

Rapport du Projet de Fin d'Études

Dimensionnement de la couverture d'une Salle Sportive en Structures Métalliques

Encadré Par :

Dr. Hayssam El GHOCHE

Dr. Walid CHEHADE

Réalisé par :

EL CHAMAA Mohamad

SAID Mirella

TAHAN Abdallah

Juillet 2023

Résumé

Le thème de notre projet est l'étude de dimensionnement et conception d'une salle omni sport en construction mixte située à Barja.

L'étude générale de ce thème est basée sur la conception et le dimensionnement d'une zone particulière de ce projet, c'est la toiture métallique de la salle. Notre but est d'assurer la stabilité de la structure, et pour y'arriver on utilise les plans architecturaux ainsi qu'un logiciel de calcul (modélisation et dimensionnement de la structure).

Summary

This work consists of studying and dimensioning a hangar for sports use built in a metal frame located in Barja.

The general study of this theme is based on the design and sizing of a particular area of this project study area is the metal roofing of the stadium. Our goal is to ensure the stability of the structure, and to achieve this we use architectural plans as well as calculation software (modeling and dimensioning of the structure).

Remerciements

Tout d’abord, nous sommes reconnaissants pour la Faculté de Technologie, du chef de département de génie civil Dr. Bachir FAWAZ et les docteurs qui ont travaillé durement afin d’achever ce semestre en dépit de toutes les situations difficiles au Liban.

Nous remercions précisément quelques personnes qui m'ont prêté la main en faisant ce projet :

Dr. Hayssam EL GHOCHE, Enseignant et Doctorat au Département Génie Civil BTP de la Faculté de Technologie SAIDA, parce qu’il a été un exemplaire idéal due qu’il n’était pas uniquement notre docteur mais quand même notre ami, c’est pourquoi ses informations restent fixes dans notre mémoire, vue que ses indications renferment des guidances en tout ce qui est en rapport en Génie Civil. Un grand merci pour votre présence et votre aide.

Dr. Walid CHEHADÉ, Enseignant et Doctorat au Département Génie civil BTP de la Faculté de Technologie SAIDA, d'avoir nous accompagné durant ces 3 années, il était tellement l'un des profs qui nous a enrichit avec des informations en tout ce qui est en rapport avec la structure. Donc nous sommes reconnaissants pour tous les efforts déployés de votre part.

Donc, maintenant en réalisant notre projet de fin d’étude, nous sommes bien heureux d’être avec vous afin de vous remercie tout en vous faisant voir notre travail en ce projet dû aux votre renseignements dès notre premier jour au sein de la Faculté.

Sommaire

Résumé.....	1
Remerciements.....	2
Introduction générale.....	4
Chapitre 1- Présentation du projet.....	5
✓ Introduction.....	6
✓ Données géométriques du projet de l'ouvrage	6
✓ Localisation et données concernant le site.....	7
✓ Matériaux utilisées	7
- Acier.....	8
- Les assemblages.....	9
✓ Conception Structurale.....	10
Chapitre 2- Évaluation des charges.....	11
✓ Introduction.....	12
✓ Charges permanentes.....	12
✓ Charges d'exploitations.....	12
✓ Effet de vent.....	13
Chapitre 3- Dimensionnement des éléments.....	14
✓ Dimensionnement de la toiture.....	15
✓ Dimensionnement des sections transversales.....	16
✓ Dimensionnement des sections longitudinales.....	16
✓ Dimensionnement de la section inférieure de la toiture.....	17
✓ Calcul des efforts axiaux sur ROBOT.....	18

Conclusion

Annexes

Introduction Générale

Durant notre étude à la Faculté de Technologie Université Libanaise, département Génie Civil BTP, nous sommes amenés à réaliser un projet fin d'étude, qui nous aide à concrétiser les connaissances acquises en passant à un niveau plus élevé qui nous permet de réaliser des projets au cours de notre vie professionnelle.

Dans le cadre de ce présent projet de fin d'étude, qui nous a été confié nous proposons de faire une étude technique de dimensionnement et de vérification d'une toiture en charpente métallique d'une salle sportive à BARJA.

Une structure ou ossature est un système permettant le transfert des différentes forces appliquées au bâtiment jusqu'au sol où elles s'équilibrent. Elle permet d'assurer à la construction son indéformabilité, donc sa solidité et sa stabilité.

La réalisation des structures se fait avec des matériaux et chacun d'entre eux a ses spécificités tant sur le plan conceptuel que technique et mécanique.

L'étude générale de ce thème est basée sur la conception et le dimensionnement d'une zone particulière de ce projet, c'est la toiture métallique, notre but est d'assurer la stabilité de la structure, et pour y arriver, on utilise les plans architecturaux ainsi qu'un logiciel de calcul ROBOT.

L'étude est passée par plusieurs étapes afin d'obtenir la stabilité souhaitée : l'étude de vent, modélisation et dimensionnement de la structure par le logiciel ROBOT : calcul des efforts axiaux, treillis...

Pour cela, nous allons suivre les démarches décrites sur le plan du travail suivant :

- ✓ Le premier chapitre, qui est consacré pour la présentation du projet
- ✓ Le deuxième chapitre, portera sur l'évaluation des charges
- ✓ Le troisième chapitre est le dimensionnement des éléments de la toiture
- ✓ Conclusion

Enfin nous clôturons cette étude en présentant une conclusion générale qui permet de faire la synthèse des principaux résultats de ce travail et de proposer des voies pour de futurs travaux.

CHAPITRE 1 :

Présentation du Projet

Chapitre 1 : Présentation du projet

1) Introduction :

Notre projet de fin d'étude consiste à étudier et dimensionner une toiture d'une salle sportive en structure métallique.

L'ouvrage est situé à BARJA CHOUF- MONT LIBAN, la structure est d'une surface de 4300 m², 56.8 m de largeur et 75.8 m de longueur avec un espacement entre portiques de 6 m ce qui fait le total de 14 portiques. ($75.8 \text{ m} / 6 \text{ m} = 13 + 1 = 14$ portiques).

2) Données géométriques du projet de l'ouvrage :

L'ouvrage a une forme en plan rectangulaire caractérisé par les dimensions comme suit :

- ✓ La longueur de la structure 75.8 m
- ✓ La largeur de la structure 56.8 m
- ✓ La hauteur totale 12 m

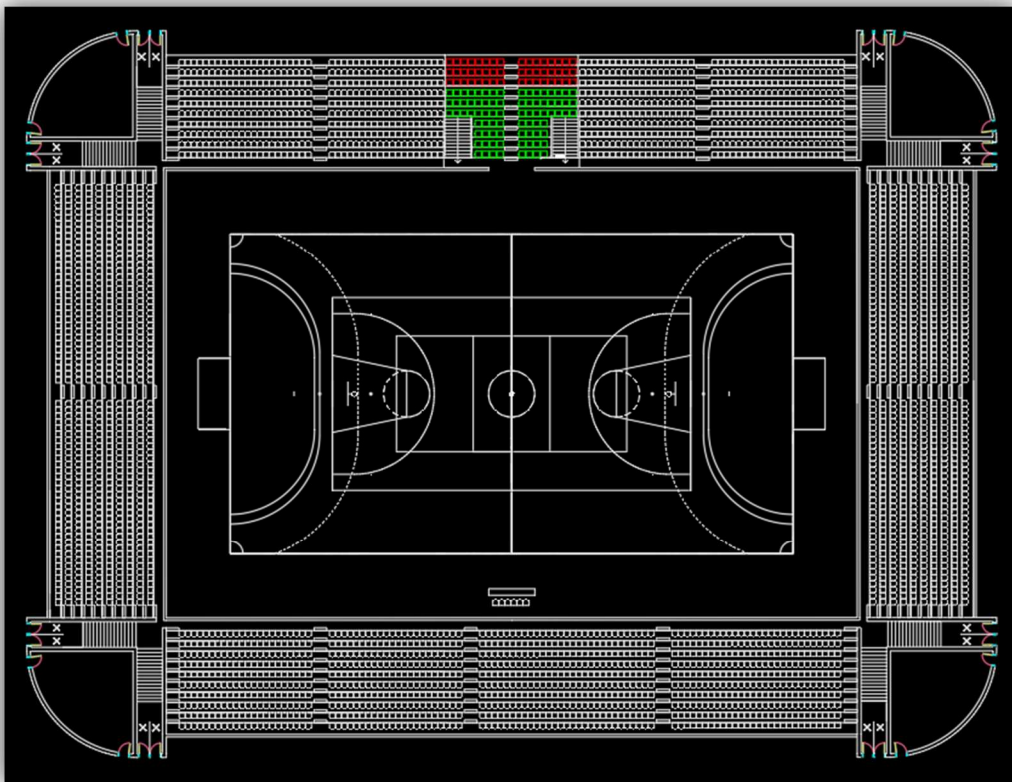


Figure 1- Plan masse de la salle

3) Localisation et données concernant le site :

Le projet est une salle sportive implanté dans un terrain à BARJA CHOUF- MONT LIBAN.

- ✓ Altitude: 200 m
- ✓ N'est pas considérée comme une zone de neige
- ✓ Action de la température effet négligeable

4) Matériaux Utilisées :

a) Panneaux sandwichs :

➤ Principe de choix d'un panneau sandwich :

Le panneau sandwich d'enveloppe de bâtiment, est un produit composite, fabriqué industriellement en continu, comportant un parement extérieur métallique, une âme isolante et un parement intérieur métallique solidarisés par adhérence à l'âme isolante.

Ces composants travaillent ensemble et ne constituent ainsi qu'un seul élément autoportant présentant différents niveaux de résistance mécanique, de réaction et de résistance au feu, d'isolation thermique et acoustique, d'étanchéité à l'air, à l'eau et à la vapeur d'eau et d'esthétique architecturale.

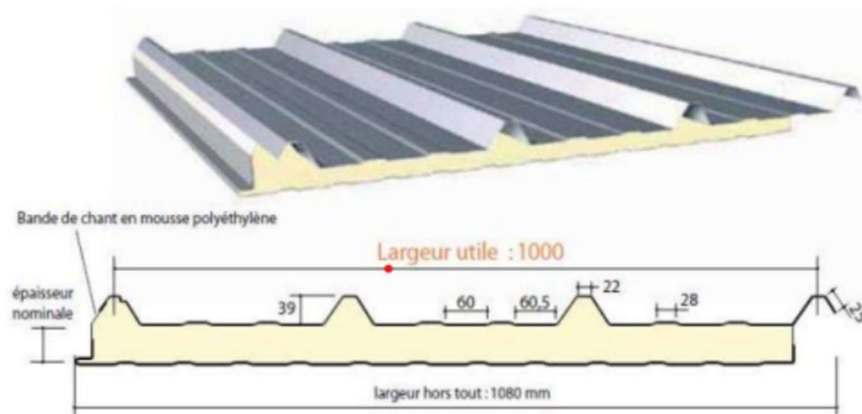


Figure 2- Détail de panneau sandwich

➤ **Panneau couverture :**

Pour choisir le panneau couverture qui convient à notre structure, on doit savoir la charge du vent maximale sollicitée sur la toiture, et le nombre d'appuis desquelles le panneau de couverture sera appuyé ainsi que l'épaisseur de la couverture.

On fait choisir un panneau de couverture d'épaisseur total 5 cm (panneau ouverture+ âme isolante+ étanchéité) qui possède un poids de 14 kg/m².

b) Acier :

C'est un alliage métallique composé majoritairement de fer et une faible quantité de carbone (inférieur à 2 %). Il est élaboré pour résister à des sollicitations mécaniques ou chimiques ou une combinaison des deux.

L'acier est généralement obtenu par une opération en deux phases :

-**1^{ère} phase** : la combustion de minerai de fer dans un haut fourneau permet l'obtention de la fonte (matériau à plus de 2 % de carbone).

-**2^{ème} phase** : il est procédé à la conversion de la fonte liquide en acier à une température de 1500 °C.

Matériaux	Matériaux Teneur en carbone (%)	Utilisation
Acier doux	$0.05 < c < 0.3$	Charpente, boulons
Acier mi-dure	$0.3 < c < 0.6$	Rails, pièces forgées
Acier dure	$0.6 < c < 0.75$	Outils
Acier extra-dure	$0.75 < c < 1.2$	Outils, poinçons
Acier sauvage	$1.2 < c < 1.7$	Pièces spéciales

Tableau 1- Classification des aciers selon leurs teneurs en carbone

On considère l'acier **S235** pour le calcul des différents profilés de la structure.

➤ **Caractéristiques de l'acier :**

La conception et le calcul d'une halle en construction métallique sont basés sur son utilisation prévue, et essentiellement sur leurs caractéristiques de résistance pour assurer une sécurité suffisante et pour garantir une bonne aptitude au service. Ils sont alors fortement influencés par les propriétés des matériaux de construction qui composent l'ouvrage.

L'acier possède de très bonne capacité de résistance mécanique lorsqu'il est soumis à un effort de traction. Effectivement, les valeurs limites de son élasticité et de sa résistance à la traction sont très élevées.

Tous les éléments en construction métallique utilisés dans ce projet sont :

- ✓ De nuance S235, ce qui signifie que $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$, où f_y désigne la résistance à la traction obtenue par essai de traction de l'acier.
- ✓ De module d'élasticité longitudinale $E = 21000 \text{ daN/mm}^2$

En compression, son comportement est presque identique à son comportement sous un effort de traction mis à part les phénomènes d'instabilités éventuels.

c) Les assemblages :

On appelle « assemblage » la zone d'interconnexion de deux éléments ou plus. Sa fonction principale est de transmettre correctement les efforts entre ces éléments. On distingue deux modes d'assemblage :

Les principaux modes d'assemblages sont :

- ✓ ***Le boulonnage*** qui est le moyen d'assemblage le plus utilisé en construction métallique du fait de sa facilité de mise en œuvre et des possibilités de réglage qu'il ménage sur site.
- ✓ ***Le soudage*** qui est une opération qui consiste à joindre deux parties d'un même matériau avec un cordon de la soudure constituée d'un métal d'apport, ce dernier sert de liant entre les deux pièces à assembler.

Dans ce projet, le mode d'assemblage utilisée est « ***Le Soudage*** ».

Deux procédés de soudages sont utilisés :

- ✓ La soudure autogène :(chalumeau oxyacétylénique et baguette d'apport de même métal).
- ✓ La soudure à l'arc électrique : avec électrodes enrobées ou protégées par flux de gaz (TIG, MIG)

5) Conception Structurale :

La conception de cette salle sportive a été faite de façon à satisfaire les critères suivants :

- ✓ L'économie
- ✓ La faisabilité
- ✓ Assurer la stabilité d'ensemble de la structure
- ✓ Assurer une résistance vis-à-vis des phénomènes d'instabilité

a) Structure verticale :

Un bardage utilisé maintenu en place à l'aide des panneaux sandwichs

b) Structure horizontale (la toiture) :

La toiture constitue la partie supérieure d'une structure. La fonction de la toiture est double, d'une part, elle doit assurer la répartition des charges (fonction porteuse) et d'autre part, elle assure le rôle de protection.

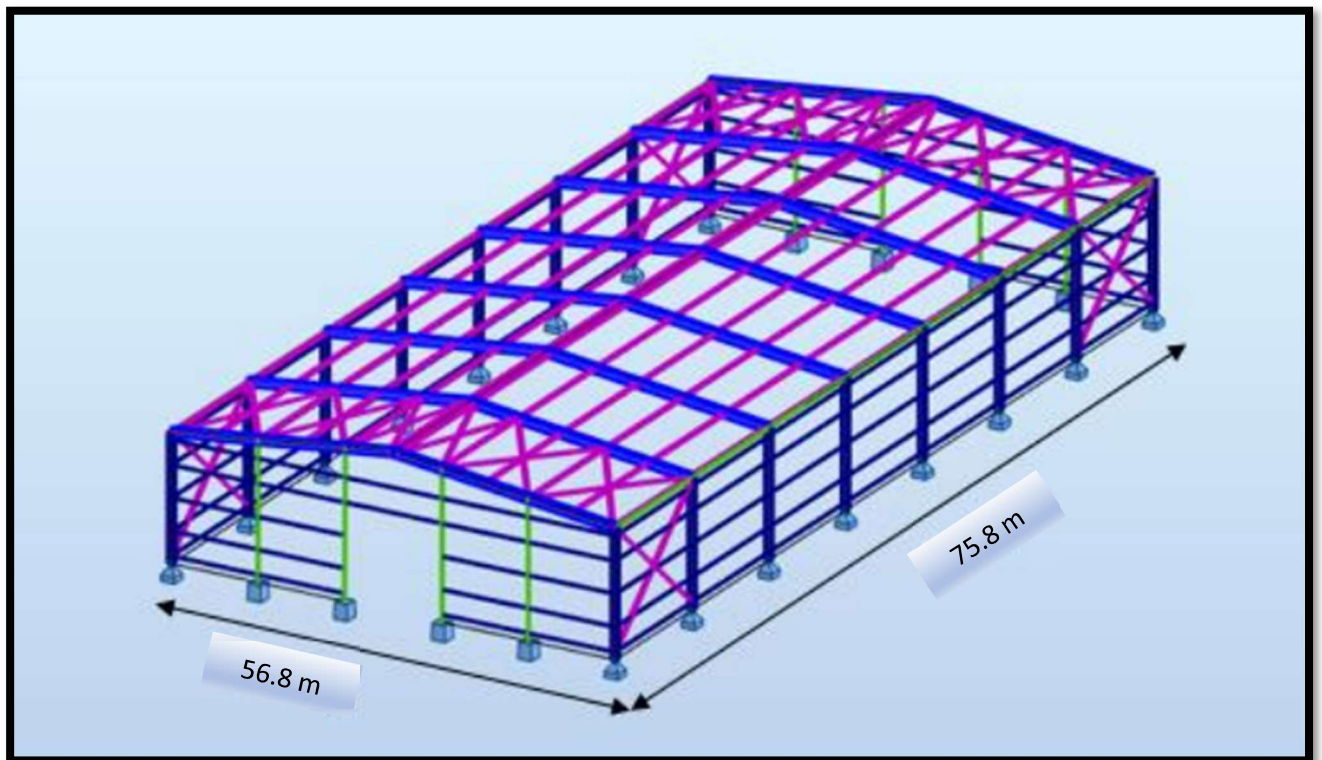


Figure 3- Vue en 3D de la structure

CHAPITRE 2 :

Évaluation des charges

Chapitre 2 : Evaluation des charges

1) Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons définir les différentes charges agissantes sur notre structure, qui se résument dans l'action des charges permanentes et d'exploitations. Ces derniers ont une grande influence sur la stabilité de l'ouvrage.

Pour cela, une étude approfondie doit être élaborée pour la détermination de ces différentes actions.

2) Charges permanentes :

Elle comprend non seulement le poids propre des éléments structuraux principaux et secondaires, mais aussi le poids des éléments incorporés aux éléments porteurs tels que la couverture et le bardage.

Les charges permanentes sont décomposées en deux charges :

- ✓ Le poids propre de la structure métallique formant la toiture
- ✓ Les charges des éléments de couverture comme le bac d'acier galvanisé support d'un complexe d'étanchéité comprenant un isolant et une étanchéité par membrane PVC

3) Charges d'exploitations :

Dans ce projet, les charges d'exploitations ou surcharges sont les charges mécaniques statiques permanentes ou dynamiques non permanentes. Elles couvrent la pression du vent, le poids des personnes et le mobilier, on peut aussi parler des surcharges d'entretien qui sont définies comme, charges ponctuelles de 100 daN au 1/3 et 2/3 de la portée d'une poutre.

On estime les charges d'exploitations égale à 150 Kg/m².

Les charges d'exploitation dont on a tenu compte :

- ✓ Charge d'entretien 100 kg/m²
- ✓ Charges des panneaux solaires en tenant compte la fixation, les câbles et le bac d'acier pour les panneaux 25 kg/m²

4) Effet de Vent :

Le déplacement de l'air tend à éliminer ces déséquilibres de pression, par conséquent, il produit un mouvement de masse d'air appelé « VENT » qui est par ailleurs conditionné également par le relief terrestre. Pour cela, une étude approfondie doit être élaborée pour la détermination des différentes actions dues au vent et ceci dans toutes les directions possibles. Les actions du vent appliquées aux parois dépendent de :

- ✓ La direction
- ✓ L'intensité
- ✓ La région
- ✓ Le site d'implantation de la structure et leur environnement
- ✓ La forme géométrique et les ouvertures de la structure

Les directions du vent qui donnent les actions résultantes maximales sont :

- Une direction normale au bord horizontal qui donne l'action résultante sur la toiture
- Une direction oblique au bord horizontal qui donne vers les extrémités de la toiture une action résultante qui peut être plus défavorable que celle due à un vent normal
- Une direction parallèle au bord horizontal qui donne l'action d'ensemble

L'effet du vent par unité de surface est donné par la formule suivante :

$$Q_{vent} = Q_{10} * K_h * K_s * K_m * \beta * C \text{ (en kg/m}^2\text{)}$$

➤ Hypothèses du calcul :

On prend :

- ✓ Pression dynamique de base : Par convention, la pression dynamique de base est celle qui s'exerce à une hauteur de 10 m au-dessus du sol, pour un site normal, sans effet de masque
 $Q_{10} = 53.5 \text{ kg/m}^2$
- ✓ Effet de la hauteur K_h : A une hauteur H au-dessus du sol la pression dynamique de base est multipliée par un coefficient K_h , définie par la relation suivante, valable pour les valeurs de H comprises entre 0 et 500m : **$K_h = 1.1$**
- ✓ Effet du site : **$K_s = 1.35$** (site exposée)
- ✓ L'environnement de construction étant sans obstacle, on prend alors **$K_m = 1$**
- ✓ Majoration dynamique : **$\beta = 1.35$** / Actions résultantes unitaires sur les versants **$C = 0.04$**

La charge du vent sur chacune des faces sera calculée par la formule suivante :

$$Q_{vent} = Q_{10} * K_h * K_s * K_m * \beta * C \text{ (en kg/m}^2\text{)}$$

$$Q_{vent} = 4.3 \text{ Kg/m}^2$$

CHAPITRE 3 :

Dimensionnement des éléments

1) Dimensionnement de la toiture :

La toiture est de longueur égale à 75.8m, avec un espacement entre les portiques égale à 6m ce qui fait le total de 14 portiques. ($75.8 \text{ m} / 6 \text{ m} = 13 + \frac{1}{2} = 14$ portiques)

- ✓ La longueur de la structure 75.8 m
- ✓ La largeur de la structure 56.8 m

Section élémentaire de la toiture :

Longueur= 6m, Largeur= 4.5m

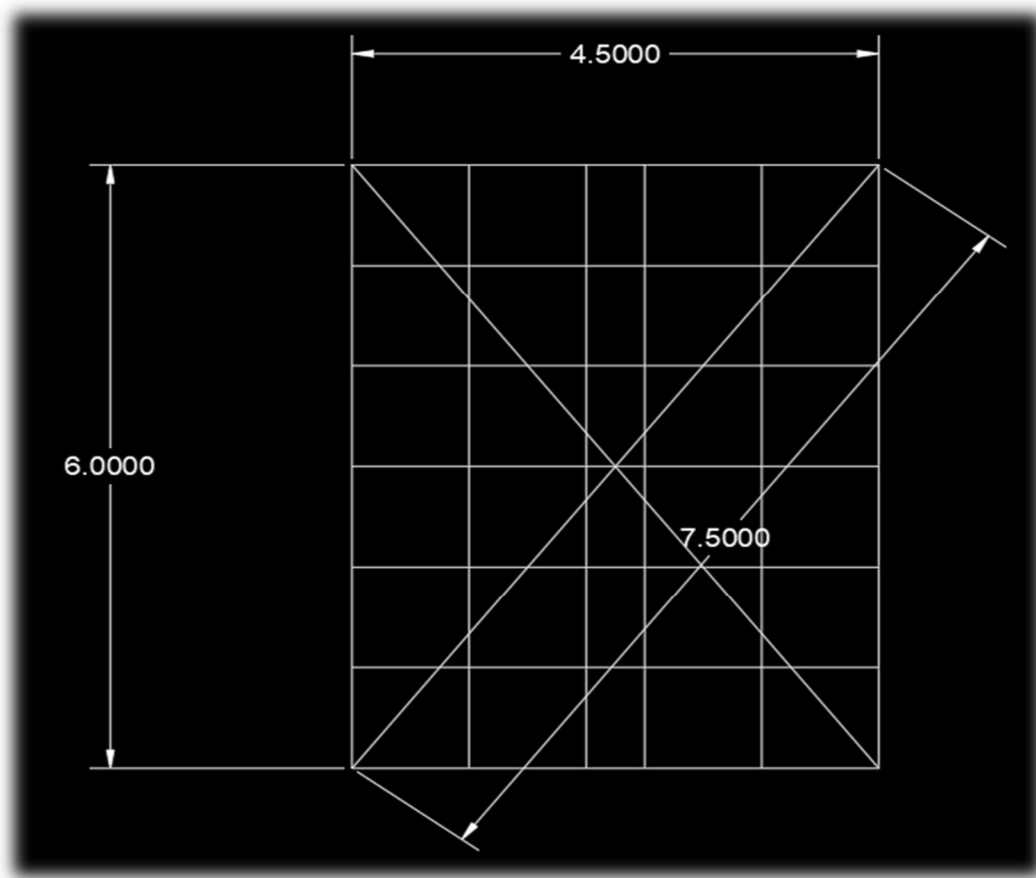


Figure 4- Section élémentaire de la toiture

a) Dimensionnement des sections transversales :

$$G = 14 \text{ Kg/m}^2 \longrightarrow G = 14 \text{ Kg/m}$$

$$Q = 150 \text{ Kg/m}^2 \longrightarrow Q = 150 \text{ Kg/m}$$

➤ **À l'ELU :**

$$P_u = 1.35G + 1.5Q = 1.35(14) + 1.5(150) = 243.9 \text{ Kg/ml}$$

$$M_{\max} = P_u \cdot L^2/8 = 243.9 \times 2.25^2/8 = 153.7 \text{ Kg.m} = 0.154 \text{ T.m}$$

$$M_{brd} = X_{LT} \cdot W_x \cdot f_y / \gamma M_1$$

$$\text{On pose } X_{LT} = 1$$

$$W_x = M_{brd} \cdot \gamma M_1 / X_{LT} \cdot f_y = 0.154 \times 10^{-2} \times 10^6 / 235 = 6.55 \text{ cm}^3$$

$$\text{RHS } 60 \times 40 \times 2.6 ; W_x = 7.59 \text{ cm}^3 ; P = 3.73 \text{ Kg/ml}$$

Charge ultime en tenant compte du poids propre de l'élément transversale :

$$P_u' = 243.9 + 1.35(3.73) = 249 \text{ Kg/ml}$$

$$M = P_u' \cdot L^2/8 = 249 \times 2.25^2/8 = 157.57 \text{ Kg.m} = 0.157 \text{ T.m}$$

$$M_{crd} = W_x \cdot f_y / \gamma M_0 = 7.59 \times 235 \times 10^{-6} \times 10^2 / 1 = 0.178 \text{ T.m}$$

Comme $M_{crd} = 0.178 \text{ T.m} > M = 0.157 \text{ T.m}$, alors la section est vérifiée (acceptable)

b) Dimensionnement des sections longitudinales :

$$G = 14 \times 4.5 = 63 \text{ Kg/m} ; Q = 150 \times 4.5 = 675 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Poids élément transversal} = 1.5 \text{ barre} \times 4.5 \times 3.7 = 25.2 \text{ Kg/m}$$

➤ **À l'ELU :**

$$P_u = 1.35(63+25.2) + 1.5(675) = 1131.5 \text{ Kg/m}$$

$$M_{\max} = P_u \cdot L^2/8 = 1131.5 \times 6^2/8 = 5092 \text{ Kg.m} = 5.1 \text{ T.m}$$

$$M_{brd} = X_{LT} \cdot W_x \cdot f_y / \gamma M_1$$

$$\text{On pose } X_{LT} = 1$$

$$W_x = M_{brd} \cdot \gamma_{M1} / X_{LT} \cdot f_y = 5.1 \times 10^{-2} \times 10^6 / 235 = 217 \text{ cm}^3$$

RHS 220x140x6 ; $W_x = 246.74 \text{ cm}^3$; $P = 32.05 \text{ Kg/ml}$

Charge ultime en tenant compte du poids propre de l'élément longitudinale :

$$P_u' = 1131.5 + 1.35(32.05) = 1174.7 \text{ Kg/ml}$$

$$M = P_u' \cdot L^2 / 8 = 1174.7 \times 6^2 / 8 = 5286.2 \text{ Kg.m} = 5.28 \text{ T.m}$$

$$M_{crd} = W_x \cdot f_y / \gamma_{M0} = 246.74 \times 235 \times 10^{-6} \times 10^2 / 1 = 5.8 \text{ T.m}$$

Comme $M_{crd} = 5.8 \text{ T.m} > M = 5.28 \text{ T.m}$, alors la section est vérifiée (acceptable)

Alors : Poids de la toiture/ ml = $249 + 1174.7 = 1423.7 \text{ Kg/ml}$

➤ Charges appliquées sur les nœuds de la toiture : (partie supérieure de la structure)

- $P \times L/2 = 1423.7 \times 4.5/2 = 3203 \text{ Kg} = 32 \text{ KN}$
- $P \times L/2 = 1423.7 \times 4.5/4 = 1601 \text{ Kg} = 16 \text{ KN}$

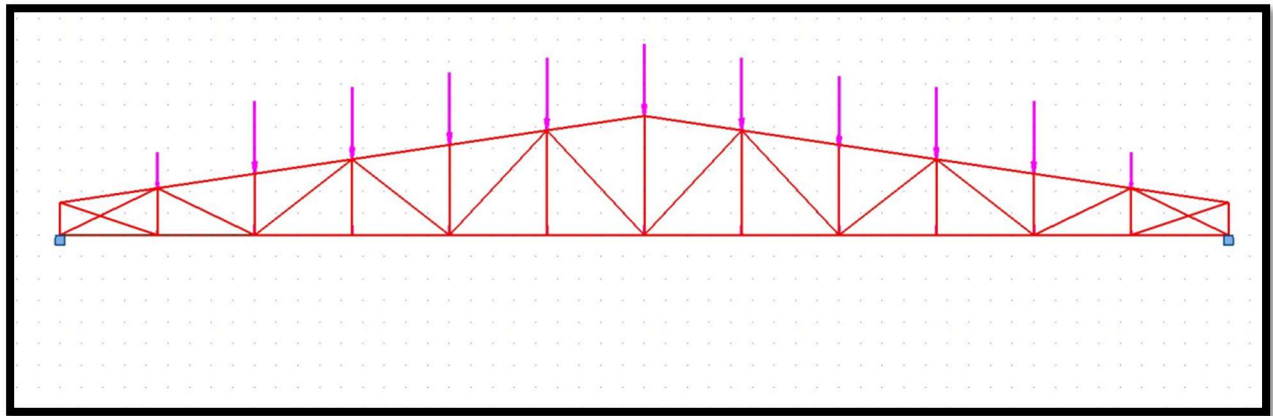


Figure 5- Charges appliquées sur les noeuds

c) Dimensionnement de la section inférieure de la toiture :

$G = 32 \text{ Kg/m}$, charge des armatures longitudinales

$Q = 100 \text{ Kg/m}$, charge d'entretien des personnes

➤ À l'ELU :

$$P_u = 1.35G + 1.5Q = 1.35(32) + 1.5(100) = 193.2 \text{ Kg/ml}$$

$$M_{\max} = P_u \cdot L^2/8 = 193.2 \times 4.5^2/8 = 489 \text{ Kg.m} = 0.49 \text{ T.m}$$

$$M_{brd} = X_{LT} \cdot W_x \cdot f_y / \gamma M_1$$

On pose $X_{LT} = 1$

$$W_x = M_{brd} \cdot \gamma M_1 / X_{LT} \cdot f_y = 0.49 \times 10^{-2} \times 10^6 / 235 = 20.8 \text{ cm}^3$$

RHS 96x80x4 ; $W_x = 24.49 \text{ cm}^3$; $P = 4 \text{ Kg/ml}$

Charge ultime en tenant compte du poids propre de l'élément transversale :

$$P_u' = 193.2 + 1.35(4) = 199 \text{ Kg/ml}$$

➤ Charges appliquées sur les nœuds de la toiture : (partie inférieure de la structure)

- $P \times L/2 = 199 \times 4.5/2 = 448 \text{ Kg} = 4.4 \text{ KN}$
- $P \times L/2 = 199 \times 4.5/4 = 224 \text{ Kg} = 2.2 \text{ KN}$

d) Calcul des efforts axiaux sur ROBOT :

Le calcul statique de la structure métallique a été réalisé à l'aide du logiciel ROBOT et le prédimensionnement sera en avance dans le calcul manuel.

- ✓ **La première étape :** Définition géométrique du modèle à partir des plans architecturaux
- ✓ **La deuxième étape :** Création des sections pour les barres afin de pouvoir réaliser le calcul et ainsi optimiser les différentes sections des profils composant la structure, tout en vérifiant les déformations et les mouvements
- ✓ **La troisième étape :** Calculer, créer et mettre en place toutes les charges appliquées sur la structure

- ✓ *La quatrième étape* : Finaliser les étapes en cliquant sur les résultats, pour obtenir le diagramme des efforts axiaux

➤ **Étape 1 : Modèle géométrique de la toiture**

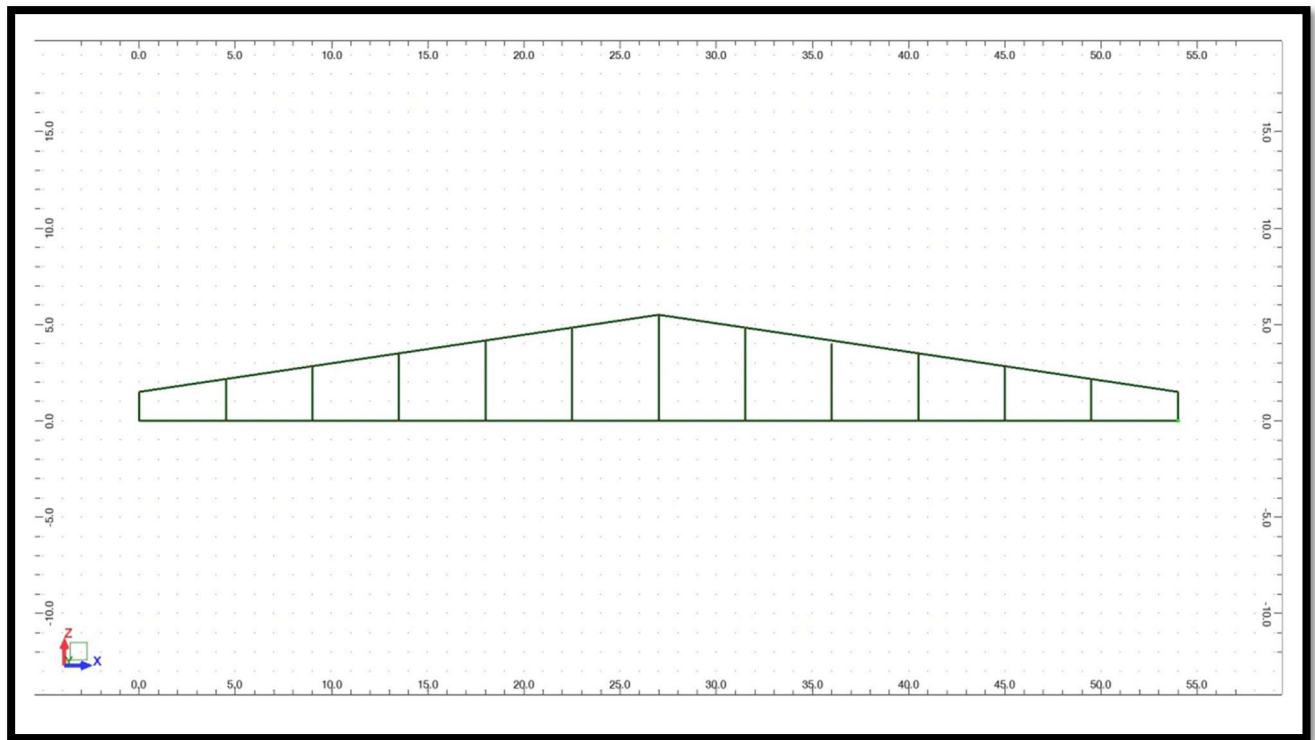


Figure 6- Forme structurale de la toiture

➤ **Étape 2 : Création des sections pour les barres**

Création des sections pour les barres afin de pouvoir réaliser le calcul et ainsi optimiser les différentes sections des profils composant la structure, tout en vérifiant les déformations et les mouvements

On considère tous les barres de section : **FB 0.25x0.3125**

➤ Étape 3 : Mettre en place les charges

Mettre en place les charges appliquées sur la structure, on a calculé les charges permanentes et les charges d'exploitations des éléments et on a fait les combinaisons nécessaires à l'ELU.

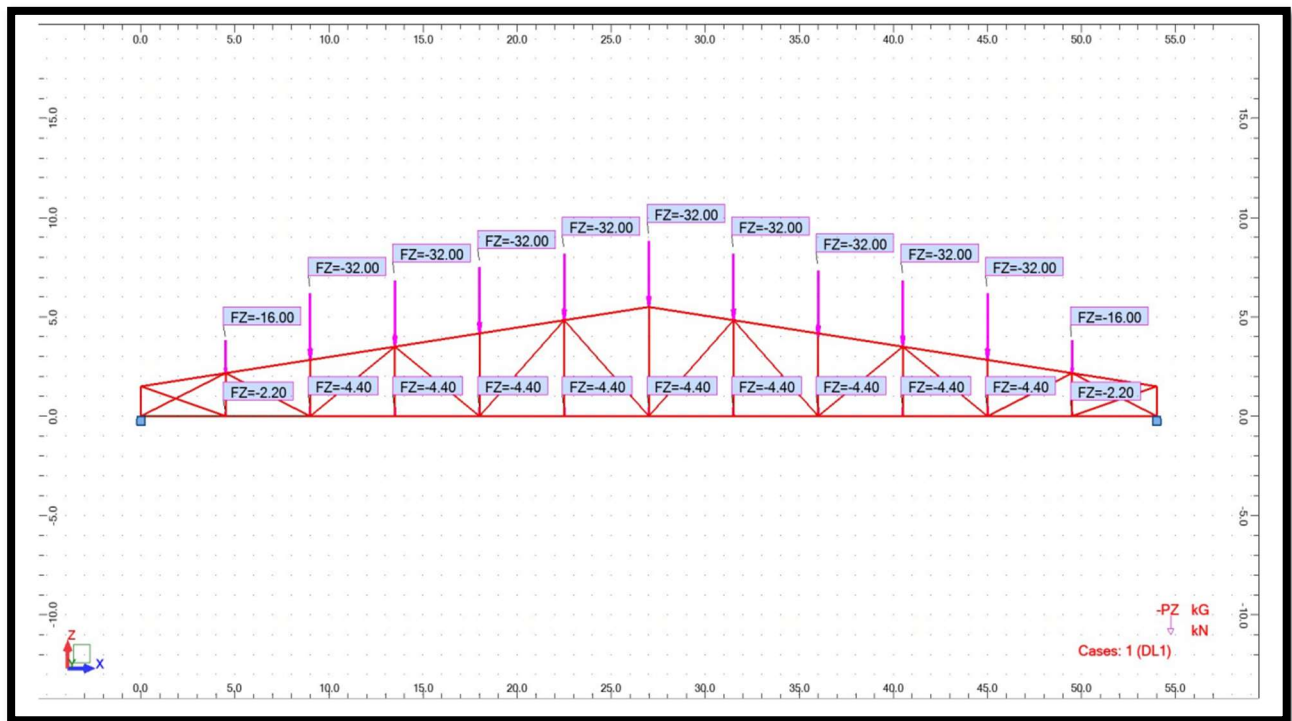


Figure 7- Charges appliquées sur la structure

➤ Étape 4 : Résultats

Effort axial maximale = 597.69 kN

Il faut calculer la résistance maximale qu'elle peut supporter la section FB 0.25x0.3125

$$N_{brd} = X \cdot \beta \cdot A \cdot f_y / \gamma M_1$$

- ✓ Classe 1, donc $\beta = 1$
- ✓ $A = 0.7 \text{ cm}^2$, $f_y = 235 \text{ MPa}$
- ✓ $\lambda = 93.9$ pour $f_y = 235 \text{ MPa}$
- ✓ Section rectangulaire, graphe « a »

✓ $X = 0.4042$ (On fait une interpolation linéaire en fct de lambda)

Donc : $N_{brd} = 0.4042 \times 0.7 \times 10^2 \times 235 / 1 = 6.65 \text{ T} = 665 \text{ KN}$

Alors, la section est vérifiée.

D'après plusieurs cas, on a choisi le cas ci-dessus, car c'est le cas le plus économique et vérifiée.

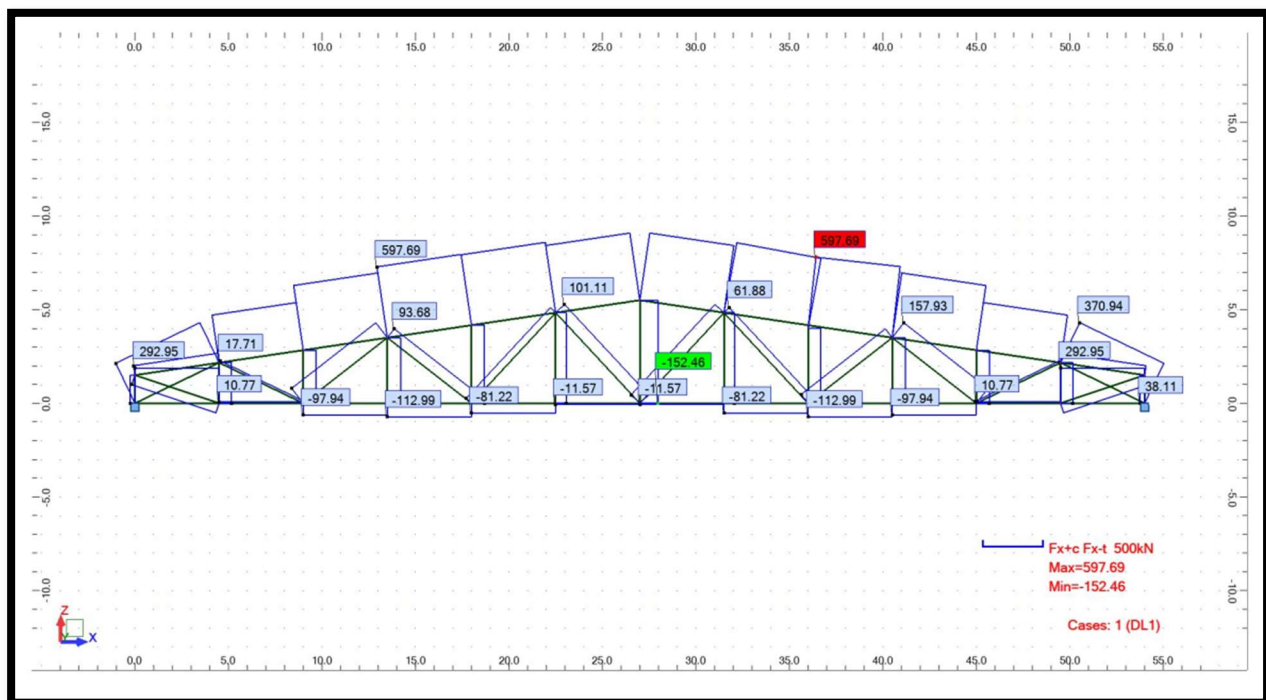


Figure 8- Les efforts axiaux sur le treillis

Conclusion

D'après l'étude réalisée dans le cadre de projet de fin d'études, il nous a été donné de mettre en pratique toutes nos connaissances acquises durant notre cycle de formation de Licence, d'approfondir nos connaissances en se basant sur les documents techniques et même d'applications des règlements et de certaines méthodes, de mettre en évidence quelques principes de base qui doivent être pris en considération dans la conception des structures métalliques.

Au cours de notre étude, nous sommes parvenus à un certain nombre de conclusions dont les plus importantes sont :

- ✓ 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
- ✓ Le projet s'est fixé comme objectif la prévention de tout risque afin de garantir la sécurité des vies et des biens, qui constituent la principale règle dans le domaine du génie civil

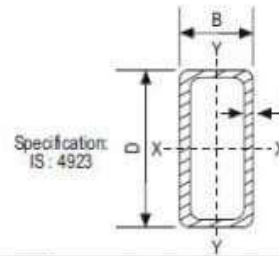
Ainsi, notre étude nous a beaucoup permis d'enrichir notre bagage scientifique et nos connaissances essentielles acquises durant notre cycle universitaire, surtout dans la conception et la mise en application des codes en vigueur. Il nous a permis d'un côté d'assimiler les différentes techniques et logiciel de calcul ainsi que la réglementation régissant les principes de conception et de calcul des ouvrages dans ce domaine, et développée les idées à partir de la lecture des différentes références bibliographiques et surtout grâce au côtoiement d'ingénieurs et de chercheurs dans le domaine de génie civil.

À la fin de ce projet qui constitue pour nous une première expérience dans un domaine très vaste, il nous acquit des grandeurs très importants pour mettre le premier pas dans la vie professionnelle.

ANNEXES

RECTANGULAR HOLLOW SECTIONS

YST 310 Grade



RHS B x D mm	Thick- ness mm	Sec Area A cm ²	Unit W kg/m	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Elastic Modulus		Torsional Constants		Outer Surface
				I _{xx} cm ⁴	I _{yy} cm ⁴	r _{xx} cm	r _{yy} cm	Z _{xx} cm ³	Z _{yy} cm ³	J cm ⁴	B cm ³	Area Per mm ²
50 x 25	2.00	2.74	2.15	8.38	2.81	1.75	1.01	3.35	2.25	6.79	3.79	0.142
	2.60	3.46	2.71	10.16	3.36	1.71	0.99	4.06	2.69	8.27	4.53	0.137
	3.20	4.13	3.24	11.63	3.80	1.68	0.96	4.65	3.04	9.52	5.12	0.134
	4.00	4.95	3.88	13.13	4.23	1.63	0.92	5.25	3.38	10.86	5.69	0.129
60 x 40	2.60	4.76	3.73	22.76	12.09	2.19	1.59	7.59	6.05	25.59	9.83	0.187
	2.90	5.25	4.12	24.74	13.11	2.17	1.58	8.25	6.56	28.02	10.66	0.185
	3.60	6.35	4.98	28.90	15.23	2.13	1.55	9.63	7.62	33.30	12.41	0.181
	4.50	7.67	6.02	33.31	17.44	2.08	1.51	11.10	8.72	39.34	14.29	0.177
66 x 33	2.60	4.70	3.69	25.15	8.43	2.31	1.34	7.62	5.11	20.75	8.71	0.185
	2.90	5.19	4.07	27.33	9.12	2.29	1.33	8.28	5.53	22.65	9.43	0.183
	3.60	6.28	4.93	31.87	10.52	2.25	1.29	9.66	6.37	26.71	10.90	0.179
	4.50	7.58	5.95	36.64	11.93	2.20	1.25	11.10	7.23	31.21	12.43	0.175
80 x 40	2.60	5.80	4.55	46.58	15.74	2.84	1.65	11.65	7.87	38.50	13.46	0.227
	3.20	7.01	5.50	54.94	18.41	2.80	1.62	13.74	9.21	45.83	15.78	0.224
	4.00	8.55	6.71	64.79	21.49	2.75	1.59	16.20	10.74	54.77	18.49	0.219
	4.80	10.01	7.85	73.22	24.03	2.71	1.55	18.30	12.02	62.81	20.79	0.215
96 x 48	3.20	8.54	6.71	98.61	33.28	3.40	1.97	20.54	13.87	82.13	23.82	0.272
	4.00	10.47	8.22	117.54	39.32	3.35	1.94	24.49	16.38	99.11	28.24	0.267
	4.80	12.31	9.66	134.35	44.55	3.30	1.90	27.99	18.56	114.80	32.14	0.263
122 x 61	3.60	12.32	9.67	232.81	78.83	4.34	2.53	38.13	25.84	193.91	44.50	0.347
	4.50	15.14	11.88	278.94	93.78	4.29	2.49	45.73	30.75	235.39	53.13	0.343
	5.40	17.85	14.01	320.83	107.03	4.24	2.45	52.60	35.09	274.29	60.89	0.338
145 x 82	4.80	20.28	15.92	555.16	228.50	5.23	3.36	76.57	55.73	534.27	94.45	0.429
	5.40	22.60	17.74	610.85	250.59	5.20	3.33	84.26	61.12	592.70	103.81	0.426
172 x 92	4.80	23.83	18.71	917.13	346.91	6.20	3.82	106.64	75.41	826.04	128.85	0.503
	5.40	26.59	20.88	1012.47	381.74	6.17	3.79	117.73	82.99	918.10	142.04	0.500
200 x 100	4.00	22.95	18.01	1199.71	410.78	7.23	4.23	119.97	82.16	991.47	141.46	0.579
	5.00	28.36	22.26	1459.25	496.94	7.17	4.19	145.93	99.39	1216.96	171.53	0.574
	6.00	33.63	26.40	1703.31	576.91	7.12	4.14	170.33	115.38	1434.03	199.68	0.569
	8.00	43.79	34.38	2146.21	719.19	7.00	4.05	214.62	143.84	1843.86	250.68	0.559
220 x 140	4.00	27.75	21.78	1892.62	947.66	8.26	5.84	172.06	135.38	2004.80	223.74	0.699
	5.00	34.36	26.97	2313.45	1155.23	8.21	5.80	210.31	165.04	2468.51	272.71	0.694
	6.00	40.83	32.05	2714.10	1351.70	8.15	5.75	246.74	193.10	2914.71	318.93	0.689
	8.00	53.39	41.91	3456.31	1712.25	8.05	5.66	314.21	244.61	3270.10	378.40	0.679
240 x 120	4.00	27.75	21.78	2110.72	725.35	8.72	5.11	175.89	120.89	1736.39	208.03	0.699
	5.00	34.36	26.97	2579.67	882.47	8.67	5.07	214.97	147.08	2138.48	253.55	0.694
	6.00	40.83	32.05	3025.91	1030.45	8.61	5.02	252.16	171.74	2528.39	296.7	0.689
	8.00	53.39	41.91	3851.84	1299.95	8.49	4.93	320.99	216.66	3272.9	376.29	0.679
260x 180	6.00	50.43	39.59	4855.87	2763.43	9.81	7.40	373.53	307.05	5619.50	501.06	0.849
	8.00	66.19	51.96	6238.69	3538.10	9.71	7.31	479.90	393.12	6821.23	620.13	0.839
	10.00	81.43	63.92	7509.51	4244.26	9.60	7.22	577.65	471.58	8972.14	760.42	0.834
	12.00	96.14	75.47	8672.42	4884.94	9.50	7.13	667.11	542.77	10150.39	875.12	0.829
300x 150	6.00	51.63	40.53	6073.51	2079.57	10.85	6.35	404.90	277.28	5034.64	478.20	0.869
	8.00	67.79	53.22	7808.95	2654.12	10.73	6.26	520.53	353.88	6559.05	612.64	0.859
	10.00	83.43	65.49	9403.90	3173.71	10.62	6.17	626.93	423.16	8011.67	736.01	0.848
	12.00	98.54	77.35	10866.10	3641.00	10.50	6.08	724.41	485.48	9110.72	829.98	0.838
300x 200	6.00	57.65	45.24	7370.23	3962.19	11.31	8.29	491.34	396.22	8186.02	650.85	0.969
	8.00	75.79	59.50	9513.66	5097.04	11.20	8.20	634.24	509.70	10722.83	839.54	0.959
	10.00	93.43	73.34	11507.24	6144.30	11.10	8.11	767.15	614.43	13169.70	1015.43	0.948
	12.00	110.54	86.77	13355.84	7107.43	10.99	8.02	890.39	710.43	15215.03	1160.24	0.938

Tableau 33 : Coefficient du site Ks

Région	I	II	III
Site protégé	0.8	0.8	0.8
Site normal	1	1	1
Site exposé	1.35	1.3	1.25

[Les différents types et formes de charpentes \(toiture.pro\)](http://toiture.pro/)

<http://perrier-constructeur.fr/charpente-metallique-dwg/>

Coefficients de réduction				
$\bar{\lambda}$	Valeur de χ pour la courbe de flambement			
	a	b	c	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882