

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : STRUCTURES

Présenté par : ZORGUI Ibtissam

**Thème : Choix Technico-Commercial d'une solution de
toiture**

Sous la direction de : Pr. NAFA Zahreddine

Jun 2024

- Remerciements -

Je remercie profondément ALLAH, le Très Haut, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la vie, la santé, la sérénité et les capacités nécessaires pour mener à bien ce mémoire de fin d'études de master deux, option structures. Les travaux ont été réalisés sous la direction de professeur **Pr NAFA Zahreddine**, à qui j'adresse mes profonds et sincères remerciements pour son aide. Nos remerciements vont également aux membres de jury qui nous font l'honneur d'examiner mon travail.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué de manière significative à la réussite de mon parcours. Leur confiance, leur patience et leur amitié ont été des facteurs clés qui m'ont permis de tirer un plein bénéfice de cette expérience. Je souhaite également excuser ceux que je pourrais avoir oubliés de mentionner explicitement dans ce texte, tout en réaffirmant ma profonde reconnaissance envers eux.

Enfin, je remercie chaleureusement tous les employés de l'Agence Du CTC Guelma, ainsi que mon immense reconnaissance envers Monsieur le Maitre de stage **MENTRI Lachraf** pour son soutien constant, ses encouragements et sa confiance tout au long de mon stage. Ses précieux conseils et son suivi attentif ont grandement contribué à mon développement professionnel. Je lui suis reconnaissant pour son engagement et sa disponibilité qui ont rendu cette expérience enrichissante et formatrice.

-Dédicases-

À mon cher père, qui a été ma source inépuisable de force et d'encouragement. Même en son absence, son soutien résonne en moi à chaque pas que je fais. Ce travail est dédié à sa mémoire, en reconnaissance de tout ce qu'il a fait pour moi. Son amour et son inspiration continuent de guider chacune de mes réalisations. Merci, Papa.

À ma tendre mère, qui a été la lumière qui a éclairé chaque pas de mon chemin. Ton amour infini, ta sagesse et ta bienveillance ont été mes plus grands trésors. Cette réussite est dédiée à toi, car c'est grâce à toi que je suis devenue la personne que je suis aujourd'hui. Merci pour tout ce que tu as sacrifié et donné pour moi. Je t'aime, Maman.

À ma chère sœur, mon âme sœur, qui a été mon roc et ma meilleure amie à travers toutes les tempêtes de la vie. Ta présence constante et ton amour inconditionnel ont été mes plus grands soutiens. Cette réalisation est dédiée à toi, car tu as été ma force et mon inspiration à chaque étape du chemin. Merci d'être ma sœur, mon confident et mon éternelle complice.

À ma chère cousine Amira, qui a toujours été là pour moi, même à travers les distances. Ton soutien indéfectible a été une lumière dans mes moments les plus sombres et une source de joie dans mes triomphes. Cette réussite est aussi la tienne, car tu as été une part précieuse de mon parcours. Merci pour ton amour et ton soutien constants.

À mes précieuses amies, qui ont toujours été à mes côtés dans mes moments de faiblesse. Votre présence, votre soutien et vos encouragements ont été des piliers sur lesquels je me suis appuyée tout au long de ce parcours. Cette réussite est aussi la vôtre, car vous avez partagé chaque victoire et chaque défi avec moi. Merci d'être les merveilleuses amies que vous êtes.

Pour tous ceux qui ont fait partie de ma vie, qui ont contribué à façonner mon parcours et ont laissé une empreinte indélébile dans mon cœur, je souhaite exprimer ma plus profonde gratitude.

-Merci-

Résumé

Ce projet vise à étudier une structure métallique sportive selon le règlement algérien. La structure a été étudiée en plusieurs étapes : l'analyse des effets de la neige et du vent (RNV2013), le dimensionnement des éléments secondaires et principaux, l'étude dynamique (RPA99), et l'étude des assemblages (CCM97). En parallèle, ce projet de fin d'études porte sur le choix technico-commercial de la toiture d'une salle de sport en comparant deux types de charpentes. Cette étude a permis de mieux comprendre les aspects techniques et économiques des charpentes métalliques, facilitant ainsi le choix de la solution optimale pour le projet.

Mots clés : Structure métallique - Salle de sport - Règlement algérien - Neige - Vent - RNV2013 - Dimensionnement - Éléments secondaires - Éléments principaux - Étude dynamique - RPA99 - Étude des assemblages - CCM97 - Choix technico-commercial - Toiture - Charpentes - Aspects techniques - Aspects économiques - Solution optimale

Abstract

This project aims to study a metal structure for a gym according to Algerian regulations. The structure was studied in several stages: snow and wind effects analysis (RNV2013), secondary and main element sizing, dynamic study (RPA99), and assembly study (CCM97). In parallel, this final project focuses on the technical-commercial choice of the roof of a gym by comparing two types of frameworks. This study made it possible to better understand the technical and economic aspects of metal structures, thus facilitating the choice of the optimal solution for the project.

Keywords: Steel structure - Sports hall - Algerian regulation – Snow – Wind - RNV2013 – Sizing - Secondary elements - Main elements - Dynamic study - RPA99 - Assembly study - CCM97 - Technical-commercial choice - Roof – Framework - Technical aspects - Economic aspects - Optimal solution

ملخص

يهدف هذا المشروع إلى دراسة الهيكل المعدني لصالة الألعاب الرياضية وفقاً للأنظمة الجزائرية. تمت دراسة الهيكل على ، وحجم العناصر الثانوية والرئيسية، والدراسة الديناميكية (RNV2013) عدة مراحل: تحليل تأثيرات الثلوج والرياح بالتوازي مع ذلك، يركز هذا المشروع النهائي على الاختيار التقني والتجاري . (CCM97) ، ودراسة التجميع (RPA99) لسقف صالة الألعاب الرياضية من خلال مقارنة نوعين من الأطر. وأتاحت هذه الدراسة تحسين فهم الجوانب التقنية والاقتصادية للهياكل المعدنية، مما يسر اختيار الحل الأمثل للمشروع.

الكلمات الرئيسية: هيكل الفولاذ - قاعة الرياضة - التنظيم الجزائري - الثلج - الرياح - التحجيم - العناصر الثانوية - العناصر الرئيسية - الدراسة الديناميكية - دراسة التجميع - الاختيار التقني التجاري - السقف - الإطار - الجوانب التقنية - الجوانب الاقتصادية - الحل الأمثل

Table des matières

Résumé

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Introduction Générale..... 1

Chapitre I : Etude bibliographique

I.Introduction..... 4

II.Types de toiture : 4

II.1. Toiture en béton : 4

II.1.1 Les avantages : 4

II.1.2 Les inconvénients : 5

II.2. Toiture en bois : 7

II.2.1 Avantages des toits en Bois: 7

II.2.2. Inconvénients des Toits en Bois : 8

II.3. Toiture en métal : 9

II.3.1 Points forts de la charpente métallique : 10

II.3.2 Points faibles de la charpente métallique : 11

III.Les différents types des matériaux utilisés pour les couvertures des toits : 12

IV.Les différentes formes des toitures : 15

V.Les différents types des logiciels : 27

V.1. Tekla structures : 27

V.2. Autodesk Robot Structural Analysis : 28

V.3. Dlubal TIMBER : 29

V.4. SAP2000 : 29

V.5. ETABS : 30

V.6. SCIA Engineer : 31

V.7. Revit : 31

V.8. Advance Steel :.....	31
V.9. AutoCAD :	31
VI.Conclusion :	32

Chapitre II : Présentation du projet

I. Introduction :.....	34
II. Réalisation de la modélisation :.....	34
III. Approche adoptée :.....	34
IV. Présentation de l'ouvrage.....	35

Chapitre III : Etude Climatique

I. Introduction :.....	38
II. Calcul de l'action de vent et neige :	38
II.1. Les coefficients de calcul	38
II.2. Décomposition des surfaces de la toiture selon Robot Structural Analysis :.....	40
II.3. Note de calculs :	42
II.3.1. RESULTATS VENT	42
II.3.2. DONNEES NEIGE.....	58
II.3.3. RESULTATS NEIGE.....	58
III. Résumé des Calculs des Actions du Vent et de la Neige	59
III.1. Explications des Résultats des Études de Neige et de Vent :.....	60
IV. Conclusion :	61

Chapitre IV : Etude sismique

I.Introduction.....	63
II.Méthodologie.....	63
II.1. Méthodes de calcul :	63
II.2. Méthode dynamique modale spectrale :	64
II.3. Principe de la méthode :	64
III.Résultats du calcul :.....	64

III.1. Pourcentage de la participation de masse :.....	64
III.2. Observation :	66
III.3. Les réponses modales de la structure	66
IV.Note de calculs :.....	69
V.Résultats de l'Étude Sismique	93
VI.Conclusion	94

Chapitre V :Dimensionnements des éléments de la toiture

I.Introduction :.....	96
II.Guide de Dimensionnement avec ROBOT :	96
II.1. Les vérifications à faire sont :.....	97
III.Efforts max sollicitant les éléments structuraux de la toiture:	98
III.1. Ferme en Treillis 3D :	98
III.1.1. Notes de calcul puisées de logiciel ROBOT des différents éléments de la toiture : ..	101
III.2. Portique autostable 3D :	115
III.2.1. Notes de calcul puisées de logiciel ROBOT des différents éléments de la toiture : ..	117
IV.Conclusion	120

Chapitre VI : Calcul des assemblages

I.Introduction :.....	122
II.Assemblage des éléments:	122
II.1. TREILLIS 3D	122
II.2. PORTIQUE 3D.....	146
II.2.1. Notes de calcul puisées de logiciel ROBOT des différents éléments de la toiture pour les assemblages :	146
III.Conclusion.....	165

Chapitre VII : Étude comparative

I.Introduction :.....	167
II.Ferme en treillis 3D :.....	167

II.1. Calcul du poids réel de la ferme :	168
III.Portique 3D :	170
IV.Conclusion	171
Conclusion Générale	174
Référence bibliographie	176
Annexe	181

Liste des Figures

Figure 1: Réalisation d'une maison avec toiture en béton	6
Figure 2: Tuiles en béton	6
Figure 3: Stockwell Bus Garage, dans le sud de Londres	6
Figure 4: Ferme avec charpente en bois industriel.....	7
Figure 5: Charpente en bois	7
Figure 6: Structure en charpente fermette en bois	8
Figure 7: entrepôt en charpente métallique (acier)	9
Figure 8: Toit avec fermettes en charpente métallique	9
Figure 9: Toiture en charpente métallique- la nouvelle piscine semi olympique - Guelma- ..	10
Figure 10: Toiture en charpente métallique- la nouvelle piscine semi olympique - Guelma-	11
Figure 11: Toit en tuiles	12
Figure 12: Toit en ardoises	12
Figure 13: Toit avec des bardeaux en bois	13
Figure 14: Toiture végétalisée	13
Figure 15: Toiture en brande de bruyère	13
Figure 16: Toit en zinc	14
Figure 17: Toiture en cuivre	14
Figure 18: Verrière de toit en aluminium.....	14
Figure 19: Charpente métallique d'un hangar	14
Figure 20: Toit en chaume	14
Figure 21: Toit en pierre lauze	15
Figure 22: Tôle ondulée	15
Figure 23: Maison avec toit à deux pans	16
Figure 24: Toit à deux pans	16
Figure 25: Toit à deux pans	16
Figure 26: Toit plat	17
Figure 27: Toit plat	17
Figure 28: Hangar solaire monopente	18
Figure 29: Toiture à quatre pans	19
Figure 30: Toiture en pavillon	19
Figure 31: Carport à demi-croupe	20
Figure 32: Toit mansarde (Hôtel de la Motte-Sanguin, Orléans, France)	21

Figure 33: Types de mansardes	21
Figure 34: Des constructions avec toit à trois pans	22
Figure 35: Salle de sport avec un toit à double courbure	23
Figure 36: Toit terrasse	24
Figure 37: Toiture en papillon	25
Figure 38: Le coyau de charpente	25
Figure 39: Toit à dôme en aluminium	26
Figure 40: Toit à dôme en aluminium	27
Figure 41 : Partie coupole (détails)	27
Figure 42: Trimble présente les solutions logicielles BIM Tekla 2018	28
Figure 43: Flux de travail structurel et analytique utilisant l'analyse structurelle de robot....	28
Figure 44: Projet conçu avec le logiciel de calcul de structure Dlubal	29
Figure 45 : Conception d'un bâtiment avec SPA2000	30
Figure 46: Modélisation structurelle avancée dans ETABS Ultimate	30
Figure 47 : vue en plan de la piscine.....	35
Figure 48 : Plan de la toiture.....	36
Figure 49 : plan de coupe AA et coupe BB.....	36
Figure 50 : Direction de vent sur la toiture.....	39
Figure 51: Ferme principale d'extrémité.....	40
Figure 52 : Ferme principale d'extrémité.....	40
Figure 53: Ferme principale intermédiaire.....	40
Figure 54: Ferme de contreventement (de stabilité).....	41
Figure 55: Ferme intermédiaire.....	41
Figure 56 : Vue de la toiture.....	41
Figure 1 : capture par ROBOT de la partie toiture en treillis.....	98
Figure 2: terminologie des éléments constitutifs de la ferme en treillis.....	98
Figure 3 : terminologie des éléments constitutifs de la toiture en portique.....	115

Liste des Tableaux

Tableau 1: Pourcentage de participation de masse.	64
Tableau 2: Pourcentage de participation de masse.	65
Tableau 3 : Efforts max sollicitant les membrures inférieures :	99
Tableau 4 : Efforts max sollicitant les membrures supérieures :	99
Tableau 5: Efforts max sollicitant les montants :	99
Tableau 6: Efforts max sollicitant les montants F.Ch.Interm (ferme chinage intermédiaire) :	100
Tableau 7: Efforts max sollicitant les contreventements :	100
Tableau 8: Efforts max sollicitant les diagonales :	100
Tableau 9: Efforts max sollicitant les Pannes:	100
Tableau 10 : Sections choisies pour Les éléments de la ferme en treillis et les contreventements.....	115
Tableau 11 : Efforts max sollicitant les Arbalitriers (traverses)	116
Tableau 12: Efforts max sollicitant les Montants	116
Tableau 13 : Efforts max sollicitant les pannes sablières	116
Tableau 14 : Sections choisies pour Les éléments du portique 3D en traverses et pannes...	119
Tableau 15 : Sections choisies pour Les éléments de la ferme et les contreventements	167
Tableau 16 : Sections choisies pour Les éléments du portique 3D.....	170

Introduction Générale

Introduction Générale

La conception et la réalisation des toitures pour des structures complexes, telles que les salles de sport, représentent un défi majeur dans le domaine de l'ingénierie et de la construction. L'importance de ces structures réside non seulement dans leur fonction principale d'abriter des activités sportives, mais aussi dans leur capacité à offrir des conditions optimales de sécurité, de durabilité et de confort. Le choix d'une solution technico-commerciale adéquate pour la toiture de ces structures est donc primordial pour garantir leur pérennité et leur performance.

Le génie civil joue un rôle essentiel dans la création des infrastructures nécessaires au développement de nos sociétés modernes. Il englobe la conception, la construction et l'entretien de structures telles que les bâtiments, les ponts et les routes. Ces infrastructures sont cruciales pour le bon fonctionnement de notre quotidien et pour le développement économique. Le but des études en génie civil est de concevoir des structures capables de résister aux multiples phénomènes naturels, tels que les tremblements de terre et les vents extrêmes.

Dans ce contexte, l'usage de l'acier dans la charpente métallique présente des avantages significatifs. La fiabilité, la rapidité d'exécution, la grande résistance de l'acier, sa tenue aux séismes grâce à sa ductilité, et les possibilités architecturales beaucoup plus étendues par rapport au béton en font un choix privilégié. De plus, le poids d'une construction métallique est faible comparé à d'autres alternatives, ce qui implique des fondations moins importantes et contribue à la réduction des coûts, notamment par une utilisation plus efficace des sites.

Cependant, malgré ces avantages, les constructions métalliques possèdent également des inconvénients notables. La susceptibilité aux phénomènes d'instabilité élastique, due à la minceur des profils, la mauvaise tenue au feu, et la nécessité d'un entretien régulier des revêtements protecteurs contre la corrosion pour assurer la pérennité de l'ouvrage sont des aspects à considérer. Le calcul d'une structure métallique exige que, sous toutes combinaisons d'actions possibles, définies par les règlements (CM66, ADDITIF 80 ou fascicule 62 titre V, EUROCOD 03), la stabilité élastique soit assurée, soit dans son ensemble, soit au niveau local de chaque élément constituant la structure (poteaux, poutres, fermes, etc.).

Le présent mémoire s'inscrit dans cette optique en proposant une analyse comparative de différentes solutions de toitures pour une salle de sport en charpente métallique. L'objectif

principal de cette étude est d'évaluer et de sélectionner la solution la plus appropriée, tant du point de vue technique que commercial, pour répondre aux exigences spécifiques d'une telle construction. Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, nous proposons de faire une étude technique complète de dimensionnement et de vérification d'une salle de sport avec ossature en béton armé et la toiture en charpente métallique, en respectant les réglementations et recommandations en vigueur (RPA99/2003, BAEL et CBA93, CCM97, RNVA 2013).

Pour ce faire, deux projets ont été retenus pour une analyse approfondie. Le premier projet concerne une piscine comprenant deux blocs distincts : un bloc administratif avec une toiture en béton et un bloc bassin doté d'une toiture en charpente métallique. Le second projet est un portique simple en charpente métallique, rappelant la configuration d'un hangar. Ces deux configurations serviront de base pour une comparaison détaillée et permettront de mettre en lumière les avantages et les inconvénients de chaque solution.

Ce mémoire est structuré en plusieurs chapitres. Le premier chapitre est dédié à une recherche bibliographique sur les différents types de toitures et de couvertures, ainsi qu'aux logiciels spécialisés dans la modélisation des toitures en charpente métallique. Le deuxième chapitre présente en détail les projets étudiés. Les chapitres suivants abordent les calculs techniques nécessaires, notamment les actions climatiques et sismiques, ainsi que la modélisation des structures. Enfin, les derniers chapitres sont consacrés à l'analyse des coûts, permettant ainsi de déterminer la solution la plus viable économiquement.

En conclusion, ce mémoire vise à fournir une réponse éclairée et rationnelle au choix de la solution de toiture la plus adaptée pour une salle de sport en charpente métallique, en prenant en compte les contraintes techniques, économiques et environnementales.

Chapitre I

Etude bibliographique

I. Introduction

Une toiture est la structure qui couvre la partie supérieure d'un bâtiment et qui sert principalement à protéger l'intérieur contre les intempéries et l'humidité [1]. Elle est généralement constituée d'une charpente (bois, acier, béton armé...etc.) qui supporte une couverture, dont les principales propriétés recherchées sont l'étanchéité et la résistance mécanique [1]. Les matériaux les plus couramment utilisés pour la couverture sont la tuile, l'ardoise, le zinc et le chaume [2].

Les formes de toit sont très diverses et dépendent de la façon de construire et de l'architecture, allant de la toiture en pente traditionnelle à la toiture-terrasse moderne [1] [3]. Les toitures peuvent également avoir des fonctions supplémentaires, telles que la production d'énergie solaire ou la ventilation naturelle [4].

Depuis les années 1980, la toiture en pentes est de nouveau utilisée en architecture et tend à se confondre avec la façade [4].

Les logiciels jouent un rôle essentiel dans le processus de conception et de réalisation de charpentes, en fournissant des outils pour la modélisation 3D, l'analyse structurelle, la simulation de vent et de pluie, et l'optimisation de la conception. Ces outils permettent aux ingénieurs et aux architectes de concevoir des structures plus résistantes, durables et esthétiquement agréables. Les logiciels de conception assistée par ordinateur (CAO) et les logiciels de simulation structurale sont particulièrement importants dans ce contexte, offrant des solutions pour la conception de charpentes métalliques, en bois ou en béton.

II. Types de toiture :

Il existe différents types de toitures en béton armé, en bois et en acier, chacun ayant ses avantages et inconvénients.

II.1. Toiture en béton :

Le béton s'invite depuis longtemps sur les toits, sous deux formes principales en tant que dalle pour toit terrasse ou sous forme de tuiles béton [5].

La toiture en béton présente plusieurs avantages et inconvénients tels que :

II.1.1 Les avantages :

- **Robustesse et solidité** : La toiture en béton est très robuste et solide, offrant une protection durable contre les intempéries [5].
- **Résistance aux intempéries** : Elle est résistante au gel et aux autres conditions météorologiques extrêmes [6].

- **Étanchéité** : La toiture en béton est imperméable, assurant une protection efficace contre les infiltrations d'eau [5].
- **Variété de couleurs et de finitions** : Elle offre une large gamme de couleurs et de finitions pour s'adapter à différents styles architecturaux [5].
- **Résistance à la compression** : Le béton possède une haute résistance à la compression, assurant une grande durabilité [5].
- **Isolation thermique et acoustique** : Elle offre de bonnes performances isolantes thermiques et acoustiques, améliorant le confort intérieur [5].
- **Résistance au feu** : Elle présente une excellente résistance au feu, contribuant à la sécurité de la structure [5].
- **Recyclabilité** : Le béton est recyclable à la fin de sa vie, ce qui en fait un choix écologique [5].
- **Praticité et coût abordable** : Elle est pratique à mettre en œuvre et offre un coût abordable par rapport à d'autres matériaux de toiture [5].

II.1.2 Les inconvénients :

- **Poids** : Son poids important nécessite une structure porteuse robuste, ce qui peut augmenter les coûts de construction [5].
- **Croissance de mousses et de champignons** : Le béton peut favoriser la croissance de mousses et de champignons s'il n'est pas correctement traité, nécessitant un entretien régulier [5].
- **Décoloration** : Les tuiles en béton peuvent se décolorer avec le temps si elles ne sont pas traitées de manière appropriée, affectant l'esthétique de la toiture [5].
- **Expertise nécessaire en rénovation** : En rénovation, l'utilisation du béton nécessite une expertise spécifique, en particulier pour les toitures-terrasses, et des problèmes d'étanchéité peuvent survenir si les techniques de pose ne sont pas correctement appliquées [5].
- Sa technique de pose, complexe et assez longue [8].



Figure 4: Réalisation d'une maison avec toiture en béton [8]



Figure 5: Tuiles en béton [7]

La construction en béton se fait de plus en plus courante dans les toits de nos maisons, en particulier ceux qui sont plats ou ont des pentes faibles. Il existe plusieurs variantes de béton utilisées dans la charpente [8] :

- **Béton armé** : Renforcé avec des armatures métalliques [8].
- **Béton non armé** : Composé uniquement de sable, de gravier, de ciment et d'eau, avec une proportion précise de chaque matériau [8].
- **Béton précontraint** : Soumis à une compression lors de sa fabrication, avant de durcir, lui permettant de résister à la traction et à la flexion [8].
- **Béton allégé** : Contient des billes de polystyrène qui remplacent partiellement les agrégats, réduisant son poids [8].



Figure 6: Stockwell Bus Garage, dans le sud de Londres [9]

La pose d'une toiture en béton varie selon le type de toiture : pour les toits en pente, on utilise des tuiles béton, tandis que pour les toitures plates, on coule directement une chape de béton sur le support [7].

Enfin, le béton atteindra sa solidité optimale après 28 jours de séchage, alors que le bois ou l'acier le font dès leur mise en œuvre, ce qui prolongera les délais pour l'installation du revêtement de couverture (tuiles, ardoises, bois...) [8].

II.2. Toiture en bois :

La toiture en bois est un choix de plus en plus populaire pour les maisons, offrant à la fois un aspect esthétique naturel et des caractéristiques fonctionnelles uniques. Les toits en bois sont généralement recouverts de tuiles en bois ou de bardeaux, offrant une protection efficace contre les éléments extérieurs. Ce matériau connaît un renouveau, en particulier avec l'émergence des maisons écologiques, grâce à ses propriétés d'imperméabilité, d'isolation acoustique et thermique de qualité, ainsi que sa résistance aux éléments tels que le vent, le gel, les chocs, le feu et les termites [9] [10].

Il y a de ça quelques années, le bois a connu une certaine dépréciation par rapport aux évolutions techniques des autres matériaux de toiture qui ne cessent de s'améliorer. Néanmoins, le bois a réussi à retrouver un niveau de qualité satisfaisant. Il présente donc de nombreux avantages, bien que quelques inconvénients mineurs existent [10].

II.2.1 Avantages des toits en Bois:



Figure 7: Ferme avec charpente en bois industriel [12]



Figure 8: Charpente en bois [13]

- **Esthétique Naturel :** Le bois confère un aspect chaleureux et naturel à la maison, ajoutant du caractère et attirant le regard [11].

- **Excellente isolation** : Les toits en bois fournissent une isolation thermique et acoustique de haute qualité, aidant à maintenir une température confortable à l'intérieur de la maison [11], et ont la capacité d'absorber et de restituer l'humidité ou la vapeur d'eau générée dans le toit [8].
- **Imperméabilité**: Le bois peut être traité pour être imperméable, assurant une protection efficace contre les intempéries [9].
- **Écologique** : c'est un matériau abondant, renouvelable et recyclable, le bois est un choix écologique [8].
- **Durable** : Selon l'essence et le traitement, la charpente en bois peut durer plusieurs décennies ou même des siècles [8].
- **Solide** : Résistant à de fortes charges, selon les sections utilisées [8].
- **Économique** : Facile et rapide à travailler ou à usiner [8].
- **Léger** : Une charpente en épicéa pèse environ 600 kg par mètre cube de bois, comparativement à environ 2 tonnes pour le béton [8].
- **Résistante au feu** : La structure en bois conserve sa résistance au feu, permettant une évacuation en cas d'incendie [8].



Figure 9: Structure en charpente fermette en bois [14]

II.2.2. Inconvénients des Toits en Bois :

- **Exigences d'étanchéité** : Les toits en bois nécessitent une attention particulière pour garantir une étanchéité optimale et éviter les infiltrations d'eau, assurant ainsi une durabilité maximale [9].
- **Entretien Nécessaire** : Le bois peut nécessiter un entretien régulier pour maintenir son apparence et ses performances au fil du temps [10].

- **Coût Initial** : Les toits en bois peuvent avoir un coût initial plus élevé que d'autres matériaux de toiture, mais cette différence peut être compensée par leur durabilité et les avantages à long terme qu'ils offrent [11].

En conclusion, le choix d'une toiture en bois est une option judicieuse pour les propriétaires désireux d'une charpente traditionnelle avec des poutres apparentes, offrant à la fois un style esthétique et une durabilité exceptionnelle.

II.3. Toiture en métal :

Comme son nom l'indique, la charpente métallique est composée d'acier galvanisé [15]. Elle est devenue un choix de plus en plus courant et polyvalent dans le secteur de la construction, grâce à sa solidité, sa résistance aux conditions météorologiques et sa facilité d'installation. Ce type de structure est particulièrement efficace pour une multitude d'applications, s'étendant des projets résidentiels aux structures commerciales et industrielles. L'acier, en tant que matériau de construction, possède des propriétés distinctives qui le rendent séduisant pour de nombreux projets architecturaux. Son utilisation dans les charpentes offre des avantages significatifs en termes de résistance, de durabilité et de capacité à s'adapter à différentes conceptions. La charpente en acier peut s'adapter à divers types de bâtiments, fournissant des solutions esthétiques et fonctionnelles pour répondre aux exigences spécifiques des propriétaires et des entrepreneurs [16].

Il est largement reconnu que la charpente métallique possède de nombreux avantages, notamment :



Figure 10: entrepôt en charpente métallique (acier) [17]



Figure 11: Toit avec fermettes en charpente métallique [18].

II.3.1 Points forts de la charpente métallique :

- **Sa légèreté et robustesse :** Les pièces métalliques sont plus légères que celles en bois, ne nécessitant pas de fondations importantes et facilitant le montage sur le chantier. De plus, une charpente métallique peut supporter des matériaux de couverture lourds avec une installation simplifiée [19].
- **Résistance accrue :** Les charpentes métalliques sont plus légères et peuvent supporter des charges plus élevées que les charpentes en bois [15].
- **Sa flexibilité :** Cette caractéristique permet de modifier la charpente métallique à tout moment de sa mise en œuvre et de concevoir des formes architecturales originales adaptables à divers types de travaux [19].
- **Entretien facile :** Contrairement au bois, l'acier ne demande aucun entretien particulier et n'exige pas de traitement [15].
- **Ses grandes portées :** Les pièces métalliques peuvent atteindre jusqu'à 40 m, une capacité supérieure à celle des pièces de bois, y compris le lamellé-collé [19].
- **Sa rapidité d'assemblage :** Les éléments métalliques s'assemblent rapidement par boulonnage [19].
- **Sa qualité écologique :** L'acier est recyclable, ce qui en fait un matériau écologique [19].
- **Son coût inférieur :** Le prix d'une charpente métallique peut être jusqu'à 10% inférieur à celui d'une charpente en bois, en fonction de sa complexité [19].
- **Son insensibilité aux insectes xylophages et aux champignons :** Une charpente métallique en acier n'est pas affectée par les champignons et les insectes comme les termites, qui préfèrent attaquer le bois. Cette option est particulièrement intéressante dans les régions où ces nuisibles sont présents [19].



Figure 12: Toiture en charpente métallique- la nouvelle piscine semi olympique - Guelma-



Figure 13: Toiture en charpente métallique- la nouvelle piscine semi olympique - Guelma-

Toute médaille a son revers. Bien que la charpente métallique offre de nombreux avantages, il est important de peser les avantages et les inconvénients avant de s'engager.

II .3.2 Points faibles de la charpente métallique :

- **Résistance au feu :** L'acier perd rapidement ses qualités structurelles lorsqu'il est exposé à de fortes chaleurs, ce qui peut entraîner une résistance réduite en cas d'incendie [19].
- **Isolation :** par rapport au bois, l'acier est moins isolant, ce qui nécessite une isolation supplémentaire pour assurer une isolation adéquate [19].
- **Sensibilité à la rouille :** l'acier peut être sujet à la rouille, ce qui nécessite un enduit pour prévenir l'oxydation [19].
- **Conception par un professionnel :** La conception d'une charpente métallique doit être confiée à un professionnel pour s'assurer de sa qualité avant sa fabrication en usine [19].

La toiture en métal est choisie pour sa longévité, sa résistance aux conditions météorologiques et sa facilité d'installation. Elle propose une solution fiable et esthétique pour les salles de sport et d'autres types de structures, satisfaisant ainsi les exigences des propriétaires et des experts en construction.

Le métal convient aussi bien pour la construction d'un bâtiment industriel que la rénovation d'une maison individuelle [8].

III. Les différents types des matériaux utilisés pour les couvertures des toits :

Les couvertures de toitures constituent l'un des éléments les plus visibles et fonctionnels de toute construction. Elles assurent la protection des bâtiments contre les intempéries tout en jouant un rôle esthétique crucial dans l'apparence globale de la structure. La diversité incroyable des matériaux et des styles de couverture offre aux architectes et aux propriétaires une multitude d'options pour personnaliser et optimiser leurs toitures, en fonction des exigences climatiques, esthétiques et fonctionnelles. Dans cette section, nous examinerons quelques-uns des types de couvertures les plus fréquemment employés, soulignant leurs caractéristiques, avantages et utilisations spécifiques.

Toit tuiles ou ardoises :

Les tuiles sont le matériau de couverture le plus couramment utilisé. Elles peuvent être romane, plate, canal, ou encore d'autres types spécifiques à certaines régions, et sont fabriquées à partir de terre cuite, béton, PVC ou ciment. Les ardoises, après les tuiles, sont particulièrement appréciées pour leur durabilité et leur excellente résistance thermique [20]



Figure 14: Toit en tuiles [21].



Figure 15: Toit en ardoises [22].

Toiture en bois : Les tuiles en bois imputrescibles sont choisies pour la couverture d'une toiture en raison de leur performance d'isolation thermique et acoustique [20].



Figure 16: Toit avec des bardeaux en bois [23].

Toiture végétalisée : Elle favorise l'isolation et la protection de l'environnement, et est particulièrement adaptée aux toits à pente inférieure [20].



Figure 17: Toiture végétalisée [24].

Brande de bruyère : matériau original et rustique pour les toitures, on l'utilise pour les dépendances, abris de jardin et garages [25].



Figure 18: Toiture en brande de bruyère [25].

Toit en métal : la couverture en toit peut aussi être en métal comme l'acier, le zinc, l'aluminium ou le cuivre ...etc.



Figure 19: Toit en zinc [26].



Figure 20: Toiture en cuivre [27].

Le métal est léger, résistant, facile d'entretien et avec une durée de vie supérieure à d'autres matériaux [20].



Figure 21: Verrière de toit en aluminium [28].



Figure 22: Charpente métallique d'un hangar [29].

Toiture en chaume : Le chaume, composé de paille de blé, de souches ou de tiges de roseau, fournit une protection dense et des performances thermiques intéressantes [25].



Figure 23: Toit en chaume [30].

Pierre lauze : Très résistante aux intempéries et esthétiquement attrayante [25].



Figure 24: Toit en pierre lauze [25].

Tôle ondulée : Adaptée à toutes les pentes de toiture, mais présente des capacités d'isolation limitées [25].



Figure 25: Tôle ondulée [31].

En conclusion chaque matériau possède des caractéristiques uniques en termes de durabilité, esthétique, isolation et coût, ce qui guide le choix en fonction des exigences du bâtiment et des préférences esthétiques.

IV. Les différentes formes des toitures :

Les toitures se distinguent par une multitude de formes qui satisfont conjointement les exigences architecturales, fonctionnelles, historiques et régionales. Chaque forme de toiture se distingue par des caractéristiques propres en termes d'esthétique, de fonctionnalité et d'adaptation aux différents contextes architecturaux. Parmi les types de toitures courant Parmi les types de toitures courants:

Toit à deux pans :

Les toits à deux pans, également appelés toits en bâtière, sont très appréciés pour leur capacité à s'intégrer dans divers styles architecturaux. Un toit à deux pans, comme son nom l'indique, est composé de deux pans formant un V inversé. L'angle d'inclinaison minimal est de 15 degrés. Ce type de toiture nécessite deux gouttières en zinc, situées à chaque extrémité des pans du toit [32].



Figure 26: Maison avec toit à deux pans [32].

Avantages d'un toit à deux pans :

Ce type de toiture possède une bonne résistance au vent et assure l'écoulement de la pluie. En optant pour un toit plus droit, vous aurez plus d'espace habitable sous le toit [32].



Figure 27: Toit à deux pans [33].



Figure 28: Toit à deux pans [33].

Possibilités de revêtement de toit :

Un toit à deux pans est souvent couvert de tuiles classiques, telles que la terre cuite, le béton ou l'ardoise (tuiles plates), avec des options entre l'ardoise naturelle et artificielle (fibrociment). Des tuiles en métal, comme l'aluminium ou l'acier, sont également disponibles, offrant une apparence similaire à celle de l'ardoise mais permettant une installation plus rapide [32].

Toit plat (le plus simple) :

Un toit plat est défini par un seul pan horizontal, avec un angle d'inclinaison très faible pour permettre un drainage correct de l'eau. Si l'angle dépasse 15 degrés, on parle plutôt d'un toit monopente [32].



Figure 29: Toit plat [33].

Avantages d'un toit plat :

Un toit plat présente une esthétique moderne et sophistiquée. Ce type de couverture est résistant au vent et facile à installer. De plus, il est simple d'ajouter des panneaux solaires ou un boiler solaire sur un toit plat [32].

Le toit plat offre de nombreux avantages, étant un choix populaire parmi les propriétaires commerciaux et industriels. Il a également connu une croissance significative en popularité auprès des constructeurs résidentiels ces dernières années [34].



Figure 30: Toit plat [32].

Possibilités de revêtement :

Un toit plat est généralement revêtu de bitume ou d'EPDM, des matériaux solides, flexibles et durables, qui ne nécessitent pas d'entretien et offrent un bon rapport qualité-prix. Le PVC est une autre option, disponible en différentes couleurs, souvent choisie en gris pour éviter la décoloration. Une autre variante est le toit végétalisé, avec de la pelouse [32].

Toit monopente :

Un toit monopente, ou toit en appentis, représente l'une des structures de toiture les plus élémentaires. Il se caractérise par une seule surface inclinée à un angle supérieur à 15 degrés. Le choix du revêtement (tuiles, ardoises ou plaques ondulées) sera déterminé par l'angle d'inclinaison [32].



Figure 31: Hangar solaire monopente [35].

Avantages :

La toiture monopente offre plusieurs avantages, notamment un coût de mise en œuvre réduit grâce à sa simplicité et à une structure porteuse moins complexe, ce qui se traduit par une économie de matériaux et une amélioration de l'isolation. Elle facilite l'écoulement des eaux pluviales et de la neige, simplifie l'aménagement des combles en libérant de l'espace, et apporte un esthétisme contemporain, étant désormais utilisée dans la construction neuve et la rénovation de toiture pour sa modernité et son design [8].

Toit a quatre pans :

Le toit à quatre pans, également appelé toit en croupe, est une variante du toit à deux pans. Il se caractérise par deux versants trapézoïdaux le long de sa longueur et deux versants triangulaires aux extrémités. Cette forme de toiture est couramment observée sur des bâtiments anciens et des fermes. Son design aérodynamique offre une protection efficace contre les vents violents, et la gouttière s'enroule autour de la structure [32].



Figure 32: Toiture à quatre pans [36].

Toit pavillon (ou pyramidal):

Le toit en pavillon, également appelé toit pyramidal, se caractérise par une forme de pyramide avec quatre pans de toit rampants qui se rejoignent en une pointe au niveau du faîtage [37] [38].

Cette forme de toit est largement répandue dans le bassin méditerranéen, mais est moins connue dans d'autres régions [37].

Les toits en pavillon présentent généralement une pente de 20 à 30%, mais peuvent aller jusqu'à 35 degrés pour permettre une utilisation de l'espace sous le toit [37].

Ils sont appréciés pour leur esthétique raffinée et symétrique [37] [38].

En résumé, le toit en pavillon est une variante de toit en croupe qui se caractérise par une forme pyramidale distinctive, offrant à la fois des avantages esthétiques et pratiques [37] [38] [39] [40].



Figure 33: Toiture en pavillon [37]

Toiture à demi-croupe :

La toiture à demi-croupe se caractérise par une forme pyramidale avec quatre pans de toit rampants qui se rejoignent en une pointe au niveau du faîtage, mais sans ligne de faîtage, contrairement au toit en croupe classique [41] [42].

Cette structure triangulaire couvre en partie le pignon de la maison, facilitant l'accès à la partie inférieure de la toiture et ajoutant de la lumière naturelle et de l'espace supplémentaire [42].

Il existe différentes variantes de toitures à demi-croupe, comme la toiture à demi-croupe normande, champenoise, débordante et alsacienne [42].

Les toitures à demi-croupe sont appréciées pour leur esthétique raffinée et leur adaptation aux régions de montagne et de bord de côte [41]. Cependant, leur conception complexe et leur coût élevé peuvent être des inconvénients [41] [42].



Figure 34: Carport à demi-croupe [43].

En résumé, la toiture à demi-croupe est une forme de toiture distinctive, offrant des avantages pratiques et esthétiques, tout en présentant certaines complexités de mise en œuvre [41] [42].

Toit Mansardé :

Le toit mansardé, également appelé toit en mansarde ou à la Mansart, du nom de l'architecte français François Mansart. C'est une structure de toit complexe qui provient initialement de l'époque baroque française [44] [45].

Cette forme de toit se caractérise par une base composée de formes de toit comme un toit en croupe, un toit à un versant ou un toit à deux versants, sur laquelle vient se greffer une partie supérieure avec une pente plus faible (le terrasson) et une partie inférieure avec une pente plus raide (le brisis) [44] [45].

Les principaux avantages du toit mansardé sont l'espace supplémentaire qu'il offre dans les combles, permettant d'aménager un étage supplémentaire, ainsi que son esthétique élégante et sophistiquée [44] [46].

Cependant, sa conception complexe et son coût de construction plus élevé peuvent être des inconvénients par rapport à des formes de toit plus simples [44] [47].

L'ardoise naturelle est le matériau parfait pour la mansarde, parce qu'il s'adapte parfaitement aux deux angles simplement en changeant la technique de pose de l'ardoise. La couleur obscure de l'ardoise apporte un caractère sobre et majestueux, et grâce à ses deux pentes permet d'évacuer l'eau de la pluie facilement [48].



Figure 35: Toit mansarde (Hôtel de la Motte-Sanguin, Orléans, France) [38].

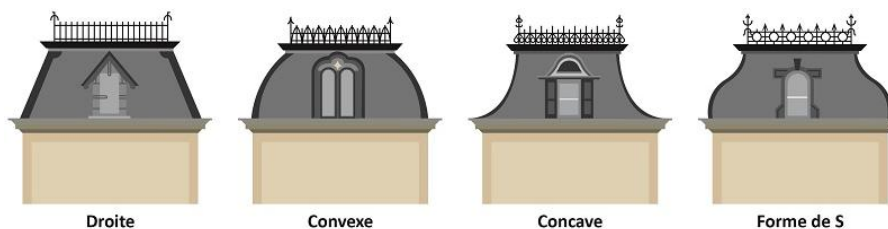


Figure 36: Types de mansardes [48].

Le toit mansardé a été très populaire dans l'architecture européenne à partir du 18^e siècle, notamment sur les bâtiments représentatifs de la haute bourgeoisie [44] [45]. Il connaît aujourd'hui un regain d'intérêt pour ses qualités esthétiques et fonctionnelles [44] [46].

Toit à trois pans :

Le toit à trois pans, également appelé toiture à trois pentes, se caractérise par une structure composée de deux longs pans de toit inclinés et d'une croupe (ou demi-croupe) à chaque extrémité [49].

Cette forme de toit est particulièrement appréciée pour son esthétique élégante et son charme authentique, en plus d'offrir des avantages pratiques [49] [50] [52].

Parmi les principaux avantages du toit à trois pans, on peut citer :

- La possibilité d'aménager davantage d'espace dans les combles [49] [50] [52].
- Une meilleure isolation thermique grâce à sa structure plus compacte [49] [50].
- Une évacuation facilitée des eaux de pluie et de la neige [49] [50].
- La possibilité d'installer des panneaux solaires de manière optimale [49].

Cependant, la conception plus complexe de ce type de toit peut aussi représenter un inconvénient en termes de coût de construction [49] [50].

Dans l'ensemble, le toit à trois pans est très apprécié pour son esthétique distinctive et ses qualités fonctionnelles, en faisant un choix populaire pour de nombreuses constructions en France et en Europe [49] [50] [51] [52].



Figure 37: Des constructions avec toit à trois pans [53].

Toiture à double courbure :

Le toit à double courbure est une forme de toiture qui se caractérise par une courbure double, avec un rayon de cintrage et deux rayons de giration [54] [55].

Cela signifie que le toit a une courbure en forme de dôme, avec une pente plus faible à la base et une pente plus raide au sommet [54] [55].

Le toit à double courbure est considéré comme une forme de toiture courbe, qui peut être simple, double ou en casquette [54] [56].

Il est important de noter que la pente du toit à double courbure doit être supérieure à 15° pour éviter les problèmes d'eau et de vent [55].

Les toits à double courbure sont souvent utilisés pour des bâtiments de style architectural spécifique, tels que des temples ou des édifices historiques [54] [57].

En résumé, le toit à double courbure est une forme de toiture distinctive qui offre une grande flexibilité pour les architectes et les constructeurs, tout en nécessitant une attention particulière à la conception et à l'exécution pour assurer une étanchéité et une durabilité optimales [54] [55].

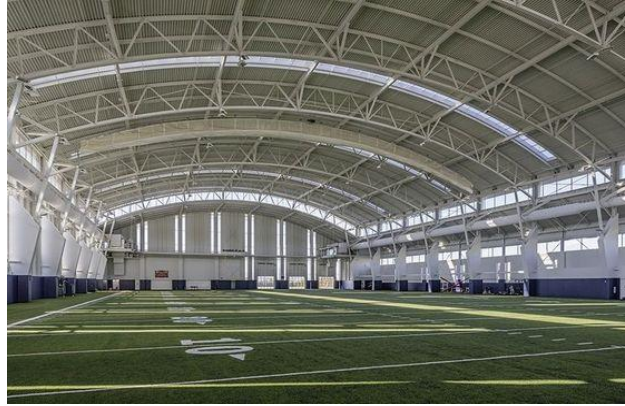


Figure 38: Salle de sport avec un toit à double courbure [58].

Toit terrasse :

Le toit terrasse est un type de toiture plat qui offre un espace supplémentaire très apprécié en milieu urbain, permettant d'aménager des espaces de vie ou des terrasses végétalisées [59] [60] [61].

Sa construction nécessite une attention particulière à l'étanchéité pour éviter les problèmes d'infiltrations d'eau, notamment en raison de sa pente légère pour l'écoulement des eaux de pluie [59] [60] [61].

Les avantages du toit terrasse incluent la création d'un espace de vie supplémentaire, la possibilité d'installer des panneaux solaires, et la capacité à végétaliser le toit [59] [60] [62].

Cependant, la construction d'un toit terrasse demande des précautions, notamment en termes d'étude de faisabilité, de qualité des travaux, et de respect des règles d'urbanisme locales [59] [60] [61] [62].

L'étanchéité d'un toit terrasse est primordiale pour prévenir les infiltrations d'eau, et plusieurs techniques d'étanchéité sont disponibles, avec des coûts moyens de main d'œuvre variant de 15 à 30 € par mètre carré [63] [64] [62].



Figure 39: Toit terrasse [65].

En résumé, les articles fournissent des informations complètes sur la construction, l'étanchéité, les avantages et les inconvénients des toits terrasses, soulignant l'importance de respecter les règles de construction et d'étanchéité pour garantir la durabilité et la fonctionnalité de ces structures.

Toit papillon :

Le toit papillon est une option de toiture distinctive, caractérisée par sa forme de papillon, où les pentes convergent vers le centre de la structure. Ce design moderne et esthétique est apprécié pour son aspect unique. Cependant, il est crucial de veiller à l'étanchéité pour prévenir les infiltrations d'eau, ce qui nécessite une attention particulière lors de sa mise en œuvre [66] [67].

Le toit papillon offre plusieurs avantages, notamment la possibilité d'intégrer des fenêtres hautes dans le bâtiment, favorisant une entrée importante de lumière naturelle et facilitant la collecte de l'eau. Toutefois, ce type de toiture peut être plus onéreux que d'autres styles traditionnels et nécessite un entretien attentif [68].

Le choix d'un toit papillon dépend de divers facteurs, tels que le matériau, la forme et le style architectural. Ces toits sont idéaux pour les petites maisons ou les pergolas de jardin en raison de leur esthétique appréciée, mais ils sont souvent coûteux et nécessitent un entretien soigneux [69].

Le toit papillon est particulièrement adapté aux zones sèches, car sa forme en V dirige l'eau vers un seul point, facilitant ainsi sa collecte [68].

Les sources mettent en avant l'importance de l'étanchéité pour un toit papillon, car son manque de pente peut entraîner une mauvaise évacuation des eaux de pluie, provoquant des infiltrations d'eau [66].



Figure 40: Toiture en papillon [70].

Le toit à coyers ou coyaux :

Le toit à coyers ou coyaux est défini par l'installation de petits morceaux de bois, nommés "coyers" ou "coyaux", à la base des chevrons de la toiture [71] [72] [73] [74].

Ces coyaux servent à repousser les eaux de pluie loin des murs du bâtiment, empêchant ainsi les infiltrations [73] [74]. Ils permettent de créer un surplomb supplémentaire sur le toit.

La toiture à coyaux est considérée comme une version à versants de la toiture combinée, avec une structure de charpente traditionnelle en bois [71] [72].

L'ensemble formé par les coyaux sur le pan de toiture est désigné sous le nom de « coyaulur Ou coyature », selon les régions [72]

Les charpentes à coyaux sont des éléments de toiture traditionnels, appréciés pour leur efficacité fonctionnelle et leur beauté esthétique, et sont employés sur divers types de constructions [74].

En résumé le toit à coyers ou coyaux se caractérise par l'ajout de petits morceaux de bois à la base des chevrons, offrant une protection contre les infiltrations d'eau et ajoutant un aspect architectural traditionnel [71] [72] [73] [74].



Figure 41: Le coyau de charpente [74].

Toit en dôme ou coupole :**Dôme :**

Le dôme est un toit hémisphérique, vu de l'extérieur, surplombant un édifice, comme la basilique Saint-Pierre de Rome ou la cathédrale Saint-Paul à Londres. Il peut être divisé en plusieurs parties par des nervures ou arêtiers sur un dôme polygonal. Sa base peut être marquée par une corniche, et son sommet peut être surmonté d'un lanternon. Les dômes peuvent être décorés de fresques ou de mosaïques, offrant une surface arrondie et élevée vers le ciel [75].



Figure 42: Toit à dôme en aluminium [76].

Coupole :

La coupole est vue de l'intérieur d'un édifice, faisant partie de la voûte, également hémisphérique. Contrairement au dôme, la coupole est souvent surélevée et s'appuie sur un tambour pour permettre l'éclairage naturel de la voûte. Elle peut être circulaire, polygonale ou elliptique, et est souvent ornée de fresques ou de mosaïques en l'honneur de Dieu et des saints [77].

En résumé, les dômes sont des toits hémisphériques qui surplombent un bâtiment, tandis que les coupoles sont des composants internes de la voûte, également hémisphériques, et offrent une surface décorée élevée vers le ciel.



Figure 43: Toit à dôme en aluminium [78].

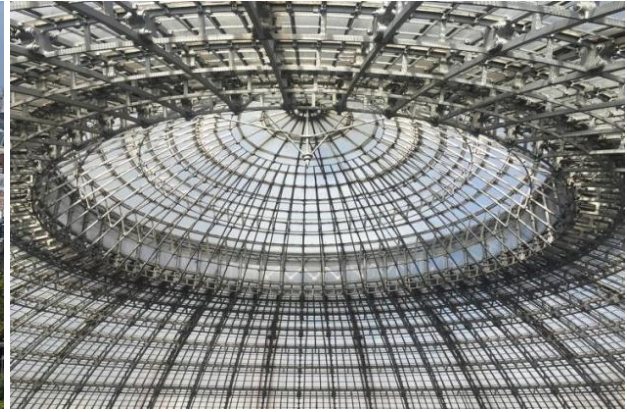


Figure 44 : Partie coupole (détails) [78].

V. Les différents types des logiciels :

La fabrication et la conception des charpentes, qu'elles soient construites à partir d'un seul matériau ou de divers matériaux, requièrent une méthodologie minutieuse et précise. Pour obtenir des résultats de qualité supérieure, les ingénieurs et les concepteurs utilisent des logiciels spécialisés, qui sont conçus pour répondre à chaque étape du processus de conception. Ces outils informatiques sont essentiels pour la modélisation, l'analyse et l'optimisation des structures, assurant leur résistance, leur durabilité et leur performance. Dans ce chapitre, nous décrivons les différents types de logiciels utilisés à l'international pour la fabrication des charpentes, en mettant en avant les caractéristiques principales de chaque type et les avantages qu'ils apportent dans le processus de conception.

V.1. Tekla structures :

Tekla structures est un logiciel de Trimble pour la modélisation des informations des bâtiments (BIM) facilite la création de modèles 3D détaillés et informatifs, intégrant toutes les données structurelles essentielles pour la construction et la maintenance de la structure [79] [80] [81].

Tekla Structures fournit des outils avancés pour la modélisation de charpentes métalliques, la fabrication de plans et la gestion des données de construction [79]. Il permet la création de modèles 3D précis et informatifs, intégrant toutes les données structurelles requises pour la construction et la maintenance de la structure [81].

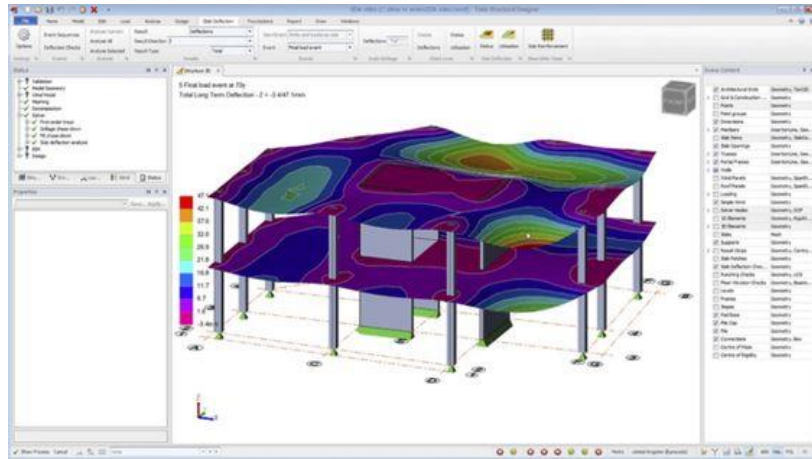


Figure 45: Trimble présente les solutions logicielles BIM Tekla 2018 [82].

Tekla Structures est compatible avec d'autres logiciels de la suite Trimble, tels que Tekla PowerFab, Tekla Model Sharing et Trimble Connect [83] [84].

V.2. Autodesk Robot Structural Analysis:

Robot Structural Analysis (RSA), développé par Autodesk, est un outil d'analyse structurelle ciblé vers les ingénieurs structurels et les professionnels de la construction. Conçu pour traiter les structures métalliques et les structures en béton armé, RSA propose des fonctionnalités avancées de simulation et d'analyse structurelle pour des structures de grande envergure et de complexité élevée [85] [86].

RSA est un logiciel conçu pour la collaboration entre ingénieurs structurels sur des projets, assurant une intégration facile avec d'autres outils Autodesk, comme Revit. Partie de la collection AEC (Architecture, Engineering & Construction), il facilite la création de modèles de structure avec des liens 3D bidirectionnels vers Revit, permettant la simulation de charges de vent et la génération automatique de maillage pour des résultats précis [85] [86].

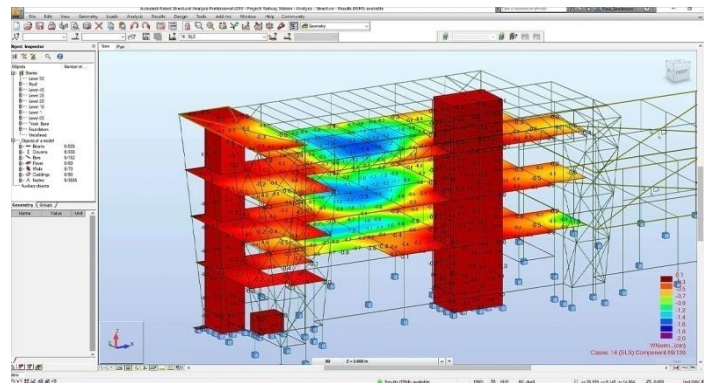


Figure 46: Flux de travail structurel et analytique utilisant l'analyse structurelle de robot [87].

RSA est également adapté aux normes de conception locales de chaque pays, offrant des fonctionnalités pour la conception de structures métalliques et en béton armé, avec des normes de conception et des bases de données de sections et de matériaux disponibles dans le monde entier. Il permet de collaborer efficacement en équipe de conception multinationale et supporte plusieurs langues, facilitant ainsi la communication et la collaboration internationale [88].

V.3. Dlubal TIMBER :

Le logiciel Dlubal Timber est spécialisé dans le calcul et la vérification des structures en bois, y compris les toitures [89].

.Les logiciels de calcul de structure RFEM et RSTAB de Dlubal sont parfaitement adaptés au calcul et à la vérification de poutres et de structures complexes en bois, y compris le bois lamellé-collé (GLT) et le bois lamellé-croisé (CLT) [90].

RSTAB est particulièrement adapté aux structures filaires, portiques et treillis en bois, tandis que RFEM permet des analyses complètes de structures filaires et planes en bois [90].

Le logiciel RFEM 6 de Dlubal permet une modélisation efficace et des calculs précis des structures en bois, avec une interface intuitive facilitant la mise en œuvre de projets structuraux innovants [91].

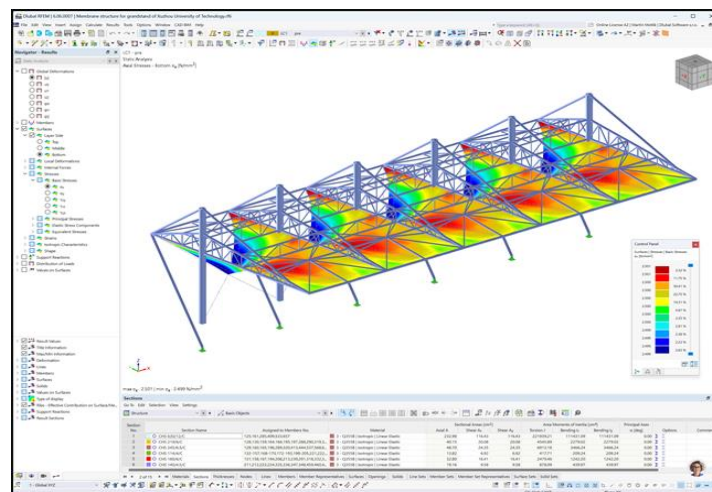


Figure 47: Projet conçu avec le logiciel de calcul de structure Dlubal [92].

V.4. SAP2000 :

Le logiciel SAP 2000 est un outil de calcul et de conception des structures d'ingénieries, principalement utilisé pour les bâtiments et les ouvrages de génie civil. Il permet de modéliser, analyser et concevoir des structures en utilisant la méthode des éléments finis. SAP

2000 offre de nombreuses possibilités d'analyse des effets statiques et dynamiques, ainsi que des compléments de conception et de vérification des structures en béton armé et charpentes métalliques [93].

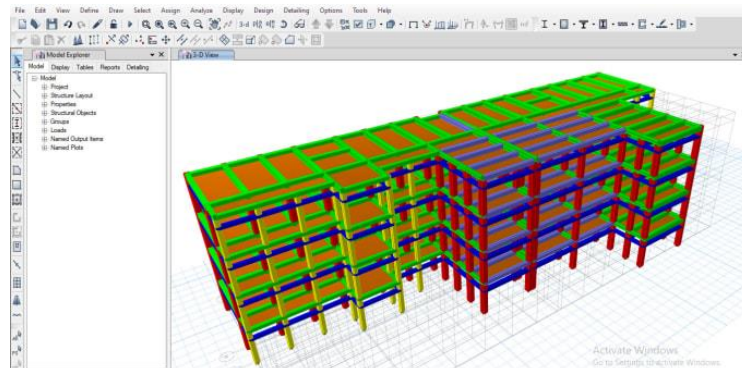


Figure 48 : Conception d'un bâtiment avec SPA2000 [94].

V.5. ETABS :

ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building) Systems est un logiciel de conception et d'analyse structurale conçu pour les ingénieurs, applicable à la fois aux constructions et aux infrastructures civiles. Il facilite la création, l'analyse et la conception de structures via la méthode des éléments finis, offrant des capacités d'analyse statique et dynamique, ainsi que des outils supplémentaires pour la conception et la vérification de structures en béton armé et de charpentes métalliques. Le logiciel supporte la modélisation de structures en 2D et 3D, avec des fonctionnalités pour simuler la distribution probable des forces d'inertie sur les modèles lors des tremblements de terre. Il propose également des analyses statiques non linéaires, permettant de gérer soit la force, soit le déplacement, pour l'évaluation des structures exposées à des charges latérales [95] [96] [97].

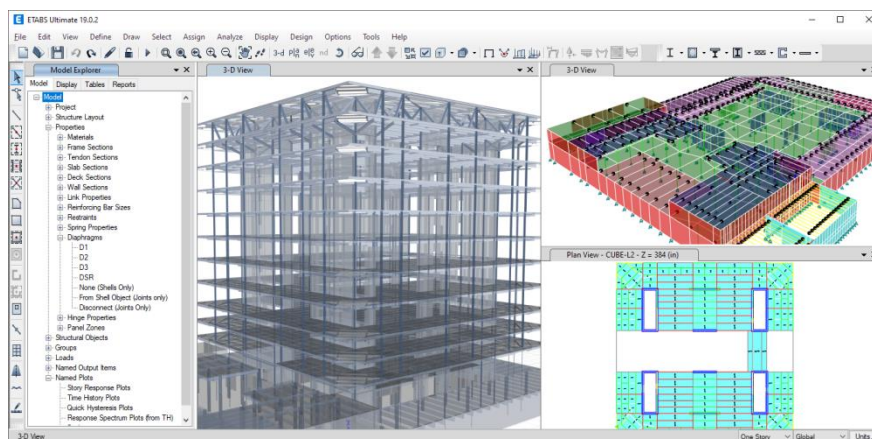


Figure 49: Modélisation structurale avancée dans ETABS Ultimate [98].

V.6. SCIA Engineer :

SCIA Engineer est un logiciel intégré d'analyse et de conception de structures multi-matériaux, destiné à tous types de structures [99] [100]. Ses nombreuses fonctionnalités en font un outil puissant et flexible pour les ingénieurs en structure, permettant une analyse et une conception précises, sûres et économiques conformes aux dernières normes de construction [100]. SCIA Engineer offre des technologies de pointe intégrées telles que le traitement parallèle, la génération automatique du maillage, ainsi que des outils d'optimisation et de note de calcul innovants pour accélérer les processus de conception [100]. Le logiciel fournit également une couverture complète des normes Eurocode, américaines et d'autres normes internationales [100].

V.7. Revit :

Revit est un ensemble d'outils développés pour soutenir les professionnels de la conception dans le domaine de la construction. Il propose des outils personnalisés pour la conception de structures, y compris les charpentes, avec des capacités comprenant la gestion des éléments structuraux, des matériaux et des propriétés mécaniques [101].

V.8. Advance Steel :

Ce logiciel est spécifiquement conçu pour la conception et la fabrication de structures en acier. Il offre des outils dédiés pour les connexions, les escaliers, et les éléments de structure, ce qui en fait un choix idéal pour les ingénieurs en structure [101].

V.9. AutoCAD :

AutoCAD est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) 2D et 3D conçu pour aider les professionnels de la conception à créer des plans, des schémas et des dessins techniques. Il offre des fonctionnalités pour la modélisation, la visualisation, la simulation et la documentation de structures, produits et systèmes. AutoCAD est utilisé dans de nombreux domaines, notamment l'architecture, l'ingénierie, la construction, la mécanique et l'électronique [102] [103].

Graitec Advance Design :

Graitec Advance Design est un logiciel conçu pour la conception, la modélisation, l'analyse structurelle et le calcul, destiné aux experts de l'industrie de la construction, principalement utilisé pour les structures en béton, acier et bois. Il fournit des fonctionnalités avancées pour la modélisation, la simulation et la visualisation de structures, ainsi que des outils pour l'analyse et la gestion de projets. Conçu pour répondre aux exigences des ingénieurs

structurels et des architectes, Advance Design offre des outils pour la conception, la modélisation, l'analyse et la simulation de structures complexes [104] [105].

Ce logiciel est spécialement développé pour s'aligner sur les normes et codes de construction tels que les Eurocodes, les codes américains et canadiens, le rendant un choix privilégié pour les professionnels de l'industrie de la construction [105].

VI. Conclusion :

En conclusion, les différents types de logiciels de modélisation et d'analyse structurelle, tels que ETABS, jouent un rôle crucial dans le domaine de l'ingénierie civile et de la construction. Ces outils offrent une grande précision et flexibilité pour concevoir et évaluer les structures, permettant ainsi de garantir la sécurité et l'efficacité des projets. L'exemple d'ETABS Ultimate 19.0.2 illustré montre comment les ingénieurs peuvent visualiser, analyser et optimiser les structures complexes, démontrant l'importance de ces technologies avancées dans la réalisation de constructions modernes et durables.

Chapitre II

Présentation du projet

I. Introduction :

Au cours de ma formation de master en Génie Civil à l'Université 8 Mai 1945 de Guelma, j'ai eu l'opportunité, à la fin de mes études, de mener un projet de fin d'études (PFE). L'objectif global de ce projet était de me confronter à une situation professionnelle impliquant des aspects scientifiques et techniques, offrant ainsi une occasion de développer toutes les compétences essentielles qu'un ingénieur doit maîtriser dans son activité quotidienne.

Plus spécifiquement, le projet sur lequel je me suis concentré vise à réaliser une étude technico-commerciale approfondie pour le choix d'une solution de toiture pour une piscine en charpente métallique. L'objectif principal de ce projet est d'identifier et d'évaluer plusieurs options de toiture, en tenant compte des aspects techniques, économiques et environnementaux, afin de proposer la solution la plus optimale. Cette démarche me permettra non seulement d'appliquer et de perfectionner mes connaissances théoriques dans le domaine du génie civil mais aussi de gagner en expérience pratique dans la prise de décisions techniques et commerciales complexes.

Les structures proposées sont:

- ✚ Une toiture à Ferme en treillis 3D.
- ✚ Portique simple.

La réalisation de ce projet s'appuie sur une étude détaillée menée à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis version 2010.

II. Réalisation de la modélisation :

Pour la conception de la modélisation en 3D, il est important de noter que les règlements algériens en vigueur, notamment le RNVA 2013, n'étant pas intégrés directement dans le logiciel, nous avons dû adopter une approche particulière.

III. Approche adoptée :

J'ai utilisé les règlements français pour la modélisation initiale en 3D dans le logiciel Robot Structural Analysis. Par la suite, les valeurs et les paramètres de conception ont été ajustés manuellement selon les exigences des règlements algériens DTR 2013. Cette méthode nous a permis de respecter les normes locales tout en bénéficiant des capacités avancées du logiciel pour la modélisation structurelle.

L'étude se fera en respectant les réglementations et recommandations en vigueur à savoir (RPA99/2003, BAEL et CBA93, CCM97, RNV 2013 DTR .C 2-4.7).

IV. Présentation de l'ouvrage

Le projet est une piscine semi-olympique dont sa configuration elle adopte une forme rectangulaire, soutenue par une ossature en béton armé.

L'ouvrage se compose de deux principaux blocs séparés par un joint sismique. Le premier bloc comprend les espaces administratifs, tels que la réception, les douches, les vestiaires, et l'infirmierie, avec une toiture en béton. Le second bloc abrite le bassin, couvert d'une toiture en charpente métallique. La toiture en question est constituée de fermes en treillis courbées avec une forme shed dégradée, assurant le contreventement vertical par des fermes de stabilité en treillis et horizontalement par des X.

Ce projet est situé à la commune d'AIN MAKHLOUF, wilaya de GUELMA, classée selon le règlement parasismique Algérien (RPA 99 version 2003) comme une zone de moyenne sismicité IIa."

- Longueur totale de la piscine :32.60 m.
- Largeur totale de la piscine :19.70m.
- Hauteur totale de la piscine :11.60 m.
- Surface totale de la piscine :642.22 m².

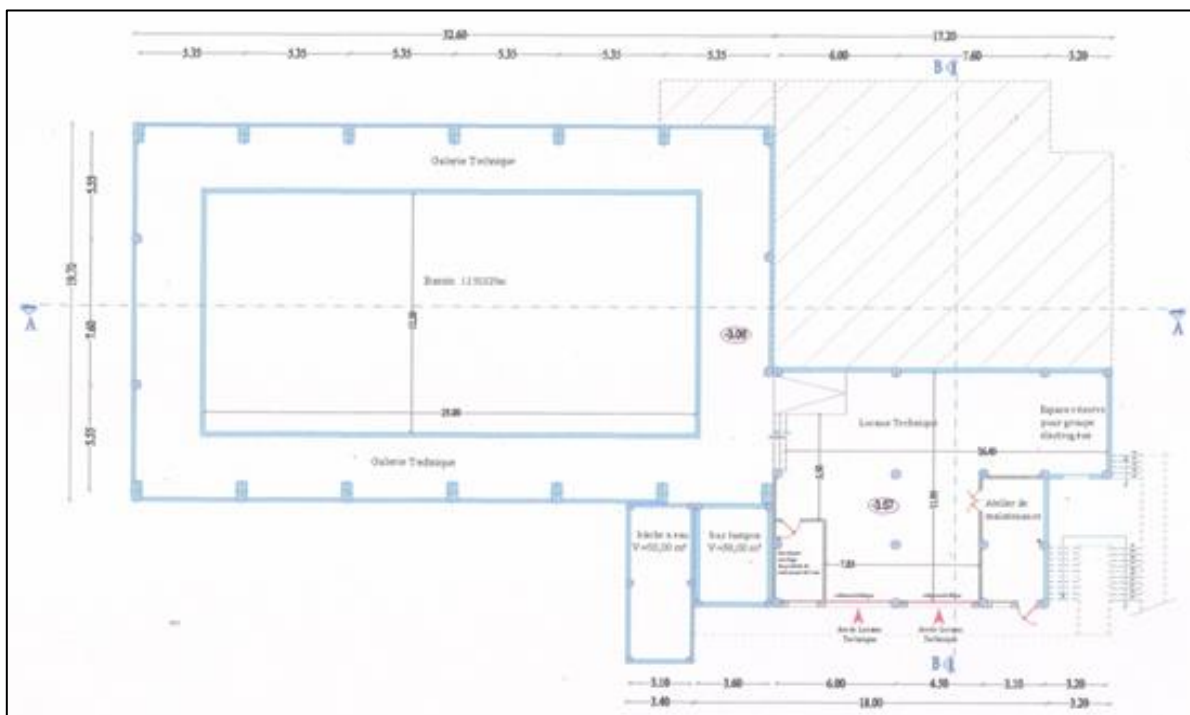


Figure 50 : vue en plan de la piscine.



Figure 51 : Plan de la toiture.

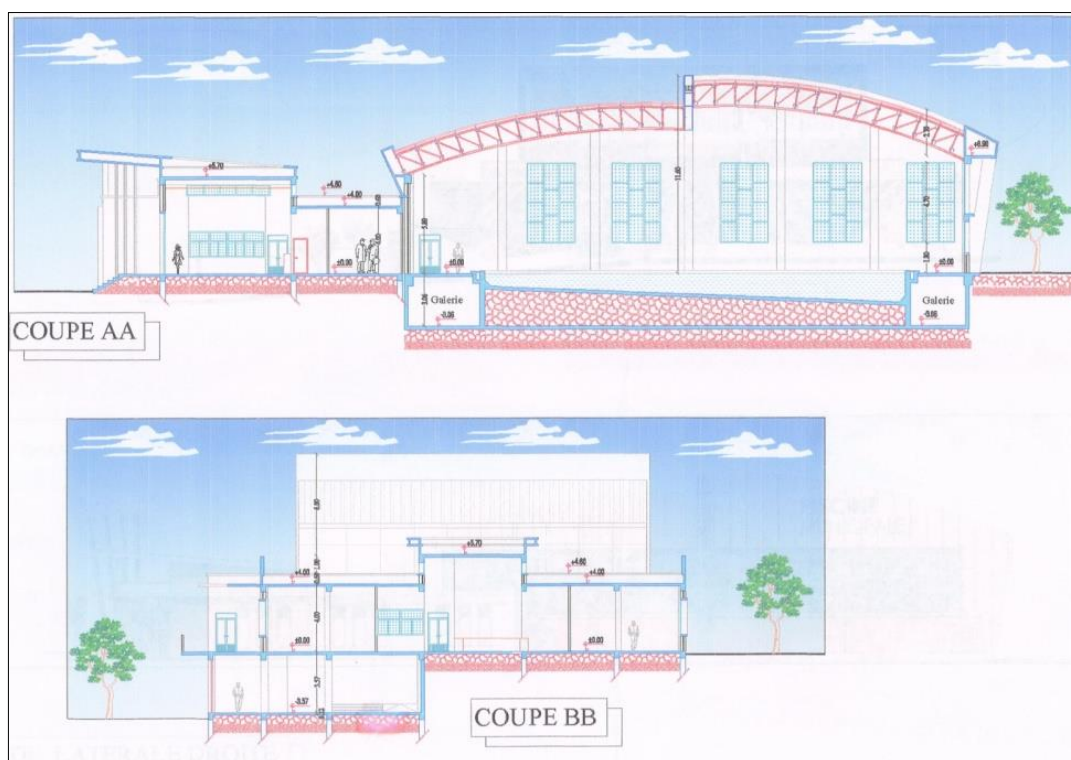


Figure 52 : plan de coupe AA et coupe BB.

Chapitre III

Etude Climatique

I. Introduction :

La règlementation des actions climatiques sur les structures est une des étapes plus importantes et délicates, compte tenu de son impact généralisé à tous les types de constructions. Parmi ces actions, celles dues à la neige et au vent sont essentielles car elles peuvent avoir une incidence directe sur le dimensionnement et par conséquent sur l'économie et sur la sécurité des structures des bâtiments et des ouvrages de génie civil.

II. Calcul de l'action de vent et neige :

Les règles NVA13 s'appliquent aux constructions (bâtiment, lieux de cultes, réservoirs, châteaux d'eaux, silos, cheminées, pylônes, grues, etc.) dont la hauteur est inférieure à 200m. Les actions du vent appliquées aux parois dépendent de :

- La direction.
- L'intensité.
- La région.
- Le terrain d'implantation (site).
- La forme géométrique et les ouvertures des structures.

Les estimations de l'effet du vent se feront en appliquant le règlement Neige et vent «RNV 2013 DTR .C 2-4.7».

II.1. Les coefficients de calcul

Effet de la région ($q_{réf}$)

$q_{réf}$: pression dynamique de référence

Zone	$q_{réf}$ (N/m ²)
I	375
II	435
III	500
IV	575

(Tab 2-2chap II du RNV-2013)

Notre structure se situe dans la zone 1 (GUELMA), sa durée d'utilisation étant supérieure à 5 ans, donc la pression de référence est : $q_{réf} = 375 \text{ N/m}^2$ d'après le tableau ci-dessus.

Effet de site (K_T , Z_0 , Z_{min} , ϵ)

La structure sera implantée en zone urbaines :

$KT=0,215$ (Facteur de terrain).

$Z0=0.3m$ (Paramètre de rugosité).

$Z_{min}= 5m$ (Hauteur minimale).

$\varepsilon =0,61$ (Coefficient pour calcul du Cd).

(Tab 2-4chap II du RNV 2013)

Dans ce projet, nous avons utilisé le logiciel Robot Structural Analysis 2010 pour réaliser les calculs des charges de vent et de neige. Ce logiciel permet de modéliser en trois dimensions (3D) la structure et de simuler les charges appliquées. Cependant, étant donné que les règlements RNV algériens ne supportent pas directement la modélisation en 3D, nous avons effectué la modélisation selon les normes françaises, avant d'ajuster les résultats en fonction des données des règlements algériens RNV 2013.

Les coefficients nécessaires à ces calculs, tels que les coefficients de pression du vent et les charges de neige, ont été entrés dans le logiciel pour obtenir des notes de calcul précises. La modélisation en 3D a permis de visualiser les interactions complexes entre les différentes parties de la structure sous l'effet des charges climatiques.

Ci-dessous nous indiquons les directions du vent sur la toiture.

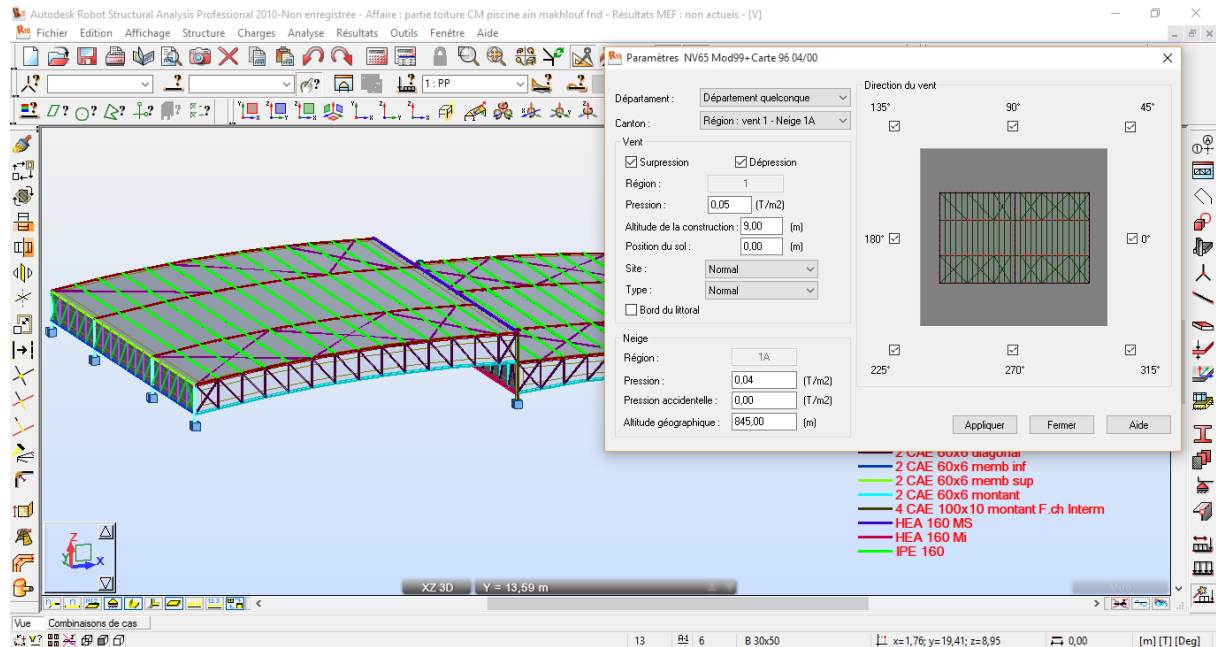


Figure 53 : Directions de vent sur la toiture.

II.2.Décomposition des surfaces de la toiture selon Robot Structural

Analysis :

Surface 18,19 :

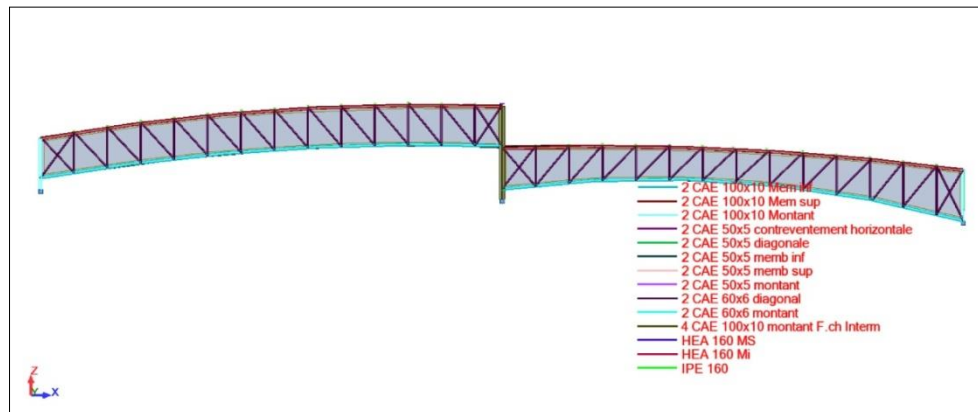


Figure 54: Ferme principale d'extrémité.

Surface 4,5 :

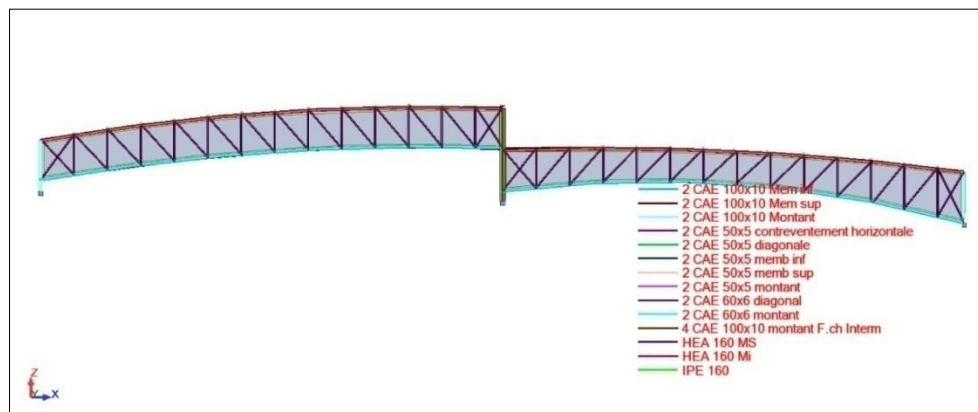


Figure 55 : Ferme principale d'extrémité.

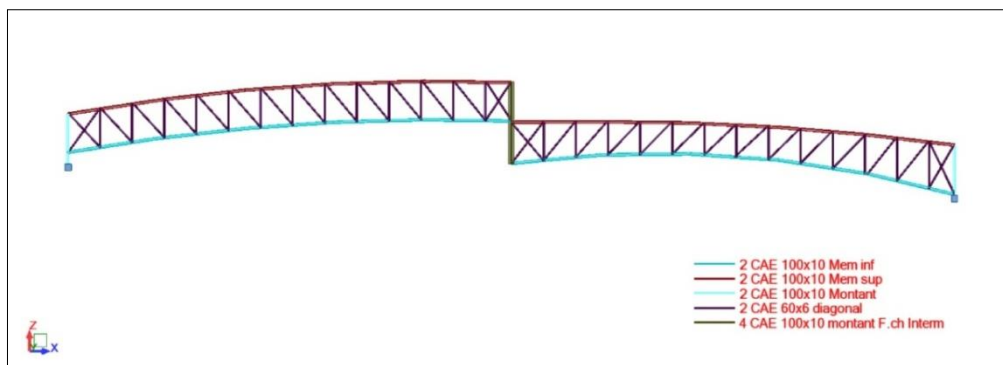


Figure 56: Ferme principale intermédiaire.

Surface 3,1 :

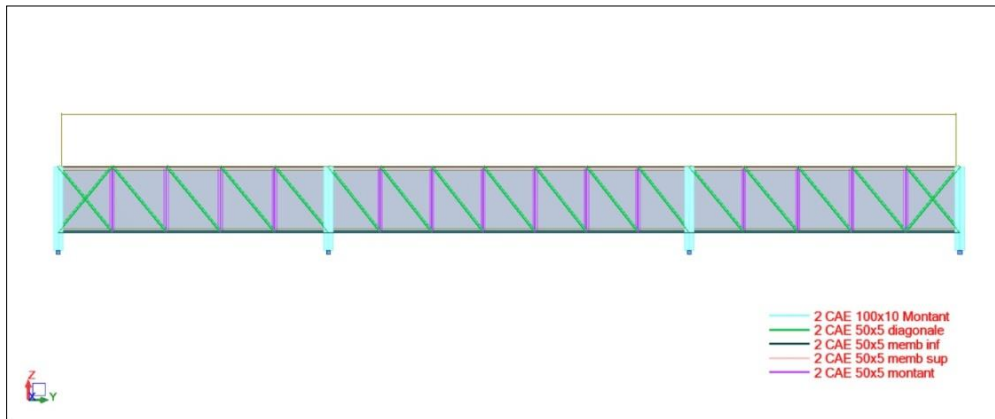


Figure 57: Ferme de contreventement (de stabilité).

Surface 2 :

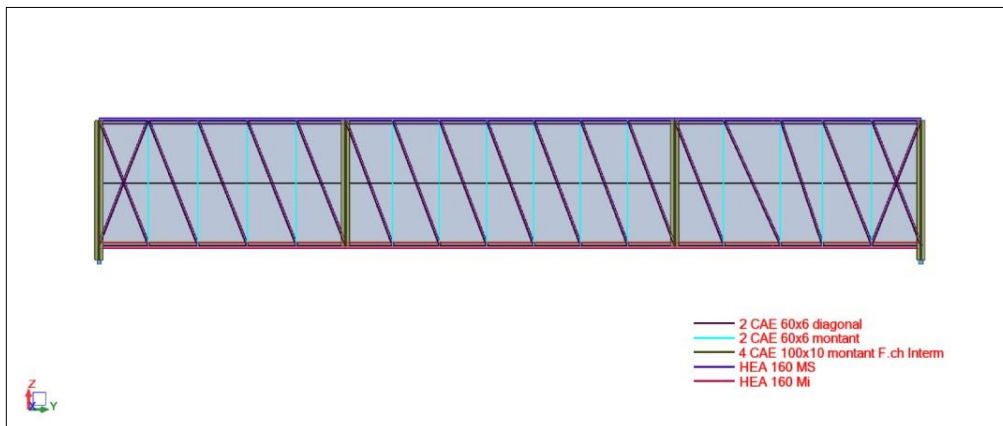


Figure 58: Ferme intermédiaire.

Surface 1035,1029 :

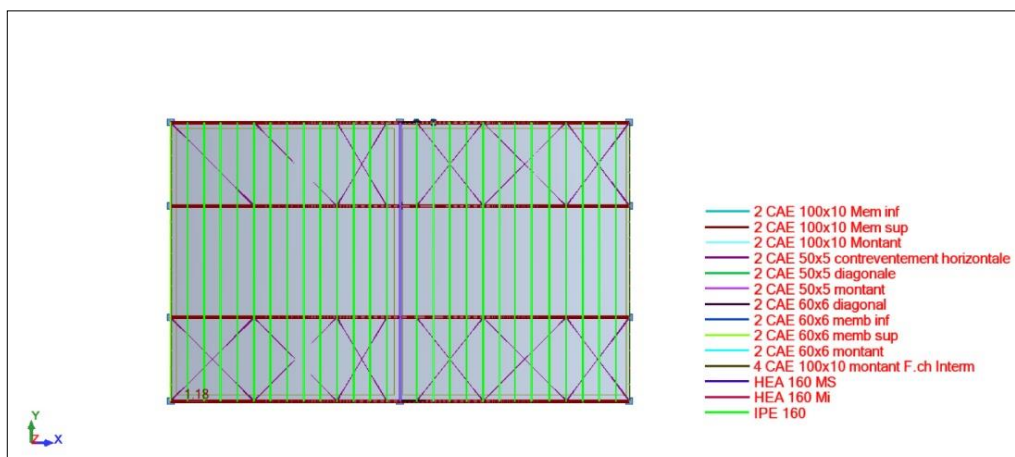


Figure 59 : Vue de la toiture.

II.3. Note de calculs :**CALCULS DES CHARGES NEIGE ET VENT****Selon NV65 Mod99+Carte 96 04/00****DIMENSIONS DU BATIMENT**

Hauteur :	4,04 m
Largeur :	32,30 m
Profondeur :	19,41 m
Position du sol :	0,00 m
Altitude de la construction :	9,00 m

DONNEES VENT

Région :	1	
Type de vent :	normal	
Site :	normal	ks = 1,000
Pression de base :	0,05 T/m ²	

II.3.1. RESULTATS VENT**Cas de charge : Vent 0 deg sur.(+)**

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	Ce : -0,569 Ci : 0,300 Ce-Ci = -0,869
	qH : 0,05 T/m ² Delta : 1,000
	qr(z) = -0,04 T/m ² local
surface :1	Ce : 0,800 Ci : 0,300 Ce-Ci = 0,500
	qH : 0,05 T/m ² Delta : 1,000
	qr(z) = 0,03 T/m ² local

surface :2	$C_e : 0,800$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = 0,03 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$C_e : -0,500$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$C_e : -0,500$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$C_e : -0,500$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$C_e : -0,500$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$C_e : -0,500$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$C_e : -0,414$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,714$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = -0,03 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 0 deg dép.(-)

$\Gamma : 1,000$

Coefficients de chargement

surface :1035	$C_e : -0,569$ $C_i : -0,300$ $C_e - C_i = -0,269$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$C_e : 0,800$ $C_i : -0,300$ $C_e - C_i = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2$ $\Delta : 1,000$

surface :2	$qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,414 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,114$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 45 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,549 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,849$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,439 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,739$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 45 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,549 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,249$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,439 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,139$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 90 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 90 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 135 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,455 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,755$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,567 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,867$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 135 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,455 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,155$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,567 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,267$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 180 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,437 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,737$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,594 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,894$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 180 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,437 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,137$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,594 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,294$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 225 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,455 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,755$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,567 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,867$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 225 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,455 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,155$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,567 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,267$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 270 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 270 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 315 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,549 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,849$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : -0,500 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,800$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = 0,500$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,02 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,439 \quad Ci : 0,300 \quad Ce-Ci = -0,739$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,04 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

Cas de charge : Vent 315 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface :1035	$Ce : -0,549 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,249$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$

surface :2	$qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$ $Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :3	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :4	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :5	$Ce : -0,500 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,200$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :18	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :19	$Ce : 0,800 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = 1,100$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = 0,05 \text{ T/m}^2 \text{ local}$
surface :1029	$Ce : -0,439 \quad Ci : -0,300 \quad Ce-Ci = -0,139$ $qH : 0,05 \text{ T/m}^2 \quad \text{Delta} : 1,000$ $qr(z) = -0,01 \text{ T/m}^2 \text{ local}$

II.3.2. DONNEES NEIGE

Région :	1A
Altitude géographique :	845 m
Pression de base - neige normale : (Pn0)	0,06 T/m²
Pn :	0,18 T/m²
Pression de base - neige accidentelle : (P'n0)	0,00 T/m²
P'n :	0,00 T/m²

II.3.3. RESULTATS NEIGE

Cas de charge : **Neige cas I**

surface :1035	C =	1,000	qn =	0,18 T/m ²	global
surface :1	C =	0,000	qn =	0,00 T/m ²	global
surface :2	C =	0,000	qn =	0,00 T/m ²	global
surface :3	C =	0,000	qn =	0,00 T/m ²	global
surface :4	C =	0,000	qn =	0,00 T/m ²	global
surface :5	C =	0,000	qn =	0,00 T/m ²	global
surface :18	C =	0,000	qn =	0,00 T/m ²	global
surface :19	C =	0,000	qn =	0,00 T/m ²	global
surface :1029	C =	1,000	qn =	0,18 T/m ²	global

III.Résumé des Calculs des Actions du Vent et de la Neige

Les calculs effectués avec Robot Structural Analysis 2010 ont permis de déterminer les charges de vent et de neige agissant sur la toiture en charpente métallique de la salle de sport. En utilisant les coefficients de pression du vent et les charges de neige spécifiés par les règlements français, puis en ajustant ces valeurs selon les règlements algériens RNV 2013, nous avons obtenu des résultats précis et fiables.

La modélisation en 3D a permis d'identifier les zones critiques de la structure où les charges climatiques sont les plus importantes. Les résultats indiquent que la structure est capable de résister aux charges maximales de vent et de neige prévues, assurant ainsi la sécurité et la durabilité de la toiture.

Les principales conclusions des calculs sont les suivantes :

- Les coefficients de pression du vent et les charges de neige ont été correctement appliqués et vérifiés.
- La structure modélisée en 3D répond favorablement aux charges climatiques simulées.
- Les ajustements effectués selon les règlements RNV algériens garantissent la conformité aux normes locales.

Ces résultats confirment que la conception de la toiture en charpente métallique est adéquate pour les conditions climatiques prévues, offrant une solution sûre et durable pour la salle de sport. La méthodologie employée, intégrant à la fois les règlements français et algériens, a permis d'optimiser la modélisation et de s'assurer que les exigences de sécurité sont pleinement satisfaites.

III.1. Explications des Résultats des Études de Neige et de Vent :

Les résultats obtenus des calculs pour la neige et le vent sont extraits du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis. Voici une explication détaillée de ces résultats :

1. Étude du Vent :

- Gamma : 1,000

Ce coefficient représente un facteur de sécurité appliqué aux charges de vent.

- Surface : 1035 m²

Cette valeur indique la surface totale considérée pour les calculs.

- Ce : -0,500

Le coefficient de pression extérieure (Ce) dépend de la forme du bâtiment et de l'exposition au vent. Un coefficient négatif indique une pression de succion sur la surface.

- Ci : 0,300

Le coefficient de pression intérieure (Ci) est influencé par les ouvertures et les caractéristiques internes du bâtiment.

- Ce - Ci : -0,800

La différence entre les coefficients de pression extérieure et intérieure donne une idée de la pression nette agissant sur la toiture.

- q_H : 0,05 T/m²

La pression du vent au niveau de la toiture, indiquée en tonnes par mètre carré (T/m²).

- q_r(z) = -0,04 T/m²

La pression du vent locale à une certaine hauteur z, indiquée également en T/m².

Les mêmes calculs sont appliqués pour différentes surfaces (1, 2, 3, etc.), indiquant des résultats similaires.

2. Étude de la Neige

- Surface : 1035 m²

Cette valeur indique la surface totale considérée pour les calculs de neige.

- C = 1,000

Le coefficient de forme de la neige (C) représente la configuration géométrique du toit et son influence sur l'accumulation de la neige.

- $q_n = 0,18 \text{ T/m}^2$

La charge de neige globale agissant sur la toiture, indiquée en tonnes par mètre carré (T/m²).

Pour d'autres surfaces (1, 2, 3, etc.), le coefficient de forme de la neige est 0,000, indiquant qu'aucune charge de neige significative n'est prévue pour ces surfaces. Cela peut être dû à des configurations où la neige ne s'accumule pas ou est insuffisante pour exercer une charge notable.

IV. Conclusion :

Pour chaque partie de l'étude (neige et vent), il est important d'interpréter ces résultats dans le contexte de la conception de la toiture :

- Vent : Analyser les pressions nettes pour garantir que la toiture peut résister aux forces de succion et de pression exercées par le vent.

- Neige : Vérifier que la toiture peut supporter les charges de neige maximales attendues.

Ces résultats permettront de dimensionner correctement les éléments structuraux de la toiture afin de garantir la sécurité et la stabilité du bâtiment sous les conditions climatiques envisagées.

Chapitre IV

Etude sismique

I. Introduction

La conception des structures métalliques, telles que la charpente métallique de la toiture d'une salle de sport, nécessite une évaluation des charges sismiques, même si celles-ci peuvent être relativement faibles comparées à d'autres types de structures. Bien que les effets sismiques soient souvent négligeables pour les charpentes métalliques en raison de leur légèreté et de leur flexibilité, il est néanmoins essentiel de vérifier la résistance de la structure aux secousses sismiques pour assurer une sécurité optimale.

Dans ce chapitre, nous procédons à une analyse sismique de la charpente métallique en utilisant Robot Structural Analysis 2010, le même logiciel utilisé pour les études des charges de vent et de neige. Ce logiciel offre des capacités avancées de modélisation et de simulation des charges dynamiques, permettant une évaluation précise des effets sismiques sur la structure.

II. Méthodologie

L'analyse sismique a été réalisée en suivant ces étapes :

1. **Définition des Paramètres Sismiques** : Les caractéristiques du site et les paramètres sismiques régionaux ont été définis en accord avec les règlements algériens en vigueur RPA 2003.
2. **Modélisation en 3D de la Structure** : La structure de la charpente métallique a été modélisée en 3D pour simuler les conditions réelles.
3. **Application des Charges Sismiques** : Les charges sismiques ont été appliquées selon les normes internationales adaptées aux règlements algériens.
4. **Analyse et Résultats** : Les résultats obtenus ont été analysés pour évaluer les réponses dynamiques de la structure.

II.1. Méthodes de calcul :

En Algérie, la conception parasismique des structures est régie par un règlement en vigueur à savoir le « RPA99 version 2003 ». Ce dernier propose trois méthodes de calcul dont les conditions d'application diffèrent et cela selon le type de structure à étudier, le choix des méthodes de calcul et la modélisation de la structure doivent avoir pour objectif de reproduire au mieux le comportement réel de l'ouvrage. Ces méthodes sont les suivantes :

- La méthode statique équivalente.

- La méthode d'analyse modale spectrale.
- La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme.

II.2. Méthode dynamique modale spectrale :

Cette méthode peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

II.3. Principe de la méthode :

Dans cette méthode on recherche pour chaque mode de vibration le maximum d'effets engendrés dans la structure par les forces sismiques, représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets vont être combinés suivant la combinaison la plus appropriée pour obtenir la réponse totale de la structure.

III. Résultats du calcul :

III.1. Pourcentage de la participation de masse :

Treillis 3D :

Tableau 1: Pourcentage de participation de masse.

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masses Cumulées UZ [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]	Masse Modale UZ [%]
4/ 1	0,98	1,02	0,02	0,06	0,01	0,02	0,06	0,01
4/ 2	1,00	1,00	0,04	0,11	0,02	0,02	0,05	0,01
4/ 3	1,00	1,00	0,05	0,14	0,03	0,01	0,03	0,01
4/ 4	1,00	1,00	0,06	0,16	0,03	0,01	0,02	0,00
4/ 5	1,00	1,00	0,06	0,17	0,03	0,01	0,02	0,00
4/ 6	1,00	1,00	0,10	0,28	0,05	0,04	0,10	0,02
4/ 7	1,00	1,00	0,14	0,39	0,07	0,04	0,11	0,02
4/ 8	1,00	1,00	0,19	0,51	0,09	0,05	0,12	0,02
4/ 9	1,00	1,00	0,20	0,52	0,09	0,01	0,02	0,00
4/ 10	1,00	1,00	0,23	0,61	0,10	0,03	0,09	0,01
4/ 11	1,00	1,00	0,23	0,62	0,10	0,00	0,00	0,00
4/ 12	1,00	1,00	0,24	0,65	0,11	0,01	0,04	0,01
4/ 13	1,00	1,00	0,24	0,65	0,11	0,00	0,00	0,00
4/ 14	1,00	1,00	0,30	0,80	0,13	0,05	0,15	0,02
4/ 15	1,01	0,99	0,32	0,86	0,14	0,02	0,06	0,01
4/ 16	1,05	0,95	0,34	0,91	0,14	0,02	0,05	0,00
4/ 17	1,05	0,95	0,35	0,93	0,14	0,01	0,03	0,00
4/ 18	1,05	0,95	0,38	1,02	0,14	0,03	0,08	0,00
4/ 19	1,06	0,95	0,38	1,03	0,14	0,01	0,02	0,00
4/ 20	1,06	0,95	0,39	1,06	0,14	0,01	0,03	0,00
4/ 21	1,06	0,95	0,40	1,07	0,14	0,00	0,01	0,00
4/ 22	1,06	0,95	0,41	1,10	0,14	0,01	0,03	0,00
4/ 23	1,06	0,95	0,42	1,14	0,14	0,01	0,04	0,00
4/ 24	1,06	0,95	0,43	1,15	0,14	0,00	0,01	0,00
4/ 25	1,06	0,95	0,43	1,17	0,14	0,01	0,02	0,00
4/ 26	1,06	0,95	0,45	1,21	0,14	0,02	0,05	0,00
4/ 27	1,06	0,95	0,57	1,55	0,14	0,12	0,34	0,00
4/ 28	1,06	0,95	0,58	1,58	0,14	0,01	0,03	0,00
4/ 29	1,06	0,95	0,62	1,67	0,14	0,03	0,09	0,00
4/ 30	1,06	0,94	0,62	1,70	0,54	0,01	0,03	0,40

4/ 31	1,09	0,92	0,63	1,73	0,55	0,01	0,03	0,01
4/ 32	2,24	0,45	0,64	1,73	0,90	0,00	0,00	0,36
4/ 33	2,50	0,40	0,64	1,73	1,55	0,00	0,00	0,65
4/ 34	2,81	0,36	0,66	2,42	1,57	0,02	0,69	0,02
4/ 35	3,32	0,30	0,72	2,42	2,48	0,06	0,00	0,91
4/ 36	3,35	0,30	0,73	2,48	3,04	0,01	0,06	0,56
4/ 37	3,41	0,29	0,73	2,48	3,26	0,00	0,00	0,22
4/ 38	3,46	0,29	0,90	3,93	4,26	0,17	1,45	1,00
4/ 39	3,66	0,27	1,36	4,16	14,57	0,46	0,23	10,31
4/ 40	3,85	0,26	1,37	4,17	14,58	0,01	0,01	0,00
4/ 41	3,95	0,25	1,39	4,54	15,39	0,02	0,37	0,81
4/ 42	3,96	0,25	1,73	4,92	15,60	0,34	0,37	0,21
4/ 43	3,97	0,25	1,79	4,95	16,13	0,05	0,03	0,52
4/ 44	3,98	0,25	2,02	6,33	16,33	0,24	1,38	0,20
4/ 45	3,99	0,25	2,46	7,51	17,29	0,44	1,18	0,96
4/ 46	4,09	0,24	2,49	7,51	17,33	0,03	0,01	0,04
4/ 47	4,09	0,24	2,52	8,54	17,54	0,03	1,03	0,21
4/ 48	4,11	0,24	2,55	8,57	18,39	0,03	0,03	0,84
4/ 49	4,17	0,24	2,65	8,81	18,40	0,10	0,24	0,02
4/ 50	4,28	0,23	2,66	8,83	18,84	0,00	0,02	0,44

Portique 2D :

Tableau 2: Pourcentage de participation de masse.

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]	Masses Cumulées UZ [%]	Masse Modale UX [%]	Masse Modale UY [%]	Masse Modale UZ [%]
4/ 1	0,18	5,56	0,23	3,00	6,06	0,23	3,00	6,06
4/ 2	0,23	4,36	0,23	7,44	10,85	0,00	4,44	4,79
4/ 3	0,47	2,15	0,27	9,74	28,69	0,04	2,30	17,84
4/ 4	0,47	2,14	0,28	10,17	31,33	0,01	0,43	2,64
4/ 5	0,50	2,02	0,29	10,20	32,01	0,01	0,04	0,68
4/ 6	0,50	2,00	0,42	10,21	52,62	0,13	0,00	20,62
4/ 7	0,50	1,99	0,51	10,21	66,92	0,09	0,00	14,29
4/ 8	0,63	1,59	0,51	10,80	68,58	0,00	0,59	1,67
4/ 9	0,81	1,23	0,51	18,56	68,62	0,01	7,76	0,03
4/ 10	0,86	1,16	0,51	18,57	68,64	0,00	0,01	0,02
4/ 11	0,88	1,14	0,53	34,79	70,22	0,01	16,22	1,58
4/ 12	0,89	1,13	0,56	40,57	70,27	0,04	5,78	0,05
4/ 13	0,89	1,13	0,57	40,66	70,27	0,01	0,10	0,01
4/ 14	0,89	1,12	0,64	42,66	70,55	0,07	2,00	0,27
4/ 15	0,92	1,08	0,65	45,00	70,76	0,01	2,34	0,21
4/ 16	0,94	1,06	0,67	45,84	70,76	0,02	0,84	0,00
4/ 17	0,97	1,03	0,67	45,84	70,77	0,00	0,00	0,00
4/ 18	1,02	0,98	0,72	60,93	70,77	0,04	15,10	0,01
4/ 19	1,09	0,92	0,73	61,14	71,34	0,02	0,21	0,57
4/ 20	1,18	0,85	0,74	64,33	71,65	0,01	3,19	0,31
4/ 21	1,26	0,80	0,75	64,44	72,29	0,00	0,11	0,64
4/ 22	1,31	0,76	0,75	64,73	72,98	0,00	0,29	0,69
4/ 23	1,36	0,74	0,76	64,82	73,54	0,01	0,09	0,56
4/ 24	1,36	0,73	0,77	65,00	75,89	0,01	0,18	2,35
4/ 25	1,36	0,73	0,77	65,15	76,00	0,00	0,15	0,11
4/ 26	1,58	0,63	0,92	65,17	76,09	0,15	0,02	0,08
4/ 27	1,66	0,60	0,92	65,19	76,11	0,00	0,02	0,02
4/ 28	1,75	0,57	0,93	65,23	76,11	0,00	0,04	0,00
4/ 29	1,76	0,57	0,96	65,29	76,14	0,03	0,06	0,03
4/ 30	1,77	0,57	0,97	65,36	76,16	0,02	0,07	0,02

4/ 30	1,77	0,57	0,97	65,36	76,16	0,02	0,07	0,02
4/ 31	1,83	0,55	0,97	65,37	76,22	0,00	0,01	0,06
4/ 32	2,07	0,48	1,41	65,38	76,22	0,44	0,01	0,00
4/ 33	2,11	0,47	1,43	65,53	76,22	0,01	0,14	0,00
4/ 34	2,16	0,46	1,95	65,53	76,44	0,52	0,00	0,22
4/ 35	2,18	0,46	5,03	65,57	76,44	3,08	0,04	0,00
4/ 36	2,20	0,45	5,03	65,57	76,73	0,00	0,00	0,28
4/ 37	2,21	0,45	5,16	65,60	77,33	0,13	0,03	0,61
4/ 38	2,24	0,45	5,41	65,61	77,33	0,25	0,01	0,00
4/ 39	2,35	0,43	5,68	65,88	77,41	0,27	0,27	0,08
4/ 40	2,38	0,42	11,32	65,93	77,87	5,63	0,05	0,46
4/ 41	2,39	0,42	11,33	65,93	78,03	0,02	0,00	0,16
4/ 42	2,44	0,41	11,34	65,94	78,07	0,00	0,01	0,03
4/ 43	2,44	0,41	11,34	65,94	78,07	0,00	0,00	0,01
4/ 44	2,57	0,39	11,39	65,97	78,14	0,05	0,03	0,06
4/ 45	2,59	0,39	11,40	66,00	78,15	0,01	0,03	0,01
4/ 46	2,61	0,38	12,09	66,01	78,15	0,69	0,01	0,01
4/ 47	2,75	0,36	12,17	67,00	78,30	0,08	0,99	0,15
4/ 48	2,80	0,36	12,17	67,05	78,36	0,00	0,05	0,06
4/ 49	2,93	0,34	12,17	67,06	78,55	0,00	0,01	0,19
4/ 50	2,95	0,34	12,18	67,23	78,80	0,01	0,17	0,25

III.2. Observation :

L'analyse de la participation de masse dans ce modèle de structure révèle une tendance où l'augmentation du nombre de modes ne se traduit pas par une augmentation significative de la participation de masse. Cette observation suggère la nécessité d'une approche plus exhaustive dans la capture du comportement dynamique, en particulier pour la toiture de la structure étudiée. Ainsi, afin de mieux représenter les effets dynamiques, une expansion du nombre de modes analysés à 50 a été réalisée. Cette démarche vise à garantir une représentation plus précise et complète des caractéristiques dynamiques de la toiture, crucial dans les études de charge variable et de réponse dynamique complexe.

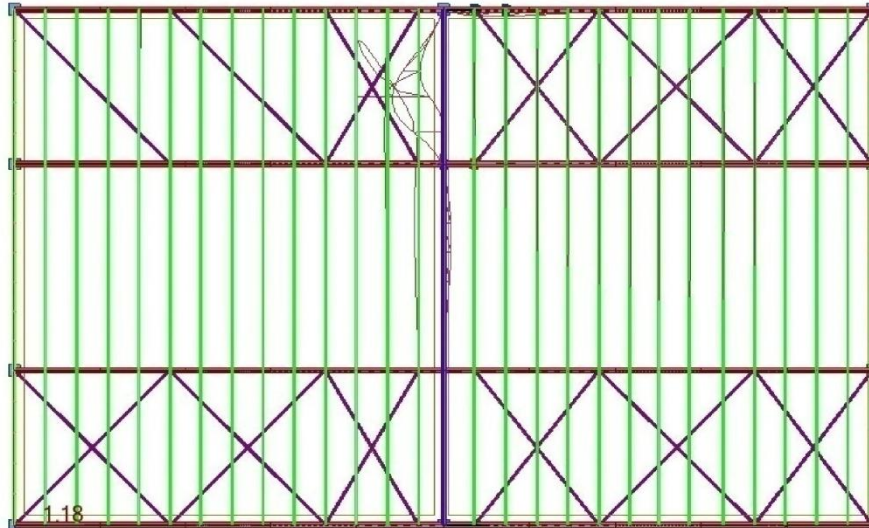
III.3. Les réponses modales de la structure

➤ Déformation modale

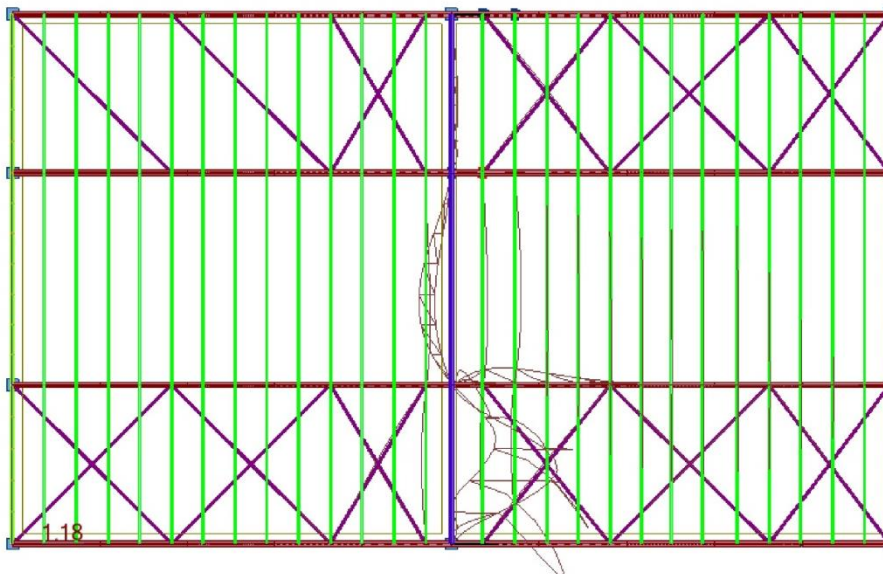
La déformation de la toiture suivant les modes de vibration les plus prépondérants est illustrés par les figures suivantes :

• Treillis 3D :

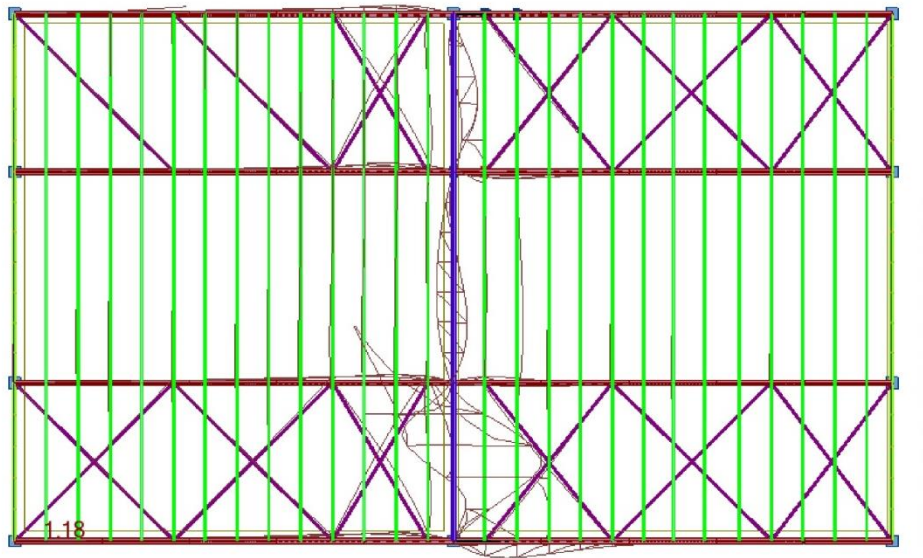
- **Mode 1** : Translation suivant Y-Y, avec une déformée au niveau de la dégradation du toitutre :



-**Mode 2** : Translation suivant X-X, avec une déformée au niveau de la dégradation du toitutre :

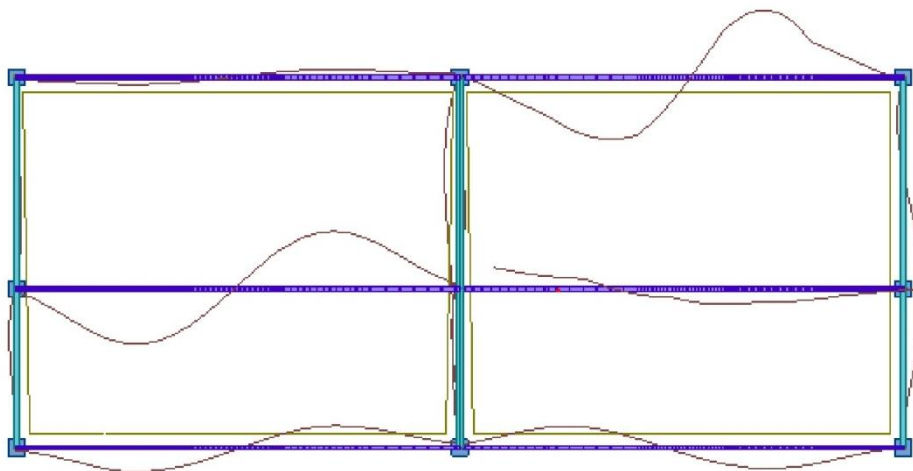


- **Mode 3**: rotation par rapport à la dégradation de la ferme (partie dégradée). Dans les trois modes, l'endroit le plus déformé est au niveau de la dégradation.

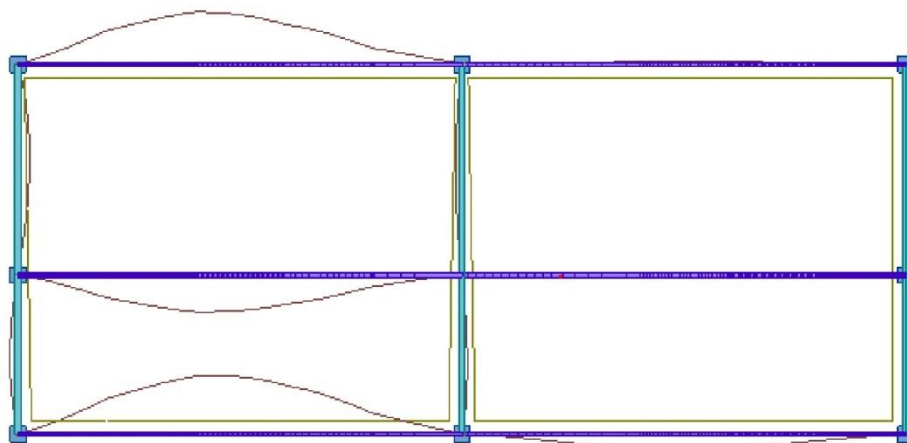


• *Portique 2D :*

- **Mode 41** : Translation suivant X-X



Mode 16 : Translation suivant Y-Y



IV. Note de calculs :

Caractéristiques de l'analyse de l'exemple :

Type de structure : Coque

Coordonnées du centre géométrique de la structure:

$$X = 16.150 \text{ (m)}$$

$$Y = 9.705 \text{ (m)}$$

$$Z = 7.822 \text{ (m)}$$

Coordonnées du centre de gravité de la structure:

$$X = 16.208 \text{ (m)}$$

$$Y = 9.704 \text{ (m)}$$

$$Z = 8.368 \text{ (m)}$$

Moments d'inertie centraux de la structure:

$$I_x = 1179.874 \text{ (t*m}^2\text{)}$$

$$I_y = 2409.883 \text{ (t*m}^2\text{)}$$

$$I_z = 3539.646 \text{ (t*m}^2\text{)}$$

$$\text{Masse} = 26.226 \text{ (t)}$$

Coordonnées du centre de gravité de la structure avec la prise en compte des masses dynamiques globales:

$$X = 16.209 \text{ (m)}$$

$$Y = 9.704 \text{ (m)}$$

$$Z = 8.377 \text{ (m)}$$

Moments d'inertie centraux de la structure avec la prise en compte des masses dynamiques globales:

$$I_x = 1206.462 \text{ (t*m}^2\text{)}$$

$$I_y = 2450.350 \text{ (t*m}^2\text{)}$$

$$I_z = 3605.979 \text{ (t*m}^2\text{)}$$

$$\text{Masse} = 26.706 \text{ (t)}$$

Description de la structure

Nombre de noeuds:	512
Nombre de barres:	543
Eléments finis linéiques:	944
Eléments finis surfaciques:	0
Eléments finis volumiques:	0

Liaisons rigides:	0
Relâchements:	0
Relâchements unilatéraux:	0
Relâchements non-linéaires:	0
Compatibilités:	0
Compatibilités élastiques:	0
Compatibilités non-linéaires:	0
Appuis:	10
Appuis élastiques:	0
Appuis unilatéraux:	0
Appuis non-linéaires:	0
Rotules non-linéaires:	0
Cas:	325
Combinaisons:	297

Resumé de l'analyse

Méthode de solution - SPARSE M		
Nbre de degrés de liberté stat.:	3012	
Largeur de la bande		
avant/après optimisation:	0	0
Durée des calculs [s]		
Durée max agrégation + décomp.:	1	
Durée max itér. sur sous-espace:	3	
Durée max solution prb. nonlin.:	0	
Durée totale:	14	
Espace disque et mémoire utilisés [o]		
Espace totale du disque utilisé:	24623184	
Espace pour fichier TMP solveur:	0	
Espace pour itérat. s/sous-esp.:	1590864	
Mémoire:	5303720	
Elém. diagon. de la matrice de rigidité		
Min/Max après décomposition:	1.821600e+003	1.122194e+014
Précision:	4	

Liste de cas de charges/types de calculs**Cas 1 : PP**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 5.39768e+002 (T*m)

Précision : 3.01546e+010

Cas 2 : G

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 0.00000e+000 (T*m)

Précision : 0.00000e+000

Cas 3 : Q

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 4.57026e+004 (T*m)

Précision : 1.81192e+010

Cas 4 : Modale

Type d'analyse: Modale

Excentricité de masse **ex = 5.000 (%)** **ey = 5.000 (%)****Données:**

Mode d'analyse : Modal

Méthode : Itération sur le sous-espace

Type de matrices de masses : Cohérente

Nombre de modes : 50

Nombre d'itérations : 40

Tolérance : 1.00000e-004

Amortissement : 0.070

Limites : 0.000

Coefficient des masses participantes : 0.000

Cas 5 : EX

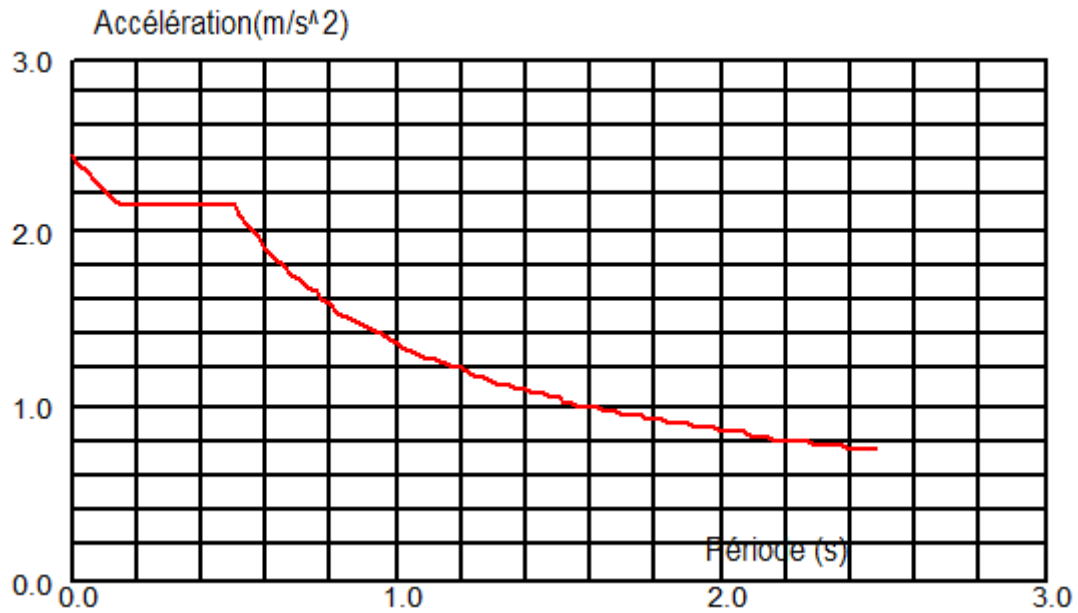
Type d'analyse: Sismique - RPA 99

Excentricité de masse **ex = 5.000 (%)** **ey = 5.000 (%)****Direction de l'excitation:**

X = 1.000

Y = 0.000

Z = 0.000

**Données:**

Zone : II
 Usage : 1B
 Assise : S3
 Coefficient de qualité : 1.200
 Coefficient de comportement : 3.000
 Amortissement : $\alpha = 5.00\%$

Paramètres du spectre:

Correction de l'amortissement : $\eta = [7/(2+\xi)]^{0,5} = 1.00$

A = 0.200

$T_1 = 0.150$

$T_2 = 0.500$

Cas 6 : EY

Type d'analyse: Sismique - RPA 99

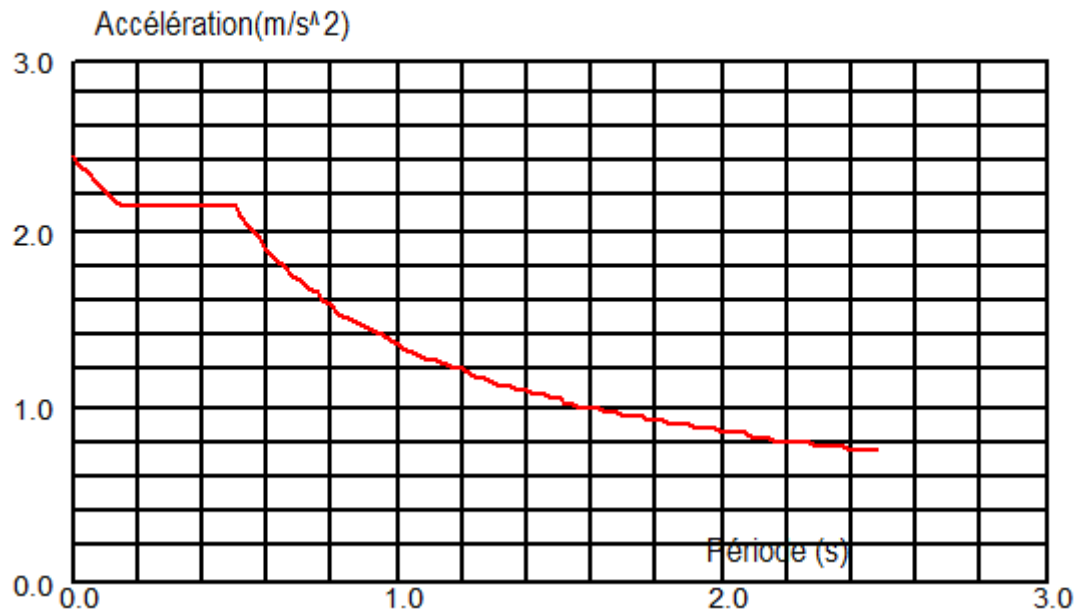
Excentricité de masse $e_x = 5.000\%$ $e_y = 5.000\%$

Direction de l'excitation:

X = 0.000

Y = 1.000

Z = 0.000

**Données :**

Zone : IIa
 Usage : 1B
 Assise (site) : S3
 Coefficient de qualité : 1.200
 Coefficient de comportement : 3.000
 Amortissement : $\alpha = 5.00\%$

Paramètres du spectre:

Correction de l'amortissement : $\eta = [7/(2+\xi)]^{0,5} = 1.00$

A = 0.200

T₁ = 0.150

T₂ = 0.500

Cas 7 : G+Q

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 8 : 1.35G+1.5Q

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 9 : Vent 0 deg sur.(+)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 6.12578e+003 (T*m)

Précision : 3.50221e+010

Cas 10 : Vent 0 deg dép.(-)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 1.05226e+002 (T*m)

Précision : 1.06342e+010

Cas 11 : Vent 45 deg sur.(+)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 7.70714.e+003 (T*m)

Précision : 9.80931e+010

Cas 12 : Vent 45 deg dép.(-)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 7.63997e+003 (T*m)

Précision : 2.07831e+009

Cas 13 : Vent 90 deg sur.(+)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 9.42220e+003 (T*m)

Précision : 1.37793e+009

Cas 14 : Vent 90 deg dép.(-)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 2.47436e+003 (T*m)

Précision : 1.85651e+009

Cas 15 : Vent 135 deg sur.(+)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 6.91424e+003 (T*m)

Précision : 2.02433e+010

Cas 16 : Vent 135 deg dép.(-)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 7.38231e+003 (T*m)

Précision : 1.44889e+010

Cas 17 : Vent 180 deg sur.(+)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 6.04657e+003 (T*m)

Précision : 1.02643e+010

Cas 18 : Vent 180 deg dép.(-)

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 1.03602e+002 (T*m)

Précision : 1.11712e+010

Cas 19 : **Vent 225 deg sur.(+)**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 7.61574e+003 (T*m)

Précision : 1.77815e+009

Cas 20 : **Vent 225 deg dép.(-)**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 7.10142e+003 (T*m)

Précision : 9.51538e+010

Cas 21 : **Vent 270 deg sur.(+)**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 9.48622e+003 (T*m)

Précision : 6.82623e+010

Cas 22 : **Vent 270 deg dép.(-)**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 2.37601e+003 (T*m)

Précision : 2.19580e+009

Cas 23 : **Vent 315 deg sur.(+)**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 7.80031e+003 (T*m)

Précision : 1.18612e+009

Cas 24 : **Vent 315 deg dép.(-)**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 7.57228e+003 (T*m)

Précision : 1.18403e+009

Cas 25 : **Neige cas I**

Type d'analyse: Statique linéaire

Energie potentielle : 0.00000e+000 (T*m)

Précision : 0.00000e+000

Cas 26 : **EFF**

Type d'analyse:

Cas 27 : **EFF+**

Type d'analyse:

Cas 28 : EFF-

Type d'analyse:

Cas 29 : DEP

Type d'analyse:

Cas 30 : ACC

Type d'analyse:

Cas 31 : $EFF/1=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 32 : $EFF/2=1*1.33 + 2*1.33$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 33 : $EFF/3=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 34 : $EFF/4=1*1.00 + 2*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 35 : $EFF/5=1*1.33 + 2*1.33 + 9*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 36 : $EFF/6=1*1.33 + 2*1.33 + 10*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 37 : $EFF/7=1*1.33 + 2*1.33 + 11*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 38 : $EFF/8=1*1.33 + 2*1.33 + 12*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 39 : $EFF/9=1*1.33 + 2*1.33 + 13*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 40 : $EFF/10=1*1.33 + 2*1.33 + 14*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 41 : $EFF/11=1*1.33 + 2*1.33 + 15*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 42 : $EFF/12=1*1.33 + 2*1.33 + 16*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 43 : $EFF/13=1*1.33 + 2*1.33 + 17*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 44 : $EFF/14=1*1.33 + 2*1.33 + 18*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 45 : $EFF/15=1*1.33 + 2*1.33 + 19*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 46 : $EFF/16=1*1.33 + 2*1.33 + 20*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 47 : $EFF/17=1*1.33 + 2*1.33 + 21*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 48 : $EFF/18=1*1.33 + 2*1.33 + 22*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 49 : $EFF/19=1*1.33 + 2*1.33 + 23*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 50 : $EFF/20=1*1.33 + 2*1.33 + 24*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 51 : $EFF/21=1*1.00 + 2*1.00 + 9*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 52 : $EFF/22=1*1.00 + 2*1.00 + 10*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 53 : $EFF/23=1*1.00 + 2*1.00 + 11*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 54 : $EFF/24=1*1.00 + 2*1.00 + 12*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 55 : $EFF/25=1*1.00 + 2*1.00 + 13*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 56 : $EFF/26=1*1.00 + 2*1.00 + 14*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 57 : $EFF/27=1*1.00 + 2*1.00 + 15*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 58 : $EFF/28=1*1.00 + 2*1.00 + 16*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 59 : $EFF/29=1*1.00 + 2*1.00 + 17*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 60 : $EFF/30=1*1.00 + 2*1.00 + 18*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 61 : $EFF/31=1*1.00 + 2*1.00 + 19*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 62 : $EFF/32=1*1.00 + 2*1.00 + 20*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 63 : $EFF/33=1*1.00 + 2*1.00 + 21*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 64 : $EFF/34=1*1.00 + 2*1.00 + 22*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 65 : $EFF/35=1*1.00 + 2*1.00 + 23*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 66 : $EFF/36=1*1.00 + 2*1.00 + 24*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 67 : $EFF/37=1*1.33 + 2*1.33 + 25*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 68 : $EFF/38=1*1.00 + 2*1.00 + 25*1.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 69 : $EFF/39=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 9*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 70 : $EFF/40=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 10*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 71 : $EFF/41=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 11*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 72 : $EFF/42=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 12*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 73 : $EFF/43=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 13*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 74 : $EFF/44=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 14*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 75 : $EFF/45=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 15*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 76 : $EFF/46=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 16*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 77 : $EFF/47=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 17*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 78 : $EFF/48=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 18*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 79 : $EFF/49=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 19*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 80 : $EFF/50=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 20*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 81 : $EFF/51=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 21*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 82 : $EFF/52=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 22*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 83 : $EFF/53=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 23*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 84 : $EFF/54=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 24*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 85 : $EFF/55=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 9*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 86 : $EFF/56=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 10*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 87 : $EFF/57=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 11*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 88 : $EFF/58=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 12*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 89 : $EFF/59=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 13*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 90 : $EFF/60=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 14*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 91 : $EFF/61=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 15*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 92 : $EFF/62=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 16*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 93 : $EFF/63=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 17*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 94 : $EFF/64=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 18*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 95 : $EFF/65=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 19*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 96 : $EFF/66=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 20*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 97 : $EFF/67=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 21*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 98 : $EFF/68=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 22*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 99 : $EFF/69=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 23*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 100 : $EFF/70=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 24*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 101 : $EFF/71=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 25*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 102 : $EFF/72=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.42 + 25*1.42$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 103 : $EFF/73=1*1.33 + 2*1.33 + 9*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 104 : $EFF/74=1*1.33 + 2*1.33 + 10*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 105 : $EFF/75=1*1.33 + 2*1.33 + 11*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 106 : $EFF/76=1*1.33 + 2*1.33 + 12*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 107 : $EFF/77=1*1.33 + 2*1.33 + 13*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 108 : $EFF/78=1*1.33 + 2*1.33 + 14*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 109 : $EFF/79=1*1.33 + 2*1.33 + 15*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 110 : $EFF/80=1*1.33 + 2*1.33 + 16*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 111 : $EFF/81=1*1.33 + 2*1.33 + 17*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 112 : $EFF/82=1*1.33 + 2*1.33 + 18*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 113 : $EFF/83=1*1.33 + 2*1.33 + 19*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 114 : $EFF/84=1*1.33 + 2*1.33 + 20*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 115 : $EFF/85=1*1.33 + 2*1.33 + 21*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 116 : $EFF/86=1*1.33 + 2*1.33 + 22*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 117 : $EFF/87=1*1.33 + 2*1.33 + 23*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 118 : $EFF/88=1*1.33 + 2*1.33 + 24*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 119 : $EFF/89=1*1.00 + 2*1.00 + 9*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 120 : $EFF/90=1*1.00 + 2*1.00 + 10*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 121 : $EFF/91=1*1.00 + 2*1.00 + 11*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 122 : $EFF/92=1*1.00 + 2*1.00 + 12*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 123 : $EFF/93=1*1.00 + 2*1.00 + 13*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 124 : $EFF/94=1*1.00 + 2*1.00 + 14*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 125 : $EFF/95=1*1.00 + 2*1.00 + 15*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 126 : $EFF/96=1*1.00 + 2*1.00 + 16*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 127 : $EFF/97=1*1.00 + 2*1.00 + 17*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 128 : $EFF/98=1*1.00 + 2*1.00 + 18*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 129 : $EFF/99=1*1.00 + 2*1.00 + 19*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 130 : $EFF/100=1*1.00 + 2*1.00 + 20*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 131 : $EFF/101=1*1.00 + 2*1.00 + 21*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 132 : $EFF/102=1*1.00 + 2*1.00 + 22*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 133 : $EFF/103=1*1.00 + 2*1.00 + 23*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 134 : $EFF/104=1*1.00 + 2*1.00 + 24*1.42 + 25*0.71$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 135 : $EFF/105=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 9*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 136 : $EFF/106=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 10*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 137 : $EFF/107=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 11*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 138 : $EFF/108=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 12*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 139 : $EFF/109=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 13*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 140 : $EFF/110=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 14*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 141 : $EFF/111=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 15*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 142 : $EFF/112=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 16*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 143 : $EFF/113=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 17*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 144 : $EFF/114=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 18*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 145 : $EFF/115=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 19*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 146 : $EFF/116=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 20*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 147 : $EFF/117=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 21*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 148 : $EFF/118=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 22*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 149 : $EFF/119=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 23*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 150 : $EFF/120=1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.33 + 24*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 151 : $EFF/121=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 9*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 152 : $EFF/122=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 10*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 153 : $EFF/123=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 11*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 154 : $EFF/124=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 12*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 155 : $EFF/125=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 13*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 156 : $EFF/126=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 14*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 157 : $EFF/127=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 15*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 158 : $EFF/128=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 16*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 159 : $EFF/129=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 17*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 160 : $EFF/130=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 18*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 161 : $EFF/131=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 19*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 162 : $EFF/132=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 20*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 163 : $EFF/133=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 21*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 164 : $EFF/134=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 22*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 165 : $EFF/135=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 23*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 166 : $EFF/136=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.33 + 24*1.33 + 25*0.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 167 : $EFF/137=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 9*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 168 : $EFF/138=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 169 : $EFF/139=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 11*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 170 : $EFF/140=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 12*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 171 : $EFF/141=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 13*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 172 : $EFF/142=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 14*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 173 : $EFF/143=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 15*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 174 : $EFF/144=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 16*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 175 : $EFF/145=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 17*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 176 : $EFF/146=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 18*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 177 : $EFF/147=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 19*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 178 : $EFF/148=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 20*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 179 : $EFF/149=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 21*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 180 : $EFF/150=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 22*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 181 : $EFF/151=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 23*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 182 : $EFF/152=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 24*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 183 : $EFF/153=1*1.00 + 2*1.00 + 9*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 184 : $EFF/154=1*1.00 + 2*1.00 + 10*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 185 : $EFF/155=1*1.00 + 2*1.00 + 11*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 186 : $EFF/156=1*1.00 + 2*1.00 + 12*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 187 : $EFF/157=1*1.00 + 2*1.00 + 13*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 188 : $EFF/158=1*1.00 + 2*1.00 + 14*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 189 : $EFF/159=1*1.00 + 2*1.00 + 15*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 190 : $EFF/160=1*1.00 + 2*1.00 + 16*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 191 : $EFF/161=1*1.00 + 2*1.00 + 17*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 192 : $EFF/162=1*1.00 + 2*1.00 + 18*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 193 : $EFF/163=1*1.00 + 2*1.00 + 19*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 194 : $EFF/164=1*1.00 + 2*1.00 + 20*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 195 : $EFF/165=1*1.00 + 2*1.00 + 21*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 196 : $EFF/166=1*1.00 + 2*1.00 + 22*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 197 : $EFF/167=1*1.00 + 2*1.00 + 23*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 198 : $EFF/168=1*1.00 + 2*1.00 + 24*1.75$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 199 : $EFF/169=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 25*1.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 200 : $EFF/170=1*1.00 + 2*1.00 + 25*1.67$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 201 : $EFF/171=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 9*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 202 : $EFF/172=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 203 : $EFF/173=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 11*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 204 : $EFF/174=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 12*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 205 : $EFF/175=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 13*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 206 : $EFF/176=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 14*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 207 : $EFF/177=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 15*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 208 : $EFF/178=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 16*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 209 : $EFF/179=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 17*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 210 : $EFF/180=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 18*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 211 : $EFF/181=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 19*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 212 : $EFF/182=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 20*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 213 : $EFF/183=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 21*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 214 : $EFF/184=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 22*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 215 : $EFF/185=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 23*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 216 : $EFF/186=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 24*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 217 : $EFF/187=1*1.00 + 2*1.00 + 9*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 218 : $EFF/188=1*1.00 + 2*1.00 + 10*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 219 : $EFF/189=1*1.00 + 2*1.00 + 11*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 220 : $EFF/190=1*1.00 + 2*1.00 + 12*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 221 : $EFF/191=1*1.00 + 2*1.00 + 13*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 222 : $EFF/192=1*1.00 + 2*1.00 + 14*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 223 : $EFF/193=1*1.00 + 2*1.00 + 15*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 224 : $EFF/194=1*1.00 + 2*1.00 + 16*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 225 : $EFF/195=1*1.00 + 2*1.00 + 17*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 226 : $EFF/196=1*1.00 + 2*1.00 + 18*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 227 : $EFF/197=1*1.00 + 2*1.00 + 19*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 228 : $EFF/198=1*1.00 + 2*1.00 + 20*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 229 : $EFF/199=1*1.00 + 2*1.00 + 21*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 230 : $EFF/200=1*1.00 + 2*1.00 + 22*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 231 : $EFF/201=1*1.00 + 2*1.00 + 23*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 232 : $EFF/202=1*1.00 + 2*1.00 + 24*1.75 + 25*0.83$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 233 : $DEP/1=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 234 : $DEP/2=1*1.00 + 2*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 235 : $DEP/3=1*1.00 + 2*1.00 + 9*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 236 : $DEP/4=1*1.00 + 2*1.00 + 10*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 237 : $DEP/5=1*1.00 + 2*1.00 + 11*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 238 : $DEP/6=1*1.00 + 2*1.00 + 12*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 239 : $DEP/7=1*1.00 + 2*1.00 + 13*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 240 : $DEP/8=1*1.00 + 2*1.00 + 14*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 241 : $DEP/9=1*1.00 + 2*1.00 + 15*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 242 : $DEP/10=1*1.00 + 2*1.00 + 16*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 243 : $DEP/11=1*1.00 + 2*1.00 + 17*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 244 : $DEP/12=1*1.00 + 2*1.00 + 18*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 245 : $DEP/13=1*1.00 + 2*1.00 + 19*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 246 : $DEP/14=1*1.00 + 2*1.00 + 20*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 247 : $DEP/15=1*1.00 + 2*1.00 + 21*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 248 : $DEP/16=1*1.00 + 2*1.00 + 22*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 249 : DEP/17=1*1.00 + 2*1.00 + 23*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 250 : DEP/18=1*1.00 + 2*1.00 + 24*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 251 : DEP/19=1*1.00 + 2*1.00 + 25*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 252 : DEP/20=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 9*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 253 : DEP/21=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 254 : DEP/22=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 11*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 255 : DEP/23=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 12*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 256 : DEP/24=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 13*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 257 : DEP/25=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 14*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 258 : DEP/26=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 15*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 259 : DEP/27=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 16*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 260 : DEP/28=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 17*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 261 : DEP/29=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 18*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 262 : DEP/30=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 19*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 263 : DEP/31=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 20*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 264 : DEP/32=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 21*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 265 : DEP/33=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 22*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 266 : DEP/34=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 23*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 267 : DEP/35=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 24*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 268 : DEP/36=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 25*1.00

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 269 : DEP/37=1*1.00 + 2*1.00 + 9*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 270 : DEP/38=1*1.00 + 2*1.00 + 10*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 271 : DEP/39=1*1.00 + 2*1.00 + 11*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 272 : DEP/40=1*1.00 + 2*1.00 + 12*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 273 : DEP/41=1*1.00 + 2*1.00 + 13*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 274 : DEP/42=1*1.00 + 2*1.00 + 14*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 275 : DEP/43=1*1.00 + 2*1.00 + 15*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 276 : DEP/44=1*1.00 + 2*1.00 + 16*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 277 : DEP/45=1*1.00 + 2*1.00 + 17*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 278 : DEP/46=1*1.00 + 2*1.00 + 18*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 279 : DEP/47=1*1.00 + 2*1.00 + 19*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 280 : DEP/48=1*1.00 + 2*1.00 + 20*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 281 : DEP/49=1*1.00 + 2*1.00 + 21*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 282 : DEP/50=1*1.00 + 2*1.00 + 22*1.00 + 25*0.50

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 283 : $DEP/51=1*1.00 + 2*1.00 + 23*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 284 : $DEP/52=1*1.00 + 2*1.00 + 24*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 285 : $DEP/53=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 9*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 286 : $DEP/54=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 287 : $DEP/55=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 11*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 288 : $DEP/56=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 12*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 289 : $DEP/57=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 13*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 290 : $DEP/58=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 14*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 291 : $DEP/59=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 15*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 292 : $DEP/60=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 16*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 293 : $DEP/61=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 17*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 294 : $DEP/62=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 18*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 295 : $DEP/63=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 19*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 296 : $DEP/64=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 20*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 297 : $DEP/65=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 21*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 298 : $DEP/66=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 22*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 299 : $DEP/67=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 23*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 300 : $DEP/68=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 24*1.00 + 25*0.50$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 301 : $ACC/1=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 25*0.10 + 5*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 302 : $ACC/2=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 5*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 303 : $ACC/3=1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 304 : $ACC/4=1*1.00 + 2*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 305 : $ACC/5=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 25*0.10 + 6*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 306 : $ACC/6=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 6*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 307 : $ACC/7=1*1.00 + 2*1.00 + 6*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 308 : $ACC/8=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 25*0.10 + 5*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 309 : $ACC/9=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 5*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 310 : $ACC/10=1*1.00 + 2*1.00 + 5*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 311 : $ACC/11=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 25*0.10 + 6*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 312 : $ACC/12=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.80 + 6*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 313 : $ACC/13=1*1.00 + 2*1.00 + 6*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 314 : $ACC/14=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.40 + 25*0.20 + 5*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 315 : $ACC/15=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.20 + 5*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 316 : $ACC/16=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.40 + 25*0.20 + 6*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 317 : $ACC/17=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.20 + 6*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 318 : $ACC/18=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.40 + 25*0.20 + 5*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 319 : $ACC/19=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.20 + 5*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 320 : $ACC/20=1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.40 + 25*0.20 + 6*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 321 : $ACC/21=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.20 + 6*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 322 : $ACC/22=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.30 + 5*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 323 : $ACC/23=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.30 + 6*1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 324 : $ACC/24=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.30 + 5*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

Cas 325 : $ACC/25=1*1.00 + 2*1.00 + 25*0.30 + 6*-1.00$

Type d'analyse: Combinaison linéaire

V. Résultats de l'Étude Sismique

Les résultats de l'analyse sismique obtenus avec Robot Structural Analysis 2010 montrent que la charpente métallique de la toiture de la salle de sport présente une bonne résistance aux charges sismiques. Voici les principales observations :

- **Déformations et Déplacements :** Les déformations et les déplacements horizontaux et verticaux de la structure sont restés dans les limites acceptables. Les déplacements maximaux observés ne compromettent pas la stabilité de la structure.
- **Forces Internes :** Les forces internes générées par les charges sismiques sont faibles comparées aux capacités de résistance des éléments de la charpente métallique. Les efforts tranchants et les moments de flexion sont bien en dessous des limites critiques.
- **Facteur de Sécurité :** Le facteur de sécurité calculé pour les différentes parties de la structure est largement supérieur au minimum requis par les normes. Cela indique une marge de sécurité confortable.

- **Répartition des Charges :** La répartition des charges sismiques est uniforme et ne crée pas de points de concentration de stress excessif.

VI. Conclusion

L'analyse sismique effectuée confirme que la charpente métallique de la toiture de la salle de sport est bien conçue pour résister aux effets des tremblements de terre. Même si les charges sismiques sont relativement négligeables pour la partie toiture, l'étude a permis de vérifier que tous les éléments sont conformes aux exigences de sécurité et aux normes en vigueur.

Cette analyse, réalisée avec Robot Structural Analysis 2010, assure que la structure métallique offre une sécurité adéquate face aux éventuels séismes, complétant ainsi les études des actions du vent et de la neige déjà réalisées. Les résultats obtenus renforcent la confiance dans la robustesse et la durabilité de la conception choisie pour cette salle de sport.

Chapitre V

Dimensionnements des éléments de la toiture

I. Introduction :

J'ai réalisé le calcul en utilisant le logiciel Robot Structural, qui dispose de fonctionnalités pour le dimensionnement et les vérifications des éléments (résistance au flambement, résistance au déversement, vérification des flèches et des déplacements) en fonction du profilé sélectionné et de sa méthode de sollicitation.

II. Guide de Dimensionnement avec ROBOT :

Avant de commencer la modélisation de la structure, nous avons défini préalablement quelques paramètres (Préférences de l'affaire), concernant les règlements adoptés pour les calculs, et les unités utilisées.

- Unité et dimension : N, m et cm
- Charge de Neige et Vent : DTR C2-47/NV2013
- Charge sismique : RPA99 (2003)

Nous pouvons maintenant entamer la modélisation de la structure, une étape essentielle pour procéder au dimensionnement avec le logiciel ROBOT. Cette étape implique la création d'une représentation 3D de la structure à analyser, en choisissant judicieusement pour chaque élément des profils couramment adoptés.

Suite à la modélisation, nous avançons vers la phase de chargement, où nous attribuons à la structure les différentes charges qu'elle doit utiliser.

Notre structure est soumise aux charges suivantes :

- Poids propre de la toiture.
- Charges permanentes (panneau sandwich,).
- Charges d'exploitations.
- Charges climatiques (vent, neige).
- Charges sismiques.

Après avoir complété le chargement de la structure, nous nous engageons dans la définition des combinaisons de charges (ELU, ELS, ACC) que le logiciel utilise pour effectuer le dimensionnement et les vérifications. Nous assignons ensuite aux différents types d'éléments les paramètres pertinents pour le calcul du flambement et du déversement à l'ELU, ainsi que

les déplacements et flèches limites pour le calcul à l'ELS, en fonction du type spécifique de chaque élément, et nous démarrons l'analyse structurelle.

Une fois ces étapes accomplies, nous pouvons procéder au prédimensionnement des éléments de la structure de la manière suivante : Pour réaliser un prédimensionnement automatique avec ROBOT, il est nécessaire de créer pour chaque catégorie d'éléments une "famille", en identifiant une liste d'éléments similaires (par exemple, montants, poutres, membrures supérieures de la charpente...) et une liste de profils correspondants avec lesquels le logiciel devrait dimensionner notre élément. Nous lançons ensuite le calcul et choisissons parmi les options proposées par le logiciel le profilé le plus approprié à notre situation.

II.1. Les vérifications à faire sont :

1. La traction :

$$N_{sd} \leq N_{rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{m0}} \quad \text{EC3 Art 5.4.3.1}$$

2. flambement :

$$N_{sd} \leq N_{rd} = \chi_{\min} \times \beta_A \times A \times \frac{f_y}{\gamma_{m1}} \quad \text{EC3 Art 5.5.1.1}$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \left[\Phi^2 - \bar{\lambda}^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} \quad \text{Avec} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$\bar{\lambda} = \left[\frac{\lambda}{\lambda_1} \right] [\beta_a]^{0,5} \quad \text{avec} \quad \beta_a = 1$$

Section de classe 01

3. La condition de résistance :

$$\frac{N_{sd}}{N_{rd}} < 1$$

N_{sd} : Effort normal sollicitant.

N_{rd} : Effort résistant.

III. Efforts max sollicitant les éléments structuraux de la toiture:

III.1. Ferme en Treillis 3D :

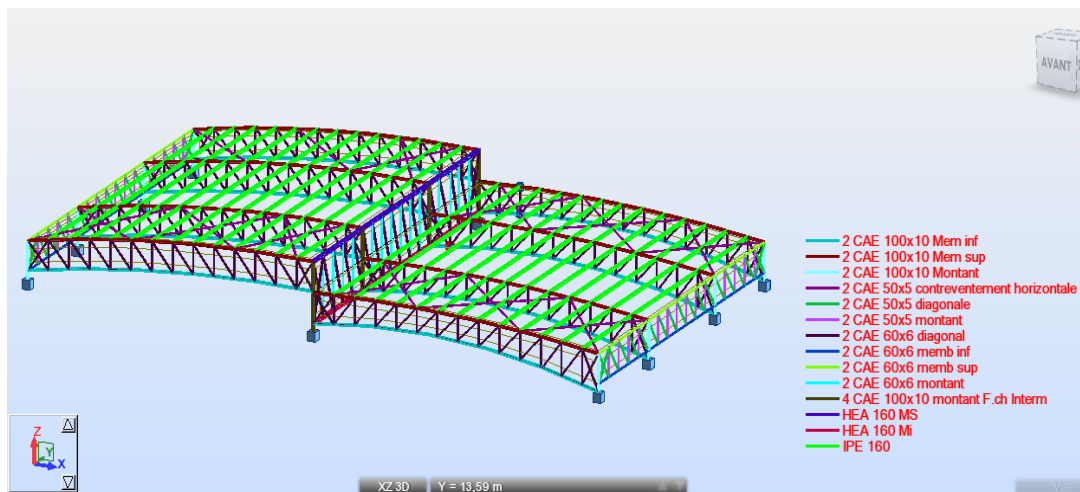


Figure 60 : capture par ROBOT de la partie toiture en treillis.

Il s’agit des éléments en une cornière ou double cornières sollicités en (traction, compression).

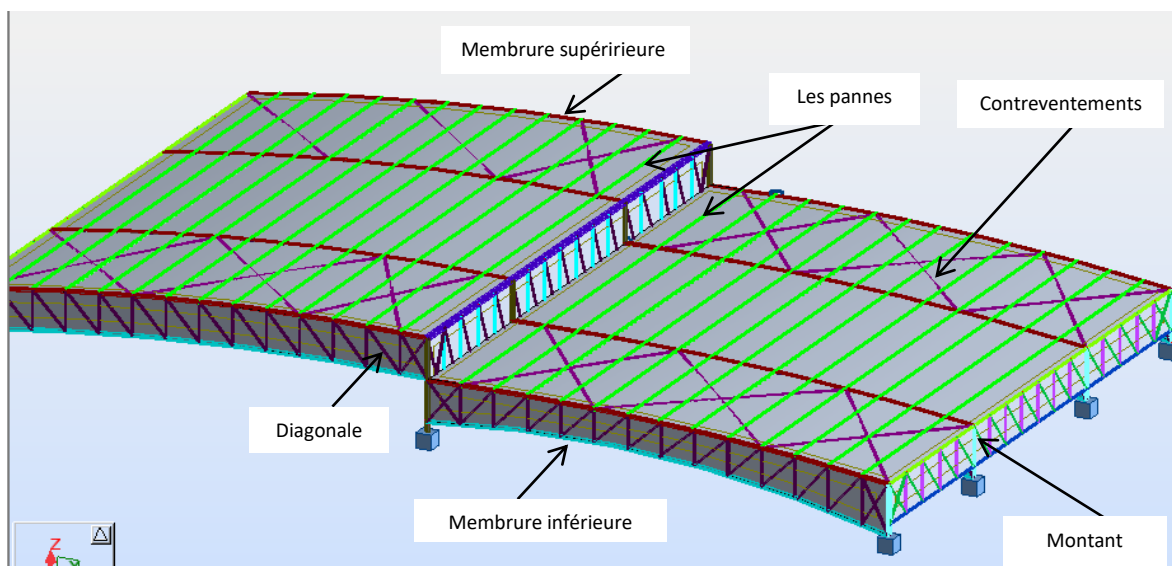


Figure 61: terminologie des éléments constitutifs de la ferme en treillis.

Les efforts max globaux enveloppés puisés de logiciel ROBOT sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau 3 : Efforts max sollicitant les membrures inférieures :

Elément	Profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression Max (+) KN
Membrures	2CAE100x10	ELU	26.10	93.40
		ELS	19.10	68.60
		ELA	16.20	66.20
inférieures	2CAE60x6	ELU	6.90	5.80
		ELS	5.00	4.10
		ELA	5.00	4.10
	HEA 160	ELU	31.90	40.80
		ELS	23.50	30.10
		ELA	22.60	29.60

Tableau 4 : Efforts max sollicitant les membrures supérieures :

Elément	Profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression Max (+) KN
Membrures	2CAE100x10	ELU	25.50	8.50
		ELS	18.60	65.00
		ELA	15.40	61.90
supérieures	2CAE60x6	ELU	16.50	2.60
		ELS	12.00	1.90
		ELA	12.00	1.90
	HEA 160	ELU	0.10	74.40
		ELS	0.10	54.90
		ELU	0.30	53.60

Tableau 5 : Efforts max sollicitant les montants :

Elément	Profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression Max (+) KN
Mantants	2CAE100x10	ELU	7.70	28.40
		ELS	5.60	20.80
		ELA	5.00	20.00
	2CAE60x6	ELU	38.40	40.60
		ELS	28.30	30.00
		ELA	27.30	29.10
	2CAE50x5	ELU	3.60	2.50
		ELS	2.70	1.80

		ELA	2.30	1.80
--	--	-----	------	------

Tableau 6: Efforts max sollicitant les montants F.Ch.Interm (ferme chingage intermediaire) :

Elément	profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression max (+) KN
Montants F.Ch.Interm	4CAE100x10	ELU	31.80	77.00
		ELS	23.50	56.80
		ELA	22.50	54.30

Tableau 7: Efforts max sollicitant les contreventements :

Elément	profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression max (+) KN
contreventements (diagonales)	2CAE50x5	ELU	9.70	28.80
		ELS	7.10	21.10
		ELA	5.20	21.10

Tableau 8: Efforts max sollicitant les diagonales :

Elément	profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression max (+) KN
Diagonales	2CAE50x5	ELU	7.40	5.10
		ELS	3.50	3.70
		ELA	3.00	3.40
	2CAE60x6	ELU	43.30	43.10
		ELS	32.00	31.80
		ELA	30.9	31.00

Tableau 9: Efforts max sollicitant les Pannes :

Elément	profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression max (+)KN
Pannes	IPE160	ELU	13.70	9.40
		ELS	18.70	12.80
		ELA	11.50	10.00

III.1.1. Notes de calcul puisées de logiciel ROBOT des différents éléments de la toiture :

A. La membrure inférieure (2 CAE 100x10) CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*

FAMILLE : **MEMBRURES INFÉRIEURES**

PIECE: **Membrure_inf_CM66_332** POINT: **3** COORDONNEE: **x = 0.82 L = 2.66 m**

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $70 \text{ EFF}/40 = 1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 10*1.42$
 $(1+2)*1.33 + (3+10)*1.42$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 100x10 Mem inf

ht=10.0 cm

bf=20.0 cm

ea=1.0 cm

es=1.0 cm

$A_y = 18.000 \text{ cm}^2$

$I_y = 353.400 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 49.220 \text{ cm}^3$

$A_z = 18.000 \text{ cm}^2$

$I_z = 662.385 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 66.106 \text{ cm}^3$

$A_x = 38.309 \text{ cm}^2$

$I_x = 12.667 \text{ cm}^4$

CONTRAINTES : $\text{SigN} = 5.34/38.309 = 13.67 \text{ MPa}$
 $\text{SigFy} = 0.53/49.220 = 106.12 \text{ MPa}$
 $\text{SigFz} = 0.05/66.106 = 6.77 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

$\text{SigN} + k_{Fy} * \text{SigFy} + k_{Fz} * \text{SigFz} = 13.67 + 1.00 * 106.12 + 1.00 * 6.77 = 119.79 < 275.00$
 MPa (3.731)

$1.54 * \text{Tau}_y = 1.54 * 0.16 = 0.25 < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)

$1.54 * \text{Tau}_z = 1.54 * 1.88 = 2.90 < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)

Profil correct !!!

B. La membrure supérieure (2 CAE 100x10)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*

FAMILLE : **MEMBRURES SUPERIEURES**

PIECE : **1040** Membrure_sup_CM66_1040 POINT : **3** COORDONNEE : $x = 0.63 L = 2.04 \text{ m}$

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $169 \text{ EFF}/139 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 11*1.75$
 $(1+2+3)*1.00 + 11*1.75$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 100x10 Mem sup

ht=10.0 cm

bf=20.0 cm

ea=1.0 cm

es=1.0 cm

$A_y = 18.000 \text{ cm}^2$

$I_y = 353.400 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 49.220 \text{ cm}^3$

$A_z = 18.000 \text{ cm}^2$

$I_z = 662.385 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 66.106 \text{ cm}^3$

$A_x = 38.309 \text{ cm}^2$

$I_x = 12.667 \text{ cm}^4$

CONTRAINTES : $\text{SigN} = 0.80/38.309 = 2.04 \text{ MPa}$
 $\text{SigFy} = 0.00/125.319 = 0.29 \text{ MPa}$
 $\text{SigFz} = 0.13/66.106 = 19.35 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

$\text{SigN} + kF_y * \text{SigFy} + kF_z * \text{SigFz} = 2.04 + 1.00 * 0.29 + 1.00 * 0.00 = 21.69 < 275.00 \text{ MPa}$
 (3.731)

$1.54 * \text{Tau}_y = 1.54 * 0.89 = 1.36 < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)

$1.54 * \text{Tau}_z = 1.54 * 0.09 = 0.14 < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)

Profil correct !!!

C. La membrure inférieure (2 CAE 60x6)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*FAMILLE : **MEMBRURES INFÉRIEURES**PIECE : **16 Membrure_inf_CM66_16** POINT : **3**
5.82 mCOORDONNEE : $x = 1.00 L =$

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $176 \text{ EFF}/146 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 18*1.75$
 $(1+2+3)*1.00 + 18*1.75$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ PARAMETRES DE LA SECTION : **2 CAE 60x6 memb inf**

ht=6.0 cm

bf=12.0 cm

ea=0.6 cm

es=0.6 cm

 $A_y = 6.480 \text{ cm}^2$ $I_y = 45.580 \text{ cm}^4$ $W_{ely} = 10.575 \text{ cm}^3$ $A_z = 6.480 \text{ cm}^2$ $I_z = 85.983 \text{ cm}^4$ $W_{elz} = 14.283 \text{ cm}^3$ $A_x = 13.817 \text{ cm}^2$ $I_x = 1.642 \text{ cm}^4$ CONTRAINTES : $\text{SigN} = -0.19/13.817 = -1.36 \text{ MPa}$ $\text{SigF}_y = -0.00/26.970 = -0.00 \text{ MPa}$ $\text{SigF}_z = -0.19/14.283 = -130.53 \text{ MPa}$ 

PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

 $\text{SigN} + \text{SigF}_y + \text{SigF}_z = -1.36 + -0.00 + 0.00 = |-131.89| < 275.00 \text{ MPa} \quad (3.731)$ $1.54 * \text{Tau}_y = |1.54 * -2.38| = |-3.67| < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$ $1.54 * \text{Tau}_z = |1.54 * -0.07| = |-0.11| < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$ **Profil correct!!!**

D. La membrure supérieure (2 CAE 60x6)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*

FAMILLE : *MEMBRURES SUPERIEURES*

PIECE : *1080 Membrure_sup_CM66_1080*

POINT : *1*

COORDONNEE :

x = 0.00 L = 0.00 m

CHARGEMENTS :

*Cas de charge décisif : 170 EFF/140=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 12*1.75*

*(1+2+3)*1.00+12*1.75*

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 60x6 memb sup

ht=6.0 cm

bf=12.0 cm

ea=0.6 cm

es=0.6 cm

$A_y=6.480$ cm²

$I_y=45.580$ cm⁴

$W_{ely}=10.575$ cm³

$A_z=6.480$ cm²

$I_z=85.983$ cm⁴

$W_{elz}=14.283$ cm³

$A_x=13.817$ cm²

$I_x=1.642$ cm⁴

CONTRAINTES : $\text{SigN} = -0.21/13.817 = -1.52$ MPa

$\text{SigFy} = 0.00/26.970 = 1.70$ MPa

$\text{SigFz} = 0.34/14.283 = 230.19$ MPa



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

$\text{SigN} + \text{SigFy} + \text{SigFz} = -1.52 + 1.70 + 230.19 = 230.38 < 275.00$ MPa (3.731)

$1.54 * \text{Tau}_y = 1.54 * 3.43 = 5.28 < 275.00$ MPa (1.313)

$1.54 * \text{Tau}_z = 1.54 * 0.16 = 0.24 < 275.00$ MPa (1.313)

Profil correct !!!

E. Montants (2CAE 60*6)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : CM66

TYPE D'ANALYSE : Vérification des pièces

FAMILLE : MONTANTS

PIECE : 9 Montant_CM66_9

POINT : 3

COORDONNEE :

$x = 0.50 L = 1.45 \text{ m}$

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $168 \text{ EFF}/138 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*1.75$
 $(1+2+3)*1.00+10*1.75$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 60x6 montant

ht=6.0 cm

bf=12.0 cm

ea=0.6 cm

es=0.6 cm

$A_y = 6.480 \text{ cm}^2$

$I_y = 45.580 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 10.575 \text{ cm}^3$

$A_z = 6.480 \text{ cm}^2$

$I_z = 85.983 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 14.283 \text{ cm}^3$

$A_x = 13.817 \text{ cm}^2$

$I_x = 1.642 \text{ cm}^4$

CONTRAINTES : $\text{SigN} = 1.22/13.817 = 8.65 \text{ MPa}$
 $\text{SigFy} = 0.03/10.575 = 31.26 \text{ MPa}$
 $\text{SigFz} = -0.00/14.283 = -0.09 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :

$L_y = 2.90 \text{ m}$

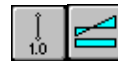
$L_{fy} = 2.32 \text{ m}$

$\text{Lambda } y = 127.74$

$\text{Muy} = 14.68$

$k_{1y} = 1.02$

$k_{Fy} = 1.12$



en z :

$L_z = 2.90 \text{ m}$

$L_{fz} = 2.90 \text{ m}$

$\text{Lambda } z = 116.25$

$\text{Muz} = 17.72$

$k_{1z} = 1.02$

$k_{Fz} = 1.09$

FORMULES DE VERIFICATION :

$k_{1y} * \text{SigN} + k_{Fy} * \text{SigFy} + k_{Fz} * \text{SigFz} = 1.02 * 8.65 + 1.12 * 31.26 + 1.09 * -0.09 = 43.73 < 275.00 \text{ MPa} \quad (3.731)$

$1.54 * \text{Tau}_y = |1.54 * -0.14| = |-0.22| < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$

$1.54 * \text{Tau}_z = 1.54 * 0.04 = 0.07 < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$

Profil correct !!!

F. Montants (2CAE 50*5)
CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE: *Vérification des pièces*

FAMILLE : *MONTANTS*

PIECE : *208 Montant_CM66_208*

POINT : *1*

COORDONNEE :

x = 0.00 L = 0.00 m

CHARGEMENTS :

*Cas de charge décisif : 76 EFF/46 = 1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 16*1.42
 (1+2)*1.33 + (3+16)*1.42*

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 50x5 montant

$ht = 5.0 \text{ cm}$

$bf = 10.0 \text{ cm}$

$ea = 0.5 \text{ cm}$

$es = 0.5 \text{ cm}$

$A_y = 4.500 \text{ cm}^2$

$I_y = 21.920 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 6.089 \text{ cm}^3$

$A_z = 4.500 \text{ cm}^2$

$I_z = 41.288 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 8.225 \text{ cm}^3$

$A_x = 9.605 \text{ cm}^2$

$I_x = 0.792 \text{ cm}^4$

CONTRAINTES : $\text{SigN} = -0.08/9.605 = -0.81 \text{ MPa}$

$\text{SigFy} = 0.01/6.089 = 18.95 \text{ MPa}$

$\text{SigFz} = -0.00/8.225 = -0.70 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

$\text{SigN} + \text{SigFy} + \text{SigFz} = -0.81 + 18.95 + -0.70 = 18.14 < 275.00 \text{ MPa} \quad (3.731)$

$1.54 * \text{Tau}_y = 1.54 * 0.03 = 0.04 < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$

$1.54 * \text{Tau}_z = |1.54 * -0.84| = |-1.29| < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$

Profil correct !!!

J. Montants (2CAE 100*10)
CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*

FAMILLE: **MONTANTS**

PIECE : *252 Montant_CM66_252*
x = 0.00 L = 0.00 m

POINT : *1*

COORDONNEE :

CHARGEMENTS :

*Cas de charge décisif : 182 EFF/152 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 24*1.75*
*(1+2+3)*1.00+24*1.75*

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 100x10 Montant

ht=10.0 cm

bf=20.0 cm

ea=1.0 cm

es=1.0 cm

$A_y = 18.000 \text{ cm}^2$

$I_y = 353.400 \text{ cm}^4$

$W_{ely} = 49.220 \text{ cm}^3$

$A_z = 18.000 \text{ cm}^2$

$I_z = 662.385 \text{ cm}^4$

$W_{elz} = 66.106 \text{ cm}^3$

$A_x = 38.309 \text{ cm}^2$

$I_x = 12.667 \text{ cm}^4$

CONTRAINTES :

$\text{SigN} = 0.32/38.309 = 0.82 \text{ MPa}$

$\text{SigFy} = 0.05/125.319 = 4.11 \text{ MPa}$

$\text{SigFz} = 0.19/66.106 = 28.00 \text{ MPa}$



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :

$L_y = 1.79 \text{ m}$

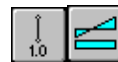
$L_{fy} = 1.43 \text{ m}$

$\text{Lambda } y = 47.15$

$\text{Muy} = 1135.58$

$k_{1y} = 1.00$

$k_{Fy} = 1.00$



en z :

$L_z = 1.79 \text{ m}$

$L_{fz} = 1.79 \text{ m}$

$\text{Lambda } z = 43.05$

$\text{Muz} = 1362.21$

$k_{1z} = 1.00$

$k_{Fz} = 1.00$

FORMULES DE VERIFICATION :

$k_{1y} * \text{SigN} + k_{Fy} * \text{SigFy} + k_{Fz} * \text{SigFz} = 1.00 * 0.82 + 1.00 * 4.11 + 1.00 * 0.00 = 32.97 < 275.00$
 MPa (3.731)

$1.54 * \text{Tau}_y = |1.54 * -3.16| = |-4.86| < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)

$1.54 * \text{Tau}_z = 1.54 * 0.71 = 1.10 < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)

Profil correct!!!

H. Montants F.ch Interm (4CAE 100*10) CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE: *Vérification des pièces*

FAMILLE : *MANTANTS*

PIECE : *865 Montant_CM66_865*
x = 0.00 L = 0.00 m

POINT : *1*

COORDONNEE :

CHARGEMENTS :

*Cas de charge décisif : 70 EFF/40 = 1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 10*1.42
(1+2)*1.33+(3+10)*1.42*

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION : *4 CAE 100x10 montant F.ch Interm*

ht=20.0 cm

bf=20.0 cm

ea=1.0 cm

es=1.0 cm

A_y=40.000 cm²

I_y=1316.097 cm⁴

W_{ely}=131.610 cm³

A_z=40.000 cm²

I_z=1324.770 cm⁴

W_{elz}=132.213 cm³

A_x=76.618 cm²

I_x=25.333 cm⁴

CONTRAINTES :

SigN = 7.51/76.618 = 9.61 MPa

SigF_y = 1.59/131.610 = 118.30 MPa

SigF_z = 1.10/132.213 = 81.52 MPa



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :

L_y=3.23 m

L_{fy}=2.58 m

Lambda y=62.35

M_{uy}=55.50

k_{1y}=1.01

k_{Fy}=1.03



en z :

L_z=3.23 m

L_{fz}=3.23 m

Lambda z=77.68

M_{uz}=35.76

k_{1z}=1.01

k_{Fz}=1.04

FORMULES DE VERIFICATION :

$k_{1y} \cdot \text{SigN} + k_{Fy} \cdot \text{SigF}_y + k_{Fz} \cdot \text{SigF}_z = 1.01 \cdot 9.61 + 1.03 \cdot 118.30 + 1.04 \cdot 81.52 = 216.56 < 275.00$ MPa (3.731)

$1.54 \cdot \text{Tau}_y = 1.54 \cdot 12.88 = 19.84 < 275.00$ MPa (1.313)

$1.54 \cdot \text{Tau}_z = |1.54 \cdot -17.03| = |-26.22| < 275.00$ MPa (1.313)

Profil correct !!!

I. Contreventement horizontale (2CAE 50*5)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE : Vérification des pièces

FAMILLE : **DIAGONALES**PIECE : 1118 Diagonale_CM66_1118
x = 1.00 L = 6.80 m

POINT : 3

COORDONNEE :

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $71 \text{ EFF}/41 = 1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 11*1.42$
 $(1+2)*1.33 + (3+11)*1.42$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ 

PARAMETRES DE LA SECTION : 2 CAE 50x5 contreventement horizontale

ht=5.0 cm

bf=10.0 cm

ea=0.5 cm

es=0.5 cm

Ay=4.500 cm²Iy=21.920 cm⁴Wely=6.089 cm³Az=4.500 cm²Iz=41.288 cm⁴Welz=8.225 cm³Ax=9.605 cm²Ix=0.792 cm⁴CONTRAINTES : SigN = $-0.89/9.605 = -9.09 \text{ MPa}$ SigFy = $-0.04/6.089 = -64.49 \text{ MPa}$ SigFz = $0.01/8.225 = 6.04 \text{ MPa}$ 

PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

SigN + SigFy + SigFz = $-9.09 + -64.49 + 6.04 = |-73.58| < 275.00 \text{ MPa}$ (3.731)1.54*Tauy = $1.54*0.03 = 0.04 < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)1.54*Tauz = $|1.54*-0.76| = |-1.17| < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)**Profil correct !!!**

G. DIAGONALE (2CAE 50*5)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*FAMILLE : **DIAGONALES**PIECE : **181 Diagonale_CM66_181**POINT : **1**

COORDONNEE :

x = 0.00 L = 0.00 m

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif :178 EFF/148=1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 20*1.75
 (1+2+3)*1.00+20*1.75

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00$ MPaPARAMETRES DE LA SECTION : **2 CAE 50x5 diagonale**

ht=5.0 cm

bf=10.0 cm

Ay=4.500 cm²Az=4.500 cm²Ax=9.605 cm²

ea=0.5 cm

Iy=21.920 cm⁴Iz=41.288 cm⁴Ix=0.792 cm⁴

es=0.5 cm

Wely=6.089 cm³Welz=8.225 cm³

CONTRAINTES : SigN = -0.12/9.605 = -1.18 MPa

SigFy = 0.00/15.657 = 1.04 MPa

SigFz = -0.08/8.225 = -97.00 MPa



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

SigN + SigFy + SigFz = -1.18 + 1.04 + 0.00 = | -97.14 | < 275.00 MPa (3.731)

1.54*Tauy = 1.54*1.80 = 2.78 < 275.00 MPa (1.313)

1.54*Tauz = 1.54*0.10 = 0.15 < 275.00 MPa (1.313)

Profil correct !!!

K. DIAGONALE (2CAE 60*6)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*

FAMILLE : *DIAGONALES*

PIECE : *132 Diagonale_CM66_132*

POINT : *3*

COORDONNEE :

x = 0.50 L = 1.55 m

CHARGEMENTS :

*Cas de charge décisif : 184 EFF/154 = 1*1.00 + 2*1.00 + 10*1.75 (1+2)*1.00 + 10*1.75*

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION : *2 CAE 60x6 diagonal*

ht=6.0 cm

bf=12.0 cm

ea=0.6 cm

es=0.6 cm

$A_y = 6.480$ cm²

$I_y = 45.580$ cm⁴

$W_{ely} = 10.575$ cm³

$A_z = 6.480$ cm²

$I_z = 85.983$ cm⁴

$W_{elz} = 14.283$ cm³

$A_x = 13.817$ cm²

$I_x = 1.642$ cm⁴

CONTRAINTES :

$\text{Sig}_N = -0.23/13.817 = -1.60$ MPa

$\text{Sig}_{Fy} = -0.00/26.970 = -0.62$ MPa

$\text{Sig}_{Fz} = -0.06/14.283 = -43.74$ MPa



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

$\text{Sig}_N + \text{Sig}_{Fy} + \text{Sig}_{Fz} = -1.60 + -0.62 + 0.00 = |-45.97| < 275.00$ MPa (3.731)

$1.54 * \text{Tau}_y = |1.54 * -0.05| = |-0.07| < 275.00$ MPa (1.313)

$1.54 * \text{Tau}_z = |1.54 * -0.01| = |-0.01| < 275.00$ MPa (1.313)

Profil correct!!!

K. HEA 160 Ms (membrure inférieure)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*FAMILLE : **MEMBRURES SUPERIEURES**PIECE : **1035 Membrure_sup_CM66_1035**POINT : **1**

COORDONNEE :

x = 0.00 L = 0.00 m**CHARGEMENTS :***Cas de charge décisif* : $168 \text{ EFF}/138 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*1.75$ $(1+2+3)*1.00+10*1.75$ **MATERIAU :**ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ **PARAMETRES DE LA SECTION : HEA 160 MS**

ht=15.2 cm

bf=16.0 cm

ea=0.6 cm

es=0.9 cm

Ay=28.800 cm²Iy=1672.980 cm⁴Wely=220.129 cm³Az=9.120 cm²Iz=615.573 cm⁴Welz=76.947 cm³Ax=38.771 cm²Ix=10.900 cm⁴**CONTRAINTES :** SigN = $5.89/38.771 = 14.91 \text{ MPa}$ SigFy = $0.05/220.129 = 2.39 \text{ MPa}$ SigFz = $0.65/76.947 = 82.95 \text{ MPa}$ **PARAMETRES DE DEVERSEMENT :****PARAMETRES DE FLAMBEMENT :**

en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

$$\text{SigN} + k_{Fy} * \text{SigFy} + k_{Fz} * \text{SigFz} = 14.91 + 1.00 * 2.39 + 1.00 * 82.95 = 100.24 < 275.00 \text{ MPa}$$
 (3.731)

$$1.54 * \text{Tau}_y = |1.54 * -1.54| = |-2.38| < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$$

$$1.54 * \text{Tau}_z = |1.54 * -0.18| = |-0.27| < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$$
Profil correct!!!

L. HEA 160 Mi (membrure inférieure)

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*FAMILLE : **MEMBRURES INFERIEURES**PIECE : **307 Membrure_inf_CM66_307**POINT : **1**

COORDONNEE :

x = 0.00 L = 0.00 m

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $168 \text{ EFF}/138 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 10*1.75$
 $(1+2+3)*1.00+10*1.75$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ 

PARAMETRES DE LA SECTION : HEA 160 Mi

ht=15.2 cm

bf=16.0 cm

ea=0.6 cm

es=0.9 cm

Ay=28.800 cm²Iy=1672.980 cm⁴Wely=220.129 cm³Az=9.120 cm²Iz=615.573 cm⁴Welz=76.947 cm³Ax=38.771 cm²Ix=10.900 cm⁴CONTRAINTES : SigN = $-2.20/38.771 = -5.58 \text{ MPa}$ SigFy = $-0.10/220.129 = -4.37 \text{ MPa}$ SigFz = $-0.65/76.947 = -82.68 \text{ MPa}$ 

PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

SigN + SigFy + SigFz = $-5.58 + -4.37 + -82.68 = |-92.62| < 275.00 \text{ MPa}$ (3.731) $1.54 * \text{Tau}_y = |1.54 * -1.46| = |-2.25| < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313) $1.54 * \text{Tau}_z = |1.54 * -0.73| = |-1.12| < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)**Profil correct!!!**

L. PANNES

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*FAMILLE : **PANNES**PIECE : **989 Panne_CM66_989**POINT : **3**

COORDONNEE :

x = 1.00 L = 5.82 m

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $80 \text{ EFF}/50 = 1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 20*1.42$
 $(1+2)*1.33 + (3+20)*1.42$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ PARAMETRES DE LA SECTION : **IPE 160**

ht=16.0 cm

bf=8.2 cm

ea=0.5 cm

es=0.7 cm

Ay=12.136 cm²Iy=869.293 cm⁴Wely=108.662 cm³Az=8.000 cm²Iz=68.314 cm⁴Welz=16.662 cm³Ax=20.091 cm²Ix=3.530 cm⁴CONTRAINTES : SigN = $-1.90/20.091 = -9.28 \text{ MPa}$ SigFy = $-0.04/108.662 = -3.93 \text{ MPa}$ SigFz = $-0.01/16.662 = -4.14 \text{ MPa}$ 

PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

SigN + SigFy + SigFz = $-9.28 + -3.93 + -4.14 = |-17.35| < 275.00 \text{ MPa}$ (3.731) $1.54 * \text{Tau}_y = |1.54 * -0.02| = |-0.03| < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313) $1.54 * \text{Tau}_z = |1.54 * -0.81| = |-1.25| < 275.00 \text{ MPa}$ (1.313)**Profil correct!!!**

Tableau 10 : Sections choisies pour Les éléments de la ferme en treillis et les contreventements

Éléments	Section choisie
Membrures supérieures	2CAE 100x10
	2CAE 60x6
	HEA 160
Membrures inférieures	2CAE 100x10
	2CAE 60x6
	HEA 160
Contreventements horizontale (Diagonales)	2CAE 50x5
montants	2CAE 100x10
	2CAE 60x6
	2CAE 50x5
Montant F.ch Interm	4CAE 100x10
Diagonales	2CAE 50x5
	2CAE 60x6
Pannes	IPE 160

III.2. Portique autostable 3D :

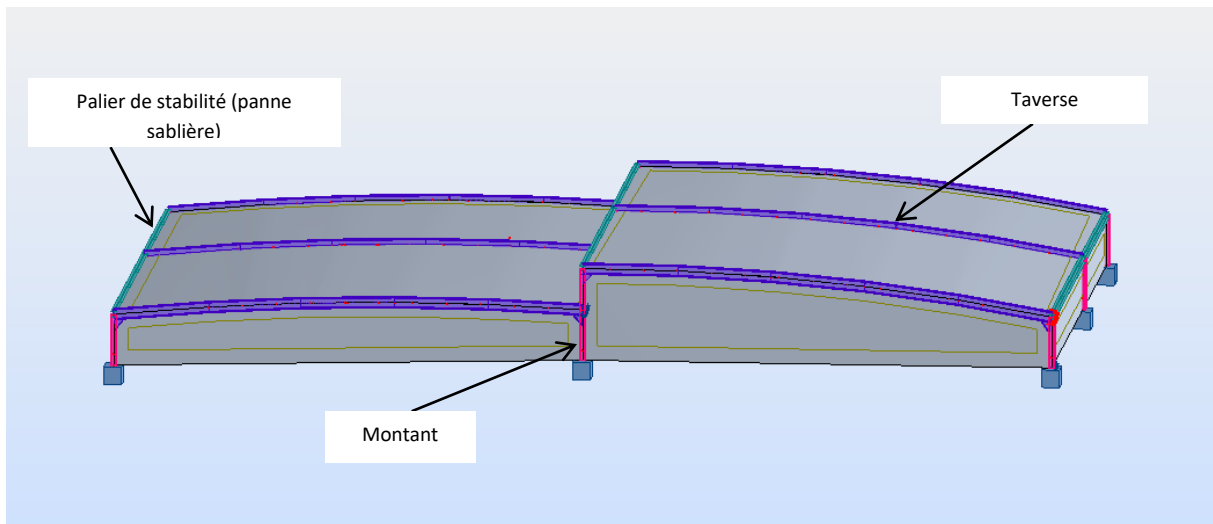


Figure 62 : terminologie des éléments constitutifs de la toiture en portique.

Il s’agit des éléments en profilés IPE sollicités en (traction, Compression). Les efforts max globaux enveloppés puisés de logiciel ROBOT sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau 11: Efforts max sollicitant les Arbalitriers (traverses)

Elément	profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression max (+)KN
traverses	IPE360	ELU	0.20	83.60
		ELS	0.20	61.60
		ELA	0.10	60..40

Tableau 12: Efforts max sollicitant les Montants

Elément	profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression max (+)KN
Montants	HEA220	ELU	14.10	80.20
		ELS	10.40	59.20
		ELA	1.40	58.90

Tableau 13 : Efforts max sollicitant les pannes sablières

Elément	profil	Situation	Effort de traction max (-) KN	Effort de compression max (+)KN
Pannes sablière	HEA220	ELU	35.00	35.00
		ELS	2.59	25.9
		ELA	26.00	26.00

III.2.1. Notes de calcul puisées de logiciel ROBOT des différents éléments de la toiture :

A. Les Arbalétriers CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*

TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*

FAMILLE : **ARBALETRIERS**

PIECE : **6 Arbalétrier_CM66 6**

POINT : **3**

COORDONNEE :

$x = 1.00$ $L = 3.24$ m

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : **$8 \ 1.35G + 1.5Q \ (1+2) * 1.35 + 3 * 1.50$**

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION : **IPE 360**

ht=36.0 cm

bf=17.0 cm

ea=0.8 cm

es=1.3 cm

Ay=43.180 cm²

Iy=16265.600 cm⁴

Wely=903.644 cm³

Az=28.800 cm²

Iz=1043.450 cm⁴

Welz=122.759 cm³

Ax=72.729 cm²

Ix=36.200 cm⁴

CONTRAINTES : SigN = $-0.02/72.729 = -0.03$ MPa

SigFy = $-1.92/903.644 = -20.89$ MPa



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :



en z :

FORMULES DE VERIFICATION :

SigN + SigFy = $-0.03 + -20.89 = |-20.92| < 275.00$ MPa (3.521)

$1.54 * \text{Tauz} = |1.54 * -4.05| = |-6.23| < 275.00$ MPa (1.313)

DEPLACEMENTS LIMITES



Flèches

uz = 0.0169 cm < uz max = $L/200.00 = 1.6186$ cm Vérifié

Cas de charge décisif : **$261 \text{ DEP}/29 = 1 * 1.00 + 2 * 1.00 + 3 * 1.00 + 18 * 1.00 \ (1+2+3+18) * 1.00$**



Déplacements Non analysé

Profil correct !!!

B. Les Montants

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : **CM66**

TYPE D'ANALYSE : **Vérification des pièces**

FAMILLE : **MONTANTS**

PIECE : **12 Montant_CM66_12**
 $x = 1.00$ $L = 1.79$ m

POINT : **3**

COORDONNEE :

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $101 \text{ EFF}/71 = 1*1.33 + 2*1.33 + 3*1.42 + 25*1.42$
 $(1+2)*1.33 + (3+25)*1.42$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00$ MPa



PARAMETRES DE LA SECTION : **HEA 220**

ht=21.0 cm

bf=22.0 cm

ea=0.7 cm

es=1.1 cm

$A_y = 48.400$ cm²

$I_y = 5409.700$ cm⁴

$W_{ely} = 515.210$ cm³

$A_z = 14.700$ cm²

$I_z = 1954.560$ cm⁴

$W_{elz} = 177.687$ cm³

$A_x = 64.341$ cm²

$I_x = 27.100$ cm⁴

CONTRAINTES :

$\text{SigN} = 10.99/64.341 = 16.75$ MPa

$\text{SigFy} = 8.18/515.210 = 155.62$ MPa

$\text{SigFz} = 1.32/177.687 = 72.60$ MPa



PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :

$L_y = 1.79$ m

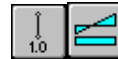
$L_{fy} = 1.43$ m

$\text{Lambda } y = 15.62$

$\text{Muy} = 507.44$

$k_{ly} = 1.00$

$k_{Fy} = 1.00$



en z :

$L_z = 1.79$ m

$L_{fz} = 1.79$ m

$\text{Lambda } z = 32.48$

$\text{Muz} = 117.34$

$k_{lz} = 1.00$

$k_{Fz} = 1.01$

FORMULES DE VERIFICATION :

$k_1 * \text{SigN} + k_{Fy} * \text{SigFy} + k_{Fz} * \text{SigFz} = 1.00 * 16.75 + 1.00 * 155.62 + 1.01 * 72.60 = 246.45 < 275.00$ MPa (3.731)

$1.54 * \text{Tau}_y = 1.54 * 2.37 = 3.65 < 275.00$ MPa (1.313)

$1.54 * \text{Tau}_z = |1.54 * -3.00| = |-4.62| < 275.00$ MPa (1.313)

Profil correct!!!

C. Les Pannes sablières

CALCUL DES STRUCTURES ACIER

NORME : *CM66*TYPE D'ANALYSE : *Vérification des pièces*FAMILLE : *PANNES*PIECE : *86 Panne_CM66_86*POINT : *1*

COORDONNEE :

x = 0.00 L = 0.00 m

CHARGEMENTS :

Cas de charge décisif : $216 \text{ EFF}/186 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 24*1.75 + 25*0.83$
 $(1+2+3)*1.00 + 24*1.75 + 25*0.83$

MATERIAU :

ACIER E28 $f_y = 275.00 \text{ MPa}$ PARAMETRES DE LA SECTION : **HEA 220**

ht=21.0 cm

bf=22.0 cm

ea=0.7 cm

es=1.1 cm

Ay=48.400 cm²Iy=5409.700 cm⁴Wely=515.210 cm³Az=14.700 cm²Iz=1954.560 cm⁴Welz=177.687 cm³Ax=64.341 cm²Ix=27.100 cm⁴

CONTRAINTES :

SigN = $2.08/64.341 = 3.17 \text{ MPa}$ SigFy = $0.15/515.210 = 2.83 \text{ MPa}$ SigFz = $4.50/177.687 = 248.19 \text{ MPa}$ 

PARAMETRES DE DEVERSEMENT :

PARAMETRES DE FLAMBEMENT :



en y :

Ly=5.82 m

Lfy=5.82 m

Lambda y=63.47

Muy=162.33

kly=1.00

kFy=1.01



en z :

Lz=5.82 m

Lfz=5.82 m

Lambda z=105.59

Muz=58.65

k1z=1.01

kFz=1.02

FORMULES DE VERIFICATION :

 $k1 \cdot \text{SigN} + kFy \cdot \text{SigFy} + kFz \cdot \text{SigFz} = 1.01 \cdot 3.17 + 1.01 \cdot 2.83 + 1.02 \cdot 248.19 = 259.99 < 275.00 \text{ MPa} \quad (3.731)$
 $1.54 \cdot \text{Tau}_y = |1.54 \cdot -3.25| = |-5.00| < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$
 $1.54 \cdot \text{Tau}_z = 1.54 \cdot 4.04 = 6.22 < 275.00 \text{ MPa} \quad (1.313)$

DEPLACEMENTS LIMITES

*Flèches*uz = 0.1108 cm < uz max = L/200.00 = 2.9100 cm **Vérfifié***Cas de charge décisif* : $268 \text{ DEP}/36 = 1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 25*1.00 \quad (1+2+3+25)*1.00$ *Déplacements* *Non analysé***Profil correct !!!****Tableau 14:** Sections choisies pour Les éléments du portique 3D en traverses et pannes

Elements	Section choisie
Arbalétriers	IPE360
Pannes	HEA220
Montants	HEA220

IV. Conclusion :

Les calculs de vérification montrent que tous les profils choisis respectent les contraintes de sécurité avec des valeurs bien inférieures aux limites maximales admissibles (275 MPa), assurant ainsi la stabilité et la sécurité des toitures.

Chapitre VI

Calcul des assemblages

I. Introduction :

Les assemblages jouent un rôle crucial dans la structure d'un bâtiment, assurant la liaison et la continuité des différentes composantes élémentaires. Leur fonction principale est de transmettre et répartir les diverses sollicitations mécaniques, garantissant ainsi la stabilité et la solidité de l'ensemble de la structure. La diversité des types d'assemblages et des techniques de réalisation dans le domaine de la construction impose néanmoins une contrainte commune : les assemblages doivent impérativement préserver l'intégrité et la résistance des pièces qu'ils connectent.

Dans ce chapitre, nous nous concentrerons sur les méthodes de calcul des assemblages en utilisant le logiciel Robot Structural Analysis. Ce logiciel permet une modélisation précise et une analyse approfondie des assemblages, facilitant ainsi l'optimisation de leur conception pour répondre aux exigences structurelles. Nous aborderons les différentes étapes de calcul, de la modélisation initiale à l'interprétation des résultats, en passant par les vérifications normatives.

Grâce à cette approche, nous serons en mesure de démontrer comment les assemblages peuvent être conçus pour garantir la sécurité et la performance structurelle, tout en respectant les normes et les standards de l'ingénierie moderne.

II. Assemblage des éléments:



Le calcul est effectué en fonction des charges les plus avantageuses indiquées dans le tableau ci-joint.

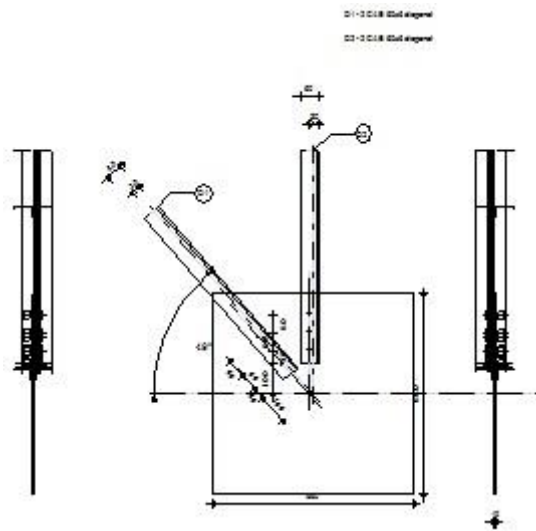
Après avoir identifié les efforts défavorables des différents éléments, les notes de calcul des différents types d'assemblages sont extraites directement du logiciel ROBOT

II.1. TREILLIS 3D

1. Notes de calcul puisées de logiciel ROBOT des différents éléments de la toiture pour les assemblages :

Assemblage: montant-diagonale-membrure-inférieure-membrure-supérieure-contreventement

	<p style="font-size: small;">Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée</p> <h2 style="margin: 0;">Calcul de l'assemblage au gousset</h2> <p style="font-size: large; margin: 0;">CM 66</p>	
		<p>Ratio</p> <p style="font-size: large; font-weight: bold;">0,06</p>



Général

Assemblage N° : 1

Nom de l'assemblage : Gousset - noeud intérieur

Noeud de la structure : 736

Barres de la structure : 766, 752,

Géométrie

Barres

		Barre 1	Barre 2				
Barre N° :		766	752				
Profilé :		2 CAE 60x6 diagonal	2 CAE 60x6 diagonal				
	h	60	60				mm
	b _f	60	60				mm

		Barre 1	Barre 2				
	t_w	6	6				mm
	t_f	6	6				mm
	r	8	8				mm
	A	13,817	13,817				cm ²
Matériau :		ACIER E28	ACIER E28				
	σ_e	275,00	275,00				MPa
	f_u	405,00	405,00				MPa
Angle	α	48,9	90,0				Deg
Longueur	l	1,78	1,37				m

Boulons

Barre 1

Classe = 4.8 Classe du boulon

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 18$ [mm] Diamètre du trou de boulon

$A_s = 1,570$ [cm²] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,011$ [cm²] Aire de la section du boulon

$f_{yb} = 280,00$ [MPa] Limite de plasticité

$f_{ub} = 400,00$ [MPa] Résistance du boulon à la traction

$n = 3$ Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 30$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 2

Classe = 4.8 Classe du boulon

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 18$ [mm] Diamètre du trou de boulon

$A_s = 1,570$ [cm²] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,011$ [cm²] Aire de la section du boulon

$f_{yb} = 280,00$ [MPa] Limite de plasticité

$f_{ub} = 400,00$ [MPa] Résistance du boulon à la traction

$n = 3$ Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 30$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 100$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Gousset

$l_p = 660$ [mm] Longueur de la platine

$h_p = 660$ [mm] Hauteur de la platine

$t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage

$v_1 = 0$ [mm] Grugeage

$h_2 = 0$ [mm] Grugeage

$v_2 = 0$ [mm] Grugeage

$h_3 = 0$ [mm] Grugeage

$v_3 = 0$ [mm] Grugeage

$h_4 = 0$ [mm] Grugeage

$v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;0)

$e_v = 33$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes
 = 0] des barres

$e_H = 33$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes
 = 0] des barres

Matériau : ACIER

$\sigma = 235,00$ [MPa] Résistance

Efforts

Cas : Calculs manuels

$N_1 = 1,02$ [T] Effort axial

$N_2 = 1,02$ [T] Effort axial

Résultats

Platine

Section gousset

$N_1 < N_{res}$ | 1,02 | < 122,51 **vérifié** (0,01)

Attache gousset

$$N_2 < N_{res} \quad |1,02| < 24947181239926576,00 \text{ vérifié} \quad (0,00)$$

Barres

$$T_1 = 17,46 \quad [T] \quad \text{Résistance des boulons au cisaillement}$$

$$M_1 = 20,87 \quad [T] \quad \text{Résistance de la barre}$$

$$|N_1| < \min(T_1; N_{c1}) \quad |1,02| < 17,46 \quad \text{vérifié} \quad (0,06)$$

$$|N_1| < \min(T_1; N_{c1}) \quad |1,02| < 17,46 \quad \text{vérifié} \quad (0,06)$$

$$T_2 = 17,46 \quad [T] \quad \text{Résistance des boulons au cisaillement}$$


$$M_2 = 32,69 \quad [T] \quad \text{Résistance de la barre}$$

$$|N_2| < \min(T_2; N_{c2}) \quad |1,02| < 17,46 \quad \text{vérifié} \quad (0,06)$$

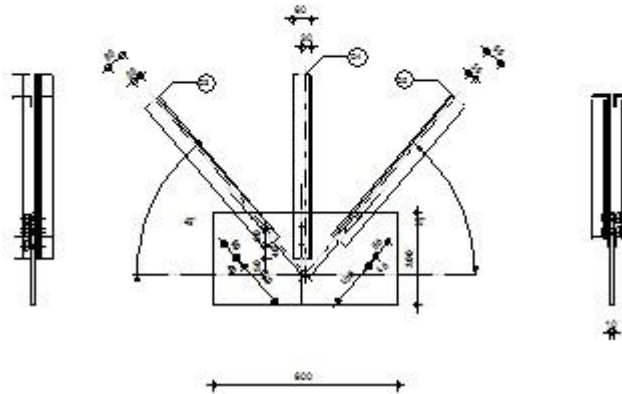
$$|N_2| < \min(T_2; N_{c2}) \quad |1,02| < 17,46 \quad \text{vérifié} \quad (0,06)$$

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,06

	<p>Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée</p> <h2 style="margin: 0;">Calcul de l'assemblage au gousset</h2> <p style="margin: 0;">CM 66</p>	
		<p>Ratio</p> <p>0,09</p>

D3 - 2 CAE 60x6 diagonal
 D4 - 2 CAE 60x6 diagonal
 D5 - 2 CAE 60x6 diagonal



Général

Assemblage N° : 2

Nom de l'assemblage : Gousset - noeud membrure de treillis

Noeud de la structure : 662

Barres de la structure : 680, 666, 681,

Géométrie

Barres

		Barre 3	Barre 4	Barre 5		
Barre N° :		680	666	681		
Profilé :		2 CAE 60x6 diagonal	2 CAE 60x6 diagonal	2 CAE 60x6 diagonal		
	h	60	60	60		mm
	b _f	60	60	60		mm
	t _w	6	6	6		mm

		Barre 3	Barre 4	Barre 5			
	t_f	6	6	6			mm
	r	8	8	8			mm
	A	13,817	13,817	13,817			cm ²
Matériau :		ACIER E28	ACIER E28	ACIER E28			
	σ_e	275,00	275,00	275,00			MPa
	f_u	405,00	405,00	405,00			MPa
Angle	α	48,9	90,0	49,9			Deg
Longueur	l	1,78	1,37	1,82			m

Boulons

Barre 3

Classe = 4.8 Classe du boulon

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 18$ [mm] Diamètre du trou de boulon

$A_s = 1,570$ [cm²] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,011$ [cm²] Aire de la section du boulon

$f_{yb} = 280,00$ [MPa] Limite de plasticité

$f_{ub} = 400,00$ [MPa] Résistance du boulon à la traction

$n = 2$ Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60 [mm]

$e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 30$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 150$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 4

Classe = 4.8 Classe du boulon

Classe =	4.8		Classe du boulon
d =	16	[mm]	Diamètre du boulon
d ₀ =	18	[mm]	Diamètre du trou de boulon
A _s =	1,570	[cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
A _v =	2,011	[cm ²]	Aire de la section du boulon
f _{yb} =	280,00	[MPa]	Limite de plasticité
f _{ub} =	400,00	[MPa]	Résistance du boulon à la traction
n =	2		Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60 [mm]

e ₁ =	40	[mm]	Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
e ₂ =	30	[mm]	Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
e _c =	50	[mm]	Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 5

Classe =	4.8		Classe du boulon
d =	16	[mm]	Diamètre du boulon
d ₀ =	18	[mm]	Diamètre du trou de boulon
A _s =	1,570	[cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
A _v =	2,011	[cm ²]	Aire de la section du boulon
f _{yb} =	280,00	[MPa]	Limite de plasticité
f _{ub} =	400,00	[MPa]	Résistance du boulon à la traction
n =	2		Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60 [mm]

e ₁ =	40	[mm]	Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre
e ₂ =	30	[mm]	Distance de l'axe des boulons du bord de la barre
e _c =	150	[mm]	Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Gousset

$l_p = 600$ [mm] Longueur de la platine

$h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine

$t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage

$v_1 = 0$ [mm] Grugeage

$h_2 = 0$ [mm] Grugeage

$v_2 = 0$ [mm] Grugeage

$h_3 = 0$ [mm] Grugeage

$v_3 = 0$ [mm] Grugeage

$h_4 = 0$ [mm] Grugeage

$v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0 ; 50)

$e_v = 100$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_H = 300$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_0 = 0$ [mm] Distance axe membrure hor.

Matériau : ACIER

$\sigma = 235,00$ [MPa] Résistance

Efforts

Cas : Calculs manuels

$N_3 = 1,02$ [T] Effort axial

$N_4 = 1,02$ [T] Effort axial

$N_5 = 1,02$ [T] Effort axial

Résultats

Platine

Section gauche

$N_l = 0,67$ [T] Effort axial dans la barre

$M_l = 0,05$ [T*m] Moment dans la barre

$A_l = 30,000$ [cm²] Section gousset

$W_l = 0,150$ [cm³] Facteur élastique de la section

$f < \sigma_e$	5,25 < 235,00	vérifié	(0,02)
$t < \sigma_e$	5,81 < 235,00	vérifié	(0,02)

Section droite

$N_r = 0,66$ [T] Effort axial dans la barre

$M_r = 0,03$ [T*m] Moment dans la barre

$A_r = 30,000$ [cm²] Section gousset

$W_r = 0,150$ [cm³] Facteur élastique de la section

$f < \sigma_e$	4,29 < 235,00	vérifié	(0,02)
$t < \sigma_e$	13,60 < 235,00	vérifié	(0,06)

Barres

$T_1 = 11,64$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$M_1 = 20,87$ [T] Résistance de la barre

$|N_1| < \min(T_1; N_{c1})$ | 1,02 | < 11,64 vérifié (0,09)

$|N_1| < \min(T_1; N_{c1})$ | 1,02 | < 11,64 vérifié (0,09)

$T_2 = 11,64$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$M_2 = 32,69$ [T] Résistance de la barre

$|N_2| < \min(T_2; N_{c2})$ | 1,02 | < 11,64 vérifié (0,09)

$|N_2| < \min(T_2; N_{c2})$ | 1,02 | < 11,64 vérifié (0,09)

$T_3 = 11,64$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$T_3 = 11,64$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$M_3 = 32,69$ [T] Résistance de la barre



$|N_3| < \min(T_3; N_{c3})$ | 1,02 | < 11,64 **vérifié** (0,09)

$|N_3| < \min(T_3; N_{c3})$ | 1,02 | < 11,64 **vérifié** (0,09)

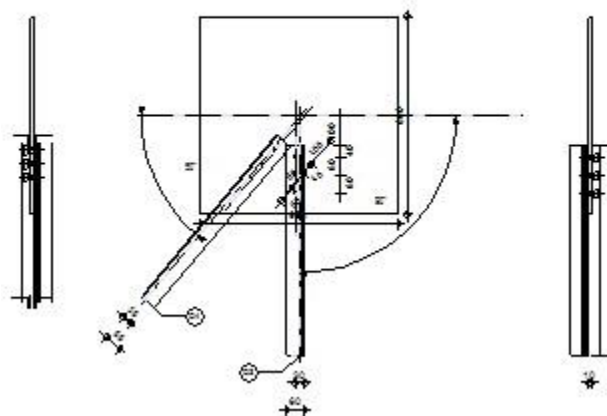
Remarques

Distance entre la diagonale et la membrure non valide. -54 [mm] < 0 [mm]

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,09

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée	
	Calcul de l'assemblage au gousset CM 66	

D3 - 2 OJ24x6 diagonale
 D4 - 2 OJ24x6 diagonale



Général

Assemblage N° : 3

Nom de l'assemblage : Gousset - noeud intérieur

Assemblage N° : 3

Noeud de la structure : 663

Barres de la structure : 667, 681,

Géométrie

Barres

		Barre 3	Barre 4				
Barre N° :		667	681				
Profilé :		2 CAE 60x6 diagonal	2 CAE 60x6 diagonal				
	h	60	60				mm
	b _f	60	60				mm
	t _w	6	6				mm
	t _f	6	6				mm
	r	8	8				mm
	A	13,817	13,817				cm ²
Matériau :		ACIER E28	ACIER E28				
	σ _e	275,00	275,00				MPa
	f _u	405,00	405,00				MPa
Angle	α	90,0	49,9				Deg
Longueur	l	1,28	1,82				m

Boulons

Barre 3

Classe = 4.8 Classe du boulon

d = 16 [mm] Diamètre du boulon

d₀ = 18 [mm] Diamètre du trou de boulon

Classe = 4.8 Classe du boulon

$A_s = 1,570 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,011 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la section du boulon

$f_{yb} = 280,00 \text{ [MPa]}$ Limite de plasticité

$f_{ub} = 400,00 \text{ [MPa]}$ Résistance du boulon à la traction

$n = 3$ Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40 \text{ [mm]}$ Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 30 \text{ [mm]}$ Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 100 \text{ [mm]}$ Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Barre 4

Classe = 4.8 Classe du boulon

$d = 16 \text{ [mm]}$ Diamètre du boulon

$d_0 = 18 \text{ [mm]}$ Diamètre du trou de boulon

$A_s = 1,570 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,011 \text{ [cm}^2\text{]}$ Aire de la section du boulon

$f_{yb} = 280,00 \text{ [MPa]}$ Limite de plasticité

$f_{ub} = 400,00 \text{ [MPa]}$ Résistance du boulon à la traction

$n = 3$ Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40 \text{ [mm]}$ Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 30 \text{ [mm]}$ Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 100 \text{ [mm]}$ Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Gousset

$l_p = 660 \text{ [mm]}$ Longueur de la platine

$l_p = 660$ [mm] Longueur de la platine
 $h_p = 660$ [mm] Hauteur de la platine
 $t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_1 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_2 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_3 = 0$ [mm] Grugeage
 $h_4 = 0$ [mm] Grugeage
 $v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (0;0)

$e_v = 330$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_H = 330$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériau : ACIER

$\sigma = 235,00$ [MPa] Résistance

Efforts

Cas : Calculs manuels

$N_3 = 1,02$ [T] Effort axial

$N_4 = 1,02$ [T] Effort axial

Résultats

Platine

Section gousset

$N_1 < N_{res}$ | $1,02$ | $< 4059332516,71$ vérifié (0,00)

Attache gousset

$N_2 < N_{res}$	$ 1,02 < 125,79$	vérifié	(0,01)
-----------------	-------------------	----------------	--------

Barres

$T_1 = 17,46$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$M_1 = 20,87$ [T] Résistance de la barre

$ N_1 < \min(T_1; N_{c1})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	----------------	--------

$ N_1 < \min(T_1; N_{c1})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	----------------	--------

$T_2 = 17,46$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$M_2 = 32,69$ [T] Résistance de la barre

$ N_2 < \min(T_2; N_{c2})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	----------------	--------

$ N_2 < \min(T_2; N_{c2})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	----------------	--------

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,06



Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée

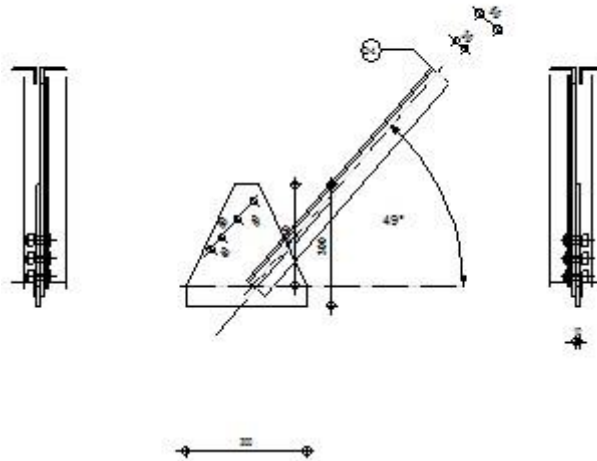
Calcul de l'assemblage au gousset

CM 66



Ratio
0,06

04-1046 Edf gousset



Général

Assemblage N° : 4

Nom de l'assemblage : Gousset - barre simple

Noeud de la structure : 726

Barres de la structure : 766,

Géométrie

Barres

		Barre 4				
Barre N° :		766				
Profilé :		2 CAE 60x6 diagonal				
	h	60				mm
	b _f	60				mm

		Barre 4					
	t_w	6					mm
	t_f	6					mm
	r	8					mm
	A	13,817					cm ²
Matériau :		ACIER E28					
	σ_e	275,00					MPa
	f_u	405,00					MPa
Angle	α	48,9					Deg
Longueur	l	1,78					m

Boulons

Barre 4

Classe = 4.8 Classe du boulon

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 18$ [mm] Diamètre du trou de boulon

$A_s = 1,570$ [cm²] Aire de la section efficace du boulon

$A_v = 2,011$ [cm²] Aire de la section du boulon

$f_{yb} = 280,00$ [MPa] Limite de plasticité

$f_{ub} = 400,00$ [MPa] Résistance du boulon à la traction

$n = 3$ Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 = 40$ [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 = 30$ [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c = 0$ [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Soudures

Soudures d'angle du gousset

$b = 5$ [mm] Bord b

Gousset

$l_p = 300$ [mm] Longueur de la platine

$h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine

$t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 120$ [mm] Grugeage

$v_1 = 250$ [mm] Grugeage

$h_2 = 120$ [mm] Grugeage

$v_2 = 250$ [mm] Grugeage

$h_3 = 0$ [mm] Grugeage

$v_3 = 0$ [mm] Grugeage

$h_4 = 0$ [mm] Grugeage

$v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (150;117)

$e_v = 50$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_H = 163$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériau : ACIER

$\sigma = 235,00$ [MPa] Résistance

Efforts

Cas : Calculs manuels

$N_4 = 1,02$ [T] Effort axial

Résultats**Platine**

Section gousset

$N_1 < N_{res}$	$ 1,02 < 28,54$	vérifié	(0,04)
-----------------	------------------	---------	--------

Attache gousset

$T_2 < N_{res}$	$ 0,67 < 59,29$	vérifié	(0,01)
-----------------	------------------	---------	--------

$T_3 < N_{res}$	$ 0,67 < 59,29$	vérifié	(0,01)
-----------------	------------------	---------	--------

Barres

$T_1 = 17,46$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$M_1 = 20,87$ [T] Résistance de la barre


$ N_1 < \min(T_1; N_{c1})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	---------	--------

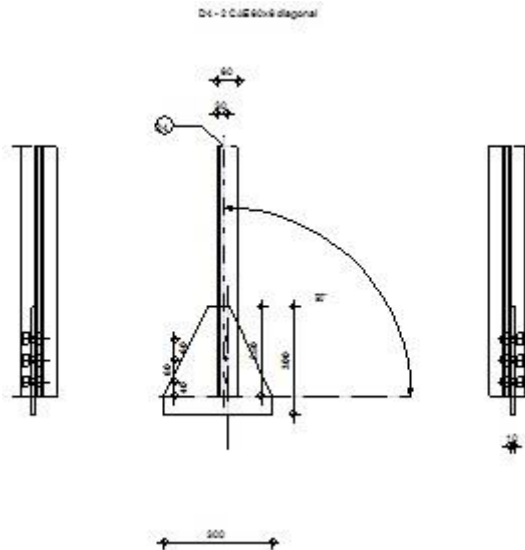
$ N_1 < \min(T_1; N_{c1})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	---------	--------

Remarques

Boulon hors de la platine

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,06

	Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée Calcul de l'assemblage au gousset CM 66	
		Ratio 0,06



Général

Assemblage N° : 5

Nom de l'assemblage : Gousset - barre simple

Noeud de la structure : 664

Barres de la structure : 667,

Géométrie

Barres

		Barre 4			
Barre N° :		667			
Profilé :		2 CAE 60x6 diagonal			
	h	60			mm
	b _r	60			mm
	t _w	6			mm

		Barre 4				
	t_f	6				mm
	r	8				mm
	A	13,817				cm ²
Matériau :		ACIER E28				
	σ_e	275,00				MPa
	f_u	405,00				MPa
Angle	α	90,0				Deg
Longueur	l	1,28				m

Boulons

Barre 4

Classe =	4.8	Classe du boulon
$d =$	16 [mm]	Diamètre du boulon
$d_0 =$	18 [mm]	Diamètre du trou de boulon
$A_s =$	1,570 [cm ²]	Aire de la section efficace du boulon
$A_v =$	2,011 [cm ²]	Aire de la section du boulon
$f_{yb} =$	280,00 [MPa]	Limite de plasticité
$f_{ub} =$	400,00 [MPa]	Résistance du boulon à la traction
$n =$	3	Nombre de colonnes des boulons

Espacement des boulons 60;60 [mm]

$e_1 =$ 40 [mm] Distance du centre de gravité du premier boulon de l'extrémité de la barre

$e_2 =$ 30 [mm] Distance de l'axe des boulons du bord de la barre

$e_c =$ 0 [mm] Distance de l'extrémité de la barre du point d'intersection des axes des barres

Soudures

Soudures d'angle du gousset

$b = 5$ [mm] Bord b

Gousset

$l_p = 300$ [mm] Longueur de la platine

$h_p = 300$ [mm] Hauteur de la platine

$t_p = 10$ [mm] Epaisseur de la platine

Paramètres

$h_1 = 120$ [mm] Grugeage

$v_1 = 250$ [mm] Grugeage

$h_2 = 120$ [mm] Grugeage

$v_2 = 250$ [mm] Grugeage

$h_3 = 0$ [mm] Grugeage

$v_3 = 0$ [mm] Grugeage

$h_4 = 0$ [mm] Grugeage

$v_4 = 0$ [mm] Grugeage

Centre de gravité de la tôle par rapport au centre de gravité des barres (150;117)

$e_v = 50$ [mm] Distance verticale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

$e_H = 163$ [mm] Distance horizontale de l'extrémité du gousset du point d'intersection des axes des barres

Matériau : ACIER

$\sigma = 235,00$ [MPa] Résistance

Efforts

Cas : Calculs manuels

$N_4 = 1,02$ [T] Effort axial

Résultats

Platine

Section gousset

$N_1 < N_{res}$	$ 1,02 < 30,77$	vérifié	(0,03)
-----------------	------------------	---------	--------

Attache gousset

$T_2 < N_{res}$	$ 0,00 < 59,29$	vérifié	(0,00)
-----------------	------------------	---------	--------

$T_3 < N_{res}$	$ 0,00 < 59,29$	vérifié	(0,02)
-----------------	------------------	---------	--------

Barres

$T_1 = 17,46$ [T] Résistance des boulons au cisaillement

$M_1 = 20,87$ [T] Résistance de la barre

$ N_1 < \min(T_1; N_{c1})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	---------	--------

$ N_1 < \min(T_1; N_{c1})$	$ 1,02 < 17,46$	vérifié	(0,06)
-----------------------------	------------------	---------	--------


Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

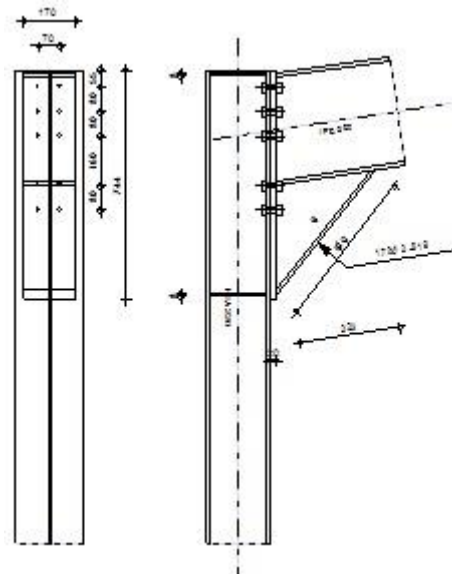
Ratio 0,06

II.2. PORTIQUE 3D

II.2.1. Notes de calcul puisées de logiciel ROBOT des différents éléments de la toiture pour les assemblages :

Assemblage : traverse-montant-panne sablière.

	<p>Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée</p> <p>Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau</p> <p>NF P 22-430</p>	<p style="text-align: center;">OK</p> <hr/> <p>Ratio 0,36</p>
---	---	---



Général

Assemblage N° : 1

Nom de l'assemblage : Angle de portique

Noeud de la structure : 100

Barres de la structure : 25, 14

Géométrie

Poteau

Profilé : HEA 220

Barre N° : 25

$\alpha =$	-90,0 [Deg]	Angle d'inclinaison
$h_c =$	210 [mm]	Hauteur de la section du poteau
$b_{fc} =$	220 [mm]	Largeur de la section du poteau
$t_{wc} =$	7 [mm]	Epaisseur de l'âme de la section du poteau
$t_{fc} =$	11 [mm]	Epaisseur de l'aile de la section du poteau
$r_c =$	18 [mm]	Rayon de congé de la section du poteau
$A_c =$	64,341 [cm ²]	Aire de la section du poteau
$I_{xc} =$	5409,700 [cm ⁴]	Moment d'inertie de la section du poteau
Matériau :	ACIER E28	
$\sigma_{ec} =$	275,00 [MPa]	Résistance

Poutre

Profilé :	IPE 360	
Barre N° :	14	
$\alpha =$	8,6 [Deg]	Angle d'inclinaison
$h_b =$	360 [mm]	Hauteur de la section de la poutre
$b_f =$	170 [mm]	Largeur de la section de la poutre
$t_{wb} =$	8 [mm]	Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
$t_{fb} =$	13 [mm]	Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
$r_b =$	18 [mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$r_b =$	18 [mm]	Rayon de congé de la section de la poutre
$A_b =$	72,729 [cm ²]	Aire de la section de la poutre
$I_{xb} =$	16265,600 [cm ⁴]	Moment d'inertie de la poutre
Matériau :	ACIER E28	
$\sigma_{eb} =$	275,00 [MPa]	Résistance

Boulons

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon

Classe = 10.9 Classe du boulon

$F_b = 8,58$ [T] Résistance du boulon à la rupture

$n_h = 2$ Nombre de colonnes des boulons

$n_v = 5$ Nombre de rangées des boulons

$h_1 = 55$ [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about

Ecartement $e_i = 70;70$ [mm]

Entraxe $p_i = 80;80;160;80$ [mm]

Platine

$h_p = 744$ [mm] Hauteur de la platine

$b_p = 170$ [mm] Largeur de la platine

$t_p = 20$ [mm] Epaisseur de la platine

Matériau : ACIER

$\sigma_{ep} = 235,00$ [MPa] Résistance

Jarret inférieur

$w_d = 170$ [mm] Largeur de la platine

$t_{fd} = 13$ [mm] Epaisseur de l'aile

$h_d = 360$ [mm] Hauteur de la platine

$t_{wd} = 8$ [mm] Epaisseur de l'âme

$l_d = 324$ [mm] Longueur de la platine

$\alpha = 51,9$ [Deg] Angle d'inclinaison

Matériau : ACIER

$\sigma_{ebu} = 235,00$ [MPa] Résistance

Raidisseur poteau

Supérieur

$h_{su} = 188$ [mm] Hauteur du raidisseur
 $b_{su} = 107$ [mm] Largeur du raidisseur
 $t_{hu} = 8$ [mm] Epaisseur du raidisseur
 Matériau : ACIER
 $\sigma_{esu} = 235,00$ [MPa] Résistance

Inférieur

$h_{sd} = 188$ [mm] Hauteur du raidisseur
 $b_{sd} = 107$ [mm] Largeur du raidisseur
 $t_{hd} = 8$ [mm] Epaisseur du raidisseur
 Matériau : ACIER
 $\sigma_{esu} = 235,00$ [MPa] Résistance

Soudures d'angle

$a_w = 6$ [mm] Soudure âme
 $a_r = 9$ [mm] Soudure semelle
 $a_s = 6$ [mm] Soudure du raidisseur
 $a_{fd} = 5$ [mm] Soudure horizontale

Efforts

Cas : Calculs manuels

$M_y = 5,10$ [T*m] Moment fléchissant
 $F_z = 0,00$ [T] Effort tranchant
 $F_x = 0,00$ [T] Effort axial

Résultats

Distances de calcul

Bou lon N°	Type	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a' ₁	a' ₂	a' ₃	a' ₄	a' ₅	a' ₆	s	s ₁	s ₂

Bou lon N°	Type	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a' ₁	a' ₂	a' ₃	a' ₄	a' ₅	a' ₆	s	s ₁	s ₂
1	Intérieurs	23	31			19	32	14	32			28	37			
2	Centraux	23	31					14	32							80
3	Centraux	23	31					14	32							120
4	Centraux	23	31					14	32							120
5	Centraux	23	31					14	32							80

x = 59 [mm] Zone comprimée

$x = e_s \cdot \sigma(b/e_a)$

Efforts par boulon - Efforts par boulon - méthode plastique

Boulo n N°	d _i	F _t	F _a	F _s	F _p	F _b		F _i	p _i [%]
1	659	16,90	0,00	28,08	12,55	8,58	>	1,40	100,00
2	579	7,59	7,85	11,62	7,04	8,58	>	1,23	100,00
3	499	8,37	11,78	17,43	7,77	8,58	>	1,06	100,00
4	339	8,37	11,78	17,43	7,77	8,58	>	0,72	100,00
5	259	7,59	7,85	11,62	7,04	8,58	>	0,55	100,00

d_i – position du boulon

F_t – effort transféré par la platine de l'élément aboutissant

F_a – effort transféré par l'âme de l'élément aboutissant

F_s – effort transféré par la soudure

F_p – effort transféré par l'aile du porteur

F_b – effort transféré par le boulon

d_i – position du boulon

F_i – effort sollicitant réel

$$F_i \leq \min(F_{ti}, F_{ai}, F_{si}, F_{pi}, F_{bi}) \quad 1,23 < 7,04 \quad \text{vérifié} \quad (0,17)$$

Traction des boulons

$$1.25 \cdot F_{i\max} / A_s \leq \sigma_{red} \quad |109,33| < 670,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,16)$$

$$T_1 = 0,00 \quad [T] \quad \text{Effort tranchant dans le boulon}$$

$$T_b = 6,97 \quad [T] \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement}$$

Vérification de la poutre

$$F_{res} = 9,92 \quad [T] \quad \text{Effort de compression} \quad F_{res} = 2 \cdot F_i - 2 \cdot N$$

Compression réduite de la semelle [9.2.2.2.2]

$$N_{c\ adm} = 73,68 \quad [T] \quad \text{Résistance de la section de la poutre} \quad N_{c\ adm} = A_{bc} \cdot \sigma_e + N \cdot A_{bc} / A_b$$

$$F_{res} \leq N_{c\ adm} \quad 9,92 < 73,68 \quad \text{vérifié} \quad (0,13)$$

Vérification du poteau

Compression de l'âme du poteau [9.2.2.2.2]

$$F_{res} \leq F_{pot} \quad 9,92 < 76,94 \quad \text{vérifié} \quad (0,13)$$

Cisaillement de l'âme du poteau - (recommandation C.T.I.C.M)

$$V_R = 27,24 \quad [T] \quad \text{Effort tranchant dans l'âme} \quad V_R = 0.47 \cdot A_v \cdot \sigma_e$$

$$|F_{res}| \leq V_R \quad |9,92| < 27,24 \quad \text{vérifié} \quad (0,36)$$

Remarques

Boulon face à la semelle ou trop proche de la semelle. $21 \text{ [mm]} < 24 \text{ [mm]}$

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,36



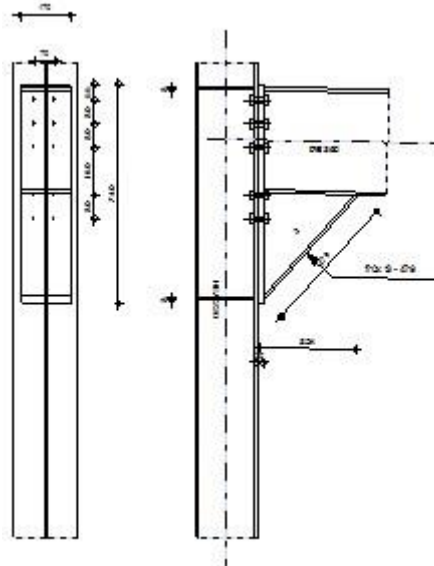
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée

Calcul de l'Encastrement Traverse-Poteau

NF P 22-430



Ratio
0,37



Général

Assemblage N° : 3

Nom de l'assemblage : Poutre - poteau

Noeud de la structure : 110

Barres de la structure : 24, 19

Géométrie

Poteau

Profilé : HEA 220

Barre N° : 24

$\alpha =$ -90,0 [Deg] Angle d'inclinaison

$h_c =$ 210 [mm] Hauteur de la section du poteau

$b_{fc} =$ 220 [mm] Largeur de la section du poteau

$t_{wc} =$ 7 [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau

Profilé : HEA 220
 $t_{fc} = 11$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau
 $r_c = 18$ [mm] Rayon de congé de la section du poteau
 $A_c = 64,341$ [cm²] Aire de la section du poteau
 $I_{xc} = 5409,700$ [cm⁴] Moment d'inertie de la section du poteau
 Matériau : ACIER E28
 $\sigma_{ec} = 275,00$ [MPa] Résistance

Poutre

Profilé : IPE 360
 Barre N° : 19
 $\alpha = -1,2$ [Deg] Angle d'inclinaison
 $h_b = 360$ [mm] Hauteur de la section de la poutre
 $b_f = 170$ [mm] Largeur de la section de la poutre
 $t_{wb} = 8$ [mm] Epaisseur de l'âme de la section de la poutre
 $t_{fb} = 13$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section de la poutre
 $r_b = 18$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $r_b = 18$ [mm] Rayon de congé de la section de la poutre
 $A_b = 72,729$ [cm²] Aire de la section de la poutre
 $I_{xb} = 16265,600$ [cm⁴] Moment d'inertie de la poutre
 Matériau : ACIER E28
 $\sigma_{eb} = 275,00$ [MPa] Résistance

Boulons

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon
 Classe = 10.9 Classe du boulon
 $F_b = 8,58$ [T] Résistance du boulon à la rupture

Boulons

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon

$n_h = 2$ Nombre de colonnes des boulons

$n_v = 5$ Nombre de rangées des boulons

$h_1 = 55$ [mm] Pince premier boulon-extrémité supérieure de la platine d'about

Ecartement $e_i = 70;70$ [mm]

Entraxe $p_i = 80;80;160;80$ [mm]

Platine

$h_p = 740$ [mm] Hauteur de la platine

$b_p = 170$ [mm] Largeur de la platine

$t_p = 20$ [mm] Epaisseur de la platine

Matériau : ACIER

$\sigma_{ep} = 235,00$ [MPa] Résistance

Jarret inférieur

$w_d = 170$ [mm] Largeur de la platine

$t_{fd} = 13$ [mm] Epaisseur de l'aile

$h_d = 360$ [mm] Hauteur de la platine

$t_{wd} = 8$ [mm] Epaisseur de l'âme

$l_d = 324$ [mm] Longueur de la platine

$\alpha = 47,5$ [Deg] Angle d'inclinaison

Matériau : ACIER

$\sigma_{ebu} = 235,00$ [MPa] Résistance

Raidisseur poteau

Supérieur

$h_{su} = 188$ [mm] Hauteur du raidisseur

$b_{su} = 107$ [mm] Largeur du raidisseur

Supérieur

$h_{su} = 188$ [mm] Hauteur du raidisseur
 $t_{hu} = 8$ [mm] Epaisseur du raidisseur
 Matériau : ACIER
 $\sigma_{esu} = 235,00$ [MPa] Résistance

Inférieur

$h_{sd} = 188$ [mm] Hauteur du raidisseur
 $b_{sd} = 107$ [mm] Largeur du raidisseur
 $t_{hd} = 8$ [mm] Epaisseur du raidisseur
 Matériau : ACIER
 $\sigma_{esu} = 235,00$ [MPa] Résistance

Soudures d'angle

$a_w = 6$ [mm] Soudure âme
 $a_r = 9$ [mm] Soudure semelle
 $a_s = 6$ [mm] Soudure du raidisseur
 $a_{rd} = 5$ [mm] Soudure horizontale

Efforts

Cas : Calculs manuels

$M_y = 5,10$ [T*m] Moment fléchissant
 $F_z = 0,00$ [T] Effort tranchant
 $F_x = 0,00$ [T] Effort axial

Résultats

Distances de calcul

Bou lon N°	Type	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a' ₁	a' ₂	a' ₃	a' ₄	a' ₅	a' ₆	s	s ₁	s ₂

Bou lon N°	Type	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a' ₁	a' ₂	a' ₃	a' ₄	a' ₅	a' ₆	s	s ₁	s ₂
1	Intérieurs	23	31			19	32	14	32			28	37			
2	Centraux	23	31					14	32							80
3	Centraux	23	31					14	32							120
4	Centraux	23	31					14	32							120
5	Centraux	23	31					14	32							80

x = 59 [mm] Zone comprimée

$x = e_s \cdot \frac{b}{e_a}$

Efforts par boulon - Efforts par boulon - méthode plastique

Boulo n N°	d _i	F _t	F _a	F _s	F _p	F _b		F _i	p _i [%]
1	657	16,88	0,00	28,10	12,55	8,58	>	1,41	100,00
2	577	7,59	7,85	11,62	7,04	8,58	>	1,24	100,00
3	497	8,37	11,78	17,43	7,77	8,58	>	1,06	100,00
4	337	8,37	11,78	17,43	7,77	8,58	>	0,72	100,00
5	257	7,59	7,85	11,62	7,04	8,58	>	0,55	100,00

d_i – position du boulon

F_t – effort transféré par la platine de l'élément aboutissant

F_a – effort transféré par l'âme de l'élément aboutissant

F_s – effort transféré par la soudure

F_p – effort transféré par l'aile du porteur

F_b – effort transféré par le boulon

d_i – position du boulon

F_i – effort sollicitant réel

$$F_i \leq \min(F_{ti}, F_{ai}, F_{si}, F_{pi}, F_{bi}) \quad 1,24 < 7,04 \quad \text{vérifié} \quad (0,18)$$

Traction des boulons

$$1.25 \cdot F_{i\max} / A_s \leq \sigma_{red} \quad |109,92| < 670,00 \quad \text{vérifié} \quad (0,16)$$

$$T_1 = 0,00 \quad [T] \quad \text{Effort tranchant dans le boulon}$$

$$T_b = 6,97 \quad [T] \quad \text{Résistance du boulon au cisaillement}$$

Vérification de la poutre

$$F_{res} = 9,96 \quad [T] \quad \text{Effort de compression} \quad F_{res} = 2 \cdot F_i - 2 \cdot N$$

Compression réduite de la semelle [9.2.2.2.2]

$$N_{c\ adm} = 73,68 \quad [T] \quad \text{Résistance de la section de la poutre} \quad N_{c\ adm} = A_{bc} \cdot \sigma_e + N \cdot A_{bc} / A_b$$

$$F_{res} \leq N_{c\ adm} \quad 9,96 < 73,68 \quad \text{vérifié} \quad (0,14)$$

Vérification du poteau

Compression de l'âme du poteau [9.2.2.2.2]

$$F_{res} \leq F_{pot} \quad 9,96 < 76,94 \quad \text{vérifié} \quad (0,13)$$

Cisaillement de l'âme du poteau - (recommandation C.T.I.C.M)

$$V_R = 27,24 \quad [T] \quad \text{Effort tranchant dans l'âme} \quad V_R = 0.47 \cdot A_v \cdot \sigma_e$$

$$|F_{res}| \leq V_R \quad |9,96| < 27,24 \quad \text{vérifié} \quad (0,37)$$

Remarques

Boulon face à la semelle ou trop proche de la semelle. $23 \text{ [mm]} < 24 \text{ [mm]}$

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme

Ratio 0,37



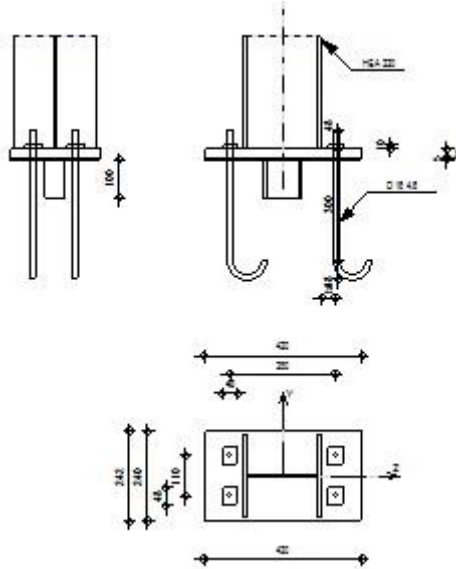
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2010-Non enregistrée

Calcul du Pied de Poteau encastré

'Les pieds de poteaux encastrés' de Y.Lescouarc'h (Ed. CTICM)



Ratio
0,77



Général

Assemblage N° : 4

Nom de l'assemblage : Pied de poteau encastré

Noeud de la structure : 104

Barres de la structure : 25

Géométrie

Poteau

Profilé : HEA 220

Barre N° : 25

$\alpha =$ 0,0 [Deg] Angle d'inclinaison

$h_c =$ 210 [mm] Hauteur de la section du poteau

$b_{fc} =$ 220 [mm] Largeur de la section du poteau

$t_{wc} =$ 7 [mm] Epaisseur de l'âme de la section du poteau

Profilé : HEA 220

$t_{fc} = 11$ [mm] Epaisseur de l'aile de la section du poteau

$r_c = 18$ [mm] Rayon de congé de la section du poteau

$A_c = 64,341$ [cm²] Aire de la section du poteau

$I_{yc} = 5409,700$ [cm⁴] Moment d'inertie de la section du poteau

Matériau : ACIER E28

$\sigma_{ec} = 275,00$ [MPa] Résistance

Plaque principale du pied de poteau

$l_{pd} = 420$ [mm] Longueur

$b_{pd} = 240$ [mm] Largeur

$t_{pd} = 25$ [mm] Epaisseur

Matériau : ACIER

$\sigma_e = 235,00$ [MPa] Résistance

Platine de prescellement

$l_{pp} = 420$ [mm] Longueur

$b_{pp} = 242$ [mm] Largeur

$t_{pp} = 5$ [mm] Epaisseur

Ancrage

Classe = 4.6 Classe de tiges d'ancrage

$d = 16$ [mm] Diamètre du boulon

$d_0 = 18$ [mm] Diamètre des trous pour les tiges d'ancrage

$n_H = 2$ Nombre de colonnes des boulons

$n_V = 2$ Nombre de rangées des boulons

$e_H = 280$ [mm] Ecartement

$e_V = 110$ [mm] Entraxe

Dimensions des tiges d'ancrage $L_1 = 48$ [mm] $L_2 = 300$ [mm] $L_3 = 96$ [mm] $L_4 = 0$ [mm]**Plaquette** $l_{wd} = 40$ [mm] Longueur $b_{wd} = 48$ [mm] Largeur $t_{wd} = 10$ [mm] Epaisseur**Bêche**

Profilé : IPE 100

 $h_w = 100$ [mm] Hauteur

Matériau : ACIER

 $\sigma_e = 235,00$ [MPa] Résistance**Semelle isolée** $L = 2100$ [mm] Longueur de la semelle $B = 1700$ [mm] Largeur de la semelle $H = 900$ [mm] Hauteur de la semelle**Béton** $f_{c28} = 20,00$ [MPa] Résistance $\sigma_{bc} = 11,33$ [MPa] Résistance $n = 15,00$ ratio Acier/Béton**Soudures** $a_p = 8$ [mm] Plaque principale du pied de poteau $a_w = 4$ [mm] Bêche

Efforts

Cas : Calculs manuels

N =	-1,02	[T]	Effort axial
Q _y =	1,02	[T]	Effort tranchant
Q _z =	1,02	[T]	Effort tranchant
M _y =	0,20	[T*m]	Moment fléchissant
M _z =	0,20	[T*m]	Moment fléchissant

Résultats

Béton

d_{tz} = 140 [mm] Distance de la colonne des boulons d'ancrage de l'axe Y

d_{ty} = 55 [mm] Distance de la rangée extrême des boulons d'ancrage de l'axe Z

Coefficients d'équation pour la définition de la zone de pression

A =	80 [mm]		A=b _{pd} /3
B =	1109,396 [cm ²]		B=(M' _y /N ₀ -0.5*I _{pd})*b _{pd}
C =	9798,734 [cm ³]		C=2*n*A _t *(d _{tz} +M' _y /N')
D =	342955,690 [cm ⁴]		D=-2*n*A _t *(d _{tz} +0.5*I _{pd})*(d _{tz} +M' _y /N')

z'₀ = 132 [mm] Zone comprimée A*z'₀³+B*z'₀²+C*z'₀+D=0

ρ_{m1} = 1,47 [MPa] Contrainte due à l'effort axial et au moment ρ_{m1}= 2*(M'_y+N'*d_{tz}) / [b_{pd}*z'₀*(d_{tz} + I_{pd}/2 - z'₀/3)]
 = M_y

ρ_{m2} = 1,38 [MPa] Contrainte due au moment M_z ρ_{m2} = M_z*0.5*b_{pd}/I_z
 =

Vérification du béton pour la pression diamétrale

ρ_m = 2,85 [MPa] Contrainte maxi dans le béton ρ_m = ρ_{m1} + ρ_{m2}

K = 1,00 Coefficient de zone de pression dimétrale

ρ_m ≤ K*ρ_{bc} 2,85 < 11,33 vérié (0,25)

Ancrage

$N_{j1} = 0,74$ [T] Effort de traction dû à l'effort axial et au moment M_y $N_{j1} = [(M'_y - N' \cdot (l_{pd}/2 - z'_0/3)) / (d_{tz} + l_{pd}/2 - z'_0/3)] / n_v$

$N_{j2} = 0,19$ [T] Effort de traction dû au moment M_z $N_{j2} = M_z \cdot s/2 / l_z \cdot n \cdot A_j$

$N_t = 0,94$ [T] Force de traction max dans le boulon d'ancrage $N_t = N_{j1} + N_{j2}$

Vérification de la semelle tendue du poteau

$l_1 = 110$ [mm] $l_1 = 0.5 \cdot b_{fc}$

$l_2 = 55$ [mm] $l_2 = \square \cdot 0.5 \cdot a_2$

$l_3 = 110$ [mm] $l_3 = 0.5 \cdot [(b_{fc} - s) + \square \cdot a_2]$

$l_4 = 110$ [mm] $l_4 = 0.5 \cdot (s + \square \cdot a_2)$

$l_{eff} = 55$ [mm] $l_{eff} = \min(l_1, l_2, l_3, l_4)$

$N_t \leq l_{eff} \cdot t_{fc} \cdot \square_{ec}$ $0,94 < 16,96$ **vérifié** (0,06)

Adhérence

$N_t \leq \square \cdot d \cdot \square_s \cdot (L_2 + 6.4 \cdot r + 3.5 \cdot L_4)$ $0,94 < 3,36$ **vérifié** (0,28)

Vérification de la résistance de la section filetée d'une tige

$N_t \leq 0.8 \cdot A_s \cdot \square_e$ $0,94 < 3,07$ **vérifié** (0,30)

Transfert des efforts tranchants

$|t'_z| \leq (A \cdot \square_e) / 1.54$ $|0,18| < 2,49$ **vérifié** (0,07)

$|t'_y| \leq (A \cdot \square_e) / 1.54$ $|0,18| < 2,49$ **vérifié** (0,07)

Bêche

Béton

$|T_z| \leq (I - 30) \cdot \square_{bc} \cdot B$ $|1,02| < 4,45$ **vérifié** (0,23)

$|T_y| \leq (I - 30) \cdot \square_{bc} \cdot H$ $|1,02| < 8,09$ **vérifié** (0,13)

Ame

$|T_z| \leq f \cdot t \cdot h / \square_3$ $|1,02| < 5,03$ **vérifié** (0,20)

$|T_y| \leq f \cdot t \cdot h / \square_3$ $|1,02| < 8,67$ **vérifié** (0,12)

Semelle

$ T_z \leq 3 \cdot b \cdot t \cdot f / l / (1/h + 1/h_0)$	$ 1,02 < 15,27$	vérifié	(0,07)
$ T_y \leq 3 \cdot b \cdot t \cdot f / l / (1/h + 1/h_0)$	$ 1,02 < 6,48$	vérifié	(0,16)

Soudure âme

$ T_z \leq 2/k \cdot f \cdot t \cdot h / \sqrt{3}$	$ 1,02 < 14,01$	vérifié	(0,07)
$ T_y \leq 3 \cdot b \cdot t \cdot f / l / (1/h + 1/h_0)$	$ 1,02 < 12,78$	vérifié	(0,08)

Semelle

$ T_z \leq 2 \cdot 3 \cdot b \cdot t \cdot f / l / (1/h + 1/h_0)$	$ 1,02 < 21,65$	vérifié	(0,05)
$ T_y \leq (l - 30) \cdot \sigma_{bc} \cdot B$	$ 1,02 < 16,10$	vérifié	(0,06)

Ame poteau

$ T_z \leq 3 \cdot b \cdot t \cdot f / l / (1/h + 1/h_0)$	$ 1,02 < 29,66$	vérifié	(0,03)
$ T_y \leq 3 \cdot b \cdot t \cdot f / l / (1/h + 1/h_0)$	$ 1,02 < 22,87$	vérifié	(0,04)

Platine

Zone de traction

$M_{11'} = 0,07$ [T*m] Moment fléchissant	$M_{11'} = n_v \cdot N_t \cdot (d_{tz} - h_c / 2)$
$M_{11'} \leq \sigma_e \cdot b_{pd} \cdot t_{pd}^2 / 6$	$0,07 < 0,60$ vérifié (0,11)

Cisaillement

$V_{11'} = 1,87$ [T] Effort tranchant	$V_{11'} = n_v \cdot N_t$
$V_{11'} \leq \sigma_e / \sqrt{3} \cdot b_{pd} \cdot t_{pd} / 1.5$	$1,87 < 55,34$ vérifié (0,03)

$t_{pmin} = 1$ [mm] $t_{pmin} = V_{11'} \cdot 1.5 \cdot \sqrt{3} / (\sigma_e \cdot b_{pd})$

$t_{pd} \geq t_{pmin}$	$25 > 1$ vérifié	(0,03)
------------------------	------------------	--------

Traction

$a_1 = 24$ [mm] Pince bord de la soudure de l'aile du poteau-axe du boulon d'ancrage $a_1 = a_2 - \sigma_2 a_p$

$a_2 = 35$ [mm] Pince bord de l'aile du poteau-axe du boulon d'ancrage $a_2 = (a_h - h_c) / 2$

$s = 110$ [mm] Entraxe verticale des boulons d'ancrage $s = a_v$

$$N_t[\text{daN}] \leq 375 * t_{pd}[\text{mm}] * [(a_2/a_1) * (s/(s+a_2))] \quad 917,91 < 10509,13 \quad \text{vérifié} \quad (0,09)$$

Zone comprimée

$$M_{22'} = 0,27 \quad [\text{T} * \text{m}] \quad \text{Moment fléchissant} \quad M_{22'} = b_{pd}/24 * (l_{pd}-h_c)^2 * (p+2 * p_m)$$

$$M_{22'} \leq \sigma_e * b_{pd} * t_{pd}^2 / 6 \quad 0,27 < 0,60 \quad \text{vérifié} \quad (0,45)$$

Cisaillement

$$V_{22'} = 3,96 \quad [\text{T}] \quad \text{Effort tranchant} \quad V_{22'} = 0,25 * b_{pd} * (l_{pd}-h_c) * (p+2 * p_m)$$

$$V_{22'} \leq \sigma_e / 3 * b_{pd} * t_{pd} / 1,5 \quad 3,96 < 55,34 \quad \text{vérifié} \quad (0,07)$$

$$t_{pmin} = 2 \quad [\text{mm}] \quad t_{pmin} = V_{22'} * 1,5 * 3 / (\sigma_e * b_{pd})$$

$$t_{pd} \geq t_{pmin} \quad 25 > 2 \quad \text{vérifié} \quad (0,07)$$

$$M_3 = 0,00 \quad [\text{T} * \text{m}] \quad \text{Moment fléchissant} \quad M_3 = 0,125 * p_m * b_{pd} * (b_{pd}-b_{fc})^2$$

$$M_3 \leq \sigma_e * b_{pd} * t_{pd}^2 / 6 \quad 0,00 < 0,60 \quad \text{vérifié} \quad (0,01)$$

$$t_{pd} \geq 0,139 * (l_{pd}-h_c) * p_m^{1/3} \quad 25 > 19 \quad \text{vérifié} \quad (0,77)$$

Pression diamétrale

$$|t_z| = 0,18 \quad [\text{T}] \quad \text{Effort tranchant} \quad t_z = (Q_z - 0,3 * N) / n_v$$

$$|t_z| \leq 3 * d * t_{pd} * \sigma_e \quad |0,18| < 28,76 \quad \text{vérifié} \quad (0,01)$$

$$|t_y| = 0,18 \quad [\text{T}] \quad \text{Effort tranchant} \quad t_y = (Q_y - 0,3 * N) / n_v$$

$$|t_y| \leq 3 * d * t_{pd} * \sigma_e \quad |0,18| < 28,76 \quad \text{vérifié} \quad (0,01)$$

Platine de prescelllement

Pression diamétrale

$$|t_z'| \leq 3 * d * t_{pp} * \sigma_e \quad |0,18| < 5,75 \quad \text{vérifié} \quad (0,03)$$

$$|t_y'| \leq 3 * d * t_{pp} * \sigma_e \quad |0,18| < 5,75 \quad \text{vérifié} \quad (0,03)$$

Remarques

Longueur L4 trop faible. $0 \text{ [mm]} < 24 \text{ [mm]}$

Assemblage satisfaisant vis à vis de la Norme Ratio 0,77

III. Conclusion

Les vérifications des assemblages pour les deux types de toiture, à savoir la ferme en treillis 3D et le portique 3D, ont été réalisées conformément aux spécifications énoncées dans les normes pertinentes. Les résultats de ces vérifications démontrent que les assemblages répondent aux critères de résistance, de rigidité et de sécurité établis par ces normes. Les analyses ont révélé une distribution uniforme des charges et une capacité portante adéquate des éléments d'assemblage, confirmant ainsi leur aptitude à supporter les contraintes structurelles prévues. En outre, les calculs de contraintes et de déformations ont été effectués, démontrant la capacité des assemblages à maintenir leur intégrité structurelle sous différentes conditions de chargement. En conclusion, les assemblages examinés ont été jugés satisfaisants en termes de conformité normative et de performance structurelle pour les applications spécifiques de la ferme en treillis 3D et du portique 3D.

Chapitre VII

Étude comparative

I. Introduction :

Suite à l'achèvement de l'étude technique, du dimensionnement et de la vérification de nos deux structures de toiture distinctes, nous passons à l'étude comparative et à l'évaluation des coûts entre les deux options. Cela nous permet de tirer plusieurs conclusions et recommandations et d'estimer le coût total de la structure en fonction du type d'éléments sélectionnés.

Pour réaliser cela, nous allons déterminer le poids de divers éléments de chaque structure. Il est important de noter que ces poids ne seront calculés que pour la structure de la toiture en charpente métallique, sans prendre en compte l'ossature en béton armé, la couverture en panneaux sandwich et la fondation de la structure.

II. Ferme en treillis 3D :

Tableau 15 : Sections choisies pour Les éléments de la ferme et les contreventements

Éléments	Section choisie
Membrures supérieures	2CAE 100x10
	2CAE 60x6
	HEA 160
Membrures inférieures	2CAE 100x10
	2CAE60x6
	HEA 160
Contreventements horizontale (Diagonales)	2CAE 50x5
montants	2CAE 100x10
	2CAE 60x6
	2CAE 50x5
Montant F.ch Interm	4CAE 100x10
Diagonales	2CAE 50x5
	2CAE 60x6
Pannes	IPE 160

II.1. Calcul du poids réel de la ferme :**• Membrures supérieures :**

2CAE 100x10 à $G = 15.32\text{Kg/m}$

Longueur total : 34.80m

2CAE 60x6 à $G = 5.53\text{Kg/m}$

Longueur total : 19.41m

HEA160 à $G = 30.4\text{Kg/m}$

Longueur total : 19.41m

Poids des membrures supérieures :

$$W_{MS} = (2G_{(2CAE)} \times L) \times Nb + (2G_{(2CAE\ 60 \times 6)} \times L) \times Nb + (G_{(HEA160)} \times L) \times Nb$$

$$W_{MS} = (2 \times 15.32 \times 34.80) \times 40 + (2 \times 5.53 \times 19.41) \times 6 + (30.4 \times 19.41) \times 3 = 45709.13\text{kg.}$$

• Membrures inférieures :

2CAE 100x10 à $G = 15.32\text{Kg/m}$

Longueur total : 34.80m

2CAE 60x6 à $G = 5.53\text{Kg/m}$

Longueur total : 19.41m

HEA160 à $G = 30.4\text{Kg/m}$

Longueur total : 19.41m

Poids des membrures supérieures :

$$W_{Mi} = (2G_{(2CAE100 \times 10)} \times L) \times Nb + (2G_{(2CAE\ 60 \times 6)} \times L) \times Nb + (G_{(HEA160)} \times L) \times Nb$$

$$W_{Mi} = (2 \times 15.32 \times 34.80) \times 34 + (2 \times 5.53 \times 19.41) \times 7 + (30.4 \times 19.41) \times 3 = 39526.17\text{kg.}$$

• Contreventements horizontale (Diagonales):

2CAE 50x5 à $G = 3.84\text{Kg/m}$

Longueur total : 16.52m

Poids des contreventements horizontales:

$$W_C = 2G \times L \times Nb = 2 \times 3.84 \times 16.52 \times 22 = 2791.22$$

• **Montants :**

2CAE 100x10 à $G = 15.32\text{Kg/m}$

Longueur total : 1.79m

2CAE 60x6 à $G = 5.53\text{Kg/m}$

Longueur total : 2.90m

2CAE 50x5 à $G = 3.84\text{Kg/m}$

Longueur total : 1.40m

$$W_{\text{Mon}} = (2G_{(2\text{CAE}100)} \times L) \times Nb + (2G_{(2\text{CAE } 60 \times 6)} \times L) \times Nb + (2G_{(2\text{CAE } 50 \times 5)} \times L) \times Nb$$

$$W_{\text{Mon}} = (2 \times 15.32 \times 1.79) \times 8 + (2 \times 5.53 \times 2.90) \times 14 + (3.84 \times 1.40) \times 28 = 1038.37\text{kg.}$$

• **Montant F.ch Interm (ferme chinage):**

4CAE 100x10 à $G = 15.32\text{Kg/m}$

Longueur total : 3.23m

Poids des contreventements horizontales:

$$W_M = 2G \times L \times Nb = 4 \times 15.32 \times 3.23 \times 5 = 989.7\text{Kg.}$$

• **Diagonales :**

2CAE 60x6 à $G = 5.53\text{Kg/m}$

Longueur total : 1.83m

2CAE 50x5 à $G = 3.84\text{Kg/m}$

Longueur total : 1.82m

$$W_D = (2G_{(2\text{CAE}60 \times 6)} \times L) \times Nb + (2G_{(2\text{CAE } 50 \times 5)} \times L) \times Nb$$

$$W_D = (2 \times 5.53 \times 1.83) \times 269 + (2 \times 3.84 \times 1.82) \times 38 = 5975.66\text{Kg.}$$

• **Pannes :**

IPE 160 à $G = 15.8\text{Kg/m}$

Longueur total : 19.41m

$$W_p = G \times L \times Nb = 15.8 \times 19.41 \times 77 = 23614.20\text{Kg.}$$

Poids total de la ferme :

$$W = W_{MS} + W_{Mi} + W_C + W_{Mon} + W_M + W_D + W_P = 119644.45\text{kg}$$

Nous ajoutons forfaitairement 20% pour tenir compte du poids des goussets, des boulons, et de la peinture. Poids total de la toiture est :

$$W = 119644.45 \times 1,2 = \mathbf{143573.34\text{kg}}$$

III. Portique 3D :

Tableau 16 :Sections choisies pour Les éléments du portique 3D

Elements	Section choisie
Arbalétriers	IPE360
Pannes	HEA220
Montatns	HEA220

• **Arbalétriers :**

IPE 360 à $G = 58.20\text{Kg/m}$

Longueur total : 34.80m

$$W_A = G \times L \times Nb = 58.20 \times 34.80 \times 30 = 60760.8\text{Kg.}$$

• **Pannes:**

HEA 220 à $G = 51.47\text{Kg/m}$

Longueur total : 19.41m

$$W_P = G \times L \times Nb = 51.47 \times 19.41 \times 77 = 76\,925.52\text{Kg.}$$

• **Montants :**

$$\text{HEA 220 à } G = 51.47\text{Kg/m}$$

Longueur total : 6.09m

$$W_M = G \times L \times Nb = 51.47 \times 6.09 \times 9 = 2821.1\text{Kg.}$$

Poids total du portique :

$$W = W_A + W_P + W_M = 140\,507.42\text{kg}$$

Nous ajoutons forfaitairement 20% pour tenir compte du poids des goussets, des boulons, et de la peinture. Poids total de la toiture est :

$$W = 71574.16 \times 1,2 = \mathbf{168\,608.90\text{kg}}$$

Tableau récapitulatif :

structure	Poids total (kg)	Coût approximatif (DA) (Prix unitaire 240DA/kg)
ferme treillis 3D	143 573.34	34 457 601.60
portique 3D	168 608.90	40 466 136.00

IV. Conclusion

À l'issue de notre étude comparative entre les différents types de charpentes de toiture (la ferme treillis 3D et le portique 3D) plusieurs conclusions significatives peuvent être tirées :

Il s'avère que la structure ferme treillis 3D présente des avantages notables en termes de coût. Cette supériorité économique est principalement attribuable à la réduction des quantités d'acier nécessaires pour la conception de cette structure, ce qui se traduit par une diminution des coûts des matériaux. De plus, la simplicité relative de l'assemblage des fermes treillis 3D contribue à une réduction des coûts de main-d'œuvre et de temps de construction, ce qui renforce davantage son avantage financier.

Cependant, il est crucial de souligner que les autres types de structures, à savoir le portique 3D, démontrent une efficacité et une rigidité exceptionnelles. En termes de résistance mécanique, ces structures se révèlent extrêmement performantes, offrant une capacité élevée à supporter des charges importantes et à résister aux sollicitations diverses. Cette robustesse accrue est particulièrement bénéfique dans des contextes où la sécurité et la durabilité sont des priorités absolues.

Toutefois, cette efficacité structurale des charpentes en portique se traduit par des coûts plus élevés. La complexité de leur conception et de leur fabrication implique un investissement substantiel en termes de main-d'œuvre qualifiée et de temps de construction. Ainsi, bien que techniquement avantageuses, les structures en portiques 3D peuvent être considérées comme moins compétitives sur le plan économique par rapport aux treillis 3D.

En conclusion, le choix entre ces types de charpentes dépendra largement des priorités spécifiques du projet. Si le budget et la rapidité d'exécution sont les critères prépondérants, la charpente en treillis 3D s'impose comme la solution optimale. En revanche, pour des projets où la résistance et la rigidité de la structure sont des impératifs non négociables, les charpentes en portique 3D représentent un choix judicieux, malgré les coûts plus élevés associés. Une évaluation équilibrée des besoins du projet permettra de déterminer la solution la plus adaptée, garantissant ainsi une combinaison optimale de performance technique et de viabilité économique.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Arrivant à la fin de ce modeste travail, cette expérience m'a offert l'occasion d'appliquer et d'approfondir toutes les connaissances acquises durant mon cursus de formation de master. Elle m'a également permis de mieux comprendre le domaine de la construction en charpente métallique, d'assimiler les différentes techniques et logiciels de calcul, ainsi que la réglementation régissant les principes de conception et de calcul des ouvrages dans ce domaine.

Ce projet a permis de démontrer l'importance de l'intégration d'une analyse technico-commerciale dans le processus de conception des structures de toiture. En combinant des considérations techniques avec une évaluation économique rigoureuse, il est possible de choisir la solution la plus appropriée qui répond aux exigences spécifiques du projet tout en optimisant les ressources disponibles.

La complexité des calculs en génie civil fait inévitablement appel aux services d'outils numériques tels que 'AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS', à qui on doit un gain en temps, en précision et en fiabilité.

Au cours de mon étude, je suis parvenu à un certain nombre de conclusions dont les plus importantes sont les suivantes :

- La modélisation doit être aussi proche que possible de la réalité, afin d'approcher le comportement réel de la structure et obtenir de meilleurs résultats.
- Dans les structures métalliques les actions du vent sont souvent les plus défavorables.
- Vu sa bonne rigidité et son poids léger, l'acier nous offre la possibilité de concevoir des éléments de la portée.
- L'ambition du projet était de minimiser tous les risques pour assurer la protection des personnes et des propriétés, qui restent la priorité absolue dans le domaine de l'ingénierie civile.

Références Bibliographie

Référence Bibliographie

- [1] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Toit.html>
- [2] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Couverture_\(construction\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Couverture_(construction))
- [3] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/techniques-du-batiment-les-toitures-terrasses-43810210/toitures-terrasses-definitions-et-caracteristiques-techniques-de-l-etancheite-tba1905/>
- [4] <https://www.lemoniteur.fr/article/introduction.844189>
- [5] <https://www.illico-travaux.com/renovation/renovation-toiture/beton/>
- [6] <https://www.zinguerie-toiture.com/dalle-beton-avantages-inconvenients/>
- [7] <https://toiture.pagesjaunes.fr/comprendre/toiture-beton>
- [8] <https://www.ootravaux.fr/construction-renovation/toiture/charpente/comment-choisir-materiau-charpente.html>
- [9] <https://www.plus-que-pro.fr/P-791-434-B1-avantages-et-inconvenients-d-un-toit-en-bois.html>
- [10] <https://moncouvreur.pro/toit-en-bois/>
- [11] <https://www.artisanat-habitat.fr/actualites/construction-renovation/les-toitures-en-bois-avantages-et-inconvenients/>
- [12] <https://i.pinimg.com/736x/97/01/30/97013039a224c04650287d2312f82845.jpg>
- [13] <https://www.pinterest.com.mx/pin/752171575284363179/>
- [14] <https://www.bois.com/construction-renovation/techniques/charpente/fermette>
- [15] <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/toiture-charpente/charpente-metallique>
- [16] <https://charpentebois.com/types-de-charpentes/charpente-metallique/>
- [17] <https://stock.adobe.com/fr/images/concrete-floor-inside-industrial-building-use-as-large-factory-warehouse-storehouse-hangar-or-plant-modern-interior-with-metal-wall-and-steel-structure-with-empty-space-for-industry-background/66757154>
- [18] <https://storage.canalblog.com/63/91/862523/69642912.jpg>
- [19] <https://www.arla.fr/actualites/construction-metalliques/avantages-charpente-metallique>
- [20] <https://www.renovationstoiture.com/couverture-toiture/les-materiaux-de-toiture/>
- [21] <https://www.pinterest.fr/pin/2040762324012302/>
- [22] <https://www.pinterest.fr/pin/1104718983591445360/>
- [23] <http://www.bb61.fr/bois-non-traite-chimiquement/tuiles-bardeaux-en-bois/>
- [24] <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/toiture-charpente/toiture-vegetalisee->

les-choses-savoir

- [25] <https://ppf.fr/amelioration-de-lhabitat/choisir-materiau-de-couverture/>
- [26] <https://akadia.fr/toiture-zinc>
- [27] <https://couvreur-paris-idf.wixsite.com/couvreur-paris-idf/toiture-cuivre->
- [28] <https://www.lorillard.fr/nos-produits/verrieres/verriere-toit-aluminium>
- [29] <https://charpentebois.com/types-de-charpentes/charpente-metallique/>
- [30] <https://armorchaume.fr/chaumier-entretien-sur-toit-chaume>
- [31] <https://www.archiexpo.fr/prod/corrugated-metals-inc/product-59350-855052.html>
- [32] <https://www.toiture-couvreur.fr/type-de-toiture>
- [33] <https://cahors.maison-natilia.fr/actualites/les-differentes-possibilites-de-toiture>
- [34] <https://toitureunix.com/les-avantages-et-inconvenients-dun-toit-plat/>

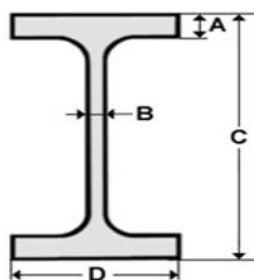
- [35] <https://www.triangle-energie.com/detail-d-un-hangar-solaire-agricole/hangar-solaire-1890-m-2>
- [36] <https://outillage-de-pro.com/toit-4-pentes-prix/>
- [37] <https://magazin.velux.ch/fr-CH/article/le-toit-en-pavillon>
- [38] <https://constructionbois.bilp.fr/guide-charpente/types/toiture-pavillon/>
- [39] <https://biblus.accasoftware.com/fr/toit-en-pignon/>
- [40] <https://www.paj-mag.fr/definition/toit-en-pavillon/>
- [41] https://www.m-habitat.fr/toiture/types-de-toitures/croupe-de-toiture-4740_A
- [42] <https://www.guide-toiture.com/construire-et-poser-sa-toiture/styles-toiture/>
- [43] <https://www.majesty-wood.be/realisations/carport-demi-croupe-namur>
- [44] <https://magazin.velux.ch/fr-CH/article/formes-de-toit-toit-mansarde>
- [45] <https://toiture.pagesjaunes.fr/astuce/voir/727831/toit-mansarde>
- [46] <https://www.invite-et-decor.com/les-toits-mansardes-une-solution-de-plus-en-plus-populaire-pour-maximiser-lespace-de-votre-maison/>
- [47] <https://www.ootravaux.fr/construction-renovation/toiture/couverture/travaux-toiture/toiture-mansarde-avantages-et-inconvenients-et-prix.html>
- [48] <https://www.cupapizarras.com/fr/actualite/toiture-mansarde/>
- [49] <https://pavex.be/toiture-3-pans/>
- [50] <https://toutsurlamaison.fr/toiture-a-3-pans-avantages-et-inconvenients/>
- [51] <https://www.renovation-toiture.fr/toiture-3-pans-prix-interets>
- [52] <https://www.votre-habitation.com/renovation/toiture/renovation-toiture/type-de-charpente-toiture/charpente-pente/toiture-3-pans/>

- [53] <https://www.toitexpert.be/toiture-3-pans/>
- [54] <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/isolation-toiture/toiture-arrondie>
- [55] <https://www.bmigroup.com/be/fr-be/centre-de-connaissances/la-toiture/formes-de-toitures/>
- [56] <https://www.guide-toiture.com/construire-et-poser-sa-toiture/prix-toiture-arrondie/>
- [57] <https://www.iko.com/blog/fr/ancient-roofs/>
- [58] <https://www.pinterest.com/pin/110478997103771805/>
- [59] <https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-2015-toit-terrasse.html>
- [60] https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2018-toit-terrasse.html#google_vignette
- [61] <https://www.dimo-diagnostic.net/actualite-diagnostic-immobilier/toit-terrasse>
- [62] <https://www.lefigaro.fr/maison/construction-d-un-toit-terrasse-quelles-regles-respecter-20221112>
- [63] <https://www.renovationetravaux.fr/etancheite-toit-terrasse-realiser-conseils>
- [64] <https://www.index-habitation.fr/travaux/etancheite-toit-terrasse>
- [65] https://www.cotemaison.fr/terrasse/toit-terrasse-bois-amenager-son-toit-en-terrasse-a-vivre_21042.html
- [66] <https://www.schwoererhaus.com/fr-fr/toit-papillon-1/>
- [67] <https://www.cupapizarras.com/fr/actualite/types-de-toitures/>
- [68] https://www.archionline.com/actualites/differents_types_charpentes/
- [69] <https://www.guide-toiture.com/construire-et-poser-sa-toiture/styles-toiture/>
- [70] <https://projects.archiexpo.fr/project-21086.html>
- [71] <https://www.charpenteberleau.com/charpente-traditionnelle-avec-coyau/>
- [72] <https://fr.twiza.org/article/413/quelle-est-lorigine-du-coyau>
- [73] <https://www.cnrtl.fr/definition/coyau>
- [74] <https://www.charpente-classique.com/qu-que-coyau-charpente/>
- [75] <https://www.laculturegenerale.com/dome-coupole-difference-architecture/>,
- [76] https://goodpensar.live/product_details/41888050.html
- [77] <https://fr.aleteia.org/2022/05/23/quelle-est-la-difference-entre-la-coupole-et-le-dome-dune-eglise/>
- [78] <https://www.tess.fr/projet/bourse-de-commerce>
- [79] <https://construction.trimble.com/fr/resources/articles/la-grande-facilit%C3%A9-dutilisation-de-tekla-structures-pour-la-planification-et-l-ex%C3%A9cution-du-b%C3%A9tonnage>
- [80] https://en.wikipedia.org/wiki/Tekla_Structures

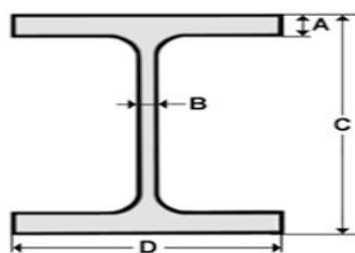
- [81] <https://robotmaroc.com/produit/tekla-structures/>
- [82] <https://www.pinterest.com/pin/628041110515816459/>
- [83] <https://batiadvisor.fr/tekla-structures/>
- [84] <https://support.tekla.com/fr/video/tsdi-teklastructures-1of4>
- [85] <https://www.prodware-innovation-design.fr/logiciel-cao/autodesk/bim/robot-structural-analysis>
- [86] <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>
- [87] <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>
- [88] <https://atlancad.fr/atlancad/logiciels/autodesk-robot-structural-analysis/>
- [89] <https://www.dlubal.com/fr/produits/anciens-produits/programme-autonome-de-calcul-de-structure/structures-bois>
- [90] <https://www.dlubal.com/fr/solutions/branches-d-activite/structures-bois>
- [91] <https://www.dlubal.com/fr/produits/rfem-calcul-par-elements-finis/rfem/qu-est-ce-que-rfem>
- [92] <https://www.dlubal.com/fr/telechargements-et-informations/references/projets-clients/001300>
- [93] https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/ounis-hadj/files/cours_sap2000_3lgc.pdf
- [94] <https://fr.fiverr.com/shahhamidullah/do-structural-analysis-modelling-and-design-with-etabs-sap2000-safe>
- [95] <https://wiki.csiamerica.com/display/etabs/Home>
- [96] <https://civiltoday.com/tutorials-training/learn-civil-software/etabs-tutorial>
- [97] <https://draftsmagic.com/what-is-etabs-a-comprehensive-guide-for-structural-engineers/>
- [98] <https://www.csiamerica.com/products/etabs>
- [99] <https://www.batibtp.fr/logiciel/fiche/scia-engineer.html>
- [100] <https://www.scia.net/fr/scia-engineer>
- [101] <https://gratec.com/fr/industries/des-solutions-pour-chaque-industrie/logiciels-ingenieurs/logiciels-ingenieurs-structure/>
- [102] <https://www.autodesk.com/ca-fr/solutions/cad-software>
- [103] <https://www.archiexpo.fr/prod/autodesk/product-1773-2233012.html>
- [104] https://www.gratec.com/Help/Advance_Design/En/index.htm#t=Advance-Design-Help.htm
- [105] <https://www.archiexpo.fr/prod/gratec/product-2549-1442771.html>

Annexe

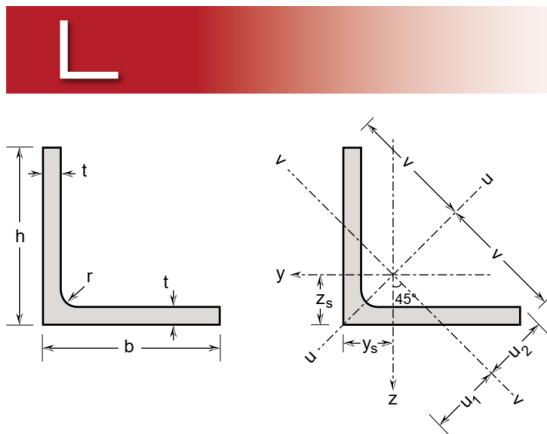
Annexe : caractéristiques des profils



Profils IPE	Dimensions en mm				Poids en kg/ML
	C	D	B	A	
IPE 080	80	46	3,8	5,2	6
IPE 100	100	55	4,1	5,7	8,1
IPE 120	120	64	4,4	6,3	10,4
IPE 140	140	73	4,7	6,9	12,8
IPE 160	160	82	5	7,4	15,8
IPE 180	180	91	5,3	8	18,8
IPE 200	200	100	5,6	8,5	22,4
IPE 220	220	110	5,9	9,2	26,2
IPE 240	240	120	6,2	9,8	30,7
IPE 270	270	135	6,6	10,2	36,1
IPE 300	300	150	7,1	10,7	42,2
IPE 330	330	160	7,5	11,5	49,1
IPE 360	360	170	8	12,7	57,1
IPE 400	400	180	8,6	13,5	66,3



Profils HEA	Dimensions en mm				Poids en kg/ML
	C	D	B	A	
HEA 100	96	100	5	8	16,7
HEA 120	114	120	5	8	19,9
HEA 140	133	140	5,5	8,5	24,7
HEA 160	152	160	6	9	30,4
HEA 180	171	180	6	9,5	35,5
HEA 200	190	200	6,5	10	42,3
HEA 220	210	220	7	11	50,5
HEA 240	230	240	7,5	12	60,3
HEA 260	250	260	7,5	12,5	68,2
HEA 280	270	280	8	13	76,4
HEA 300	290	300	8,5	14	88,3
HEA 320	310	300	9	15,5	97,6
HEA 340	330	300	9,5	16,5	105
HEA 360	350	300	10	17,5	112

**Equal leg angles**

Dimensions: in accordance with EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2:1993.

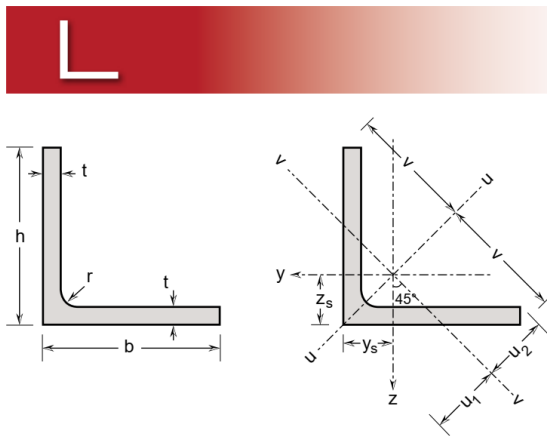
Gleichschenkliger Winkelstahl

Abmessungen: gemäß EN 10056-1: 1998
Toleranzen: EN 10056-2:1993.

Cornières à ailes égales

Dimensions: conformes à la norme EN 10056-1: 1998
Tolérances: EN 10056-2:1993.

General properties / Generelle Eigenschaften / Valeurs généraux									
Designation Bezeichnung Désignation	G kg/m	Dimensions Abmessungen Dimensions				Position of axes Lage der Achsen Position des axes			
		h = b mm	t mm	r mm	A mm ² x10 ²	z _s =y _s mm	v mm	u ₁ mm	u ₂ mm
L 15 x 15 x 2	0.45	15	2	2.5	0.57	4.39	10.61	6.21	5.29
L 15 x 15 x 3	0.66	15	3	3	0.82	4.76	10.61	6.73	5.37
L 20 x 20 x 2	0.89	20	3	2.5	1.12	6.03	14.14	8.53	7.21
L 20 x 20 x 3	0.90	20	3	3.5	1.12	5.98	14.14	8.46	7.08
L 20 x 20 x 4	1.16	20	4	3.5	1.45	6.37	14.14	9.01	7.24
L 25 x 25 x 3	1.14	25	3	3.5	1.42	7.23	17.68	10.22	8.85
L 25 x 25 x 4	1.48	25	4	3.5	1.85	7.62	17.68	10.78	9.01
L 25 x 25 x 5	1.82	25	5	5	2.28	7.93	17.68	11.22	8.96
L 30 x 30 x 3	1.39	30	3	5	1.74	8.35	21.21	11.81	10.49
L 30 x 30 x 4	1.81	30	4	5	2.27	8.78	21.21	12.42	10.58
L 30 x 30 x 5	2.22	30	5	5	2.78	9.18	21.21	12.99	10.73
L 30 x 30 x 6	2.61	30	6	5	3.27	9.56	21.21	13.52	10.90
L 35 x 35 x 4	2.13	35	4	5	2.67	10.03	24.75	14.18	12.36
L 35 x 35 x 5	2.62	35	5	5	3.28	10.43	24.75	14.75	12.50
L 40 x 40 x 3	1.87	40	3	5	2.34	10.84	28.28	15.33	14.04
L 40 x 40 x 4	2.46	40	4	6	3.08	11.20	28.28	15.83	14.04
L 40 x 40 x 5	3.03	40	5	6	3.79	11.62	28.28	16.43	14.14
L 40 x 40 x 6	3.58	40	6	6	4.48	12.02	28.28	17.00	14.29
L 45 x 45 x 3	2.13	45	3	7	2.66	11.84	31.82	16.74	15.75
L 45 x 45 x 4	2.79	45	4	7	3.49	12.35	31.82	17.46	15.74
L 45 x 45 x 5	3.44	45	5	7	4.30	12.79	31.82	18.09	15.81
L 50 x 50 x 3	2.37	50	3	7	2.96	13.08	35.36	18.49	17.53
L 50 x 50 x 4	3.11	50	4	7	3.89	13.59	35.36	19.21	17.52

**Equal leg angles**

Dimensions: in accordance with EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2:1993.

Gleichschenkliger Winkelstahl

Abmessungen: gemäß EN 10056-1: 1998
Toleranzen: EN 10056-2:1993.

Cornières à ailes égales

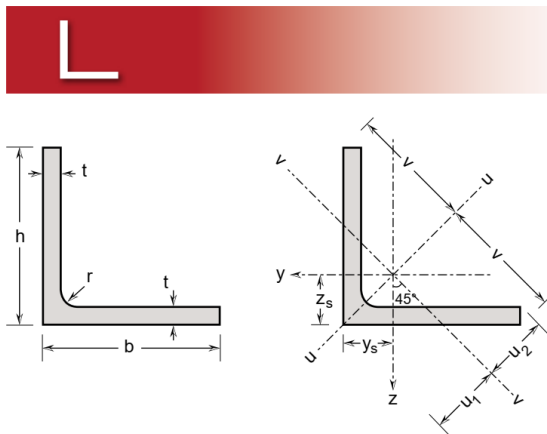
Dimensions: conformes à la norme EN 10056-1: 1998
Tolérances: EN 10056-2:1993.

General properties / Generelle Eigenschaften / Valeurs généraux									
Designation Bezeichnung Désignation	G kg/m	Dimensions Abmessungen Dimensions				Position of axes Lage der Achsen Position des axes			
		h = b mm	t mm	r mm	A mm ² x10 ²	z _s =y _s mm	v mm	u ₁ mm	u ₂ mm
		L 50 x 50 x 5	3.84	50	5	7 / 2 *	4.80	14.04	35.36
L 50 x 50 x 6	4.55	50	6	7 / 2 *	5.69	14.45	35.36	20.44	17.71
L 50 x 50 x 7	5.25	50	7	7 / 2 *	6.56	14.85	35.36	21.01	17.85
L 50 x 50 x 8	5.93	50	8	7 / 2 *	7.41	15.24	35.36	21.55	18.01
L 60 x 60 x 5	4.65	60	5	8 / 2 *	5.82	16.44	42.43	23.24	21.06
L 60 x 60 x 6	5.53	60	6	8 / 2 *	6.91	16.88	42.43	23.87	21.15
L 60 x 60 x 7	6.38	60	7	8 / 2 *	7.98	17.29	42.43	24.45	21.27
L 60 x 60 x 8	7.22	60	8	8 / 2 *	9.03	17.69	42.43	25.02	21.41
L 60 x 60 x 10	8.85	60	10	8 / 2 *	11.07	18.46	42.43	26.10	21.74
L 65 x 65 x 6	6.02	65	6	9 / 2 *	7.53	18.04	45.96	25.51	22.83
L 65 x 65 x 7	6.96	65	7	9 / 2 *	8.70	18.47	45.96	26.12	22.93
L 65 x 65 x 8	7.88	65	8	9 / 2 *	9.85	18.88	45.96	26.70	23.06
L 65 x 65 x 9	8.78	65	9	9 / 2 *	10.98	19.28	45.96	27.26	23.20
L 65 x 65 x 10	9.67	65	10	9 / 2 *	12.09	19.66	45.96	27.81	23.36
L 70 x 70 x 5	5.47	70	5	9 / 2 *	6.84	18.82	49.50	26.62	24.55
L 70 x 70 x 6	6.50	70	6	9 / 2 *	8.13	19.28	49.50	27.27	24.61
L 70 x 70 x 7	7.52	70	7	9 / 2 *	9.40	19.71	49.50	27.88	24.70
L 70 x 70 x 8	8.53	70	8	10 / 2 *	10.67	20.06	49.50	28.37	24.72
L 70 x 70 x 9	9.50	70	9	9 / 2 *	11.88	20.53	49.50	29.03	24.97
L 70 x 70 x 10	10.47	70	10	9 / 2 *	13.09	20.91	49.50	29.58	25.13
L 75 x 75 x 5	5.87	75	5	9 / 2 *	7.34	20.06	53.03	28.37	26.33
L 75 x 75 x 6	6.98	75	6	9 / 2 *	8.73	20.53	53.03	29.03	26.38
L 75 x 75 x 7	8.08	75	7	9 / 2 *	10.10	20.96	53.03	29.64	26.48
L 75 x 75 x 8	9.16	75	8	9 / 2 *	11.45	21.37	53.03	30.23	26.60
L 75 x 75 x 9	10.22	75	9	9 / 2 *	12.78	21.77	53.03	30.79	26.74
L 75 x 75 x 10	11.27	75	10	9 / 2 *	14.09	22.16	53.03	31.35	26.89

* Profiles are also available laser welded with full penetration, equivalent to hot rolled (r = laser seam).

* Profile sind auch Lasergeschweisst mit Vollarbeitung erhältlich, gleichwertig zu warm gewalzt (r = Laser Naht).

* Profils disponibles aussi soudé laser avec pénétration complète, équivalent au laminé à chaud (r = cordon laser).

**Equal leg angles**

Dimensions: in accordance with EN 10056-1: 1998
Tolerances: EN 10056-2:1993.

Gleichschenkliger Winkelstahl

Abmessungen: gemäß EN 10056-1: 1998
Toleranzen: EN 10056-2:1993.

Cornières à ailes égales

Dimensions: conformes à la norme EN 10056-1: 1998
Tolérances: EN 10056-2:1993.

General properties / Generelle Eigenschaften / Valeurs généraux									
Designation Bezeichnung Désignation	G	Dimensions Abmessungen Dimensions				Position of axes Lage der Achsen Position des axes			
	kg/m	h = b mm	t mm	r mm	A mm ² x10 ²	z _s =y _s mm	v mm	u ₁ mm	u ₂ mm
L 80 x 80 x 6	7.48	80	6	10 / 2 *	9.35	21.67	56.57	30.65	28.09
L 80 x 80 x 7	8.65	80	7	10 / 2 *	10.82	22.12	56.57	31.29	28.16
L 80 x 80 x 8	9.81	80	8	10 / 2 *	12.27	22.55	56.57	31.89	28.26
L 80 x 80 x 9	10.96	80	9	10 / 2 *	13.70	22.96	56.57	32.47	28.39
L 80 x 80 x 10	12.09	80	10	10 / 2 *	15.11	23.36	56.57	33.04	28.53
L 90 x 90 x 6	8.44	90	6	10 / 2 *	10.55	24.16	63.64	34.17	31.64
L 90 x 90 x 7	9.79	90	7	11 / 2 *	12.24	24.52	63.64	34.68	31.63
L 90 x 90 x 8	11.11	90	8	11 / 2 *	13.89	24.96	63.64	35.31	31.71
L 90 x 90 x 9	12.42	90	9	11 / 2 *	15.52	25.39	63.64	35.90	31.82
L 90 x 90 x 10	13.70	90	10	11 / 2 *	17.13	25.80	63.64	36.48	31.95
L 100 x 100 x 6	9.44	100	6	12 / 2 *	11.79	26.42	70.71	37.36	35.10
L 100 x 100 x 7	10.93	100	7	12 / 2 *	13.66	26.91	70.71	38.06	35.12
L 100 x 100 x 8	12.41	100	8	12 / 2 *	15.51	27.37	70.71	38.70	35.18
L 100 x 100 x 9	13.88	100	9	12 / 2 *	17.34	27.80	70.71	39.32	35.27
L 100 x 100 x 10	15.32	100	10	12 / 2 *	19.15	28.22	70.71	39.92	35.38
L 100 x 100 x 12	18.17	100	12	12 / 2 *	22.71	29.03	70.71	41.06	35.65
L 110 x 110 x 6	10.40	110	6	12 / 2 *	12.99	28.91	77.78	40.88	38.66
L 110 x 110 x 7	12.05	110	7	12 / 2 *	15.06	29.40	77.78	41.58	38.67
L 110 x 110 x 8	13.69	110	8	12 / 2 *	17.11	29.86	77.78	42.23	38.73
L 110 x 110 x 9	15.32	110	9	12 / 2 *	19.14	30.30	77.78	42.85	38.81
L 110 x 110 x 10	16.95	110	10	13 / 2 *	21.18	30.64	77.78	43.34	38.82
L 110 x 110 x 11	18.54	110	11	13 / 2 *	23.17	31.06	77.78	43.93	38.94
L 110 x 110 x 12	20.11	110	12	13 / 2 *	25.14	31.47	77.78	44.50	39.07
L 120 x 120 x 7	13.19	120	7	13 / 2 *	16.49	31.78	84.85	44.94	42.17
L 120 x 120 x 8	14.99	120	8	13 / 2 *	18.74	32.25	84.85	45.61	42.21
L 120 x 120 x 9	16.78	120	9	13 / 2 *	20.97	32.70	84.85	46.25	42.27
L 120 x 120 x 10	18.55	120	10	13 / 2 *	23.18	33.14	84.85	46.86	42.37

* Profiles are also available laser welded with full penetration, equivalent to hot rolled (r = laser seam).

* Profile sind auch Lasergeschweisst mit Vollarbeitung erhältlich, gleichwertig zu warm gewalzt (r = Laser Naht).

* Profils disponibles aussi soudé laser avec pénétration complète, équivalent au laminé à chaud (r = cordon laser).