ELS) :  
 Sur l'axe  $z - z$  :  $q_{sz} = 1.110 \text{ KN/ml}$   
 Sur l'axe  $y - y$  :  $q_{sy} = 0.322 \text{ KN/ml}$

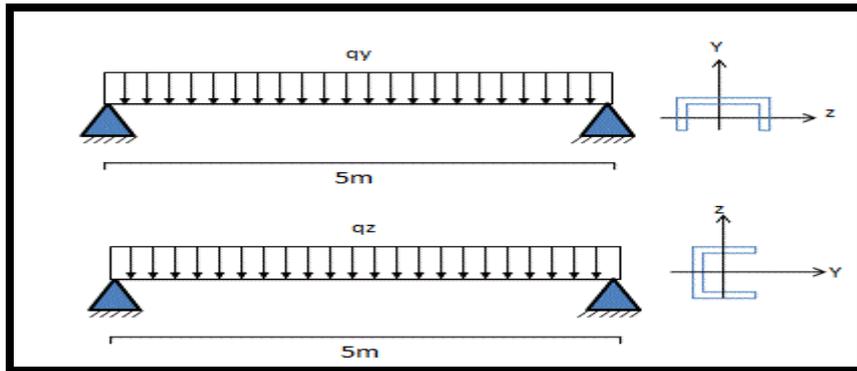


Figure III.13 : la répartition des charges sur les lisses de long pan.

### III.5.3.2. Condition de la flèche :

La vérification à l'état limite de service se fait avec les charges et surcharges de service (non pondérée) :  $f \leq f_{adm}$ .

Pour une poutre sur deux appuis uniformément chargée (axe Z-Z) :

$$f \leq \frac{l}{200} \text{ avec } f_z = \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times I_y}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{500}{200} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\rightarrow I_y \geq \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times 2.5} \rightarrow I_y \geq \frac{5 \times 1.110 \times 10^{-2} \times 500^4}{384 \times 21000 \times 2.5} \rightarrow I_y \geq 172.061 \text{ cm}^4$$

Ce qui correspond à un **UPE100** avec  $I_y = 207 \text{ cm}^4$  ;  $I_z = 38.3 \text{ cm}^4$  et leur poids propre  $P = 9.82 \text{ Kg/m}$ .

**On recalcule la condition de la flèche avec poids réel :**

Le poids propre réel G devient :

$$G = (13 + 3) \times 1.4 + (9.82) = 32.22 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.322 \text{ KN/ml}.$$

La combinaison les plus défavorables devinent :

- L'état limite ultime (ELU) :  
 Sur l'axe  $z - z$  :  $q_{uz} = 1.5 \times 1.110 = 1.665 \text{ KN/ml}$ .  
 Sur l'axe  $y - y$  :  $q_{uy} = 1.35 \times 0.322 = 0.434 \text{ KN/ml}$ .

- L'état limite service (ELS) :

Sur l'axe z – z :  $q_{sz} = 1.110KN/ml$

Sur l'axe y – y :  $q_{sy} = 0.322KN/ml$

a) Vérification de la flèche suivant l'axe Z-Z :

$$f \leq f_{adm} = \frac{l}{200} \text{ avec } f_z = \frac{5 \times q_{sz} \times l^4}{384 \times E \times I_y}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{500}{200} = 2.5cm$$

$$f_z = \frac{5 \times 1.110 \times 10^{-2} \times 500^4}{384 \times 21000 \times 207} = 2.078cm < f_{adm} = 2.5cm$$

Donc la flèche est vérifiée selon l'axe Z-Z

b) Vérification de la flèche suivant l'axe Y-Y :

$$f \leq f_{adm} = \frac{l}{200} \text{ avec } f_y = \frac{5 \times q_{sy} \times l^4}{384 \times E \times I_z}; \text{ et } \frac{l}{200} = \frac{500}{200} = 2.5cm$$

$$f_y = \frac{5 \times 0.322 \times 10^{-2} \times 500^4}{384 \times 21000 \times 38.3} = 3.258cm < f_{adm} = 2.5cm$$

Donc la flèche n'est pas vérifiée selon l'axe Y-Y

Solution :

On utilise les suspentes à mi-travée de la lisse pour réduire la flèche.

$$f_y = \frac{5 \times 0.322 \times 10^{-2} \times \left(\frac{500}{2}\right)^4}{384 \times 21000 \times 38.3} = 0.203cm < f_{adm} = 1.25cm$$

Donc on adopte UPE100

| G        | h    | b   | t <sub>w</sub> | t <sub>r</sub> | r   | A                                   | I <sub>y</sub> | d  | Ø  | e <sub>min</sub> | e <sub>max</sub> | A <sub>t</sub>    | A <sub>c</sub>    |       |
|----------|------|-----|----------------|----------------|-----|-------------------------------------|----------------|----|----|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------|
| kg/m     | mm   | mm  | mm             | mm             | mm  | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm             | mm |    | mm               | mm               | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /t |       |
| UPE 100* | 9,82 | 100 | 55             | 4,5            | 7,5 | 10                                  | 12,5           | 85 | 65 | M12              | 35               | 36                | 0,402             | 41,00 |

| G       | I <sub>y</sub>                      | W <sub>ely</sub>                    | W <sub>ply</sub> ■                  | i <sub>y</sub> | A <sub>z</sub>                      | I <sub>z</sub>                      | W <sub>elz</sub>                    | W <sub>plz</sub>                    | i <sub>z</sub> | S <sub>s</sub> | I <sub>t</sub>                      | I <sub>w</sub>                      | y <sub>s</sub> | y <sub>m</sub> | S <sub>23.5</sub> |   |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------|---|
| kg/m    | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm             | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm             | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>6</sup><br>x10 <sup>9</sup> | mm             | mm             |                   |   |
| UPE 100 | 9,82                                | 207                                 | 41,4                                | 48,0           | 4,07                                | 5,34                                | 38,3                                | 10,6                                | 19,3           | 1,75           | 17,9                                | 2,01                                | 0,53           | 1,91           | 3,93              | 1 |

**Tableau III.3 Caractéristiques de l'UPE 100.**

### III.5.3.3. Condition de la résistance (ELU) :

a) **Vérification à la flexion déviée :**

Détermination de la classe de profile :

• **Ame :**

$$\frac{d}{tw} = \frac{65}{4.5} = 14.4 < 72\varepsilon = 72 \rightarrow \text{Ame de classe 1}$$

$$\text{Et : } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{fy}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \Rightarrow \varepsilon = 1$$

• **Semelle :**

$$\frac{c}{tf} = \frac{b/2}{tf} = \frac{55/2}{7.5} = 3.666 < 10\varepsilon = 10 \rightarrow \text{semelle de classe 1}$$

Alors la section est de classe 1

Tanque la section est de classe 1 les calculs sera effectue en plasticité.

S'agissant de flexion déviée (biaxial) il faut vérifier que :

$$\left[ \frac{My}{M_{pl,y}} \right]^\alpha + \left[ \frac{Mz}{M_{pl,z}} \right]^\beta \leq 1 \dots \dots \dots [l' Eurocode 3 - 5.4.8.11(11)]$$

$$\text{Section en I} \rightarrow \begin{cases} \alpha = 2 \\ \beta = 5n \geq 1 \text{ (l'effort normal } N = 0 \rightarrow \frac{N}{N_{pl}} = 0 \rightarrow \beta = 1 \end{cases}$$

$$\text{Et : } Msd = \frac{q \times l^2}{8} \rightarrow \begin{cases} Mz.sd = \frac{quy \times l^2}{8} = \frac{0.434 \times 5^2}{8} = 1.356 KN.m \\ My.sd = \frac{quz \times l^2}{8} = \frac{1.665 \times 5^2}{8} = 5.203 KN.m \end{cases}$$

$$\text{Et : } M_{pl} = \frac{W_{pl} \times fy}{\gamma_{m0}} \rightarrow \begin{cases} M_{pl,z,rd} = \frac{W_{plz} \times fy}{\gamma_{m0}} = \frac{19.3 \times 23.5 \times 10^{-2}}{1} = 4.535 KN.m \\ M_{pl,y,rd} = \frac{W_{ply} \times fy}{\gamma_{m0}} = \frac{48 \times 23.5 \times 10^{-2}}{1} = 11.28 KN.m \end{cases}$$

Et la condition sera :

$$\left[ \frac{My}{M_{pl,y}} \right]^\alpha + \left[ \frac{Mz}{M_{pl,z}} \right]^\beta \leq 1 \rightarrow \left[ \frac{5.203}{11.28} \right]^2 + \left[ \frac{1.356}{4.535} \right]^1 = 0.212 + 0.299 = 0.511; 0.511 \leq 1$$

→ Donc la flexion déviée est vérifiée.

**b) Vérification au cisaillement :**

$$Vz, sd \leq V_{pl,z,rd} \text{ et } Vy, sd \leq V_{pl,y,rd}$$

$$Vz, sd = \frac{quz \times l}{2} = \frac{1.665 \times 5}{2} = 4.162 KN$$

$$V_{pl,z,rd} = \frac{Avz \times fy}{\sqrt{3} \times \gamma_{m0}} \rightarrow V_{pl,z,rd} = \frac{5.34 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 72.451 KN$$

Donc  $Vz, sd < V_{pl,z,rd}$

$$Vy, sd = \frac{quy \times l}{2} = \frac{0.434 \times 5}{2} = 1.085 KN$$

$$Avy = A - Avz \rightarrow Avy = 12.5 - 5.34 = 7.16 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,y,rd} = \frac{Avy \times fy}{\sqrt{3} \times \gamma_{m0}} \rightarrow V_{pl,z,rd} = \frac{7.16 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 97.114 \text{ KN}$$

**Donc**  $V_{y,sd} < V_{pl,y,rd}$

On voit bien que la résistance du lisse au cisaillement est vérifiée.

**c) Vérification au déversement :**

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

- Calcul du moment ultime :

$$M_{y,sd} = \frac{quz \times l^2}{8} = \frac{1.665 \times 5^2}{8} = 5.203 \text{ KN.m}$$

- Calcul du moment critique :

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 EI_z}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot GIt}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 \cdot Z_g) \right\} \text{ EC3 Art F. 1. 2(1)}$$

$$M_{cr} = \frac{1.132 \times 3.14^2 \times 21000 \times 38.3}{(1 \times 500)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot \frac{530}{38.3} + \frac{(500)^2 \cdot 0.4 \times 2.01}{3.14^2 \times 38.3} + (0.459 \cdot 5)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.459 \times (-5)) \right\}$$

$$M_{cr} = 35.907 \times \left[ (13.838 + 532.277 + 5.267)^{\frac{1}{2}} + 2.295 \right]$$

$$M_{cr} = 9.255 \text{ KN.m}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{11.28}{9.255}} = 1.103 \rightarrow \bar{\lambda} = 1.103 > 0.4 \text{ Donc il y'a risque de déversement.}$$

Donc :

-  $\alpha = 0,49$  section en U

-  $\bar{\lambda} = 1.103 \rightarrow X_{LT} = 0.5960 \rightarrow$  **A partir de tableau 5. 5. 2 p(5 – 72) EC3**

$$M_{b,rd} = 0.5960 \times 1 \times \frac{48 \times 23.5}{1.1} = 6.111 \text{ KN.m}$$

$$M_{b,rd} = 6.111 \text{ KN.m}$$

**Donc**  $M_{y,sd} < M_{b,rd}$  **Condition vérifié**

### III.6. Calcul des suspentes :

Les suspentes sont des tirants qui fonctionnent en traction. Elles sont généralement formées de barres rondes ou de petites cornières. Leur rôle principal est d'éviter la déformation latérale des lisses.

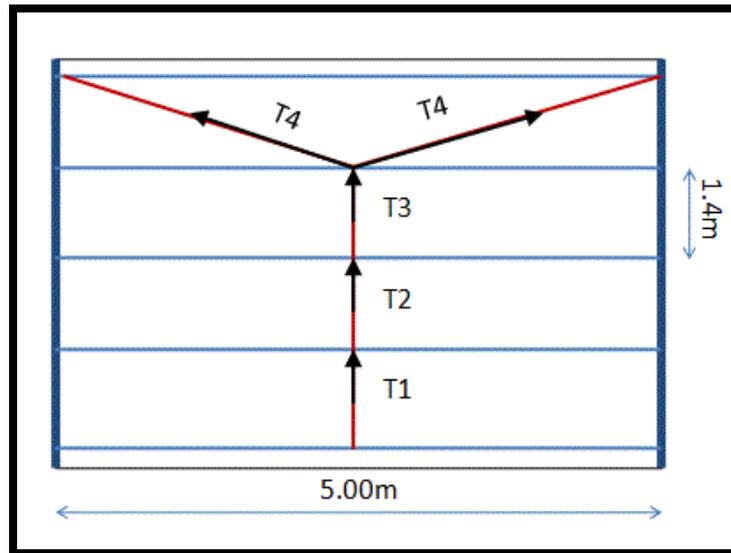


Figure III.14: les suspentes des lisses de pignon.

### III.6.1. Evaluation des charges :

$$G = (13 + 3) \times 1.4 + (9.82) = 332.22 \text{ Kg/ml}$$

$$G = 0.322 \text{ KN/ml.}$$

$$q_{uy} = 1.35 \times 0.322 = 0.434 \text{ KN/ml.}$$

### III.6.2. Dimensionnement des suspentes sous l'effort de la traction :

Calcul de l'effort de traction sollicité chaque suspente liernes :

Avec R la réaction d'une seule suspente :

$$R = 1.25 \cdot q_{uy} \cdot \frac{l}{2} = 1.25 \times 0.434 \times \frac{5}{2} = 1.356 \text{ KN}$$

Tn : la somme des réactions à mi-travée :

$$T_n = (2n - 1) \times \frac{R}{2}$$

n : est nombre de suspente

Calcul la réaction dans la suspente S3 :

$$T_3 = (2 \times 3 - 1) \times \frac{1.356}{2} = 3.390 \text{ KN}$$

L'effort max dans les bretelles :

$$2 \cdot T_3 \cdot \sin \theta = T_3 = 3.390 \text{ KN}$$

$$\text{Avec : } \theta = \arctg = \left( \frac{1.4}{2.5} \right) = 29.248^\circ$$

$$T_4 = \frac{3.390}{2 \times \sin 29.248} = 3.469 \text{ KN}$$

### III.6.3. Calcul de la section de suspente :

Le tronçon le plus sollicité est S4 :

$$A = \frac{T_{max}}{f_y} = \frac{3.469}{23.5} = 14.761 \text{ mm}^2$$

$$Et : \varnothing = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = 4.336 \text{ mm}$$

Donc on adopte des ronds avec  $\varnothing = 8 \text{ mm}$

### III.7. Calcul des potelets :

Destinés à rigidifier le bardage et à transmettre les efforts horizontaux dus au vent, les potelets sont des éléments très souvent élancés. Profilés en I ou H, les dimensions de leur sections varient en fonction du type de bardage (en maçonnerie ou en bois, grâce à un dispositif d'appui glissant (que nous verrons plus loin), ne doivent (en principe) recevoir aucun effort normal vertical de compression de la toiture (notamment ceux dus à la neige).

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

Par conséquent le potelet risque :

- a. De subir une flèche importante sous les pressions  $q_w$  due au vent (calcul à l'ELS)
- b. De flamber lorsqu'il est très élancé (vérification à l'ELU au flambement flexion sous N et M)
- c. De déverser sous les dépressions dues au vent ou la semelle interne comprimée et qui est non attachée aux lisses de bardage risque de flamber latéralement et de provoquer le déversement du potelet (vérification au déversement sous N et M)

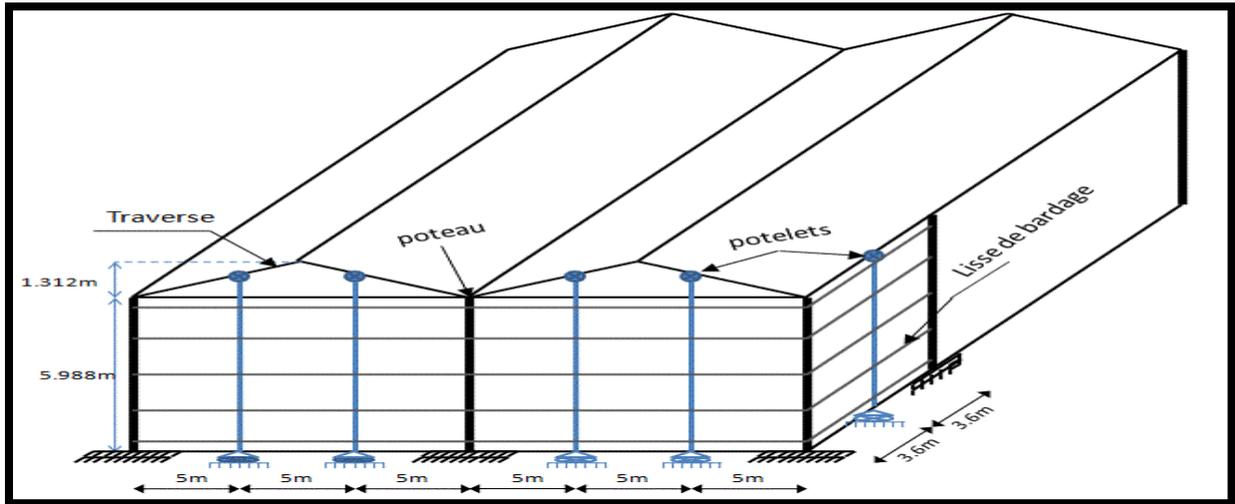


Figure III.15 : Disposition des potelets sur le pignon et le long pan .

### III.7.1. Les potelets du pignon :

#### III.7.1.1. La condition de la flèche :

La condition de la flèche se fait sous vent normal  $W$  :

$$w = -793.5N/m^2 \text{ (la charge du vent la plus défavorable lorsque le vent frappe le pignon)}$$

$$W = w \times e$$

Avec :

$e$  = la largeur de la surface sollicitée le potelet le plus élancé

$$e = 5m$$

$$Qw = 0.793 \times 5 \times 1.25 = 4.956KN/m \text{ (on tenant compte la continuité)}$$

$$Qw = 4.956KN/m$$

Calcul de la hauteur maximal du potelet le plus sollicité :

$$h = 5.988 + (\tan \alpha \times 5)$$

$$h = 5.988 + (\tan 9.922 \times 5)$$

$$h = 6.863m$$

Les potelets étant articulés en tête et pied. La flèche maximale à mi-travées vaut :

$$f \leq \frac{h}{200} \text{ avec } fz = \frac{5 \times Qw \times h^4}{384 \times E \times Iy}; \text{ et } \frac{h}{200} = \frac{686.3}{200} = 3.431cm$$

$$\rightarrow Iy \geq \frac{5 \times Qw \times h^4}{384 \times E \times 3.431} \rightarrow Iy \geq \frac{5 \times 4.956 \times 10^{-2} \times 686.3^4}{384 \times 21000 \times 3.431} \rightarrow Iy \geq 1986.945cm^4$$

Ce qui correspondant à un **IPE220** avec  $Iy = 2772cm^4$  ;  $Iz = 205cm^4$  et leur poids propre  $P = 26.2Kg/m$ .

**III.7.1.2. Evaluation des charges :**a) Les charges variables du vent :

$$Q_w = 4.956 \text{ KN/m}$$

b) charge permanentes :poids de bardages.....G1= 13Kg/m<sup>2</sup>

Poids de la lisse(UPE100).....G2= 9.82×5=49.1Kg/m

Poids de potelet(IPE220).....G3= 26.2Kg/m

$$G = (13 \times 5 \times 6.863) + (49.1 \times 5) + (6.863 \times 26.2)$$

$$G = 874.150 \text{ kg} \Rightarrow G = 8.741 \text{ KN}$$

**III.7.1.3. Vérification de la stabilité de potelet :****III.7.1.3.1. Vérification de l'effort axial :**

Les potelets sont sollicités à la flexion due vent et à compression due au poids des potelets, et de bardage et des lisses. Ils sont assujettis au portique par appuis glissants. Allos les potelets sont comprimés et fléchis. On vérifie la formule suivante :

$$Si N_{sd} \leq \min \left( 0.25 N_{pl, Rd} ; 0.5 \frac{A_w \times f_y}{\gamma_{m0}} \right)$$

$$N_{sd} = 1.35G \quad , \quad N_{pl, Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$A_w = A - 2btf$$

$$N_{sd} = 1.35 \times 8.714 \rightarrow N_{sd} = 11.763 \text{ KN}$$

$$N_{pl, rd} = \frac{A \times f_y}{1} = \frac{33.4 \times 23.5}{1} = 784.900 \text{ KN} \rightarrow 0.25 N_{pl, rd} = 196.225 \text{ KN}$$

$$\frac{A_w \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{(33.4 - (2btf)) \times f_y}{1} = 309.260 \text{ KN} \rightarrow 0.5 \times 309.260 = 154.630 \text{ KN}$$

$$N_{sd} \leq \min(196.225 \text{ KN}; 154.630 \text{ KN})$$

$N_{sd} < 154.630$ ..... **Condition vérifiée.**

**III.7.1.3.2. Vérification de l'effort tranchant :**

$$V_{sd, max} \leq v_{pl, rd}$$

$$V_{sd, max} = \frac{1.5 Q_w \times h}{2} = \frac{1.5 \times 4.956 \times 6.863}{2} = 25.509 \text{ KN}$$

$$V_{sd, max} = 25.509 \text{ KN}$$

$$V_{pl, rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{m0}} = \frac{15.9 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 215.726 \text{ KN}$$

→  $V_{sd, max} \leq v_{pl, rd}$  Condition vérifiée.

**III.7.1.3.3. Vérification de la stabilité au flambement flexion :**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{y,sd}}{W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{W_{pl,z} \times f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

Avec

$$N_{y, sd} = 11.763 \text{ KN}$$

$$M_{y, sd} = \frac{1.5 \times Q_w \times h^2}{8} = \frac{1.5 \times 4.956 \times 6.863^2}{8} = 43.768 \text{ KN.m}$$

$$M_{z, sd} = 0 \text{ KN.m}$$

**a) Calculons la longueur de flambement :**

- Autour de l'axe fort y'y (dans le plans de l'âme), le potelet risque de flamber sur toute sa hauteur donc la longueur de flambement  $l_{ky} =$  hauteur totale du poteau = 6.863m
- Autour de l'axe faible z'z (dans le plan perpendiculaire à l'âme), le poteau est empêché de flamber sur toute sa hauteur par les lisses de bardage. il ne pourra flamber que le long du tronçon séparé par les lisses de bardage.

Donc la longueur de flambement  $l_{kz} =$  espacement entre les lisses de bardage = 1.4m Pour l'IPE 220, les rayons de giration sont :  $i_y = 9.11$  cm et  $i_z = 2.48$  cm

**b) Calcul les élancements :**

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{686.3}{9.11} = 75.334$$

$$\lambda_z = \frac{l_{kz}}{i_z} = \frac{140}{2.48} = 56.451$$

**c) Calcul les élancements critiques :**

$$\text{Acier S235} \rightarrow \varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \right]^{0.5} = 1$$

$$\lambda_{cr} = 93.9 \varepsilon = 93.9$$

**d) Classe de la section :**

⇒ Classe de la semelle (comprimée)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon \rightarrow \frac{110/2}{9.2} = 5.978 < 10\varepsilon$$

⇒ Classe de l'âme : (Flexion composée)

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

$$d_c = \frac{N_{sd}}{t_w \times f_y} = \frac{11.763}{0.59 \times 23.5} = 0.848 \text{ cm} ; d = 17.76 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{17.76} \times \left( \frac{17.76 + 0.848}{2} \right) = 0.523 \leq 1$$

Pour la section de classe 1 :

$$\frac{d}{tw} \leq \frac{396\varepsilon}{(13\alpha - 1)} \rightarrow \frac{17.76}{0.59} \leq \frac{396 \times 1}{(13 \times 0.523 - 1)}$$

$$30.101 < 68.287$$

Donc : Ame de classe 1

La classe de profilé IPE220 est de classe 1.

**e) Calcul les élancements réduits :**

L'IPE 220 de classe 1  $\rightarrow \beta_w = 1$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_w} \rightarrow \frac{75.334}{93.9} \times 1 = 0.802 > 0.2 \text{ il ya un risque de flambement.}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_w} \rightarrow \frac{56.451}{93.9} \times 1 = 0.601 > 0.2 \text{ il ya un risque de flambement.}$$

**f) Calcul de coefficient de réduction  $\chi_{min}$  :**

$$\chi_{min} = \min(\chi_y, \chi_z)$$

Choix de la courbe de flambement d'après le **tableau 5.5.3 Eurocode 3** :

Pour IPE220: h=220mm, b=110mm, tf=9.2mm.

$$\text{Donc } \frac{h}{b} = \frac{220}{110} = 2 > 1.2 \text{ et } t_f = 9.2\text{mm} < 40\text{mm}$$

| Axe de flambement | Courbe de flambement | Facteur d'imperfection $\alpha$ |
|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| <b>y-y</b>        | a                    | 0.21                            |
| <b>z-z</b>        | b                    | 0.34                            |

**Tableau III.4 : Coefficient de flambement correspondant à la section IPE220**

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + [\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2]^{0.5}} \quad \text{Avec: } \chi_y \leq 1$$

$$\phi_y = 0.5[1 + \alpha_y(\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21(0.802 - 0.2) + 0.802^2] \rightarrow \phi_y = 0.884$$

$$\chi_y = 0.796$$

$$\phi_z = 0.5[1 + \alpha_z(\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34(0.601 - 0.2) + 0.601^2] \rightarrow \phi_z = 0.748$$

$$\chi_z = 0.838$$

$$\chi_{min} = \min(0.796; 0.838)$$

$$\text{Donc } \chi_{min} = 0.796$$

Calcul de facture d'amplification KLT :

$$Klt = 1 - \frac{\mu lt \times N}{\chi_z \times A \times f_y}$$

$$\mu lt = 0.15 \times \bar{\lambda}_z \times \beta_{mlt} - 0.15$$

$$\text{avec } \beta_{mlt} = 1.3$$

$$\mu lt = 0.15 \times \bar{\lambda}_z \times \beta_{mlt} - 0.15 = -0.032$$

$$Klt = 1 - \frac{-0.032 \times 11.793}{0.838 \times 33.4 \times 23.5} = 1.0005$$

➔ Vérification de la condition de flambement :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{y,sd}}{W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{W_{pl,z} \times f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{11.793}{0.838 \times \left(\frac{33.4 \times 23.5}{1.1}\right)} + \frac{1.0005 \times 4376.8}{285 \times \left(\frac{23.5}{1.1}\right)} = 0.019 + 0.719 = 0.738 < 1$$

La stabilité au flambement de potelet IPE220 est vérifiée.

#### III.7.1.3.4. Vérification au déversement sous $N_{ysd}$ et $M_{ysd}$ :

On doit vérifier cette condition :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times N_{ply}} + \frac{Klt \times M_{y,sd}}{\chi_{lt} \times M_{ply}} < 1$$

➤ **Calculons l'élanement réduit  $\lambda_{lt}$ :**

$$\beta_w = 1 \rightarrow \text{section de classe 1.}$$

$\chi_{lt}$ : coefficient de réduction en fonction de  $\bar{\lambda}_{lt}$

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

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

⇒ Calcul de moment critique :

$$M_{cr} = \frac{C1 \pi^2 EI_z}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot GIt}{\pi^2 EI_z} + (C2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C2 \cdot Z_g) \right\}$$

D'après les tableaux F.1.2 de l'EC03

Notre potelet considéré comme bi articulée à ses extrémités on a :

C1, C2, facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement.

$$C1 = 0.972 \quad C2 = 0.304$$

K et Kw : les facteurs de longueur effective avec : K=0.5 appui Kw = 0.5

$$Za = -\frac{h}{2} = -11\text{cm}$$

$$Zg = Za - Zs \rightarrow Zg = \bar{1}11$$

$$It = 9.07\text{cm}^4 ; G = 0.4E ; Iw = 22700\text{cm}^6 ; L = 686.3\text{cm} ;$$

$$Iz = 205\text{cm}^4$$

$$Mcr = \frac{0.972 \times 3.14^2 \times 21000 \times 205}{(0.5 \times 686.3)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{0.5}{0.5} \right)^2 \cdot \frac{22700}{205} + \frac{(0.5 \times 686.3)^2 \cdot 0.4 \times 9.07}{3.14^2 \times 205} + (0.304 \cdot 11)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.304 \times (-11)) \right\}$$

$$Mcr = 350.373 \times \left[ (110.731 + 211.359 + 11.182)^{\frac{1}{2}} + 3.344 \right]$$

$$Mcr = 75.679\text{KN.m}$$

$$\text{avec } Mpl = Wpl, y \times \frac{fy}{\gamma m0} = 285 \times \frac{235 \times 10^{-3}}{1} = 66.975\text{KN.m}$$

$$\lambda_{lt} = \sqrt{\frac{Mpl, y}{Mcr}} = \sqrt{\frac{66.975}{75.679}} = 0.940 > 0.4 \text{ il y' a risque de déversement.}$$

$\lambda_{lt} = 0.940 \rightarrow \lambda_{lt} = 0.7339$  à **partir du tableau 5.5.2 de L'EC03.**

⇒ Vérification de la condition de déversement :

$$\frac{Nsd}{\lambda_{min} \times Nply} + \frac{Klt \times My, sd}{\lambda_{lt} \times Mply} < 1$$

$$\frac{11.763}{0.796 \times \left( 33.4 \times \frac{23.5}{1.1} \right)} + \frac{1.0005 \times 4376.8}{0.7339 \times \left( 285 \times \frac{23.5}{1.1} \right)} < 1$$

$$0.02 + 0.890 = 0.910 < 1$$

→ La stabilité au déversement de potelet IPE220 est vérifiée.

### III.7.2. Les potelets du long pan :

#### III.7.2.1. La condition de la flèche :

La condition de la flèche se fait sous vent normal W :

$$w = -779.7\text{N/m}^2 \text{ (la charge du vent la plus défavorable lorsque le vent frappe le longpan)}$$

$$W = w \times e$$

Avec :

e=la largeur de la surface solliciter le potelet le plus élancé

$$e = 3.6\text{m}$$

$$Qw = 0.779 \times 3.6 \times 1.25 = 3.505\text{KN/m} \text{ (on tenant on compte la continuité)}$$

$$Qw = 3.505\text{KN/m}$$

$$H = 5.988\text{m}$$

Les potelets étant articulés en tête et pied. La flèche maximale à mi-travées vaut :

$$f \leq \frac{h}{200} \text{ avec } f_z = \frac{5 \times Q_w \times h^4}{384 \times E \times I_y}; \text{ et } \frac{h}{200} = \frac{598.8}{200} = 2.994 \text{ cm}$$

$$\rightarrow I_y \geq \frac{5 \times Q_w \times h^4}{384 \times E \times 2.994} \rightarrow I_y \geq \frac{5 \times 3.505 \times 10^{-2} \times 598.8^4}{384 \times 21000 \times 2.994} \rightarrow I_y \geq 933.217 \text{ cm}^4$$

Ce qui correspondant à un **IPE180** avec  $I_y = 1317 \text{ cm}^4$ ;  $I_z = 101 \text{ cm}^4$  et leur poids propre  $P = 18.8 \text{ Kg/m}$ .

### III.7.2.2. Evaluation des charges :

a) Les charges variables du vent :

$$Q_w = 3.505 \text{ KN/m}$$

b) charge permanentes :

Poids de bardages.....G1= 13Kg/m<sup>2</sup>

Poids de la lisse(UPE80).....G2= 7.90×3.6=28.440Kg/m

Poids de potelet(IPE180).....G3= 18.8Kg/m

$$G = (13 \times 3.6 \times 5.988) + (28.44 \times 3.6) + (5.988 \times 18.8) \quad G = 495.196 \text{ Kg} \Rightarrow$$

$$G = 4.951 \text{ KN}$$

### III.7.2.3. Vérification de la stabilité de potelet :

#### III.7.2.3.1. Vérification de l'effort axial :

Les potelets sont sollicités à la flexion due vent et à compression due au poids des potelets, et de bardage et des lisses. Ils sont assujettis au portique par appuis glissants. Allos les potelets sont comprimés et fléchis. On vérifie la formule suivante :

$$Si \quad N_{sd} \leq \min \left( 0.25 N_{pl, Rd} ; 0.5 \frac{A_w \times f_y}{\gamma_{m0}} \right)$$

$$N_{sd} = 1.35G \quad , \quad N_{pl, Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}}$$

$$A_w = A - 2btf$$

$$N_{sd} = 1.35 \times 4.951 \rightarrow N_{sd} = 6.683 \text{ KN}$$

$$N_{pl, rd} = \frac{A \times f_y}{1} = \frac{23.9 \times 23.5}{1} = 561.650 \text{ KN} \rightarrow 0.25 N_{pl, rd} = 140.412 \text{ KN}$$

$$\frac{A_w \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{(23.9 - (2btf)) \times f_y}{1} = 219.490 \text{ KN} \rightarrow 0.5 \times 219.490 = 109.745 \text{ KN}$$

$$N_{sd} \leq \min(140.412 \text{ KN}; 109.745 \text{ KN})$$

$N_{sd} < 109.745$ .....**Condition vérifiée.**

**III.7.2.3.2. Vérification de l'effort tranchant :**

$$V_{sd, max} \leq v_{pl, rd}$$

$$V_{sd, max} = \frac{1.5Q_w \times h}{2} = \frac{1.5 \times 3.505 \times 5.988}{2} = 15.740KN$$

$$V_{sd, max} = 15.740KN$$

$$V_{pl, rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{m0}} = \frac{11.3 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 153.315KN$$

→  $V_{sd, max} \leq v_{pl, rd}$  Condition vérifiée.

**III.7.2.3.3. Vérification de la stabilité au flambement flexion :**

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{y, sd}}{W_{pl, y} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{z, sd}}{W_{pl, z} \times f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

Avec

$$N_{y, sd} = 6.683KN$$

$$M_{y, sd} = \frac{1.5 \times Q_w \times h^2}{8} = \frac{1.5 \times 3.505 \times 5.988^2}{8} = 23.564KN.m$$

$$M_{z, sd} = 0KN.m$$

**a) Calculons la longueur de flambement :**

- Autour de l'axe fort y'y (dans le plans de l'âme), le potelet risque de flamber sur toute sa hauteur donc la longueur de flambement  $l_{ky} =$  hauteur totale du poteau = 5.988m
- Autour de l'axe faible z'z (dans le plan perpendiculaire à l'âme), le poteau est empêché de flamber sur toute sa hauteur par les lisses de bardage. il ne pourra flamber que le long du tronçon séparé par les lisses de bardage.

Donc la longueur de flambement  $l_{kz} =$  espacement entre les lisses de bardage = 1.4m Pour l'IPE 180, les rayons de giration sont :  $i_y = 7.42cm$  et  $i_z = 2.05 cm$

**b) Calcul les élancements :**

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{598.8}{7.42} = 80.700$$

$$\lambda_z = \frac{l_{kz}}{i_z} = \frac{140}{2.05} = 68.292$$

**c) Calcul les élancements critiques :**

$$\text{Acier S235} \rightarrow \varepsilon = \left[ \frac{235}{f_y} \right]^{0.5} = 1$$

$$\lambda_{cr} = 93.9 \varepsilon = 93.9$$

**d) Classe de la section :**

⇒ Classe de la semelle (comprimée)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b/2}{t_f} \leq 10\varepsilon \rightarrow \frac{91/2}{8} = 5.687 < 10$$

⇒ Classe de l'âme : (Flexion composée)

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left( \frac{d + dc}{2} \right) \leq 1$$

$$dc = \frac{Nsd}{t_w \times f_y} = \frac{6.683}{0.53 \times 23.5} = 0.536 \text{ cm} ; d = 14.6 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{1}{14.6} \times \left( \frac{14.6 + 0.536}{2} \right) = 0.518 \leq 1$$

Pour la section de classe 1 :

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{(13\alpha - 1)} \rightarrow \frac{14.6}{0.53} \leq \frac{396 \times 1}{(13 \times 0.518 - 1)}$$

$$27.547 < 69.061$$

Donc : Ame de classe 1

La classe de profilé IPE180 est de classe 1.

**e) Calcul les élancements réduits :**

L'IPE 180 de classe 1  $\rightarrow \beta_w = 1$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_w} \rightarrow \frac{80.700}{93.9} \times 1 = 0.859 > 0.2 \text{ il ya un risque de flambement.}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_w} \rightarrow \frac{68.292}{93.9} \times 1 = 0.727 > 0.2 \text{ il ya un risque de flambement.}$$

**f) Calcul de coefficient de réduction  $\chi_{min}$  :**

$$\chi_{min} = \min(\chi_y, \chi_z)$$

Choix de la courbe de flambement d'après le **tableau 5.5.3 Eurocode 3** :

Pour IPE180: h=180mm, b=91mm, t<sub>f</sub>=8mm.

$$\text{Donc } \frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.978 > 1.2 \text{ et } t_f = 8 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

| Axe de flambement | Courbe de flambement | Facteur d'imperfection $\alpha$ |
|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| <b>y-y</b>        | a                    | 0.21                            |
| <b>z-z</b>        | b                    | 0.34                            |

**Tableau III.5 : Coefficient de flambement correspondant à la section IPE180**

$$\kappa_y = \frac{1}{\phi_y + [\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2]^{0.5}} \quad \text{Avec: } \kappa_y \leq 1$$

$$\phi_y = 0.5[1 + \alpha_y(\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21(0.859 - 0.2) + 0.859^2] \rightarrow \phi_y = 0.938$$

$$\kappa_y = 0.761$$

$$\phi_z = 0.5[1 + \alpha_z(\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34(0.727 - 0.2) + 0.727^2] \rightarrow \phi_z = 0.853$$

$$\kappa_z = 0.769$$

$$\kappa_{min} = \min(0.761; 0.769)$$

$$\text{Donc } \kappa_{min} = 0.761$$

Calcul de facteur d'amplification KLT :

$$K_{lt} = 1 - \frac{\mu_{lt} \times N}{\kappa_y \times A \times f_y}$$

$$\mu_{lt} = 0.15 \times \bar{\lambda}_y \times \beta_{mlt} - 0.15$$

$$\text{avec } \beta_{mlt} = 1.3$$

$$\mu_{lt} = 0.15 \times 0 \times \beta_{mlt} - 0.15 = -0.017$$

$$K_{lt} = 1 - \frac{-0.017 \times 6.683}{0.761 \times 23.9 \times 23.5} = 1.0002$$

⇒ Vérification de la condition de flambement :

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \times M_{y,sd}}{W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{W_{pl,z} \times f_y / \gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{6.683}{0.761 \times \left(\frac{23.9 \times 23.5}{1.1}\right)} + \frac{1.0002 \times 2356.4}{166 \times \left(\frac{23.5}{1.1}\right)} = 0.017 + 0.664 = 0.681 < 1$$

La stabilité au flambement de potelet IPE180 est vérifiée.

#### III.7.2.3.4. Vérification au diversement sous $N_{ysd}$ et $M_{ysd}$ :

On doit vérifier cette condition :

$$\frac{N_{sd}}{\kappa_{min} \times N_{ply}} + \frac{K_{lt} \times M_{y,sd}}{\kappa_{lt} \times M_{ply}} < 1$$

➤ Calculons l'élancement réduit  $\lambda_{lt}$ :

$$\beta_w = 1 \rightarrow \text{section de classe 1.}$$

$\kappa_{lt}$ : coefficient de réduction en fonction de  $\bar{\lambda}_{lt}$

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

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

⇒ Calcul de moment critique :

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 EI_z}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot GIt}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 \cdot Z_g) \right\}$$

D'après les tableaux F.1.2 de l'EC03

Notre potelet considéré comme bi articulée à ses extrémités on a :

$C_1, C_2$ , facteurs dépendant des conditions de charge et d'encastrement.

$$C_1 = 0.972 \quad C_2 = 0.304$$

$K$  et  $K_w$  : les facteurs de longueur effective avec :  $K=0.5$  appui  $K_w = 0.5$

$$Z_a = -\frac{h}{2} = -9cm$$

$$Z_g = Z_a - Z_s \rightarrow Z_g = \bar{9}$$

$$I_t = 4.79cm^4 ; G = 0.4E ; I_w = 7430cm^6 ; L = 598.8cm ;$$

$$I_z = 101cm^4$$

$$M_{cr} = \frac{0.972 \times 3.14^2 \times 21000 \times 101}{(0.5 \times 598.8)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{0.5}{0.5} \right)^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{(0.5 \times 598.8)^2 \cdot 0.4 \times 4.79}{3.14^2 \times 101} + (0.304 \cdot 9)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.304 \times (-9)) \right\}$$

$$M_{cr} = 226.758 \times \left[ (73.564 + 172.471 + 7.485)^{\frac{1}{2}} + 2.736 \right]$$

$$M_{cr} = 42.309KN.m$$

$$\text{avec } M_{pl} = W_{pl,y} \times \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = 166 \times \frac{235 \times 10^{-3}}{1} = 39.01KN.m$$

$$\lambda_{lt} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{39.01}{42.309}} = 0.960 > 0.4 \text{ il y'arisque de deversement.}$$

$\lambda_{lt} = 0.960 \rightarrow \bar{\lambda}_{lt} = 0.7339$  à **partir du tableau 5.5.2 de L'EC03.**

⇒ Vérification de la condition de déversement :

$$\frac{N_{sd}}{N_{pLy}} + \frac{K_{lt} \times M_{y,sd}}{\bar{\lambda}_{lt} \times M_{pLy}} < 1$$

$$\frac{6.683}{0.761 \times \left( 23.9 \times \frac{23.5}{1.1} \right)} + \frac{1.0002 \times 2356.4}{0.7339 \times \left( 166 \times \frac{23.5}{1.1} \right)} < 1$$

$$0.017 + 0.793 = 0.810 < 1$$

→ La stabilité au déversement de potelet IPE180 est vérifiée.

**III.8. Conclusion :**

Les profilés retenus après vérification pour différents éléments secondaires sont :

Les pannes : IPE180 avec des liernes ronds  $D=10\text{mm}$ .

Les lisses de long pan : UPE80.

Les lisses de pignon UPE100 Avec des suspentes rond  $D=8\text{mm}$ .

Les potelets de long pan : IPE180.

Les potelets de pignon : IPE220.

**CHAPITRE IV**  
**ETUDE DE CHEMIN**  
**DE ROULEMENT**  
**DU PONT ROULANT**

### **IV.1.Introduction :**

La manutention d'objet lourds dans halle industriel nécessite souvent l'emploi d'engins spéciaux dits engins de manutention ou de levage, parmi les plus courant il y a les ponts roulants.

Les ponts roulants permettent la manutention de la charge dans tout l'espace de ces halls. Ils sont installés en hauteur et circulent sur des rails fixés sur des poutres de roulement, en encorbellement ou reposant sur des poteaux.

Ce chapitre consiste à représenter le calcul de chemin de roulement support un pont roulant d'une portée de 15m avec une capacité de levage 3 tonne.

Les chemins de roulement sont des poutres de 7.2m de travée qui s'appuient sur des consoles assemblées aux poteaux des portiques.

Le chemin de roulement : est la structure porteuse de l'engin de levage, constituée de deux poutres de roulement et ses supports, les deux poutres parallèles surmontées d'un rail spécial et sur lesquelles circule le pont roulant.

Poutres de roulement : est l'élément porteur longitudinal de la voie, sur lesquelles le pont déplace elles sont généralement prévues en profilés laminés à chaud I ou H, vois des PRS en cas de portée et charges importantes, les poutres de roulement sont des poutres simples ou continues, Leurs appuis sont constitués par corbeaux fixés sur les poteaux de la halle.

### **IV.2.Règlement utilisé :**

Euro code 1 partie 3 : Actions induites par les appareils de levage et les machines.

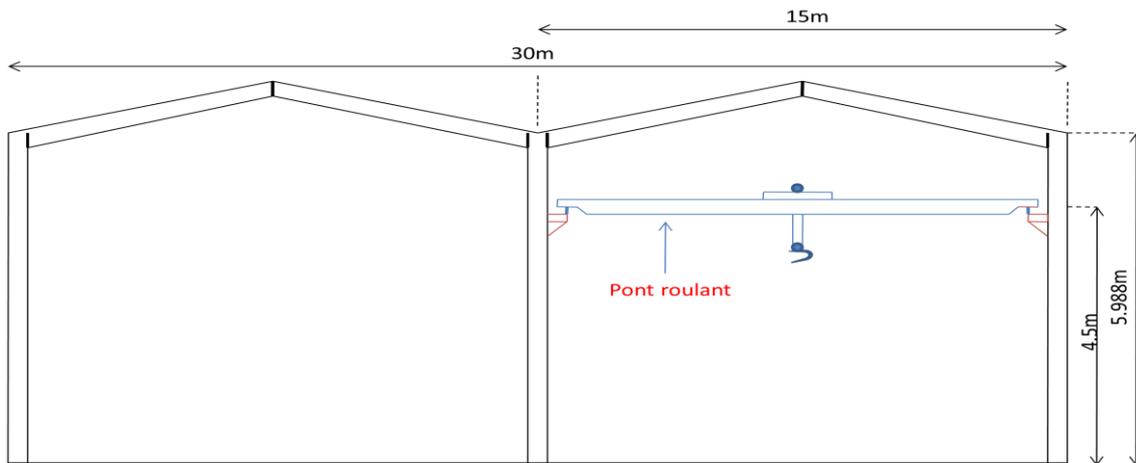
Euro code 3 partie 6 : Chemins de roulement.

Euro code 3 partie 9 : Fatigue.

### **IV.3.Caractéristique de pont roulant mono poutre posé :**

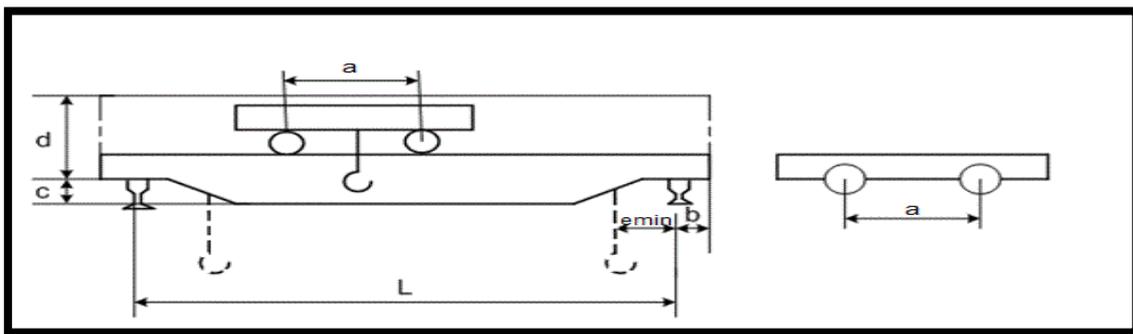
Un pont mono poutre est utilisé pour une capacité de levage moins grande et pour une portée plus importante. C'est le type de construction le plus léger donc plus avantageux pour le bâtiment et les fondations, ce qui accorde pour notre cas.

**IV.3.1.Caractéristique géométrique de pont roulant :**



**Figure IV.1 : présentation de pont roulant sur le portique.**

La poutre principale du pont roulant supporte un chariot et une charge maximale de 3 tonnes.



**Figure IV.2 : présentation de pont roulant.**

| puissance<br>(Tonne) | L<br>(m) | <i>emin</i><br>(m) | B<br>(m) | c<br>(m) | a<br>(m) |
|----------------------|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| 3                    | 15       | 0.70               | 0.25     | 0.45     | 3.3      |

**Tableau IV.1 : Dimensions de pont roulant.**

**IV.3.2.Caractéristique mécanique de pont roulant :**

| Puissance<br>(T) | portée<br>(m) | Vitesse           |                      |                        | Poids          |                   |                  |
|------------------|---------------|-------------------|----------------------|------------------------|----------------|-------------------|------------------|
|                  |               | Levage<br>(m/min) | Direction<br>(m/min) | Translation<br>(m/min) | Pont<br>Qc1(T) | Chariot<br>Qc2(T) | Total<br>Qc1+Qc2 |
| 3                | 15            | 8                 | 30                   | 100                    | 5.5            | 3                 | 8.5              |

**Tableau IV.2 : les charges et les vitesses caractérisé par le pont.**

#### IV.4. Les actions générées par le pont roulant :

##### IV.4.1. Actions variables :

- **Verticale** : poids propre ( $Qc$ ), Masse à lever ( $Qh$ ).
- **Horizontale** : Force d'entraînement, Marche en crabe, Accélération du chariot (HT3).

##### IV.4.2. Actions accidentelles :

- **Forces de tamponnement (HB2)**

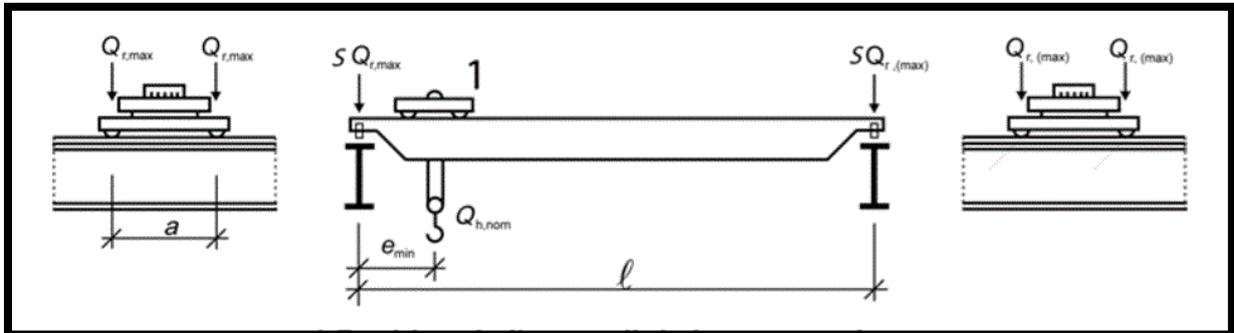
#### IV.5. Charge verticales :

Les charges qui sollicitent les poutres de roulement ont les valeurs qui varient selon la charge levée, selon le poids propre du pont roulant est selon la position de chariot sur le pont roulant. Les valeurs caractéristiques des charges variables  $Q_{r,max}$  et  $Q_{r,min}$  sont correspondant aux deux cas de charges suivant :

- Poids propre et charge nominale levée au crochet, chariot dans la position la plus proche de la poutre de roulement considérée.
- Poids propre et crochet non chargé, chariot dans la position la plus éloignée de la poutre de roulement considérée.

On les calcule en utilisant comme cas de charges ceux donnés à la figure ci-dessous :

##### IV.5.1. Avec masse à lever (en charge) $Qh = 30\text{KN}$ :



**Figure IV.3 : Position de l'appareil de levage en charge pour obtenir le chargement maximal de la poutre de roulement.**

Tel que :

$Q_{r,max}$  Est la charge maximale par galet de l'appareil de levage en charge ;

$Q_{r,(max)}$  Est la charge d'accompagnement par galet de l'appareil de levage en charge ;

$\sum Q_{r,max}$  est la somme des charges maximales  $Q_{r,max}$  par poutre de roulement de l'appareil de levage en charge ;

$\sum Q_{r,(max)}$  Est la somme des charges d'accompagnement  $Q_{r,(max)}$  par poutre de roulement de l'appareil de levage en charge ;

$Qh$ . nom Est la masse à lever en charge.

Donc on a:

- $Qh = 30 KN$
- $L = 15m$
- $a = 3.3m$
- $emin = 0.70m$
- Masse à lever nominale :  $Qh = 30KN$
- Poids propre du pont:  $Qc1 = 55KN$
- Poids propre du chariot:  $Qc2 = 30KN$
- Classe de levage : HC3 (appareille de levage d'atelier classe S3)
- Valeurs de  $\beta_2$  et  $\varphi_{2.min}$

| Classe de levage de l'appareil | $\beta_2$ | $\varphi_{2.min}$ |
|--------------------------------|-----------|-------------------|
| HC3                            | 0.51      | 1.15              |

Tableau IV.3 : Les valeurs de  $\beta_2$  et  $\varphi_{2.min}$ .

- $\varphi_1 = 1.1$
- $\varphi_2 = \varphi_{2.min} + (\beta_2 \times v_h) \rightarrow 1.15 + (0.51 \times \frac{8}{60}) = 1.218$

$$\begin{aligned} \sum Qr_{max} &= \varphi_1 \left[ \frac{Qc1}{2} + Qc2 \left( \frac{L - emin}{L} \right) \right] + \varphi_2 Qh \left( \frac{L - emin}{L} \right) \\ &= 1.1 \left[ \frac{55}{2} + 30 \left( \frac{15 - 0.70}{15} \right) \right] + 1.218 \times 30 \left( \frac{15 - 0.70}{15} \right) \end{aligned}$$

$$\sum Qr_{max} = 96.544KN$$

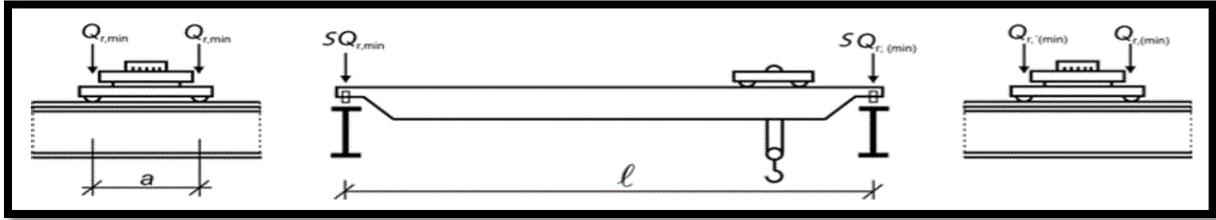
$$\begin{aligned} \sum Qr(max) &= \varphi_1 \left[ \frac{Qc1}{2} + Qc2 \left( \frac{emin}{L} \right) \right] + \varphi_2 Qh \left( \frac{emin}{L} \right) \\ &= 1.1 \left[ \frac{55}{2} + 30 \left( \frac{0.70}{15} \right) \right] + 1.218 \times 30 \left( \frac{0.70}{15} \right) \end{aligned}$$

$$\sum Qr(max) = 33.495KN$$

$$Qr_{max} = \frac{\sum Qr_{max}}{2} = \frac{96.544}{2} = 48.272KN$$

$$Qr(max) = \frac{\sum Qr(max)}{2} = \frac{33.495}{2} = 16.747KN$$

IV.5.2.Sans masse à lever  $Qr, max$  :



**Figure IV.4 : Position de l'appareil de levage à vide pour obtenir le chargement minimal de la poutre de roulement.**

Tel que :

$Qr, min$  Est la charge maximale par galet de l'appareil de levage à vide ;

$Qr, (min)$  Est la charge d'accompagnement par galet de l'appareil de levage à vide;  $\sum Qr, min$  est la somme des charges maximales  $Qr, min$  par poutre de roulement de l'appareil de levage à vide;

$\sum Qr, (min)$  Est la somme des charges d'accompagnement  $Qr, (min)$  par poutre de roulement de l'appareil de levage à vide;

$Qh. nom$  Est la masse à lever à vide.

Donc on a:

- $L = 15m$
- $emin = 0.70m$
- Poids propre du pont:  $Qc1 = 55KN$
- Poids propre du chariot:  $Qc2 = 30KN$
- $\varphi1 = 1.1$

$$\begin{aligned} \sum Qr(min) &= \varphi1 \left[ \frac{Qc1}{2} + Qc2 \left( \frac{L - emin}{L} \right) \right] \\ &= 1.1 \left[ \frac{55}{2} + 30 \left( \frac{15 - 0.70}{15} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\sum Qr(min) = 61.71KN$$

$$\begin{aligned} \sum Qrmin &= \varphi1 \left[ \frac{Qc1}{2} + Qc2 \left( \frac{emin}{L} \right) \right] \\ &= 1.1 \left[ \frac{55}{2} + 30 \left( \frac{0.70}{15} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\sum Qrmin = 31.79KN$$

$$Qr(min) = \frac{\sum Qr(min)}{2} = 30.855KN$$

$$Qrmin = \frac{Qrmin}{2} = 15.895KN$$

### IV.6. Forces horizontales :

Il convient de tenir compte des types suivants de forces horizontales induites par des ponts roulant :

- Force horizontales longitudinales produites par les accélérations ou décélérations de l'appareil de levage lors de ses déplacements.
- Force horizontales transversales produites par les accélération ou décélération du chariot lors de ses déplacements sur la poutre du pont.
- Force horizontales produites par la marche en crabe de l'appareil de levage.
- Force de tamponnements liées aux déplacements de l'appareil de levage.
- Force de tamponnements liées aux déplacements du chariot.

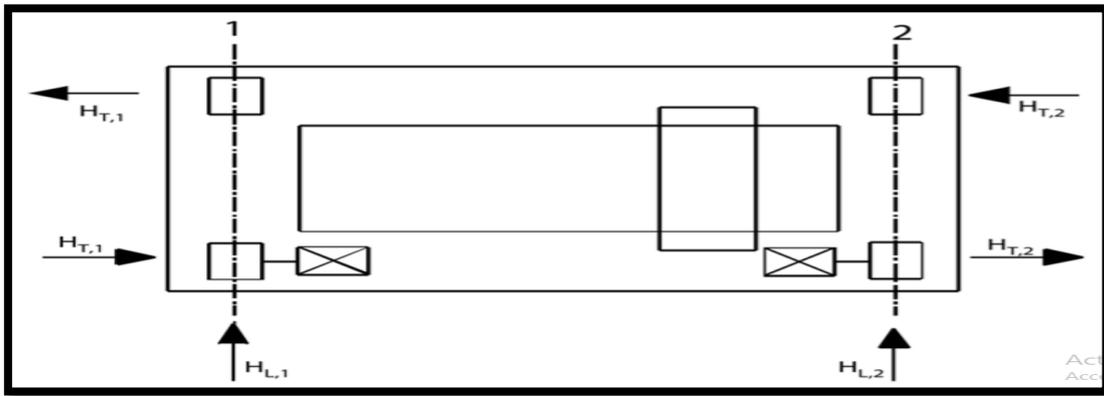


Figure IV.5 : Dispositions de charge induites par les forces horizontales longitudinales et transversales produit par les accélérations et décélérations.

#### IV.6.1. Forces horizontales longitudinales (HL.1) :

- Les charges longitudinales HL.1 :

produites par les accélérations et les décélérations des structures des appareils de levage résultent de la force d'entraînement au niveau de la surface de contact du rail avec la galet entraînée.

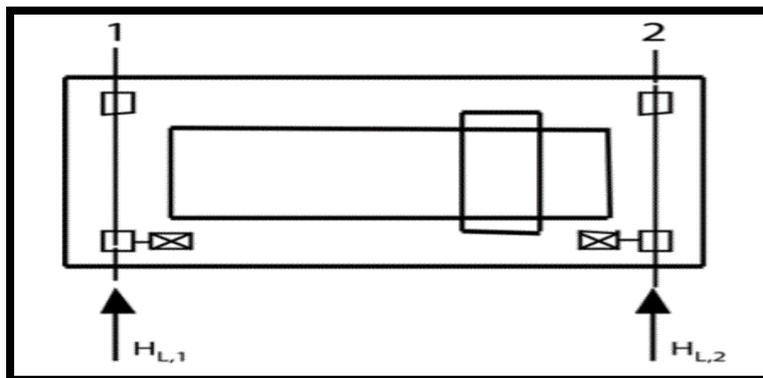


Figure IV.6 : Charges horizontales longitudinales HL.i.

Les charges longitudinales HL.i appliquées sur une poutre de roulement peuvent être calculées de la manière suivante :

$$HL.1 = HL.2 = \varphi_5 \times \frac{K}{nr}$$

Tel que :

- nr : nombre de poutres de roulement  $\rightarrow nr=2$
- $\varphi_5$  : Coefficient d'amplification dynamique  $\rightarrow \varphi_5 = 1.5$
- K : force d'entraînement.

$$K = K_1 + K_2 = \mu \sum Q_i^* \cdot \min$$

Tel que :

- $\mu=0.2$  (coefficient de frottement)
- $\varphi_4 = 1$

$$\sum Q_r(\min) = \varphi_4 \left[ \frac{Q_{c1}}{2} + Q_{c2} \left( \frac{L - e_{\min}}{L} \right) \right]$$

$$\sum Q_r(\min) = 56.100 \text{ KN}$$

$$\sum Q_{r\min} = \varphi_4 \left[ \frac{Q_{c1}}{2} + Q_{c2} \left( \frac{e_{\min}}{L} \right) \right]$$

$$\sum Q_{r\min} = 28.9 \text{ KN}$$

$$Q_r(\min) = \frac{\sum Q_r(\min)}{2} = 28.05 \text{ KN}$$

$$Q_{r\min} = \frac{\sum Q_{r\min}}{2} = 14.450 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_{r\max} &= \varphi_4 \left[ \frac{Q_{c1}}{2} + Q_{c2} \left( \frac{L - e_{\min}}{L} \right) \right] + Q_h \left( \frac{L - e_{\min}}{L} \right) \\ &= 1 \left[ \frac{55}{2} + 30 \left( \frac{15 - 0.70}{15} \right) \right] + 30 \left( \frac{15 - 0.70}{15} \right) \end{aligned}$$

$$\sum Q_{r\max} = 84.700 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} \sum Q_r(\max) &= \varphi_4 \left[ \frac{Q_{c1}}{2} + Q_{c2} \left( \frac{e_{\min}}{L} \right) \right] + Q_h \left( \frac{e_{\min}}{L} \right) \\ &= 1 \left[ \frac{55}{2} + 30 \left( \frac{0.70}{15} \right) \right] + 30 \left( \frac{0.70}{15} \right) \end{aligned}$$

$$\sum Q_r(\max) = 30.300 \text{ KN}$$

$$Q_{r\max} = \frac{\sum Q_{r\max}}{2} = \frac{84.700}{2} = 42.350 \text{ KN}$$

$$Q_r(\max) = \frac{\sum Q_r(\max)}{2} = \frac{30.3}{2} = 15.150 \text{ KN}$$

$$Q_r^*.min = mw \times Q_r.min$$

$mw = 2$  (Nombre des systèmes d'entrainement a un seul galet)

$$Q_r.min = 14.450KN$$

Donc:

$$Q_r^*.min = mw \times Q_r.min \rightarrow Q_r^*.min = 2 \times 14.450 = 28.900KN$$

$$K = \mu \sum Q_r^*.min \rightarrow K = 0.2 \times 28.900 = 5.780KN$$

D'où :

$$HL.1 = HL.2 = \varphi 5 \times \frac{k}{nr} = 1.5 \times \frac{5.780}{2}$$

$$HL.1 = HL.2 = 4.335KN$$

#### IV.6.2. Forces horizontales transversales (HT<sub>i</sub>):

Ces forces qui sont transmises par les galets du pont roulant à la poutre de roulement, ont pour cause:

- Le freinage du chariot.
- Le levage oblique de levage.
- Les irrégularités de la voie de roulement.

Le moment M résultant de la force d'entrainement qu'il convient d'appliquer au centre de la masse est contrebalancée (équilibrée) par les charges horizontales transversales HT,1 et HT,2

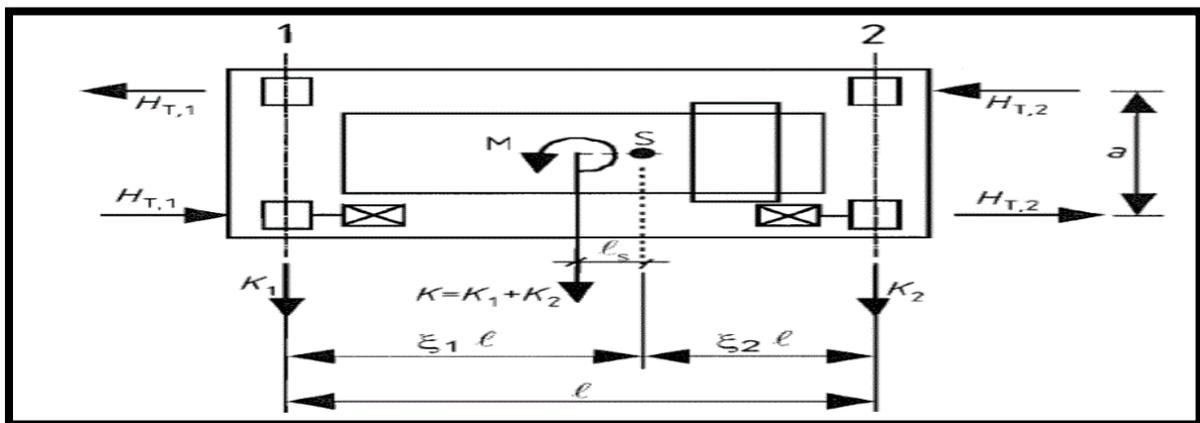


Figure IV.7 : Charges horizontales transversales HT.1.

$$HT.1 = \varphi 5 \times \xi 2 \times \frac{M}{a}$$

$$HT.2 = \varphi 5 \times \xi 1 \times \frac{M}{a}$$

Tel que:

$$a = 3.3m$$

$$\xi 2 = 1 - \xi 1 \rightarrow \xi 1 = \frac{\sum Q_r.max}{\sum Q_r}$$

$$\sum Qr = \sum Qr. max + \sum Qr. (max)$$

$$\sum Qr = 96.544 + 33.495 = 124.429KN$$

$$\Rightarrow \xi_1 = \frac{96.544}{130.039} = 0.742$$

$$\Rightarrow \xi_2 = 1 - 0.742 = 0.258$$

$$M = K \times Ls$$

$$M = K \times (\xi_1 - 0.5) \times L \rightarrow M = 5.780 \times (0.742 - 0.5) \times 15 = 20.981KN.m$$

Donc :

$$HT.1 = 1.5 \times 0.258 \times \frac{20.981}{3.3} = 2.460KN \rightarrow HT.1 = 2.460KN$$

$$HT.2 = 1.5 \times 0.742 \times \frac{20.981}{3.3} = 7.076KN \rightarrow HT.2 = 7.076KN$$

#### IV.6.3. Force horizontale de tamponnement HB, 2 liées au déplacement du chariot :

La charge horizontale tamponnement HT3 liées au déplacement du chariot peut être prise égale à 10% de la somme de la masse à lever et du poids du chariot, à condition que la charge utile soit libre de se balancer.

$$HT.2 = 10\%(Qc2 + Qh)$$

$$HT,2 = 10\%(30 + 30)$$

$$HT3 = 6.000KN$$

#### IV.6.4. Force longitudinales (HL. i) et forces transversales (HT. i) dues à la marche en crabe de l'appareil de levage:

→ Forces de guidage

$$S = f \times \lambda_{s,j} \times \sum Qr$$

$$f = 0.3 \times (1 - \exp(-250 \times \alpha))$$

$$Hs,1,j,l = f \times \lambda_{s,1,j,l} \times \sum Qr$$

$$Hs,2,j,l = f \times \lambda_{s,2,j,l} \times \sum Qr$$

$$Hs,1,j,T = f \times \lambda_{s,1,j,T} \times \sum Qr$$

$$Hs,2,j,T = f \times \lambda_{s,2,j,T} \times \sum Qr$$

L'angle  $\alpha$  est déterminé en fonction de:

- l'espace entre le dispositif de guidage et de rail (X).

- une variation dimensionnelle (raisonnable)

- l'usure des galets et des rails (y)

$$\alpha = \alpha_f + \alpha_v + \alpha_0 \leq 0.015 \text{ rad}$$

| Angles $\alpha_i$                       | Valeurs minimales de $\alpha_i$                           |
|---|---|
| $\alpha_F = \frac{0.75x}{\alpha_{ext}}$ | $0,75x \geq 10$ mm pour des flasques de galets guidage    |
| $\alpha_v = \frac{y}{\alpha_{ext}}$     | $y \geq 0.10b$ en mm pour des flasques de galets porteurs |
| $\alpha_0$                              | $\alpha_0 = 0.001$  |

- $\alpha_{ext}$ : est la distance longitudinale entre les dispositifs de guidage extérieur ou les flasques de galets porteurs sur les rails de guidage.  
 - $b$  : est la largeur de la tête du rail.  
 - $X$ : est le gabarit entre le rail et le dispositif de guidage (glissement latéral).  
 - $y$ : est l'usure du rail et le dispositif de guidage.  
 - $\alpha_0$ : est la tolérance angulaire entre la direction du rail et celle des galets.

**Tableau IV.4 : Tableau de définition de  $\alpha_f, \alpha_v, \alpha_0$**

Alors :

$$\alpha_F = \frac{0.75x}{\alpha_{ext}} = \frac{10}{3300} = 0.0030rad$$

$$\alpha_v = \frac{y}{\alpha_{ext}} = \frac{0.1(250)}{3300} = 0.007 rad$$

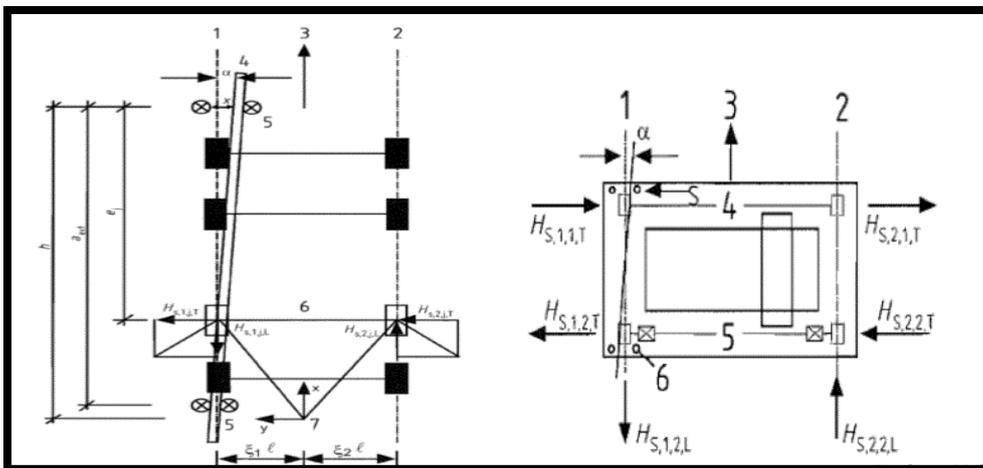
$$\alpha_0 = 0.001rad$$

$$\alpha = \alpha_f + \alpha_v + \alpha_0 = 0.0030 + 0.007 + 0.001 = 0.011$$

$\alpha=0.011 \leq 0.015$  rad.....Condition vérifiée.

$$f = 0.3 \times (1 - \exp(-250 \times \alpha))$$

$f = 0.28 \leq 0.3$ .....Condition vérifiée.



**Figure IV.8 : système de guidage assure par les flasques de galets**

⇒ Distance h :

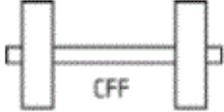
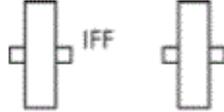
| Fixation des galets vis-à-vis des mouvements latéraux | Combinaison des paires de galets  |  | h  |
|---|---|--|--|
|   | couplés (C)   | indépendants (I)   |  |
| Fixe/fixe (FF)  |  |  | $\frac{m\xi_1\xi_2l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$ |

Tableau IV.5 : détermination de la distance h.

h: est la distance entre le centre instantané de rotationnel le dispositif de guidage concerné.

m: est le nombre de paires de galets coupés (m=0 pour des paires de galets indépendants).

ξ11 : est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 1.

ξ21 : est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 2.

l : est la portée de l'appareil

e1 :est la distance entre la paire de galets j et le dispositif de guidage concern

$$h = \frac{m \times \xi_1 \times \xi_2 \times l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j}$$

e1=0 (1 axe confondes ?)

e2 =3.3m

m =0 (pour des paires de galets indépendants)

$$h = \frac{m \times \xi_1 \times \xi_2 \times l^2 + \sum e_j^2}{\sum e_j} = \frac{0 + 3.3^2}{3.3} = 3.3m$$

Coefficient de force λ:

| Système | λs,j                      | λs,1,j,l | λs,1,j,T   | λs,2,j,l | λs,2,j,T   |
|---------|---------------------------|----------|--|----------|--|
| IFF     | $1 - \frac{\sum e_j}{nh}$ | 0        | $\frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ | 0        | $\frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$ |

Tableau IV.6 : Définition des valeurs λs,i,j.

n : est le nombre de paire de galets

h : est la distance entre le centre instantané de rotation et le dispositif de guidage concerné.

ξ11 : est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 1.

ξ21 : est la distance entre le centre instantané de rotation et le rail 2.

**Paire de galet 1 :**

$$\lambda_{s, 1,1,T} = 0.129$$

$$\lambda_{s, 2,1,T} = 0.371$$

**Paire de galet 2 :**

$$\lambda_{s,1,2,T} = 0$$

$$\lambda_{s,2,2,T} = 0$$

$$\lambda_{s,1,j,L} = 0$$

$$\lambda_{s,2,j,L} = 0$$

$$\lambda_{s,j} = 0.5$$

**Résultants de Calcul des forces horizontal (longitudinale HL et transversale HT) :**

$$H_{s,1,J,L} = f \times \lambda_{s,1,J,L} \times \sum Q_r = 0.28 \times 0 \times 130.039 = 0KN$$

$$H_{s,2,J,L} = f \times \lambda_{s,2,j,L} \times \sum Q_r = 0.28 \times 0 \times 130.039 = 0KN$$

$$H_{s,1,1,T} = f \times \lambda_{s,1,1,T} \times \sum Q_r = 0.28 \times 0.129 \times 130.039 = 4.697KN$$

$$H_{s,1,2,T} = f \times \lambda_{s,1,2,T} \times \sum Q_r = 0.28 \times 0 \times 130.039 = 0KN$$

$$H_{s,2,1,T} = f \times \lambda_{s,2,1,T} \times \sum Q_r = 0.28 \times 0.371 \times 130.039 = 13.508KN$$

$$H_{s,2,2,T} = f \times \lambda_{s,2,2,T} \times \sum Q_r = 0.28 \times 0 \times 130.039 = 0KN$$

$$S = f \times \lambda_{s,j} \times \sum Q_r = 0.28 \times 0.5 \times 130.039 = 13.065KN$$

**IV.7. Pré-dimensionnement de la poutre de roulement :**

La flèche admissible est obtenue quand les deux charges sont en position symétrie par rapport au milieu de la poutre.

- Travée de  $l=7.2m$  (sur deux appuis simple)

- Distance entre galets  $a=3.3m$ .



**Figure IV.9 : Disposition des charges des galets sur la poutre de roulement.**

La flèche admissible :  $f_{adm} = \frac{l}{600} = 1.2cm$

la flèche maximale :  $f_v$

Avec :  $f_{adm} \geq f_v$

$$f_v = \frac{Q_{r,max} \times l^3}{24 \times E \times I_y} \times \left( \frac{3 \times a}{l} - \frac{4 \times a^3}{l^3} \right) \leq \frac{l}{600}$$

$$I_y \geq \frac{Q_{r,max} \times l^2 \times 600}{24 \times E} \times \left( \frac{3 \times a}{l} - \frac{4 \times a^3}{l^3} \right)$$

$$I_y \geq \frac{48.272 \times 10^3 \times 7200^2 \times 600}{24 \times 2.1 \times 10^5} \times \left( \frac{3 \times 3300}{7200} - \frac{4 \times 3300^3}{7200^3} \right)$$

$$I_y \geq 29489.02$$

On adopte profilé HEB340 dont les caractéristiques sont les suivants:

| G        | h   | b   | t <sub>w</sub> | t <sub>f</sub> | r    | A                                   | h <sub>l</sub> | d   | ∅    | ρ <sub>min</sub> | ρ <sub>max</sub> | A <sub>L</sub>    | A <sub>G</sub>    |
|----------|-----|-----|----------------|----------------|------|-------------------------------------|----------------|-----|------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| kg/m     | mm  | mm  | mm             | mm             | mm   | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm             | mm  |      | mm               | mm               | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /t |
| HE 340 B | 134 | 340 | 300            | 12             | 21,5 | 27                                  | 170,9          | 297 | M 27 | 122              | 198              | 1,810             | 13,49             |

| G        | I <sub>y</sub>                      | W <sub>el,y</sub>                   | W <sub>pl,y</sub> ♦                 | i <sub>y</sub> | A <sub>yz</sub>                     | I <sub>z</sub>                      | W <sub>el,z</sub>                   | W <sub>pl,z</sub> ♦                 | i <sub>z</sub> | s <sub>s</sub> | I <sub>t</sub>                      | I <sub>w</sub>                      | S235 |   |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|---|
| kg/m     | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm<br>x10      | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm<br>x10      | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>6</sup><br>x10 <sup>9</sup> |      |   |
| HE 340 B | 134                                 | 36660                               | 2156                                | 2408           | 14,65                               | 56,09                               | 9690                                | 646,0                               | 985,7          | 7,53           | 86,63                               | 257,2                               | 2454 | 1 |

**Tableau IV.7 :** Caractéristiques de profilé HEB340.

**IV.7.1.Choix du rail :**

Pour ponts roulants et engins de levage, on choisit des rail A55.

D’après le tableau des profilés A-rail

| hr(mm) | P(kg/m) | I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> ) | A(cm <sup>2</sup> ) | W <sub>el,y</sub> (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> ) | W <sub>el,z</sub> (cm <sup>3</sup> ) |
|--------|---------|-----------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 65     | 31.8    | 178                               | 40.5                | 68.5                                 | 337                               | 44.9                                 |

**Tableau IV.8 :**Caractéristiques de profilé rail A55.

**IV.7.2.Les charges totales supportant par la poutre de roulement :**

Poids propre de la PDR : HEB340 →  $G_{prd} = 134 daN/m$

Poids de rail A55 →  $Gr = 31.8 daN/m$

Dévers  $G1 = 10\% G_{prd}$  du profil HEB340 =  $\frac{10 \times 134}{100} = 13.4 daN/m$

$G_{tot} = G_{prd} + Gr + G1 = 134 + 31.8 + 13.4 = 179.2 daN/m$

**$G_{tot} = 179.2 daN/m$**

**IV.8.Vérification aux états limites de service :**

La vérification de la flèche est faite suivant les deux directions verticales et horizontales.

**IV.8.1.Vérification de la flèche verticale pour HEA360 :**

- Charge répartie :

$$f_{1max} = \frac{5 \times G_{tot} \times l^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times 1.792 \times 10^{-2} \times (720)^4}{384 \times 2.1 \times 10^4 \times 36660} = 0.814 mm$$

**$f_{1max} = 0.814 mm$**

- Charge roulante :

$$f_{2max} = \frac{Qr, max \times l^3}{24 \times E \times Iy} \times \left( \frac{3 \times a}{l} - \frac{4 \times a^3}{l^3} \right)$$

$$f_{2max} = \frac{Qr, max \times a}{24 \times E \times Iy} \times (3 \times l^2 - 4 \times a^2)$$

$$= \frac{48.272 \times 10^3 \times 3300}{24 \times 21 \times 10^4 \times 36660 \times 10^4} \times (3 \times 7200^2 - 4 \times 3300^2) = 9.652mm$$

$$f_{2max} = \mathbf{9.652mm}$$

$$f_{max} = 10.466mm \leq f_{adm} = \frac{7200}{600} = 12mm \dots \dots \dots \text{vérifié.}$$

**IV.8.2.Vérification de la flèche horizontale pour la PDR :**

(Hs,2,1,t = 13.508KN)

$$f_{max} = \frac{Hs,2,1,t \times L^3}{48 \times E \times Iz,s} \text{ avec } Iz,s = \frac{tf \times b^3}{12} = \frac{21.5 \times 300^3}{12} = 4837.5cm^4 \text{ (inertie de la semelle superieure)}$$

$$f_{max} = \frac{13.508 \times 10^3 \times 7200^3}{48 \times 21 \times 10^4 \times 4837.5 \times 10^4} = 10.339mm < 12mm \dots \dots \dots \text{vérifié.}$$

**IV.9.Vérification aux états limites ultimes de la poutre de roulement :**

**IV.9.1.Vérification sous charge verticale :**

- a) **Vérification à l'état limite ultime (flexion) :**

IL faut vérifier que : **Msd < Mcrd**

$$Mcrd = \frac{Wel,y \times fy}{\gamma m1} = \frac{2156 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 460.6KN.m$$

$$Mcrd = \mathbf{460.6KN.m}$$

**Moment maximales dû à (Qr.max):**

$$RA \times L = R \times \left[ \frac{L}{2} - \frac{a}{4} \right] \text{ avec } R \text{ est résultante: } R = 2 \times Qr, max$$

$$RA = \frac{2 \times Qr, max}{L} \times \left[ \frac{L}{2} - \frac{a}{4} \right]$$

Le moment fléchissant maximal

$$Mf1 max = RA \times \left[ \frac{L}{2} - \frac{a}{4} \right] = \frac{2 \times Qr, max}{L} \times \left[ \frac{L}{2} - \frac{a}{4} \right] \times \left[ \frac{L}{2} - \frac{a}{4} \right]$$

$$Mf1 max = \frac{2}{L} Qr, max \left( \frac{L}{2} - \frac{a}{4} \right)^2$$

$$Mf1 max = 50.987KN.m$$

**Moment maximal dû au poids propre (PDR+RAIL):**

Gtot = 179.2daN/m

$$Mf2 max = \frac{Gtot \times L^2}{8} = \frac{179.2 \times 7.2^2}{8} = 11.612KN.m$$

⇒ **Le moment Max pondéré soit:**

$$Mfv \max = 1.35Mf2 \max + 1.5Mf1 \max$$

$$Mfv \max = (1.35 \times 11.612) + (1.5 \times 50.987)$$

$$Mfv \max = 92.156KN.m \rightarrow My, sd = 92.156KN.m$$

Alors :  $My, sd = 92.156 KN.m < Mcrd = 460.600 KN.m$  ..... vérifié.

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

La résistance ultime au cisaillement est donnée par:

$$Vpl, rd = \frac{Av \times fy}{\gamma m0 \times \sqrt{3}} \text{ avec: } Av.s = A - 2b * tf + (tw + 2r)tf$$

$$Av.s = 17090 - 2 \times (300 \times 21.5) + (12 + 54) \times 21.5 = 5609 \text{ mm}^2$$

$$Vpl, rd = \frac{5609 \times 235}{1 \times \sqrt{3}} = 716.014 \text{ KN}$$

$$Vpl, rd = 716.014 \text{ KN}$$

On calcul  $V_{sd \max}$

$$\text{On a } Vsd1 \max = Qrmax + \frac{Qrmax \times 2}{L} = 48.272 + \frac{48.272 \times 2}{7.2}$$

$$Vsd1 \max = 61.680 \text{ KN}$$

$$\text{Et } Vsd2 \max = \frac{Gtot \times L}{2} = \frac{1.792 \times 7.2}{2}$$

$$Vsd2 \max = 6.451 \text{ KN}$$

$$D'où Vsd \max = 1.35 (Vsd2 \max) + 1.5 (Vsd1 \max)$$

$$Vsd \max = 1.35(6.451) + 1.5(61.680)$$

$$Vsd \max = 101.228 \text{ KN}$$

$$Vsd \max = 101.228 \text{ KN} < Vpl, rd = 716.014 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{ vérifié}$$

**IV.9.2. Vérification sous charge horizontale :**

**a) Vérification à l'état limite ultime (flexion)**

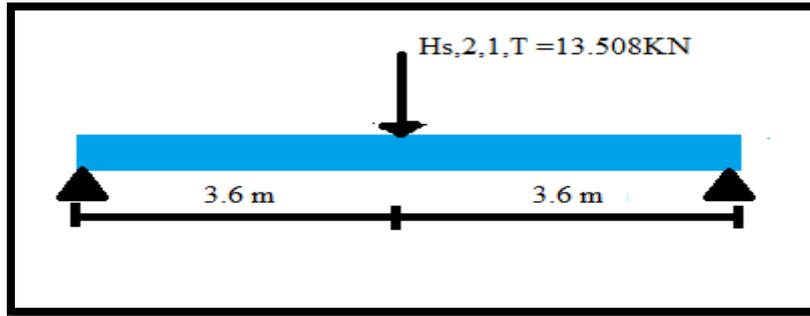
il faut vérifié que :  $Mz sd \leq Mcrd$

$$Mcrd = Melz, rd = \frac{(Welz \times fy)}{\gamma m1} = \frac{322.5 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 68.897 \text{ KN.m}$$

$$(\text{ tel que } Welz = \frac{Is, z}{Vz} = \frac{4837.5 \times 10^4}{150} = 322.5 \text{ cm}^3)$$

$$Mcrd = Melz, rd = 68.897 \text{ KN.m}$$

Moment maximal dû à (Hs,2,1,T)  $Hs,2,1,T = 13.508 \text{ KN}$



**Figure IV.10 : Disposition de la charge horizontale**

$$Mz, sd = \frac{Hs, 2,1, T \times L}{4} = \frac{13.508 \times 7.2}{4} = 24.314 \text{ KN.m}$$

D'où :  **$Msd = 24.314 \text{ Kn.m} < Mcrd = 68.897 \text{ KN.m}$**  ..... vérifie.

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

La résistance ultime au cisaillement est donnée par :

$$Vpl, rd = \frac{Avz \times fy}{\gamma M0 \times \sqrt{3}} \text{ avec } Av.z = b * tf = 300 * 21.5 = 6450mm^2$$

$$Vpl, rd = \frac{6450 \times 235}{1 \times \sqrt{3}} = 875.118 \text{ KN}$$

Donc :  **$Vpl, rd = 875.118 \text{ KN}$**

On calcul  $Vsd, max$  :

$$\text{On a : } Vsd1, max = HS ,2, 1 , T + \frac{HS ,2,1, T \times (L-a)}{L} = 13.508 + \frac{13.508 \times (7.2-3.3)}{7.2} = 20.824 \text{ KN}$$

**$Vsd1 max = 20.824 \text{ KN}$**

$$Vsd2 max = \frac{Gtot \times L}{2} = \frac{1.792 \times 7.2}{2} = 6.541 \text{ KN}$$

**$Vsd2 max = 6.541 \text{ KN}$**

D'où :  $Vsd max = 1.35(Vsd2 max) + 1.5(Vsd1 max)$

$$Vsd max = 1.35 (6.541) + 1.5 (20.824) = 40.066 \text{ KN}$$

**$Vsd max = 40.066 \text{ KN}$**

**$Vsd max = 40.066 \text{ KN} < Vpl, rd = 875.118 \text{ KN}$**  ..... vérifié

**IV.9.3.Verification sous charge horizontale et verticale (flexion bi axiale) :**

$$\frac{Msdy}{Mely rd} + \frac{Msdz}{Melz rd} \leq 1$$

$$\frac{92.156}{460.60} + \frac{24.314}{68.897} \leq 1 = 0.552 < 1$$

D'ou la flexion bi-axiale provoquee par les actions verticales et les actions horizontales laterales est verifiee .

**IV.9.4. Résistance de l'âme aux charges des galets :**

a) **La résistance a l'écrasement :** (EC03 .partie 1-1article 5.7.3)

$$\text{On a } R_{y,rd} = S_y \times t_w \times \frac{f_{yw}}{\gamma_{m1}}$$

$$S_y = 2(hr + tf) \times \sqrt{\left[1 - \left(\gamma_{m0} \times \sigma_f, \frac{ed}{f_y}\right)^2\right]}$$

*hr* : hauteur de rail

$$hr = 65\text{mm}$$

$$tf = 21.5\text{mm}$$

Avec  $\sigma_{fed}$ : la contrainte longitudinale dans la semelle.

$$\sigma_{fed} = \frac{M_{y,sd}}{W_{ely}} = \frac{92.156 \times 10^{-6}}{2156 \times 10^{-3}} = 42.743 \text{ KN}$$

$$\sigma_{fed} = 42.743 \text{ KN}$$

$$S_y = 2(65 + 21.5) \times \sqrt{\left[1 - \left(1 \times \frac{42.743}{235}\right)^2\right]} = 170.114 \text{ mm}$$

$$S_y = 170.114 \text{ mm}$$

$$R_{y,rd} = \frac{170.114 \times 12 \times 235}{1.1} = 436.110 \text{ KN}$$

$$R_{y,rd} = 436.110 \text{ KN}$$

$$R_{y,rd} = 436.110 \text{ KN} > M_{y,sd} = 92.156 \text{ KN.m} \dots \dots \dots \text{CV}$$

b) **La résistance à l'enfoncement local** (EC03 .partie 1-1article 5.7.4)

La résistance de calcul  $R_{a,rd}$  l'enfoncement local d'un âme de section I H U est déterminé par la formule :

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

$$\text{Avec : } S_s = 86.63\text{mm}$$

$$R_{a,rd} = 0.5 \times 12 \times \sqrt{[210000 \times 235]} \times \frac{\left[ \sqrt{\frac{21.5}{12}} + 3 \left(\frac{12}{21.5}\right) \left(\frac{86.63}{243}\right) \right]}{1.1} = 74.106 \text{ KN}$$

$$R_{a,rd} = 74.106 \text{ KN}$$

$$\text{On a } M_{s,d} = \frac{R \times L^2}{8} = \frac{48.272 \times 7.2^2}{8} = 312.80 \text{ KN.m}$$

$$M_{s,d} = 312.8 \text{ KN.m}$$

$$\text{Et } M_{c,rd} = M_{pl,rd} = \frac{W_{ely} \times f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{2156 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 460.60 \text{ KN.m}$$

$$M_{pl,rd} = 460.60 \text{ KN.m}$$

Donc :

- $F_{sd} = HT_{max} = 13.508 \text{ KN} < R_{ard} = 74.106 \text{ KN} \dots\dots\dots cv$
- $M_{sd} = 312.80 \text{ KN.m} < M_{pl, Rd} = 460.60 \text{ N.m} \dots\dots\dots cv$
- $\frac{F_{sd}}{R_{ard}} + \frac{M_{sd}}{M_{c rd}} = \frac{13.508}{74.106} + \frac{312.800}{460.600} = 0.861 < 1.5 \dots\dots\dots cv$

**IV.9.5. Résistance au voilement :** (EC3 page 177)

Il faut vérifier que si :  $\frac{d}{tw} > 69\varepsilon$  (risque de voilement)

Avec :  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$

D'où :  $\frac{d}{tw} = \frac{243}{12} = 20.25 < 69(1) \dots\dots\dots cv$

Donc pas risque de voilement.

**IV.9.6. Résistance au Déversement :**

Le moment résistant de déversement est donne par :

$M_{b, rd} = X_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ely} \times f_y}{\gamma_{m1}}$

$X_{LT}$  : est le facteur de réduction pour le déversement obtenue par le tableau 5.5.2 EC3

Avec :  $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT}$  et  $X = X_{LT}$

$\beta_w = 1$  section de classe 1

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\left(\frac{\beta_w \cdot W_{el} \cdot y \cdot f_y}{M_{cr}}\right)} = \left[\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1}\right] (\beta_w)^{0.5}$

$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 EI_z}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left(\frac{K}{K_w}\right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot G I_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 \cdot Z_g) \right\}$  **EC3 Art F. 1. 2(1)**

$C_1 = 1.046, C_2 = 0.43$ , (cas de deux charge concentré),.....tableau F.1.2 EC03

$K = 1, K_w = 1$  (pour une poutre appuyée aux des extrémités).....tableau F.1.2 EC03

$Z_g = Z_a - Z_s = \frac{H}{2} - 0 = \frac{340}{2} - 0 = 170 \text{ mm}$

$I_w = 2454000 \text{ cm}^6, G = 0.4E = 0.4 \times 2.1 \times 10^5 = 84000 \text{ N/mm}^2.$

Avec  $z_g$  est la distance de point d'application de la charge au centre de cisailment

$M_{cr} = \frac{1.046 \times 3.14^2 \times 21000 \times 9690}{(1 \times 720)^2} \left\{ \left[ \left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \frac{2454000}{9690} + \frac{(720)^2 \cdot 0.4 \times 257.2}{3.14^2 \times 9690} + (0.430 \cdot 170)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.430 \times (-170)) \right\}$

$M_{cr} = 4048.266 \times \left[ (253.250 + 558.229 + 53.436)^{\frac{1}{2}} + 7.31 \right]$

**$M_{cr} = 1486.482 \text{ KN.m}$**

$$M_{ply} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{2408 \times 10^3 \times 235}{1} = 565.880 \text{ KN.m}$$

$$\mathbf{M_{ply} = 565.880 \text{ KN.m}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{565.88}{1486.482}} = 0.616$$

$\bar{\lambda}_{LT} = 0.616 > 0.4$  Donc il y a un risque de déversement.

Courbe(a)  $\rightarrow X_{LT} = 0.8900$

On tire  $X_{LT} \rightarrow$  a partir du **tableau 5.5.2 de L'EC03**.

Profile lamine  $\rightarrow \beta_w = 1$

$$M_{brd} = X_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m1}} = 0.8900 \times 1 \times \frac{2408 \times 10^3 \times 235}{1.1} = 457.848 \text{ KN.m}$$

$$\mathbf{M_{brd} = 457.848 \text{ KN.m}}$$

$$M_{sdy} = \frac{R \times L^2}{8} = \frac{48.272 \times 7.2^2}{8} = 312.802 \text{ KN.m}$$

$$\mathbf{M_{sdy} = 312.802 \text{ KN.m}}$$

$$\mathbf{M_{sdy} = 312.802 \text{ KN.m} < M_{brd} = 457.848 \text{ KN.m} \dots \dots \dots cv}$$

La stabilité au diversement de la poutre de roulement est vérifier.

## IV.10.La fatigue :

### IV.10.1.Exigence relative à l'évaluation de la fatigue :

(1) Il convient d'effectuer une évaluation a la fatigue conforme à l'EN 1993-1-9 pour toutes les zones critiques.

(2) Il n'est pas nécessaire d'effectuer une évaluation a la fatigue pour les chemins de roulement si le nombre de cycles a plus de 50 % de la pleine charge utile n'excède pas  $C_0$ .

NOTE La valeur numérique de  $C_0$  peut être définie dans l'Annexe Nationale. La valeur recommandée est 104.

(3) Une évaluation a la fatigue n'est généralement requise que pour les composants du chemin de roulement qui sont soumis à des variations de contrainte dues aux charges verticales de pont roulant.

NOTE Les variations de contrainte par rapport aux charges de pont roulant horizontales sont généralement négligeables.

Toutefois, dans certains cas, les dispositifs d'appui horizontaux peuvent être soumis à une fatigue provoquée par les charges de pont roulant latérales. De même, pour certains types de chemins de roulement et de fonctionnement du pont roulant, la fatigue peut être le résultat d'actions d'accélération et de freinage multiples.

**IV.10.2.Vérification de la fatigue :**

On doit vérifier la condition de [l'EC3 P9 :(8.3)]

$$\left( \frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^5 \leq 1,0$$

Avec :

$$\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E2} \leq \frac{\Delta \sigma_c}{\gamma_{Mf}} \dots \dots \dots \text{(EC3-P9 : 8(2)).}$$

$$\Delta \sigma_{E2} = \lambda \cdot \varphi_{fat} \cdot \Delta \sigma_p \dots \dots \dots \text{(EC3-P6 : 9.4.1(4)).}$$

$$\gamma_{Ff} = 1,0 \dots \dots \dots \text{(EC3-P6 : 9.3(1)).}$$

$$\gamma_{Mf} = 1,15 \dots \dots \dots \text{(EC3-P9 : Tableau 3.1).}$$

Les valeurs  $\lambda$  peuvent être prises dans le (Tableau 2.12 de l'EC1 P3) selon la classification de l'appareil de levage, notre cas le pont roulant est classifié dans la classe S3.

$\lambda = 0.397$  pour les contraintes normales

$\lambda = 0.575$  pour les contraintes de cisaillement

Le coefficient d'impact dynamique équivalent de détérioration  $A_{fat}$  dans des conditions normales peut être pris.

Egal a:  $\varphi_{fat} = 1.1$  (EC1-P3:2.12.1(7))

(4) La charge de fatigue peut être spécifiée comme suit :

$$Q_{e,i} = \varphi_{fat} \times \lambda_i \times Q_{max,i} \quad \rightarrow \quad \text{(EC1 - P3: (2.16))}$$

Ou :

$Q_{max,i}$  est la valeur maximale de la charge caractéristique verticale du galet  $i$  :

- Pour contraintes normal :

$$Q_{ei} = 1.1 \times 0.397 \times 48.272 = 21.080 \text{ KN}$$

- Pour contraintes de cisaillement :

$$Q_{ei} = 1.1 \times 0.575 \times 48.272 = 30.532 \text{ KN}$$

**IV.10.3.Vérification de section transversale :**

a) le moment sollicitant sous  $G_{tot}$  :

$$M_{y,G} = \frac{G_{tot} \times l^2}{8} = \frac{1.792 \times 7.2^2}{8} = 11.612 \text{ KN.m}$$

b) moment max et min sollicitant sous la charge roulant :

$$M_{y,max} = \frac{P \times L}{4} = \frac{48.272 \times 7.2}{4} = 86.889 \text{ KN.m}$$

$$M_{y,min} = 0 \text{ KN.m}$$

**IV.10.3.1. Contrainte normal à la semelle supérieure :**

Catégorie de détail 80mpA

$$\Delta\sigma_{E2} = \max\sigma_x - \min\sigma_x$$

$$\text{Max}\sigma_x = \frac{M_{\text{max}} + M_{y,G}}{W_{\text{ely}}} = \frac{(86.889 + 11.612) \times 10^2}{2156} = 4.568 \text{ KN.m}$$

$$\text{Max}\sigma_x = 4.568 \text{ KN.m}$$

$$\text{Min}\sigma_x = \frac{M_{\text{min}} + M_{y,G}}{W_{\text{ely}}} = \frac{(0 + 11.612) \times 10^2}{2156} = 0.538 \text{ KN.m}$$

$$\text{Min}\sigma_x = 0.538 \text{ KN.m}$$

$$\Delta\sigma_{E2} = 4.568 - 0.538 = 4.030 \text{ KN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{E2} = 4.030 \text{ KN/cm}^2$$

On la condition suivant :

$$\gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} \rightarrow \Delta\sigma_C \geq \gamma_{Ff} \times \Delta\sigma_{E2} \times \gamma_{Mf}$$

$$\Delta\sigma_C \geq 1 \times 4.030 \times 1.15 = 4.634 \text{ KN/cm}^2$$

$\Delta\sigma_C$  Valeur de référence de la résistance à la fatigue à  $NC = 2$  millions de cycles

Les Tableaux 8.1 à 8.9 de l'EC3 Partie1-9 demandent pour certains détails que les étendues de Contrainte soient basées sur les contraintes principales.

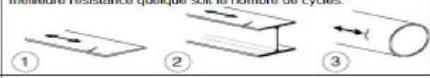
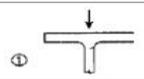
**Catégorie de détail :**

La désignation numérique attribuée à un détail constructif particulier pour une direction donnée de contraintes afin d'indiquer la courbe de résistance à la fatigue à appliquer pour évaluer sa résistance (ce nombre correspond à la résistance de référence à la fatigue  $\Delta\sigma_{Cen} \text{ N/mm}^2$ )

Calcul de  $\Delta\sigma_C$  :

$$\text{Avec : } \Delta\sigma_C = \frac{8}{1.15} = 6.95 \text{ KN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_C = 6.95 \text{ KN/cm}^2 > 4.634 \text{ KN/cm}^2 \text{ c'est vérifiée}$$

| catégorie | détail constructif   | Description  | Exigences   |
|-----------|--|--|---|
| 160       | <p>NOTE: La courbe de résistance à la fatigue associée à la catégorie 160 est la plus haute. Aucun détail ne peut atteindre une meilleure résistance quelque soit le nombre de cycles.</p>  | <p>Produits laminés et extrudés :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Plaques et larges plats</li> <li>2) Profilés laminés</li> <li>3) Tubes sans soudure, soit rectangulaires soit circulaires.</li> </ol>  | Détails 1) à 3) :<br>Arêtes vives, défauts de surface et de laminage améliorés par meulage jusqu'à élimination et réalisation d'une transition régulière.                                 |
| 80        |   | <ol style="list-style-type: none"> <li>12) Assemblages à simple recouvrement avec boulons calibrés</li> <li>12) Assemblages à simple recouvrement avec boulons non précontraints injectés.</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>12) ... section nette..</li> <li>12) ... section nette..</li> </ol>  |
| 160       |   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Sections laminées en I ou H.</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Etendue de contrainte verticale de compression <math>4\sigma_{vert}</math> dans l'âme due aux charges roulantes.</li> </ol>                     |
| 100       |   | <ol style="list-style-type: none"> <li>6) et 7) : Produits laminés et extrudés, comme les détails 1), 2), 3).</li> </ol>   | <p>Détails 6) et 7) :</p> $\sigma \text{ calculé à partir de : } \sigma = \frac{FS(t)}{R}$  |
| 125       |   | <p>Soudures longitudinales continues :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Soudure automatique pleine pénétration exécutée des deux côtés ;</li> <li>2) Soudure d'angle automatique, extrémités des plats de renfort vérifiées selon le détail 6) ou 7) du Tableau 6.5.</li> </ol> | <p>Détails 1) et 2) :</p> <p>Aucun arrêt/reprise n'est admis sauf si la réparation est exécutée par un spécialiste et l'exécution correcte de la réparation contrôlée par inspection.</p> |

FigureIV.11 : certaines catégories de détails avec leurs descriptions.

IV.10.3.2. Contrainte normal à la semelle inférieure :

Catégorie de détail 125mpA

$$\Delta\sigma_{E2} = \max\sigma_x - \min\sigma_x$$

$$\text{Max}\sigma_x = \frac{M_{y\max} + M_y, G}{W_{ely}} = \frac{(86.889 + 11.612) \times 10^2}{2156} = 4.568 \text{ KN.m}$$

**Maxσx = 4. 568 KN. m**

$$\text{Min}\sigma_x = \frac{M_{y\min} + M_y, G}{W_{ely}} = \frac{(0 + 11.612) \times 10^2}{2156} = 0.538 \text{ KN.m}$$

**Minσx = 0. 538 KN. m**

$$\Delta\sigma_{E2} = 4.568 - 0.538 = 4.030 \text{ KN/cm}^2$$

**ΔσE2 = 4. 030 KN/cm²**

On la condition suivant :

$$\gamma F_f \times \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma C}{\gamma M_f} \rightarrow \Delta\sigma C \geq \gamma F_f \times \Delta\sigma_{E2} \times \gamma M_f$$

$$\Delta\sigma C \geq 1 \times 4.030 \times 1.15 = 4.634 \text{ KN/cm}^2$$

Calcul de ΔσC :

$$\text{Avec : } \Delta\sigma C = \frac{12.5}{1.15} = 10.869 \text{ KN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma C = 10.869 \text{ KN/cm}^2 > 4.634 \text{ KN/cm}^2 \text{ c'est vérifiée}$$

IV.10.3.3. Vérification de l'âme :

a) Cisaillement de l'âme :

**Sous le poids propre :**

$$V_{sdz} = \frac{G_{tot} \times L}{2} = \frac{1.792 \times 7.2}{2} = 6.451 \text{ KN}$$

$$V_{sdz} = 6.451 \text{ KN}$$

$$\tau_{xz} \approx 0 \text{ KN/cm}^2$$

**Sous la charge roulante :**

$$\max V_z = Q_{rmax} + \frac{Q_{rmax} \times 2}{L} = 48.272 + \frac{48.272 \times 2}{7.2} = 61.680 \text{ KN}$$

$$\max V_z = 61.680 \text{ KN}$$

$$\min V_z = -4 \times \frac{Q_{rmax} \times 2}{L} = -4 \times \frac{48.272 \times 2}{7.2} = -26.817 \text{ KN}$$

$$\min V_z = -26.817 \text{ KN}$$

$$\max \tau_x = \frac{\max V_z}{A_w} = \frac{\max V_z}{d_w \times t_w} = \frac{61.680}{24.3 \times 1.2} = 2.115 \text{ KN}$$

$$\max \tau_x = 2.115 \text{ KN}$$

$$\min \tau_x = \frac{\min V_z}{A_w} = \frac{\min V_z}{d_w \times t_w} = \frac{-26.817}{24.3 \times 1.2} = -0.919 \text{ KN}$$

$$\min \tau_x = -0.919 \text{ KN}$$

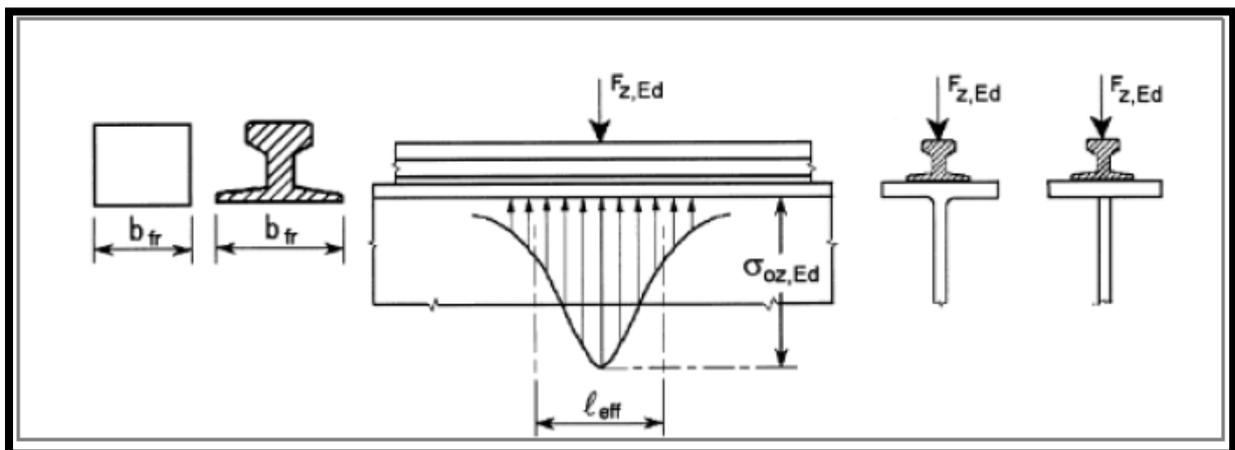
**b) Contraintes de compression locales exercées dans l'âme :**

$$\sigma_{zEd} = \frac{F_{zd}}{l_{eff} \times t_w} \text{ (EC3.P6 : 5.4.2)}$$

$$I_{rf} = I_r + I_{f,eff};$$

$$I_{f,eff} = \frac{t_f^3 \times b_{ef}}{12};$$

$$b_{eff} = b_{fr} + d_r;$$



**Figure IV.12 : longueur charge efficace**

$$d_r = h_{rail} + t_f + r = 65 + 21.5 + 27 = 113.5 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = b_{rail} + d_r = 150 + 102 = 252 \text{ mm} < b = 300 \text{ mm}$$

$$I_{f. \text{eff}} = \frac{t_f^3 \times b_{ef}}{12} = \frac{2.15^3 \times 25,2}{12} = 20.870 \text{ cm}^4$$

$I_r$  : Moment d'inertie de flexion du rail de pont roulant selon son axe neutre horizontal, en prenant l'usure en compte, comme indiqué en article **5.3.3(3).EC3P6**  $\Rightarrow I_r = I_r - 25\%$   
 $(I_r) = 133.5 \text{ cm}^4$

$$I_{rf} = I_r + I_{f. \text{eff}} = 133.5 + 20.870 = 154.37 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{eff}} = 3,25 \cdot [I_{rf} / t_w]^{1/3}$$

$$I_{\text{eff}} = 3,25 \cdot [154.37 / 1.2]^{1/3} = 16.406 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{zd}}{I_{\text{eff}} \times t_w} = \frac{30.532}{16.406 \times 1.2} = 1.550 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\parallel} = 0.2 \times \sigma_{\perp} = 0.2 \times 1.550 = 0.31 \text{ KN/cm}^2$$

$$\max \tau_{\parallel} = 2.115 + 0.31 = 2.425 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\min \tau_{\parallel} = -0.919 - 0.31 = -1.229 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \tau_{E2} = 2.425 - 1.229 = 3.654 \text{ KN/cm}^2$$

Calcul de  $\Delta \tau_C$ :

$\Delta \tau_C$  Valeur de référence de la résistance à la fatigue à  $NC = 2$  millions de cycles

$$\text{Avec } \Delta \tau_C = \frac{10}{1.15} = 8.695 \text{ KN/cm}^2$$

$\Rightarrow \Delta \sigma_C = 8.69 \text{ N/cm}^2 > \Delta \tau_{E2} = 3.654 \text{ KN/cm}^2$  c'est vérifiée.

#### IV.10.3.4. Contraintes locales provoquées dans l'âme par l'excentrement des charges des galets appliquées par l'intermédiaire d'un rail :

Pour une évaluation de la fatigue, il convient de déterminer la contrainte de flexion

Provoquée dans une âme raidie par l'excentrement des charges des galets appliquées par

L'intermédiaire d'un rail .Il peut être tenu compte de la torsion de la semelle

Supérieure entre raidisseurs d'âme transversaux (EC3P6 :5.6.3).

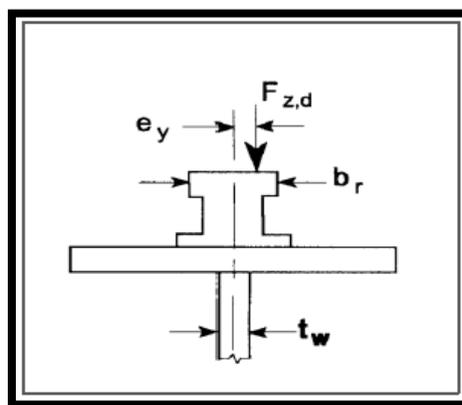


Figure IV.13 : torsion de la semelle supérieure

**Les efforts locaux dans l'âme à la flexion :**

$$T_{sd} = F_{sd} = F_z \cdot d \cdot e_y \quad (\text{EC3P6 : 5.6.3. (2)}).$$

$$e_y = 0.25 \times b_r ; \quad \text{Mais } e_y \geq 0.5t_w = 0.5 \times 12 = 6\text{mm}$$

$b_r$  largeur du boudin du rail ;

$t_w$  Épaisseur de l'âme de la poutre

$$e_y = 0.25 \times b_r = 0.25 \times 55 = 13.75\text{mm} = 0.01375\text{m}$$

$$T_{sd} = F_{sd} = F_z \cdot d \cdot e_y = 0.01375 \times 30.532 = 0.419\text{KN.m}$$

**Contrainte de flexion provoquée dans l'âme  $\sigma_{T,Ed}$ :**

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6T_{sd}}{at_w^2} \eta \cdot \tanh(\eta) \quad (\text{EC - P 6 : 5.6.3 (4)})$$

$$\eta = \left[ \frac{0,75 a t_w^3}{I_t} \cdot \frac{\sinh^2(\pi d_w / a)}{\sinh(2\pi d_w / a) - 2\pi d_w / a} \right]^{0,5} \quad (\text{EC 3- P 6: 9.4.2.2 (1)})$$

$$a = 720\text{cm}$$

$$d_w = 30 - 2 \times 2.15 = 25.7\text{cm}$$

$$t_w = 1.2\text{cm}$$

$$I_t = \frac{1}{3} \times 30 \times 2.15^3 = 99.383\text{cm}^4$$

$$\eta = \sqrt{\left[ \frac{0.75 \times 720 \times 1.2^3}{99.383} \times \frac{\sinh^2\left(\pi \times \frac{25.7}{720}\right)}{\sinh\left(\frac{2 \times \pi \times 25.7}{720}\right) - \left(\frac{2 \times \pi \times 25.7}{720}\right)} \right]} = 2.251$$

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6T_{sd}}{at_w^2} \eta \cdot \tanh(\eta).$$

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \times 0.419 \times 10^2}{720 \times 1.2^2} \cdot 2.251 \cdot \tanh(2.251) = 0.545 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{T,Ed\max} = 0.545 + 0.545 = 1.09\text{KN/cm}^2$$

$$\sigma_{T,Ed\min} = 0.545 - 0.545 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Max } \sigma_{T,Ed} = 1.09\text{KN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_c = \frac{16}{1.25} = 12.5 \text{ KN/cm}^2$$

$$\Delta\sigma_E < \Delta\sigma_c$$

**IV.10.3.5. Interaction entre effort tranchant et la contrainte dans l'âme :**

$$\left[ \frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E2}}{\Delta\sigma_c} \right]^3 + \left[ \frac{\gamma_{FF} \cdot \Delta\tau_{E2}}{\Delta\tau_c} \right]^5 \leq 1.0 \quad (\text{EC 3- P 9: 8 (3)})$$

$$\left(\frac{1 \times 1.09}{\frac{16}{1.15}}\right)^3 + \left(\frac{3.654}{\frac{10}{1.15}}\right)^5 \leq 1,0 \rightarrow 0.017 < 1 \dots \dots \dots cv$$

**IV.11.pré-dimensionnement du support du chemin de roulement :**

Le chemin de roulement est supporté par une console qui est sollicitée par les efforts suivant :

- Le poids propre de la poutre de roulement et du rail.
- Le poids propre de pont roulant.
- Les actions verticales des galets du pont roulant.

La console est pré dimensionnée en vérifiant la condition de résistance suivante :

$$M_{sdy} \leq M_{r dy} = \frac{W_{ely} \times f_y}{\gamma_{m0}} \rightarrow W_{ely} \geq \frac{M_{sdy} \times \gamma_{m0}}{f_y}$$

Ou :

$M_{sdy}$  : moment qui sollicite la console.

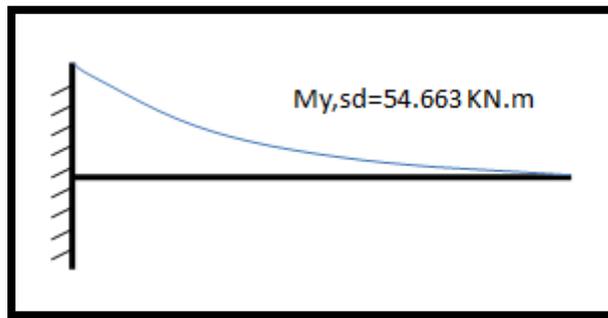
$$M_{sdy} = 1.35(F \times 0.4)$$

F : l'effort tranchant sur la console obtenue lorsque l'un des galets est au voisinage de l'appui.

$$F = V_{sdmax} = KN$$

$$M_{sdy} = 1.35 \times 101.228 \times 0.4 = 54.663 KN.m$$

**$M_{sdy} = 54.663 KN.m$**



**Figure IV.14 : le moment maximal.**

D'où :

$$W_{ely} \geq \frac{M_{sdy} \times \gamma_{m0}}{f_y} = \frac{54.663 \times 10^2 \times 1}{23.5}$$

$$W_{ely} \geq 232.608 cm^3$$

On adapte **HEB160**comme une console (corbeau)

Du chemin de roulement.

**IV.11.1.Vérification à l'effort tranchant :**

La condition à vérifier  **$V_{sd} < V_{rd}$**  et  **$V_{sd} < V_{rd} \times 0.5$**

$$V_{sd} = 101.228 \text{ KN}$$

$$V_{rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\gamma_{m0} \times \sqrt{3}} \text{ avec } A_{vz} = 17.51 \text{ cm}^2$$

$$V_{rd} = \frac{17.51 \times 23.5}{1 \times \sqrt{3}} = 237.570 \text{ KN}$$

$$\mathbf{V_{rd} = 237.570 \text{ KN}}$$

$$V_{sd} = 101.228 \text{ KN} < V_{rd} = 237.570 \text{ KN}$$

$$V_{sd} = 101.228 \text{ KN} < 0.5 \times V_{rd} = 118.785 \text{ KN}$$

HEB160 est vérifiée vis-à-vis l'effort tranchant.

#### **IV.12.Conclusion :**

Les chemins de roulement sont sollicités par des charges fortes, généralement concentriques et mobiles. Le profile HEB340 résiste aux différentes charges roulantes verticales, et les charges horizontales, donc on l'adopte comme poutre de roulement.

**CHAPITRE V**  
**ETUDES DES**  
**CONTREVENTEMENTS**

### **V.1.Introduction :**

Les contreventements sont des dispositifs conçus pour reprendre les efforts dus au vent, séisme, freinage longitudinal du pont roulant et de les acheminer vers les fondations. Ils sont disposés en toiture, dans le plan des versants (poutres au vent), et en façade (palées de stabilité).

### **V.2.Rôle des systèmes de contreventement :**

Les contreventements ont pour fonctions principales de :

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

### **V.3.Calcul de la poutre au vent en pignon :**

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

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

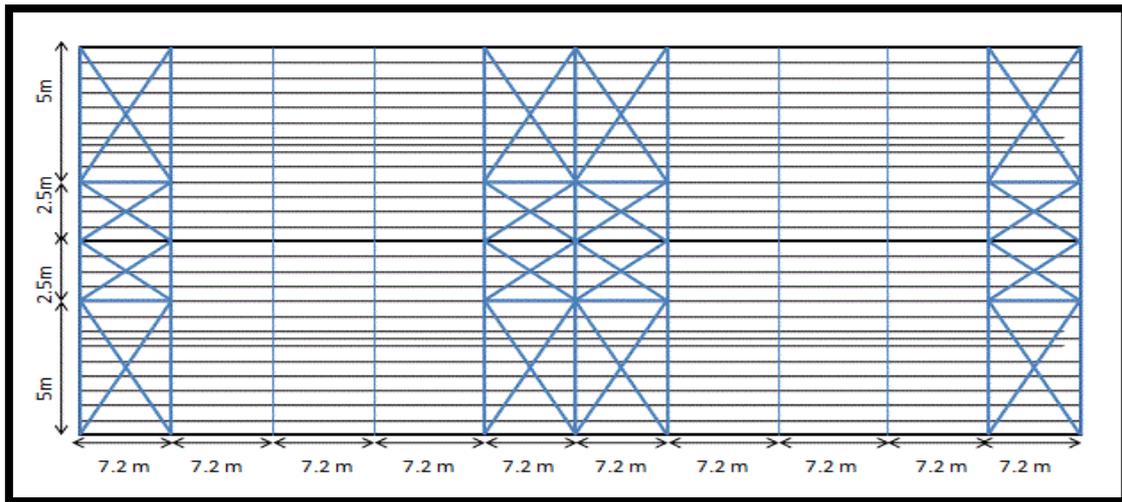


Figure V.1 : Vue en plan de la poutre au vent.

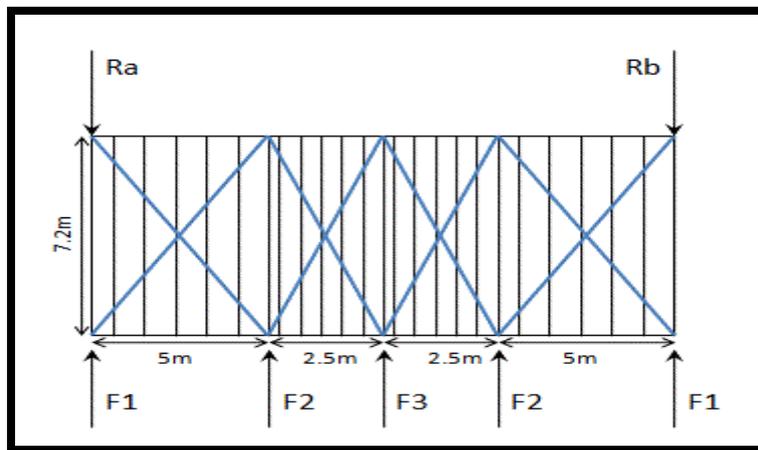


Figure V.2 : Schéma statique de la poutre au vent.

On a :

- ✓  $W_i$  : Vent extrême suivant le pignon  $w_i = -0.793 \text{KN/m}^2$
- ✓  $F_{fr}$  : Force de frottement sur la toiture.
- ✓ Comme on a indiqué dans l'étude climatique nous avons de force de frottement.  
 $F_{fr} : 65.831 \text{KN}$
- ✓  $S_i$  : La surface sous le vent.
- ✓ Notre projet comporte deux poutres au vent ce qui fait pour chacune d'entre elle ; on a  $n=5$ noeuds.

$$F_i = 1.25 \left[ 1.5 \times \left[ (w_i \times s_i) + \frac{F_{fr}}{n} \right] \right]$$

$$\frac{F_{fr}}{n} = \frac{64.252}{5} = 12.850 \text{KN}$$

Les résultats de  $F_i$  sont résumés dans le tableau ci-dessous :

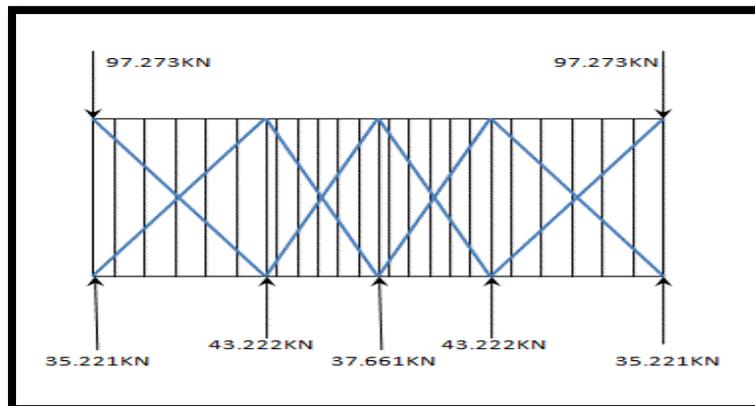
| Nœud                       | 1      | 2      | 3      |
|----------------------------|--------|--------|--------|
| $h_i(\text{m})$            | 5.988  | 6.862  | 7.3    |
| $L_i(\text{m})$            | 2.5    | 3.75   | 2.5    |
| $S_i (\text{m}^2)$         | 7.485  | 12.866 | 9.125  |
| $W_i.S_i(\text{KN})$       | 5.935  | 10.202 | 7.236  |
| $\frac{Ffr}{n}(\text{KN})$ | 12.850 | 12.850 | 12.850 |
| $F_i(\text{KN})$           | 35.221 | 43.222 | 37.661 |

**Tableau V.1 : Les résultats de  $F_i$ .**

### V.3.1. Calcul des réactions :

$$R_b = R_a = F_1 + F_2 + \frac{F_3}{2} = 97.273 \text{ KN}$$

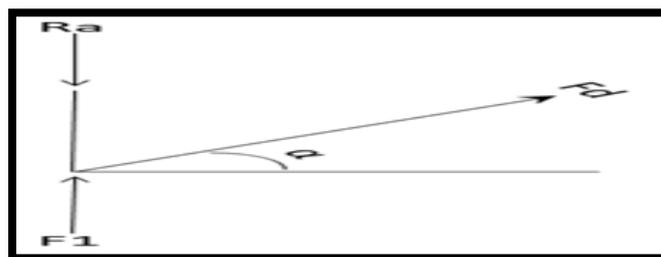
Les valeurs des réactions et de forces exercées sur la poutre au vent sont présentées sur la figure suivante.



**Figure V. 3 : valeurs des forces et réaction.**

#### V.3.1.1. Calcul des efforts de traction dans les diagonales :

Par la méthode des coupures, on établit que l'effort  $F_d$  dans les diagonales d'extrémité (les plus sollicitées) est donné comme suit :



**Figure V.4 : Isolation du nœud 1.**

$$\tan^{-1} \alpha = \tan^{-1} \frac{7.2}{5} = 55.22^\circ$$

$$\sum Fy = 0 \rightarrow -Ra + F1 + Fd \sin \alpha = 0$$

$$\Leftrightarrow Fd = \frac{Ra - F1}{\sin \alpha} = 75.548 \text{ KN}$$

### V.3.1.2. Calcul de la section brute A de la diagonale :

$$Nsd \leq Npl,rd = \frac{A \times fy}{\gamma m0}$$

$$A \geq \frac{Nsd \times \gamma m0}{fy} = \frac{75.548 \times 1}{23.5} = 3.21 \text{ cm}^2$$

$$A > 3.210 \text{ cm}^2$$

On adopte une cornière : L(50\*50\*8)  $\rightarrow$  A=7.41 cm<sup>2</sup>

### V.3.1.3. Calcul de la section nette :

$$A_{nette} = A1 + \varepsilon A2$$

$$A1 = (5 \times 0.8) - (1.3 \times 0.8) = 2.96 \text{ cm}^2$$

$$A2 = (5 - 0.8) \times 0.8 = 3.36 \text{ cm}^2$$

$$\varepsilon = \frac{3(A1)}{3(A1) + A2} = \frac{3(2.96)}{3(2.96) + 3.36} = 0.725$$

$$A_{nette} = 2.96 + (0.725 \times 3.36) = 5.396 \text{ cm}^2$$

### V.3.1.4. Vérification à la résistance ultime de la section :

$$Nsd \leq Nu,rd$$

$$Nu,rd = \frac{0.9 \times A_{net} \times fu}{\gamma m2} = \frac{0.9 \times 5.396 \times 36}{1.25} = 139.864 \text{ KN}$$

$$Nt,sd = 75.548 \text{ KN} \leq Nu,rd = 139.864 \text{ KN}$$

Donc la cornière L (45x 45 x5) convient pour les diagonales de la poutre au vent.

## V.3.2. Vérification des montants de la poutre au vent :

### V.3.2.1. Vérification de la panne montante :

- Vérification de la section à la résistance :

La formule de vérification est la suivante :

$$\frac{Nsd}{Npl,rd} + \frac{My,sd}{Mply,sd} + \frac{Mz,sd}{Mplz,sd} \leq 1$$

Donc :

Le poids propre réel G de vient :

$$G = [(P_{couverture} + P_{accessoire}) \cdot d] + P_{panne}$$

$$G = [(13 + 1.5) \cdot 1.5] + 18.8 = 40.55 \text{ kg/ml}$$

$$G = 0.405 \text{KN/ml}$$

$$G_z = 0.405 \cdot \cos 9.922^\circ = 0.398 \text{KN/ml}$$

$$G_y = 0.405 \cdot \sin 9.922^\circ = 0.069 \text{KN/ml}$$

La combinaison la plus défavorable à L'ELU et L'ELS devient :

### L'ELU

Selon les deux axes y et z, les charges maximales à L'ELU revenant à la panne sollicitée en tenant compte de la continuité est :

$$q_{uz} = 1.25 \cdot (0.398 + 1.5 \cdot (-2.581)) = -4.341 \text{KN/ml}$$

$$q_{uy} = 1.25 \cdot (1.35 \cdot 0.069) + (1.5 \cdot 0.129) = 0.357 \text{KN/ml}$$

### L'ELS :

$$q_{sz} = 1.25 \cdot (0.398 + (-2.581)) = -2.72 \text{KN/ml}$$

$$q_{sy} = 1.25 \cdot (0.069) + (0.129) = 0.237 \text{KN/ml}$$

### Donc

#### Axe zz :

$$M_{y, sd} = \frac{q_{uz} \times l^2}{8} = \frac{4.341 \times 7.2^2}{8} = 28.129 \text{KN.m}$$

#### Axe yy :

$$M_{z, sd} = \frac{q_{uy} \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = \frac{0.357 \times \left(\frac{7.2}{2}\right)^2}{8} = 0.578 \text{KN.m} \dots \dots \dots (\text{Présence des liernes}).$$

$$N_{sd} = F_2 = 43.222 \text{KN}$$

$$N_{pl, rd} = \frac{7.41 \times 23.5}{1} = 174.135 \text{KN}$$

$$M_{pl, y, rd} = W_{ply} \cdot f_y / Y_{m0} = 166 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2} / 1 = 39.010 \text{KN.m}$$

$$M_{pl, z, rd} = W_{plz} \cdot f_y / Y_{m0} = 101 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2} / 1 = 23.735 \text{KN.m}$$

### Donc :

$$\frac{43.222}{174.135} + \frac{28.129}{39.01} + \frac{0.578}{23.735} \leq 1 \rightarrow 0.993 < 1 \text{ c'est vérifier.}$$

### Vérification de la panne montante au déversement :

#### a) Semelle supérieure :

La semelle supérieure qui est comprimée sous l'action des charges verticales descendantes de déverser. Vu qu'elle est fixée à la couverture il n'y a pas donc le risque de déversement.

**b) Semelle inférieure :**

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

**Combinaison à L'ELU :**

$$G-1.5w$$

$$Qz.sd = G \cos\alpha - 1.5 w$$

$$Qy.sd = 1.35G \sin\alpha$$

$$Nsd = F2=43.222KN$$

Avec :

$$G = 0.405KN/ml \quad \ll \text{charge permanente} \gg$$

$$V = W = -2.581KN/ml \quad \ll \text{vent de soulèvement} \gg$$

$$Nsd = F2 = 43.222KN \quad \ll \text{charge de compression revenant à la panne intermédiaire} \gg$$

**Charge de flexion :**

$$Qz.sd = G \cos\alpha - 1.5 w = 0.405 \cdot \cos 9.922^\circ - 1.5 \cdot (2.581) = -3.472KN/ml$$

$$Qy.sd = 1.35G \sin\alpha = 1.35 \cdot 0.405 \cdot \sin 9.922^\circ = 0.094daN/ml$$

$$My = \frac{qz \times l^2}{8} = \frac{3.472 \times 7.2^2}{8} = 22.498KN.m$$

$$Mz = \frac{qy \times \left(\frac{l}{2}\right)^2}{8} = \frac{0.094 \times 3.6^2}{8} = 0.152KN.m$$

**Charge de compression :**

$$Nsd = F2=43.222KN$$

**La formule de déversement aux instabilités est la suivante :**

Flexion déviée composée avec risque de déversement :

$$\frac{N}{X_{min} \times N_{ply}} + \frac{KLT \times My}{XLT \times M_{ply}} + \frac{Kz \times Mz}{M_{plz}} \leq 1$$

On a:

$$N_{pl,rd} = \frac{7.41 \times 23.5}{1} = 174.135KN$$

$$M_{pl,y,rd} = W_{ply} \cdot f_y / Y_{m0} = 166 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2} / 1 = 39.010 KN.m$$

$$M_{pl,z,rd} = W_{plz} \cdot f_y / Y_{m0} = 101 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2} / 1 = 23.735 KN.m$$

**Calcul de coefficient de réduction  $\chi_{min}$  :**

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

Flambement par rapport à l'axe fort y-y :

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + [\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2]^{0.5}}$$

$$\phi_y = 0.5[1 + \alpha_y(\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\bar{\lambda}_y = \left(\frac{\lambda_y}{\lambda_1}\right) [\beta_a]^{0.5}$$

$\alpha$  : Facteur d'imperfection correspondant à la courbe de flambement appropriée, donné par le tableau 5.5.1 de L'Eurocode 3.

Flambement par rapport à l'axe faible z-z :

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + [\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2]^{0.5}}$$

$$\phi_z = 0.5[1 + \alpha_z(\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\bar{\lambda}_z = \left(\frac{\lambda_z}{\lambda_1}\right) [\beta_a]^{0.5}$$

Avec :  $\beta_A = 1$  pour la classe 1

$$\lambda_1 = 93.9\varepsilon \text{ avec } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 1 \text{ avec } f_y = 235 \text{ Mpa}$$

D'où  $\lambda_1 = 93.9$

$$\begin{cases} \lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{720}{7.42} = 97.03 \\ \lambda_z = \frac{l_{kz}}{i_z} = \frac{360}{2.05} = 175.609 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{97.03}{93.9} \times 1 = 1.033 \\ \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{175.609}{93.9} \times 1 = 1.87 \end{cases}$$

$\bar{\lambda}_{max} = 1.711 > 0.2$  = Donc il y a eu lieu de tenir compte du risque de flambement.

**Courbe de flambement :**

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1.97 > 1.2$$

Axe de flambement y-y → courbe de flambement « a » →  $\alpha_y = 0.21$

Axe de flambement z-z → courbe de flambement « b » →  $\alpha_z = 0.34$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + [\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2]^{0.5}} \dots \dots \dots \text{avec } \chi_y \leq 1$$

$$\phi_y = 0.5[1 + \alpha_y(\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21(1.033 - 0.2) + 1.033^2] = 1.121$$

$$\rightarrow \chi_y = 0.378 < 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + [\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2]^{0.5}} \dots \dots \dots \text{avec } \chi_z \leq 1$$

$$\phi_z = 0.5[1 + \alpha_z(\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34(1.87 - 0.2) + 1.87^2] = 2.532$$

$$\rightarrow \chi_z = 0.176 < 1$$

$$\chi_{\min} = \min(\chi_y; \chi_z) \rightarrow \min(0.378; 0.176)$$

$$\chi_{\min} = 0.176$$

### Calcul de coefficient de réduction pour ledéversement:

- Calcul de moment critique pour L=360cm :

$$M_{cr} = \frac{C_1 \pi^2 EI_z}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot GIt}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 \cdot Z_g) \right\} \text{EC3 Art F. 1. 2(1)}$$

$$M_{cr} = \frac{1.132 \times 3.14^2 \times 21000 \times 101}{(1 \times 360)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot \frac{7430}{101} + \frac{(360)^2 \cdot 0.4 \times 4.79}{3.14^2 \times 101} + (0.459 \times 9)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.459 \times (-9)) \right\}$$

$$M_{cr} = 182.659 \times \left[ (73.564 + 249.356 + 17.065)^{\frac{1}{2}} + 4.131 \right]$$

$$M_{cr} = 41.22 \text{ KN.m}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{39.01}{41.22}} = 0.972 \rightarrow \bar{\lambda} = 0.972 > 0.4 \text{ Donc il y'a risque de déversement.}$$

$\alpha = 0,21$  Profilé laminé

$$\bar{\lambda} = 0.972 \rightarrow XLT = 0.7339$$

### Calcul des coefficients K et KLT :

$$\mu_{LT} = 0.15 \times \bar{\lambda}_z \times \beta_{MLT} - 0.15 \quad \text{mais } \mu_{LT} \leq 0.9$$

Avec :

$\beta_{MLT}$  : est facteur de moment uniforme équivalent pour le déversement.

$\beta_{MLT} = 1.3$  : pour une poutre simplement appuyée avec une charge répartie

Donc :

$$\mu_{LT} = 0.214 < 0.9$$

$$KLT = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N}{\chi_z \times A \times f_y} = 1 - \frac{0.214 \times 43.222}{0.176 \times 7.41 \times 23.5} = 0.698$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y(2 \times \beta_{MLT} - 4) + \frac{W_{ply} - W_{ely}}{W_{ely}} = 1.033(2 \times 1.3 - 4) + \frac{166 - 146}{146}$$

$$\mu_y = -1.309 < 0.9$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z(2 \times \beta_{MLT} - 4) + \frac{W_{plz} - W_{elz}}{W_{elz}} = 1.87(2 \times 1.3 - 4) + \frac{34.6 - 22.2}{22.2}$$

$$\mu_z = -2.054 < 0.9$$

$$K_z = 1 - \frac{\mu_z \times N}{\chi_z \times A \times f_y} = 1 - \frac{-2.054 \times 43.222}{0.176 \times 7.41 \times 23.5} = 3.896 > 1.5$$

On prend  $K_z = 1.5$ .

**Vérification de condition :**

$$\frac{N}{X_{min} \times N_{ply}} + \frac{K_{LT} \times M_y}{X_{LT} \times M_{ply}} + \frac{K_z \times M_z}{M_{plz}} \leq 1$$

$$\frac{4322.2}{0.176 \times 17413.5} + \frac{0.698 \times 2249.8}{0.7339 \times 3901} + \frac{1.5 \times 15.279}{2373.5} = 1.968 > 1$$

La stabilité au flambement avec risque de déversement de la panne montante n'est pas vérifiée avec IPE180

On doit augmenter la section des pannes montantes.

Pour que toutes les pannes aient une même hauteur on fait choisi HEB180.

$$N_{pl,rd} = \frac{65.3 \times 23.5}{1} = 1534.550 \text{ KN}$$

$$M_{pl,y,rd} = W_{ply} \cdot f_y / Y_{m0} = 481.4 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2} / 1 = 113.129 \text{ KN.m}$$

$$M_{pl,z,rd} = W_{plz} \cdot f_y / Y_{m0} = 231 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2} / 1 = 54.285 \text{ KN.m}$$

**Calcul de coefficient de réduction  $\chi_{min}$  :**

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

$$\begin{cases} \lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{720}{7.66} = 93.99 \\ \lambda_z = \frac{l_{kz}}{i_z} = \frac{360}{4.57} = 78.77 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{93.99}{93.9} \times 1 = 1 \\ \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{78.77}{93.9} \times 1 = 0.838 \end{cases}$$

$\bar{\lambda}_{max} = 1 > 0.2$  = Donc il y a eu lieu de tenir compte du risque de flambement.

**Courbe de flambement :**

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{180} = 1 < 1.2$$

Axe de flambement y-y → courbe de flambement « b » →  $\alpha_y = 0.34$

Axe de flambement z-z → courbe de flambement « c » →  $\alpha_z = 0.49$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + [\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2]^{0.5}} \dots \dots \dots \text{avec } \chi_y \leq 1$$

$$\phi_y = 0.5[1 + \alpha_y(\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.34(1 - 0.2) + 1^2] = 1.136$$

$$\rightarrow \chi_y = 0.377 < 1$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + [\phi_z^2 + \bar{\lambda}_z^2]^{0.5}} \dots \dots \dots \text{avec } \chi_z \leq 1$$

$$\phi_z = 0.5[1 + \alpha_z(\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.49(0.838 - 0.2) + 0.838^2] = 1.007$$

$$\rightarrow \chi_z = 0.367 < 1$$

$$\chi_{min} = \min(\chi_y; \chi_z) \rightarrow \min(0.377; 0.367)$$

$$\text{Donc : } \chi_{min} = 0.367$$

#### Calcul de coefficient de réduction pour le déversement:

- Calcul de moment critique pour L=360cm de HEB200 :

$$M_{cr} = \frac{C1\pi^2EIz}{(KL)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{K}{K_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(KL)^2 \cdot GIt}{\pi^2EIz} + (C2 \cdot Z_g)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C2 \cdot Z_g) \right\} \text{EC3 Art F. 1. 2(1)}$$

$$M_{cr} = \frac{1.132 \times 3.14^2 \times 21000 \times 1363}{(1 \times 360)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{1}{1} \right)^2 \cdot \frac{93750}{1363} + \frac{(360)^2 \cdot 0.4 \times 42.16}{3.14^2 \times 1363} + (0.459 \times 9)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (0.459 \times (-9)) \right\}$$

$$M_{cr} = 2464.994 \times \left[ (68.782 + 162.633 + 17.065)^{\frac{1}{2}} + 4.131 \right]$$

$$M_{cr} = 490.392 \text{KN.m}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{113.129}{490.392}} \Rightarrow \bar{\lambda} = 0.480 > 0.4 \text{ Donc il y'a risque de déversement.}$$

$$\alpha = 0,21 \text{ Profilé laminé}$$

$$\bar{\lambda} = 0.480 \rightarrow X_{LT} = 0.9261$$

#### Calcul des coefficients K et KLT :

$$\mu_{Lt} = 0.15 \times \bar{\lambda}_z \times \beta_{MLT} - 0.15 \quad \text{mais } \mu_{LT} \leq 0.9$$

Avec :

$\beta_{MLT}$  : est facteur de moment uniforme équivalent pour le déversement.

$\beta_{MLT} = 1.3$  : pour une poutre simplement appuyée avec une charge répartie

Donc :

$$\mu_{LT} = 0.013 < 0.9$$

$$K_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N}{\chi_z \times A \times f_y} = 1 - \frac{0.013 \times 43.222}{0.367 \times 65.3 \times 23.5} = 0.999$$

$$\mu_y = \tilde{\lambda}_y(2 \times \beta_{MLT} - 4) + \frac{W_{ply} - W_{ely}}{W_{ely}} = 1 \times (2 \times 1.3 - 4) + \frac{481.4 - 425.7}{425.7}$$

$$\mu_y = -1.269 < 0.9$$

$$\mu_z = \tilde{\lambda}_z(2 \times \beta_{MLT} - 4) + \frac{W_{plz} - W_{elz}}{W_{elz}} = 0.838(2 \times 1.3 - 4) + \frac{231 - 151.4}{151.4}$$

$$\mu_z = -0.647 < 0.9$$

$$K_z = 1 - \frac{\mu_z \times N}{\chi_z \times A \times f_y} = 1 - \frac{-0.647 \times 43.222}{0.367 \times 65.3 \times 23.5} = 1.049 < 1.5$$

**Vérification de condition :**

$$\frac{N}{X_{min} \times N_{ply}} + \frac{K_{LT} \times M_y}{X_{LT} \times M_{ply}} + \frac{K_z \times M_z}{M_{plz}} \leq 1$$

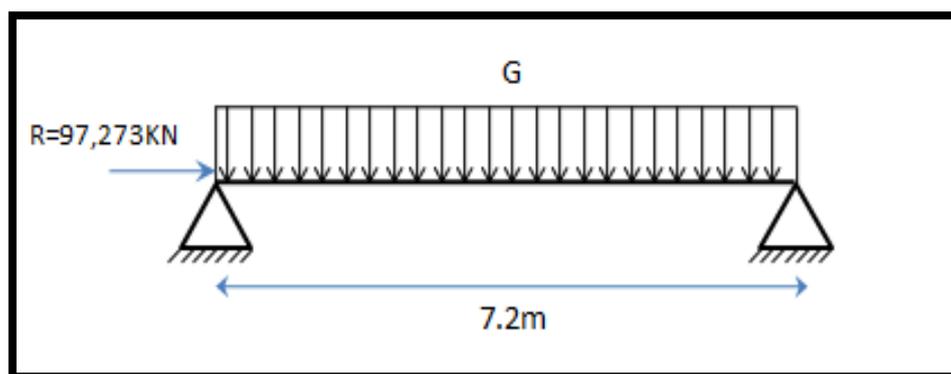
$$\frac{4322.2}{0.376 \times 153455} + \frac{1 \times 2249.8}{0.9261 \times 11312.9} + \frac{1.049 \times 15.279}{5428.5} = 0.292 < 1 \dots \dots \dots CV$$

⇒ Donc HEB180 convient comme une poutre montante.

**V.4.Calcul de la poutre sablière :**

Les poutres sablières assurent la liaison entre différents portique transversaux, leurs évitant un important déplacement longitudinal notamment en cas de séisme.

La poutre sablière est considérée comme une barre de contreventement verticale, donc elle est soumise à un effort horizontal et son poids propre, d’où la vérification va se faire en flexion composée.



**Figure V.5 : schéma statique de la poutre sablière.**

La poutre sablière du portique longitudinal intermédiaire reçoit deux réactions de la poutre au vent de pignon calculé précédemment.

$$R_A = 97.273KN$$

**V.4.1. Pré dimensionnement :**

$$A > \frac{N_{sd} \times \gamma_{m0}}{f_y}$$

$$A > \frac{97.273 \times 1}{23.5} = 4.13 \text{ cm}^2$$

On adopte : HEB180 avec  $A = 65.3 \text{ cm}^2$ ,  $P = 51.2 \text{ kg/ml}$ .

**V.4.2. Vérification de la résistance de la poutre sablière :****V.4.2.1. Vérifications aux instabilités :****a) vérification au flambement :**

$$\begin{cases} \lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{720}{7.66} = 93.99 \\ \lambda_z = \frac{l_{kz}}{i_z} = \frac{720}{4.57} = 157.54 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{93.99}{93.9} \times 1 = 1 \\ \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{cr}} \times \sqrt{\beta_a} = \frac{157.54}{93.9} \times 1 = 1.667 \end{cases}$$

$\bar{\lambda}_{max} = 1.667 > 0.2$  = Donc il y a eu lieu de tenir compte du risque de flambement.

Courbe de flambement :

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{180} = 1 < 1.2$$

Axe de flambement z-z  $\rightarrow$  courbe de flambement « c »  $\rightarrow \alpha_z = 0.49$

$$\chi_{min} = 0.2842$$

$$N_{RD} = 0.2842 \times 65.3 \times 23.5 / 1.1 = 436.119 \text{ KN}$$

$$N_{Sd} = 97.273 \text{ KN} \Rightarrow N_{Sd} < N_{RD} \text{ (c'est vérifiée).}$$

**V.4.2.2. Vérification à l'effort normal :**

$$N_{Sd} \leq \min[0.25 N_{Pl}; 0.5 \times t_w \cdot h_w \cdot f_y]$$

Tel que :

$$N_{Pl} = A \cdot f_y / \gamma_{m0} = 65.3 \times 23.5 / 1 = 1534.55 \text{ KN}$$

$$0.25 \times 1534.55 = 383.637 \text{ KN}$$

$$0.5 \times t_w \cdot h_w \cdot f_y = 0.5 \times 0.85 \times 12.2 \times 23.5 = 121.847 \text{ KN}$$

$$N_{Sd} = 97.273 \text{ KN} > 0.5 \times t_w \cdot h_w \cdot f_y = 121.847 \text{ KN} \Rightarrow \text{la condition est vérifiée.}$$

Donc la stabilité est vérifiée avec la poutre sablière HEB180.

**V.5. Contreventement vertical du long-pan :**

Les palées de stabilités vertical sont destinées à assurer la stabilité des parois ou files d'ossature, vis-à-vis des efforts horizontaux longitudinaux dus à la réaction de la poutre au

vent du pignon et les réactions dus au freinage du pont roulant produites par les accélérations et les décélérations des structures des appareils de levage et transmettre aux fondations:

### V.5.1. Dimensionnement de palée de stabilité :

Le dimensionnement s'effectue avec les diagonales tendues, et vérifier les diagonales comprimées en admettant qu'elles sont flambent,

$$H1=97.273KN$$

RA et RB : réactions des appuis

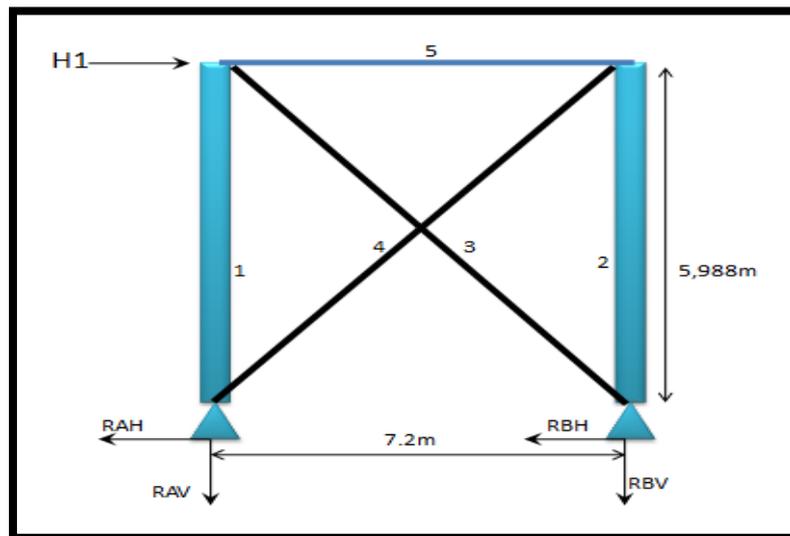


Figure V.6 : schéma statique de la palée de stabilité sur long pan.

#### V.5.1.1. Calcul de stabilité :

On a:

$$H1 = 97.273 \text{ KN}$$

$$\sum Fy = 0 \rightarrow RA + RB = 0 \rightarrow RA = -RB$$

$$\sum Fy = 0 \rightarrow (RB * L) - (Hi * h) = 0 \rightarrow RB = \frac{Hi * h}{L}$$

$$RB = \frac{(97.273 \times 5.988)}{7.2} = 80.889 \text{ KN}$$

Calcul RH :

$$Fx = 0 \rightarrow -2RH + Hi = 0 \rightarrow RH = \frac{Hi}{2}$$

$$RH = 40.449 \text{ KN}$$

Calcul l'effort interne:

$$\tan^{-1}\left(\frac{5.988}{7.2}\right) = 39.36^\circ$$

$$\sum Fx = 0 \rightarrow -RH + N4 \cos 39.36 = 0 \rightarrow N4 = \frac{RH}{\cos 39.36} = \frac{40.449}{0.773} = 52.327 \text{ KN}$$

$$N4 = Nsd = 52.327 \text{ KN}$$

Calcul de diagonale D1:

$$D = \sqrt{5.988^2 + 7.2^2} = 9.364m$$

→ Section des diagonales :

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

$$A \geq \frac{52.327 \times 10^3}{235} \times 1.1 = 244.934mm^2 \rightarrow A = 2.449cm^2$$

donc on adopte un cornier 45\*45\*4 de A=3.49cm<sup>2</sup>.

Vérification la diagonale à la traction:

Il faut vérifier que:  $N_{sd} \leq N_{Rd}$

$$N_{sd} = 52.327 \text{ KN}$$

$N_{Rd} = \min(N_{pl.Rd}, N_{u.Rd}, N_{net.Rd})$  . avec:

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} \text{ avec } \gamma_{m0} = 1.1 \rightarrow N_{pl.Rd} = 74.559KN$$

$$N_{u.Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{m2}} \text{ avec } \gamma_{m2} = 1.25 \text{ et } A_{net} = A - (t \times b_0)$$

Section du boulon  $\Phi 12 \rightarrow b_0 = 14mm$

$$A_{net} = 349 - (4 \times 14) = 293 \text{ mm}^2$$

$$N_{u.Rd} = \frac{0.9 \times 293 \times 360}{1.25} = 75.945KN$$

$$N_{net} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{m0}} = 62.595KN$$

$$N_{Rd} = \min(74.559KN, 75.945KN, 62.595KN)$$

$$N_{Rd} = 62.595KN$$

$N_{sd} \leq N_{Rd} \rightarrow 52.327KN \leq 62.595KN$  ..... Condition vérifié.

Donc on adopte cornière L (45\*45\*4).

**CHAPITRE VI**

**ETUDE**

**PORTIQUE**

### VI.1.Introduction :

Les portiques, qui constituent l'ossature principale des bâtiments, sont composée de traverses (ou fermes), qui supportent les pannes, et de poteaux, qui supportent les traverses.

Leur conception varie en fonction :

- de leur portée : on utilise les profils laminés à sections constantes pour des petites portées (jusqu' à 40 m), des PRS à sections variables pour des longues portées (entre 40 et 80m), et des portiques à treillis pour les très longues portées (par exemple : hangars aéronautiques entre 80 et 140 m).
- du schéma statique de la structure en général et du portique en particulier. Ce schéma statique dépend aussi de la nature du sol, de l'existence ou non de ponts roulants, de la nature des équipements utilisés (machines vibrantes ou non, etc...) - du procédés technologique utilisé par le constructeur.

### VI.2.Portique de projet :

Le portique de notre projet présent les dimensionnes suivantes :

- La hauteur des poteaux égale à 5.988m
- La hauteur de faitage égale à 7.3m
- La portée entre les poteaux 15m
- La longueur des traverses 7.613m
- La position des supports de la poutre de roulement à niveau  $h=+4.5m$

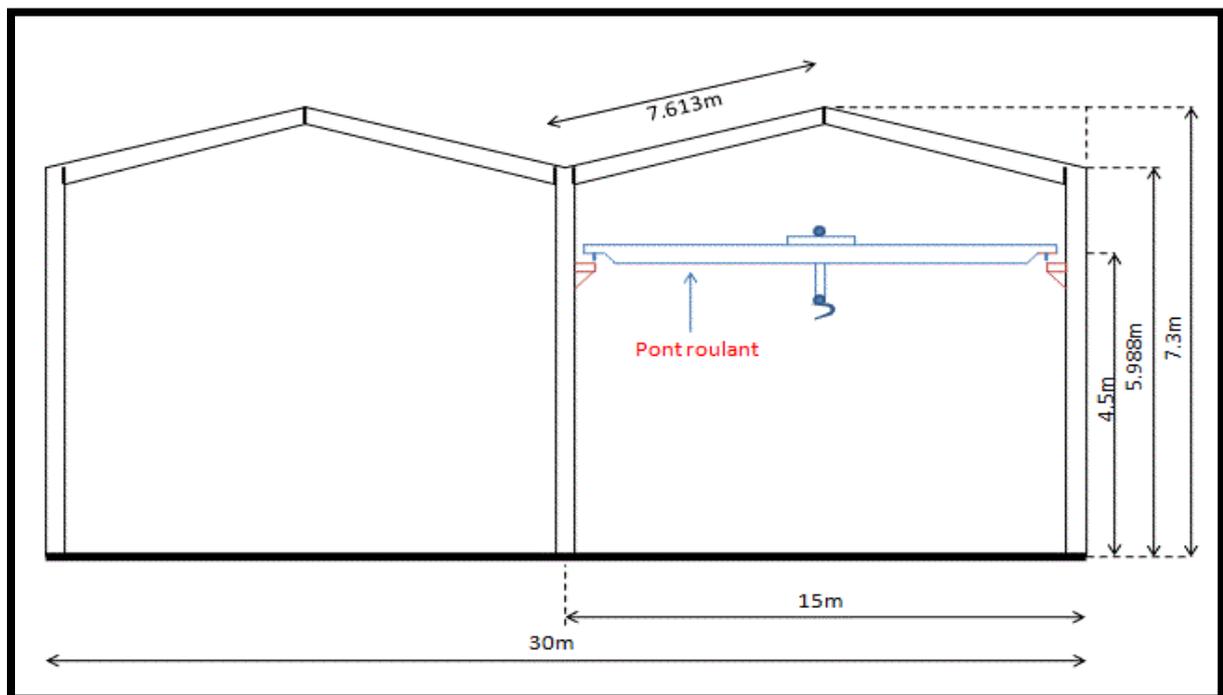


Figure VI.1 : vue de portique en 2D.

**VI.2.1. Le portique le plus sollicité :**

Le portique le plus sollicité par les différentes charges soit permanentes ou variables c'est le portique intermédiaire le plus chargé par le vent et autres charges par rapport le portique de rive.

**VI.3. Définir les cas de chargement :**

Pour dimensionner un portique, dans le cadre des actions définies initialement (tels que le poids propre, le vent, la neige, le pont roulant,), il faut définir tous les cas de chargements possibles inclus dans une action.

**VI.3.1. Les charges permanentes (G) :**

Le portique intermédiaire supporte plusieurs charges permanentes tant que :

Les traverses supportent une charge/ml de Poids propre des pannes et la couverture :

$$= (G_{IPE180/e}) \times 7.2 + (\text{poids couverture} \times 7.2) = (18.8/1.5) \times 7.2 + (13 \times 7.2) = 183.840 \text{ daN/ml} = 1.838 \text{ KN/ml.}$$

Les poteaux supports des charges concentrées de poids propre des lisses avec le bardage :

$$= (G_{UPE80} \times 7.2) + (\text{poids bardage} \times 7.2 \times e) = (7.9 \times 7.2) + (13 \times 7.2 \times 1.4) = 1.879 \text{ KN/ml.}$$

**VI.3.2. La Neige (N) :**

D'après l'étude climatique on a déterminé que  $S_2 = 0.503 \text{ KN/m}^2$  et  $S_1 = 0.378 \text{ KN/m}^2$

La charge/ml de la neige sur les traverses du milieu égale à  $S_2 = 0.503 \times 7.2 = 3.621 \text{ KN/ml}$ .

La charge/ml de la neige sur les traverses de rive égale à  $S_1 = 0.378 \times 7.2 = 2.721 \text{ KN/ml}$ .

**VI.3.3. Le pont roulant (P) :**

La poutre de roulement avec le pont roulant en charge génère des charges verticales et horizontales transversales concentrées sur les deux corbeaux.

Charges verticales :

$$Q_{r, \max} = 96.544 \text{ KN}$$

$$Q_{r, (\max)} = 33.495 \text{ KN}$$

Charges horizontales :

$$HT, 2 = 7.076 \text{ KN et } HT, 1 = 2.46 \text{ KN}$$

**VI.3.4. Le vent (W) :**

Le vent représente une action regroupant sur la structure ou bien le portique suivant deux directions différentes tel que :

$$W_t = 1.721 \times 7.2 = 12.391 \text{ KN/m}$$

$$W_{pv} = 0.779 \times 7.2 = 5.608 \text{ KN/m}$$

**VI.4. Les combinaisons :**

On utilise la combinaison à l'ELU de l'EC 0 suivant :

$$\sum \gamma_g G + \gamma_Q \cdot Q + \sum \gamma_Q \cdot \psi_i \cdot Q_i$$

D'où :  $\gamma_g = 1.35$  ;  $\gamma_Q = 1.5$

| Les charges | $\cdot \psi_0$ | $\cdot \psi_1$          | $\cdot \psi_2$ |
|-------------|----------------|-------------------------|----------------|
| <b>W</b>    | 0.67           | 0.2                     | 0              |
| <b>N</b>    | 0.67           | 0.15 pour $h \leq 500m$ | 0              |
| <b>P</b>    | 0.87           | 1                       | 0              |

**Tableau VI.1 : les coefficients de  $\psi_i$  en fonction des charges.**

Ceci est pris en charge par ses coefficients partiels de sécurité définis par les règlements dans lesquels des formules relatives aux combinaisons d'actions ont été établies (l'EC0). Les combinaisons possibles sont dans le tableau suivant :

| Cas de chargement     | Numéro | Combinaison                              | Résultant              |
|-----------------------|--------|--|------------------------|
| <b>G et N</b>         | ELU1   | 1.35G+1.5S                               | 1.35G+1.5S             |
| <b>G et P</b>         | ELU2   | 1.35G+1.5P                               | 1.35G+1.5P             |
| <b>G et W</b>         | ELU3   | 1.35G+1.5W                               | 1.35G+1.5W             |
|                       | ELU4   | G+1.5W                                   | G+1.5W                 |
| <b>G ; N et P</b>     | ELU5   | 1.35G+1.5S+1.5 $\psi_0$ P                | 1.35G+1.5S+1.305P      |
|                       | ELU6   | 1.35G+1.5P+1.5 $\psi_0$ S                | 1.35G+1.5P+1.005S      |
| <b>G ; N et W</b>     | ELU7   | 1.35G+1.5S+1.5 $\psi_0$ W                | 1.35G+1.5S+1.005W      |
|                       | ELU8   | 1.35G+1.5W+1.5 $\psi_0$ S                | 1.35G+1.5W+1.005S      |
| <b>G ; W et P</b>     | ELU9   | 1.35G+1.5W+1.5 $\psi_0$ P                | 1.35G+1.5W+1.305P      |
|                       | ELU10  | 1.35G+1.5P+1.5 $\psi_0$ W                | 1.35G+1.5P+1.005W      |
| <b>G ; W ; N et P</b> | ELU11  | 1.35G+1.5S+1.5 $\psi_0$ W+1.5 $\psi_1$ P | 1.35G+1.5S+1.005W+1.5P |
|                       | ELU12  | 1.35G+1.5W+1.5 $\psi_0$ S+1.5 $\psi_1$ P | 1.35G+1.5W+1.005S+1.5P |
|                       | ELU13  | 1.35G+1.5P+1.5 $\psi_0$ S+1.5 $\psi_1$ W | 1.35G+1.5P+1.005N+0.3W |

**Tableau VI.2 : Les combinaisons Des charges agissant sur le portique.**

D'après ces combinaisons on va calculer avec l'logiciel robot les sollicitations maximales et nous prenons en considération deux type de portique (un portique encastré à la base avec des nœuds rigide et un portique articulé à la base avec des rotules à la place des nœuds rigide), puis nous comparons les résultats et prends les sollicitations les efficace et économique.

a) **Portique encastré :** D'après les résultats obtenus à l'aide de logiciels ROBOT Structural on a déterminé les sollicitations maximal correspondant à le portique encastré :

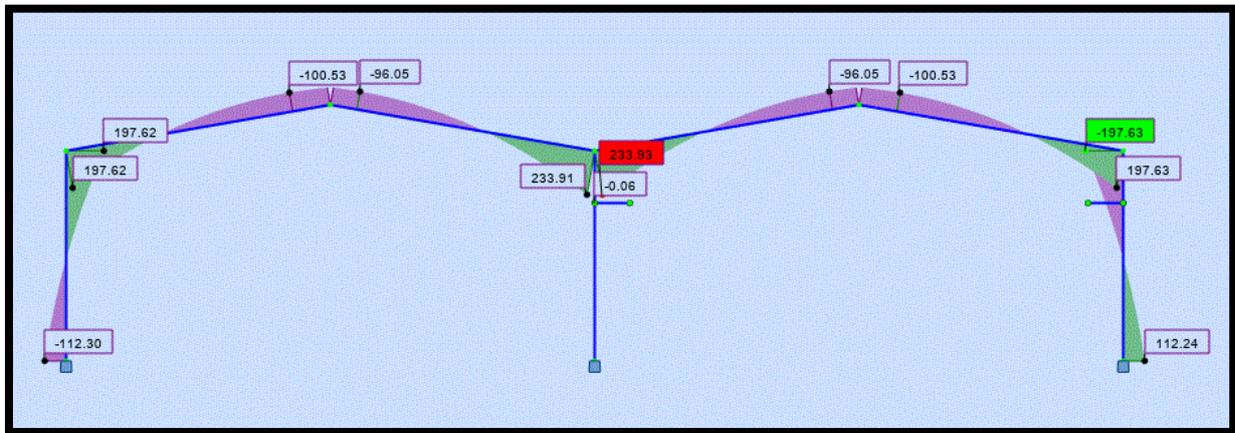


Figure VI.2 : la répartition de moment  $M_{max}$  sur le portique encastré.

b) **Portique articulé :**

D'après les résultats obtenus à l'aide de logiciels ROBOT Structural on a déterminé les sollicitations maximal correspondant à le portique articulé :

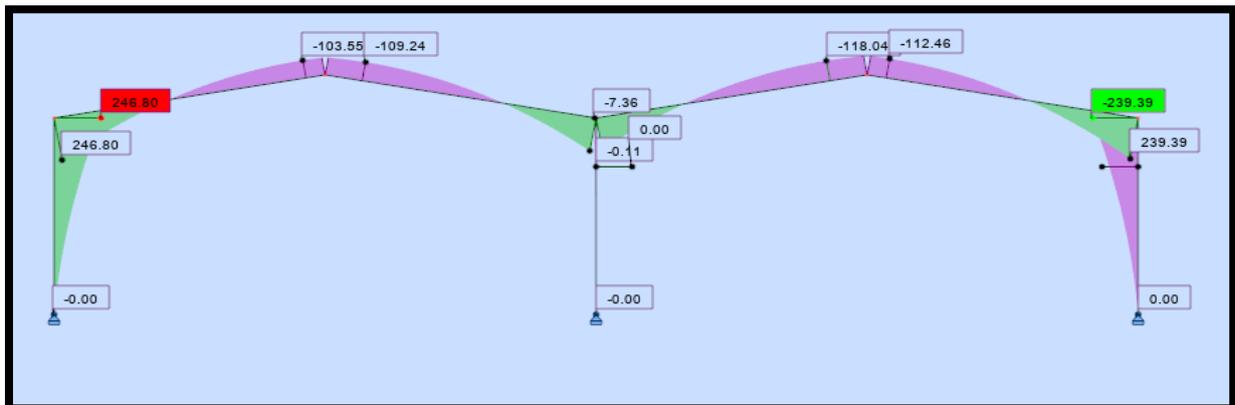


Figure VI.3 : la répartition de moment  $M_{max}$  sur le portique articulé.

VI.4.1. Comparaison entre les sollicitations obtenues :

| Eléments                    | Portique Encastré |        | Portique Articulé |        |
|-----------------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|
|                             | Traverse          | Poteau | Traverse          | Poteau |
| $M_{sd} \text{ max (KN.m)}$ | 233.93            | 197.63 | 239.39            | 246.80 |
| $N_{sd} \text{ max (KN)}$   | 94.96             | 106.53 | 84.80             | 112.51 |
| $V_{sd} \text{ max (KN)}$   | 96.45             | 76.92  | 99.38             | 66.40  |

Tableau VI.3 : comparaison des sollicitations des deux types de portique.

Donc on remarque que les moments de portique articulé sont plus élevés que le portique encastré, cela nous montre que le portique à base encastrée et nœuds rigides est plus stable et économique car le portique articulé a besoin des profilés de grande dimension.

Alors dans notre cas on utilise le portique à base encastrée et nœuds rigides.

Les sollicitations maximales correspondant à chaque élément de portique (poteau et traverse) :

| Elément                      | Traverse | Poteau |
|------------------------------|----------|--------|
| <b><i>Msd max (KN.m)</i></b> | 233.93   | 197.63 |
| <b><i>Nsd max (KN)</i></b>   | 94.96    | 106.53 |
| <b><i>Vsd max (KN)</i></b>   | 96.45    | 76.92  |

**Tableau VI.4 : Les sollicitations maximales à chaque élément de portique.**

## VI.5. Pré dimensionnement :

### VI.5.1. Traverse :

$$Msd \leq Mply = \frac{Wply \times fy}{\gamma m1} = 233.93 \text{ KN.m} \rightarrow Wply \geq \frac{Msd \times \gamma m1}{fy} = \frac{233.93 \times 10^2 \times 1.1}{23.5} = 1094.991 \text{ cm}^3$$

D'après le tableau des profils on adopte un IPN360 avec  $Wply = 1276 \text{ cm}^3$  et  $G = 76.1 \text{ Kg/m}$

#### VI.5.1.1. Vérification de la traverse :

##### a) Vérification à l'effort tranchant :

$$V_{sd, \max} = 96.450 \text{ KN}$$

$$\text{On doit vérifier la formule suivante : } V_{sd, \max} \leq V_{PL} = A_v \times \frac{fy}{\sqrt{3} \times \gamma m1}$$

$$\Rightarrow A_v = 49.95 \text{ cm}^2$$

$$\text{Donc : } V_{PL} = 49.95 \times \frac{23.5}{\sqrt{3} \times 1.1} = 616.098 \text{ KN}$$

$$V_{sd, \max} = 96.450 \text{ KN} < V_{PL} = 616.098 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

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

$$N_{sd, \max} = 94.96 \text{ KN}$$

$$N_{pl, Rd} = \frac{A \times fy}{\gamma m0} = \frac{97.0 \times 23.5}{1.1} = 2072.272 \text{ KN}$$

$$N_{sd, \max} = 94.96 \text{ KN} < 0.25 N_{pl, Rd} = 518.068 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

##### c) Vérification la condition de moment fléchissant et l'effort axial :

$$\frac{Msd}{MplRd} + \left( \frac{Nsd}{NplRd} \right)^2 < 1$$

$$MplRd = \frac{Wply \times fy}{\gamma m0} = \frac{1276 \times 23.5}{1} = 299.86 \text{ KN.m}$$

$$\frac{233.93}{299.86} + \left( \frac{94.960}{2072.272} \right)^2 = 0.782 < 1 \dots \dots \dots \text{Condition vérifiée.}$$

**VI.5.2.Poteau :**

**VI.5.2.1.Vérification du poteau :**

$$M_{sdy} \leq M_{ply} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m1}} \rightarrow W_{ply} \geq \frac{M_{sdy} \times \gamma_{m1}}{f_y} = \frac{197.63 \times 10^2 \times 1.1}{23.5} = 925.076 \text{ cm}^3$$

$W_{ply} \geq 925.073 \text{ cm}^3$  ; On adopte pour un HEA300 avec  $W_{ply} = 1383 \text{ cm}^3$

**a) Vérification à l'effort tranchant :**

$V_{sd \text{ max}} = 76.92 \text{ KN}$

$\Rightarrow A_v = 37.28 \text{ cm}^2$

$$V_{pl,rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_{m0} \times \sqrt{3}} = \frac{37,28 \times 23.5}{1 \times \sqrt{3}} = 505.805 \text{ KN} \rightarrow \frac{1}{2} \times V_{pl,rd} = 252.902 \text{ KN}$$

$\rightarrow V_{sd \text{ max}} = 76.92 \text{ KN} < \frac{1}{2} \times V_{pl,rd} = 252.902 \text{ KN}$

**b) Incidence de l'effort normal :**

$N_{sd} = 106.53 \text{ KN}$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{112.5 \times 23.5}{1.1} = 2403.409 \text{ KN}$$

$N_{sd} = 106.53 \text{ KN} < N_{pl,Rd} = 2403.409 \text{ KN}$

Et  $N_{sd} = 106.53 < 0.25 \times N_{pl,Rd} = 600.852 \text{ KN}$  ... .. condition vérifier

$\rightarrow$  L'incidence sur le moment résistant peut être négligée.

**c) Vérification la condition de moment fléchissant et l'effort axial :**

$$\frac{M_{sd}}{M_{plRd}} + \left( \frac{N_{sd}}{N_{plRd}} \right)^2 < 1$$

$$M_{plRd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1383 \times 23.5}{1} = 325.005 \text{ KN.m}$$

$$\frac{197.63}{325.005} + \left( \frac{106.53}{2403.409} \right)^2 = 0.610 < 1 \dots \dots \dots \text{Condition vérifié.}$$

**VI.6.Calcul du jarret :**

Les jarrets de portique seront dimensionnés avec les sollicitations due moments  $M_y$  les plus défavorables.

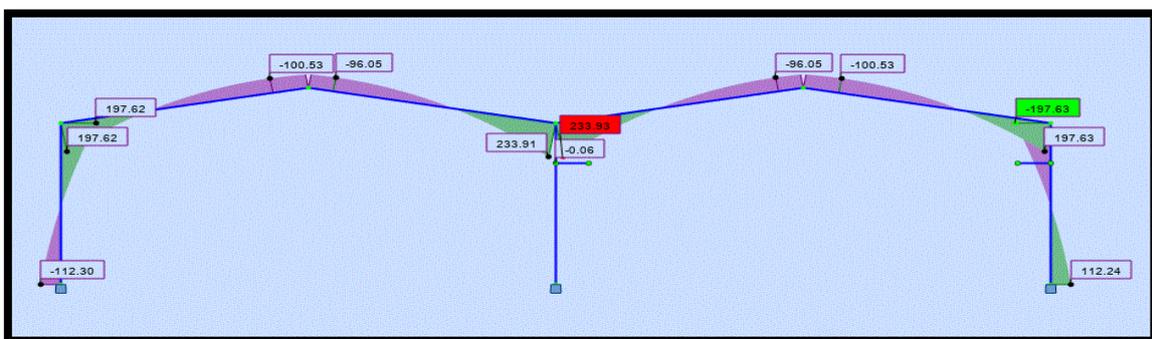


Figure VI.4 : la répartition de moment  $M_{ymax}$  sur le portique.

Afin d'économiser le profilé, on va dimensionner la section selon le moment au faitage  $M_c$  et ensuite on va la renforcer à gauche par un jarret pour reprendre le moment sur appui  $M_b$ .

$$j^2 - 2sj + s^2 \left( 1 - \frac{Mel}{|M_b| + |M_c|} \right) = 0(*)$$

Avec :

- $S$  : la longueur de la traverse.
- $M_b$  : moment au point b.
- $M_c$  : moment au point c

La résolution de l'équation (\*), donne  $Lj=0.908m$ .

→ Donc on adopte  $Lj=1m$ .

#### **IV.7.Conclusion :**

Après le pré-dimensionnement on a obtenu des sections suivants :

- Le profilé IPN360 et admis pour la traverse.
- Le profilé HEA300 admis pour le poteau.
- Jarret :  $L=1m$

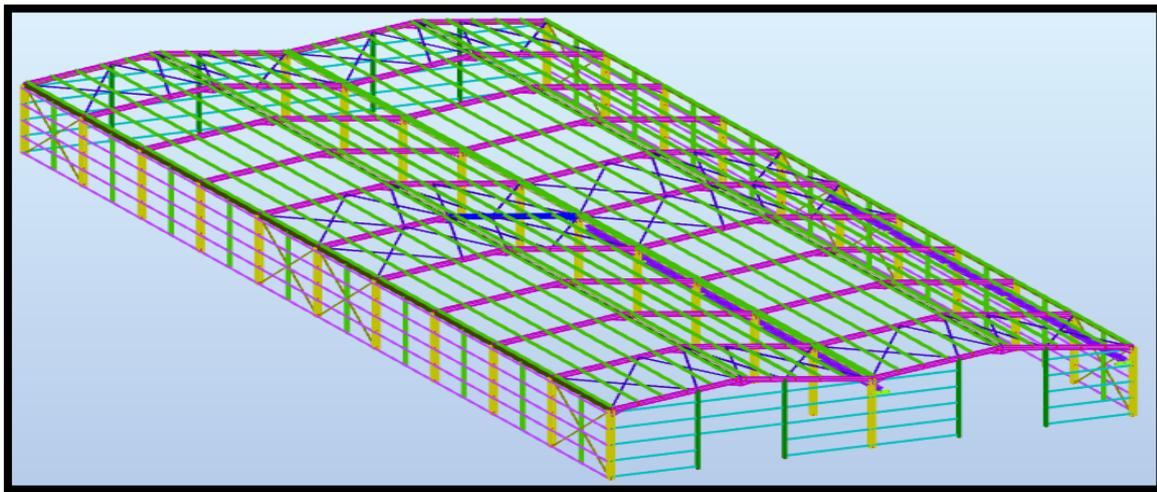
**CHAPITRE VII**  
**VERIFICATION**  
**DES ELEMENTS**

**VII.1.Introduction :**

Après un pré dimensionnement des éléments effectué au chapitre III et l'étude de portique de chapitre VI avec la modélisation de la structure en 3D par Robot au chapitre précédent, on se rapproche ainsi du cas réel avec les vraies sollicitations, on passe alors aux différentes vérifications (traction, flambement...etc.) des différents des éléments dans le cas les plus défavorables tires directement du logiciel robot.

**VII.2.Vérification des traverses :**

La vérification se fait pour la traverse la plus sollicitée ; dans notre cas ; la traverse la plus sollicitée est la N°43 et de longueur  $L = 7.613 \text{ m}$  ; comme illustré en bleu sur la figure suivantes :



**Figure VII.1 : Illustration de la traverse la plus sollicité.**

Caractéristique de la traverse :

| G        | h    | b   | t <sub>w</sub> | t <sub>r</sub> | r <sub>1</sub> | r <sub>2</sub> | A                                   | d    | Ø     | ρ <sub>min</sub> | ρ <sub>max</sub> | A <sub>t</sub>    | A <sub>c</sub>    |       |
|----------|------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------------|------|-------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------|
| kg/m     | mm   | mm  | mm             | mm             | mm             | mm             | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm   |       | mm               | mm               | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /t |       |
| IPN 360* | 76,1 | 360 | 143            | 13             | 19,5           | 13             | 7,8                                 | 97,0 | 290,2 | M12              | 78               | 92                | 1,21              | 15,89 |

| G       | I <sub>y</sub>                      | W <sub>dy</sub>                     | W <sub>ply</sub> *                  | I <sub>y</sub> | A <sub>z</sub>                      | I <sub>z</sub>                      | W <sub>dz</sub>                     | W <sub>plz</sub> *                  | I <sub>z</sub> | s <sub>c</sub> | I <sub>t</sub>                      | I <sub>w</sub>                      | S235 |   |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|---|
| kg/m    | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm             | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>6</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm             | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>6</sup><br>x10 <sup>9</sup> |      |   |
| IPN 360 | 76,1                                | 19610                               | 1090                                | 1276           | 14,2                                | 49,95                               | 818                                 | 114                                 | 194            | 2,90           | 71,8                                | 115                                 | 240  | 1 |

**Tableau VII.1 : caractéristique de profile IPN360.**

**VII.2.1.Vérification de la section à la résistance :**

**a) Bilan des efforts :**

La vérification à faire est de vérifier l'élément le plus sollicité (barre N°43) sous la combinaison ELU 9 :

$$M_{ySD} = -147.28 \text{ KN.m}$$

$$N_{SD} = 49.81 \text{ KN}$$

$$V_{zSD} = 70.81 \text{ KN}$$

### Classe de la section (barre N°43)

- **classe de la semelle (comprimé) :**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2}}{t_f} \leq 10\varepsilon \rightarrow \frac{\frac{143}{2}}{19.5} = 3.66 < 10 \text{ avec } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \rightarrow \text{Semelle de classe 1.}$$

- **Classe de l'âme (Flexion composée) :**

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d + dc}{2} \right) \leq 1$$

$$dc = \left( \frac{N_{SD}}{t_w \times f_y} \right) = \frac{49.81}{1.3 \times 23.5} = 1.63$$

$$\alpha = \frac{1}{29.02} \left( \frac{29.02 + 1.63}{2} \right) = 0.52 \leq 1 \text{ avec } \alpha > 0.5$$

Pour les sections de classe 1 :

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{(13\alpha - 1)} \rightarrow \frac{29.02}{1.3} \leq \frac{396 \times 1}{((13 \times 0.52) - 1)} \rightarrow 22.32 < 68.75 \rightarrow \text{L'âme de classe 1. La section de}$$

IPN360 est de classe 1.

- b) Incidence de l'effort tranchant :**

On doit vérifier  $V_{SD} \leq 0.5 V_{pl,rd}$

$$V_{zSD} = 70.81 \text{ KN}$$

$$V_{pl,rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{m0}} = \frac{49.95 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 677.70 \text{ KN}$$

$$\frac{V_{zSD}}{V_{pl,rd}} = \frac{70.81}{677.70} = 0.10 < 0.5$$

→ Alors, l'incidence de l'effort tranchant sur le moment résistant peut être négligée.

- c) Incidence de l'effort normal :**

Si  $N_{SD} \leq \text{Min}(0.25 N_{pl,rd} ; 0.5 A_w \times f_y / \gamma_{m0})$ : il n'y a pas d'interaction entre le moment résistante l'effort normal.

$$N_{SD} = 49.81 \text{ KN}$$

$$N_{pl,rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{97 \times 23.5}{1} = 2279.5 \text{ KN}$$

$$0.25 \times N_{pl,rd} = 569.875 \text{ KN}$$

$$A_w = A - 2 \times b \times t_f = 97 - (2 \times 14.3 \times 1.95) = 41.23 \text{ cm}^2$$

$$0.5 \times \frac{A_w \times f_y}{\gamma_{m0}} = 0.5 \times \frac{41.23 \times 23.5}{1} = 484.452 \text{ KN}$$

$$N_{sd} \leq \text{Min}(0.25 N_{pl,rd} ; 0.5 A_w \times f_y / \gamma_{m0})$$

$$\rightarrow N_{sd} \leq \text{Min}(569.875 \text{ KN} ; 484.452 \text{ KN})$$

$$\rightarrow N_{sd} = 49.81 \text{ KN} < 484.452 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{vérifié}$$

Alors, l'incidence de l'effort normal sur le moment résistant peut être négligée.

Vérification de la résistance de la section transversale :

$$M_{pl,rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1276 \times 23.5}{1} = 299.86 \text{ KN.m}$$

$$\rightarrow M_{ysd} = 147.28 \text{ KN.m} < M_{pl,rd} = 299.86 \text{ KN.m}$$

La résistance de la section transversale est vérifiée.

### VII.2.2. Vérification de l'élément aux instabilités :

#### ➤ Flexion composée avec risque de flambement :

On doit vérifier que :

$$\frac{N_{sd}}{X_{min} \times N_{pl,rd}} + \frac{K_y \times M_{ysd}}{M_{ply,rd}} \leq 1$$

#### ➤ Flexion composée avec risque de déversement

On doit vérifier que :

$$\frac{N_{sd}}{X_{LT} \times N_{pl,rd}} + \frac{K_{LT} \times M_{ysd}}{X_{LT} \times M_{ply,rd}} \leq 1$$

#### ➤ Calcul du coefficient de réduction pour le flambement $X_{min}$ :

$$X_{min} = \text{Min}(X_y; X_z)$$

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

Longueur de flambement :

$$L_y = 761.3 \text{ cm (Longueur total de la traverse).}$$

L'élancement :

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{761.3}{14.2} = 53.61$$

L'élancement réduit :

$$\bar{\lambda}_y = \left( \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \right) [\beta a]^{0.5}$$

Avec :  $\beta a = 1$  pour les sections de classe 1,2 et 3

$$\lambda_1 = \pi \left[ \frac{E}{f_y} \right]^{0.5} = 3.14 \times \left[ \frac{2.1 \times 10^5}{235} \right]^{0.5} = 93.9$$

$$\bar{\lambda}_y = \left( \frac{53.61}{93.9} \right) [1]^{0.5} = 0.570 > 0.2 \rightarrow \text{il ya de risque de flambement.}$$

$$\text{Courbe de flambement } \frac{h}{b} = \frac{360}{143} = 2.51 > 1.2$$

Axe de flambement y-y → courbe de flambement a →  $\alpha_y = 0.21$

$$\phi_y = 0.5[1 + \alpha_y(\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2]$$

$$\phi_y = 0.5[1 + 0.21(0.570 - 0.2) + 0.570^2] = 0.701$$

$$\chi_y = \frac{1}{0.701 + [0.701^2 + 0.570^2]^{0.5}} = 0.623$$

Flambement par rapport à l'axe faible z-z (hors plan du portique) :

Longueur de flambement :

Autour de l'axe faible z-z (dans le plan perpendiculaire de l'âme), le traverse est empêché de flamber sur toute sa longueur par les pannes.

Donc la longueur de flambement  $l_z = 150 \text{ cm}$ .

L'élancement:

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{150}{2.90} = 51.72$$

L'élancement réduit :

$$\bar{\lambda}_z = \left(\frac{\lambda_z}{\lambda_1}\right) [\beta a]^{0.5}$$

Avec :  $\beta a = 1$  pour les sections de classe 1,2 et 3

$$\lambda_1 = \pi \left[ \frac{E}{f_y} \right]^{0.5} = 3.14 \times \left[ \frac{2.1 \times 10^5}{235} \right]^{0.5} = 93.9$$

$$\bar{\lambda}_z = \left(\frac{51.72}{93.9}\right) [1]^{0.5} = 0.550 > 0.2 \rightarrow \text{il ya de risque de flambement}$$

$$\text{Courbe de flambement : } \frac{h}{b} = \frac{360}{143} = 2.51 > 1.2$$

Axe de flambement z-z → courbe de flambement b →  $\alpha_z = 0.34$

$$\phi_z = 0.5[1 + \alpha_z(\bar{\lambda}_z - 0.2) + \bar{\lambda}_z^2]$$

$$\phi_z = 0.5[1 + 0.34(0.550 - 0.2) + 0.550^2] = 0.710$$

$$\chi_z = \frac{1}{0.710 + [0.710^2 + 0.550^2]^{0.5}} = 0.621$$

Donc :  $X_{min} = \text{Min}(X_y; X_z) = \text{Min}(0.623; 0.621) = 0.621$

$X_{min} = 0.621$

**Calcul du coefficient de réduction pour le déversement XLT :**

$$\chi^{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + [\phi_{LT}^2 + \bar{\lambda}_{LT}^2]^{0.5}} \dots \dots \dots \text{avec } \chi^{LT} \leq 1$$

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

Avec :

$\alpha_{LT}$  : Facteur d'imperfection pour le déversement.

$\alpha_{LT} = 0.21$  Pour les sections laminées. (C'est notre cas).

$\alpha_{LT} = 0.49$  Pour les sections soudées.

$\overline{\lambda}_{LT} = \left(\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1}\right) [\beta\alpha]^{0.5}$  : L'élancement réduit pour le déversement.

Avec :  $\lambda_1 = \pi \left[\frac{E}{f_y}\right]^{0.5} = 3.14 \times \left[\frac{2.1 \times 10^5}{235}\right]^{0.5} = 93.9$

$\lambda_{LT}$  : Élancement de l'élément vis-à-vis du déversement.

Pour les profilés laminés en I ou en H :

IPN360:  $i_z = 2.90 \text{ cm}$ ,  $h = 36 \text{ cm}$ ,  $t_f = 1.95 \text{ cm}$ ,  $c_1 = 2.49 < 2.7$ .

$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{c_1^{0.5} \left[ 1 + \frac{1}{20} \left( \frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0.25}} = \frac{\frac{150}{2.9}}{2.49^{0.5} \left[ 1 + \frac{1}{20} \left( \frac{\frac{150}{2.9}}{\frac{36}{1.95}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 19$$

$$\lambda_{LT} = 19$$

Donc :

$$\overline{\lambda}_{LT} = \left(\frac{19}{93.9}\right) = 0.202$$

$$\phi_{LT} = 0.5[1 + 0.21(0.202 - 0.2) + 0.202^2] = 0.520$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0.520 + [0.520^2 + 0.202^2]^{0.5}} = 0.927$$

$$\chi_{LT} = 0.927 \leq 1 \dots \dots \dots \text{vérifier}$$

**Calcul des coefficients k :**

$$K_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{sd}}{\chi_{LT} \times A \times f_y} \text{ et } K_{LT} \leq 1$$

$$\mu_{LT} = 0.15 \times \overline{\lambda}_z \times \beta_{MLT} - 0.15 \text{ et } \mu_{LT} \leq 0.9$$

$\beta_{MLT} = 1.8 - 0.7\psi$  : Facteur de moment uniforme équivalent pour le déversement.

$$\psi = -\frac{77.7}{202.93} = -0.38 \rightarrow \beta_{MLT} = 1.8 - 0.7(-0.38) = 2.07$$

$$\mu_{LT} = 0.15 \times 0.550 \times 2.07 - 0.15 = 0.02$$

$$\rightarrow \mu_{LT} = 0.02 \leq 0.9$$

$$K_{LT} = 1 - \frac{0.02 \times 49.81}{0.927 \times 97 \times 23.5} = 0.99 \leq 1$$

**Calcul du facteur de moment uniforme équivalent pour le flambement par flexion suivant y-y :**

**D'après la figure 5.5. De l'Eurocode3:**

$$K_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} \text{ et } K_y \leq 1.5$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta M_y - 4) + \frac{W_{ply} - W_{ely}}{W_{ely}} \text{ avec } \mu_y \leq 0.9$$

$$\beta M = \beta M \psi + \frac{MQ}{\Delta M} (\beta M Q - \beta M \psi)$$

$$\beta M \psi = 1.8 - 0.7 \psi$$

$$\psi = -\frac{77.7}{202.93} = -0.38 \rightarrow \beta M \psi = 1.8 - 0.7(-0.38) = 2.07$$

$$MQ = |\max M| = 77.7 \text{ KN}$$

$$\Delta M = |\max M| + |\min M| = |77.7| + |-202.93| = 280.63 \text{ KN.m}$$

$\beta_{MQ} = 1.3$  Cas d'une charge uniformément répartie.

$$\beta M_y = 2.07 + \frac{(77.7)}{280.63} (1.3 - 2.07) = 1.85$$

$$\mu_y = 0.57(2 \times 1.85 - 4) + \frac{1276 - 1090}{1090} = -0.0003$$

$$\mu_y = -0.0003 < 0.9$$

$$K_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{(-0.0003) \times 49.81}{0.623 \times 97 \times 23.5} = 1$$

$$K_y = 0.98 \leq 1.5$$

➤ **Vérification au flambement flexion :**

$$\frac{N_{sd}}{X_{min} \times N_{pl,rd}} + \frac{K_y \times M_{ysd}}{M_{ply,rd}} \leq 1$$

$$M_{ply,rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1276 \times 23.5}{1.1} = 299.86 \text{ KN.m}$$

$$\frac{49.81}{0.621 \times 2279.5} + \frac{1 \times 147.28}{299.86} = 0.03 + 0.49 = \mathbf{0.52} < 1$$

➤ **Vérification au déversement :**

Déversement = Flambement latéral de la partie comprimée + Rotation de la section transversale.

$$\frac{N_{sd}}{X_{LT} \times N_{pl,rd}} + \frac{K_{LT} \times M_{ysd}}{X_{LT} \times M_{ply,rd}} \leq 1$$

$$\frac{49.81}{0.927 \times 2279.5} + \frac{0.99 \times 147.28}{0.927 \times 299.86} = 0.02 + 0.52 = \mathbf{0.54} < 1$$

**VII.2.3.Vérification avec le logiciel robot :**

| Pièce         | Profil  | Matériau | Lay   | Laz   | Ratio | Cas        |
|---------------|---------|----------|-------|-------|-------|------------|
| 43 travers_43 | IPN 360 | S 235    | 33.71 | 48.88 | 0.87  | 9 ELU /13/ |

**Conclusion :**

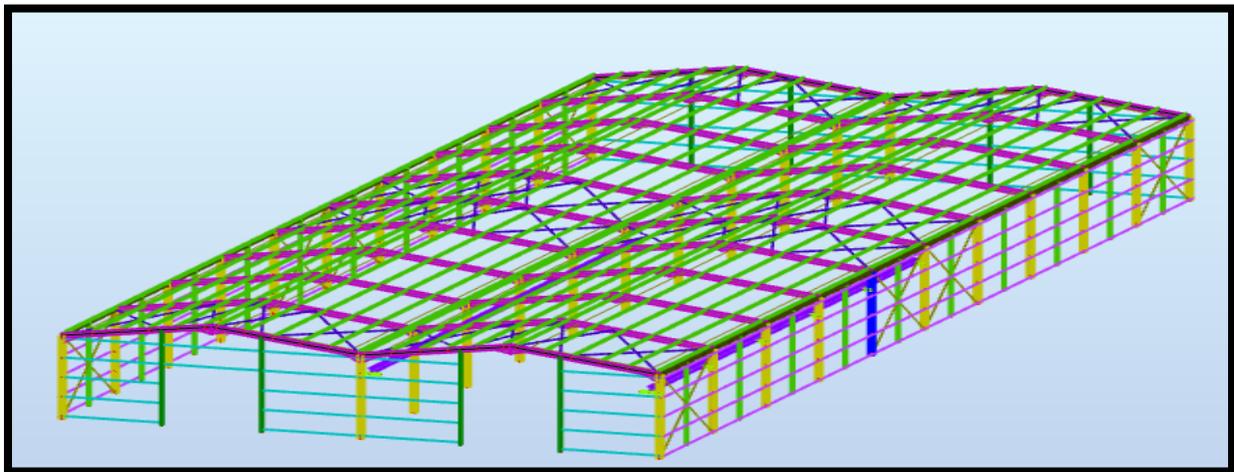
Le profilé choisi **IPN360** est adéquat comme traverse.

**VII.3.Vérification des poteaux :**

Les éléments poteaux de la structure sont soumis à une compression et une flexion suivant les deux axes (y-y) et (z-z).

Les sollicitations les plus défavorables tirés à partir du ROBOT sont :

Dans notre cas : les poteaux les plus sollicité sont le N°33de hauteur **H=5.988m**, comme illustre en bleu sur la figure suivante :



**Figure VII.2 : Illustration de poteau le plus sollicité.**

Les sollicitations les plus défavorables tirés à partir du logiciel ROBOT sont :

| combinaison | H(m)  | <i>Nsd(KN)</i> | <i>My(KN.m)</i>               | <i>Mz(KN.m)</i>           | <i>Vz(KN)</i> |
|-------------|-------|----------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| 9 ELU       | 5.988 | 236.63         | 137.03 (max)<br>-119.74 (min) | 2.35 (max)<br>-1.38 (min) | 59.86         |

Caractéristique de poteau :

| G        | h                                   | b                                   | t <sub>w</sub>                      | t <sub>r</sub> | r                                   | A                                   | i <sub>y</sub>                      | d                                   | ∅              | p <sub>min</sub> | p <sub>max</sub>                    | A <sub>t</sub>                      | A <sub>c</sub>    |       |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------|
| kg/m     | mm                                  | mm                                  | mm                                  | mm             | mm                                  | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm                                  | mm                                  |                | mm               | mm                                  | m <sup>2</sup> /m                   | m <sup>2</sup> /t |       |
| HE 300 A | 88,3                                | 290                                 | 300                                 | 8,5            | 14                                  | 27                                  | 112,5                               | 262                                 | 208            | M 27             | 118                                 | 198                                 | 1,717             | 19,43 |
| G        | I <sub>y</sub>                      | W <sub>el,y</sub>                   | W <sub>ply</sub> ♦                  | i <sub>y</sub> | A <sub>wz</sub>                     | I <sub>z</sub>                      | W <sub>el,z</sub>                   | W <sub>pl,z</sub> ♦                 | i <sub>z</sub> | s <sub>s</sub>   | I <sub>t</sub>                      | I <sub>w</sub>                      |                   |       |
| kg/m     | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm             | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm             | mm               | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>6</sup><br>x10 <sup>9</sup> | S235              |       |
| HE 300 A | 88,3                                | 18260                               | 1260                                | 1383           | 12,74                               | 37,28                               | 6310                                | 420,6                               | 641,2          | 7,49             | 68,13                               | 85,17                               | 1200              | 1     |

**Tableau VII.2 : caractéristique de profile HEA300.**

**VII.3.1.Vérification à la résistance :**

**a) Classe de la section :**• **Classe de la semelle : (comprimée)**

$$\frac{c}{t_f} = \frac{b}{t_f} \leq 10\varepsilon \rightarrow \frac{300}{14} = 10.71 < 11 \text{ avec } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \rightarrow \text{Semelle de classe 2.}$$

• **Classe de l'âme : (flexion composée)**

$$\alpha = \frac{1}{d} \left( \frac{d + dc}{2} \right) \leq 1$$

$$dc = \left( \frac{Nsd}{t_w \times f_y} \right) = \frac{236.63}{0.85 \times 23.5} = 13.42$$

$$\alpha = \frac{1}{20.8} \left( \frac{20.8 + 13.42}{2} \right) = 0.82 \leq 1 \text{ avec } \alpha > 0.5$$

Pour les sections de classe 2 :

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{456\varepsilon}{(13\alpha - 1)} \rightarrow \frac{20.8}{0.85} \leq \frac{456 \times 1}{((13 \times 0.82) - 1)} \rightarrow 24.47 < 47.20 \quad \rightarrow \text{L'âme de classe 2.}$$

La section de HEA300 est de classe 2

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

Il faut vérifier que :  $V_{sd} \leq V_{plRd}$

$V_{sd} = 59.87 \text{ KN}$  (Note de calcul sur la pièce N°33 du Robot sous la combinaison ELU9)

$$V_{pl,rd} = \frac{A_{vz} \times f_y}{\sqrt{3} \times \gamma_{m0}} = \frac{37.28 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1} = 505.80 \text{ KN} > V_{sd} = 59.87 \text{ KN.m}$$

$V_{sd} \leq 0.5V_{plRd} = 250.90 \text{ KN} \rightarrow$  Pas de réduction du moment plastique

**c) Vérification à l'effort normal :**

Il faut vérifier que :  $N_{sd} \leq N_{plRd}$

$$N_{sd} = 236.64 \text{ KN}$$

$$N_{plRd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{112.5 \times 23.5}{1} = 2643.75 \text{ KN}$$

$N_{sd} = 236.63 \text{ KN} \leq N_{plRd} = 2643.75 \text{ KN} \dots \dots \dots$  vérifiée

**d) Vérification au moment fléchissant :**

Il faut vérifier que :  $M_{sd} \leq M_{plRd}$

$M_{sd} = 137.07 \text{ KN.m}$  (Note de calcul sur la pièce N°33 du Robot sous la combinaison ELU9)

$$M_{ply,rd} = \frac{W_{ply} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1383 \times 23.5}{1} = 325 \text{ KN.m}$$

$M_{sd} = 137.07 \text{ KN} \leq M_{plyRd} = 325 \text{ KN} \dots \dots \dots$  vérifiée

**VII.3.2. Vérification de l'élément aux instabilités :**

La vérification aux instabilités est donnée par les formules suivantes :

➤ **Flexion composée avec risque de flambement :**

$$\frac{Nsd}{X_{min} \times N_{plRd}} + \frac{K_y \times M_{ysd}}{M_{plyRd}} + \frac{K_z \times M_{zsd}}{M_{plzRd}} \leq 1$$

➤ **Flexion composée avec risque de déversement :**

$$\frac{Nsd}{X_z \times N_{plRd}} + \frac{K_z \times K_{LT} \times M_{ysd}}{X_{LT} \times M_{plRd}} \leq 1$$

**a) Calcul du coefficient de réduction  $\chi_{min}$  :**

$$X_{min} = \text{Min}(X_y; X_z)$$

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

$\alpha$  : facteur d'imperfection correspondant à la courbe de flambement appropriée, donne par le **tableau 5.5.1 de l'Eurocode 3**

- suivant l'axe y-y :

$$\lambda_y = \frac{0.5l_{ky}}{i_y} = \frac{0.5 \times 598.8}{12.74} = 23.5$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{23.5}{93.9} \times 1 = 0.25 > 0.2 \quad (\text{Il y a le risque de flambement})$$

Le choix de la courbe de flambement

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0.96 < 1.2.. \quad \text{Avec } t_f = 14\text{mm} < 100\text{mm}$$

Axe de flambement y-y → courbe de flambement b;  $\alpha = 0.34$

$$X_y = 0.88$$

- Suivant l'axe faible z-z : (hors du plan du portique) :

$$\lambda_z = \frac{0.5l_{kz}}{i_z} = \frac{0.5 \times 598.8}{7.49} = 39.97$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{39.9}{93.9} \times 1 = 0.42 > 0.2 \quad (\text{Il y a le risque de flambement})$$

Le choix de la courbe de flambement

$$\frac{h}{b} = \frac{290}{300} = 0.96 < 1.2 \quad \text{Avec } t_f = 14\text{mm} < 100\text{mm}$$

Axe de flambement y-y → courbe de flambement c;  $\alpha = 0.49$

$$X_z = 0.71$$

Donc :  $X_{min} = \text{Min}(0.88; 0.71) \rightarrow X_{min} = 0.71$

**d) Calcul de l'élancement réduit vis-à-vis de déversement  $\bar{\lambda}_{LT}$  axe z-z :**

$$\lambda_{LT} = \frac{\frac{L}{i_z}}{c^{1.05} \left[ 1 + \frac{1}{20} \left( \frac{\frac{L}{i_z}}{\frac{h}{t_f}} \right)^2 \right]^{0.25}} = \lambda_{LT} = \frac{\frac{598.8}{7.49}}{1.132^{0.5} \left[ 1 + \frac{1}{20} \left( \frac{\frac{598.8}{7.49}}{\frac{29}{1.4}} \right)^2 \right]^{0.25}} = 36.12$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{36.12}{93.9} \times 1 = 0.38 > 0.2 \quad (\text{Il y a le risque de flambement})$$

- **Calcul des coefficients Ky et Kz :**

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y(2\beta M_y - 4) + \frac{W_{ply} - W_{ely}}{W_{ely}} \quad \text{avec } \mu_y \leq 0.9$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z(2\beta M_z - 4) + \frac{W_{plz} - W_{elz}}{W_{elz}} \quad \text{avec } \mu_z \leq 0.9$$

- ❖ **Calcul des coefficients réducteurs :**

Suivant l'axe (Y-Y) :

$$\Psi = \frac{M_{min}}{M_{max}} = -\frac{119.74}{137.03} = -0.87$$

$$\beta M_y = 1.8 - 0.7(-0.87) = 2.40$$

$$\mu_y = 0.25(2 \times 2.40 - 4) + \frac{1383 - 1260}{1260} = 0.29 \rightarrow \mu_y = 0.29 \leq 0.9$$

$$K_y = 1 - \frac{\mu_y \times N_{sd}}{\chi_y \times A \times f_y} = 1 - \frac{0.29 \times 236.63}{0.88 \times 112.5 \times 23.5} = 0.97 \rightarrow \text{avec } K_y = 0.97 < 1.5$$

Suivant l'axe (Z-Z) :

$$\Psi = \frac{M_{min}}{M_{max}} = -\frac{1.38}{2.35} = -0.58$$

$$\beta M_z = 1.8 - 0.7(-0.58) = 2.20$$

$$\mu_z = 0.71(2 \times 2.20 - 4) + \frac{641.2 - 420.6}{420.6} = 0.8 \rightarrow \mu_z = 0.8 \leq 0.9$$

$$K_z = 1 - \frac{\mu_z \times N_{sd}}{\chi_z \times A \times f_y} = 1 - \frac{0.80 \times 236.63}{0.71 \times 112.5 \times 23.5} = 0.89 \rightarrow \text{avec } K_z = 0.89 < 1.5$$

- **Vérification au flambement :**

$$\frac{N_{sd}}{X_{min} \times N_{plRd}} + \frac{K_y \times M_{ysd}}{M_{plyRd}} + \frac{K_z \times M_{zsd}}{M_{plzRd}} \leq 1$$

$$\text{Avec : } M_{plz, rd} = \frac{W_{plz} \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{641.2 \times 23.5}{1} = 150.68 \text{ KN.m}$$

$$\frac{236.63}{0.71 \times 2643.75} + \frac{0.97 \times 137.03}{325} + \frac{0.89 \times 1.28}{150.68} = 0.12 + 0.40 + 0.007 = 0.52 \leq 1 \dots ok$$

### VII.3.3. Vérification avec le logiciel robot :

| Pièce         | Profil  | Matériau | Lay   | Laz  | Ratio | Cas        |
|---------------|---------|----------|-------|------|-------|------------|
| 33 poteaux_33 | HEA 300 | S 235    | 23.50 | 2.64 | 0.56  | 9 ELU /33/ |

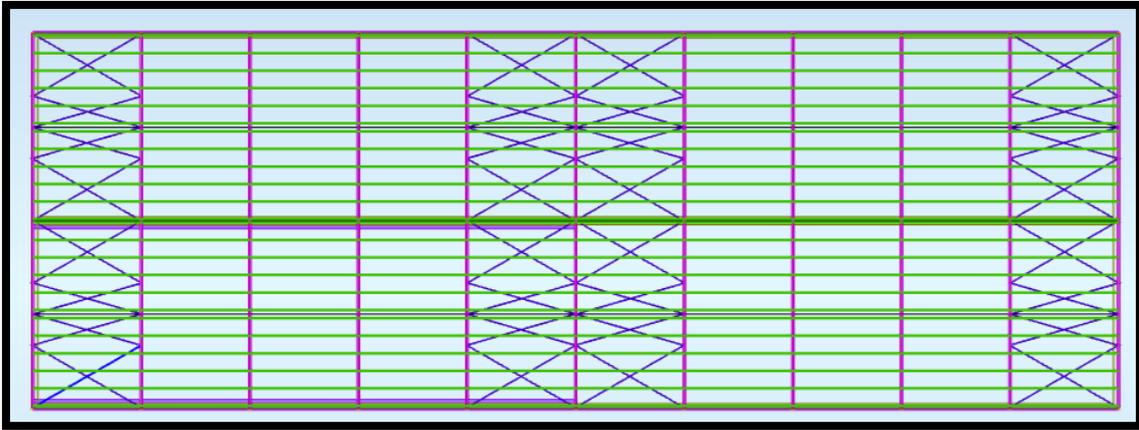
**Conclusion :**

Le profilé choisi **HEA300** est adéquat comme poteau.

**VII.4.Vérification des diagonales des contreventements :**

**VII.4.1.Vérification de la poutre au vent PIGNON :**

La vérification à faire est de vérifier la diagonale la plus sollicité (barre N°575), comme illustré en bleu sur la figure suivante :



**Figure VII.3: Illustration de la diagonale la plus sollicité.**

Les sollicitations les plus défavorables tirés à partir du logiciel ROBOT sont :

| Sollicitation | Combinaison | Nsd(KN) |
|---------------|-------------|---------|
| Compression   | ELU/36      | 23.80   |
| Traction      | ELU/11      | -4.98   |

$Nsd_{MAX} = 23.80 \text{ KN}$  (compression)

**a) Vérification à la traction**

L'effort de traction  $Nsd = -4.98 \text{ KN}$

$$Nsd \leq Npl rd = \frac{A \times fy}{\gamma m0}$$

On a :  $A=7.41\text{cm}^2 \rightarrow L (50*50*8)$

$$Npl rd = \frac{7.41 \times 23.5}{1} = 174.13 \text{ KN}$$

$Nsd = 4.98 \text{ KN} \leq Npl rd = 174.13 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{vérifiée}$

**b) Vérification au flambement :**

$$\lambda y = \lambda z = \frac{0.5 \times 881}{1.48} = 297.635 \text{ (ona une symétrie des diagonales)}$$

$$\bar{\lambda} y = \bar{\lambda} z = \frac{297.635}{93.9} = 3.16$$

$\bar{\lambda} = 3.16 \rightarrow$  Courbe c  $\rightarrow X = 0.0951$

$$Nbrd = \frac{X \times A \times \beta w \times fy}{\gamma m0} = \frac{0.0951 \times 7.41 \times 1 \times 23.5}{1} = 16.56 \text{ KN}$$

$N_{sd} = 23.80 \text{ KN} > N_{brd} = 16.56 \text{ KN} \rightarrow$  Non Vérifiée avec CEA50.50.8

**VII.4.2. Vérification avec le logiciel robot :**

| Pièce           | Profil   | Matériau | Lay    | Laz    | Ratio | Cas        |
|-----------------|----------|----------|--------|--------|-------|------------|
| 575 contrevente | CAE 50x8 | S 235    | 594.33 | 594.33 | 1.24  | 9 ELU /33/ |

Cornière instable y a un risque de flambement.

On va augmenter la section de la diagonale jusqu'à CEA 60x10 avec  $A=11.1 \text{ cm}^2$ .

**Vérification au flambement**

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{0.5 \times 881}{1.78} = 247.471 \text{ (ona une symétrie des diagonales)}$$

$$\bar{\lambda}_y = \bar{\lambda}_z = \frac{247.471}{93.9} = 2.635$$

$$\bar{\lambda} = 2.635 \rightarrow \text{Courbe c} \rightarrow X = 0.1234$$

$$N_{brd} = \frac{X \times A \times \beta_w \times f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{0.1234 \times 11.1 \times 1 \times 23.5}{1} = 32.188 \text{ KN}$$

$N_{sd} = 23.80 \text{ KN} < N_{brd} = 32.188 \text{ KN} \rightarrow$  Vérifiée avec CEA60.60.10

| Pièce           | Profil    | Matériau | Lay    | Laz    | Ratio | Cas        |
|-----------------|-----------|----------|--------|--------|-------|------------|
| 575 contrevente | CAE 60x10 | S 235    | 502.56 | 502.56 | 0.96  | 9 ELU /33/ |

**Conclusion :**

Le profilé choisi CEA60.60.10 est adéquat comme Cornière

**VII.5. Vérification des palées de stabilités de long pan (CEA40x4) :**

La vérification à faire est de vérifier l'élément le plus sollicité (barre N°563) avec  $lk= 9.36\text{m}$

Sous les combinaisons suivant :

| Sollicitation | Combinaison | $N_{sd}(\text{KN})$ |
|---------------|-------------|---------------------|
| compression   | ELU/35      | 6.68                |
| Traction      | ELU/12      | -3.24               |

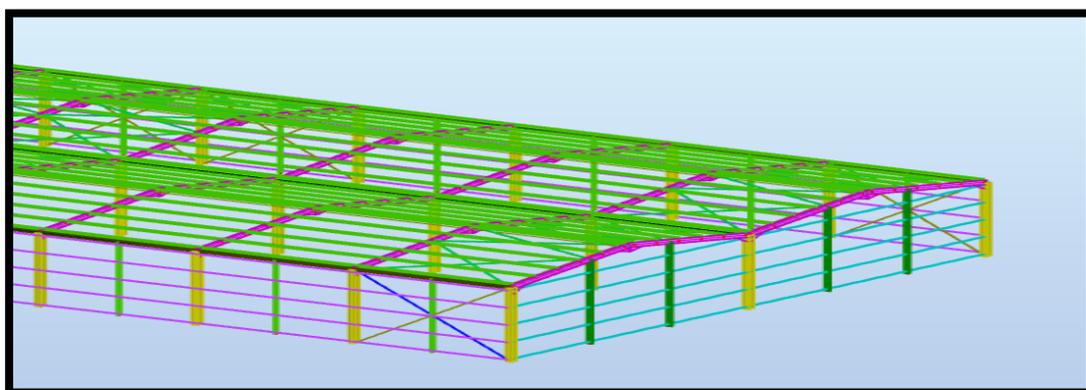


Figure VII.4 : Illustration de la barre la plus sollicité en bleu.

L'effort dans la Palées de stabilités est :

$$Nsd_{max} = -6.68 \text{ KN (compression)}$$

**a) Vérification à la traction**

L'effort de traction  $Nsd = -3.24 \text{ KN}$

$$Nsd \leq Nplrd = \frac{A \times fy}{\gamma m0}$$

On a :  $A = 7.41 \text{ cm}^2 \rightarrow L (40 \times 40 \times 4)$

$$Nplrd = \frac{3.08 \times 23.5}{1} = 72.38 \text{ KN}$$

$$Nsd = 3.24 \text{ KN} \leq Nplrd = 72.38 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

**b) Vérification au flambement**

$$\lambda y = \lambda z = \frac{0.5 \times 936}{1.21} = 386.776 \text{ (on a une symétrie des diagonales)}$$

$$\bar{\lambda} y = \bar{\lambda} z = \frac{386.776}{93.9} = 4.119$$

$$\bar{\lambda} = 4.119 \rightarrow \text{Courbe c} \rightarrow X = 0.1234$$

$$Nbrd = \frac{X \times A \times \beta w \times fy}{\gamma m0} = \frac{0.1234 \times 3.08 \times 1 \times 23.5}{1} = 8.93 \text{ KN}$$

$$Nsd = 6.68 \text{ KN} < Nbrd = 8.93 \text{ KN} \rightarrow \text{Vérifiée avec CEA40.40.4}$$

**VII.5.1. Vérification avec le logiciel robot :**

| Pièce           | Profil                                       | Matériau | Lay    | Laz    | Ratio | Cas        |
|-----------------|--|----------|--------|--------|-------|------------|
| 563 contrevente | <input checked="" type="checkbox"/> CAE 40x4 | S 235    | 777.34 | 777.34 | 0.60  | 9 ELU /35/ |

**Conclusion :**

La cornière **CEA40.40.4** est adéquate comme diagonale pour palées de stabilités.

**VII.6. Résumé des résultats :**

Les profilés adoptés pour tous les éléments sont récapitulés dans le tableau suivant :

| Eléments             | Section |
|----------------------|---------|
| Poteaux              | HEA 300 |
| Traverses            | IPN 360 |
| Pannes               | IPE 180 |
| Lisses de pignon     | UPE 80  |
| Lisses de long pan   | UPE 100 |
| Potelets de pignon   | IPE 220 |
| Potelets de long pan | IPE 180 |

|  |              |
|--|--------------|
| <b>Poutre sablière</b>                 | HEB180       |
| <b>Poutre de roulement</b>             | HEB 340      |
| <b>Support du chemin de roulements</b> | HEB 160      |
| <b>Contreventement verticale</b>       | CEA 40.40.4  |
| <b>Contreventement horizontales</b>    | CEA 60.60.10 |

**Tableau VII.3 : liste des éléments et leurs sections choisies.**

**CHAPITRE VIII**

**CALCUL**

**DES**

**ASSEMBLAGES**

### VIII.1.Introduction :

La conception et le calcul des assemblages ont une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces constituant la structure. En effet, les assemblages constituent un dispositif qui permet de réunir et de solidariser les pièces entres-elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations régnant dans les différents composants structurels, en cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est remis en cause.

#### VIII.1.1.Fonctionnement des assemblages :

Les principaux modes d'assemblages sont :

##### a) Le boulonnage :

Le boulonnage est le moyen d'assemblage le plus utilisé en construction métallique du fait de sa facilité de mise en œuvre et des possibilités de réglage qu'il offre sur site. Dans notre cas, le choix a été porté sur le boulon de haute résistance (HR) il comprend une vis à tige fileté, une tête hexagonale ou carrée et un écrou en acier à très haute résistance :

| classe  | 4.6 | 4.8 | 5.6 | 5.8 | 6.6 | 6.8 | 8.8 | 10.9 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| <i>f<sub>yb</sub></i><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 240 | 320 | 300 | 400 | 360 | 480 | 640 | 900  |
| <i>f<sub>ub</sub></i><br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 400 | 400 | 500 | 500 | 600 | 600 | 800 | 1000 |

**Tableau VIII.1 : Caractéristique mécanique des boulons selon leur classe d'acier.**

##### b) Le soudage :

En charpente soudée les assemblages sont plus rigides, cela a pour effet un encastrement partiel des éléments constructifs. Les soudages à la flamme oxyacétylénique et le soudage à l'arc électrique sont des moyens de chauffages qui permettent d'élever à la température de fusion brilles des pièces de métal à assembler.

##### c) Fonctionnement par adhérence :

Dans ce cas, la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact. Cela concerne le soudage, le collage, le boulonnage par boulons HR.

##### d) Coefficients partiels de sécurité (chap.6.1.2 –eurocode3) :

- Résistance des boulons au cisaillement :  $\gamma_{mb} = 1,25$
- Résistance des boulons à traction :  $\gamma_{mb} = 1,50$

**e) Coefficient de frottement :**

Un bon assemblage par boulons HR exige que des précautions élémentaires soient prises, notamment :

Le coefficient de frottement  $\mu$  doit correspondre à sa valeur de calcul. Cela nécessite une préparation des surfaces, par brossage ou grenailage, pour éliminer toute trace de rouille ou de calamine ; de graissage, etc.

|                            |           |   |
|----------------------------|-----------|---|
| <b>Surface de classe A</b> | $\mu=0.5$ | <b>Pour surfaces grenillées ou sablées</b>          |
| <b>Surface de classe B</b> | $\mu=0.4$ | <b>Pour surfaces grenillées, sablées et peintes</b> |
| <b>Surface de classe C</b> | $\mu=0.3$ | <b>Pour surfaces brossées</b>                       |
| <b>Surface de classe D</b> | $\mu=0.2$ | <b>Pour surfaces non traitées</b>                   |

**Tableau VIII.2 : Valeur du coefficient de frottement  $\mu$  selon la surface.**

**VIII.1.2. Rôle des assemblages :**

Pour réaliser une structure métallique ; on dispose de pièces individuelles, qu'il convient d'assembler :

- Soit bout à bout (éclissage, rabotages).
- Soit concourantes (attaches poutre/poteau, treillis et systèmes réticulés).

Pour conduire les calculs selon les schémas classiques de la résistance des matériaux, il y a lieu de distinguer, parmi les assemblages :

- Les assemblages articulés : qui transmettront uniquement les efforts normaux et tranchants.
- Les assemblages rigides : qui transmettront en outre les divers moments.

| désignation                                       | M8   | M10  | M12  | M14 | M16 | M18 | M20 | M22   | M24  | M27 | M30 |
|---|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|------|-----|-----|
| <b>d (mm)</b>                                     | 8    | 10   | 12   | 14  | 16  | 18  | 20  | 22    | 24   | 27  | 30  |
| <b>d0 (mm)</b>                                    | 9    | 11   | 13   | 15  | 18  | 20  | 22  | 24    | 26   | 30  | 33  |
| <b>A (mm<sup>2</sup>)</b>                         | 50.3 | 78.5 | 113  | 154 | 201 | 254 | 314 | 380   | 452  | 573 | 707 |
| <b>As (mm<sup>2</sup>)</b>                        | 36.6 | 58   | 84.3 | 115 | 157 | 192 | 245 | 303   | 353  | 459 | 561 |
| <b><math>\varphi</math><br/>rondelle<br/>(mm)</b> | 16   | 20   | 24   | 27  | 30  | 34  | 36  | 40    | 44   | 50  | 52  |
| <b><math>\Phi</math><br/>clé (mm)</b>             | 21   | 27   | 31   | 51  | 51  | 51  | 58  | 58    | 58   | 58  | 58  |
| <b>Tôle usuelle<br/>(mm)</b>                      | 2    | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8   | 10.14 | >14  | -   | -   |
| <b>Cornière<br/>usuelle (mm)</b>                  | 30   | 35   | 40   | 50  | 60  | 70  | 80  | 120   | >120 | -   | -   |

**Tableau VIII.3: Principales caractéristiques géométrique.**

$d$  : diamètre de la partie non fileté de la vis.

$d_0$  : diamètre nominal du trou.

$A$  : section nominale du boulon.

$A_s$  : section résistante de la partie fileté.

### VIII.2.Assemblage Poteau-Traverse :

Le principe de l'assemblage est de souder une platine en bout de traverse, elle est percée symétriquement de part et d'autre de la poutre. Les mêmes perçages qui sont effectués sur l'aile du poteau, permettent de solidariser les deux éléments assembles. Le jarret qui figure sous la traverse permet d'obtenir un bras de levier assez important, pour pouvoir développer une meilleure résistance, vis-à-vis du moment de flexion, qui est très fréquemment la sollicitation prédominante.

#### VIII.2.1.Les composants de l'assemblage :

##### ➤ Profilés :

Poteau HEA300 ; traverse IPN360

##### ➤ Choix des diamètres des boulons :

On choisit des boulons M20 de diamètre  $\varnothing 20$  de classe 8.8

Nombre de files :  $n = 2$

Nombre de boulons = 14

Section nominale du boulon  $A = 314 \text{ mm}^2$

Section résistante de la partie fileté  $A_s = 245 \text{ mm}^2$

##### ➤ Sollicitations :

$M_{max} = 137.03 \text{ KN.m}$

$N_{max} = 58.86 \text{ KN}$

$V_{sdmax} = 61.58 \text{ KN}$

#### VIII.2.2.Disposition des boulons :

$P1 \geq 2,2d_0$

$P2 \geq 3d_0$

Avec :  $d_0 = 22 \text{ mm}$  (**tableau 6.1 Eurocode 3**)

$P1 \geq 2.2 \times 22 = 48.4 \text{ mm}$  ➔ on prend  $P1 = 80 \text{ mm}$

$P2 \geq 3 \times 22 = 66 \text{ mm}$  ➔ on prend  $P2 = 70 \text{ mm}$

##### • Pince longitudinale

$e1 \geq 1.2d_0$

$e1 \geq 1.2 \times 22 = 26.4 \text{ mm}$  ➔ on prend  $e1 = 60 \text{ mm}$

- **Pince transversale**

$$e_2 \geq 1.5d_0$$

$$e_2 \geq 1.5 \times 22 = 33\text{mm} \rightarrow \text{on prend } e_2 = 36.5\text{mm}$$

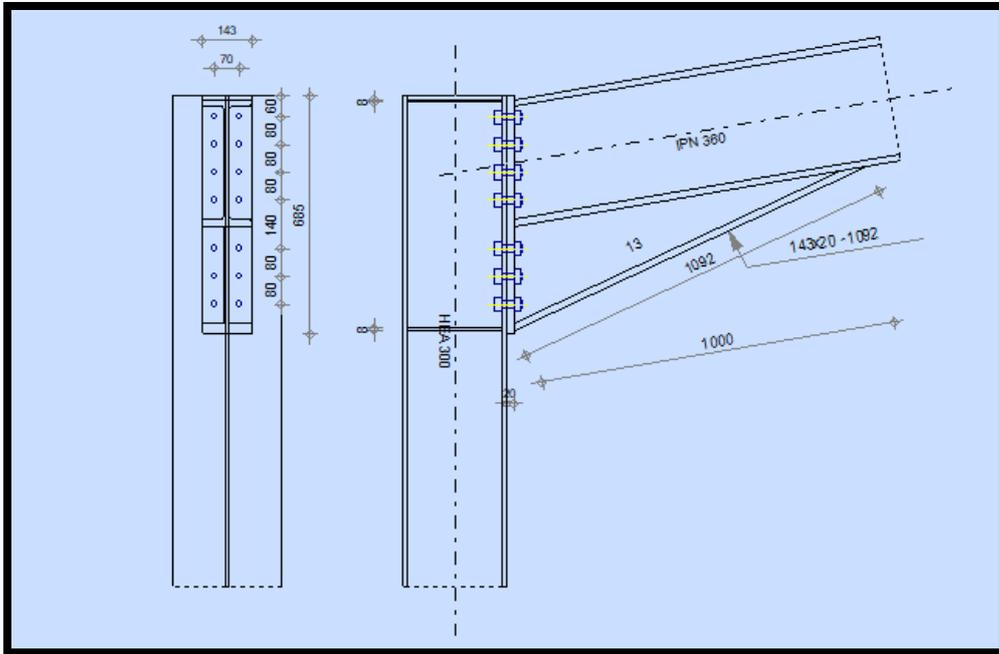


Figure VIII.1 : assemblage poteau-traverse.

### VIII.2.3. Détermination des efforts dans les boulons :

#### VIII.2.3.1. Effort de cisaillement :

$$F_{vsd} = \frac{V_{max}}{N} ; V_{max} = 61.85\text{KN}$$

$F_{vsd}$  : L'effort de cisaillement pour un seul boulon

$$F_{vsd} = \frac{61.85}{14} = 4.41\text{KN}$$

#### VIII.2.3.2. Effort de traction :

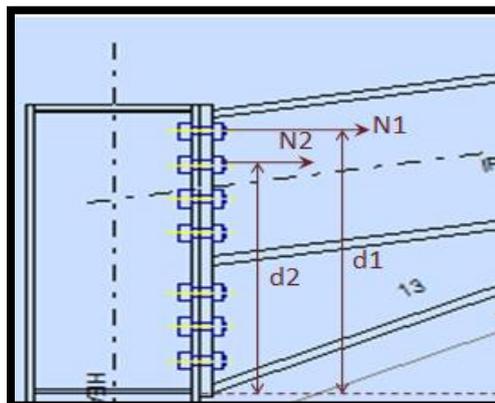


Figure VIII.2 : distribution des efforts sur les boulons tendus.

Avec  $M_{max} = N1 \times d1 + N2 \times d2$  ;  $d1 = 60.5\text{cm}$  et  $d2 = 52.5\text{cm}$

$$\frac{N1}{d1} = \frac{N2}{d2} ; \rightarrow N1 = \frac{M_{max} \times d1}{(d1^2 + d2^2)} = \frac{137.03 \times 0.605}{0.605^2 + 0.525^2} = 129.030\text{KN}$$

$$\text{Donc } F_{tsd} = \frac{N1}{2} \rightarrow F_{tsd} = \frac{129.03}{2} = 64.51\text{KN}$$

$F_{tsd}$  : L'effort de traction maximal pour un seul boulon.

#### VIII.2.4. Pré dimensionnement des boulons :

Le dimensionnement des boulons se fait en vérifiant le décollement des platines avec :

$$F_p \geq F_{tsd} ;$$

$F_p$  : la force précontrainte d'un seul boulon.

$$F_p = 0.7 \times A_s \times f_{ub} ;$$

$f_{ub}$  : Contrainte ultime de rupture (on choisit la classe 10.9 ;  $f_{ub} = 1000\text{Mpa}$ )

$$0.7 \times A_s \times f_{ub} \geq F_{tsd} \rightarrow A_s \geq \frac{F_{tsd}}{0.7 \times 80} = 1.151\text{cm}^2$$

On adopte un boulon M18 avec  $A_s = 1.92\text{cm}^2$

#### VIII.2.5. Vérification vis-à-vis au cisaillement :

On doit vérifier la condition suivant :

$$F_{vsd} \leq F_{s,Rd}$$

$F_{s,Rd}$  : la résistance de calcul au cisaillement par boulon

$$F_{s,Rd} = \frac{K_s \times n \times \mu}{\gamma_{ms}} \times F_{p,cd}$$

$F_{p,cd}$  : Précontrainte de calcul

$$F_{p,cd} = 0.7 \times A_s \times f_{ub} = 0.7 \times 1.92 \times 80 = 107.52\text{KN}$$

$K_s = 1$  ; Coefficient qui est en fonction de la dimension des trous de perçage pour les trous à tolérance normale.

$n$  : nombre d'interfaces de frottement  $n = 1$

$\mu$  : coefficient de frottement qui est pris égale à 0.3

$$\gamma_{ms} = 1.25$$

$$F_{s,Rd} = \frac{K_s \times n \times \mu}{\gamma_{ms}} \times F_{p,cd} \rightarrow F_{s,Rd} = \frac{1 \times 1 \times 0.3}{1.25} \times 107.52 = 25.80\text{KN}$$

$F_{vsd} = 4.41\text{KN}$  Donc  $F_{vsd} < F_{s,Rd} \rightarrow$  c'est vérifié.

#### VIII.2.6. Vérification d'un boulon à l'interaction traction cisaillement :

On doit vérifier la condition suivant :

$$F_{vsd} \leq F_{s,Rd} = \frac{K_s \times n \times \mu}{\gamma_{ms}} \times (F_{p,cd} - 0.8F_{t,sd})$$

$$F_{s,Rd} = \frac{1 \times 1 \times 0.3}{1.25} \times (107.52 - 0.8 \times 64.51) = 13.41 \text{KN}$$

$$F_{vsd} = 4.41 \text{KN} < F_{s,Rd} = 13.41 \text{KN}$$

La résistance de boulon à l'interaction cisaillement traction elle est vérifiée.

### VIII.2.7. Vérification au poinçonnement :

Il faut vérifier que :  $B_{prd} \geq F_{tsd} = 64.51 \text{KN}$

$B_{prd}$  : La résistance de calcul au cisaillement par poinçonnement

$$B_{prd} = 0.6 \times \pi \times d_m \times t_p \times \frac{f_u}{\gamma_{mb}}$$

$d_m$  : diamètre moyen de boulon M20 ( $d_m = 2.91 \text{cm}$ )

$t_p$  : L'épaisseur de la plaque ( $t_p = 2 \text{cm}$ )

S235  $\rightarrow f_u = 360 \text{Mpa}$

$$B_{prd} = 0.6 \times 3.14 \times 2.91 \times 2 \times \frac{36}{1.25} = 315.78 \text{KN}$$

Donc  $B_{prd} > F_{tsd}$  (c'est vérifié)

### VIII.2.8. Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone tendue :

Il faut vérifier que :  $F_v \leq F_{trd}$

$$\text{Avec : } F_{trd} = t_w \cdot b_{eff} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{m0}} \dots \dots \dots \text{EC03}$$

Où :

$F_{trd}$  : La résistance de l'âme de poteau à la traction

$t_w$  : L'épaisseur de l'âme de poteau  $t_w = 0.85 \text{cm}$

$b_{eff} = P$  : Entraxe des rangées de boulons  $P = 8 \text{cm}$

$$\text{Donc : } F_{trd} = 0.85 \times 8 \times \frac{23.5}{1.1} = 145.27 \text{KN}$$

L'effort de cisaillement vaut :

$$F_v = \frac{M_{sd}}{h - t_f} \dots \dots \dots \text{EC03 - 1 - 8 art 6.2.6.7}$$

$$F_v = \frac{137.03}{0.29 - 0.14} = 496.48 \text{KN}$$

Donc

$F_v > F_{trd}$  (n'est pas vérifié)

D'où la nécessité d'un raidissage :(raidisseur d'épaisseur  $e = 14 \text{mm}$ )

### VIII.2.9. Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone comprimée :

On doit vérifier que :  $F_{vsd} = 496.48 \text{KN} \leq F_{crd} = \frac{f_y \times t_w \times b_{eff}}{\gamma_{m0}} \dots \dots \dots \text{EC03}$

$$B_{eff} = tf + 2tw + 5(tp + r) = 14 + 2 \times 8.5 + 5(20 + 27) = 266mm$$

$$F_{crd} = \frac{23.5 \times 0.85 \times 26.6}{1.1} = 483.03KN$$

$$F_{vsd} = 496.48KN > F_{crd} = 483.03KN \text{ (n'est pas vérifié)}$$

Compression n'est pas vérifiée, il faut donc prévoir un raidisseur de (e=14mm)

### VIII.2.10. Vérification à la résistance de l'âme du poteau dans la zone cisailé :

On doit vérifier alors :  $F_v \leq F_{vrd}$

L'effort résiste au cisaillement de l'âme :

$$F_{vrd} = 0.58 \times f_y \times h \times tw / \gamma_{m0} = 0.58 \times 23.5 \times 29 \times 0.85 / 1.1 = 305.43KN$$

L'effort de cisaillement vaut :

$$F_v = \frac{N_{sd}}{h - tf} \rightarrow F_v = \frac{58.86}{0.29 - 0.014} = 213.26KN$$

$F_v < F_{vrd}$  Vérifié.

### VIII.2.11. Assemblage platine traverse :

Ce type d'assemblage opérer avec des cordons de soudure

Épaisseur de la platine e=20mm

- Gorge assemblant l'âme-platine (aw) :

Épaisseur la plus mince entre l'âme et la platine :

$$t_{min} = \min (tw ; e) = \min (8.5 ; 20) = 8.5mm$$

$$3mm \leq aw \leq 7.5mm$$

On adopte pour aw = 5mm

Selon l'abaque (annexe8).

- gorge assemblant semelle-platine (af) :

Épaisseur la plus mince entre l'âme et la platine :

$$t_{min} = \min (tf ; e) = \min (14 ; 20) = 14mm$$

$$3.2mm \leq af \leq 11mm$$

On adopte pour af = 11mm Selon l'abaque (annexe8)

#### VIII.2.11.1. Distribution des efforts sur les différents cordons :

- a) cordon âme platine :

$$\text{Chaque cordon reprend } V/2 = 61.58/2 = 30.79KN$$

$$L_w = h - tf - r = 360 - 19.5 - 13 = 327.5mm$$

- b) cordon semelle platine :

$$L_f = 2b - tw = 2 \times 143 - 13 = 273mm$$

$$N = M_{sd}/L = 137.03 / 0.273 = 501.941KN$$

**VIII.2.11.2.Vérification :****a) cordon âme platine :**

$$F_{wrd} = a.l. \frac{f_u}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\beta_w \cdot \gamma_{mw}} \text{ avec S235} \Rightarrow f_u = 360 \text{Mpa} ; \beta_w = 0.8 ; \gamma_{mw} = 1.25$$

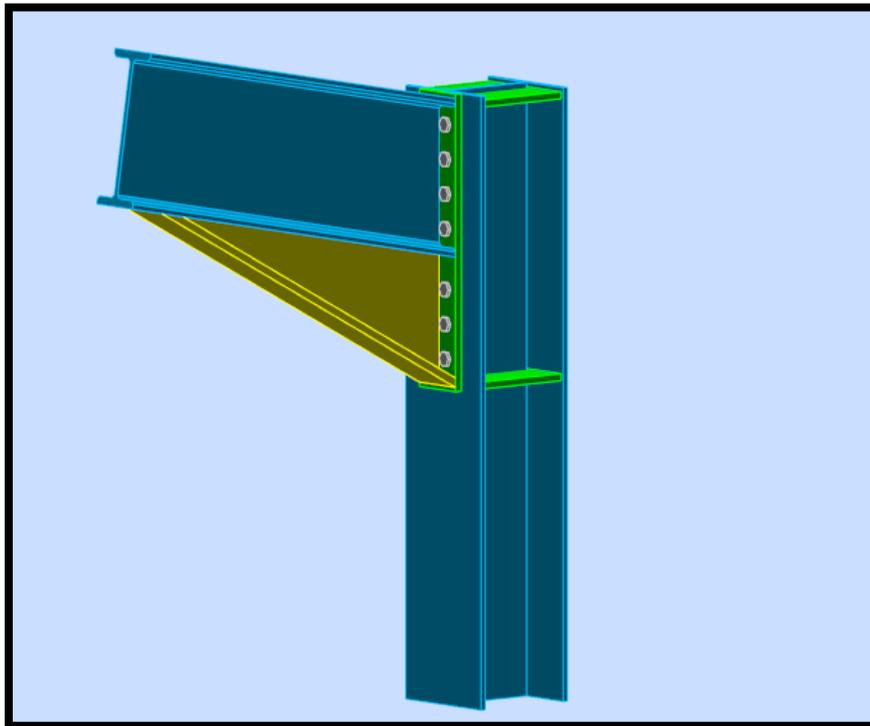
$$F_{wrd} = 0.5 \times 32.75 \times \frac{36}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{0.8 \times 1.25} = 340.34 \text{KN}$$

$$F_{wrd} = 340.34 > F_{wsd} = 30.79 \text{KN} \text{ (c'est vérifiée).}$$

**b) cordon semelle platine :**

$$F_{wrd} = 1.1 \times 27.3 \times \frac{36}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{0.8 \times 1.25} = 624.16 \text{KNKN}$$

$$F_{wrd} = 624.16 > F_{wsd} = 501.941 \text{KN} \text{ (c'est vérifiée)}$$



**Figure VIII.3: vue 3D pour l'assemblage poteau-traverse.**

**VIII.3.Assemblage traverse-traverse :**

L'assemblage traverse – traverse est réalisé par l'intermédiaire d'une platine boulonnée.il est sollicité par des efforts de combinaison la plus défavorable.

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.

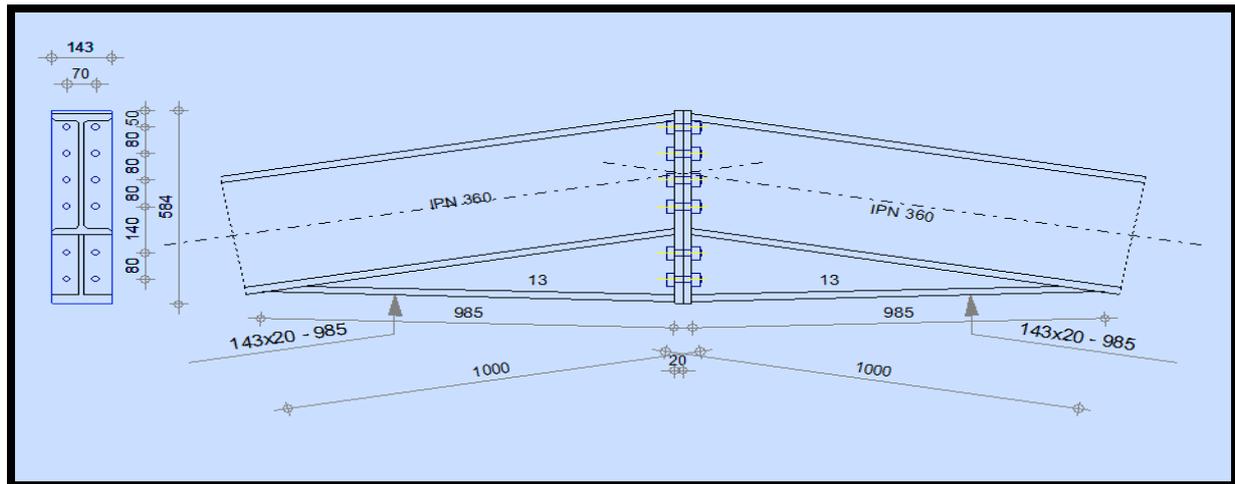


Figure VIII.4 : Assemblage traverse – traverse.

### VIII.3.1. Les composants d'assemblage :

➤ **Profilé :**

Traverse IPN360.

➤ **Choix des diamètres des boulons :**

Le choix se fait suivant l'épaisseur des pièces assemblées et selon le type de profilés, on

Choisit des boulons de diamètre **M20** de classe **8.8**.

Nombre de boulon = 12

$n = 2$  ;  $A = 314 \text{ mm}^2$  ;  $A_s = 245 \text{ mm}^2$

➤ **Sollicitations :**

$M_{max} = 147.28 \text{ KN.m.}$

$N_{max} = 40.24 \text{ KN.}$

$V_{max} = 70.80 \text{ KN.}$

### VIII.3.2. Disposition des boulons :

Les pièces ne sont pas soumises aux intempéries et ne sont pas situées dans des conditions favorisant l'oxydation.

- **Entre axe des boulons :**

$$P1 \geq 2,2d0$$

$$P2 \geq 3 d0$$

Avec :  $d0 = 22 \text{ mm}$  (Tableau 6.1- Eurocode 3)

$$P1 \geq 2,2 \times 22 = 48,4 \text{ mm} \quad \text{On prend : } P1 = 80 \text{ mm}$$

$$P2 \geq 3 \times 22 = 66 \text{ mm} \quad \text{On prend : } P2 = 70 \text{ mm}$$

- **Pince longitudinale :**

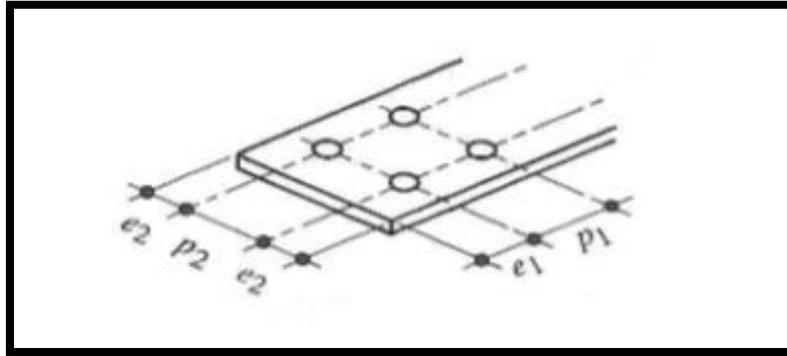
$$e1 \geq 1.2d0$$

$$e1 \geq 1.2 \times 22 = 26.4 \text{ mm} \quad \text{On prend : } e1 = 50 \text{ mm}$$

- **Pince transversale :**

$$e2 \geq 1.5d0$$

$$e2 \geq 1.5 \times 22 = 33 \text{ mm} \quad \text{On prend : } e2 = 36.5 \text{ mm}$$



**Figure VIII.5 : Désignation des entraxes et des pincées.**

### VIII.3.3. Détermination des efforts dans les boulons :

Nous considérons uniquement les boulons tendus, c'est à dire les 2 rangées supérieures des Boulons.

$$d1 = 550 \text{ mm}, d2 = 450 \text{ mm}$$

$$\sum d_i = 550^2 + 450^2 = 0.505 \text{ m}^2$$

$$N1 = \frac{Msd \times d1}{\sum di} = \frac{147.28 \times 0.55}{0.505} = 160.403 \text{ KN}$$

$$N2 = \frac{Msd \times d2}{\sum di} = \frac{147.28 \times 0.45}{0.505} = 131.239 \text{ KN}$$

### VIII.3.4. Pré dimensionnement des boulons :

Le dimensionnement des boulons se fait en vérifications le décollement des platines avec :

$$N1 \leq n \cdot Fp$$

n : nombre de rangés de boulon avec n = 2

$$Fp = 0.7 \times As \times Fub \text{ avec } fub = 800 \text{ MPa (classe 8.8)}$$

$$As \geq \frac{N1}{n \times 0.7 \times fub} = \frac{160.403 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 800} = 143.216 \text{ mm}^2$$

On adopte des boulons M18 avec  $As = 192 \text{ mm}^2$

### VIII.3.5. Vérification vis-à-vis le moment résistant de l'assemblage :

$$Ntrd = 0.7 \times n \times AS \times Fub$$

$$Ntrd = 0.7 \times 2 \times 192 \times 800 = 215.04 \text{ KN}$$

$$Mrd = \frac{Ntrd \times \sum di}{d1} = \frac{215.04 \times 0.505}{0.55} = 197.445 \text{ KN.m}$$

$$Msd = 147.28 \text{ KN.m} \leq Mrd = 197.445 \text{ KN.m} \quad (\text{v\u00e9rifi\u00e9e}).$$

### VIII.3.6. V\u00e9rification vis-\u00e0-vis au cisaillement + traction de chaque boulon :

Il faut v\u00e9rifier que  $Fvsd \leq Fvrd$  :

$$Fvsd = \frac{Vsd_{max}}{n} \quad \text{Effort de cisaillement sollicitant par boulon.}$$

$$Fvrd = \frac{ks \times n \times \mu \times (Fp - 0.8 Ftsd)}{\gamma_{mb}}$$

$$Ftsd = \frac{N1}{2} = \frac{160.43}{2} = 80.201 \text{ KN.}$$

$$Fp = 0.7 \times 197 \times 800 = 110.320 \text{ KN.}$$

$$Fvsd = \frac{70.80}{12} = 5.9 \text{ KN.}$$

$$Fvrd = \frac{1 \times 2 \times 0.3 \times (110.320 - 0.8 \times 80.201)}{1.25} = 22.156 \text{ KN.}$$

$$Fvsd = 5.9 \text{ KN} \leq Fvrd = 22.156 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{verifi\u00e9e.}$$

### VIII.3.7. V\u00e9rification au risque de poin\u00e7onnement lors de serrage :

On doit v\u00e9rifier que :  $Fp \leq Bprd$

$$Fp = 0.7 \times As \times Fub$$

$$Bprd = 0.6 \times \pi \times dm \times t \times \frac{fu}{\gamma_{mb}}$$

$dm$  : Diam\u00e8tre moyen du boulon  $dm = 29.1 \text{ mm}$ .

$tp$  : \u00c9paisseur des pi\u00e8ces \u00e0 boulonn\u00e9es  $t = 20 \text{ mm}$ .

$$Bprd = 0.6 \times 3.14 \times 29.1 \times 2 \times \frac{36}{1.25} = 315.788 \text{ KN.}$$

$$Fp = 110.320 \text{ KN} \leq Bprd = 315.788 \text{ KN} \rightarrow (\text{pas de risque poin\u00e7onnement lors de serrage}).$$

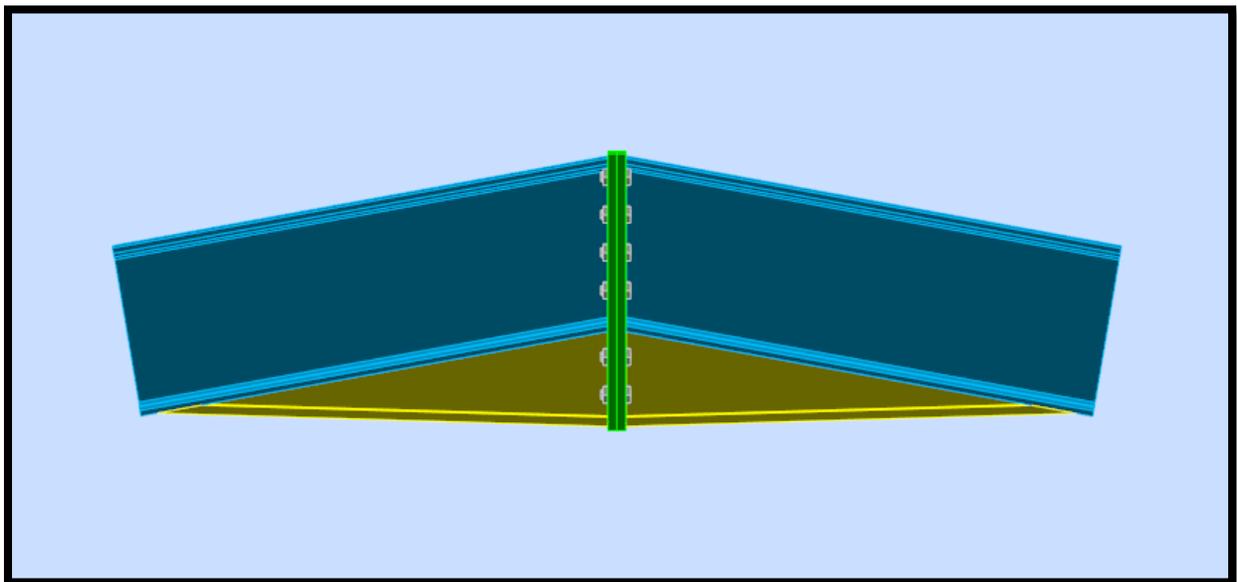


Figure VIII.6 : Vue 3D pour l'assemblage traverse-traverse.

**VIII.3.8. Dimensionnement de la soudure patine-traverse :**

Cette liaison se fera au moyen de cordon de soudure :

Epaisseur de la platine : Soite = 20 mm.

- Gorge reliant l'âme :

$$3\text{mm} \leq a \leq 0.5\ tw \rightarrow 3\text{mm} \leq a \leq 0.5 \times 13 \rightarrow a = 6\text{mm}$$

- Gorge reliant la semelle :

$$6\text{mm} \leq a \leq 0.5\ tf \rightarrow 6\text{mm} \leq a \leq 0.5 \times 19.5\text{mm} \rightarrow a = 10\text{mm}$$

**VIII.3.8.1. Distribution des efforts sur les différents cordons :****a) Cordon âme platine :**

Chaque cordon repend :  $V/2 = 70.80/2 = 35.4\text{ KN}$ .

**b) Cordon semelle :**

$$L=2b-tw=2*143-13=273\text{mm}$$

$$N=Ms_d/L=147.28/0.273=539.487\text{KN}$$

**VIII.3.8.2. Verification:**

- Cordon semelle platine

$$L = \frac{N \times \sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}{a \times f_u} \quad (\text{EC3 Art 6.6.5.3})$$

$$\beta_w = 0.8, \gamma_{mw} = 1.25, f_u = 360\text{ Mpa}$$

$$L = \frac{539.487 \times \sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25}{1 \times 36} = 25.95\text{ cm}$$

$L = 27.3\text{cm} > 25.95\text{ cm}$  c'est vérifiée.

**Remarque :**

Le renfort de jarret est utilisé pour remplir la fonction suivante :

- Augmenter la résistance à la flexion de la traverse au niveau du moment le plus élevé pour pouvoir ainsi utiliser une traverse de plus petit taille.

**VIII.4. Assemblage des éléments de la Poutre au vent :****VIII.4.1. Dimensionnement du gousset :**

L'épaisseur du gousset dépend essentiellement de l'effort appliqué, il est donné par le tableau suivant :

| F(KN)  | <200 | 200-450 | 450-750 | 750-1150 | 1150-1650 |
|--------|------|---------|---------|----------|-----------|
| e (mm) | 8    | 10      | 12      | 14       | 16        |

**Tableau VIII.4 : épaisseur du gousset en fonction de l'effort appliqué.**

L'assemblage dimensionné avec l'élément le plus sollicité avec un effort de traction :  
 $N_{t.sd} = 59.86 \text{ KN}$

D'où : épaisseur de gousset  $t = 8 \text{ mm}$

L'assemblage est réalisé avec des boulons ordinaires de classe 6.6 dont une contrainte ultime de rupture  $f_{ub} = 600 \text{ Mpa}$ .

#### VIII.4.2. Distribution de l'effort normal sur les boulons :

$$F_{v.s.d} = \frac{F_{t.s.d}}{n \cdot p}$$

Avec :

$n$  : nombre de boulons pris par une seule cornière  $n = 3$ .

$P$  : nombre de plan cisaillement  $p = 1$

$F_{v.s.d}$  : effort de cisaillement pour un seul boulon.

$$F_{v.s.d} = \frac{59.86}{3 \times 1} = 19.953 \text{ KN}$$

#### VIII.4.3. Pré dimensionnement des boulons :

Avec la condition  $F_{v.s.d} \leq F_{v.r.d}$

$F_{v.r.d}$  : la résistance au cisaillement de calcul pour un seul boulon

$$F_{v.r.d} = \frac{0.5 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} \text{ avec } \gamma_{mb} = 1.25 \text{ (CCM97 tableau 65.3)}$$

$$F_{v.s.d} \leq F_{v.r.d} = \frac{0.5 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} \rightarrow A_s \geq \frac{F_{v.s.d} \times \gamma_{mb}}{0.5 \times f_{ub}} = \frac{19.953 \times 10^3 \times 1.25}{0.5 \times 600} \rightarrow A_s > 83.13 \text{ mm}^2$$

On adopte des boulons de type M14  $A_s = 115 \text{ mm}^2$  et  $d_0 = 15 \text{ mm}$ .

#### VIII.4.4. Disposition géométrique :

Cornière L CAE60.10 avec  $t = 10 \text{ mm}$

Selon l'EC3 P1-8 tableau 3.3 on détermine les pinces et les pas :

$$1.2d_0 \leq e_1 \leq 8t \qquad 18 \text{ mm} \leq e_1 \leq 80 \text{ mm}$$

$$2.2d_0 \leq p_1 \leq 14t \qquad \text{d'où : } 33 \text{ mm} \leq p_1 \leq 140 \text{ mm}$$

$$1.2d_0 \leq e_2 \leq 8t \qquad 18 \text{ mm} \leq e_2 \leq 80 \text{ mm}$$

Soit  $e_1 = 5 \text{ cm}$  ;  $P_1 = 7 \text{ cm}$  ;  $e_2 = 4 \text{ cm}$

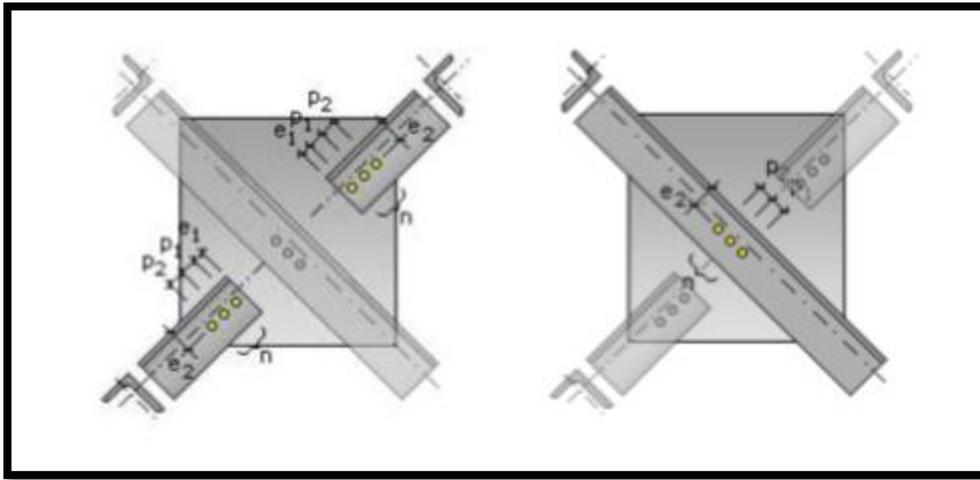


Figure VIII.7 : la disposition géométrique des boulons des contreventements horizontaux.

#### VIII.4.5. Vérification :

##### VIII.4.5.1. Vérification à la pression diamétrale :

Il faut vérifier que :  $F_{vsd} \leq F_{brd}$

$F_{brd}$  : la résistance de calcul à la pression diamétrale

$$F_{brd} = 2.5\alpha \times f_u \times d \times t / \gamma_{mb}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0.25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{50}{3 \times 15}; \frac{70}{3 \times 15} - 0.25; \frac{600}{360}; 1\right) \rightarrow \alpha = 1$$

t: l'épaisseur la plus mince entre le gousset la crinière  $t = t_p = 0.8 \text{ cm}$ .

d : diamètre de boulon  $d = 1.4 \text{ cm}$

$$F_{brd} = 2.5 \times 1 \times 360 \times 14 \times \frac{8}{1.25} = 80.64 \text{ KN} > F_{vsd} = 19.953 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

##### VIII.4.5.2. Vérification à la résistance ultime de la section nette :

$$N_{tsd} \leq N_{u.Rd}$$

$$N_{u.Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{m2}}$$

Calcul de la section nette :

$$A_{net} = A_1 + \xi \cdot A_2$$

$$A_{net} = A_1 + \xi \cdot A_2$$

$$A_1 = (l - d_0)e$$

$$A_2 = A_{tot} - (d_0 \times e) - A_1$$

$$\xi = \frac{3 \times A_1}{3 \times A_1 + A_2}$$

$$A_1 = (60 - 15) \times 10 = 450 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 1110 - (15 \times 10) - 450 = 510 \text{ mm}^2$$

$$\xi = \frac{3 \times 450}{3 \times 450 + 510} = 0.72$$

$$A_{net} = 450 + (0.72 \times 510) = 817.2 \text{ mm}^2$$

Calcul de l'effort résistant de la section nette :

$$Nu.Rd = \frac{0.9 \times 8.172 \times 36}{1.25} = 211.818 \text{ KN}$$

$$N_{tsd} = 59.86 \text{ KN} < Nu.Rd = 211.818 \text{ KN} \text{ (c'est vérifiée)}$$

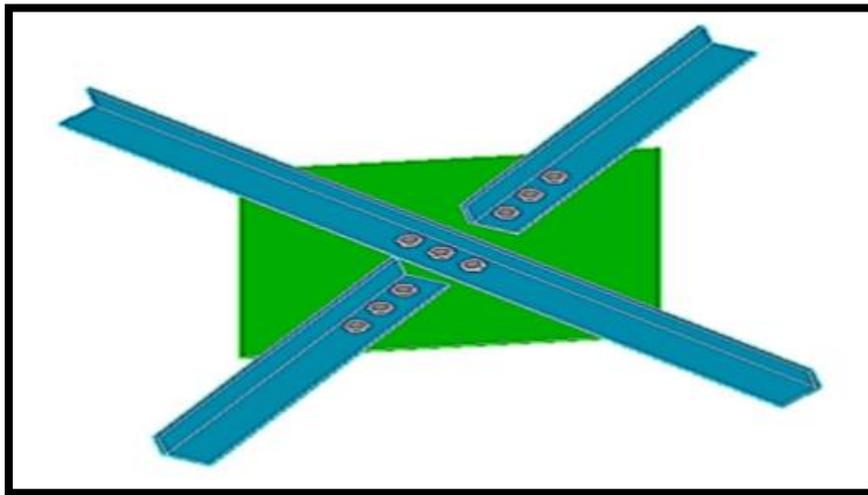


Figure VIII.8 : vue 3D d'assemblage des diagonales de contreventement horizontale.

#### VIII.4.5.3. Vérification vis-à-vis des assemblages trop longs :

$$L = (n-1) P_1 = (3-1) \cdot 7 = 14 \text{ cm}$$

$$L < 15 \cdot d = 15 \cdot 1.4 = 21 \text{ cm}$$

Donc : L'assemblage n'est pas long

#### VIII.4.5.4. Dimensionnement de l'assemblage des diagonales avec la traverse :

Ce type d'assemblage réalisé à l'aide d'un gousset relié entre la traverse et les diagonales de la poutre au vent, et le gousset soudé directement avec la traverse.

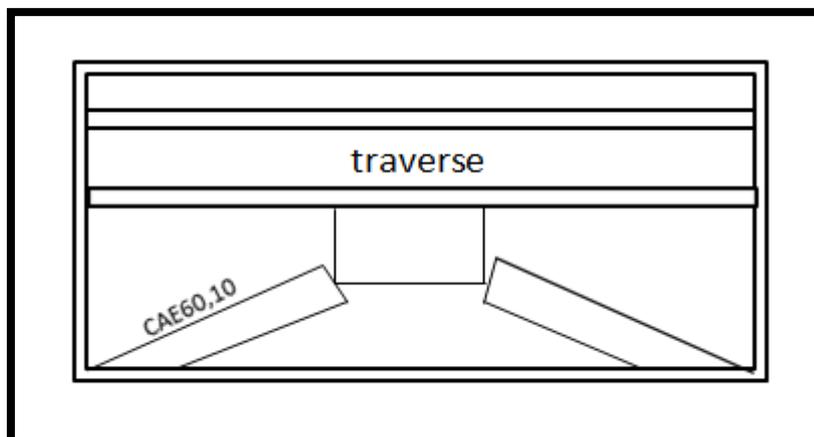


Figure VIII.9 : Exemple d'assemblage des diagonales de poutre au vent avec la traverse.

L'assemblage sollicité par le même effort de traction  $N_{tsd} = 59.86 \text{ KN}$ , donc on garde le même type d'assemblage précédent les cornières avec le gousset, on dimensionne juste la soudure relié entre la traverse et le gousset d'où:

$$F_{w, sd} = 2 \times F_{tsd} = 119.72 \text{ KN}$$

La gorge de soudure doit vérifier les critères de mise en œuvre, elle est donnée par la condition suivante:

$$3 \text{ mm} \leq a \leq t_{\min}$$

$t_{\min}$ : Épaisseur plus mince des pièces assemblées

$$t_{\min} = \min(t=16 \text{ mm (épaisseur de l'échantignolle) ; } t_f=19.5 \text{ mm (traverse IPN360) )$$

$$3 \text{ mm} \leq a \leq 16 \text{ mm}$$

On choisit  $a=5 \text{ mm}$

- Calcul de longueur de cordon  $l$  :

$$F_{v, sd} \leq (a \times l) \times \frac{f_u}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\beta_w \times \gamma_{mw}} \rightarrow l \geq \frac{F_{v, sd} \times \sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}{a \times f_u}$$

$$l \geq \frac{119.72 \times \sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25}{0.5 \times 36} = 11.46 \text{ cm on adopt } l = 15 \text{ cm}$$

### VIII.5. Contreventement vertical :

#### VIII.5.1. Palée de stabilité :

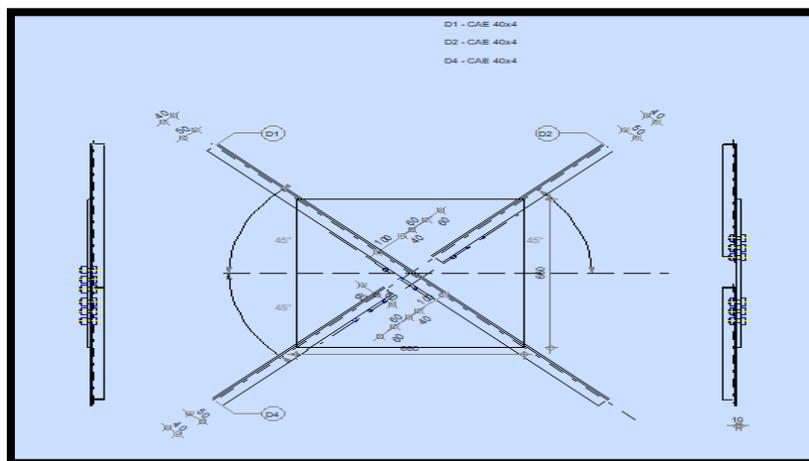


Figure VIII.10 : Représentation de l'assemblage diagonale de rive.

L'assemblage se fait par la détermination de l'élément le plus sollicité avec un effort de traction :  $N_{t, sd} = 42.70 \text{ KN}$

#### VIII.5.2. Assemblage de la diagonale sur le gousset :

##### VIII.5.2.1. Pré dimensionnement du gousset :

$$N_{t, sd} = 42.70 \text{ KN} < 200 \text{ KN d'où: } e = 8 \text{ mm}$$

L'assemblage est réalisé par des boulons ordinaires de classe 5.6, dont la résistance au glissement par cisaillement est donnée comme suit :

$$F_{vrd} = \frac{0.5 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}}$$

Avec :

$$f_{ub} = 500 \text{ Mpa (Tableau 3.3 CCM97)}$$

$\gamma_{mb}$  : Coefficient de sécurité =1,25

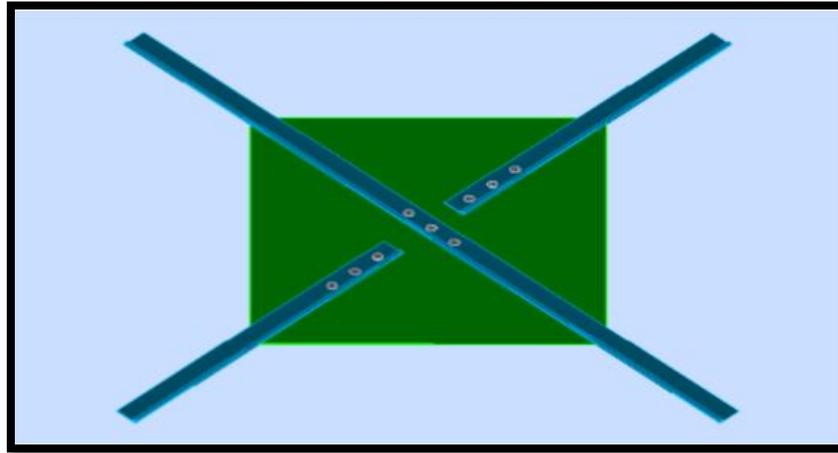


Figure VIII.11 : Assemblage des diagonales de rive.

#### VIII.5.2.2. Distribution de l'effort normale sur les boulons :

$$F_{vsd} = \frac{N_{tsd}}{n p} = \frac{42.70}{3 \times 2} = 7.116 \text{ KN}$$

Avec :

p : nombre de plan de cisaillement =2

n : est le nombre de boulons pris arbitrairement =3

#### VIII.5.2.3. Dimensionnements des boulons :

$$F_{vrd} = \frac{0.5 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} \text{ avec } \gamma_{mb} = 1.25 \text{ (CCM97 tableau 65.3)}$$

$$F_{vsd} \leq F_{vrd} = \frac{0.5 \times A_s \times f_{ub}}{\gamma_{mb}} \rightarrow A_s \geq \frac{F_{vsd} \times \gamma_{mb}}{0.5 \times f_{ub}} = \frac{7.116 \times 10^3 \times 1.25}{0.5 \times 500} \rightarrow A_s > 35.58 \text{ mm}^2$$

On adopte des boulons de type M10  $A_s=58 \text{ mm}^2$  et  $d_0=11 \text{ mm}$ .

#### VIII.5.2.4. Disposition géométrique :

Cornière L CAE40.4 avec  $t=8 \text{ mm}$

Selon l'EC3 P1-8 tableau 3.3 on détermine les pinces et les pas :

$$\begin{array}{ll} 1.2d_0 \leq e_1 \leq 8t & 13.2 \text{ mm} \leq e_1 \leq 64 \text{ mm} \\ 2.2d_0 \leq p_1 \leq 14t & \text{d'où : } 24.2 \text{ mm} \leq p_1 \leq 112 \text{ mm} \\ 1.2d_0 \leq e_2 \leq 8t & 13.2 \text{ mm} \leq e_2 \leq 64 \text{ mm} \end{array}$$

Soit  $e_1=4\text{cm}$  ;  $P_1=6\text{cm}$  ;  $e_2=5\text{cm}$

### VIII.5.3.Vérification :

#### VIII.5.3.1.Vérification à la pression diamétrale :

Il faut vérifier que :  $F_{vsd} \leq F_{brd}$

$F_{brd}$  : La résistance de calcul à la pression diamétrale

$$F_{brd} = 2.5\alpha \times f_u \times d \times t / \gamma_{mb}$$

$$\alpha = \min\left(\frac{e_1}{3d_0} ; \frac{p_1}{3d_0} - 0.25 ; \frac{f_{ub}}{f_u} ; 1\right) = \min\left(\frac{40}{3 \times 11} ; \frac{60}{3 \times 11} - 0.25 ; \frac{500}{360} ; 1\right) \rightarrow \alpha = 1$$

$t$  : L'épaisseur la plus mince entre le gousset la crinière  $t=t_p=0.8\text{cm}$ .

$d$  : Diamètre de boulon M10  $d=1\text{cm}$

$$F_{brd} = 2.5 \times 1 \times 360 \times 10 \times \frac{8}{1.25} = 57.6 \text{ KN} > F_{vsd} = 7.116 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{vérifié}$$

#### VIII.5.3.2.Vérification à la résistance ultime de la section nette :

$$N_{tsd} \leq N_{u.Rd}$$

$$N_{u.Rd} = \frac{0.9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{m2}}$$

Calcul de la section nette :

$$A_{net} = A_1 + \xi \cdot A_2$$

$$A_{net} = A_1 + \xi \cdot A_2$$

$$A_1 = (l - d_0)e$$

$$A_2 = A_{tot} - (d_0 \times e) - A_1$$

$$\xi = \frac{3 \times A_1}{3 \times A_1 + A_2}$$

$$A_1 = (40 - 11) \times 4 = 116 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 308 - (11 \times 4) - 116 = 148 \text{ mm}^2$$

$$\xi = \frac{3 \times 116}{3 \times 116 + 148} = 0.71$$

$$A_{net} = 116 + (0.71 \times 148) = 221.08 \text{ mm}^2$$

Calcul de l'effort résistant de la section nette :

$$N_{u.Rd} = \frac{0.9 \times 2.210 \times 36}{1.25} = 57.303 \text{ KN}$$

$$N_{tsd} = 42.700 \text{ KN} < N_{u.Rd} = 57.303 \text{ KN} \text{ (c'est vérifiée)}$$

#### VIII.5.3.3.Vérification vis-à-vis des assemblages trop longs :

$$L = (n-1) P_1 = (3-1) \cdot 6 = 12 \text{ cm}$$

$$L < 15 \cdot d = 15 \cdot 1.0 = 15 \text{ cm}$$

Donc : L'assemblage n'est pas long.

#### VIII.5.4. Dimensionnement des cordons de soudure gousset-poteau :

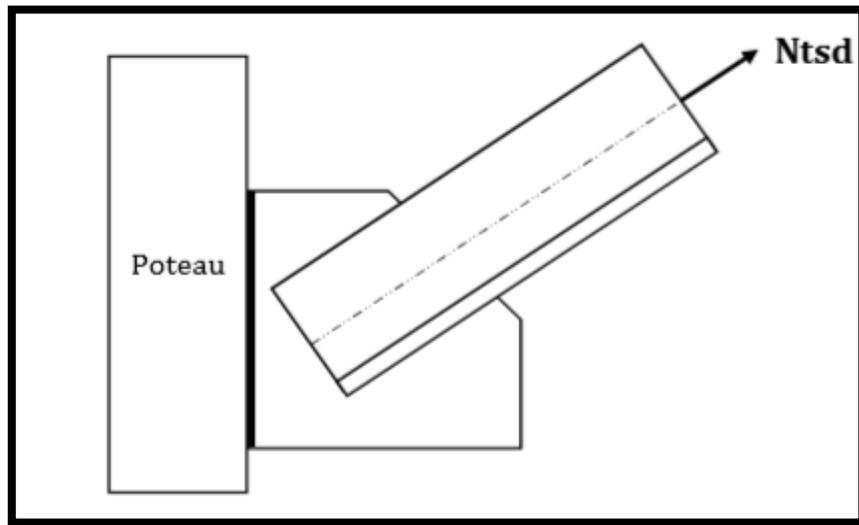


Figure VIII.12 : Assemblage gousset-poteau.

La gorge de soudure doit vérifier les critères de mise en œuvre, elle est donnée par la condition suivante :

$$3\text{mm} \leq a \leq t_{\min}$$

Avec :

$$t_{\min} = \min(t=8\text{mm (épaisseur du gousset)} ; t_w = 8.5\text{mm (poteau HEA300)})$$

$$3\text{mm} \leq a \leq 8\text{mm}$$

On choisit  $a=5\text{mm}$

Calcul de longueur de cordon  $l$  :

$$F_{vsd} \leq (a \times l) \times \frac{f_u}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\beta_w \times \gamma_{mw}} \rightarrow l \geq \frac{F_{vsd} \times \sqrt{3} \times \beta_w \times \gamma_{mw}}{a \times f_u}$$

$$l \geq \frac{42.70 \times \sqrt{3} \times 0.8 \times 1.25}{0.5 \times 36} = 4.10 \text{ cm on adopt } l = 10 \text{ cm}$$

#### VIII.6. Assemblage de l'échantignole :

Les pannes sont assemblées aux traverses ou aux fermes par boulonnage. Sur les toitures inclinées, pour éviter le glissement et le basculement à la pose, les pannes sont fixées à l'aide d'échantignoles.

On dimensionnera le boulon au cisaillement avec  $R_{vz}$  (chaque boulon reprend une seule panne).

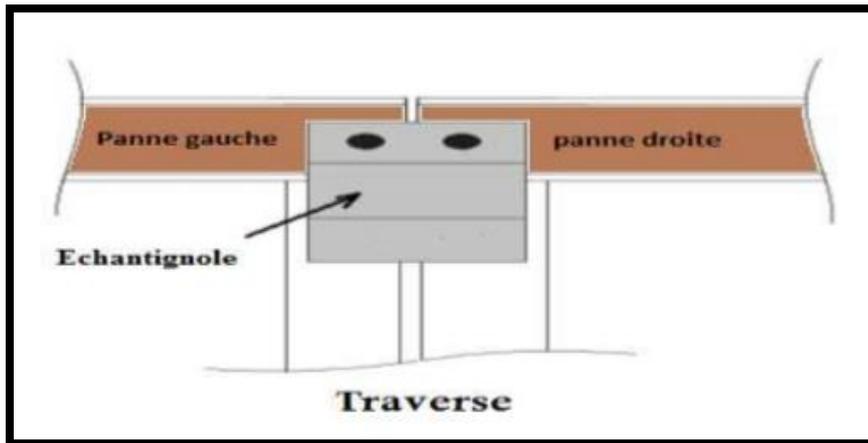


Figure VIII.13 : Vue de face de l'échantignole.

On vérifiera l'assemblage pour un boulon ordinaire afin de réaliser une articulation.

$Rvz_{max} = 31.298 \text{ KN}$  Est celui due au vent (voire chapitre (III) calcul de l'échantignole).

#### VIII.6.1. Calcul de l'effort de cisaillement revenant pour un seul boulon :

$$Fv_{sd} = \frac{Rvz_{max}}{n \cdot p} = \frac{31.298}{2 \times 1} = 15.649 \text{ KN}$$

#### VIII.6.2. Dimensionnement des boulons :

Pour ce type assemblage on choisit des boulons ordinaire de classe 6.6 avec une contrainte ultime de rupture  $fub=600 \text{ Mpa}$

$Fv_{rd}$  : la résistance au cisaillement de calcul pour un seul boulon.

$$Fv_{rd} = \frac{0.5 \times A_s \times fub}{\gamma_{mb}}$$

avec  $\gamma_{mb} = 1.25$  (CCM97 tableau 65.3)

On doit vérifier la condition de résistance suivant :

$$Fv_{sd} \leq Fv_{rd} = \frac{0.5 \times A_s \times fub}{\gamma_{mb}} \rightarrow A_s \geq \frac{Fv_{sd} \times \gamma_{mb}}{0.5 \times fub} = \frac{15.649 \times 10^3 \times 1.25}{0.5 \times 600} \rightarrow A_s > 65.2 \text{ mm}^2$$

On adopte des boulons de type M12  $A_s=84.3 \text{ mm}^2$  et  $d_0=13 \text{ mm}$ .

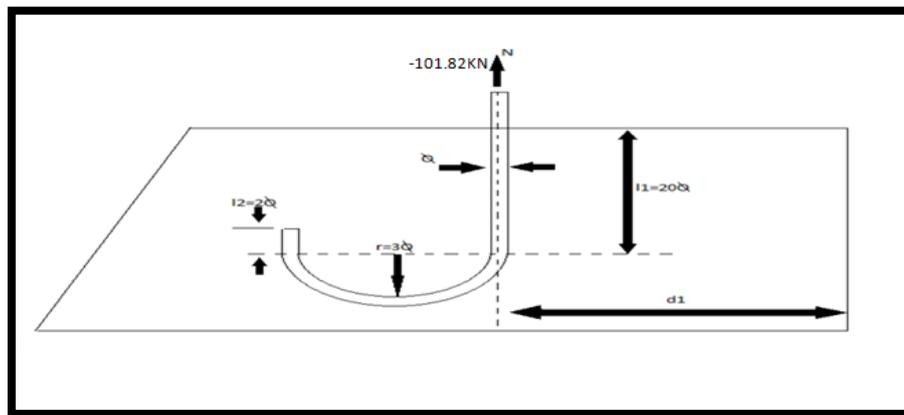
$$Fv_{rd} = \frac{0.5 \times 84.3 \times 600}{1.25} = 20.232 \text{ KN} > Fv_{sd} = 15.649 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{ vérifié}$$

#### VIII.7. Calcul des pieds de poteaux :

Les bases des poteaux et les tiges d'ancrage sont des éléments de continuité qui assurent la transmission des efforts de la superstructure aux fondations, ce sont des dispositifs de liaisons. Ces derniers sont constitués d'une plaque d'assise appelée platine assurant la réduction de la pression dans le béton, soudée au poteau reposant sur la fondation et fixée par écrous aux tiges d'ancrage qui sont noyées dans le béton.

**VIII.7.1. Dimensionnement des tiges d'ancrages :**

La tige d'ancrage sera dimensionnée avec l'effort de traction le plus défavorable  
 $N_t = 101.82 \text{ kN}$



**Figure VIII.14 : tige d'ancrage de pied de poteau.**

La longueur de la platine est donnée comme suit :

$$b = H + 2C$$

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

B : la base de la section HEA300  $\rightarrow B = 300 \text{ mm}$

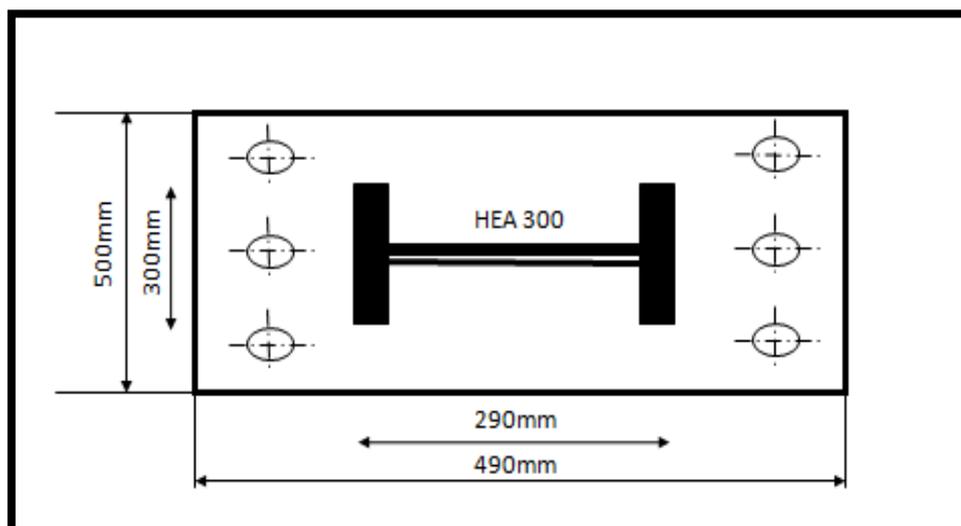
C = le débord, donnée par :  $C = (100/150)$

Soit  $C = 100 \text{ mm}$

D'où :  $a = 300 + 2(100) = 500 \text{ mm}$

Largeur de la platine :

$$b = H + 2C \rightarrow b = 290 + 2(100) = 490 \text{ mm}$$



**Figure VIII.15 : Dispositions constructives.**

Les tiges d'ancrages se dimensionnent à la traction simple, sous un effort de traction (Na).

$$N_{st} = \frac{Nt}{n}$$

n : Nombre de tiges.

Nt : Effort sollicitant de traction.

L'ancrage est réalisé par 6 tiges :

$$\frac{Nt}{6} \leq \frac{\pi \times \phi^2}{4} \rightarrow \phi \geq \sqrt{\frac{2Nt}{3\pi f_y}} \rightarrow \phi \geq \sqrt{\frac{2 \times 101.82}{3 \times 3.14 \times 23.5}} = 0.95cm$$

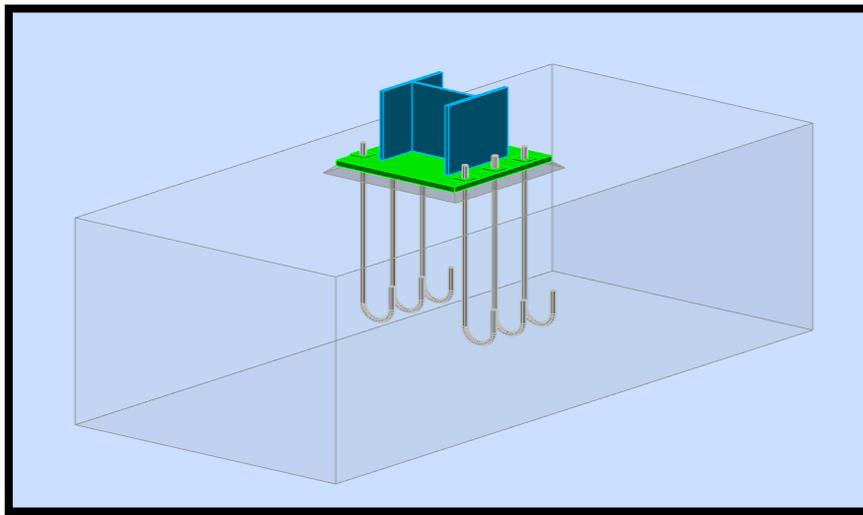


Figure VIII.16 : Vue 3D de la disposition des tiges ancrages.

Donc on prend :  $\phi = 2cm$

Soit des tiges d'ancrages de 20 mm de diamètre

**VIII.7.2.Vérification de la tige d'ancrage :**

L'effort admissible par scellement est fixé par la règle suivant :

$$N_a = 0.1 \cdot \left(1 + \frac{7 \cdot gc}{1000}\right) \cdot \frac{\phi}{\left(1 + \frac{\phi}{d_1}\right)} \cdot (l_1 + 6.4 \cdot r + 3.5 \cdot l_2) \dots \dots \dots CCM97$$

Na : effort normal résistant d'une tige

$$r = 3\phi, l_1 = 20\phi, l_2 = 2\phi$$

gc: Le dosage en ciment = 350 Kg/m<sup>3</sup>

$$r = 6 \text{ cm} ; l_1 = 40 \text{ cm} ; l_2 = 4 \text{ cm} ; d_1 = 10 \text{ cm}$$

$$N_a = 40.50KN > \frac{Nt}{6} = 16.97KN \dots \dots \dots (\text{Vérifiée})$$

**VIII.7.3.Vérification des contraintes dans le béton et l'acier :**

$$e = \frac{Msd}{Nsd} = \frac{133.43}{101.82} = 1.31m \quad \text{avec } Msd = 133.43KN.m$$

$A = 3 \times \pi \times R^2 = 9.42\text{cm}^2$  avec (A : aire de la section de 3 tiges à gauche du poteau)

$$h = hp + d1 + d1/2 = 48\text{cm}$$

$$L = e + h/2 + c/2 = 160\text{cm}$$

$$b = 2d1 + hp = 53\text{ cm}$$

$$n = \frac{Ea}{Eb} = 15$$

$$h'^3 + 3 \times (l - h) \times h'^2 + 90A \frac{l}{b} \times h' - 90A \frac{l}{b} \times h = 0 \rightarrow h'^3 + 336h'^2 + 2559.39h' - 122851 = 0$$

Et a pour solution  $h' = 24.382\text{cm}$

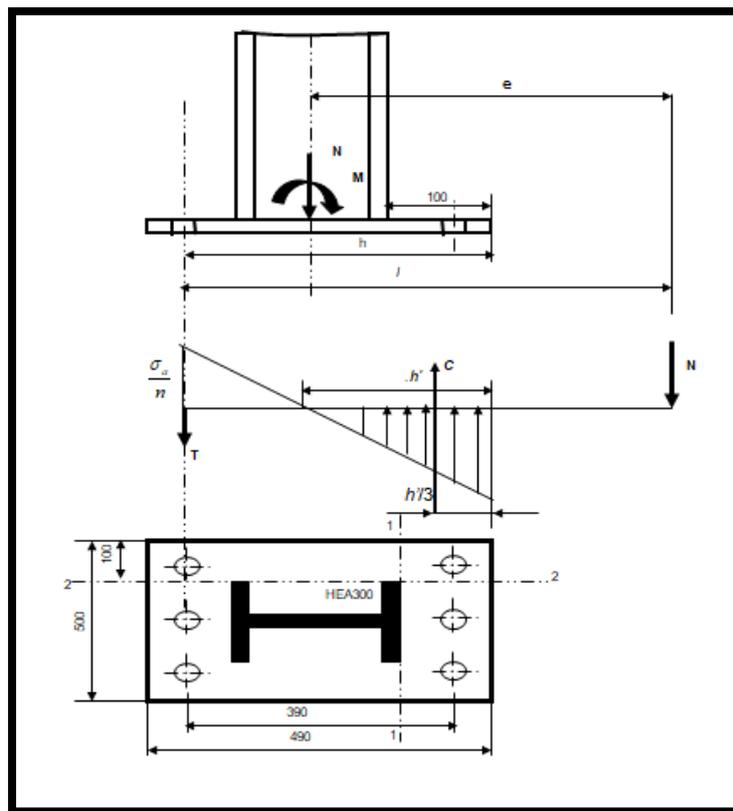


Figure VIII.17 : Pied de poteau encastré.

#### VIII.7.4. Contraintes dans le béton :

$$\sigma_b = \frac{2NL}{bh' \left( h - \frac{h'}{3} \right)} \leq f_{ub}$$

$$\sigma_b = \frac{2 \times 101.82 \times 160}{53 \times 24.38 \times \left( 48 - \frac{24.38}{3} \right)} = \frac{32582.40}{51521.9} = 6.32\text{Mpa}$$

$$f_{ub} = \frac{0.85 \times 25}{1.5} = 14.16\text{Mpa}$$

$$\sigma_b = 6.32\text{Mpa} < f_{ub} = 14.16\text{Mpa} \text{ (vérifiée)}$$

**VIII.7.5. Contrainte dans l'acier :**

$$\sigma_a = \frac{N}{A} \times \frac{l - h + \frac{h'}{3}}{\left(h - \frac{h'}{3}\right)} = \frac{101.82}{9.42} \times \frac{160 - 48 + \frac{24.38}{3}}{\left(160 - \frac{24.38}{3}\right)} = 85.49 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_a = 85.49 \text{ Mpa} < f_y = 235 \text{ Mpa} .$$

**VIII.7.6. Dimensionnement de l'épaisseur de la platine :****a) Vérification de la section 1-1 :**

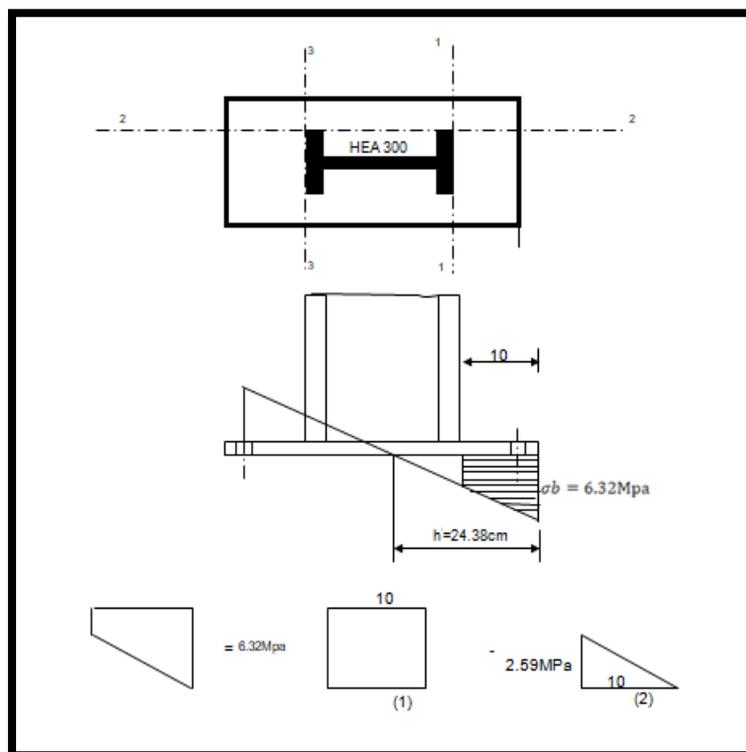
Le moment dans la section 1-1 grâce au diagramme trapézoïdale des contraintes située à droite de la section, que l'on peut décomposer en un diagramme rectangulaire (1) et un diagramme triangulaire (2).

Les moments correspondants, pour une bande unité  $b = 1 \text{ m}$  et d'épaisseur  $t$ .

$$M_1 = \sigma b \times d_1 \times \frac{d_1}{2} \rightarrow M_1 = 6.32 \times 10 \times 5 \times 10^{-3} = 0.316 \text{ KN.m}$$

$$M_2 = \left(10 \times \frac{2.59}{2}\right) \frac{2 \times 10}{3} \times 10^{-3} = 0.086 \text{ KN.m}$$

$$M = M_1 - M_2 = 0.316 - 0.086 = 0.230 \text{ KN.m}$$



**Figure VIII.18 : Vérification dans la section 1-1.**

- le module d'inertie de la platine ou  $b = 1 \text{ cm}$

$$\frac{I}{V} = \frac{\left(\frac{b \cdot t^3}{12}\right)}{\frac{t}{2}} = \frac{b \times t^2}{6}$$

- la contrainte de flexion dans la section est :

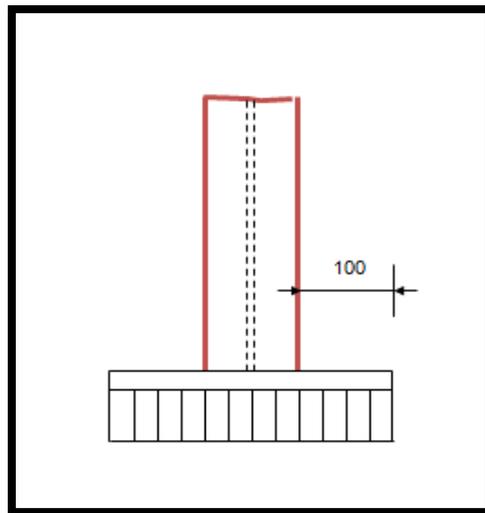
$$\frac{M}{W_{el}} \leq f_y \rightarrow t \geq \sqrt{\frac{0.230 \times 6}{10^{-2} \times 23.5}} = 2.42 \text{ cm} ; t \geq 2.42 \text{ cm}$$

**b) Vérification de la section 2-2 :**

Par le même raisonnement, on aura le moment maximal :

$$M = M_1 = 0.316 \text{ KN.m}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{0.316 \times 6}{10^{-2} \times 23.5}} = 2.84 \text{ cm}$$



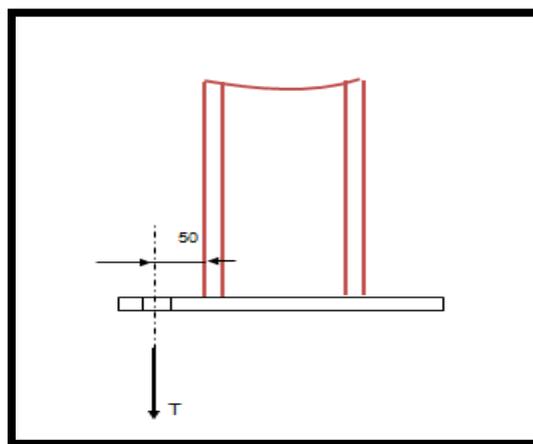
**Figure VIII.19 : Vérification dans la section 2-2.**

**c) Vérification de la section 3-3 :**

Du côté tendu, la platine est soumise à un moment :  $M = 0.1T$

$$T = A \cdot \sigma_a = 9.42 \times 85.49 \times 10^{-1} = 80.531 \text{ KN.m}$$

$$M = 80.531 \times 0.1 = 8.05 \text{ KN.m}$$



**Figure VIII.20 : Vérification dans la section 3-3.**

$$W_{el} = \frac{50t^2}{6}$$

$$\frac{8.05 \times 6}{50t^2} \leq fy \rightarrow t \geq \sqrt{\frac{6M}{50fy}} = \sqrt{\frac{8.05 \times 6}{50 \times 23.5}} = 2cm$$

On conclusion, on sélectionnera une platine d'épaisseur de 3cm

**d) Vérification de la bèche :**

On doit vérifier la bèche au cisaillement :

$$V_{st} \leq V_{rd} = \frac{A_{vz} \times fy}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{\gamma_{m0}}$$

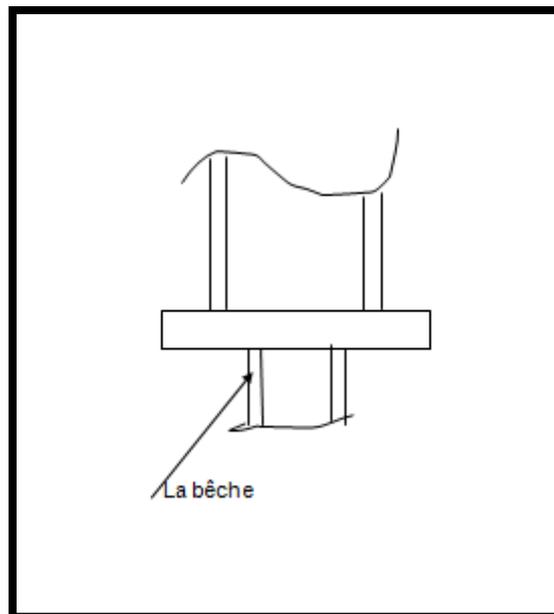
**e) Dimensionnement de la bèche :**

$$A_{vz} \geq \frac{V_{st} \times \sqrt{3} \times \gamma_{m0}}{fy} \rightarrow A_{vz} \geq \frac{59.72 \times \sqrt{3} \times 1.1 \times 10^3}{235} = 4.84cm^2 \rightarrow A_{vz} \geq 4.84cm^2$$

On adopte  $A_{vz} = 5cm^2$

Donc on prendra un IPE140 comme une bèche

Il faut vérifier que  $V_{st} = 59.72KN \leq V_{rd} = \frac{5 \times 10^2 \times 235}{\sqrt{3} \times 1.1} = 61.67KN$



**Figure VIII.21 : Disposition de la bèche.**

**CHAPITRE IX**  
**ETUDE DE**  
**L'INFRASTRUCTURE**

### IX.1.Introduction :

Un ouvrage quelle que soit sa forme et sa destination, prend toujours appui sur un sol d'assise. Les éléments qui jouent le rôle d'interface et le sol s'appelle fondations. Le dimensionnement de la fondation est conditionné par le site d'implantation.

- **Charge à prendre en considération :**

| Sollicitation   | Situation durable |        |
|-----------------|-------------------|--------|
|                 | ELU               | ELS    |
| $N_{max}(KN)$   | 347.92            | 238.33 |
| $M_{max}(KN.m)$ | 137.03            | 94.21  |

**Tableau IX.1 : les sollicitations à la base des poteaux HEA300.**

### IX.2.Choix du type de fondations :

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

- La nature et le poids de la superstructure.
- La qualité et la quantité des charges appliquées sur la construction.
- La qualité du sol de fondation.

La contrainte admissible de notre sol site S1 est :  $\sigma_{sol} = 2bars$

La profondeur d'ancrage :  $D = 2m$ .

#### IX.2.1.Semelle isolée :

On dimensionne la semelle sous l'effort « N » et la valeur de la contrainte admissible du sol.

$$\frac{Nu}{S} \leq \sigma_{sol}$$

Avec : Nu : effort normal a l'état ultime

S : surface de la semelle en contact avec le sol.

$\sigma_{sol}$  : Contrainte admissible du sol.

A : petite dimension de la semelle.

B : grande dimension de la semelle.

$$\frac{Nu}{S} \leq \sigma_{sol} \rightarrow \frac{Nu}{\sigma_{sol}} \leq S$$

Suivant la relation relative à l'homothétie des dimensions du la platine de la semelle on a :

$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B} \rightarrow A \times b = B \times a \rightarrow A = \frac{B \times a}{b} \text{ Avec : } S = A \times B$$

Suivant l'inégalité de la justification de l'état ultime de résistance vis-à-vis du sol.

$$\frac{Nu}{\sigma_{sol}} \leq B \times \frac{B \times a}{b} \rightarrow \frac{Nu}{\sigma_{sol}} \leq \frac{B^2 \times a}{b} \rightarrow B \geq \sqrt{\frac{Nu \times b}{\sigma_{sol} \times a}}$$

Le dimensionnement de la section de la semelle se fera selon logiciel de ROBOT

$a=29$  cm,  $b=30$ cm  $A \neq B \rightarrow$  semelle rectangulaire.

$Nu_{max} = 347.92$ KN

$Mu_{max} = 137.03$ KN.m

Calcul de la longueur (B) de la semelle :

$$B \geq \sqrt{\frac{347.92 \times 0.3}{200 \times 0.29}} \rightarrow B \geq 1.79m \rightarrow \text{On adopte } B=2m$$

Par homothéties :

$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B} \rightarrow A \times b = B \times a \rightarrow A = \frac{B \times a}{b} = \frac{2 \times 0.29}{0.30} = 1.93m \rightarrow \text{On adopte } A= 1.95m$$

### IX.2.2. Calcul de la hauteur (h) de la semelle :

$$d = \frac{B-b}{4} = \frac{200-30}{4} = 42.5cm \rightarrow \text{On adopte } d=50cm$$

$$h = d + c = 50 + 5 = 55cm$$

$$h - c < B - b \rightarrow 55 - 5 = 50cm < B - b = 200 - 30 = 170cm \dots CV$$

$$e0 = \frac{Mu}{Nu} \leq \frac{B}{6} \rightarrow e0 = \frac{137.03}{347.92} = 0.39m > \frac{2}{6} = 0.33m \rightarrow \text{Diagramme triangulaire.}$$

Donc on vérifie : 
$$\sigma_2 = \frac{2N}{3 \times (\frac{B}{2} - e0) \times B} \leq \sigma_{sol}$$

$$\sigma_2 = \frac{2 \times 347.92}{3 \times (\frac{2}{2} - 0.39) \times 2} = 190.120 \text{ KN/m}^2 \leq 200 \text{ KN/m}^2 \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

### IX.2.3. Calcul de ferrailage :

Le calcul se fait à L'ELU et la vérification à L'ELS :

Pour ( $Au'$ ), nous allons utiliser la méthode « console »

$$\sigma_d = \left( \frac{B + 0.35b - 3e0}{3(0.5B - e0)} \right) \sigma_2 = \left( \frac{2 + (0.35 \times 0.30) - (3 \times 0.39)}{3((0.5 \times 2) - 0.39)} \right) \times 190.12$$

$$= 97.137 \text{ KN/m}^2$$

$$Md = B \left( \left( \frac{b}{2} \right) - 0.35 \times b \right)^2 \times \left( \frac{\sigma_d + 2\sigma_2}{6} \right)$$

$$Md = 2 \left( \left( \frac{0.3}{2} \right) - 0.35 \times 0.3 \right)^2 \times \left( \frac{97.137 + 2 \times 190.12}{6} \right) = 0.322 \text{ KN.m}$$

$$Au' = \frac{Md}{z \times \sigma_s} \text{ Avec : } z = 0.9 \times d$$

$$Au' = \frac{0.322 \times 10^2}{0.9 \times 50 \times 348} = 0.02 \text{ cm}^2 \rightarrow Au' = 0.020 \text{ cm}^2$$

donc on adopte  $Au' = 4HA10 = 3.14 \text{ cm}^2$

Pour (A), nous allons utiliser la méthode des bielles avec une charge fictive Q.

$$Q = Nu \left( 1 + \frac{3e0}{B} \right) = 347.92 \left( 1 + \frac{3 \times 0.39}{2} \right) = 551.453 \text{ KN.}$$

$$A_u = \frac{Q(A - a)}{8 \times d \times \sigma_s} = \frac{551.453(195 - 29)}{8 \times 50 \times 34.8} = 6.57 \text{ cm}^2 \text{ donc on adopte}$$

$$A_u = 6HA12 = 6.79 \text{ cm}^2$$

**IX.2.4.Vérification de ferrailage :**

$$e_0 = \frac{M_s}{N_s} \leq \frac{B}{6} \rightarrow e_0 = \frac{94.21}{238.33} = 0.39m > \frac{2}{6} = 0.33 m \rightarrow \text{Diagramme triangulaire.}$$

Donc on vérifie : 
$$\sigma_2 = \frac{2N}{3 \times (\frac{B}{2} - e_0) \times B} \leq \sigma_{sol}$$

$$\sigma_2 = \frac{2 \times 238.33}{3 \times (\frac{2}{2} - 0.39) \times 2} 130.234 \text{ KN/m}^2 \leq 200 \text{ KN/m}^2 \rightarrow \text{Condition vérifiée.}$$

$$\sigma_d = \left( \frac{B + 0.35b - 3e_0}{3(0.5B - e_0)} \right) \sigma_2 = \left( \frac{2 + (0.35 \times 0.30) - (3 \times 0.39)}{3((0.5 \times 2) - 0.39)} \right) \times 130.234 = 66.540 \text{ KN/m}^2$$

$$M_d = B \left( \left( \frac{b}{2} - 0.35 \times b \right)^2 \times \left( \frac{\sigma_d + 2\sigma_2}{6} \right) \right)$$

$$M_d = 2 \left( \left( \frac{0.3}{2} - 0.35 \times 0.3 \right)^2 \times \left( \frac{66.540 + 2 \times 130.234}{6} \right) \right) = 0.22 \text{ KN.m}$$

$$A_{ser}' = \frac{M_d}{z \times \sigma_s} \text{ Avec : } z = 0.9 \times d$$

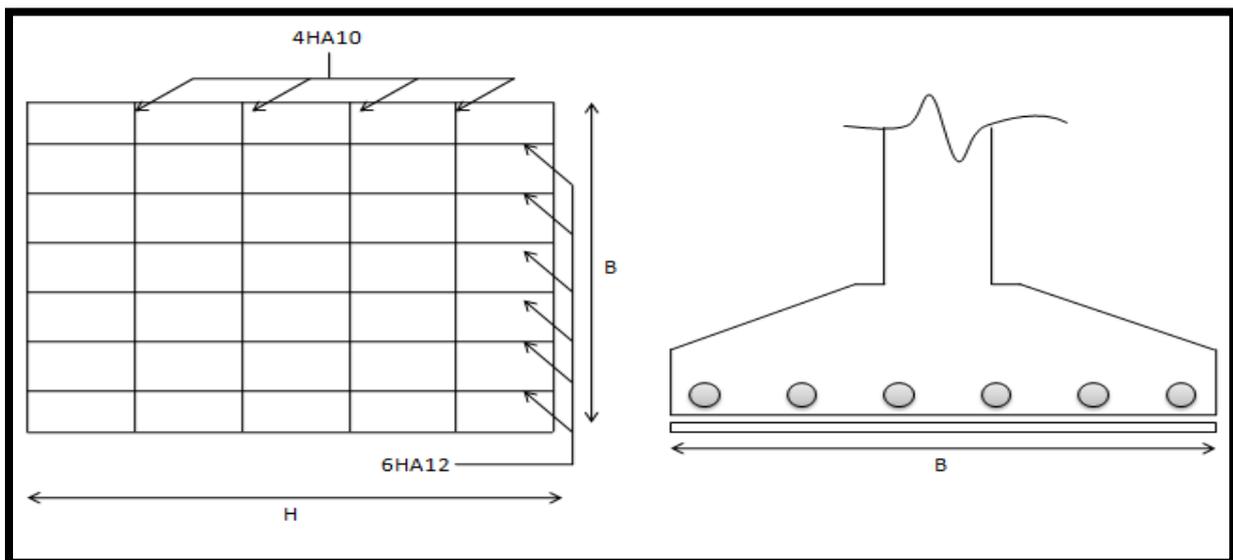
$$A_{ser}' = \frac{0.22 \times 10^2}{0.9 \times 50 \times 34.8} = 0.01 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{ser}' = 0.014 \text{ cm}^2 \leq 2.01 \text{ cm}^2 \text{ vérifiée}$$

Pour (A), nous allons utiliser la méthode des bielles avec une charge fictive Q

$$Q = N_{ser} \left( 1 + \frac{3e_0}{B} \right) = 238.33 \left( 1 + \frac{3 \times 0.39}{2} \right) = 377.753 \text{ KN}$$

$$A_u = \frac{Q(A - a)}{8 \times d \times \sigma_s} = \frac{377.753(195 - 29)}{8 \times 50 \times 34.8} = 4.50 \text{ cm}^2 \leq 6.79 \text{ cm}^2 \text{ vérifiée}$$

$e \geq 6\phi + 6 = 12 \text{ cm}$  donc on prend  $e = 15 \text{ cm}$



**Figure IX.1 : schéma de ferrailage de la semelle au-dessous de poteau.**

### IX.3. Calcul des longrines :

Les longrines ont pour rôle de relier les semelles entre elles, elles sont soumises à un effort de traction. Une longrine est posée directement sur un béton de propreté pour empêcher la pollution du béton frais de la longrine par le sol support lors du coulage du béton. Le béton de propreté offre également un support uniforme à la longrine.

#### IX.3.1. Dimensionnement des longrines :

Selon le RPA99, pour un sol de type S1 les dimensions minimales de la section transversale des longrines sont : 25 cm x 30 cm.

Pour notre cas on optera pour les longrines 30 cm x 30 cm.

#### IX.3.2. Calcul du ferrailage :

Les longrines doivent être calculées pour résister à l'action d'une force de traction qui est égale :

$$Nt = \frac{N}{\alpha} \geq 20KN \quad (\text{RPA99 Version 2003}).$$

N : égale à la valeur maximale des charges verticales de gravité apportées par les poids d'appui solidarités, donc on prend les efforts normaux du poteau le plus sollicité.

$\alpha$ : Coefficient fonction de la zone sismique et de catégorie du site considérée donc :

La valeur de  $\alpha$  n'est pas définie pour le site 1 et la zone 1.

Dans ce cas on prend la valeur minimale de Nt qui est 20 KN.

#### IX.3.3. Calcul des armatures :

On a :

$$As = \frac{Nt}{f_{st}} \rightarrow As = \frac{20}{348} = 0.57cm^2$$

- **Le ferrailage minimal :**

Le ferrailage minimum doit être de 0.6% de la section :

$$A_{min} = 0.6\% (H \times B) = \frac{0.6}{100} \times (30 \times 30) = 5.4cm^2$$

Donc en ferraille avec  $A_{min}$  :

Soit : 6HA12 avec  $As=6.79cm^2$

- **Condition de non fragilité :**

La vérification à faire est comme suit :

$$As \geq \frac{(H \times B) \times f_{t28}}{f_e} = \frac{(30 \times 30) \times 2.1}{400} = 4.72cm^2$$

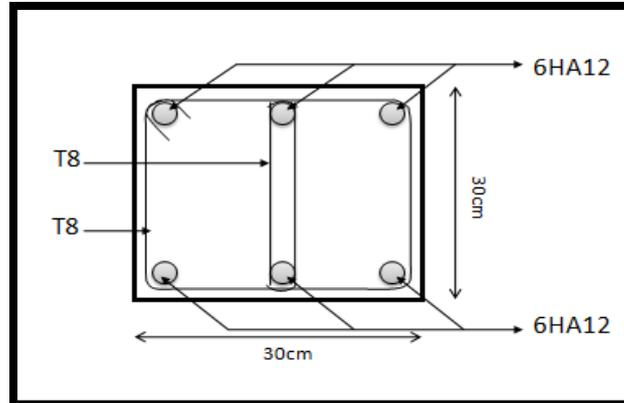
$As = 6.79cm^2 > 4.72cm^2$  condition vérifié

**IX3.3.1. Armatures transversales :**

Soit des cadres de diamètre 8mm dont l'espacement est inférieur à :  $\min(20\text{cm}, 15\phi)$

$$St < \min(20\text{cm}, 15 \times 0.8) = 12\text{cm}$$

Les cadres sont espacés de 15cm.



**Figure IX.2 : schéma de ferrailage des longrines.**

## **Conclusion générale :**

Dans ce travail nous avons effectué tous les étapes de calcul et vérifications d'une structure en charpente métallique.

La conception d'une structure métallique repose le dimensionnement aux états limites ultimes en tenant compte des actions environnantes les plus sèvres tel que les surcharges d'exploitation, la neige, le vent.

Nous avons appris à utiliser le logiciel de calcul ROBOT, ainsi que L'EUROCODE 3 pour la vérification des éléments de la structure. Ce qui nous a facilité la tâche pour vérifier les différents éléments de la structure. Ainsi en manipulant ce logiciel non seulement, nous avons gagné du temps, mais aussi nous avons amélioré nos connaissances pour la modélisation des structures par le logiciel ROBOT.

La particularité de notre structure étudiée qui comporte un pont roulant, ceci nous a permis de toucher aux différentes méthodes de calcul pour ce type d'élément les combinaisons utilisées et les étapes de vérifications nécessaires.

En fin, ce projet de fin d'études nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques acquises durant le cursus universitaire.

## Références bibliographiques :

- D.T.R C 2-4.7 ; Règlement Neige et Vent« RNVA 2013 ».
- D.T.R B C –2.44 ; Règles de Conception et de Calcul des Structures en Acier « CCM97 ».
- D.T.R B C 2 48 ; Règles Parasismiques Algériennes RPA99/Version 2003, Centre de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Alger.
- EUROCODE 3 ; Calcul des éléments résistants d'une construction métallique. Office des publications universitaires, 2009
- EUROCODE 1 partie 3 : Actions induites par les appareils de levage et les machines.
- EUROCODE 0 : base de calcul des structures.
- Cours de première année master.
- B.A.E.L 91 : Béton Armé aux Etats Limites, troisième tirage, Eyrolles, 1997.
- Calcul des Structures Métalliques selon l'Eurocode3. Jean Morel. Eyrolles Paris, 2008

# ANNEXES

ANNEXE1

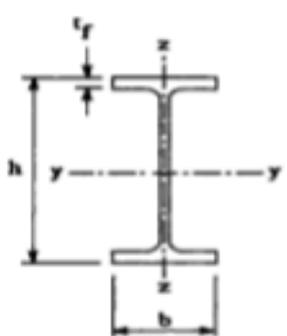
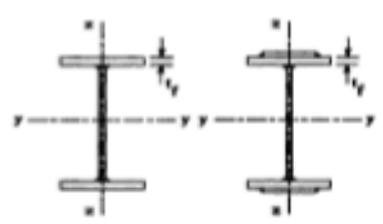
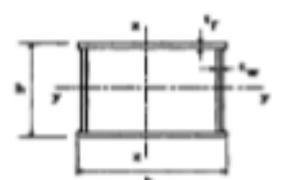
Tableau des armatures (1)

| $\Phi$ (mm) | 5    | 6    | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 20    | 25    | 32     | 40     |
|-------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1           | 0,20 | 0,28 | 0,50  | 0,79  | 1,13  | 1,54  | 2,01  | 3,14  | 4,91  | 8,04   | 12,57  |
| 2           | 0,39 | 0,57 | 1,01  | 1,57  | 2,26  | 3,08  | 4,02  | 6,28  | 9,82  | 16,08  | 25,13  |
| 3           | 0,59 | 0,85 | 1,51  | 2,36  | 3,39  | 4,62  | 6,03  | 9,42  | 14,73 | 24,13  | 37,7   |
| 4           | 0,79 | 1,13 | 2,01  | 3,14  | 4,52  | 6,16  | 8,04  | 12,57 | 19,64 | 32,17  | 50,27  |
| 5           | 0,98 | 1,41 | 2,51  | 3,93  | 5,65  | 7,72  | 10,05 | 15,71 | 24,54 | 40,21  | 62,83  |
| 6           | 1,18 | 1,70 | 3,02  | 4,71  | 6,79  | 9,24  | 12,06 | 18,85 | 29,45 | 48,25  | 75,40  |
| 7           | 1,37 | 1,98 | 3,52  | 5,50  | 7,92  | 10,78 | 14,07 | 21,99 | 34,36 | 56,30  | 87,96  |
| 8           | 1,57 | 2,26 | 4,02  | 6,28  | 9,05  | 12,32 | 16,08 | 25,13 | 39,27 | 64,34  | 100,53 |
| 9           | 1,77 | 2,54 | 4,52  | 7,07  | 10,18 | 13,85 | 18,10 | 28,27 | 44,18 | 72,38  | 113,10 |
| 10          | 1,96 | 2,83 | 5,03  | 7,85  | 11,31 | 15,39 | 20,11 | 31,42 | 49,09 | 80,42  | 125,66 |
| 11          | 2,16 | 3,11 | 5,53  | 8,64  | 12,44 | 16,93 | 22,12 | 34,56 | 54,00 | 88,47  | 138,23 |
| 12          | 2,36 | 3,39 | 6,03  | 9,42  | 13,57 | 18,47 | 24,13 | 37,70 | 58,91 | 96,51  | 150,80 |
| 13          | 2,55 | 3,68 | 6,53  | 10,21 | 14,70 | 20,01 | 26,14 | 40,84 | 63,81 | 104,55 | 163,36 |
| 14          | 2,75 | 3,96 | 7,04  | 11,00 | 15,38 | 21,55 | 28,15 | 43,98 | 68,72 | 112,59 | 175,93 |
| 15          | 2,95 | 4,24 | 7,54  | 11,78 | 16,96 | 23,09 | 30,16 | 47,12 | 73,63 | 120,64 | 188,50 |
| 16          | 3,14 | 4,52 | 8,04  | 12,57 | 18,10 | 24,63 | 32,17 | 50,27 | 78,54 | 128,68 | 201,06 |
| 17          | 3,34 | 4,81 | 8,55  | 13,35 | 19,23 | 26,17 | 34,18 | 53,41 | 83,45 | 136,72 | 213,63 |
| 18          | 3,53 | 5,09 | 9,05  | 14,14 | 20,36 | 27,71 | 36,19 | 56,55 | 88,36 | 144,76 | 226,20 |
| 19          | 3,73 | 5,37 | 9,55  | 14,92 | 21,49 | 29,25 | 38,20 | 59,69 | 93,27 | 152,81 | 238,76 |
| 20          | 3,93 | 5,65 | 10,05 | 15,71 | 22,62 | 30,79 | 40,21 | 62,83 | 98,17 | 160,85 | 251,33 |

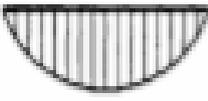
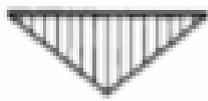
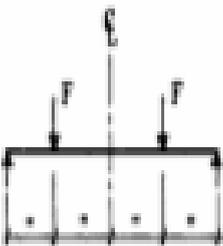
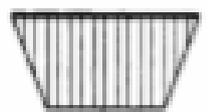
Section en cm<sup>2</sup> de N armatures de diamètre  $\Phi$  (mm)

ANNEXE2Valeur de  $\chi$  en fonction de  $\bar{\lambda}$ 

| Coefficients de réduction |  |        |        |        |
|---------------------------|--|--------|--------|--------|
| $\bar{\lambda}$           | Valeurs de $\chi$ pour la courbe de flambement |        |        |        |
|                           | a  | B      | c      | d      |
| 0,2                       | 1,0000   | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 0,3                       | 0,9775   | 0,9641 | 0,9491 | 0,9235 |
| 0,4                       | 0,9528   | 0,9261 | 0,8973 | 0,8504 |
| 0,5                       | 0,9243   | 0,8842 | 0,8430 | 0,7793 |
| 0,6                       | 0,8900   | 0,8371 | 0,7854 | 0,7100 |
| 0,7                       | 0,8477   | 0,7837 | 0,7247 | 0,6431 |
| 0,8                       | 0,7957   | 0,7245 | 0,6622 | 0,5797 |
| 0,9                       | 0,7339   | 0,6612 | 0,5998 | 0,5208 |
| 1,0                       | 0,6656   | 0,5970 | 0,5399 | 0,4671 |
| 1,1                       | 0,5960   | 0,5352 | 0,4842 | 0,4189 |
| 1,2                       | 0,5300   | 0,4781 | 0,4338 | 0,3762 |
| 1,3                       | 0,4703   | 0,4269 | 0,3888 | 0,3385 |
| 1,4                       | 0,4179   | 0,3817 | 0,3492 | 0,3055 |
| 1,5                       | 0,3724   | 0,3422 | 0,3145 | 0,2766 |
| 1,6                       | 0,3332   | 0,3079 | 0,2842 | 0,2512 |
| 1,7                       | 0,2994   | 0,2781 | 0,2577 | 0,2289 |
| 1,8                       | 0,2702   | 0,2521 | 0,2345 | 0,2093 |
| 1,9                       | 0,2449   | 0,2294 | 0,2141 | 0,1920 |
| 2,0                       | 0,2229   | 0,2095 | 0,1962 | 0,1766 |
| 2,1                       | 0,2036   | 0,1920 | 0,1803 | 0,1630 |
| 2,2                       | 0,1867   | 0,1765 | 0,1662 | 0,1508 |
| 2,3                       | 0,1717   | 0,1628 | 0,1537 | 0,1399 |
| 2,4                       | 0,1585   | 0,1506 | 0,1425 | 0,1302 |
| 2,5                       | 0,1467   | 0,1397 | 0,1325 | 0,1214 |
| 2,6                       | 0,1362   | 0,1299 | 0,1234 | 0,1134 |
| 2,7                       | 0,1267   | 0,1211 | 0,1153 | 0,1062 |
| 2,8                       | 0,1182   | 0,1132 | 0,1079 | 0,0997 |
| 2,9                       | 0,1105   | 0,1060 | 0,1012 | 0,0937 |
| 3,0                       | 0,1036   | 0,0994 | 0,0951 | 0,0882 |

| Type de section  | limites   | axe de flambement                | courbe de flambement |
|--|---|----------------------------------|----------------------|
| Sections en I laminées<br>                    | $h / b > 1,2 :$<br>$t_f \leq 40 \text{ mm}$                               | y - y<br>z - z                   | a<br>b               |
|  | $40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$                                 | y - y<br>z - z                   | b<br>c               |
|  | $h / b \leq 1,2 :$<br>$t_f \leq 100 \text{ mm}$<br>$t_f > 100 \text{ mm}$ | y - y<br>z - z<br>y - y<br>z - z | b<br>c<br>d<br>d     |
| Sections en I soudées<br>                    | $t_f \leq 40 \text{ mm}$<br>$t_f > 40 \text{ mm}$                         | y - y<br>z - z<br>y - y<br>z - z | b<br>c<br>c<br>d     |
| Sections creuses<br>                        | laminées à chaud  | quel qu'il soit                  | a                    |
|  | formées à froid<br>- en utilisant $f_{yb}^*$                              | quel qu'il soit                  | b                    |
|  | formées à froid<br>- en utilisant $f_{ys}^*$                              | quel qu'il soit                  | c                    |
| Caissons soudés<br>                         | d'une manière générale<br>(sauf ci-dessous)                               | quel qu'il soit                  | b                    |
|  | Soudures épaisses et<br>$b / t_f < 30$<br>$h / t_w < 30$                  | y - y<br>z - z                   | c<br>c               |
| Sections en U, L, T et sections pleines<br> |   | quel qu'il soit                  | c                    |

\*) Voir 5.5.1.4 (4) et figure 5.5.2

| Tableau F.1.2 Coefficients $C_1$ , $C_2$ et $C_3$ , pour différentes valeurs de $k$ , dans le cas de charges transversales |   |               |              |       |       |
|--|---|---------------|--------------|-------|-------|
| Chargement et conditions d'appuis  | Diagramme de moment de flexion  | Valeur de $k$ | Coefficients |       |       |
|  |   |               | $C_1$        | $C_2$ | $C_3$ |
|   |    | 1,0           | 1,132        | 0,459 | 0,525 |
|  |   | 0,5           | 0,972        | 0,304 | 0,980 |
|   |    | 1,0           | 1,285        | 1,562 | 0,753 |
|  |   | 0,5           | 0,712        | 0,652 | 1,070 |
|   |  | 1,0           | 1,385        | 0,553 | 1,730 |
|  |   | 0,5           | 1,070        | 0,432 | 3,050 |
|   |  | 1,0           | 1,585        | 1,287 | 2,840 |
|  |   | 0,5           | 0,938        | 0,715 | 4,800 |
|   |  | 1,0           | 1,046        | 0,430 | 1,120 |
|  |   | 0,5           | 1,010        | 0,410 | 1,890 |

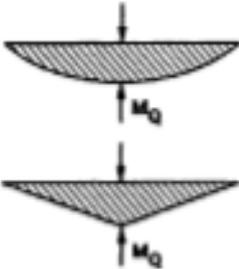
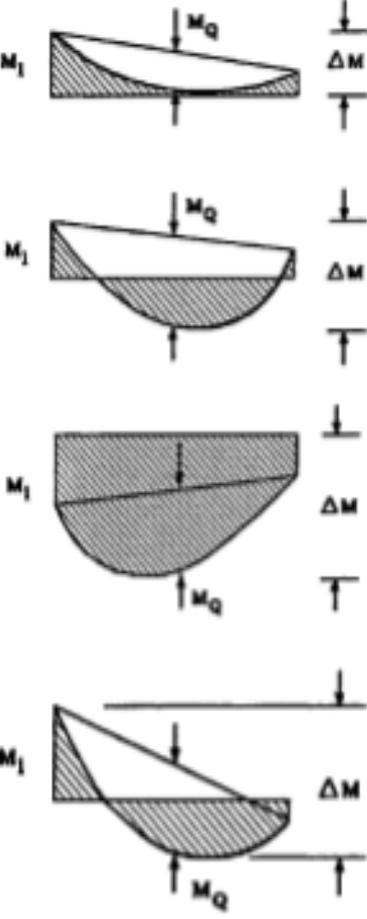
| Diagramme de moment  | Facteur de moment uniforme équivalent<br>$\beta_M$   |
|--|--|
| <p>Moments d'extrémités</p>  <p><math>-1 \leq \psi \leq 1</math></p>            | $\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$   |
| <p>Moments dus à des charges transversales</p>                                  | $\beta_{M,Q} = 1,3$<br>$\beta_{M,Q} = 1,3$   |
| <p>Moments dus à des charges transversales plus des moments d'extrémités</p>  | $\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$<br>$M_Q =  \max M  \begin{matrix} \text{dû aux charges} \\ \text{transversales seulement} \end{matrix}$<br>$\Delta M = \begin{cases}  \max M  & \text{pour diagramme de moment} \\ & \text{sans changement de signe} \\  \max M  +  \min M  & \text{pour diagramme de moment} \\ & \text{avec changement de signe} \end{cases}$ |

Figure 5.5.3 Facteurs de moment uniforme équivalent

ANNEXE4TABLEAUX DES PROFILS

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Dimensions<br>Abmessungen |         |         |                      |                      |         | A<br>mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>3</sup> | Dimensions de construction<br>Dimensions for detailing<br>Konstruktionsmaße |         |         |                        |                        | Surface<br>Oberfläche               |                                     |
|---|---------------------------|---------|---------|----------------------|----------------------|---------|--|---|---------|---------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|   | G<br>kg/m                 | h<br>mm | b<br>mm | t <sub>w</sub><br>mm | t <sub>f</sub><br>mm | r<br>mm |  | h <sub>1</sub><br>mm  | d<br>mm | Ø<br>mm | P <sub>int</sub><br>mm | P <sub>ext</sub><br>mm | A <sub>s</sub><br>m <sup>2</sup> /m | A <sub>e</sub><br>m <sup>2</sup> /t |
| IPF AA 80*                                | 4,9                       | 70      | 46      | 3,2                  | 4,2                  | 5,0     | 6,31                                     | 69,6  | 59,6    | -       | -                      | -                      | 0,325                               | 65,62                               |
| IPF A 80-/*                               | 5,0                       | 70      | 46      | 3,3                  | 4,2                  | 5,0     | 6,38                                     | 69,6  | 59,6    | -       | -                      | -                      | 0,325                               | 64,90                               |
| IPF 80*                                   | 6,0                       | 80      | 46      | 3,8                  | 5,2                  | 5,0     | 7,64                                     | 69,6  | 59,6    | -       | -                      | -                      | 0,328                               | 54,64                               |
| IPF AA 100*                               | 6,7                       | 97,6    | 55      | 3,6                  | 4,5                  | 7,0     | 8,56                                     | 88,6  | 74,6    | -       | -                      | -                      | 0,396                               | 58,93                               |
| IPF A 100-/*                              | 6,9                       | 98      | 55      | 3,6                  | 4,7                  | 7,0     | 8,8                                      | 88,6  | 74,6    | -       | -                      | -                      | 0,397                               | 57,57                               |
| IPF 100*                                  | 8,1                       | 100     | 55      | 4,1                  | 5,7                  | 7,0     | 10,3                                     | 88,6  | 74,6    | -       | -                      | -                      | 0,400                               | 49,33                               |
| IPF AA 120*                               | 8,4                       | 117     | 64      | 3,8                  | 4,8                  | 7,0     | 10,7                                     | 107,4   | 93,4    | -       | -                      | -                      | 0,470                               | 56,26                               |
| IPF A 120-                                | 8,7                       | 117,6   | 64      | 3,8                  | 5,1                  | 7,0     | 11,0                                     | 107,4   | 93,4    | -       | -                      | -                      | 0,472                               | 54,47                               |
| IPF 120                                   | 10,4                      | 120     | 64      | 4,4                  | 6,3                  | 7,0     | 13,2                                     | 107,4   | 93,4    | -       | -                      | -                      | 0,475                               | 45,82                               |
| IPF AA 140*                               | 10,1                      | 136,6   | 73      | 3,8                  | 5,2                  | 7,0     | 12,8                                     | 126,2   | 112,2   | -       | -                      | -                      | 0,546                               | 54,26                               |
| IPF A 140-                                | 10,5                      | 137,4   | 73      | 3,8                  | 5,6                  | 7,0     | 13,4                                     | 126,2   | 112,2   | -       | -                      | -                      | 0,547                               | 52,05                               |
| IPF 140                                   | 12,9                      | 140     | 73      | 4,7                  | 6,9                  | 7,0     | 16,4                                     | 126,2   | 112,2   | -       | -                      | -                      | 0,551                               | 42,20                               |
| IPF AA 160*                               | 12,1                      | 156,4   | 82      | 4,0                  | 5,6                  | 7,0     | 15,4                                     | 145,2   | 131,2   | -       | -                      | -                      | 0,621                               | 50,40                               |
| IPF A 160-                                | 12,7                      | 157     | 82      | 4,0                  | 5,9                  | 9,0     | 16,2                                     | 145,2   | 127,2   | -       | -                      | -                      | 0,619                               | 48,20                               |
| IPF 160                                   | 15,8                      | 160     | 82      | 5,0                  | 7,4                  | 9,0     | 20,1                                     | 145,2   | 127,2   | -       | -                      | -                      | 0,623                               | 39,47                               |
| IPF AA 180*                               | 14,9                      | 176,4   | 91      | 4,3                  | 6,2                  | 9,0     | 19,0                                     | 164,0   | 146,0   | M 10    | 48                     | 48                     | 0,693                               | 46,37                               |
| IPF A 180-                                | 15,4                      | 177     | 91      | 4,3                  | 6,5                  | 9,0     | 19,6                                     | 164,0   | 146,0   | M 10    | 48                     | 48                     | 0,694                               | 45,15                               |
| IPF 180                                   | 18,8                      | 180     | 91      | 5,3                  | 8,0                  | 9,0     | 23,9                                     | 164,0   | 146,0   | M 10    | 48                     | 48                     | 0,698                               | 37,13                               |
| IPF O 180+                                | 21,3                      | 182     | 92      | 6,0                  | 9,0                  | 9,0     | 27,1                                     | 164,0   | 146,0   | M 10    | 50                     | 50                     | 0,705                               | 33,12                               |
| IPF AA 200*                               | 18,0                      | 196,4   | 100     | 4,5                  | 6,7                  | 12,0    | 22,9                                     | 183,0   | 159,0   | M 10    | 54                     | 58                     | 0,763                               | 42,51                               |
| IPF A 200-                                | 18,4                      | 197     | 100     | 4,5                  | 7,0                  | 12,0    | 23,5                                     | 183,0   | 159,0   | M 10    | 54                     | 58                     | 0,764                               | 41,49                               |
| IPF 200                                   | 22,4                      | 200     | 100     | 5,6                  | 8,5                  | 12,0    | 28,5                                     | 183,0   | 159,0   | M 10    | 54                     | 58                     | 0,768                               | 34,36                               |
| IPF O 200+                                | 25,1                      | 202     | 102     | 6,2                  | 9,5                  | 12,0    | 32,0                                     | 183,0   | 159,0   | M 10    | 56                     | 60                     | 0,779                               | 31,05                               |
| IPF AA 220*                               | 21,2                      | 216,4   | 110     | 4,7                  | 7,4                  | 12,0    | 27,0                                     | 201,6   | 177,6   | M 12    | 60                     | 62                     | 0,843                               | 39,28                               |
| IPF A 220-                                | 22,2                      | 217     | 110     | 5,0                  | 7,7                  | 12,0    | 28,3                                     | 201,6   | 177,6   | M 12    | 60                     | 62                     | 0,843                               | 38,02                               |
| IPF 220                                   | 26,2                      | 220     | 110     | 5,9                  | 9,2                  | 12,0    | 33,4                                     | 201,6   | 177,6   | M 12    | 60                     | 62                     | 0,848                               | 32,36                               |
| IPF O 220+                                | 29,4                      | 222     | 112     | 6,6                  | 10,2                 | 12,0    | 37,4                                     | 201,6   | 177,6   | M 10    | 58                     | 66                     | 0,858                               | 29,24                               |

# ANNEXES

| Designation<br>Designation<br>Bezeichnung | Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte |   |  |  |  |   |   |  |  |  |                      |   | Classification<br>EN 1993-1-1:2005                     |                  |                  |                     |                  |                  |                  |                 |                 |               |
|---|--|---|--|--|--|---|---|--|--|--|----------------------|---|--|------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------------|
|   | axe fort y-y<br>strong axis y-y<br>starke Achse y-y          |   |  |  |  |   | axe faible z-z<br>weak axis z-z<br>schwache Achse z-z |  |  |  |                      |   | Pare<br>loading y                                      |                  |                  | Pare<br>compression |                  |                  |                  |                 |                 |               |
|   | G<br>kg/m  | I <sub>y</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | W <sub>el,y</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | W <sub>pl,y</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | I <sub>y</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 | A <sub>e</sub><br>mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | I <sub>z</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | W <sub>el,z</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | W <sub>pl,z</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | I <sub>z</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 | r <sub>y</sub><br>mm | r <sub>z</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | I <sub>yz</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | S <sub>235</sub> | S <sub>275</sub> | S <sub>460</sub>    | S <sub>235</sub> | S <sub>275</sub> | S <sub>460</sub> | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2009 |
| IPEAA 80                                  | 4,9  | 64,1  | 16,4   | 18,9   | 3,19                                     | 3,00  | 6,85  | 2,98   | 4,7  | 1,04                                     | 17,5                 | 0,40  | 0,09   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 80                                   | 5,0  | 64,4  | 16,5   | 19,0   | 3,18                                     | 3,07  | 6,85  | 2,98   | 4,7  | 1,04                                     | 17,6                 | 0,42  | 0,09   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPE 80                                    | 6,0  | 80,1  | 20,0   | 23,2   | 3,24                                     | 3,58  | 8,49  | 3,69   | 5,8  | 1,05                                     | 20,1                 | 0,70  | 0,12   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEAA 100                                 | 6,7  | 136   | 27,9   | 31,9   | 3,98                                     | 4,40  | 12,6  | 4,57   | 7,2  | 1,21                                     | 20,8                 | 0,73  | 0,27   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 100                                  | 6,9  | 141   | 28,8   | 33,0   | 4,01                                     | 4,44  | 13,1  | 4,77   | 7,5  | 1,22                                     | 21,2                 | 0,77  | 0,28   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPE 100                                   | 8,1  | 171   | 34,2   | 39,4   | 4,07                                     | 5,08  | 15,9  | 5,79   | 9,2  | 1,24                                     | 23,7                 | 1,20  | 0,35   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEAA 120                                 | 8,4  | 244   | 41,7   | 47,6   | 4,79                                     | 5,36  | 21,1  | 6,59   | 10,4   | 1,41                                     | 21,6                 | 0,95  | 0,66   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 120                                  | 8,7  | 257   | 43,8   | 49,9   | 4,83                                     | 5,41  | 22,4  | 7,00   | 11,0   | 1,42                                     | 22,2                 | 1,04  | 0,71   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPE 120                                   | 10,4   | 318   | 53,0   | 60,7   | 4,90                                     | 6,31  | 27,7  | 8,65   | 13,6   | 1,45                                     | 25,2                 | 1,74  | 0,89   | 1                | 1                | -                   | 1                | 1                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEAA 140                                 | 10,1   | 407   | 59,7   | 67,6   | 5,64                                     | 6,14  | 33,8  | 9,27   | 14,5   | 1,63                                     | 22,4                 | 1,19  | 1,46   | 1                | 1                | -                   | 1                | 2                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 140                                  | 10,5   | 435   | 63,3   | 71,6   | 5,70                                     | 6,21  | 36,4  | 10,0   | 15,5   | 1,65                                     | 23,2                 | 1,36  | 1,58   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 2                | 3                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE 140                                   | 12,9   | 541   | 77,3   | 88,3   | 5,74                                     | 7,64  | 44,9  | 12,3   | 19,3   | 1,65                                     | 26,7                 | 2,45  | 1,98   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 1                | 2                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPEAA 160                                 | 12,1   | 646   | 82,6   | 93,3   | 6,47                                     | 7,24  | 51,6  | 12,6   | 19,6   | 1,83                                     | 23,4                 | 1,57  | 2,93   | 1                | 1                | -                   | 1                | 3                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 160                                  | 12,7   | 689   | 87,8   | 99,1   | 6,53                                     | 7,80  | 54,4  | 13,3   | 20,7   | 1,83                                     | 26,3                 | 1,96  | 3,09   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 3                | 4                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE 160                                   | 15,8   | 869   | 109  | 124  | 6,58                                     | 9,66  | 68,3  | 16,7   | 26,1   | 1,84                                     | 30,3                 | 3,60  | 3,96   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 1                | 2                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPEAA 180                                 | 14,9   | 1020  | 116  | 131  | 7,32                                     | 9,13  | 78,1  | 17,2   | 26,7   | 2,03                                     | 27,2                 | 2,48  | 5,64   | 1                | 1                | -                   | 2                | 3                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 180                                  | 15,4   | 1063  | 120  | 135  | 7,37                                     | 9,20  | 81,9  | 18,0   | 28,0   | 2,05                                     | 27,8                 | 2,70  | 5,93   | 1                | 1                | 1                   | 2                | 3                | 4                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE 180                                   | 18,8   | 1317  | 146  | 166  | 7,42                                     | 11,3  | 101   | 22,2   | 34,6   | 2,05                                     | 31,8                 | 4,79  | 7,43   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 2                | 3                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE O 180                                 | 21,3   | 1505  | 165  | 189  | 7,45                                     | 12,7  | 117   | 25,5   | 39,9   | 2,08                                     | 34,5                 | 6,76  | 8,74   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 1                | 2                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPEAA 200                                 | 18,0   | 1533  | 156  | 176  | 8,19                                     | 11,4  | 112   | 22,4   | 35,0   | 2,21                                     | 32,0                 | 3,84  | 10,1   | 1                | 1                | -                   | 2                | 4                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 200                                  | 18,4   | 1591  | 162  | 182  | 8,23                                     | 11,5  | 117   | 23,4   | 36,5   | 2,23                                     | 32,6                 | 4,11  | 10,5   | 1                | 1                | 1                   | 2                | 4                | 4                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE 200                                   | 22,4   | 1943  | 194  | 221  | 8,26                                     | 14,0  | 142   | 28,5   | 44,6   | 2,24                                     | 36,7                 | 6,98  | 13,0   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 2                | 3                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE O 200                                 | 25,1   | 2211  | 219  | 249  | 8,32                                     | 15,5  | 169   | 33,1   | 51,9   | 2,30                                     | 39,3                 | 9,45  | 15,6   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 1                | 2                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPEAA 220                                 | 21,2   | 2219  | 205  | 230  | 9,07                                     | 12,8  | 165   | 29,9   | 46,5   | 2,47                                     | 33,6                 | 5,02  | 17,9   | 1                | 1                | -                   | 2                | 4                | -                | ✓               |                 |               |
| IPEA 220                                  | 22,2   | 2317  | 214  | 240  | 9,05                                     | 13,6  | 171   | 31,2   | 48,5   | 2,46                                     | 34,5                 | 5,69  | 18,7   | 1                | 1                | 1                   | 2                | 4                | 4                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE 220                                   | 26,2   | 2772  | 252  | 285  | 9,11                                     | 15,9  | 205   | 37,3   | 58,1   | 2,48                                     | 38,4                 | 9,07  | 22,7   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 2                | 4                | ✓               | ✓               | ✓             |
| IPE O 220                                 | 29,4   | 3134  | 282  | 321  | 9,16                                     | 17,7  | 240   | 42,8   | 66,9   | 2,53                                     | 41,1                 | 12,3  | 26,8   | 1                | 1                | 1                   | 1                | 2                | 2                | ✓               | ✓               | ✓             |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Dimensions<br>Abmessungen |         |         |                      |                      |                      |                      | Dimensions de construction<br>Dimensions for detailing<br>Konstruktionsmaße |         |     |                       | Surface<br>Oberfläche |                                     |                                     |
|---|---------------------------|---------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|---------|-----|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|   | G<br>kg/m                 | h<br>mm | b<br>mm | l <sub>w</sub><br>mm | l <sub>t</sub><br>mm | r <sub>1</sub><br>mm | r <sub>2</sub><br>mm | A<br>mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup>                                    | d<br>mm | Ø   | β <sub>wa</sub><br>mm | β <sub>wa</sub><br>mm | A <sub>1</sub><br>m <sup>2</sup> /m | A <sub>2</sub><br>m <sup>2</sup> /t |
| IPN 80*                                   | 5,94                      | 80      | 42      | 3,9                  | 5,9                  | 3,9                  | 2,3                  | 7,57  | 59      | -   | -                     | -                     | 0,304                               | 51,09                               |
| IPN 100*                                  | 8,34                      | 100     | 50      | 4,5                  | 6,8                  | 4,5                  | 2,7                  | 10,6  | 75,7    | -   | -                     | -                     | 0,370                               | 44,47                               |
| IPN 120*                                  | 11,1                      | 120     | 58      | 5,1                  | 7,7                  | 5,1                  | 3,1                  | 14,2  | 92,4    | -   | -                     | -                     | 0,439                               | 39,38                               |
| IPN 140*                                  | 14,3                      | 140     | 66      | 5,7                  | 8,6                  | 5,7                  | 3,4                  | 18,2  | 109,1   | -   | -                     | -                     | 0,502                               | 34,94                               |
| IPN 160*                                  | 17,9                      | 160     | 74      | 6,3                  | 9,5                  | 6,3                  | 3,8                  | 22,8  | 125,8   | -   | -                     | -                     | 0,575                               | 32,13                               |
| IPN 180*                                  | 21,9                      | 180     | 82      | 6,9                  | 10,4                 | 6,9                  | 4,1                  | 27,9  | 142,4   | -   | -                     | -                     | 0,640                               | 29,22                               |
| IPN 200*                                  | 26,2                      | 200     | 90      | 7,5                  | 11,3                 | 7,5                  | 4,5                  | 33,4  | 159,1   | -   | -                     | -                     | 0,709                               | 27,04                               |
| IPN 220*                                  | 31,1                      | 220     | 98      | 8,1                  | 12,2                 | 8,1                  | 4,9                  | 39,5  | 175,8   | M10 | 50                    | 56                    | 0,775                               | 24,99                               |
| IPN 240*                                  | 36,2                      | 240     | 106     | 8,7                  | 13,1                 | 8,7                  | 5,2                  | 46,1  | 192,5   | M10 | 54                    | 60                    | 0,844                               | 23,32                               |
| IPN 260*                                  | 41,9                      | 260     | 113     | 9,4                  | 14,1                 | 9,4                  | 5,6                  | 53,3  | 208,9   | M12 | 62                    | 62                    | 0,906                               | 21,65                               |
| IPN 280*                                  | 47,9                      | 280     | 119     | 10,1                 | 15,2                 | 10,1                 | 6,1                  | 61,0  | 225,1   | M12 | 68                    | 68                    | 0,966                               | 20,17                               |
| IPN 300*                                  | 54,2                      | 300     | 125     | 10,8                 | 16,2                 | 10,8                 | 6,5                  | 69,0  | 241,6   | M12 | 70                    | 74                    | 1,03                                | 19,02                               |
| IPN 320*                                  | 61,0                      | 320     | 131     | 11,5                 | 17,3                 | 11,5                 | 6,9                  | 77,7  | 257,9   | M12 | 70                    | 80                    | 1,09                                | 17,87                               |
| IPN 340*                                  | 68,0                      | 340     | 137     | 12,2                 | 18,3                 | 12,2                 | 7,3                  | 86,7  | 274,3   | M12 | 78                    | 86                    | 1,15                                | 16,90                               |
| IPN 360*                                  | 76,1                      | 360     | 143     | 13                   | 19,5                 | 13                   | 7,8                  | 97,0  | 290,2   | M12 | 78                    | 92                    | 1,21                                | 15,89                               |
| IPN 380*                                  | 84,0                      | 380     | 149     | 13,7                 | 20,5                 | 13,7                 | 8,2                  | 107   | 306,7   | M16 | 84                    | 86                    | 1,27                                | 15,12                               |
| IPN 400*                                  | 92,4                      | 400     | 155     | 14,4                 | 21,6                 | 14,4                 | 8,6                  | 118   | 322,9   | M16 | 86                    | 92                    | 1,33                                | 14,36                               |
| IPN 450*                                  | 115                       | 450     | 170     | 16,2                 | 24,3                 | 16,2                 | 9,7                  | 147   | 363,6   | M16 | 92                    | 106                   | 1,48                                | 12,83                               |
| IPN 500*                                  | 141                       | 500     | 185     | 18                   | 27                   | 18                   | 10,8                 | 179   | 404,3   | M20 | 102                   | 110                   | 1,63                                | 11,60                               |
| IPN 550*                                  | 166                       | 550     | 200     | 19                   | 30                   | 19                   | 11,9                 | 212   | 445,6   | M22 | 112                   | 118                   | 1,80                                | 10,80                               |
| IPN 600*                                  | 199                       | 600     | 215     | 21,5                 | 32,4                 | 21,5                 | 13                   | 254   | 485,8   | M24 | 126                   | 128                   | 1,92                                | 9,89                                |

| Designation<br>Bezeichnung | Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte |                                     |                                     |                        |                                     |                                     |   |                                     |                        |       |                                     |                                     | Classification<br>EN 1993-1-1:2005 |                                    |                                    |                                    | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2009 |
|----------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|
|                            | axe fort y-y<br>strong axis y-y<br>starke Achse y-y          |                                     |                                     |                        |                                     |                                     | axe faible z-z<br>weak axis z-z<br>schwache Achse z-z |                                     |                        |       |                                     |                                     | Flux<br>bending y-y                |                                    | Flux<br>compression                |                                    |                 |                 |               |
|                            | G  | $I_y$                               | $W_{pl,y}$                          | $W_{pl,y}^*$           | $I_z$                               | $A_e$                               | $I_z$   | $W_{pl,z}$                          | $W_{pl,z}^*$           | $i_z$ | $s_x$                               | $t$                                 | $l_y$                              | $S_{x1}$                           | $S_{x2}$                           | $S_{x3}$                           |                 |                 |               |
| kg/m                       | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup>                          | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup>                   | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 | mm    | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm <sup>3</sup><br>S <sub>x1</sub> | mm <sup>3</sup><br>S <sub>x2</sub> | mm <sup>3</sup><br>S <sub>x3</sub> | mm <sup>3</sup><br>S <sub>x4</sub> |                 |                 |               |
| IPN 80                     | 5,94   | 77,8                                | 19,5                                | 22,8                   | 3,20                                | 3,41                                | 6,29  | 3,00                                | 5,00                   | 0,91  | 21,6                                | 0,87                                | 0,09                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 100                    | 8,34   | 171                                 | 34,2                                | 39,8                   | 4,01                                | 4,85                                | 12,2  | 4,88                                | 8,10                   | 1,07  | 25,0                                | 1,60                                | 0,27                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 120                    | 11,1   | 328                                 | 54,7                                | 63,6                   | 4,81                                | 6,63                                | 21,5  | 7,41                                | 12,4                   | 1,23  | 28,4                                | 2,71                                | 0,69                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 140                    | 14,3   | 573                                 | 81,9                                | 95,4                   | 5,61                                | 8,65                                | 35,2  | 10,7                                | 17,9                   | 1,40  | 31,8                                | 4,32                                | 1,54                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 160                    | 17,9   | 935                                 | 117                                 | 136                    | 6,40                                | 10,83                               | 54,7  | 14,8                                | 24,9                   | 1,55  | 35,2                                | 6,57                                | 3,14                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 180                    | 21,9   | 1450                                | 161                                 | 187                    | 7,20                                | 13,35                               | 81,3  | 19,8                                | 33,2                   | 1,71  | 38,6                                | 9,58                                | 5,92                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 200                    | 26,2   | 2140                                | 214                                 | 250                    | 8,00                                | 16,03                               | 117   | 26,0                                | 43,5                   | 1,87  | 42,0                                | 13,5                                | 10,5                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 220                    | 31,1   | 3060                                | 278                                 | 324                    | 8,80                                | 19,06                               | 162   | 33,1                                | 55,7                   | 2,02  | 45,4                                | 18,6                                | 17,8                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 240                    | 36,2   | 4250                                | 354                                 | 412                    | 9,59                                | 22,33                               | 221   | 41,7                                | 70,0                   | 2,20  | 48,9                                | 25,0                                | 28,7                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 260                    | 41,9   | 5740                                | 442                                 | 514                    | 10,40                               | 26,08                               | 288   | 51,0                                | 85,9                   | 2,32  | 52,6                                | 33,5                                | 44,1                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 280                    | 47,9   | 7590                                | 542                                 | 632                    | 11,1                                | 30,18                               | 364   | 61,2                                | 103                    | 2,45  | 56,4                                | 44,2                                | 64,6                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 300                    | 54,2   | 9800                                | 653                                 | 762                    | 11,9                                | 34,58                               | 451   | 72,2                                | 121                    | 2,56  | 60,1                                | 56,8                                | 91,8                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 320                    | 61,0   | 12510                               | 782                                 | 914                    | 12,7                                | 39,26                               | 555   | 84,7                                | 143                    | 2,67  | 63,9                                | 72,5                                | 129                                | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 340                    | 68,0   | 15700                               | 923                                 | 1080                   | 13,5                                | 44,27                               | 674   | 98,4                                | 166                    | 2,80  | 67,6                                | 90,4                                | 176                                | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 360                    | 76,1   | 19610                               | 1090                                | 1276                   | 14,2                                | 49,95                               | 818   | 114                                 | 194                    | 2,90  | 71,8                                | 115                                 | 240                                | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 380                    | 84,0   | 24010                               | 1260                                | 1482                   | 15,0                                | 55,55                               | 975   | 131                                 | 221                    | 3,02  | 75,4                                | 141                                 | 319                                | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 400                    | 92,4   | 29210                               | 1460                                | 1714                   | 15,7                                | 61,69                               | 1160  | 149                                 | 253                    | 3,13  | 79,3                                | 170                                 | 420                                | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 450                    | 115  | 45850                               | 2040                                | 2400                   | 17,7                                | 77,79                               | 1730  | 203                                 | 345                    | 3,43  | 88,9                                | 267                                 | 791                                | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 500                    | 141  | 68740                               | 2750                                | 3240                   | 19,6                                | 95,60                               | 2480  | 268                                 | 456                    | 3,72  | 98,5                                | 402                                 | 1400                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 550                    | 166  | 99180                               | 3610                                | 4240                   | 21,6                                | 111,3                               | 3490  | 349                                 | 592                    | 4,02  | 107,3                               | 544                                 | 2390                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |
| IPN 600                    | 199  | 139000                              | 4630                                | 5452                   | 23,4                                | 138,0                               | 4670  | 434                                 | 752                    | 4,30  | 117,6                               | 787                                 | 3814                               | 1                                  | 1                                  | 1                                  | 1               | ✓               |               |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Dimensions<br>Abmessungen |         |         |                      |                      |         | A<br>mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>3</sup> | Dimensions de construction<br>Dimensions for detailing<br>Konstruktionsmaße |         |         |                       |                       | Surface<br>Oberfläche               |                                     |
|---|---------------------------|---------|---------|----------------------|----------------------|---------|--|---|---------|---------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|   | G<br>kg/m                 | h<br>mm | b<br>mm | t <sub>w</sub><br>mm | t <sub>f</sub><br>mm | r<br>mm |  | h <sub>1</sub><br>mm  | d<br>mm | Ø<br>mm | l <sub>fl</sub><br>mm | l <sub>fl</sub><br>mm | A <sub>1</sub><br>m <sup>2</sup> /m | A <sub>2</sub><br>m <sup>2</sup> /t |
| HE 100AA*                                 | 12,2                      | 91      | 100     | 4,2                  | 5,5                  | 12      | 15,6                                     | 80  | 56      | M 10    | 54                    | 58                    | 0,553                               | 45,17                               |
| HE 100A                                   | 16,7                      | 96      | 100     | 5                    | 8                    | 12      | 21,2                                     | 80  | 56      | M 10    | 54                    | 58                    | 0,561                               | 33,68                               |
| HE 100B                                   | 20,4                      | 100     | 100     | 6                    | 10                   | 12      | 26,0                                     | 80  | 56      | M 10    | 56                    | 58                    | 0,567                               | 27,76                               |
| HE 100M                                   | 41,8                      | 120     | 106     | 12                   | 20                   | 12      | 53,2                                     | 80  | 56      | M 10    | 62                    | 64                    | 0,619                               | 14,82                               |
| HE 120AA*                                 | 14,6                      | 109     | 120     | 4,2                  | 5,5                  | 12      | 18,6                                     | 98  | 74      | M 12    | 58                    | 68                    | 0,669                               | 45,94                               |
| HE 120A                                   | 19,9                      | 114     | 120     | 5                    | 8                    | 12      | 25,3                                     | 98  | 74      | M 12    | 58                    | 68                    | 0,677                               | 34,06                               |
| HE 120B                                   | 26,7                      | 120     | 120     | 6,5                  | 11                   | 12      | 34,0                                     | 98  | 74      | M 12    | 60                    | 68                    | 0,686                               | 25,71                               |
| HE 120M                                   | 52,1                      | 140     | 126     | 12,5                 | 21                   | 12      | 66,4                                     | 98  | 74      | M 12    | 66                    | 74                    | 0,738                               | 14,16                               |
| HE 140AA*                                 | 18,1                      | 128     | 140     | 4,3                  | 6                    | 12      | 23,0                                     | 116   | 92      | M 16    | 64                    | 76                    | 0,787                               | 43,53                               |
| HE 140A                                   | 24,7                      | 133     | 140     | 5,5                  | 8,5                  | 12      | 31,4                                     | 116   | 92      | M 16    | 64                    | 76                    | 0,794                               | 32,21                               |
| HE 140B                                   | 33,7                      | 140     | 140     | 7                    | 12                   | 12      | 43,0                                     | 116   | 92      | M 16    | 66                    | 76                    | 0,805                               | 23,88                               |
| HE 140M                                   | 63,2                      | 160     | 146     | 13                   | 22                   | 12      | 80,6                                     | 116   | 92      | M 16    | 72                    | 82                    | 0,857                               | 13,56                               |
| HE 160AA*                                 | 23,8                      | 148     | 160     | 4,5                  | 7                    | 15      | 30,4                                     | 134   | 104     | M 20    | 76                    | 84                    | 0,901                               | 37,81                               |
| HE 160A                                   | 30,4                      | 152     | 160     | 6                    | 9                    | 15      | 38,8                                     | 134   | 104     | M 20    | 78                    | 84                    | 0,906                               | 29,78                               |
| HE 160B                                   | 42,6                      | 160     | 160     | 8                    | 13                   | 15      | 54,3                                     | 134   | 104     | M 20    | 80                    | 84                    | 0,918                               | 21,56                               |
| HE 160M                                   | 76,2                      | 180     | 166     | 14                   | 23                   | 15      | 97,1                                     | 134   | 104     | M 20    | 86                    | 90                    | 0,970                               | 12,74                               |
| HE 180AA*                                 | 28,7                      | 167     | 180     | 5                    | 7,5                  | 15      | 36,5                                     | 152   | 122     | M 24    | 84                    | 92                    | 1,018                               | 35,51                               |
| HE 180A                                   | 35,5                      | 171     | 180     | 6                    | 9,5                  | 15      | 45,3                                     | 152   | 122     | M 24    | 86                    | 92                    | 1,024                               | 28,83                               |
| HE 180B                                   | 51,2                      | 180     | 180     | 8,5                  | 14                   | 15      | 65,3                                     | 152   | 122     | M 24    | 88                    | 92                    | 1,037                               | 20,25                               |
| HE 180M                                   | 88,9                      | 200     | 186     | 14,5                 | 24                   | 15      | 113,3                                    | 152   | 122     | M 24    | 94                    | 98                    | 1,089                               | 12,25                               |
| HE 200AA*                                 | 34,6                      | 186     | 200     | 5,5                  | 8                    | 18      | 44,1                                     | 170   | 134     | M 27    | 96                    | 100                   | 1,130                               | 32,62                               |
| HE 200A                                   | 42,3                      | 190     | 200     | 6,5                  | 10                   | 18      | 53,8                                     | 170   | 134     | M 27    | 98                    | 100                   | 1,136                               | 26,89                               |
| HE 200B                                   | 61,3                      | 200     | 200     | 9                    | 15                   | 18      | 78,1                                     | 170   | 134     | M 27    | 100                   | 100                   | 1,151                               | 18,78                               |
| HE 200M                                   | 103                       | 220     | 206     | 15                   | 25                   | 18      | 131,3                                    | 170   | 134     | M 27    | 106                   | 106                   | 1,203                               | 11,67                               |
| HE 220AA*                                 | 40,4                      | 205     | 220     | 6                    | 8,5                  | 18      | 51,5                                     | 188   | 152     | M 27    | 98                    | 118                   | 1,247                               | 30,87                               |
| HE 220A                                   | 50,5                      | 210     | 220     | 7                    | 11                   | 18      | 64,3                                     | 188   | 152     | M 27    | 98                    | 118                   | 1,255                               | 24,85                               |
| HE 220B                                   | 71,5                      | 220     | 220     | 9,5                  | 16                   | 18      | 91,0                                     | 188   | 152     | M 27    | 100                   | 118                   | 1,270                               | 17,77                               |
| HE 220M                                   | 117                       | 240     | 226     | 15,5                 | 26                   | 18      | 149,4                                    | 188   | 152     | M 27    | 108                   | 124                   | 1,322                               | 11,27                               |
| HE 240AA*                                 | 47,4                      | 224     | 240     | 6,5                  | 9                    | 21      | 60,4                                     | 206   | 164     | M 27    | 104                   | 138                   | 1,359                               | 28,67                               |
| HE 240A                                   | 60,3                      | 230     | 240     | 7,5                  | 12                   | 21      | 76,8                                     | 206   | 164     | M 27    | 104                   | 138                   | 1,369                               | 22,70                               |
| HE 240B                                   | 83,2                      | 240     | 240     | 10                   | 17                   | 21      | 106,0                                    | 206   | 164     | M 27    | 108                   | 138                   | 1,384                               | 16,63                               |
| HE 240M                                   | 157                       | 270     | 248     | 18                   | 32                   | 21      | 199,6                                    | 206   | 164     | M 27    | 116                   | 146                   | 1,460                               | 9,318                               |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte |   |  |  |                      |   |   |  |  |                      |                      |   |   | Classification<br>EN 1993-1-1: 2005 |                      |                      |                      |                      |                      |                  |                  |               |
|---|--|---|--|--|----------------------|---|---|--|--|----------------------|----------------------|---|---|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------------|---------------|
|   | axe fort y-y<br>strong axis y-y<br>starke Achse y-y          |   |  |  |                      |   | axe faible z-z<br>weak axis z-z<br>schwache Achse z-z |  |  |                      |                      |   | Plan<br>leveling y-y                                  |                                     |                      | Plan<br>compaction   |                      |                      |                      |                  |                  |               |
|   | G<br>kg/m  | I <sub>y</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | W <sub>pl,y</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | W <sub>el,y</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | I <sub>y</sub><br>mm | A <sub>e</sub><br>mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | I <sub>z</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | W <sub>pl,z</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | W <sub>el,z</sub><br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | I <sub>z</sub><br>mm | r <sub>y</sub><br>mm | r <sub>z</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | I <sub>z</sub><br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>6</sup> | u <sub>1</sub><br>mm                | u <sub>2</sub><br>mm | u <sub>3</sub><br>mm | u <sub>4</sub><br>mm | u <sub>5</sub><br>mm | u <sub>6</sub><br>mm | EN 10035-2: 2004 | EN 10035-4: 2004 | EN 10225:2009 |
| HE 100AA                                  | 12,2   | 236,5   | 51,98  | 58,36  | 3,89                 | 6,15  | 92,06   | 18,41  | 28,44  | 2,43                 | 29,26                | 2,51  | 1,68  | 1                                   | 1                    | 2                    | 1                    | 1                    | 2                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 100A                                   | 16,7   | 349,2   | 72,76  | 83,01  | 4,06                 | 7,56  | 133,8   | 26,76  | 41,14  | 2,51                 | 35,06                | 5,24  | 2,58  | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 100B                                   | 20,4   | 449,5   | 89,91  | 104,2  | 4,16                 | 9,04  | 167,3   | 33,45  | 51,42  | 2,53                 | 40,06                | 9,25  | 3,38  | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 100M                                   | 41,8   | 1143  | 190,4  | 235,8  | 4,63                 | 18,04   | 399,2   | 75,31  | 116,3  | 2,74                 | 66,06                | 68,21   | 9,93  | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 120AA                                  | 14,6   | 413,4   | 75,85  | 84,12  | 4,72                 | 6,90  | 158,8   | 26,47  | 40,62  | 2,93                 | 29,26                | 2,78  | 4,24  | 1                                   | 3                    | 3                    | 1                    | 3                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 120A                                   | 19,9   | 606,2   | 106,3  | 119,5  | 4,89                 | 8,46  | 230,9   | 38,48  | 58,85  | 3,02                 | 35,06                | 5,99  | 6,47  | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 120B                                   | 26,7   | 864,4   | 144,1  | 165,2  | 5,04                 | 10,96   | 317,5   | 52,92  | 80,97  | 3,06                 | 42,56                | 13,84   | 9,41  | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 120M                                   | 52,1   | 2018  | 288,2  | 350,6  | 5,51                 | 21,15   | 702,8   | 111,6  | 171,6  | 3,25                 | 68,56                | 91,66   | 24,79   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 140AA                                  | 18,1   | 719,5   | 112,4  | 123,8  | 5,59                 | 7,92  | 274,8   | 39,26  | 59,93  | 3,45                 | 30,36                | 3,54  | 10,21   | 2                                   | 3                    | 3                    | 2                    | 3                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 140A                                   | 24,7   | 1033  | 155,4  | 173,5  | 5,73                 | 10,12   | 389,3   | 55,62  | 84,85  | 3,52                 | 36,56                | 8,13  | 15,06   | 1                                   | 1                    | 2                    | 1                    | 1                    | 2                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 140B                                   | 33,7   | 1509  | 215,6  | 245,4  | 5,93                 | 13,08   | 549,7   | 78,52  | 119,8  | 3,58                 | 45,06                | 20,06   | 22,48   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 140M                                   | 63,2   | 3291  | 411,4  | 493,8  | 6,39                 | 24,46   | 1144  | 156,8  | 240,5  | 3,77                 | 71,06                | 120,0   | 54,33   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 160AA                                  | 23,8   | 1283  | 173,4  | 190,4  | 6,50                 | 10,38   | 478,7   | 59,84  | 91,36  | 3,97                 | 36,07                | 6,33  | 23,75   | 1                                   | 3                    | 3                    | 1                    | 3                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 160A                                   | 30,4   | 1673  | 220,1  | 245,1  | 6,57                 | 13,21   | 615,6   | 76,95  | 117,6  | 3,98                 | 41,57                | 12,19   | 31,41   | 1                                   | 1                    | 2                    | 1                    | 1                    | 2                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 160B                                   | 42,6   | 2492  | 311,5  | 354,0  | 6,78                 | 17,59   | 889,2   | 111,2  | 170,0  | 4,05                 | 51,57                | 31,24   | 47,94   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 160M                                   | 76,2   | 5098  | 566,5  | 674,6  | 7,25                 | 30,81   | 1759  | 211,9  | 325,5  | 4,26                 | 77,57                | 162,4   | 108,1   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 180AA                                  | 28,7   | 1967  | 235,6  | 258,2  | 7,34                 | 12,16   | 730,0   | 81,11  | 123,6  | 4,47                 | 37,57                | 8,33  | 46,36   | 2                                   | 3                    | 3                    | 2                    | 3                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 180A                                   | 35,5   | 2510  | 293,6  | 324,9  | 7,45                 | 14,47   | 924,6   | 102,7  | 156,5  | 4,52                 | 42,57                | 14,80   | 60,21   | 1                                   | 2                    | 3                    | 1                    | 2                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 180B                                   | 51,2   | 3831  | 425,7  | 481,4  | 7,66                 | 20,24   | 1363  | 151,4  | 231,0  | 4,57                 | 54,07                | 42,16   | 93,75   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 180M                                   | 88,9   | 7483  | 748,3  | 883,4  | 8,13                 | 34,85   | 2580  | 277,4  | 425,2  | 4,77                 | 80,07                | 203,3   | 199,3   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 200AA                                  | 34,6   | 2944  | 318,6  | 347,1  | 8,17                 | 15,45   | 1068  | 106,8  | 163,2  | 4,92                 | 42,59                | 12,69   | 84,49   | 2                                   | 3                    | 3                    | 2                    | 3                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 200A                                   | 42,3   | 3692  | 388,6  | 429,5  | 8,28                 | 18,08   | 1336  | 133,6  | 203,8  | 4,98                 | 47,59                | 20,98   | 108,0   | 1                                   | 2                    | 3                    | 1                    | 2                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 200B                                   | 61,3   | 5696  | 569,6  | 642,5  | 8,54                 | 24,83   | 2003  | 200,3  | 305,8  | 5,07                 | 60,09                | 59,28   | 171,1   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 200M                                   | 103  | 10640   | 967,4  | 1135   | 9,00                 | 41,03   | 3651  | 354,5  | 543,2  | 5,27                 | 86,09                | 259,4   | 346,3   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 220AA                                  | 40,4   | 4170  | 406,9  | 445,5  | 9,00                 | 17,63   | 1510  | 137,3  | 209,3  | 5,42                 | 44,09                | 15,93   | 145,6   | 3                                   | 3                    | 4                    | 3                    | 3                    | 4                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 220A                                   | 50,5   | 5410  | 515,2  | 568,5  | 9,17                 | 20,67   | 1955  | 177,7  | 270,6  | 5,51                 | 50,09                | 28,46   | 193,3   | 1                                   | 2                    | 3                    | 1                    | 2                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 220B                                   | 71,5   | 8091  | 735,5  | 827,0  | 9,43                 | 27,92   | 2843  | 258,5  | 393,9  | 5,59                 | 62,59                | 76,57   | 295,4   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 220M                                   | 117  | 14600   | 1217   | 1419   | 9,89                 | 45,31   | 5012  | 443,5  | 678,6  | 5,79                 | 88,59                | 315,3   | 572,7   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 240AA                                  | 47,4   | 5835  | 521,0  | 570,6  | 9,83                 | 21,54   | 2077  | 173,1  | 264,4  | 5,87                 | 49,10                | 22,98   | 239,6   | 3                                   | 3                    | 4                    | 3                    | 3                    | 4                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 240A                                   | 60,3   | 7763  | 675,1  | 744,6  | 10,05                | 25,18   | 2769  | 230,7  | 351,7  | 6,00                 | 56,10                | 41,55   | 328,5   | 1                                   | 2                    | 3                    | 1                    | 2                    | 3                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 240B                                   | 83,2   | 11260   | 938,3  | 1053   | 10,31                | 33,23   | 3923  | 326,9  | 498,4  | 6,08                 | 68,60                | 102,7   | 486,9   | 1                                   | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 240M                                   | 157  | 24290   | 1799   | 2117   | 11,03                | 60,07   | 8153  | 657,5  | 1006   | 6,39                 | 106,6                | 627,9   | 1152  | 1                                   | 1                    | -                    | 1                    | 1                    | -                    | ✓                | ✓                | ✓             |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Dimensions<br>Abmessungen |         |         |                      |                      |         | A<br>mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>3</sup> | Dimensions de construction<br>Dimensions for detailing<br>Konstruktionsmaße |         |         |                       |                       | Surface<br>Oberfläche               |                                      |
|---|---------------------------|---------|---------|----------------------|----------------------|---------|--|---|---------|---------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
|   | G<br>kg/m                 | h<br>mm | b<br>mm | t <sub>w</sub><br>mm | t <sub>f</sub><br>mm | r<br>mm |  | h <sub>1</sub><br>mm  | d<br>mm | Ø<br>mm | P <sub>we</sub><br>mm | P <sub>wa</sub><br>mm | A <sub>s</sub><br>m <sup>2</sup> /m | A <sub>s</sub><br>m <sup>2</sup> /ft |
| HE 260 AA*                                | 54,1                      | 244     | 260     | 6,5                  | 9,5                  | 24      | 69,0                                     | 225   | 177     | M 27    | 110                   | 158                   | 1,474                               | 27,22                                |
| HE 260 A                                  | 68,2                      | 250     | 260     | 7,5                  | 12,5                 | 24      | 86,8                                     | 225   | 177     | M 27    | 110                   | 158                   | 1,484                               | 27,77                                |
| HE 260 B                                  | 93,0                      | 260     | 260     | 10                   | 17,5                 | 24      | 118,4                                    | 225   | 177     | M 27    | 114                   | 158                   | 1,499                               | 16,12                                |
| HE 260 M                                  | 172                       | 290     | 268     | 18                   | 32,5                 | 24      | 219,6                                    | 225   | 177     | M 27    | 122                   | 166                   | 1,575                               | 9,133                                |
| HE 280 AA*                                | 61,2                      | 264     | 280     | 7                    | 10                   | 24      | 78,0                                     | 244   | 196     | M 27    | 110                   | 178                   | 1,593                               | 26,01                                |
| HE 280 A                                  | 76,4                      | 270     | 280     | 8                    | 13                   | 24      | 97,3                                     | 244   | 196     | M 27    | 112                   | 178                   | 1,603                               | 20,99                                |
| HE 280 B                                  | 103                       | 280     | 280     | 10,5                 | 18                   | 24      | 131,4                                    | 244   | 196     | M 27    | 114                   | 178                   | 1,618                               | 15,69                                |
| HE 280 M                                  | 189                       | 310     | 288     | 18,5                 | 33                   | 24      | 240,2                                    | 244   | 196     | M 27    | 122                   | 186                   | 1,694                               | 8,984                                |
| HE 300 AA*                                | 69,8                      | 283     | 300     | 7,5                  | 10,5                 | 27      | 88,9                                     | 262   | 208     | M 27    | 116                   | 198                   | 1,705                               | 24,42                                |
| HE 300 A                                  | 88,3                      | 290     | 300     | 8,5                  | 14                   | 27      | 112,5                                    | 262   | 208     | M 27    | 118                   | 198                   | 1,717                               | 19,43                                |
| HE 300 B                                  | 117                       | 300     | 300     | 11                   | 19                   | 27      | 149,1                                    | 262   | 208     | M 27    | 120                   | 198                   | 1,732                               | 14,80                                |
| HE 300 M                                  | 238                       | 340     | 310     | 21                   | 39                   | 27      | 303,1                                    | 262   | 208     | M 27    | 132                   | 208                   | 1,832                               | 7,699                                |
| HE 320 AA*                                | 74,2                      | 301     | 300     | 8                    | 11                   | 27      | 94,6                                     | 279   | 225     | M 27    | 118                   | 198                   | 1,740                               | 23,43                                |
| HE 320 A                                  | 97,6                      | 310     | 300     | 9                    | 15,5                 | 27      | 124,4                                    | 279   | 225     | M 27    | 118                   | 198                   | 1,756                               | 17,98                                |
| HE 320 B                                  | 127                       | 320     | 300     | 11,5                 | 20,5                 | 27      | 161,3                                    | 279   | 225     | M 27    | 122                   | 198                   | 1,771                               | 13,98                                |
| HE 320 M                                  | 245                       | 359     | 309     | 21                   | 40                   | 27      | 312,0                                    | 279   | 225     | M 27    | 132                   | 204                   | 1,866                               | 7,616                                |
| HE 340 AA*                                | 78,9                      | 320     | 300     | 8,5                  | 11,5                 | 27      | 100,5                                    | 297   | 243     | M 27    | 118                   | 198                   | 1,777                               | 22,52                                |
| HE 340 A                                  | 105                       | 330     | 300     | 9,5                  | 16,5                 | 27      | 133,5                                    | 297   | 243     | M 27    | 118                   | 198                   | 1,795                               | 17,13                                |
| HE 340 B                                  | 134                       | 340     | 300     | 12                   | 21,5                 | 27      | 170,9                                    | 297   | 243     | M 27    | 122                   | 198                   | 1,810                               | 13,49                                |
| HE 340 M                                  | 248                       | 377     | 309     | 21                   | 40                   | 27      | 315,8                                    | 297   | 243     | M 27    | 132                   | 204                   | 1,902                               | 7,670                                |
| HE 360 AA*                                | 83,7                      | 339     | 300     | 9                    | 12                   | 27      | 106,6                                    | 315   | 261     | M 27    | 118                   | 198                   | 1,814                               | 21,67                                |
| HE 360 A                                  | 112                       | 350     | 300     | 10                   | 17,5                 | 27      | 142,8                                    | 315   | 261     | M 27    | 120                   | 198                   | 1,834                               | 16,36                                |
| HE 360 B                                  | 142                       | 360     | 300     | 12,5                 | 22,5                 | 27      | 180,6                                    | 315   | 261     | M 27    | 122                   | 198                   | 1,849                               | 13,04                                |
| HE 360 M                                  | 250                       | 395     | 308     | 21                   | 40                   | 27      | 318,8                                    | 315   | 261     | M 27    | 132                   | 204                   | 1,934                               | 7,730                                |
| HE 400 AA*                                | 92,4                      | 378     | 300     | 9,5                  | 13                   | 27      | 117,7                                    | 352   | 298     | M 27    | 118                   | 198                   | 1,891                               | 20,46                                |
| HE 400 A                                  | 125                       | 390     | 300     | 11                   | 19                   | 27      | 159,0                                    | 352   | 298     | M 27    | 120                   | 198                   | 1,912                               | 15,32                                |
| HE 400 B                                  | 155                       | 400     | 300     | 13,5                 | 24                   | 27      | 197,8                                    | 352   | 298     | M 27    | 124                   | 198                   | 1,927                               | 12,41                                |
| HE 400 M                                  | 256                       | 432     | 307     | 21                   | 40                   | 27      | 325,8                                    | 352   | 298     | M 27    | 132                   | 202                   | 2,004                               | 7,835                                |
| HE 450 AA*                                | 99,7                      | 425     | 300     | 10                   | 13,5                 | 27      | 127,1                                    | 398   | 344     | M 27    | 120                   | 198                   | 1,984                               | 19,89                                |
| HE 450 A                                  | 140                       | 440     | 300     | 11,5                 | 21                   | 27      | 178,0                                    | 398   | 344     | M 27    | 122                   | 198                   | 2,011                               | 14,39                                |
| HE 450 B                                  | 171                       | 450     | 300     | 14                   | 26                   | 27      | 218,0                                    | 398   | 344     | M 27    | 124                   | 198                   | 2,026                               | 11,84                                |
| HE 450 M                                  | 263                       | 478     | 307     | 21                   | 40                   | 27      | 335,4                                    | 398   | 344     | M 27    | 132                   | 202                   | 2,096                               | 7,959                                |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte |                                     |                                     |                        |                                     |                                     |   |                                     |                        |                |                                     |                                     | Classification<br>EN 1993-1-1: 2005 |                |                |                      |                |                |                |                  |                  |               |
|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|---------------|
|   | axe fort y-y<br>strong axis y-y<br>starke Achse y-y          |                                     |                                     |                        |                                     |                                     | axe faible z-z<br>weak axis z-z<br>schwache Achse z-z |                                     |                        |                |                                     |                                     | Poutre<br>I-beam/y-y                |                |                | Poutre<br>I-beam/z-z |                |                |                |                  |                  |               |
|   | G  | I <sub>y</sub>                      | W <sub>el,y</sub>                   | W <sub>el,y</sub> *    | I <sub>y</sub>                      | A <sub>e</sub>                      | I <sub>z</sub>  | W <sub>el,z</sub>                   | W <sub>el,z</sub> *    | I <sub>z</sub> | s <sub>x</sub>                      | I <sub>z</sub>                      | I <sub>z</sub>                      | h <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> | h <sub>3</sub>       | h <sub>4</sub> | h <sub>5</sub> | h <sub>6</sub> | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4: 2004 | EN 10225:2009 |
| kg/m                                      | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup>                          | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup>                   | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | mm                                  | mm             | mm             | mm                   | mm             | mm             | mm             |                  |                  |               |
| HE 260AA                                  | 54,1   | 7901                                | 654,1                               | 714,5                  | 10,76                               | 24,75                               | 2708  | 214,5                               | 327,7                  | 6,36           | 53,62                               | 30,31                               | 302,6                               | 3              | 3              | 4                    | 3              | 3              | 4              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 260A                                   | 60,2   | 10450                               | 836,4                               | 919,8                  | 10,97                               | 20,76                               | 3668  | 282,1                               | 430,2                  | 6,50           | 60,62                               | 52,37                               | 516,4                               | 1              | 3              | 3                    | 1              | 3              | 3              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 260B                                   | 93,0   | 14920                               | 1148                                | 1283                   | 11,22                               | 37,59                               | 5135  | 395,0                               | 602,2                  | 6,58           | 73,12                               | 123,8                               | 753,7                               | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 260M                                   | 172  | 31310                               | 2159                                | 2524                   | 11,94                               | 66,89                               | 10450   | 779,7                               | 1192                   | 6,90           | 111,1                               | 719,0                               | 1728                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 280AA                                  | 61,2   | 10560                               | 799,8                               | 873,1                  | 11,63                               | 27,52                               | 3664  | 261,7                               | 398,4                  | 6,85           | 55,12                               | 36,22                               | 590,1                               | 3              | 3              | 4                    | 3              | 3              | 4              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 280A                                   | 76,4   | 13670                               | 1013                                | 1112                   | 11,86                               | 31,74                               | 4763  | 340,2                               | 518,1                  | 7,00           | 62,12                               | 62,10                               | 785,4                               | 1              | 3              | 3                    | 1              | 3              | 3              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 280B                                   | 103  | 19270                               | 1376                                | 1534                   | 12,11                               | 41,09                               | 6595  | 471,0                               | 717,6                  | 7,09           | 74,62                               | 143,7                               | 1130                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 280M                                   | 189  | 39550                               | 2551                                | 2966                   | 12,83                               | 72,03                               | 13160   | 914,1                               | 1397                   | 7,40           | 112,6                               | 802,3                               | 2520                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 300AA                                  | 69,8   | 13800                               | 975,6                               | 1065                   | 12,46                               | 32,37                               | 4734  | 315,6                               | 482,3                  | 7,30           | 60,13                               | 49,35                               | 877,2                               | 3              | 3              | 4                    | 3              | 3              | 4              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 300A                                   | 88,3   | 18260                               | 1260                                | 1383                   | 12,74                               | 37,28                               | 6310  | 420,6                               | 641,2                  | 7,49           | 68,13                               | 85,17                               | 1200                                | 1              | 3              | 3                    | 1              | 3              | 3              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 300B                                   | 117  | 25170                               | 1678                                | 1869                   | 12,99                               | 47,43                               | 8563  | 570,9                               | 870,1                  | 7,58           | 80,63                               | 185,0                               | 1688                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 300M                                   | 238  | 59200                               | 3482                                | 4078                   | 13,98                               | 90,53                               | 19400   | 1252                                | 1913                   | 8,00           | 130,6                               | 1408                                | 4386                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 320AA                                  | 74,2   | 16450                               | 1093                                | 1196                   | 13,19                               | 35,40                               | 4959  | 330,6                               | 505,7                  | 7,24           | 61,63                               | 55,87                               | 1041                                | 3              | 3              | 4                    | 3              | 3              | 4              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 320A                                   | 97,6   | 22930                               | 1479                                | 1628                   | 13,58                               | 41,13                               | 6985  | 465,7                               | 709,7                  | 7,49           | 71,63                               | 108,0                               | 1512                                | 1              | 2              | 3                    | 1              | 2              | 3              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 320B                                   | 127  | 30820                               | 1926                                | 2149                   | 13,82                               | 51,77                               | 9239  | 615,9                               | 939,1                  | 7,57           | 84,13                               | 225,1                               | 2069                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 320M                                   | 245  | 68130                               | 3796                                | 4435                   | 14,78                               | 94,85                               | 19710   | 1276                                | 1951                   | 7,95           | 132,6                               | 1501                                | 5004                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 340AA                                  | 78,9   | 19550                               | 1222                                | 1341                   | 13,95                               | 38,89                               | 5185  | 345,6                               | 529,3                  | 7,18           | 63,13                               | 63,07                               | 1231                                | 3              | 3              | 4                    | 3              | 3              | 4              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 340A                                   | 105  | 27090                               | 1678                                | 1850                   | 14,40                               | 44,95                               | 7436  | 495,7                               | 755,9                  | 7,46           | 74,13                               | 127,2                               | 1824                                | 1              | 1              | 3                    | 1              | 1              | 3              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 340B                                   | 134  | 36660                               | 2156                                | 2408                   | 14,65                               | 56,09                               | 9690  | 646,0                               | 985,7                  | 7,53           | 86,63                               | 257,2                               | 2454                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 340M                                   | 248  | 76370                               | 4052                                | 4718                   | 15,55                               | 98,63                               | 19710   | 1276                                | 1953                   | 7,90           | 132,6                               | 1506                                | 5584                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 360AA                                  | 83,7   | 23040                               | 1359                                | 1495                   | 14,70                               | 42,17                               | 5410  | 360,7                               | 553,0                  | 7,12           | 64,63                               | 70,99                               | 1444                                | 2              | 3              | 3                    | 2              | 3              | 3              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 360A                                   | 112  | 33090                               | 1891                                | 2088                   | 15,22                               | 48,96                               | 7887  | 525,8                               | 802,3                  | 7,43           | 76,63                               | 148,8                               | 2177                                | 1              | 1              | 2                    | 1              | 1              | 2              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 360B                                   | 142  | 43190                               | 2400                                | 2683                   | 15,46                               | 60,60                               | 10140   | 676,1                               | 1032                   | 7,49           | 89,13                               | 292,5                               | 2883                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 360M                                   | 250  | 84870                               | 4297                                | 4989                   | 16,32                               | 102,4                               | 19520   | 1268                                | 1942                   | 7,83           | 132,6                               | 1507                                | 6137                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 400AA                                  | 92,4   | 31250                               | 1654                                | 1824                   | 16,30                               | 47,95                               | 5861  | 390,8                               | 599,7                  | 7,06           | 67,13                               | 84,69                               | 1948                                | 2              | 3              | 3                    | 2              | 3              | 4              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 400A                                   | 125  | 45070                               | 2311                                | 2562                   | 16,84                               | 57,33                               | 8564  | 570,9                               | 872,9                  | 7,34           | 80,63                               | 189,0                               | 2942                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 2              | 2              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 400B                                   | 155  | 57680                               | 2884                                | 3232                   | 17,08                               | 69,98                               | 10820   | 721,3                               | 1104                   | 7,40           | 93,13                               | 355,7                               | 3817                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 400M                                   | 256  | 104100                              | 4820                                | 5571                   | 17,88                               | 110,2                               | 19340   | 1260                                | 1934                   | 7,70           | 132,6                               | 1515                                | 7410                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 450AA                                  | 99,7   | 41890                               | 1971                                | 2183                   | 18,16                               | 54,70                               | 6088  | 405,8                               | 624,4                  | 6,92           | 68,63                               | 95,61                               | 2572                                | 1              | 3              | 3                    | 2              | 4              | 4              | ✓                | ✓                | ✓             |
| HE 450A                                   | 140  | 63720                               | 2896                                | 3216                   | 18,92                               | 65,78                               | 9465  | 631,0                               | 965,5                  | 7,29           | 85,13                               | 243,8                               | 4148                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 2              | 3              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 450B                                   | 171  | 79890                               | 3551                                | 3982                   | 19,14                               | 79,66                               | 11720   | 781,4                               | 1198                   | 7,33           | 97,63                               | 440,5                               | 5258                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 2              | ✓                | HI               | HI            |
| HE 450M                                   | 263  | 131500                              | 5501                                | 6331                   | 19,80                               | 119,8                               | 19340   | 1260                                | 1939                   | 7,59           | 132,6                               | 1529                                | 9251                                | 1              | 1              | 1                    | 1              | 1              | 1              | ✓                | HI               | HI            |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Dimensions<br>Abmessungen |     |     |                |                |    | A<br>mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>3</sup> | Dimensions de construction<br>Dimensions for detailing<br>Konstruktionsmaße |     |     |                  |                  | Surface<br>Oberfläche |                    |
|---|---------------------------|-----|-----|----------------|----------------|----|--|---|-----|-----|------------------|------------------|-----------------------|--------------------|
|   | G                         | h   | b   | h <sub>1</sub> | h <sub>2</sub> | r  |  | h <sub>1</sub>  | d   | Ø   | e <sub>min</sub> | e <sub>max</sub> | A <sub>1</sub>        | A <sub>2</sub>     |
| kg/m                                      | mm                        | mm  | mm  | mm             | mm             | mm | mm                                       | mm  | mm  |     | mm               | mm               | m <sup>2</sup> /m     | m <sup>2</sup> /ft |
| LPE 100*                                  | 7,90                      | 80  | 50  | 4,0            | 7,0            | 10 | 10,1                                     | 66  | 46  | -   | -                | -                | 0,343                 | 4,45               |
| LPE 100*                                  | 9,02                      | 100 | 55  | 4,5            | 7,5            | 10 | 12,5                                     | 85  | 65  | M12 | 35               | 36               | 0,402                 | 41,00              |
| LPE 120*                                  | 12,1                      | 120 | 60  | 5,0            | 8,0            | 12 | 15,4                                     | 104   | 80  | M12 | 35               | 41               | 0,460                 | 37,90              |
| LPE 140*                                  | 14,5                      | 140 | 65  | 5,0            | 9,0            | 12 | 18,4                                     | 122   | 90  | M16 | 35               | 38               | 0,520                 | 35,95              |
| LPE 160*                                  | 17,0                      | 160 | 70  | 5,5            | 9,5            | 12 | 21,7                                     | 141   | 117 | M16 | 36               | 43               | 0,579                 | 34,01              |
| LPE 180*                                  | 19,7                      | 180 | 75  | 5,5            | 10,5           | 12 | 25,1                                     | 159   | 135 | M16 | 36               | 48               | 0,639                 | 32,40              |
| LPE 200*                                  | 22,8                      | 200 | 80  | 6,0            | 11,0           | 13 | 29,0                                     | 178   | 152 | M20 | 46               | 47               | 0,697                 | 30,60              |
| LPE 220*                                  | 26,6                      | 220 | 85  | 6,5            | 12,0           | 13 | 33,9                                     | 196   | 170 | M22 | 47               | 49               | 0,756                 | 28,43              |
| LPE 240*                                  | 30,2                      | 240 | 90  | 7,0            | 12,5           | 15 | 38,5                                     | 215   | 185 | M24 | 47               | 51               | 0,813                 | 26,89              |
| LPE 270*                                  | 35,2                      | 270 | 95  | 7,5            | 13,5           | 15 | 44,8                                     | 243   | 213 | M27 | 48               | 50               | 0,892                 | 25,34              |
| LPE 300*                                  | 44,4                      | 300 | 100 | 9,5            | 15,0           | 15 | 56,6                                     | 270   | 240 | M27 | 50               | 55               | 0,968                 | 21,78              |
| LPE 330*                                  | 53,2                      | 330 | 105 | 11,0           | 16,0           | 18 | 67,8                                     | 298   | 262 | M27 | 54               | 60               | 1,043                 | 19,60              |
| LPE 360*                                  | 61,2                      | 360 | 110 | 12,0           | 17,0           | 18 | 77,9                                     | 326   | 290 | M27 | 55               | 65               | 1,121                 | 18,32              |
| LPE 400*                                  | 72,2                      | 400 | 115 | 13,5           | 18,0           | 18 | 91,9                                     | 364   | 328 | M27 | 57               | 70               | 1,218                 | 16,87              |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte |                                     |                                     |      |                                     |                                     |                                     |   |      |                |                                     |                                     |                |      | Classification    |    |                |    | EN 10025-1-2: 2004 | EN 10025-1-4: 2004 | EN 10225:2008 |
|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|------|-------------------|----|----------------|----|--------------------|--------------------|---------------|
|   | axe fort y-y<br>strong axis y-y<br>starke Achse y-y          |                                     |                                     |      |                                     |                                     |                                     | axe faible z-z<br>weak axis z-z<br>schwache Achse z-z |      |                |                                     |                                     |                |      | EN 1993-1-1: 2005 |    |                |    |                    |                    |               |
|   | I <sub>y</sub>   |                                     | W <sub>pl,y</sub>                   |      | I <sub>z</sub>                      |                                     |                                     | W <sub>pl,z</sub>                                     |      | I <sub>y</sub> |                                     |                                     | I <sub>z</sub> |      | T <sub>1</sub>    |    | T <sub>2</sub> |    |                    |                    |               |
| kg/m                                      | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup>                          | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm   | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup> | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup>                   | mm   | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>8</sup> | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm             | mm   | mm                | mm | mm             | mm |                    |                    |               |
| UPE 80                                    | 7,90   | 107                                 | 26,8                                | 31,2 | 3,26                                | 4,05                                | 25,5                                | 8,0   | 14,3 | 1,59           | 16,9                                | 1,47                                | 0,22           | 1,82 | 3,71              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 100                                   | 9,82   | 207                                 | 41,4                                | 48,0 | 4,07                                | 5,34                                | 38,3                                | 10,6  | 19,3 | 1,75           | 17,9                                | 2,01                                | 0,53           | 1,91 | 3,93              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 120                                   | 12,1   | 384                                 | 60,6                                | 70,3 | 4,86                                | 7,18                                | 55,5                                | 13,8  | 25,3 | 1,90           | 20,0                                | 2,90                                | 1,12           | 1,98 | 4,12              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 140                                   | 14,5   | 600                                 | 85,6                                | 98,8 | 5,71                                | 8,25                                | 78,8                                | 18,2  | 33,2 | 2,07           | 21,0                                | 4,05                                | 2,20           | 2,17 | 4,54              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 160                                   | 17,0   | 911                                 | 114                                 | 132  | 6,48                                | 10,0                                | 107                                 | 22,6  | 41,5 | 2,22           | 22,0                                | 5,20                                | 3,06           | 2,27 | 4,76              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 180                                   | 19,7   | 1350                                | 150                                 | 173  | 7,34                                | 11,2                                | 144                                 | 28,6  | 52,3 | 2,39           | 23,0                                | 6,90                                | 6,81           | 2,47 | 5,19              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 200                                   | 22,8   | 1910                                | 191                                 | 220  | 8,11                                | 13,5                                | 187                                 | 34,5  | 63,3 | 2,54           | 24,6                                | 8,89                                | 11,0           | 2,56 | 5,41              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 220                                   | 26,6   | 2680                                | 244                                 | 281  | 8,90                                | 15,8                                | 247                                 | 42,5  | 78,2 | 2,70           | 26,1                                | 12,1                                | 17,6           | 2,70 | 5,70              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 240                                   | 30,2   | 3600                                | 300                                 | 347  | 9,67                                | 18,8                                | 311                                 | 50,1  | 92,2 | 2,84           | 28,3                                | 15,1                                | 26,4           | 2,79 | 5,91              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 270                                   | 35,2   | 5250                                | 389                                 | 451  | 10,8                                | 22,2                                | 401                                 | 62,7  | 112  | 2,99           | 29,8                                | 19,9                                | 43,8           | 2,89 | 6,14              | 1  | 1              | 1  | 2                  | ✓                  |               |
| UPE 300                                   | 44,4   | 7820                                | 522                                 | 613  | 11,8                                | 30,3                                | 538                                 | 75,6  | 137  | 3,08           | 33,3                                | 31,5                                | 72,7           | 2,89 | 6,03              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 330                                   | 53,2   | 11010                               | 667                                 | 792  | 12,7                                | 38,8                                | 681                                 | 89,7  | 156  | 3,17           | 37,5                                | 45,2                                | 112            | 2,90 | 6,00              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 360                                   | 61,2   | 14830                               | 824                                 | 982  | 13,8                                | 45,6                                | 844                                 | 105   | 178  | 3,29           | 39,5                                | 58,5                                | 166            | 2,97 | 6,12              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |
| UPE 400                                   | 72,2   | 20980                               | 1050                                | 1260 | 15,1                                | 56,2                                | 1045                                | 123   | 191  | 3,37           | 42,0                                | 78,1                                | 250            | 2,98 | 6,06              | 1  | 1              | 1  | 1                  | ✓                  |               |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Dimensions<br>Abmessungen |           |         | A   | Position des axes<br>Position of axes<br>Lage der Achsen |                                 |                |                             |                             | Surface<br>Oberfläche               |                                     |
|---|---------------------------|-----------|---------|-----|--|---------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|   | G<br>kg/m                 | h-b<br>mm | t<br>mm |     | r <sub>s</sub><br>mm                                     | Δy-Δy<br>mm<br>x10 <sup>2</sup> | v<br>mm<br>x10 | u <sub>1</sub><br>mm<br>x10 | u <sub>2</sub><br>mm<br>x10 | A <sub>1</sub><br>m <sup>2</sup> /m | A <sub>2</sub><br>m <sup>2</sup> /t |
| L 20 x 20 x 3 <sup>2</sup>                | 0,882                     | 20        | 3       | 3,5 | 1,12   | 0,596                           | 1,41           | 0,843                       | 0,700                       | 0,077                               | 87,40                               |
| L 25 x 25 x 3 <sup>2</sup>                | 1,12                      | 25        | 3       | 3,5 | 1,42   | 0,721                           | 1,77           | 1,02                        | 0,877                       | 0,097                               | 86,88                               |
| L 25 x 25 x 4 <sup>2</sup>                | 1,45                      | 25        | 4       | 3,5 | 1,85   | 0,761                           | 1,77           | 1,08                        | 0,892                       | 0,097                               | 66,67                               |
| L 30 x 30 x 3 <sup>2</sup>                | 1,36                      | 30        | 3       | 5   | 1,74   | 0,835                           | 2,12           | 1,18                        | 1,05                        | 0,116                               | 84,87                               |
| L 30 x 30 x 4 <sup>2</sup>                | 1,78                      | 30        | 4       | 5   | 2,27   | 0,878                           | 2,12           | 1,24                        | 1,06                        | 0,116                               | 65,02                               |
| L 35 x 35 x 4 <sup>2</sup>                | 2,09                      | 35        | 4       | 5   | 2,67   | 1,00                            | 2,47           | 1,42                        | 1,24                        | 0,136                               | 64,82                               |
| L 35 x 35 x 5 <sup>2</sup>                | 2,57                      | 35        | 5       | 5   | 3,28   | 1,04                            | 2,47           | 1,48                        | 1,25                        | 0,136                               | 52,76                               |
| L 40 x 40 x 4 <sup>2</sup>                | 2,42                      | 40        | 4       | 6   | 3,08   | 1,12                            | 2,83           | 1,58                        | 1,40                        | 0,155                               | 64,07                               |
| L 40 x 40 x 5 <sup>2</sup>                | 2,97                      | 40        | 5       | 6   | 3,79   | 1,16                            | 2,83           | 1,64                        | 1,41                        | 0,155                               | 52,07                               |
| L 40 x 40 x 6 <sup>2</sup>                | 3,52                      | 40        | 6       | 6   | 4,48   | 1,20                            | 2,83           | 1,70                        | 1,43                        | 0,155                               | 44,04                               |
| L 45 x 45 x 3 <sup>2</sup>                | 2,09                      | 45        | 3       | 7   | 2,66   | 1,18                            | 3,18           | 1,67                        | 1,57                        | 0,174                               | 83,24                               |
| L 45 x 45 x 4 <sup>2</sup>                | 2,74                      | 45        | 4       | 7   | 3,49   | 1,23                            | 3,18           | 1,75                        | 1,57                        | 0,174                               | 63,46                               |
| L 45 x 45 x 4,5 <sup>2</sup>              | 3,06                      | 45        | 4,5     | 7   | 3,90   | 1,26                            | 3,18           | 1,78                        | 1,58                        | 0,174                               | 56,83                               |
| L 45 x 45 x 5 <sup>2</sup>                | 3,38                      | 45        | 5       | 7   | 4,30   | 1,28                            | 3,18           | 1,81                        | 1,58                        | 0,174                               | 51,51                               |
| L 45 x 45 x 6 <sup>2</sup>                | 4,00                      | 45        | 6       | 7   | 5,09   | 1,32                            | 3,18           | 1,87                        | 1,59                        | 0,174                               | 43,52                               |
| L 45 x 45 x 7 <sup>2</sup>                | 4,60                      | 45        | 7       | 7   | 5,86   | 1,36                            | 3,18           | 1,92                        | 1,61                        | 0,174                               | 37,81                               |
| L 50 x 50 x 4 <sup>2</sup>                | 3,06                      | 50        | 4       | 7   | 3,89   | 1,36                            | 3,54           | 1,92                        | 1,75                        | 0,194                               | 63,49                               |
| L 50 x 50 x 5 <sup>2</sup>                | 3,77                      | 50        | 5       | 7   | 4,80   | 1,40                            | 3,54           | 1,99                        | 1,76                        | 0,194                               | 51,46                               |
| L 50 x 50 x 6 <sup>2</sup>                | 4,47                      | 50        | 6       | 7   | 5,69   | 1,45                            | 3,54           | 2,04                        | 1,77                        | 0,194                               | 43,41                               |
| L 50 x 50 x 7 <sup>2</sup>                | 5,15                      | 50        | 7       | 7   | 6,56   | 1,49                            | 3,54           | 2,10                        | 1,78                        | 0,194                               | 37,66                               |
| L 50 x 50 x 8                             | 5,82                      | 50        | 8       | 7   | 7,41   | 1,52                            | 3,54           | 2,16                        | 1,80                        | 0,194                               | 33,34                               |
| L 50 x 50 x 9 <sup>2</sup>                | 6,47                      | 50        | 9       | 7   | 8,24   | 1,56                            | 3,54           | 2,21                        | 1,82                        | 0,194                               | 29,98                               |
| L 55 x 55 x 4 <sup>2</sup>                | 3,38                      | 55        | 4       | 8   | 4,31   | 1,47                            | 3,89           | 2,08                        | 1,92                        | 0,213                               | 63,01                               |
| L 55 x 55 x 5 <sup>2</sup>                | 4,18                      | 55        | 5       | 8   | 5,32   | 1,52                            | 3,89           | 2,15                        | 1,93                        | 0,213                               | 51,05                               |
| L 55 x 55 x 6                             | 4,95                      | 55        | 6       | 8   | 6,31   | 1,56                            | 3,89           | 2,21                        | 1,94                        | 0,213                               | 43,04                               |
| L 60 x 60 x 4                             | 3,70                      | 60        | 4       | 8   | 4,71   | 1,60                            | 4,24           | 2,26                        | 2,10                        | 0,233                               | 63,07                               |
| L 60 x 60 x 5 <sup>2</sup>                | 4,57                      | 60        | 5       | 8   | 5,82   | 1,64                            | 4,24           | 2,32                        | 2,11                        | 0,233                               | 51,04                               |
| L 60 x 60 x 6 <sup>2</sup>                | 5,42                      | 60        | 6       | 8   | 6,91   | 1,69                            | 4,24           | 2,39                        | 2,11                        | 0,233                               | 42,99                               |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*     |                                     |                                  |                                     |                |                                     |                |                                     |                     | Classification<br>EN 1993-1-1: 2005 |      |      | EN 10025-2: 2004 | EN 10025-4: 2004 | EN 10225:2009 |
|---|---|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|------|------|------------------|------------------|---------------|
|   | axe y-y / axe z-z<br>axis y-y / axis z-z<br>Achse y-y / Achse z-z |                                     |                                  | axe u-u<br>axis u-u<br>Achse u-u    |                | axe v-v<br>axis v-v<br>Achse v-v    |                | I <sub>y</sub>                      | Plat<br>composition |                                     |      |      |                  |                  |               |
|   | G   | I <sub>y</sub> -I <sub>z</sub>      | W <sub>el</sub> -W <sub>e2</sub> | I <sub>y</sub> -I <sub>z</sub>      | I <sub>y</sub> | I <sub>z</sub>                      | I <sub>y</sub> |                                     | I <sub>z</sub>      | I <sub>y</sub>                      | S235 | S355 |                  |                  |               |
| kg/m                                      | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup>                               | mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | mm                               | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | mm             | mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> |                     |                                     |      |      |                  |                  |               |
| L 20 x 20 x 3                             | 0,882   | 0,388                               | 0,276                            | 0,589                               | 0,614          | 0,740                               | 0,162          | 0,380                               | -0,226              | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 25 x 25 x 3                             | 1,12  | 0,796                               | 0,448                            | 0,749                               | 1,26           | 0,944                               | 0,329          | 0,481                               | -0,467              | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 25 x 25 x 4                             | 1,45  | 1,01                                | 0,582                            | 0,740                               | 1,60           | 0,930                               | 0,425          | 0,479                               | -0,587              | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 30 x 30 x 3                             | 1,36  | 1,40                                | 0,649                            | 0,899                               | 2,23           | 1,13                                | 0,579          | 0,578                               | -0,825              | 1                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 30 x 30 x 4                             | 1,78  | 1,80                                | 0,850                            | 0,892                               | 2,86           | 1,12                                | 0,749          | 0,575                               | -1,05               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 35 x 35 x 4                             | 2,09  | 2,95                                | 1,18                             | 1,05                                | 4,69           | 1,33                                | 1,22           | 0,68                                | -1,73               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 35 x 35 x 5                             | 2,57  | 3,56                                | 1,45                             | 1,04                                | 5,64           | 1,31                                | 1,49           | 0,67                                | -2,08               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 40 x 40 x 4                             | 2,42  | 4,47                                | 1,55                             | 1,21                                | 7,10           | 1,52                                | 1,84           | 0,77                                | -2,63               | 1                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 40 x 40 x 5                             | 2,97  | 5,43                                | 1,91                             | 1,20                                | 8,61           | 1,51                                | 2,25           | 0,77                                | -3,18               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 40 x 40 x 6                             | 3,52  | 6,31                                | 2,26                             | 1,19                                | 9,99           | 1,49                                | 2,64           | 0,77                                | -3,67               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 45 x 45 x 3                             | 2,09  | 4,93                                | 1,49                             | 1,36                                | 7,81           | 1,71                                | 2,04           | 0,88                                | -2,88               | 4                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 45 x 45 x 4                             | 2,74  | 6,43                                | 1,97                             | 1,36                                | 10,21          | 1,71                                | 2,65           | 0,87                                | -3,78               | 1                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 45 x 45 x 4,5                           | 3,06  | 7,15                                | 2,20                             | 1,35                                | 11,35          | 1,71                                | 2,95           | 0,87                                | -4,20               | 1                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 45 x 45 x 5                             | 3,38  | 7,84                                | 2,43                             | 1,35                                | 12,45          | 1,70                                | 3,24           | 0,87                                | -4,60               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 45 x 45 x 6                             | 4,00  | 9,16                                | 2,88                             | 1,34                                | 14,52          | 1,69                                | 3,81           | 0,86                                | -5,36               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 45 x 45 x 7                             | 4,60  | 10,40                               | 3,31                             | 1,33                                | 16,44          | 1,67                                | 4,36           | 0,86                                | -6,04               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 50 x 50 x 4                             | 3,06  | 8,97                                | 2,46                             | 1,52                                | 14,25          | 1,91                                | 3,70           | 0,97                                | -5,28               | 4                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 50 x 50 x 5                             | 3,77  | 10,96                               | 3,05                             | 1,51                                | 17,41          | 1,90                                | 4,52           | 0,97                                | -6,45               | 1                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 50 x 50 x 6                             | 4,47  | 12,84                               | 3,61                             | 1,50                                | 20,37          | 1,89                                | 5,31           | 0,97                                | -7,53               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 50 x 50 x 7                             | 5,15  | 14,61                               | 4,16                             | 1,49                                | 23,14          | 1,88                                | 6,09           | 0,96                                | -8,52               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 50 x 50 x 8                             | 5,82  | 16,28                               | 4,68                             | 1,48                                | 25,71          | 1,86                                | 6,85           | 0,96                                | -9,43               | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 50 x 50 x 9                             | 6,47  | 17,86                               | 5,20                             | 1,47                                | 28,11          | 1,85                                | 7,61           | 0,96                                | -10,25              | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 55 x 55 x 4                             | 3,38  | 12,00                               | 2,98                             | 1,67                                | 19,05          | 2,10                                | 4,95           | 1,07                                | -7,05               | 4                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 55 x 55 x 5                             | 4,18  | 14,71                               | 3,70                             | 1,66                                | 23,37          | 2,10                                | 6,06           | 1,07                                | -8,66               | 1                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 55 x 55 x 6                             | 4,95  | 17,29                               | 4,39                             | 1,66                                | 27,44          | 2,09                                | 7,13           | 1,06                                | -10,16              | 1                                   | 1    | ✓    |                  |                  |               |
| L 60 x 60 x 4                             | 3,70  | 15,78                               | 3,58                             | 1,83                                | 25,04          | 2,31                                | 6,51           | 1,18                                | -9,26               | 4                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 60 x 60 x 5                             | 4,57  | 19,37                               | 4,45                             | 1,82                                | 30,77          | 2,30                                | 7,97           | 1,17                                | -11,40              | 4                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |
| L 60 x 60 x 6                             | 5,42  | 22,79                               | 5,29                             | 1,82                                | 36,20          | 2,29                                | 9,38           | 1,17                                | -13,41              | 1                                   | 4    | ✓    |                  |                  |               |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Dimensions<br>Abmessungen |     |     | A  | Position des axes<br>Position of axes<br>Lage der Achsen |                  |           |                |                | Surface<br>Oberfläche |                   |                    |
|---|---------------------------|-----|-----|----|--|------------------|-----------|----------------|----------------|-----------------------|-------------------|--------------------|
|   | G                         | h-b | t   |    | r <sub>t</sub>   | A-y <sub>1</sub> | v         | u <sub>1</sub> | u <sub>2</sub> | A <sub>1</sub>        | A <sub>2</sub>    |                    |
|   | kg/m                      | mm  | mm  | mm | mm <sup>2</sup><br>x10 <sup>2</sup>                      | mm<br>x10        | mm<br>x10 | mm<br>x10      | mm<br>x10      | mm<br>x10             | m <sup>2</sup> /m | m <sup>2</sup> /ft |
| L 60 x 60 x 7*                            | 6,26                      | 60  | 7   | 8  | 7,98   | 1,73             | 4,24      | 2,45           | 2,13           | 0,233                 | 37,22             |                    |
| L 60 x 60 x 8*                            | 7,09                      | 60  | 8   | 8  | 9,03   | 1,77             | 4,24      | 2,50           | 2,14           | 0,233                 | 32,89             |                    |
| L 60 x 60 x 10*                           | 8,69                      | 60  | 10  | 8  | 11,1   | 1,85             | 4,24      | 2,61           | 2,17           | 0,233                 | 26,83             |                    |
| L 63 x 63 x 5*                            | 4,82                      | 63  | 5   | 9  | 6,14   | 1,71             | 4,45      | 2,42           | 2,21           | 0,244                 | 50,71             |                    |
| L 63 x 63 x 6*                            | 5,72                      | 63  | 6   | 9  | 7,29   | 1,75             | 4,45      | 2,48           | 2,21           | 0,244                 | 42,70             |                    |
| L 63 x 63 x 6,5*                          | 6,17                      | 63  | 6,5 | 9  | 7,85   | 1,78             | 4,45      | 2,51           | 2,22           | 0,244                 | 39,62             |                    |
| L 65 x 65 x 4*                            | 4,02                      | 65  | 4   | 9  | 5,13   | 1,71             | 4,60      | 2,41           | 2,28           | 0,252                 | 62,68             |                    |
| L 65 x 65 x 5*                            | 4,97                      | 65  | 5   | 9  | 6,34   | 1,76             | 4,60      | 2,49           | 2,28           | 0,252                 | 50,71             |                    |
| L 65 x 65 x 6 <sup>th</sup>               | 5,91                      | 65  | 6   | 9  | 7,53   | 1,80             | 4,60      | 2,55           | 2,28           | 0,252                 | 42,70             |                    |
| L 65 x 65 x 7                             | 6,83                      | 65  | 7   | 9  | 8,70   | 1,85             | 4,60      | 2,61           | 2,29           | 0,252                 | 36,95             |                    |
| L 65 x 65 x 8 <sup>th</sup>               | 7,73                      | 65  | 8   | 9  | 9,85   | 1,89             | 4,60      | 2,67           | 2,31           | 0,252                 | 32,64             |                    |
| L 65 x 65 x 9*                            | 8,62                      | 65  | 9   | 9  | 11,0   | 1,93             | 4,60      | 2,73           | 2,32           | 0,252                 | 29,28             |                    |
| L 65 x 65 x 10*                           | 9,49                      | 65  | 10  | 9  | 12,1   | 1,97             | 4,60      | 2,78           | 2,34           | 0,252                 | 26,59             |                    |
| L 65 x 65 x 11*                           | 10,3                      | 65  | 11  | 9  | 13,2   | 2,00             | 4,60      | 2,83           | 2,35           | 0,252                 | 24,39             |                    |
| L 70 x 70 x 5                             | 5,37                      | 70  | 5   | 9  | 6,84   | 1,88             | 4,95      | 2,66           | 2,46           | 0,272                 | 50,73             |                    |
| L 70 x 70 x 6                             | 6,38                      | 70  | 6   | 9  | 8,13   | 1,93             | 4,95      | 2,73           | 2,46           | 0,272                 | 42,68             |                    |
| L 70 x 70 x 7                             | 7,38                      | 70  | 7   | 9  | 9,40   | 1,97             | 4,95      | 2,79           | 2,47           | 0,272                 | 36,91             |                    |
| L 70 x 70 x 8*                            | 8,37                      | 70  | 8   | 10 | 10,7   | 2,01             | 4,95      | 2,84           | 2,47           | 0,271                 | 32,41             |                    |
| L 70 x 70 x 9*                            | 9,32                      | 70  | 9   | 9  | 11,9   | 2,05             | 4,95      | 2,90           | 2,50           | 0,272                 | 29,20             |                    |
| L 70 x 70 x 10*                           | 10,3                      | 70  | 10  | 9  | 13,1   | 2,09             | 4,95      | 2,96           | 2,51           | 0,272                 | 26,50             |                    |
| L 75 x 75 x 4*                            | 4,85                      | 75  | 4   | 9  | 5,93   | 1,96             | 5,30      | 2,76           | 2,63           | 0,292                 | 62,82             |                    |
| L 75 x 75 x 5*                            | 5,76                      | 75  | 5   | 9  | 7,34   | 2,01             | 5,30      | 2,84           | 2,63           | 0,292                 | 50,75             |                    |
| L 75 x 75 x 6 <sup>th</sup>               | 6,85                      | 75  | 6   | 9  | 8,73   | 2,05             | 5,30      | 2,90           | 2,64           | 0,292                 | 42,66             |                    |
| L 75 x 75 x 7*                            | 7,93                      | 75  | 7   | 9  | 10,1   | 2,10             | 5,30      | 2,96           | 2,65           | 0,292                 | 36,88             |                    |
| L 75 x 75 x 8                             | 8,99                      | 75  | 8   | 9  | 11,4   | 2,14             | 5,30      | 3,02           | 2,66           | 0,292                 | 32,53             |                    |
| L 75 x 75 x 9*                            | 10,0                      | 75  | 9   | 9  | 12,8   | 2,18             | 5,30      | 3,08           | 2,67           | 0,292                 | 29,14             |                    |
| L 75 x 75 x 10*                           | 11,1                      | 75  | 10  | 9  | 14,1   | 2,22             | 5,30      | 3,13           | 2,69           | 0,292                 | 26,43             |                    |

# ANNEXES

| Désignation<br>Designation<br>Bezeichnung | Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte*     |  |   |                                  |  |                                  |  |                                 |  | Classification<br>EN 1993-1-1:2005           |      |      | EN 10025-2:2004 | EN 10025-4:2004 | EN 10225:2009 |
|---|---|--|---|----------------------------------|--|----------------------------------|--|---------------------------------|--|--|------|------|-----------------|-----------------|---------------|
|   | axe y-y / axe z-z<br>axis y-y / axis z-z<br>Achse y-y / Achse z-z |  |   | axe u-u<br>axis u-u<br>Achse u-u |  | axe v-v<br>axis v-v<br>Achse v-v |  |                                 |  | Part<br>compression                          |      |      |                 |                 |               |
|   | G<br>kg/m   | $I_y$<br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | $W_{pl,y}$<br>mm <sup>3</sup><br>x10 <sup>3</sup> | $I_z$<br>mm <sup>4</sup><br>x10  | $I_u$<br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | $I_v$<br>mm <sup>4</sup><br>x10  | $I_y$<br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | $I_z$<br>mm <sup>4</sup><br>x10 | $I_u$<br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | $I_v$<br>mm <sup>4</sup><br>x10 <sup>4</sup> | S235 | S355 |                 |                 |               |
| L 60 x 60 x 7                             | 6,26  | 26,05  | 6,10  | 1,81                             | 41,34  | 2,28                             | 10,76  | 1,16                            | -15,23                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 60 x 60 x 8                             | 7,09  | 29,15  | 6,89  | 1,80                             | 46,19  | 2,26                             | 12,11  | 1,16                            | -17,04                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 60 x 60 x 10                            | 8,69  | 34,93  | 8,41  | 1,78                             | 55,10  | 2,23                             | 14,76  | 1,15                            | -20,17                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 63 x 63 x 5                             | 4,82  | 22,42  | 4,88  | 1,91                             | 35,61  | 2,41                             | 9,24   | 1,23                            | -13,18                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 63 x 63 x 6                             | 5,72  | 26,44  | 5,82  | 1,90                             | 41,99  | 2,40                             | 10,89  | 1,22                            | -15,55                                       | 1  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 63 x 63 x 6,5                           | 6,17  | 28,37  | 6,27  | 1,90                             | 45,06  | 2,40                             | 11,69  | 1,22                            | -16,68                                       | 1  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 4                             | 4,02  | 20,09  | 4,19  | 1,98                             | 31,86  | 2,49                             | 8,32   | 1,27                            | -11,77                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 5                             | 4,97  | 24,74  | 5,22  | 1,98                             | 39,29  | 2,49                             | 10,19  | 1,27                            | -14,55                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 6                             | 5,91  | 29,19  | 6,21  | 1,97                             | 46,36  | 2,48                             | 12,01  | 1,26                            | -17,17                                       | 1  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 7                             | 6,83  | 33,43  | 7,18  | 1,96                             | 53,08  | 2,47                             | 13,78  | 1,26                            | -19,65                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 8                             | 7,73  | 37,49  | 8,13  | 1,95                             | 59,46  | 2,46                             | 15,52  | 1,26                            | -21,97                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 9                             | 8,62  | 41,37  | 9,05  | 1,94                             | 65,52  | 2,44                             | 17,22  | 1,25                            | -24,15                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 10                            | 9,49  | 45,08  | 9,94  | 1,93                             | 71,26  | 2,43                             | 18,91  | 1,25                            | -26,17                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 65 x 65 x 11                            | 10,3  | 48,64  | 10,82   | 1,92                             | 76,89  | 2,41                             | 20,58  | 1,25                            | -28,08                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 70 x 70 x 5                             | 5,37  | 31,24  | 6,10  | 2,14                             | 49,61  | 2,69                             | 12,86  | 1,37                            | -18,37                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 70 x 70 x 6                             | 6,38  | 36,88  | 7,27  | 2,13                             | 58,60  | 2,69                             | 15,16  | 1,37                            | -21,72                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 70 x 70 x 7                             | 7,38  | 42,30  | 8,41  | 2,12                             | 67,19  | 2,67                             | 17,41  | 1,36                            | -24,89                                       | 1  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 70 x 70 x 8                             | 8,37  | 47,27  | 9,46  | 2,10                             | 75,01  | 2,65                             | 19,52  | 1,35                            | -27,75                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 70 x 70 x 9                             | 9,32  | 52,47  | 10,60   | 2,10                             | 83,18  | 2,65                             | 21,76  | 1,35                            | -30,71                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 70 x 70 x 10                            | 10,3  | 57,24  | 11,66   | 2,09                             | 90,60  | 2,63                             | 23,88  | 1,35                            | -33,36                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 75x75x4                                 | 4,65  | 31,43  | 5,67  | 2,30                             | 49,85  | 2,90                             | 13,01  | 1,48                            | -18,42                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 75x75x5                                 | 5,76  | 38,77  | 7,06  | 2,30                             | 61,59  | 2,90                             | 15,96  | 1,47                            | -22,82                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 75 x 75 x 6                             | 6,85  | 45,83  | 8,41  | 2,29                             | 72,84  | 2,89                             | 18,82  | 1,47                            | -27,01                                       | 4  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 75 x 75 x 7                             | 7,93  | 52,61  | 9,74  | 2,28                             | 83,60  | 2,88                             | 21,62  | 1,46                            | -30,99                                       | 1  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 75 x 75 x 8                             | 8,99  | 59,13  | 11,03   | 2,27                             | 93,91  | 2,86                             | 24,35  | 1,46                            | -34,78                                       | 1  | 4    | ✓    |                 |                 |               |
| L 75 x 75 x 9                             | 10,0  | 65,40  | 12,29   | 2,26                             | 103,8  | 2,85                             | 27,03  | 1,45                            | -38,36                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |
| L 75 x 75 x 10                            | 11,1  | 71,43  | 13,52   | 2,25                             | 113,2  | 2,83                             | 29,68  | 1,45                            | -41,75                                       | 1  | 1    | ✓    |                 |                 |               |

ANNEXE5



A Member of the GANTREY GROUP

**Crane Rails**

**Standard European Profiles  
A-Rail (A45-A150)\***

The DIN "A" type rails (standard European profile) are rolled based on the DIN 5361891 Specification.

The "A" rails, with their wide base, low center of gravity and wide web, are ideal for high load situations.

They are available in several sizes from A45 to A150, where the numbers represent the width of the head in mm. In the past these rails were offered in two types of steel: 100 and 900.

Recently, due to a progressive increase of the vertical loads of cranes on some special projects, the requirements for a rail with a greater hardening surface was required. These rails are rolled in 1100 steel whose chemical composition and mechanical properties are not governed

**Chemical Composition (%)**

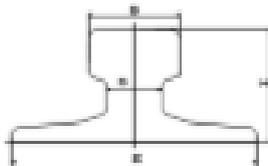
| Type of Rail     | C           | Pb (ppm)    | S (ppm) | P (ppm) | N (ppm) |
|------------------|-------------|-------------|---------|---------|---------|
| 100 or 900 rails | 0.40 - 0.50 | 0.00 - 0.01 | 0.10    | 0.005   | 0.005   |
| 1100 rails       | 0.40 - 0.50 | 0.00 - 0.01 | 0.05    | 0.005   | 0.005   |

**Mechanical Properties**

| Type of Rail | Tensile Strength (MPa) | Yield Strength (MPa) |
|--------------|------------------------|----------------------|
| 100          | σ = 470                | σ = 235              |
| 90, 90       | σ = 470                | σ = 235              |
| 1100         | σ = 570                | σ = 315              |

**Technical Data**

by the DIN 5361891 Specification.



| Profile | Area of flange (cm <sup>2</sup> ) | Flange Height (mm) | Web Thickness (mm) | Web Height (mm) |
|---------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| A45     | 29.2                              | 60.0               | 41.0               | 27.0            |
| A55     | 40.9                              | 70.0               | 50.0               | 35.0            |
| A65     | 54.8                              | 75.0               | 55.4               | 41.3            |
| A75     | 71.0                              | 90.0               | 65.0               | 50.0            |
| A100    | 94.7                              | 100.0              | 70.4               | 65.0            |
| A120    | 127.4                             | 120.0              | 78.1               | 75.0            |
| A150    | 191.4                             | 150.0              | 91.5               | 95.7            |

| Profile | Weight |       | Area (cm <sup>2</sup> ) |     | Height (mm) |     | Thickness (mm) |     | Web Height (mm) |    |
|---------|--------|-------|-------------------------|-----|-------------|-----|----------------|-----|-----------------|----|
|         | kg/m   | lb/ft | cm                      | in  | inches      | mm  | inches         | mm  | inches          | mm |
| A45     | 41.80  | 22.1  | 4.92                    | 126 | 2.17        | 66  | 1.71           | 48  | 8.96            | 24 |
| A55     | 54.11  | 29.5  | 6.21                    | 155 | 2.96        | 85  | 2.17           | 55  | 11.22           | 31 |
| A65     | 66.66  | 36.1  | 8.66                    | 215 | 2.95        | 75  | 2.98           | 68  | 11.56           | 36 |
| A75     | 110.09 | 60.2  | 7.87                    | 260 | 3.88        | 85  | 2.88           | 70  | 11.77           | 45 |
| A100    | 148.75 | 74.5  | 7.87                    | 260 | 3.74        | 85  | 3.84           | 100 | 2.98            | 66 |
| A120    | 201.59 | 106.2 | 8.98                    | 220 | 4.12        | 100 | 4.72           | 120 | 2.69            | 72 |
| A150    | 300.99 | 156.2 | 8.98                    | 220 | 5.81        | 150 | 5.81           | 150 | 3.15            | 80 |

\* Consult Gantrex for clips and joint selection



**TOLL FREE: 800 2 GANTREX (800) 242-6873**

Web site: [www.gantrex.com](http://www.gantrex.com) - Email: [sales@gantrex.com](mailto:sales@gantrex.com)

© GANTREX, 2008  
PRINTED in U.S.A.

Rev. 10/11