

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf- M'sila
Faculté de Technologie

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بوضياف-المسيلة
كلية التكنولوجيا



Département de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Civil

Option : Structures

Thème :

**Etude comparative entre l'effet de vent et l'effet de séisme
Sur le comportements d'une halle métallique**

Présenté par : **ALLAL Nour El Hoda & BENSAAADI Meriem**

Proposé et dirigé par : **Professeur Messaoud TITOU**

Devant le jury composé de :

Président :

Examineur : Mr. MINASRI.Y

Examineur : Mem. BAKIR

Encadreur : Mr. TITOU Messaoud

N° d'ordre : GC/...../2023

Année Universitaire : 2022 / 2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله.

اهدي هذا العمل المتواضع الى:

الكريمين العزيزين: أُمِّي حفظها الله ورعاها، وأبِي رحمه الله

ورفع قدرهما في الدنيا والآخرة وبلغهما منزلة الصالحين

آمين. آمين. آمين

ثم استسمحهما عذرا – ان يشارك في هذا الاهداء

زوجي وسندي وقرّة عيني ورفيق دربي حفظه الله

واخواني الغاليات وأخص بالذكر " خولة وإكرام "حفظهن الله جميعا وإلى أخي العزيز "ابراهيم"

والى صديقتي ورفيقتي وسعادتي "نور الهدى"

والى كل زميلاتي وزملائي واساتذتي وكل من كان لي عوناً وسنداً في مسيرتي.

بن سعدي مريم،

Dédicace

الحمد لله وكفى والصلاة والسلام على الحبيب المصطفى اما بعد:

وصلت رحلتي الجامعية إلى نهايتها بعد تعب ومشقة، الحمد لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا، هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى مهداة الى من لهم الفضل على كل حرف تعلمته الى من تعبوا لأصل الى ما انا فيه اليوم الى الوالدين حفظهما الله وأدامهما نورا لدربي، الى كل العائلة الكريمة التي ساندتني وكانت بجانبني طوال هذه الرحلة أنتم دعمي الحقيقي وقوتي الدافعة، أشكركم على حبكم وثقتكم، الى صديقاتي ورفيقات المشوار في هذه الرحلة الرائعة من الطموح والتحديات و الى صديقتي الغالية " مريم "، أشكركم على اللحظات الجميلة والدعم المستمر الذي قدمتموه لي، مذكرتي تحمل بصماتكم وذكرياتنا المشتركة، الى كل من كان لهم أثر جميل على حياتي، والى كل من أحبهم قلبي...

نور الهدى علال

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier le bon Dieu Le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail

Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous terminions nos études.

Nos plus vifs remerciements vont aussi à notre encadreur **Professeur Messaoud TITOU** de nous avoir guidé dans notre travail et pour avoir suivi et accordé un grand intérêt à notre travail, pour la patience dont il a fait part à notre égard, pour son aide précieuse et pour tout le savoir qu'il nous a transmis.

Nous remercions tous les enseignants à tous les niveaux, Particulièrement ceux du département de génie civil, pour tout le Savoir que nous avons acquis grâce à eux durant notre Formation.

Nous remercions également les membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions aussi tous nos amis pour leur aide, leur patience et leur encouragement, Nous mentionnons notamment notre collègue Ali Benlechheb et professeur Z. Khoja.

MERCI

ملخص

في هذا المشروع النهائي للدراسة، نعرض دور أنظمة التثبيت في تثبيت القاعات المعدنية من خلال نمذجة العناصر المحدودة باستخدام برنامج التحليل الإنشائي الآلي وبافتراض حالتين:

الحالة الأولى: صالة بدون أنظمة تقوية، الحالة الثانية: صالة مزودة بنظام تقوية

ومن خلال هذه الدراسة يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

تلعب أنظمة التثبيت دوراً أساسياً في استقرار القاعات المعدنية؛ دراسة مقارنة بين تأثير الرياح وتأثير الزلزال على القاعات المعدنية، تبين أن تأثير الرياح أكثر تأثيراً من تأثير الزلزال لأن القاعات المعدنية خفيفة ولكنها تمثل مساحات واسعة تتعرض لها ضغط الرياح، يتم إجهاد القضبان المكونة لأنظمة التثبيت بواسطة قوى الشد والضغط ويجب التحقق من مقاومتها وثباتها للانبعاج، يجب تجميع أطراف قضبان التثبيت بعناية بواسطة البراغي وخرزات اللحام، مع اتباع رموز الحساب المناسبة.

الكلمات الرئيسية: القاعة المعدنية، حمل الرياح، دعامة الثبات، موتر مضادة للرياح.

Résumé

Dans ce projet de fin d'étude, on présente le rôle des systèmes de contreventement dans la stabilisation des halles métalliques à travers la modélisation par éléments finis en utilisant le logiciel Robot Structural Analysis et en supposant deux cas :

1^{er} cas : halle sans systèmes de contreventement, 2^{ème} cas : halle avec système de contreventement

A partir de cette étude, on peut tirer les conclusions suivantes :

Les systèmes de contreventement jouent un rôle primordial dans la stabilité des halles métalliques, Une étude comparative entre l'effet de vent et l'effet de séisme sur les halles métalliques, on a trouvé que l'effet de vent est plus prépondérant que l'effet du séisme car les halles métalliques sont légères mais elles présentent des grandes surfaces frappées par la pression de vent ,Les barres constituant les systèmes de contreventement sont sollicitées par des efforts de traction et de compression et il faut vérifier leur résistance et leur stabilité au flambement ,Les extrémités des barres de contreventement doivent être assemblés soigneusement par boulons et par cordons de soudure en suivant les codes de calcul appropriés.

Mots clés : halle métallique, surcharge de vent, palée de stabilité, poutre auvent

Abstract

In this end-of-study project, we present the role of bracing systems in the stabilization of metal halls through finite element modeling using the Robot Structural Analysis software and assuming two cases:

1st case: hall without bracing systems, 2nd case: hall with bracing system

From this study, the following conclusions can be drawn:

Bracing systems play an essential role in the stability of metal halls, A comparative study between the effect of wind and the effect of earthquake on the metal halls, it was found that the effect of wind is more dominating than the effect of the earthquake because the metal halls are light but they present large areas hit by wind pressure, The bars constituting the bracing systems are stressed by tensile and compressive forces and their resistance and stability to buckling must be checked, The ends of the bracing bars must be assembled carefully by bolts and welding beads, following the appropriate calculation codes

Keywords: metal hall, wind load, stability support, canopy beam

Table des Matières

Titre.....	Page
Introduction générale.....	1
a)Généralité.....	1
b)Problématique.....	2
d)Méthodologie.....	2
Chapitre 1 :.....	3
Conception des systèmes de contreventement pour les halles métalliques	
Introduction.....	3
1.1- Différents types de contreventements.....	3
1.1.1- Contreventements de toiture: (poutre au vent).....	3
1.1.2 - Contreventements de façades:(palée de stabilité).....	3
1.2.- Efforts du vent sur le long-pan.....	3
1.3- Efforts du vent sur le pignon.....	5
1.3.1- Nota important.....	7
1.4-Vérification de la stabilité d'ensemble.....	8
1.5-Les fonctions assurées par les Contreventements sont	9
1.6- Modes de rupture des systèmes de Contreventements.....	11
Chapitre 2 :.....	15
Exemple d'application : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges	15
2.1-Ossature d'une halle métallique à deux versants.....	16
2.1.1-Prédimensionnement des éléments porteurs.....	16
2.1.2- Caractéristiques des matériaux de construction.....	17
2.1.3- Caractéristiques du sol de fondation.....	17
2.2-Charges et surcharges.....	18
2.2.1-Charges permanente.....	18
2.2.2-surcharge d'exploitation	18
2.2.3- Surcharges climatiques.....	18
2.2.3.1-Charge de nieg.....	18
2.2.3.2-Charge de vent.....	20

2.3-Charge sismique.....	21
2.3.1-Choix de la méthode dans notre cas.....	21
2.3.2-Condition d'applications.....	21
2.3.3-Calcul de l'effort tranchant V à la base.....	22
2.4-Conclusion.....	25
Chapitre 3 :	39
Analyse des résultats: Sollicitations et Déformations	39
3.1- Etapes de modélisation de structure par Robot.....	40
3.2-Analyse des résultats (déformation et sollicitation).....	41
3.2.1-Surcharge de vent appliquée sur le long-pan(vent 1).....	41
3.2.2-Surcharge de vent appliquée sur le pignon (vent 2).....	44
Conclusion générale.....	49
Références bibliographiques	50

Liste des figures

Introduction générale	1
Figure 1 : Action du vent et Action du seisme.....	1
Chapitre 1 :	3
Figure 1.1 : La poutre au vent en long-pan.....	4
Figure 1.2 : Calcul de la poutre au vent en long-pan.....	5
Figure 1.3 : La poutre au vent dans la toiture.....	6
Figure 1.4- palée de stabilité vertical sur long-pan.....	7
Figure 1.5- Stabilité d'ensemble.....	8
Figure 1.6 : Cheminement des efforts horizontaux.....	9
Figure 1.7 : Maintiens latéraux vis-à-vis des instabilités – palées triangulées.....	10
Figure 1.8 : Modélisation du poteau 2B.....	10
Figure 1.9 : Dispositions constructives des palées triangulées.....	11
Figure 1.10 : Modes de rupture des systèmes de contreventement.....	11
Chapitre 2 :	15
Figure 2.1 : Ossature d'une halle métallique à deux versants.....	17
Figure 2.2 : Surcharge de Neige sur la toiture.....	19
Figure 2.3 : Surcharges de vent pour (Sens V1)	20
Figure 2.4 : Surcharges de vent pour (Sens V2)	20
Chapitre 3 :	39
Figure 3.1 : Modélisation de la halle métallique par Robot	41
Figure 3.2 : Cas 1 : sans système de contreventement.....	41
Figure 3.3: Déformation du portique articulé.....	42
Figure 3.4 Diagramme des moments fléchissants dans un portique articulé.....	42
Figure 3.5 : Cas 2 : avec système de contreventement.....	43
Figure 3.6 : Déformation du portique encastré et renforcé.....	43
Figure 3.7 : Diagramme des moments fléchissants dans un portique articulé.....	44
Figure 3.8 : Sans système de contreventement.....	44
Figure 3.9 : Avec système de contreventement.....	45
Figure 3.10 : Déformation des poteaux de long pan.....	45
Figure 3.11 : Diagramme des moments fléchissants dans les poteaux.....	46
Figure 3.12 : Limitation de la déformation par palées de stabilité.....	46
Figure 3.13 : Diagramme des efforts normaux dans les barres de palée de stabilité...47	
Figure 3.14 : Déformation latérale des traverses de la toiture.....	47

Figure 3.15 : Diagramme des moments fléchissants dans le plan horizontal des traverses.....	48
Figure 3.16 : Limitation de la déformation de la toiture par la poutre auvent.....	48
Figure 3.17 : Diagramme des efforts normaux dans les barres de poutre auvent horizontale.....	48



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

a) Généralité

Les systèmes de contreventement ont pour objet d'assurer la stabilité de la halle métallique en s'opposant à l'action de forces horizontales : vent, effets de séismes. Ils sont généralement conçus pour garantir le cheminement des charges horizontales jusqu'aux fondations.

Ils sont disposés en toiture, dans le plan des versants « poutres au vent », et en façade « palées de stabilité », et doivent reprendre les efforts horizontaux appliqués tant sur les pignons que sur les long pans.

b) Problématique

La stabilité latérale des halles métalliques constitue un problème primordial. Contrairement au vent qui génère des forces de pression qui s'appliquent de manière directe sur l'ouvrage, les mouvements sismiques produisent des forces inertielles internes causées par la vibration des masses des différents éléments qui constituent la structure. L'expérience montre que chaque structure a son propre comportement et pour cause celui-ci dépend de plusieurs paramètres tels que la hauteur, la forme géométrique, la nature du site, l'emplacement géographique, mais aussi de paramètres dynamiques tels que la période de vibration, la rigidité, l'amortissement, la masse totale ...etc.

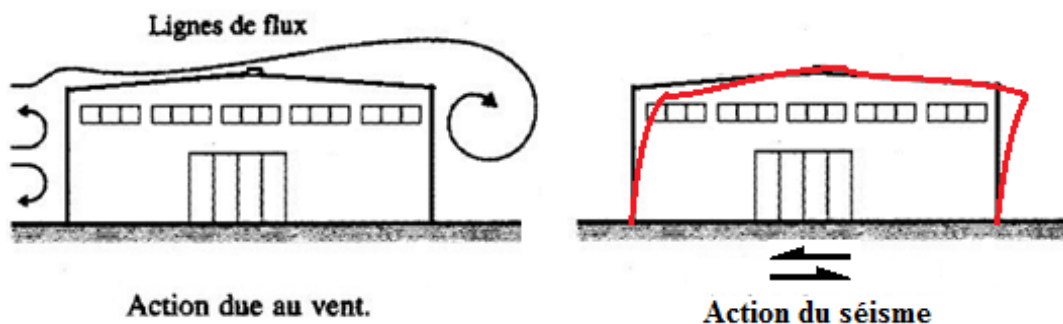


Figure 1 : Action du vent et Action du séisme

Afin de stabiliser les halles métalliques contre le vent ou le séisme, il est nécessaire de prévoir des systèmes de contreventement qui ont pour rôles de s'opposer aux actions horizontales de vent ou de séisme générées par le mouvement du sol, et d'assurer la stabilité latérale des constructions. Le type de contreventement à mettre en place doit ainsi être choisi de manière judicieuse, et disposé suivant les directions principales.

INTRODUCTION GENERALE

c) Objectif

L'objectif de ce projet de fin d'études est de faire une comparaison entre le comportement de deux halles métalliques, l'un est (sans systèmes de contreventement), l'autre est (avec des systèmes de contreventement).

d) Méthodologie

Ce manuscrit est divisé en trois chapitres pour accomplir ses objectifs. Une brève introduction, objectif, et méthodologie du thème sont présentée dans l'introduction générale. Le premier chapitre présente la conception des systèmes de contreventement pour les halles métalliques. Ensuite, dans le deuxième chapitre, on présente comme exemple d'application, les dimensions d'une halle métallique avec l'évaluation des charges verticales, climatiques de neige et vent et accidentelles de séisme. Dans le troisième chapitre, on fait une modélisation de la halle métallique par Robot suivie par l'analyse des résultats (sollicitations et déformations) pour les deux cas : sans systèmes de contreventement et avec systèmes de contreventement. Enfin, une conclusion générale est tirée de cette étude suivie par des perspectives.

Chapitre 1 :
Conception des systèmes de contreventement pour
les halles métalliques

Chapitre 1 :

Conception des systèmes de contreventement pour les halles métalliques

Introduction :

Les contreventements sont des pièces qui ont pour objet d'assurer la stabilité de l'ossature en s'opposant à l'action de forces horizontales : vent, freinage des ponts roulants, effets de séismes, chocs etc. Ils sont généralement conçus pour garantir le cheminement des charges horizontales jusqu'aux fondations.

Ils sont disposés en toiture, dans le plan des versants (« poutres au vent »), et en façade (« palées de stabilité »), et doivent reprendre les efforts horizontaux appliqués tant sur les pignons que sur les long pans.

1.1- Différents types de contreventements :

1.1.1- Contreventements de toiture : (poutre au vent)

Les contreventements sont disposés généralement suivant les versants de la toiture comme la montre la figure ci-dessous. Ils sont placés le plus souvent dans les travées de rive. Leurs diagonales sont généralement des cornières doubles qui sont fixées sur la traverse (ou ferme). Leur rôle principal est de transmettre les efforts du vent du pignon aux fondations.

Remarque :

Dans les bâtiments de grande longueur, comportant des joints de dilatation, il est bon de prévoir au moins une travée de contreventement entre deux joints de dilatation.

1.1.2- Contreventement de façades : (palée de stabilité)

La palée de stabilité est un contreventement de façade destiné à reprendre les efforts provenant de la poutre au vent et les descendre aux fondations.

1.2- Efforts du vent sur le long-pan

Les efforts du vent sur le bardage constituant la façade long-pan sont transmis aux poteaux des portiques par l'intermédiaire des lisses. Les poteaux reprennent en tête 50% des efforts, les 50% restants étant absorbés par les pieds de poteaux fixés aux semelles de fondation.

L'effort résultant en tête de poteau est transmis dans le portique, rigide et dimensionné à cet effet, et aucun dispositif particulier n'est à prévoir dans ce cas.

Chapitre 1 : Conception des systèmes de contreventement pour les halles métalliques

Mais lorsque la travée (t) est trop grande, les lisses doivent reposer sur un appui intermédiaire. On place à cet effet un potelet intermédiaire, appuyé en tête contre la panne sablière. L'effort (F), en tête du potelet, est :

- Soit repris par la panne sablière, raidie transversalement à cet effet
- Soit transmis à la panne suivante par un montant attaché par deux diagonales, qui ramènent les efforts en tête de portique. On a ainsi constitué une « poutre au vent en long-pan ».

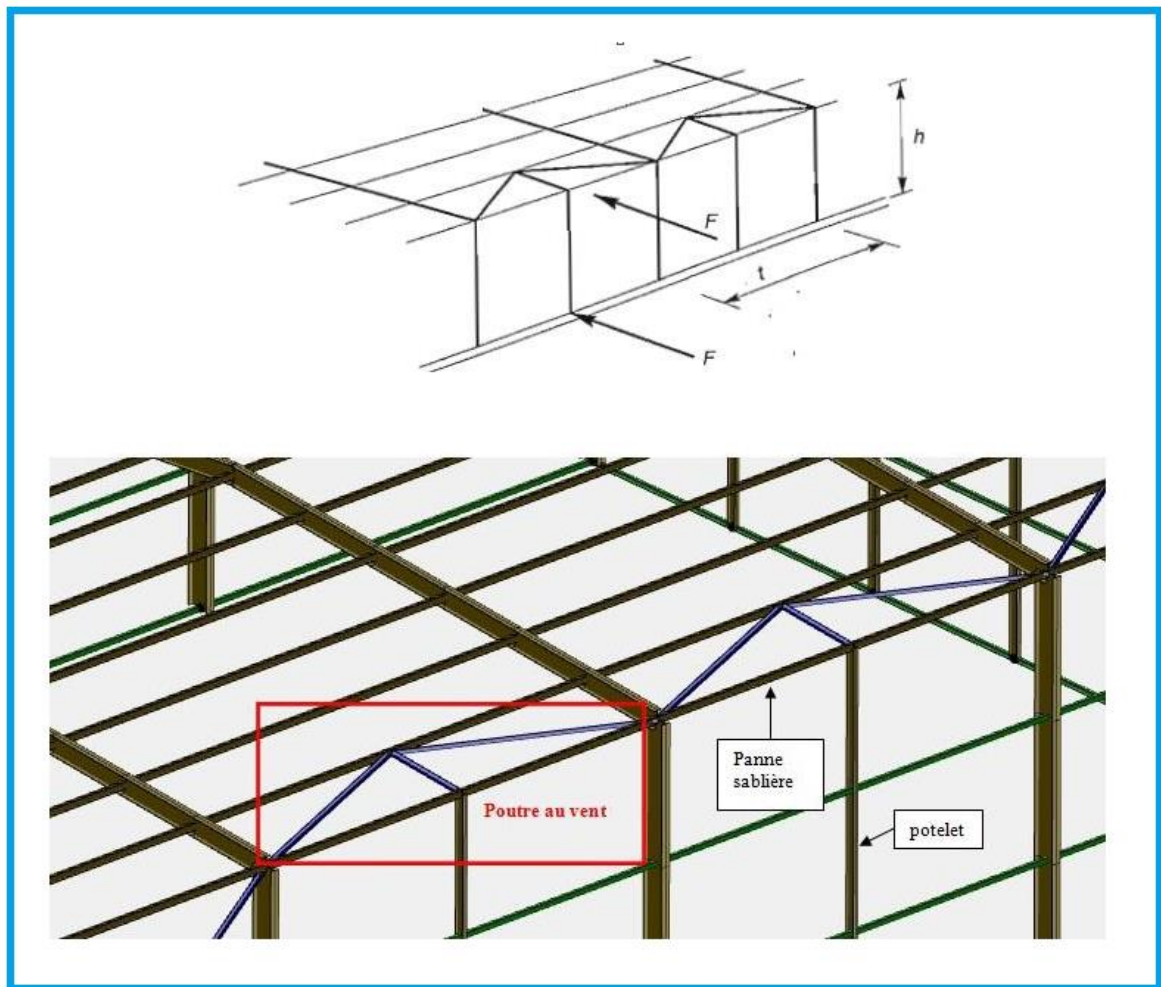


Figure 1.1 : La poutre au vent en long-pan

Considérons le dispositif dans une travée de portique. L'effort du vent F en tête du potelet se décompose en :

- Un effort F de compression simple dans le montant MN
- Un effort F_d de traction dans les diagonales NP et NQ
- Un effort F_t de compression dans les traverses des portiques
- Un effort F_p de compression dans les pannes sablières.

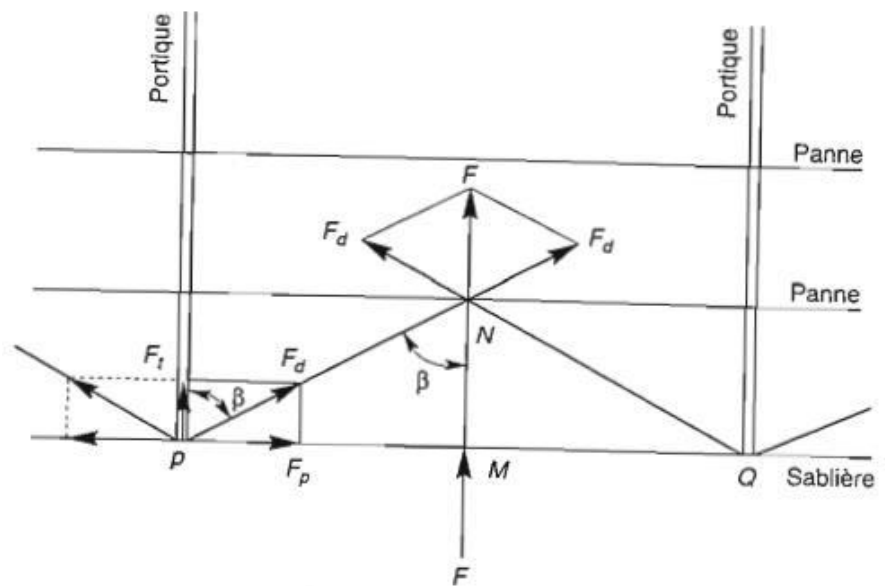


Figure 1.2 : Calcul de la poutre au vent en long-pan

Remarque : compression dans les pannes sablières

En travée courante, il n'y a pas d'effort de compression **F_p**, ce dernier étant équilibré, donc annulé, par le même effort de sens opposé dans la travée adjacente.

En revanche, dans les deux travées de rive, il subsiste un effort **F_p** unilatéral dans les sablières, qu'il convient de vérifier au flambement. La vérification sera effectuée plus loin, lors de l'étude de la poutre au vent en pignon.

1.3- Effort du vent sur le pignon

La transmission des efforts sur le pignon passe successivement du bardage aux lisses, puis aux potelets, puis à la traverse (ou ferme) du portique de rive. Ce dernier n'étant pas rigide transversalement, il est nécessaire de le stabiliser en construisant un dispositif, tant dans le plan horizontal de la toiture (**poutre au vent**) que dans le plan vertical (**palée de stabilité**).

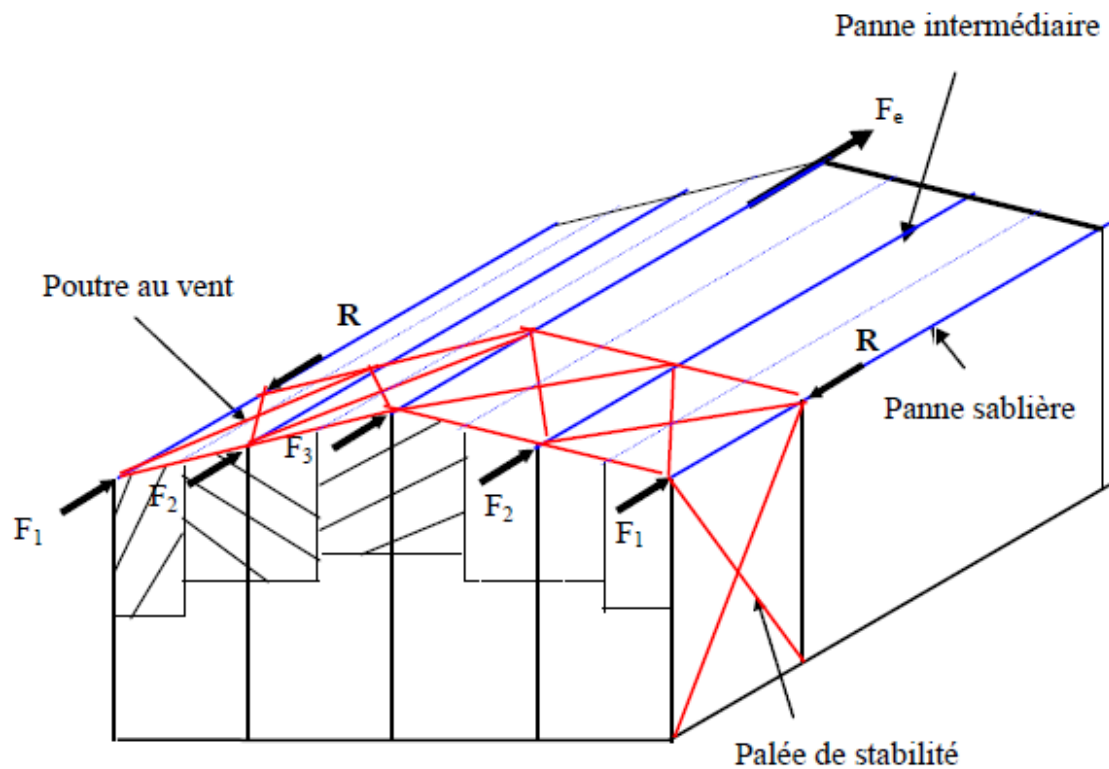
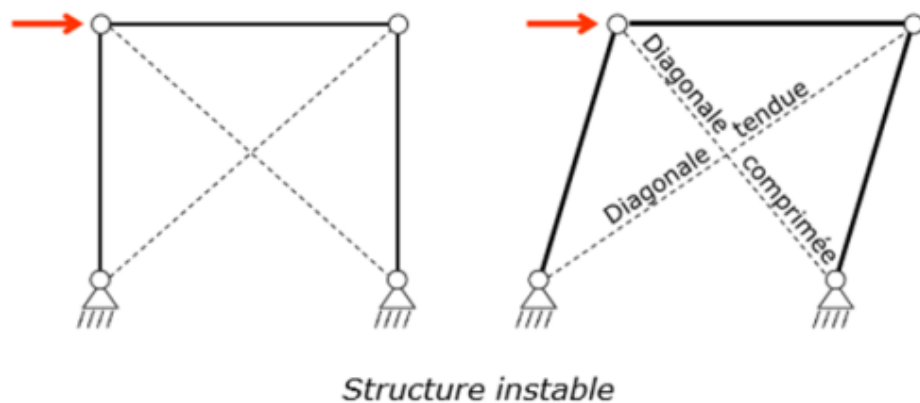
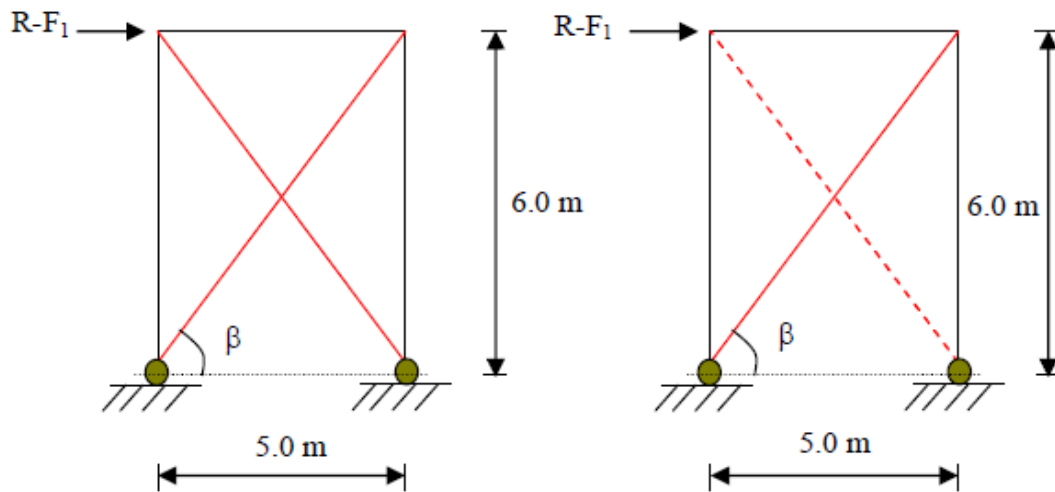


Figure 1.3 : La poutre au vent dans la toiture

Les palées de stabilité doivent reprendre les efforts du vent sur pignons transmis par le contreventement des versants (poutre au vent). On ne fait travailler que les diagonales tendues, comme dans le cas de la poutre au vent.





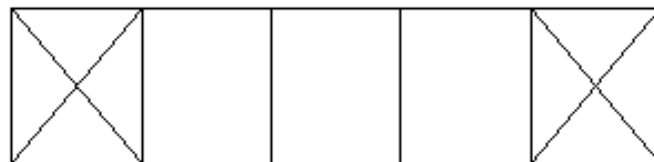
Palée de stabilité en long pan

Figure 1.4- palée de stabilité vertical sur long-pan

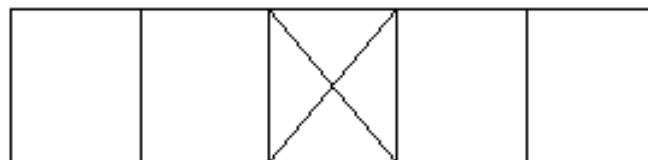
Nota important :

On a toujours intérêt à mettre la palée de stabilité au centre du bâtiment.

- Si on place une stabilité à chaque extrémité d'un bâtiment celui-ci se trouve bloqué et la dilatation n'est pas possible, ce qui crée des efforts supplémentaires dans la structure. On considère dans ce cas que chaque contreventement reprend l'intégralité des efforts appliqués à son pignon.



- Si l'on place une seule stabilité vers le milieu du bâtiment, la dilatation peut se faire plus librement, les efforts thermiques étant divisés en deux parts de chaque côté du système.



- Si on encastre les sablières sur les poteaux on peut certes éviter les stabilités, mais la poussée en tête se répartit sur le nombre de poteaux (à éviter, en général)

- Pour des halles de grandes longueurs, il faut prévoir des joints de dilatation. Il est à noter que lorsque pour des raisons esthétiques la structure porteuse est apparente, celle-ci est très exposée aux variations de températures. (absence d'isolation thermique).

1.4- Vérification de la stabilité d'ensemble

Après avoir dimensionné et vérifié individuellement les éléments d'un bâtiment il faut s'assurer de la stabilité globale de celui-ci, notamment sous l'effet du vent.

L'effort global se décompose en :

- Une composante horizontale de traînée T produisant un effet d'entraînement.
- Une composante verticale ascendante de portance U produisant un effet de soulèvement

Ces deux composantes donnent lieu à un moment de renversement M_r , qui doit rester inférieur au moment stabilisateur M_s dû au poids propre du bâtiment :

$$M_F=U \ C+T_1b+T_2a\leq M_S=G\frac{l}{2}$$

Le calcul de ces actions d'ensemble prend en compte les pressions dynamiques du vent, qui sont calculées en affectant aux pressions statiques un coefficient de majoration dynamique, qui est entre autre fonction de la période du mode fondamental d'oscillation.

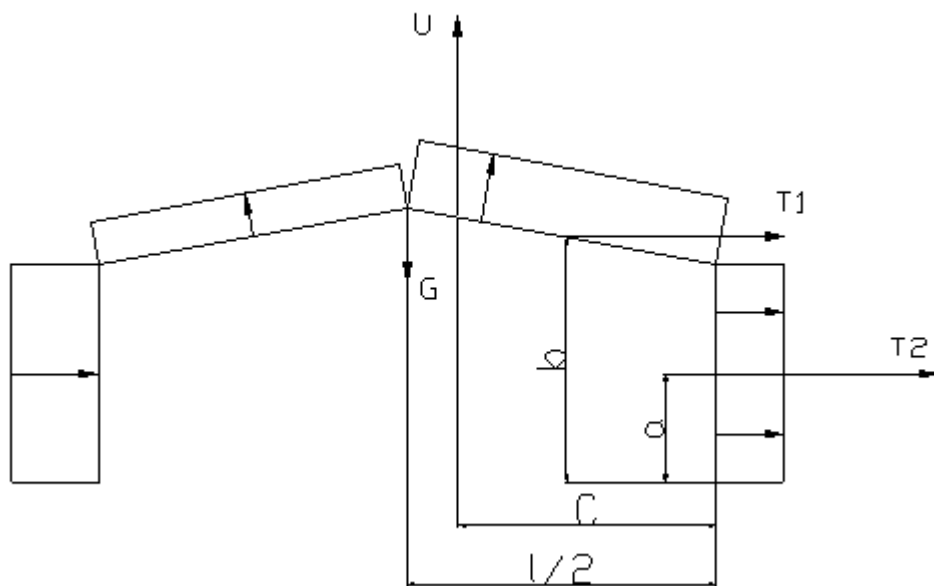


Figure 1.5- Stabilité d'ensemble

1.5- Les fonctions assurées par les contreventements sont :

➤ Transmission des efforts horizontaux aux fondations :

Les halles métalliques sont soumises à un ensemble d'actions horizontales directes telles que le vent, le séisme ou encore des charges d'exploitation (mouvement de personnes, pont roulant, etc.). Les efforts qui en résultent sont transmis aux fondations grâce aux palées de stabilité. Voir la Figure 1.6.

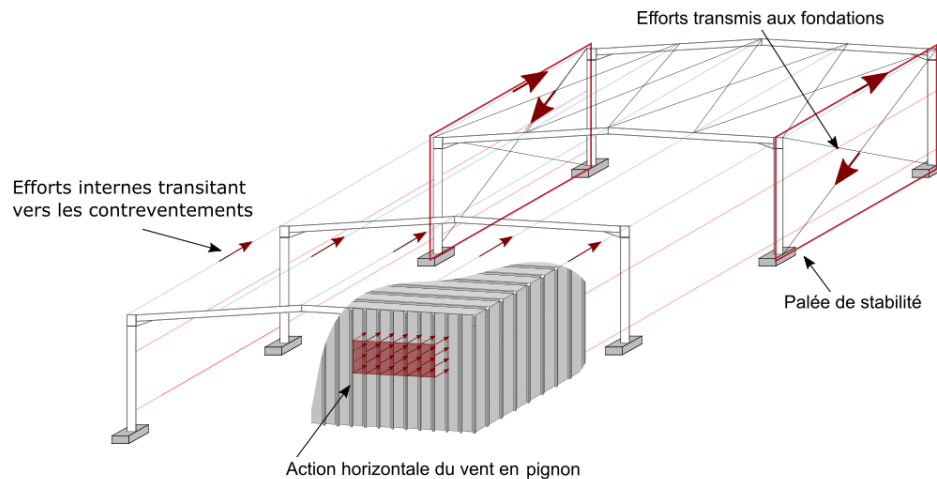


Figure 1.6 : Cheminement des efforts horizontaux

➤ Rigidification de la structure :

Une structure doit présenter une rigidité suffisante dans toutes les directions de l'espace, notamment afin de limiter les déformations et de respecter les critères d'aptitude au service, ou encore pour limiter sa sensibilité aux effets du second ordre. La rigidité doit être assurée en phase définitive comme en phase provisoire. C'est pourquoi le montage d'une halle métallique débute généralement par le système de contreventement.

➤ Stabilisation des poteaux vis-à-vis du flambement :

Afin de réduire la sensibilité des poteaux aux instabilités de flambement, il est courant de les relier à une palée de stabilité grâce aux barres d'« anti-flambement », par exemple les pannes ou les lisses de bardage.

Notons que dans le cas d'une palée de stabilité, seules les barres d'« anti-flambement » liées à un nœud de la palée peuvent être considérées comme des appuis. De même, pour qu'une section puisse être considérée comme parfaitement maintenue vis-vis du flambement hors plan et du déversement, il convient qu'elle soit bloquée en déplacement latéral (lisse de bardage par exemple) et en rotation autour de l'axe longitudinale de la barre (présence d'un bracon). Voir les Figures 1.7 à 1.8.

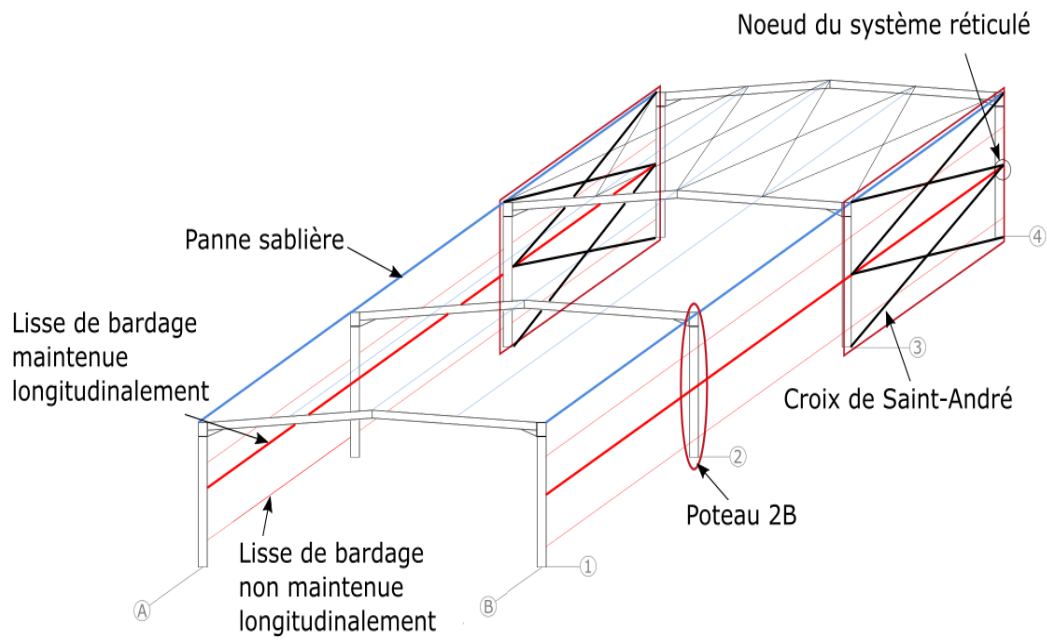


Figure 1.7 : Maintiens latéraux vis-à-vis des instabilités – palées triangulées

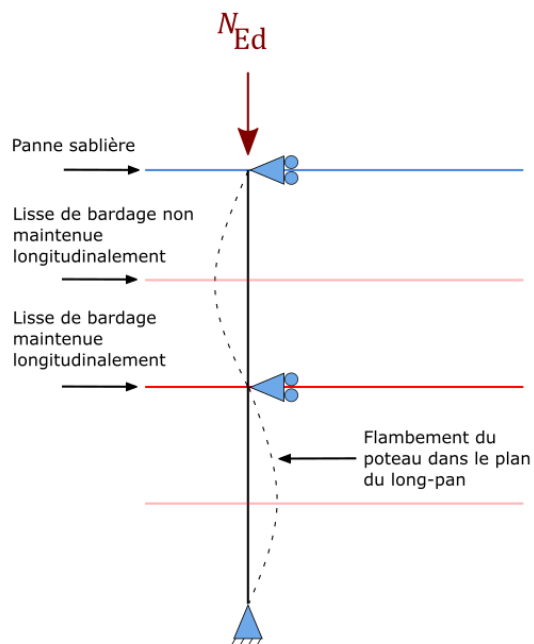


Figure 1.8 : Modélisation du poteau 2B

Remarque :

- Bien que moins fréquentes, des dispositions en **V** inversé (afin de libérer de l'espace) ou en **N** sont également possibles. Cette disposition implique que les diagonales puissent travailler en traction et en compression ;
- Enfin, notons que la disposition en **K** est à éviter.

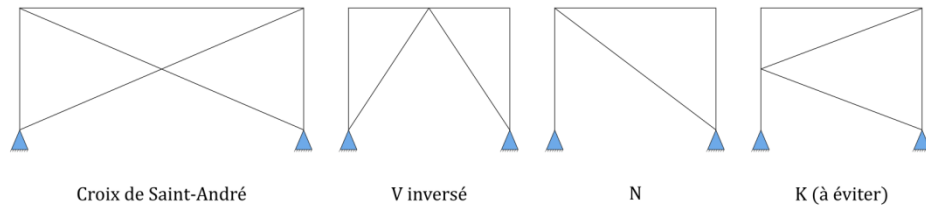


Figure 1.9 : Dispositions constructives des palées triangulées

1.6- Modes de rupture des systèmes de contreventement

Lorsque les barres constituant les systèmes de contreventement sont mal dimensionnées, on obtient un risque majeur de destruction de toute la structure. Il faut faire donc une attention durant le dimensionnement et la vérification de la résistance et la stabilité des systèmes de contreventement.

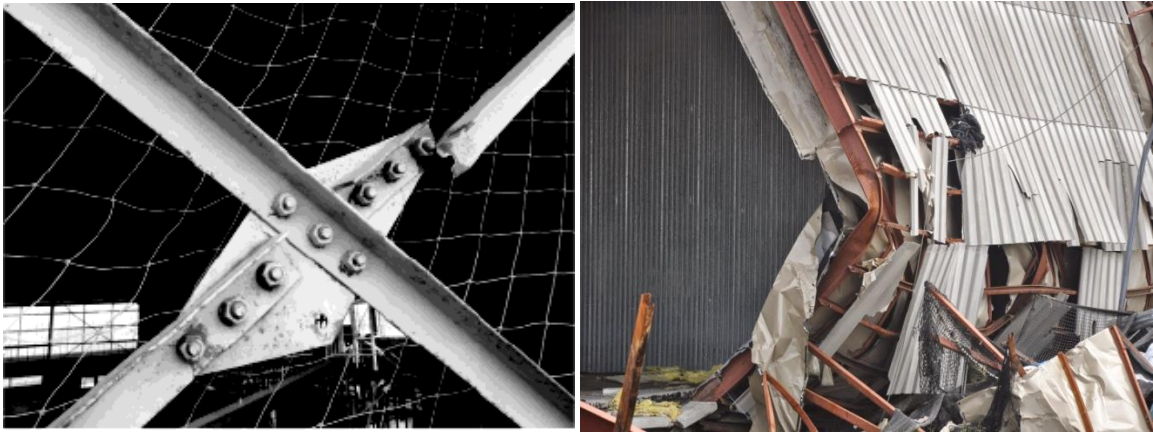


Figure 1.10 : Modes de rupture des systèmes de contreventement

**Chapitre 2 :
Exemple d'application :
Dimensions de la halle métallique et évaluation
des charges et surcharges**

Chapitre 2 :

Exemple d'application : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

2.1. Ossature d'une halle métallique à deux versants

- Le projet consiste à étudier une halle en charpente métallique implantée à Mostaganem, destinée à l'exposition des produits alimentaires avec une toiture en pente à 2 versants. Vu son exploitation, on classe cette structure parmi les constructions qui regroupe l'ensemble des bâtiments industriels et des ouvrages de stockage (cf. *Principes de calcul RNV 99/2013*).
- L'ossature est constituée de six portiques avec traverses à âme pleine. Les poteaux ont une hauteur de 9,00 m au-dessus du sol et sont fixés sur un massif de fondation en béton armé au niveau 0,00 m. La pente de la toiture est de 10 %, conduisant à un niveau maximal de 10,00 m pour l'ossature au faîtage. La façade chaque Long-pan comprend 10 fenêtres vitrées de 1,80m de largeur par 0,60m de hauteur parmi lesquelles 5 fenêtres sont ouvertes.
- La façade de chaque Pignon comprend une porte (4.00 m par 4.00 m) et neuf fenêtres de 1,80m de largeur par 0,60 m de hauteur parmi lesquelles 4 fenêtres sont ouvertes.
- Transversalement, le bâtiment est stabilisé par l'effet du portique hyperstatique. Les poteaux sont articulés (ou encastres) en pied.
- Longitudinalement, l'ossature est stabilisée par une poutre au vent en toiture et des palées de stabilité (en croix de St André X ou en V pour permettre la disposition des fenêtres).

2.1.1. Pré dimensionnement des éléments porteurs

Le choix des éléments porteurs, est basé sur les règles empiriques de Pré dimensionnement suivantes :

- **Traverses** : la portée $L = 20 \text{ m} \Rightarrow h \cong \frac{L}{60} = 333.3 \text{ mm} \Rightarrow$ choix **IPE330**,
- **Poteaux** : profilé **IPE360** (ils sont élancés $H = 9 \text{ m}$),
- **Pannes** : la portée $l = 6 \text{ m} \Rightarrow h \cong \frac{l}{45} = 133,3 \text{ mm} \Rightarrow$ choix **IPE140**,
- **Lisses** : pour une portée $l = 6 \text{ m} \Rightarrow h \cong \frac{l}{45} = 133,3 \text{ mm} \Rightarrow$ choix **UAP130**,
- **Potelets** : Choix **IPE240**.
- **Pallées de stabilité** en X pour le contreventement vertical : **CAE100x10**
- **Poutre au vent** en X pour le contreventement horizontal : **CAE80x8**

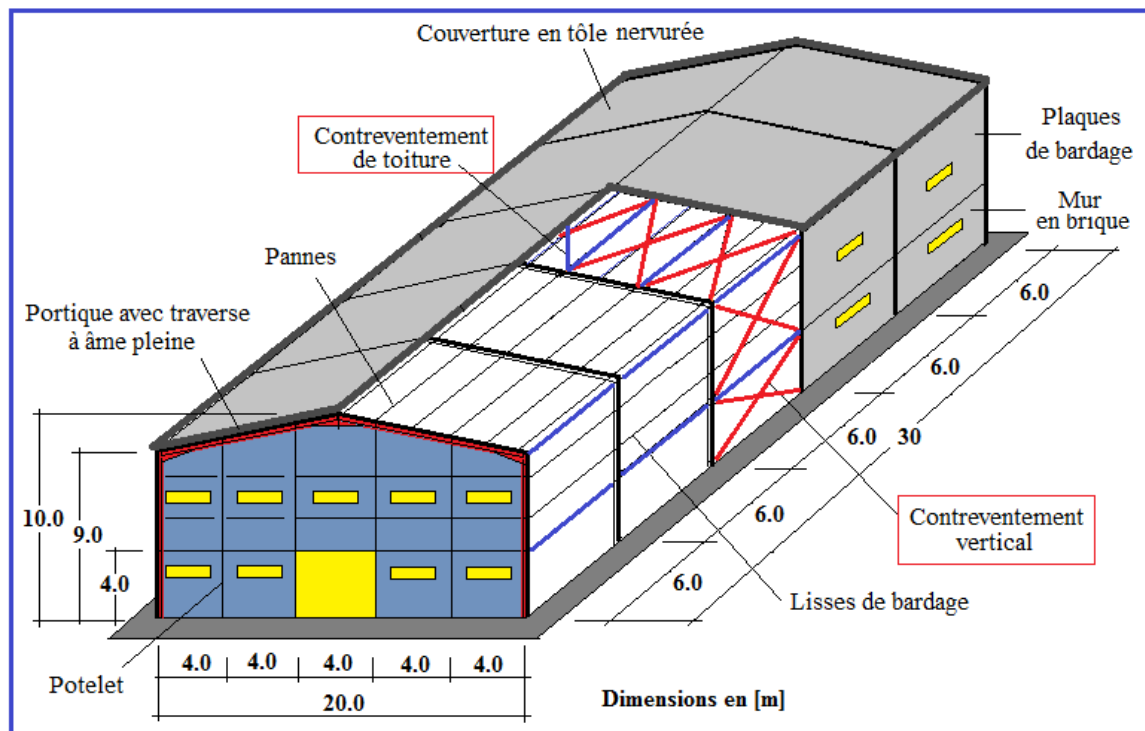


Figure 2.1 : Ossature d'une halle métallique à deux versants

2.1.2. Caractéristiques des matériaux de construction

Pour notre structure, on choisit les matériaux de construction suivants :

❖ Aciers de construction pour les éléments de structure

Pour la construction de la halle métallique, on utilise des profilés laminés à chaud en acier de nuance **S275** qui a comme caractéristiques :

- Résistance limite d'élasticité, $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$
- Module d'élasticité longitudinal, $E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$
- Module de cisaillement, $G = 80770 \text{ N/mm}^2$
- Poids volumique, $\rho = 78500 \text{ N/m}^3$
- Coefficient de poisson, $\nu = 0,3$

❖ Béton et armatures

Pour la réalisation des semelles de fondations, on utilise un béton de classe C25/30, la résistance caractéristique à la compression : $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$ et la résistance caractéristique à la traction : $f_{tk} = 2,1 \text{ N/mm}^2$,

Poids volumique : $\rho = 25000 \text{ N/m}^3$,

Module d'élasticité : $E_b = 32000 \text{ N/mm}^2$,

Armatures HA en acier B500, $f_{sk} = 500 \text{ N/mm}^2$.

2.1.3. Caractéristiques du sol de fondation

La halle sera implantée sur un sol meuble avec une contrainte admissible : $\sigma_{sol} = 2,0 \text{ bar}$.

Chapitre 2 : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

Le site est classé dans la zone sismique **II**.

2.2. Charges et Surcharges

2.2.1. Charge permanente

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 en tôle nervurée TN40 ($G_{TN40} = 7,69 \text{ daN/m}^2$).

2.2.2. Surcharge d'exploitation

Elle concerne le poids des personnes et le mobilier. Dans le cas des halles métalliques, la surcharge d'exploitation est très faible et elle peut être négligeable. Mais, pour le dimensionnement des pannes de toiture, la surcharge d'exploitation (surcharge d'entretien) est prise égale à deux charges ponctuelles de 100 daN au 1/3 et 2/3 de la portée d'une panne.

2.2.3. Surcharges climatiques

2.2.3.1. Charge de neige

La toiture d'une halle métallique est soumise à l'accumulation de la neige. Selon les Règles Algériennes **RNV99** qui sont applicables sur l'ensemble des constructions situées à une altitude inférieure à **200m**, la **valeur représentative de la charge statique de neige** dépend de la localisation du lieu d'implantation de l'ouvrage sur la carte des zones de neige, de l'altitude de ce site par rapport au niveau moyen de la mer et aussi de la forme de la toiture de l'ouvrage. La charge caractéristique de neige (S) s'obtient par la formule suivante :

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

Avec

S : charge caractéristique de neige par unité de surface (en KN/m^2)

S_k : charge de neige sur le sol en $[\text{kN/m}^2]$

μ : coefficient d'ajustement des charges ou coefficient de forme

Remarque :

Il n'est pas nécessaire de calculer les charges de neige suspendues en débord des toitures, car cette charge doit être prise en compte seulement pour les constructions situées à plus de **1000m** d'altitude, ce qui n'est pas le cas dans notre étude.

Charge de neige S_k sur le sol

La valeur de S_k varie suivant la localisation géographique et suivant l'altitude du lieu considéré.

a) Influence de la localisation géographique

Chapitre 2 : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

La halle métallique est construite à MOSTAGANEM, qui fait partie de la **zone B** selon les zones de neige définies par la RNV 99/2013, d'où on a la formule suivante :

Pour la **zone B** :

$$S_k = \frac{0,04.H+10}{100}$$

H : altitude par rapport au niveau de la mer du site considéré (en m).

b) Influence de l'altitude

Le site se trouve à une altitude de 928 m au-dessus de la mer.

$$H = 928 \text{ m} \Rightarrow S_k = \frac{0,04 \cdot 928 + 10}{100} \Rightarrow S_k = 0,4712 \text{ KN/m}^2 = 47,12 \text{ daN/m}^2$$

Valeur du coefficient de forme de la toiture (μ)

Elle est en fonction de la forme de la toiture. On a une toiture en pente de 10% (c'est-à-dire : $\alpha = 5,71^\circ$) à deux versants, sans obstacle de retenue ; (μ) s'obtient du Tableau des coefficients de forme pour une toiture à 2 versants avec une valeur unique de α

$$0^\circ < \alpha = 5,71^\circ < 30^\circ ; \text{ on a : } \mu = 0,8$$

D'où la charge caractéristique de neige **S** est comme suit :

$$S = 0,8 \times 47,12 \Rightarrow S = 37,7 \text{ daN/m}^2.$$

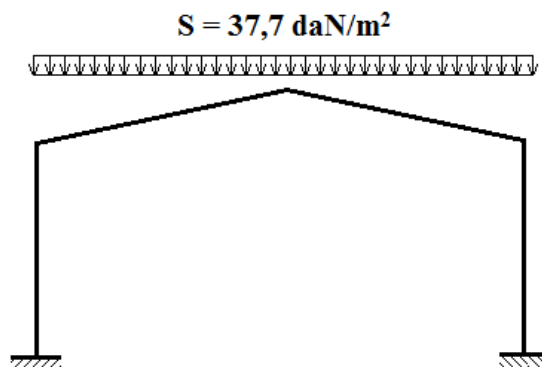


Figure 2.2 : Surcharge de Neige sur la toiture

2.2.3.2. Charge de Vent

L'effet du vent sur une halle métallique est généralement prépondérant, une étude approfondie doit être effectuée pour déterminer l'action du vent dans toutes les directions possibles dont le calcul est mené conformément au règlement Algérien de Neige et Vent RNV99/2013. La pression du vent dépend d'un certain nombre de facteurs, en particulier :

- La région,
- Le site d'implantation,
- La hauteur de la construction,
- La forme géométrique de la construction,

Chapitre 2 : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

- La rigidité de la construction et
- Les ouvertures (ou de la perméabilité à l'air) de la construction.

Il s'agit, donc, de calculer la pression due au vent q_j qui s'exerce sur un élément de surface j . Les règles RNV99 sont applicables car notre structure a une hauteur totale $H=10\text{m} < 200\text{m}$.

Remarque :

- ❖ Le calcul doit être effectué séparément pour chacune des directions perpendiculaires aux différentes parois de la structure.
- ❖ Après avoir calculé les surcharges climatiques de vent en respectant la RNV 99/2013, nous avons récapitulé les surcharges de vent qu'on prendra en compte dans la modélisation comme suit :
- **Vent perpendiculaire au Long-pan (sens V_1) :**

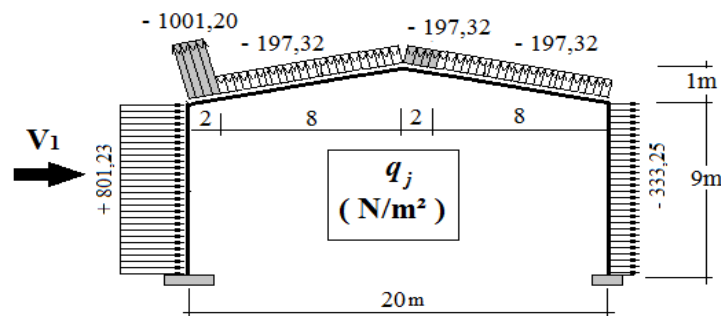


Figure 2.3 : Surcharges de vent pour (Sens V_1)

- **Vent perpendiculaire au Pignon (sens V_2) :**

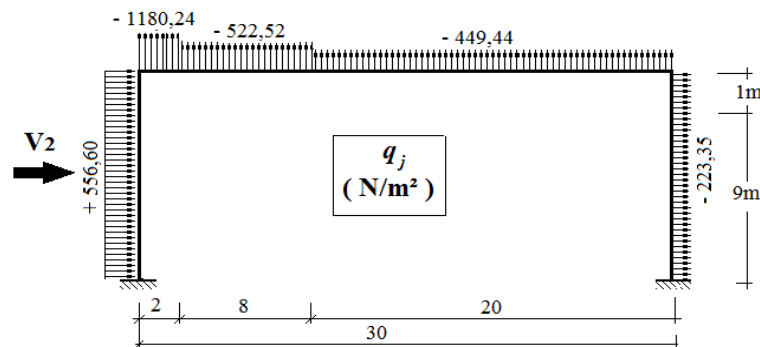


Figure 2.4 : Surcharges de vent pour (Sens V_2)

2.3- Charge sismique :

- Afin d'éviter tout risque de ruine qui pourra surgir lors d'un éventuel séisme nous avons jugé une étude sismique primordiale.

Chapitre 2 : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

- De ce fait nous allons consacrer ce chapitre au calcul de l'effort sismique maximal qui Menacera notre structure lors d'un séisme. Dans ce contexte nous allons calculer les efforts Tranchants dus au séisme.
- Les efforts tranchants trouvés seront combinés avec les surcharges d'exploitation et les Charges permanentes. Nous utiliserons les résultats pour le dimensionnement de l'ossature Principale de notre structure.
- Le RPA 99 propose trois méthodes de calcul
 - 1 – méthode statique équivalente
 - 2 – méthode d'analyse modèle spectrale
 - 3 – méthode d'analyse dynamique par accélérogramme.

2.3.1- Choix de la méthode dans notre cas :

Les deux dernières méthodes sont utilisées dans tous les cas, mais la première méthode, Nommé méthode statique équivalente, pour qu'elle soit appliquée, il faut que la structure vérifie un certain nombre de conditions

2.3.2- Condition d'applications :

Notre bâtiment satisfait aux conditions de régularité en plan et en élévation.

Dans notre étude on opte pour la méthode statique équivalente.

Le principe de la méthode est de remplacer les efforts (Effort tranchant) dus à l'action Sismique par des forces statiques fictives équivalentes

2.3.3- Calcul de l'effort tranchant V à la base :

L'effort sismique totale appliqué à la base de la structure est donné par la formule suivante :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \times W$$

Avec :

V : effort tranchant totale agissant à la base de la structure dans les deux directions Horizontale est orthogonale (longitudinale V_x , transversale V_y).

A : Coefficient d'accélération des zones.

D : facteur d'amplification dynamique moyen.

Q : facteur de qualité.

W : poids actif de la structure.

R : coefficient de comportement global de la structure

Détermination du coefficient d'accélération de zone A :

Le hangar de stockage est classé dans le groupe 1B et il est situé en zone Sismique IIa.

$A = 0.20$

Chapitre 2 : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

Calcul du facteur d'amplification dynamique D :

Le facteur d'amplification dynamique moyen est donné par la formule suivante :

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

T₂ : période caractéristique associé à la catégorie du site.

(Voir RPA 99 /version 2003 tab 4.7).

Site : **S3** : site meuble (voir RPA 99 /version 2003 tab 3.2).

D'où :

T₂ = 0.50s

- Le pourcentage d'amortissement critique (Voir RPA 99 / V 2003 tab 4.2)

- Remplissages dense
 - Portique en acier
- } $\xi = 5\%$

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule.

(Voir RPA 99 / V 2003 formule 4.3 Page40).

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7$$

Puisque : $\xi = 5\% \Rightarrow \eta = 1$

Estimation de la période fondamentale de la structure :

La période fondamentale de la structure est donnée par la formule empirique Suivante :

Dans le sens transversal :

Le système de contreventement dans le sens transversal et de type portique auto stable en acier avec remplissage en maçonnerie $C_t = 0.05$

$$\text{avec } T = \min \left\{ \begin{array}{l} C_T \cdot (h_n)^{3/4} \\ 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{D}} \end{array} \right. \quad (\text{Voir RPA 99 / V 2003 Page 45et 46}).$$

h_n : hauteur mesurée en mètre a partir de la base jusqu'au dernier niveau

Chapitre 2 : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

Dans notre cas $h_N=11.17\text{m}$

CT : Coefficient fonction du système de contreventement et de type de remplissage (tab 4.6).

$D = 30\text{m}$: est la dimension du hangar mesurée à sa base dans la direction de calcul

Considérée.

Donc :

$$T = 0.05 \times 10^{3/4} = 0.28 \text{ s}$$

$$T = 0.09 \times \frac{10}{\sqrt{30}} = 0.16 \text{ s}$$

$$T_x = 0.16 \text{ s}$$

Dans le sens longitudinal :

Le système de contreventement dans le sens longitudinal de type portique auto stable en acier avec le remplissage en maçonnerie. $C_t = 0.05$

Avec :

$$T = \min \left\{ \begin{array}{l} C_T \cdot (h_n)^{3/4} \\ 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{D}} \end{array} \right. \quad (\text{Voir RPA 99 / V 2003 Page 45 et 46}).$$

$D = 20 \text{ m}$: est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul
Considérée.

$$T = 0.05 \times 10^{3/4} = 0.28 \text{ s}$$

$$T = 0.09 \times \frac{10}{\sqrt{20}} = 0.20 \text{ s}$$

$$T_y = 0.28 \text{ s}$$

On est dans le cas où $0 \leq T \leq T_2$ et d'après la formule (4.2) de RPA/V2003

$$D = 2.5 \eta = 2.5$$

Détermination du facteur de qualité Q :

$$Q = 1$$

Coefficient de comportement global de la structure R :

Voir tableau 4.3 de RPA/2003

On a :

Catégorie : B acier

Sens transversale : portique auto stable ordinaire : $R_x = 4$

Sens longitudinale : portique auto stable ordinaire : $R_y = 4$

Calcul du poids actif de la structure soumis au séisme W

Le poids actif de la structure soumis au séisme est donné par la formule :

Chapitre 2 : Dimensions de la halle métallique et évaluation des charges et surcharges

$$W = \sum_{i=1}^n W_i$$

$$\text{Avec : } W = W_{Gi} + \beta W_{Qi}$$

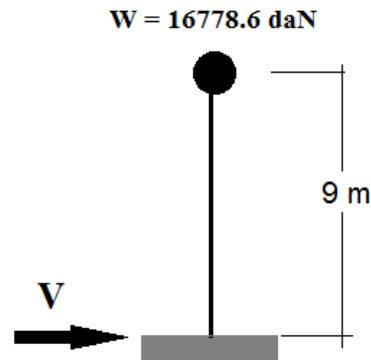
W_{Gi} : poids due aux charges permanentes.

W_{Qi} : poids due aux charges d'exploitations.

β : coefficient de pondération Tableau 4.5.

Donc : $\beta = 0.5$ (hangar)

Poids de la structure



Poids total de la structure $W = 16778.6 \text{ daN}$

Sens transversal :

$$V = \frac{0.2 \times 2.5 \times 1}{4} \times 16778.6 = 2097.32 \text{ daN}$$

Sens longitudinal :

$$V = \frac{0.2 \times 2.5 \times 1}{4} \times 16778.6 = 2097.32 \text{ daN}$$

D'où l'effort sismique globale agissant à la base $V = 2097.32 \text{ daN}$

2.4- Conclusion :

On conclut que l'effet de vent est plus défavorable que l'effet sismique donc on fait le calcul en considérant le surcharge de vent seulement.

**Chapitre 3 :
Modélisation de la halle métallique par Robot
et
Analyse des résultats**

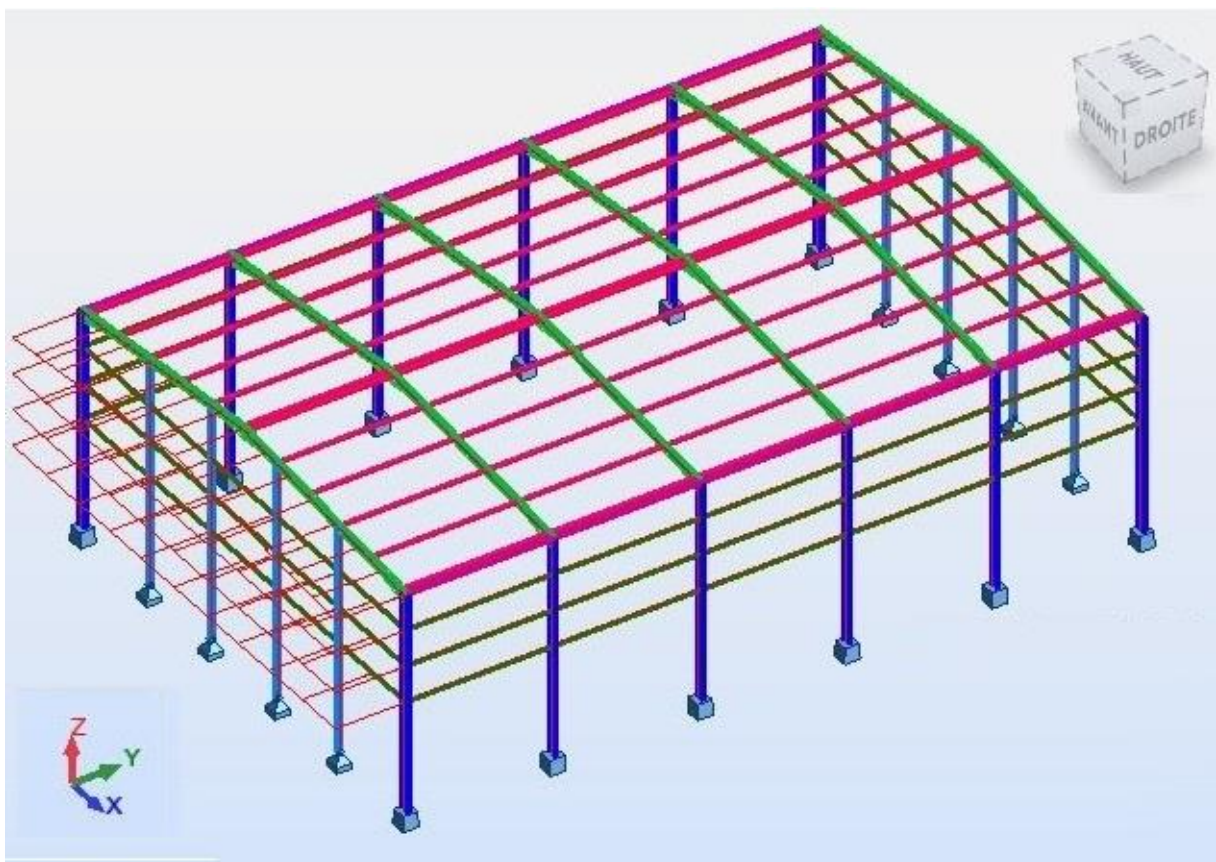
Chapitre 3 : Modélisation de la halle métallique par Robot Et Analyse des résultats

3.1- Etapes de la modélisation de la structure par Robot

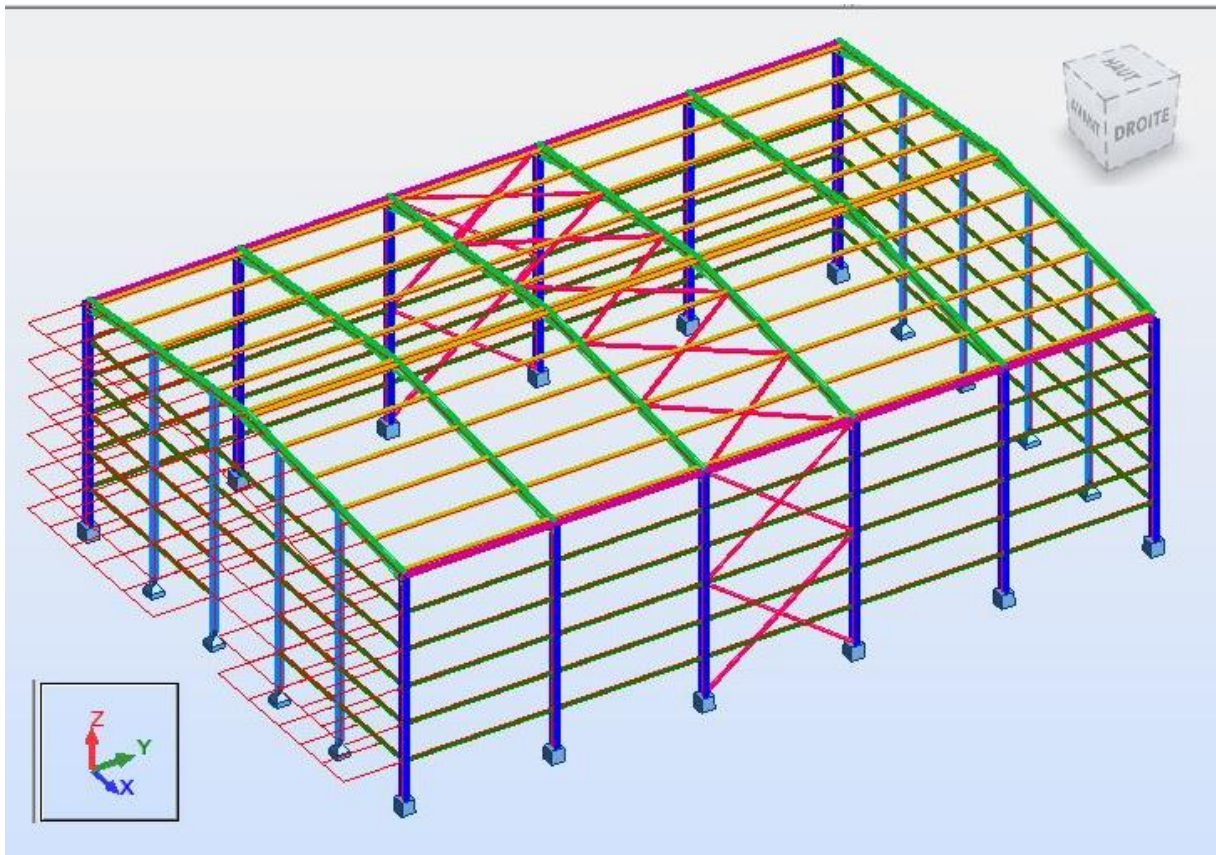
La représentation de la structure réelle, par un modèle numérique en utilisant le logiciel Robot 2014 nécessite :

- La définition des lignes de construction de la structure suivant les trois directions ;
- La définition des sections des éléments qui constituent la structure (éléments barres ou panneaux) ;
- La représentation et le dessin de la structure graphiquement par les éléments définis ;
- La définition des appuis dans la structure ;
- La définition des cas de charge et des combinaisons et application des charges sur la structure.

Dans ce qui suit, la Figure 3.1 présente la modélisation de la halle métallique par Robot 2014 sans système de contreventement et avec système de contreventement :



Cas 1 : Sans système de contreventement



Cas 2 : Avec système de contreventement

Figure 3.1 : Modélisation de la halle métallique par Robot

3.2- Analyse des résultats (déformations et sollicitations)

3.2.1- Surcharge de vent appliquée sur le long-pan (Vent 1)

Cas 1 : sans système de contreventement

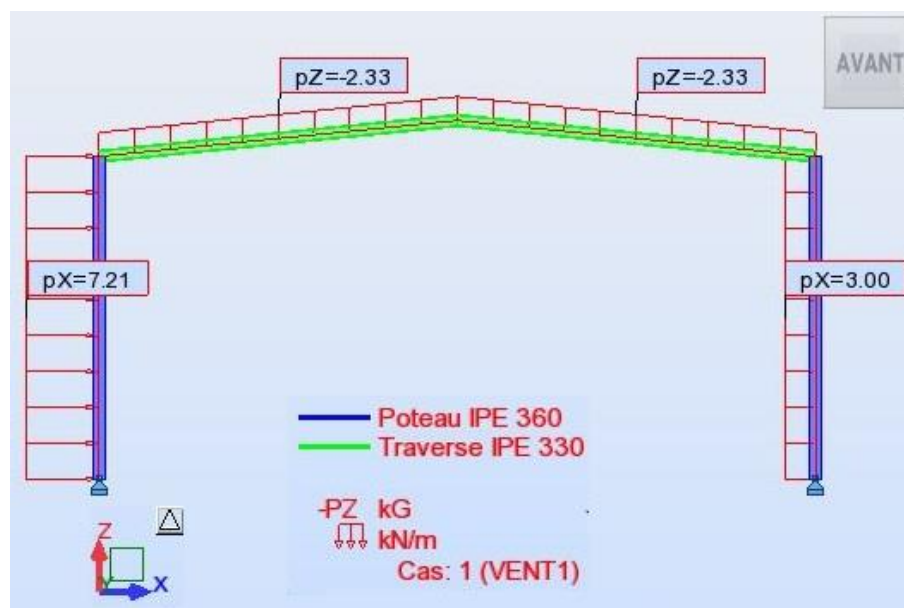
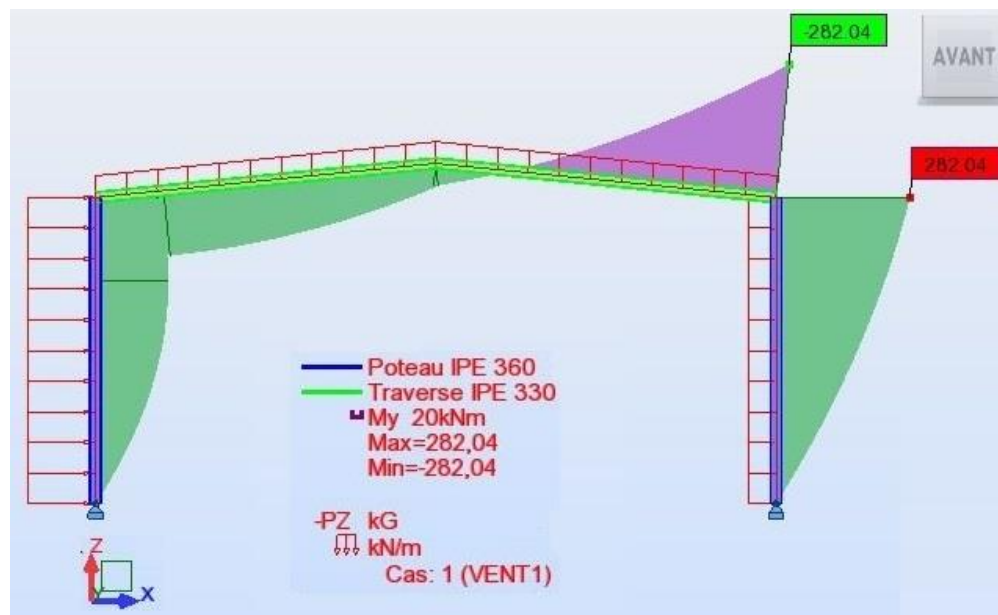
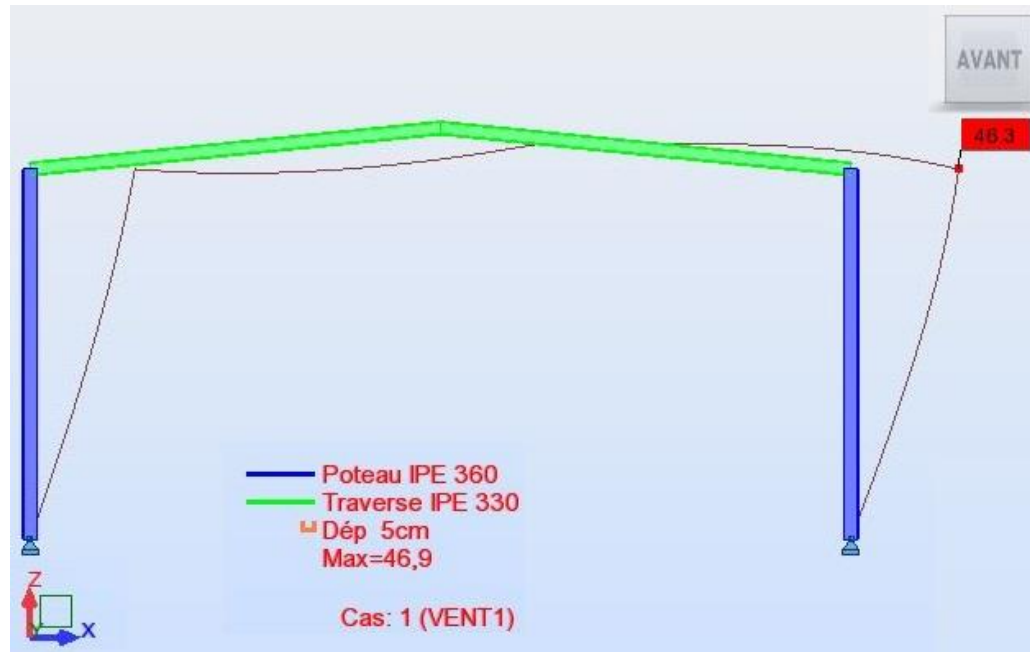


Figure 3.2 : Cas 1 : sans système de contreventement

Lorsqu'on utilise des portiques articulés sans pièces de renforcement (jarrets et clés de faitage) la pression du vent provoque des grandes déformations et des moments fléchissants maximaux.



Cas 2 : Avec système de contreventement

Pour limiter les déformations et pour réduire les sollicitations dans le portique, on renforce la liaison (poteau-poutre) en ajoutant des jarrets et clé de faitage, ainsi que l'encastrement des pieds de poteaux au semelles de fondation.

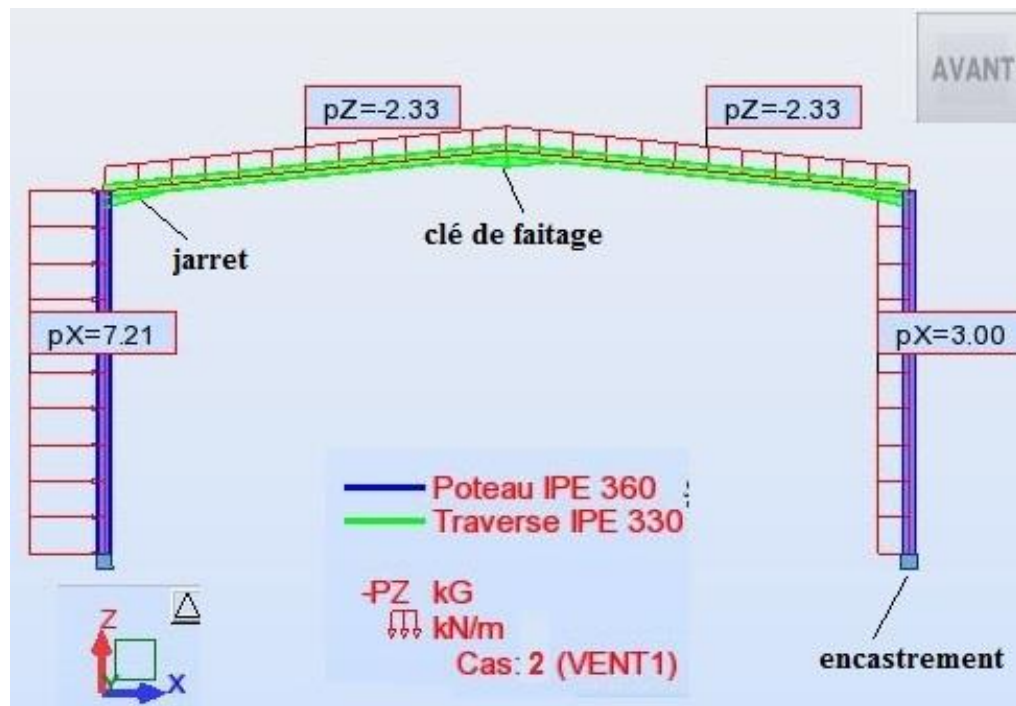


Figure 3.5 : Cas 2 : avec système de contreventement

Comme le montre la figure 3.5, on a remarqué une réduction considérable des déformations dans le portique :

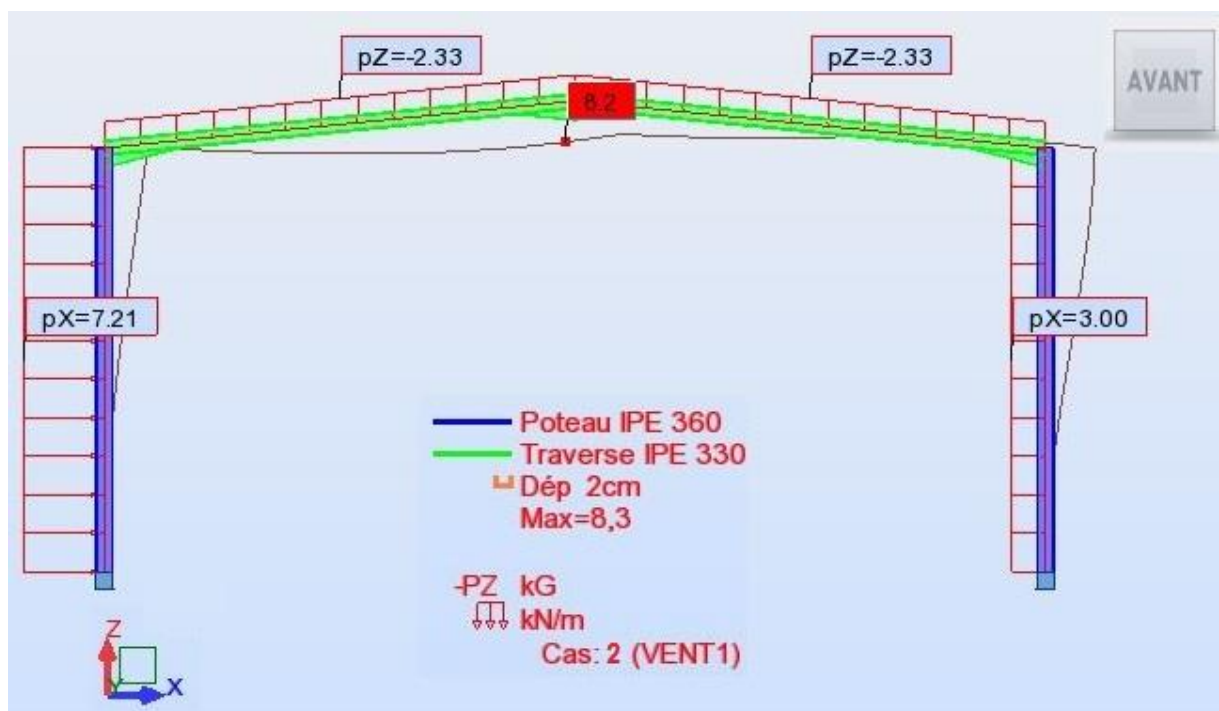


Figure 3.6 : Déformation du portique encastrement et renforcé

La Figure 3.6 montre clairement une réduction sensible des moments fléchissants dans les poteaux et les traverses grâce à l'encastrement des pieds des poteaux et le renforcement par jarrets et clés de faitage.



Figure 3.7 : Diagramme des moments fléchissants dans un portique articulé

3.2.2- Surcharge de vent appliquée sur le pignon (Vent 2)

On a fait la modélisation de la halle métallique et son chargement par la pression du vent sur la façade pignon, on a remarqué que la halle sans contreventement se déforme énormément et sera détruit complètement, comme il est montré dans les deux Figures suivantes :

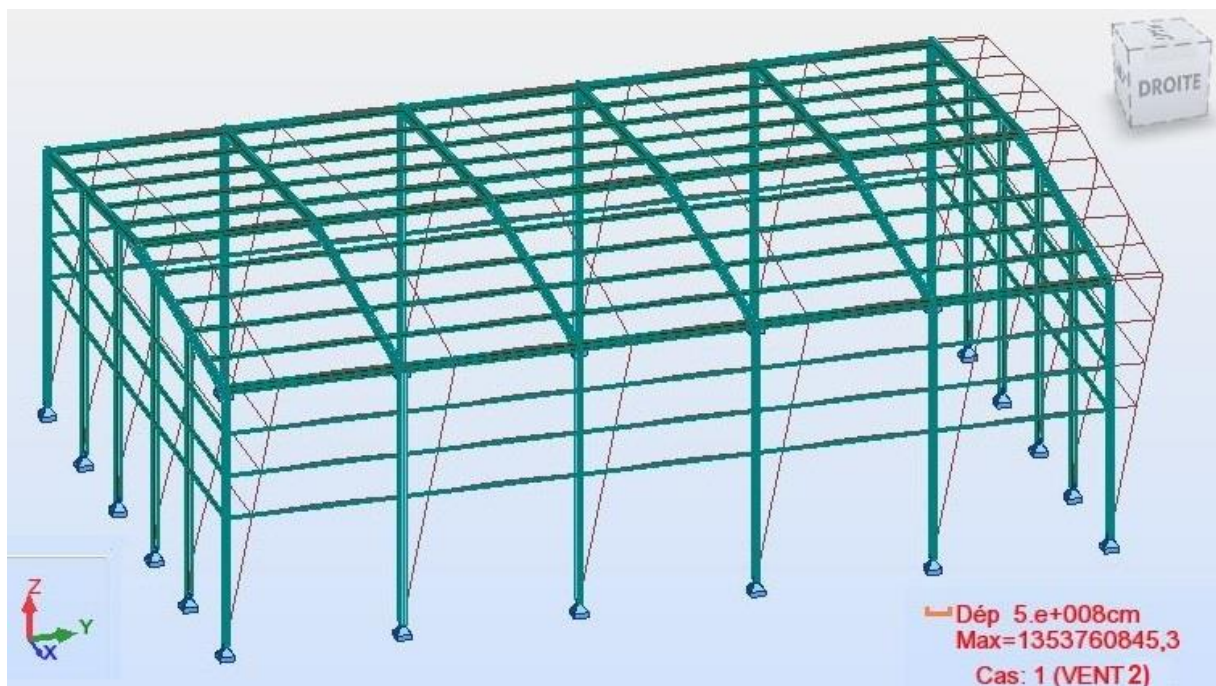


Figure 3.8 : Sans système de contreventement

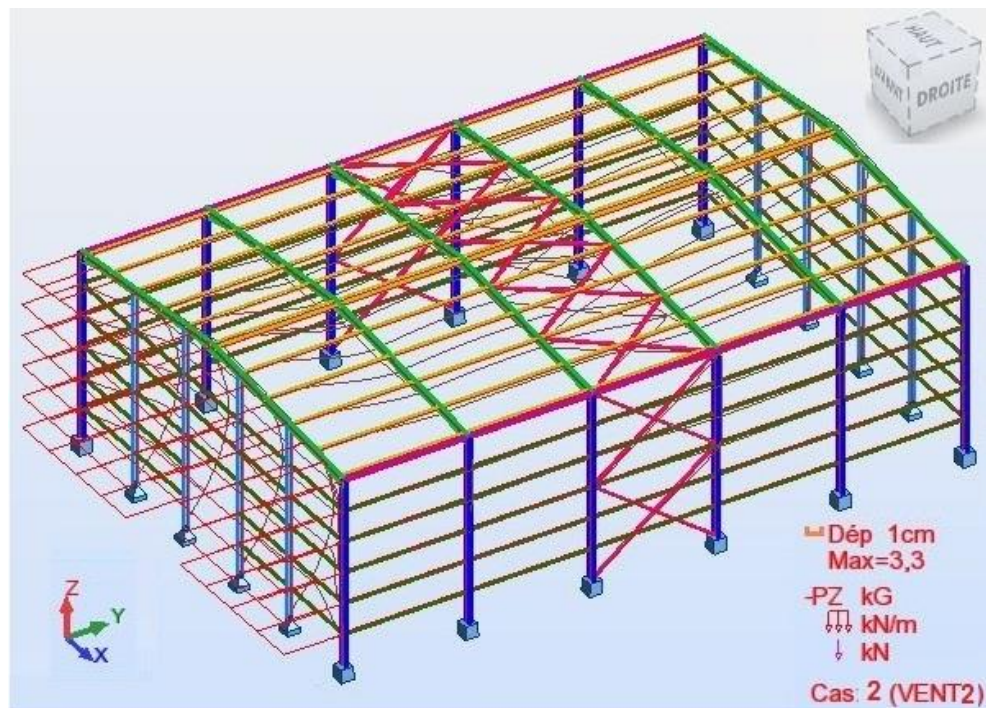


Figure 3.9 : Avec système de contreventement

Pour expliquer clairement la contribution des systèmes de contreventement à la stabilité de la structure, on va entamer le rôle des palées de stabilité verticale et le rôle de la poutre auvent horizontale successivement :

Rôle des palées de stabilité verticale

Cas 1 : Sans palée de stabilité verticale

En cas d'absence des palées de stabilité verticale (croix X de Saint André), la pression du vent sur pignon provoque des grandes déformations au sommet et des moments fléchissants maximaux aux pieds des poteaux.

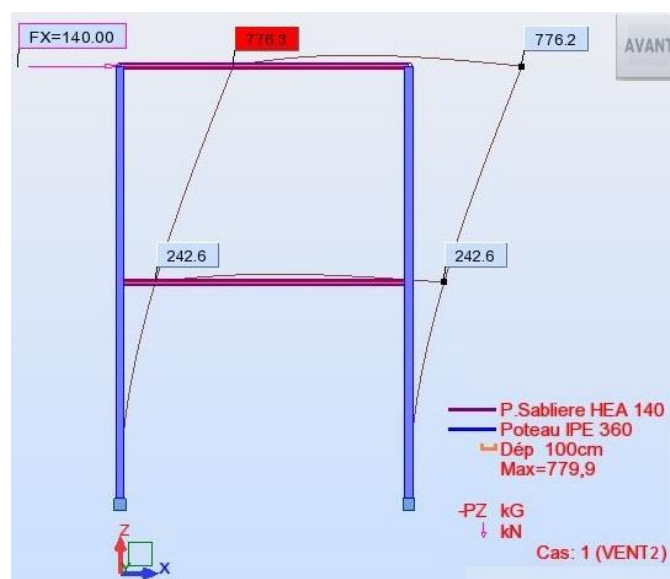


Figure 3.10 : Déformation des poteaux de longpan

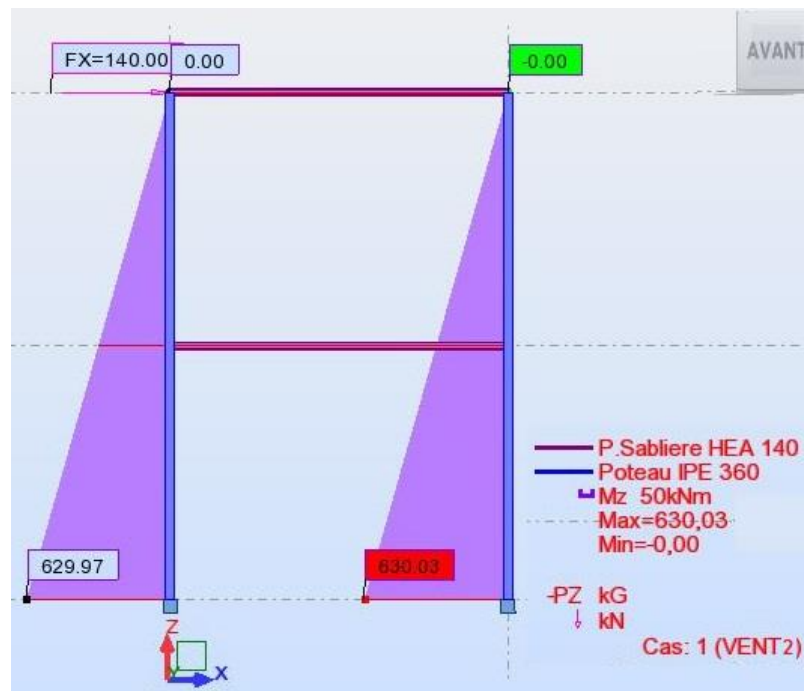


Figure 3.11 : Diagramme des moments fléchissants dans les poteaux

Cas 2 : Avec palée de stabilité verticale

Les barres en cornière constituant la croix de Saint André participe efficacement à la stabilité de la structure.

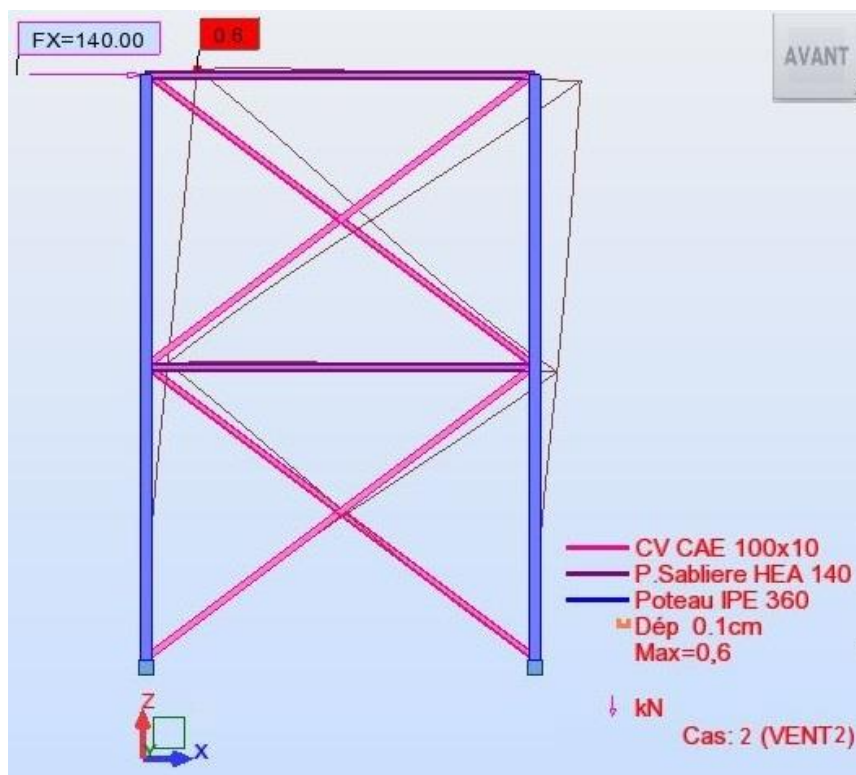
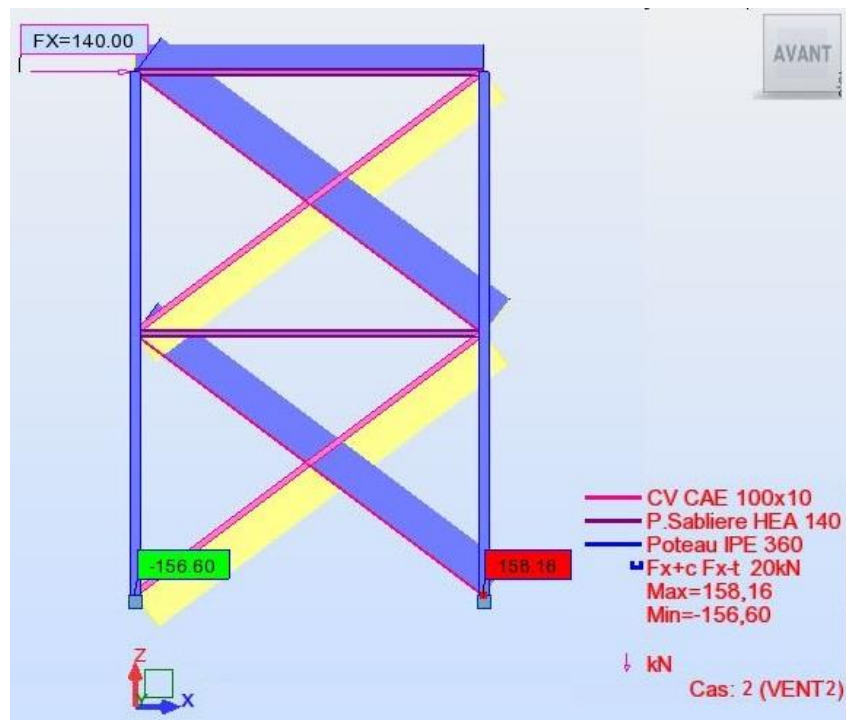


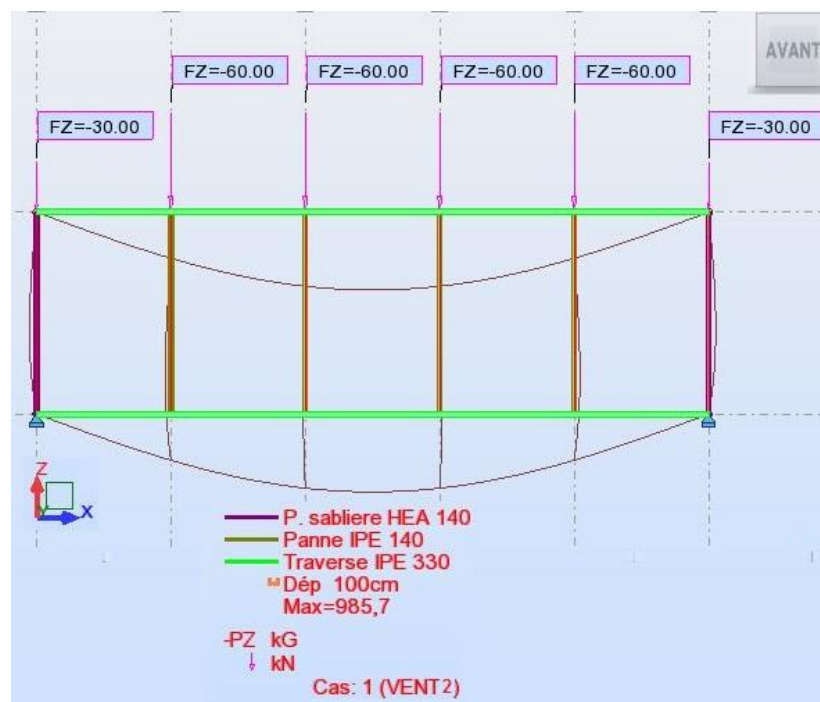
Figure 3.12 : Limitation de la déformation par palées de stabilité



Rôle de la poutre auvent horizontale

Cas 1 : Sans poutre auvent horizontale

En cas d'absence des barres en cornière formant la poutre auvent, la pression du vent sur pignon provoque des déformations latérales des traverses supportant la toiture et des moments fléchissants maximaux dans le plan horizontal des traverses qui mènent à la rupture.



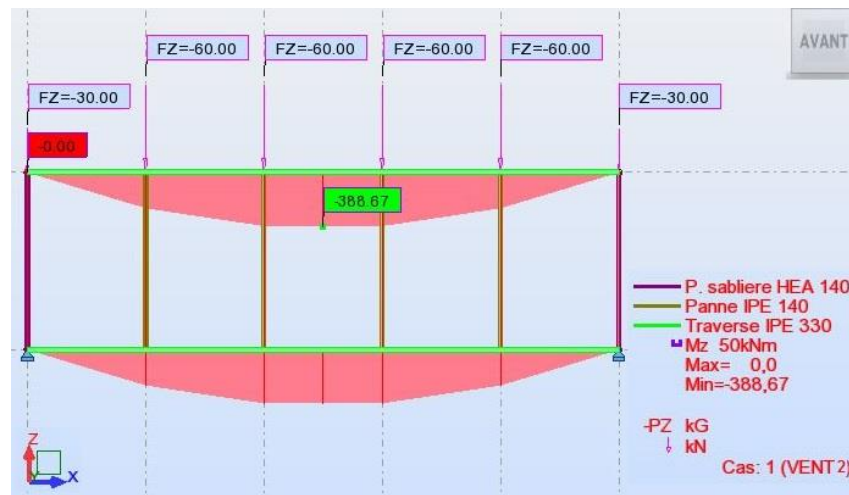


Figure 3.15 : Diagramme des moments fléchissants dans le plan horizontal des traverses

Cas 2 : Avec poutre auvent horizontale

La poutre au vent limite la déformation de la toiture grâce à la participation des cornières qui sont sollicitées à leur tour par des efforts normaux de traction et de compression.

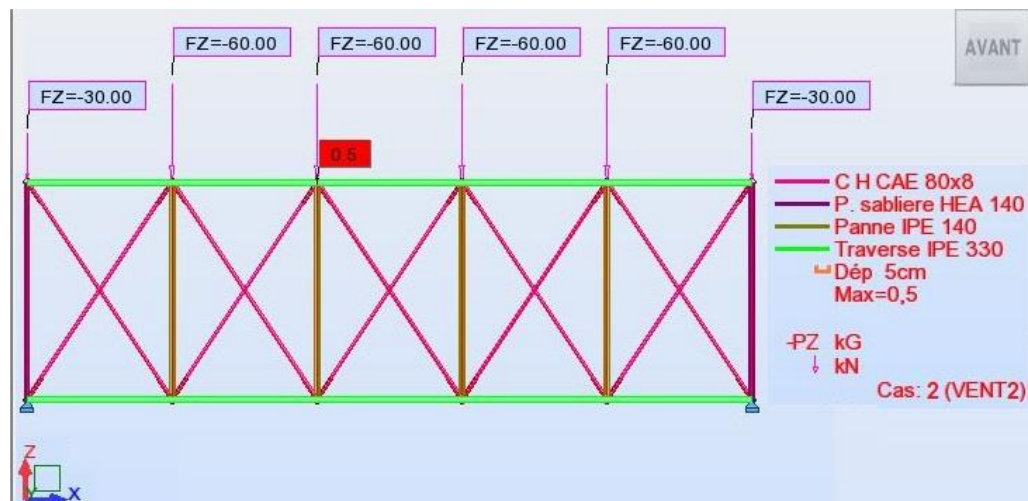


Figure 3.16 : Limitation de la déformation de la toiture par la poutre auvent

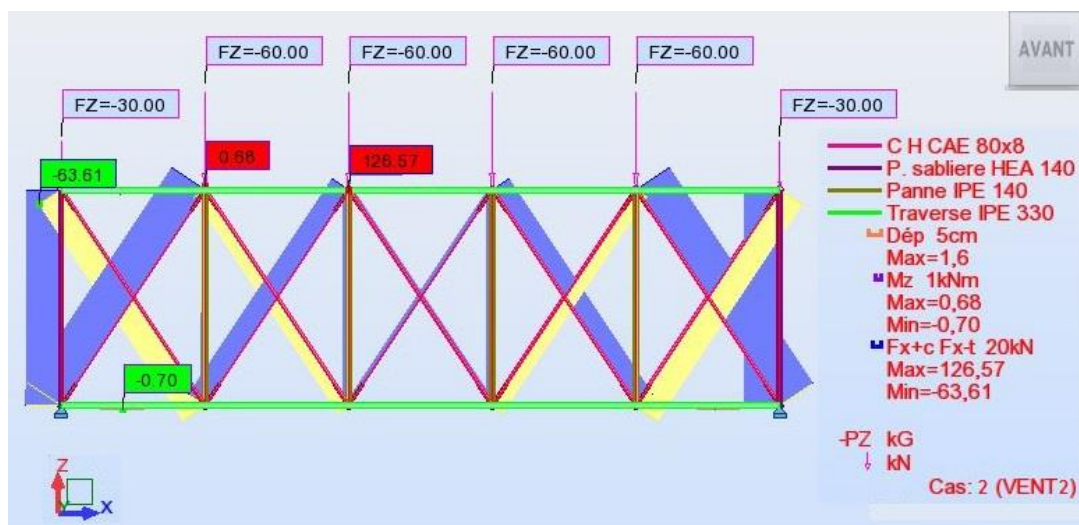


Figure 3.17 : Diagramme des efforts normaux dans les barres de poutre auvent horizontale

Conclusion générale

Après une brève introduction, dans Le premier chapitre on a présenté la conception des systèmes de contreventement pour les halles métalliques, dans le deuxième chapitre, on a présenté les dimensions de la halle métallique avec l'évaluation des charges et surcharges. Ensuite, dans le troisième chapitre, on a montré la modélisation de la halle métallique par Robot et l'analyse des déformations et des sollicitations appliquées sur les différents éléments structuraux de la halle métallique pour les deux cas : sans et avec systèmes de contreventement.

A partir de cette étude, on peut tirer les conclusions suivantes :

- 1) Les systèmes de contreventement jouent un rôle primordial dans la stabilité des halles métalliques ;
- 2) Une étude comparative entre l'effet de vent et l'effet de séisme sur les halles métalliques, on a trouvé que l'effet de vent est plus prépondérant que l'effet du séisme car les halles métalliques sont légères mais elles présentent des grandes surfaces frappées par la pression de vent ;
- 3) Les barres constituant les systèmes de contreventement sont sollicitées par des efforts de traction et de compression et il faut vérifier leur résistance et leur stabilité au flambement ;
- 4) Les extrémités des barres de contreventement doivent être assemblées soigneusement par boulons et par cordons de soudure en suivant les codes de calcul appropriés.

Perspectives

Comme perspective, on propose de poursuivre l'analyse des systèmes de contreventement pour le cas des bâtiments à étages multiples en béton armé et en charpente métallique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] DAHMANI LAHLOU (calcul des éléments de construction métallique selon l'eurocode3).
- [2] Jean Morel- Calcul des structures métalliques selon l'Eurocode 3.
- [3] Règlement neige et vent « RNV99 » (D.T.R. C 2- 4.7) MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie).
- [4] Règlement parasismiques algériens « RPA 99 version 2003 » MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie).
- [5] M. Hirt, M. Crisinel (2001). Traité de génie civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Volume 11 – Charpentes métalliques, Conception et dimensionnement des halles et bâtiment. Presses polytechniques et universitaires romandes. 714p.
- [6] La figure, Volume 11 – Charpentes métalliques, Conception et dimensionnement des halles et bâtiment. Presses polytechniques et universitaires romandes. 714p.