

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 :

**Modélisation par éléments finis des portiques
à âme pleine des halles métalliques**

Devant le jury composé de :

Président : **Mr. BOULAOUED** Abderachid

Examineur : **Mr. MENASRI** Youcef

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

Présenté par :

Mr. AHMED BACAR Alioune

Mr. KERBABI Ali

N° d'ordre : GC/...../2021

Année Universitaire : 2020 / 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

C'est grâce au bon dieu que j'ai pu achever ce modeste travail.

Avec grand respect et gratitude que je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma sympathie et dédier ce travail à :

A ma chère mère pour leur amour et leur support continu pour Que ce travail soit le témoignage sincère et affectueux de ma profonde Reconnaissance pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père.

A mes frères : **MEYLID BACAR ET ABAD AHMED** qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A tous mes Frères ET mes Sœurs.

A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant.

A mes amis **Mohamed Mohammadi, Mohamed Ahmed Khattry, Issa El Bou, Sidi Mohammadi, Brahim Mohamed Ebyaye, Mohamed Abdel Aziz Lehbib, Ismail, Deidahi Elghaylani.**

A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu depuis toujours

Et ceux à qui je dois tant

A mon encadreur **Professeur Messaoud TITOUM**. A tous les enseignements qui m'ont aidé de proche ou de loin pour être un jour un ingénieur de génie civil.

A tous les étudiants de la faculté en génie civil surtout les étudiants de spécialité **Structure** promotion 2021.

Sans oublier mon binôme **KERBABI ALI** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

ALIOUNE AHMED BACAR

Dédicace

Je dédie cet ouvrage

A ma maman qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

A mes frères, Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

A ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

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.

MERCI

ملخص

الهيكل الشبكية المنفصلة هي ذات أهمية كبيرة في مختلف المجالات التطبيقية بما في ذلك الهندسة الميكانيكية، والفضاء والهندسة المدنية. التحليل الستاتيكي والديناميكي مهم لضمان حسن التصميم والتشغيل السليم. مع ذلك، فإن هذا التحليل هو معقد جدا ومكلف نظرا لوجود عدد كبير من العناصر في هذه الهياكل لجعل العملية أسرع وأقل تكلفة، عدة طرق اقترحت، الأكثر استخداما يتمثل في تمثيل الهياكل المنفصلة بهياكل مستمرة. يتطلب هذا الأسلوب تحديد الخصائص المكافئة لهذه الهياكل وهذا بتحليل العناصر المتكررة للبنية المنفصلة، وسيتم تحديد خصائص النموذج المستمر تحليليا والتحقق منه عدديا باستخدام طريقة العناصر المنتهية المعالجة الرقمية لعدة أمثلة تطبيقية يتم من خلال برنامج "ANSYS" لحالات مختلفة من الهياكل (المتماثلة وغير المتماثلة) وللشروط حدود مختلفة.

الكلمات الرئيسية: الهياكل الشبكية، الهياكل المستمرة، الصلابة، الخصائص المكافئة

Résumé

Les structures discrètes en treillis sont d'une grande importance dans différents domaines d'applications notamment dans l'industrie mécanique, l'aéronautique et le génie civil. Leur analyse statique et dynamique est aussi importante pour leur assurer un bon dimensionnement et un bon fonctionnement. Cependant, cette analyse reste aussi complexe et coûteuse vue le nombre important d'éléments de ces structures

Afin de rendre l'opération plus rapide et moins coûteuse, plusieurs méthodes ont été proposées, la plus souvent utilisée consiste à modéliser ces structures discrètes par des structures continues. Cette méthode nécessite la détermination des propriétés équivalentes des modèles en considérant l'analyse d'un élément répétitif de la structure discrète. Les propriétés du modèle continu seront déterminées analytiquement et vérifiées numériquement en utilisant la méthode des éléments finis.

Le traitement numérique de plusieurs exemples d'application est effectué à travers le logiciel "ANSYS" pour différents cas de structures (symétrique et asymétrique), et pour différentes conditions aux limites.

Mots clés : Portique, Traverses à âme pleine, Méthode forfaitaire, MEF, ANSYS

Abstract

The discrete lattice structures are of great importance in different fields of applications especially in the mechanical industry, aerospace and civil engineering. Their static and dynamic analysis is also important to ensure a good design and proper operation. However, this analysis is too complex and expensive for the large number of elements of these structures.

To make the process faster and less expensive, several methods have been proposed, the most commonly used consists on the modeling of these discrete structures by continuum models. This method requires the determination of equivalent properties of models considering the analysis of a repetitive element of the discrete structure. The properties of the continuum model will be determined analytically and verified numerically using the finite element method.

The numerical processing of several examples of application is made through the "ANSYS" software for different cases of structures (symmetric and asymmetric) and for different boundary conditions.

Keywords: Steel Frame with web beams, FEM, ANSYS

Table des Matières

Titre.....	Page
Introduction générale.....	1
a) Généralité.....	1
b) Problématique	2
d) Méthodologie	2
Chapitre 1 :	3
Conception des portiques à âme pleine.....	3
1.1-Conception technologique	3
1.2-Schémas statiques	4
1.3- Dimensions pratiques.....	7
1.3.1- Portique symétrique à une travée.....	8
1.3.2- Portique avec étage en mezzanine	9
1.3.3-Portique avec pont roulant	9
1.4- Assemblages des éléments constituant le portique.....	10
1.5- Types des poteaux :.....	12
1.6- Base des poteaux :.....	12
Chapitre 2 :	15
Analyse des portiques par la méthode forfaitaire.....	15
2.1. Calcul des sollicitations.....	15
Chapitre 3 :	20
Analyse des portiques par la méthode des éléments finis	20
3.1- Principe de la méthode des éléments finis [4]	20
3.1.1- Types d'éléments finis.....	21
3.1.2- Exemples d'application des éléments finis	22
a)- Élément de barre (Truss élément) :.....	22
b)- Élément de poutre (Beam élément) :.....	22

c)- Eléments de membrane (Triangulaire and Quadrilatéral plan stress	
d)- Elément de plaque ou coque (Shell élément) :	24
e)- Eléments solides tétraédriques et rectangulaires (Solid éléments) :.....	25
3.2- Présentation du logiciel ANSYS.....	26
3.2.1. De façon générale, une résolution par éléments finis comporte trois étapes :	26
a)- Préparation des données ou Pré-processing : définir le problème ; les étapes majeures sont données ci-dessous :.....	26
b)- Traitement ou Processing : assigner les charges, contraintes (conditions aux limites) et résolution ; on spécifie notamment la nature des charges (localisées et/ou distribuées), contraintes ou conditions aux limites (translation et rotation) et, finalement, on résout le système d'équations.	26
c)- Post-processing : analyse et visualisation des résultats ; lors de cette étape, on peut examiner :	27
3.3 – Définition du Probleme-PostProcessing :	27
3.3.1 – Titre :	28
3.3.2 – Définir les éléments :	29
3.3.3 – Définition Real Constants :	29
3.3.4 – Propriétés des matériaux :	30
3.3.5 – Création de la géométrie du modèle :	30
3.3.6 – Attribution des propriétés de chaque élément :	31
3.3.7 – Maillage :	32
3.4- Solution :	33
3.4.1- Type d'analyse :	33
3.4.2- Conditions aux limites :	34
3.4.3 – Application des charges :	34
3.4.4 – Résolution du système :	35
3.5- Postprocessing :	36
3.5.1- Contraintes :	38

CONCLUSION :	39
Chapitre 4 :	40
Exemple d'application.....	40
4.1-Exemple :	40
4.1.1- Effet des charges verticales sur un portique :	40
a)- Charges permanentes :	40
b)- Effet de la neige :	40
c)- Etude au vent	40
4.2- Calcul des efforts internes :	43
4.2.1- Charges verticales vers le bas : (Charges permanentes et Surcharge de neige).....	43
4.2.2- Charges verticales vers le haut : (Vent de soulèvement).....	46
Conclusion générale	55
Références bibliographiques	56
Annexe	57
A.1- Efforts internes : Portique articule	57
A.1.1- Charges verticales vers le bas : (Charges permanentes et Surcharge de neige).....	57
A.1.2- Vent horizontal (pression).....	58
A.1.3- Effort vertical de Pont Roulant : P.....	58
A.2- Efforts internes : Portique encastre	58
A.2.1- Charges verticales vers le bas : (Charges permanentes et Surcharge de neige).....	59
A.2.2-Vent horizontal (pression).....	59
A.2.3 Effort vertical de Pont Roulant : P.....	60

Liste des figures

Chapitre 1 :	3
<i>Figure.1.1 : portiques à âme pleine</i>	3
<i>Figure.1.2 : Schémas statiques des portiques</i>	5
<i>Figure.1.3 : Détails de liaisons : Poteaux et traverses</i>	6
<i>Figure 1.4 : Différents types de portiques</i>	7
<i>Figure. 1.5 : Portique symétrique à une travée</i>	8
<i>Figure.1.6 : Portique avec étage en mezzanine</i>	9
<i>Figure.1.7 : Portique d'appareil de levage avec corbeaux et chemin de roulement</i>	9
<i>Figure. 1.8 : Assemblage typique de jarret dans un portique</i>	10
<i>Figure. 1.9 : Assemblage typique de faîtage dans un portique</i>	11
<i>Figure1.10 : Exemples types d'assemblages de type articulé dans un portique</i>	11
<i>Figure. 1.11 : Différents types de poteaux</i>	12
<i>Figure. 1.12 : Pied de poteau avec bêche de cisaillement</i>	13
<i>Figure. 1.13 : Pieds de poteaux articulés et différents emplacements pour les boulons d'ancrage.</i>	14
<i>Figure. 1.14 : Pieds de poteaux encastré et emplacements pour les boulons d'ancrage.</i>	14
Chapitre 2 :	15
<i>Cas de figure.2.1 : Charge de permanentes G ou Neige S</i>	17
<i>Cas de figure.2.2 : Vent W au soulèvement</i>	18
<i>Cas de figure.2.3 : Vent horizontal W – Pression</i>	18
<i>Cas de figure.2.4 : Vent horizontal W – Succion</i>	19
<i>Cas de figure.2.5 : Effort vertical de pont roulant</i>	19
Chapitre 3 :	20
<i>Fig.3.1. Discrétisation d'une structure en nœuds et éléments</i>	20
<i>Fig. 3.2. Types d'éléments finis</i>	21

<i>Fig.3.3. Portique métallique avec fermes en treillis</i>	22
<i>Fig.3.4. Portique (poteau-poutre) à plusieurs étages</i>	22
<i>Fig. 3.5. Modélisation par éléments finis d'un mur barrage en béton</i>	23
<i>Fig.3.6. Modélisation par éléments finis d'un mur voile en béton avec ouvertures</i>	23
<i>Fig.3.7. Modélisation d'une dalle pleine en béton par des éléments plaques rectangulaires.....</i>	24
<i>Fig.3.8. Modélisation d'une coupole en béton par des éléments de coque rectangulaires.....</i>	24
<i>Fig.3.9. Modélisation d'une semelle circulaire en béton par des éléments solides pyramides (tétraédriques) à 4 nœuds.....</i>	25
<i>Fig.3.10. Modélisation d'une semelle rectangulaire en béton par des éléments solides brique (hexaédriques) à 8 nœuds</i>	25
<i>Fig.3 .11 – Fenêtre du logiciel ANSYS</i>	27
<i>Fig.3.12 – Enregistrer dans Ansys</i>	28
<i>Fig.3.13- Définition des types d'éléments.....</i>	29
<i>Fig.3.14 – Définition Real Constants.....</i>	29
<i>Fig.3.15 – Définition des propriétés d'un matériau dans le domaine linéaire ..</i>	30
<i>Fig.3.16- Création de la géométrie du modèle</i>	30
<i>Fig.3.17- Attribution des propriétés à chaque élément</i>	31
<i>Fig.3.18-Meshtools</i>	<i>Fig.3.19- Définition du maillage (Size controls area)</i>
	32
<i>Fig.3.20 - Définition du maillage (Size controls Line)</i>	33
<i>Fig.3.21- Type d'analyse.....</i>	33
<i>Fig.3.22- Définition des conditions aux limites</i>	34
<i>Fig.3.23- Définition du chargement.....</i>	34
<i>Fig.3.24 – « Solve Current Load Step ».....</i>	35
<i>Fig.3.25 – Fin de la résolution.....</i>	35
<i>Fig.3.26 – Define Table.....</i>	36

<i>Fig.3.27 – List Elément Solution</i>	36
<i>Fig.3.28 – List De Résultats (Moment)</i>	37
<i>Fig.3.29 – List De Résultats (Force)</i>	37
<i>Fig.3.30- Plot Line Element Results</i>	38
<i>Fig.3.31- Contraintes</i>	38

Liste des Tableaux

Chapitre 4 :	40
<i>Tableaux.4.1 : Des charges verticales vers le bas (Moments)</i>	44
<i>Tableaux.4.2- Des charges verticales vers le bas (efforts tranchants (V)).....</i>	45
<i>Tableaux.4.3- Des charges verticales vers le bas (efforts normaux (N))</i>	46
<i>Tableaux.4.4 : Des charges verticales vers le haut (Moment(M))</i>	47
<i>Tableaux.4.5- Des charges verticales vers le haut (efforts tranchants (V))</i>	47
<i>Tableaux.4.6- Des charges verticales vers le haut (efforts normaux (N)).....</i>	48
<i>Tableaux.4.7 : Des vents horizontaux (pression) ;(Moment(M))</i>	50
<i>Tableaux.4.8- Des vents horizontaux (pression) (efforts tranchants (V))</i>	50
<i>Tableaux.4.9- Des vents horizontaux (pression) ;(efforts normaux (N)).....</i>	51
<i>Tableaux.4.10 : Des vents horizontaux (dépression) ;(Moment(M)).....</i>	53
<i>Tableaux.4.11- Des vents horizontaux (dépression) ;(efforts tranchants (V)) ..</i>	53
<i>Tableaux.4.12- Des vents horizontaux (dépression) ;(efforts normaux (N)).....</i>	54

Liste des Notations

Q : Charge d'exploitation.

G : Action permanente.

E : Action accidentelle.

C : Cohésion

\emptyset : Diamètre des armatures.

K : Coefficient de raideur de sol

φ : Angle de frottement.

q : Capacité portante admissible.

Mt : Moment en travée.

Ma : Moment sur appuis.

I : Moment d'inertie.

fi : Flèche due aux charges instantanées.

fv : Flèche due aux charges de longue durée.

Ifi : Moment d'inertie fictif pour les déformations instantanées.

Ifv : Moment d'inertie fictif pour les déformations différées.

M : Masse.

M : Moment fléchissant

N : Effort normal

Eij : Module d'élasticité instantané.

Evj : Module d'élasticité différé.

Es : Module d'élasticité de l'acier.

K : Coefficient de raideur de sol.

R : Coefficient de comportement global de la structure

Q : Facteur de qualité

Es : Module d'élasticité de l'acier

v : Surcharge climatique du vent.

A : Section brute d'une pièce.

Anet : Section nette d'une pièce.

Aw : Section de l'âme.

Av : Aire de cisaillement.

E : Module d'élasticité longitudinale ($E=2.1 \cdot 10^5$ MPa).

G : Module d'élasticité transversale ($G=81000$ MPa).

I : Moment d'inertie.

L : Longueur.



INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

a) Généralité

Pour mener à bien un projet technique, l'ingénieur ou technicien structure de bureau d'études doit concevoir puis dimensionner l'ouvrage de manière à fournir à l'entreprise calcul basé sur la méthode dite des éléments finis dont l'utilisation s'est généralisée dans l'industrie depuis une cinquantaine d'années.

Cette méthode, qui n'est pas uniquement dédiée aux problèmes des structures lui permettra de résoudre un éventail très large de problèmes : structurels, thermiques, électromagnétiques, fluidiques, avec des aspects linéaires ou non linéaires, stationnaires ou transitoires.

Différents éditeurs de logiciels se sont imposés sur ce marché, par exemple : SAP2000, ETAPS, ROBOT, ANSYS, ABQUS, etc... Ils proposent généralement plusieurs modules permettant d'aborder des problèmes multi physiques. La structure de ces codes comporte habituellement un **préprocesseur**, un ou plusieurs **solveurs**, un ou plusieurs **post-processeurs**. Le préprocesseur est une interface graphique permettant à l'utilisateur de décrire la géométrie et le type de problème à résoudre. Le ou les solveurs intègrent les bases des méthodes de résolution (linéaire ou non linéaire, stationnaire ou transitoire, etc.) spécifiques au cas étudié. Le ou les post-processeurs permettent de visualiser les résultats sous forme de courbes (évolution en fonction du temps, des charges, des déplacements, etc.) ou d'isovaleurs matérialisant le comportement de la structure par une échelle de couleurs variant du bleu au rouge généralement.

Mais avant d'utiliser un tel code de calcul de manière opérationnelle, il est essentiel d'explorer ses capacités et surtout ses limites. Pour ce faire, le futur utilisateur devra maîtriser un minimum de prérequis théoriques dans le secteur visé (génie civil, mécanique, etc.) mais également dans le domaine de la méthode des éléments finis.

Généralement, les éditeurs de ces logiciels joignent au produit un manuel dit de vérification permettant de comparer les résultats obtenus à un référentiel souvent issu de bases théoriques. Dans le cadre de la mise en œuvre d'une nouvelle technique ou peut-être même lors d'une première utilisation, l'opérateur pourra aussi utiliser ce manuel comme base de formation à l'outil. C'est la démarche que nous avons essayé de reproduire avec l'utilisation d'un logiciel de calcul qui a appelé ANSYS.

INTRODUCTION GENERALE

b) Problématique

En rendant la complexité des méthodes forfaitaires de calcul des structures simples et complexes une chose du passé. L'arrivée de l'ordinateur et les progrès enregistrés dans le domaine de l'informatique et les performances des ordinateurs de plus en plus grands ont révolutionné les sciences de l'ingénieur.

Des problèmes autrefois considérés insolubles avec les calculs manuels et les méthodes classiques, sont maintenant facilement accessibles avec les méthodes numériques. Plusieurs techniques et méthodes de résolution numérique ont été ainsi développées et appliquées avec succès pour avoir des solutions satisfaisantes à des problèmes d'ingénierie très variés. Une de ces méthodes est la méthode des éléments finis. De ce point de vue ; elle constitue un outil formidable à la disposition de l'ingénieur structure.

c) Objectif

L'objectif de ce projet de fin d'études est la comparaison entre la méthode classique et la méthode des éléments finis pour l'analyse du comportement des portiques métalliques avec traverses à âme pleines en utilisant le logiciel ANSYS.

d) Méthodologie

Ce manuscrit est divisé en quatre chapitres pour accomplir ses objectifs. Une brève introduction, objectif, et méthodologie du thème sont présentées dans l'introduction générale. Le premier chapitre présente la conception des portiques avec traverses à âme pleine, dans le deuxième chapitre, on montre en détail la procédure de calcul des sollicitations par la méthode classique de RDM. Ensuite, dans le troisième chapitre, on explique la modélisation des portiques par la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel ANSYS version 12.1. Une étude comparative entre les deux méthodes d'analyse fait l'objet du chapitre quatre à travers des exemples d'application. Enfin, une conclusion générale est tirée de cette étude suivie par des perspectives.

A blue horizontal scroll graphic with rounded ends and a vertical strip on the left side, resembling a rolled-up document. The text is centered on the scroll.

Chapitre 1 :
Conception des portiques à âme pleine

Chapitre 1 : Conception des portiques à âme pleine

1.1-Conception technologique

Les portiques, qui constituent l'ossature principale des bâtiments, sont composés de fermes (ou traverses), qui supportent les pannes, et de poteaux, qui supportent les fermes. Leur conception technologique est variable, en fonction notamment :

- de leur portée,
- du schéma statique retenu pour la structure (qui dépend de la nature du sol, de l'existence ou non de ponts roulants, de la nature des équipements secondaires, etc.).
- des pratiques ou des systèmes de fabrication des constructeurs.

Les portiques à âme pleine peuvent être constitués :

- soit de profils à inertie constante, généralement des poutrelles IPE (figure A),
- soit comporter, en sus, des renforts au niveau des moments maximaux : jarrets aux appuis sur poteaux et clés de faitage en milieu de travée (figure B).
- soit de profils à inertie variable, reconstitués soudés, PRS (figure C).

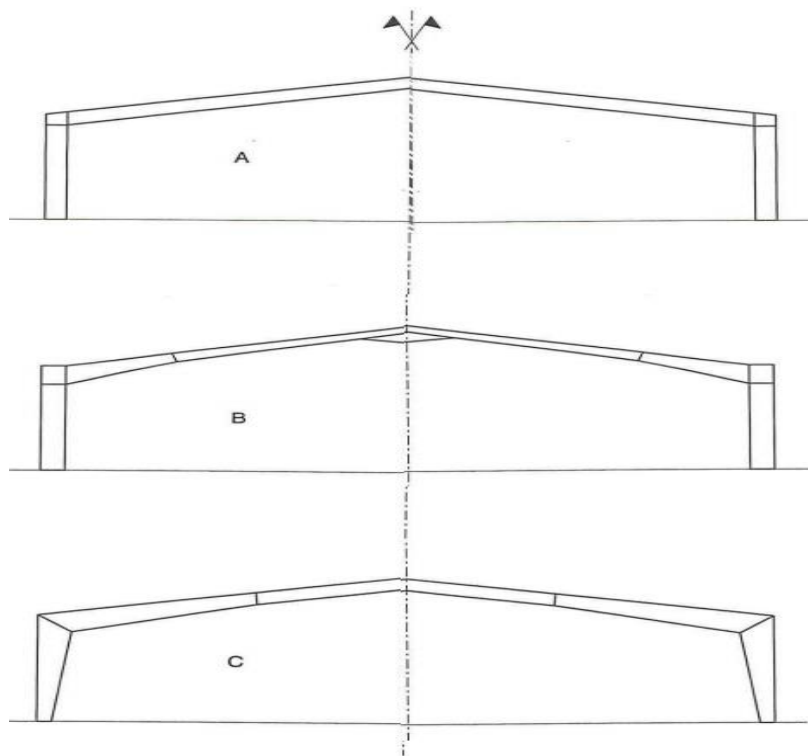


Figure.1.1 : portiques à âme pleine

Les profils à inertie constante, avec renforts dans les zones les plus sollicitées, sont les plus couramment utilisés. Cependant, pour les grandes portées, les PRS à inertie variable sont préférables, car ils permettent d'ajuster les sections aux sollicitations, alors que les laminés normalisés n'autorisent pas cette précision, du fait de la discontinuité des sections normalisées et de leur épaisseur d'âme généralement surabondante, qui grève le poids, donc le coût.

En comparaison des pièces à treillis, les portiques à âme pleine ont les avantages :

- d'être moins onéreux (sauf pour de très grandes portées),
- d'être moins encombrants (transport et manutention facilités, volume intérieur de bâtiment moindre, donc économie de chauffage, etc.).
- d'être plus esthétiques,
- d'être plus simples (assemblages simples par platines et boulons HR, entretien et peinture moindres, etc.).

1.2-Schémas statiques

Les principaux schémas statiques peuvent être regroupés en deux catégories :

- pieds de poteaux articulés
- pieds de poteaux encastés.

Ils sont récapitulés dans le tableau ci-après. Il faut bien savoir que plus les structures sont de degré d'hyperstaticité élevé, plus elles sont stables, rigides et indéformables, mais plus leur coût est élevé (poids d'acier supérieur et temps de main-d'œuvre supérieur, tant en fabrication qu'au montage). On peut donc se contenter de structures isostatiques (A3 et E1), sauf dans les cas où des exigences particulières imposent des structures rigides, ne tolérant que de très faibles déformations (ponts roulants, façades vitrées, problèmes de vibration...).

Le schéma A4 reste le plus utilisé de tous.

Schémas statiques des portiques

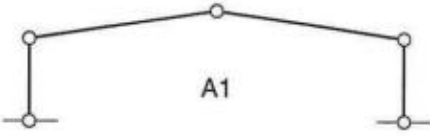

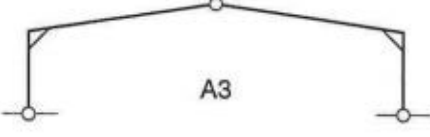
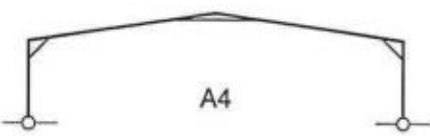
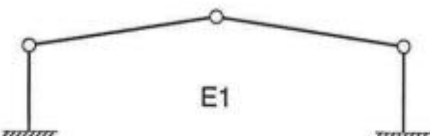
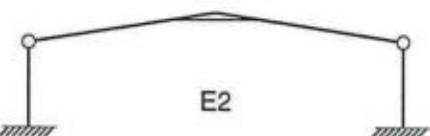
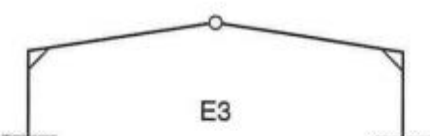

	Schémas	Degrés de stabilité (croissants des indices 1 à 4)
Pieds de poteaux articulés		Hypostaticité de degré 2
		Hypostaticité de degré 1
		Isostaticité
		Hyperstaticité de degré 1
		} Instabilité
Pieds de poteaux encastrés		Isostaticité
		Hyperstaticité de degré 1
		Hyperstaticité de degré 2
		Hyperstaticité de degré 3

Figure.1.2 : Schémas statiques des portiques

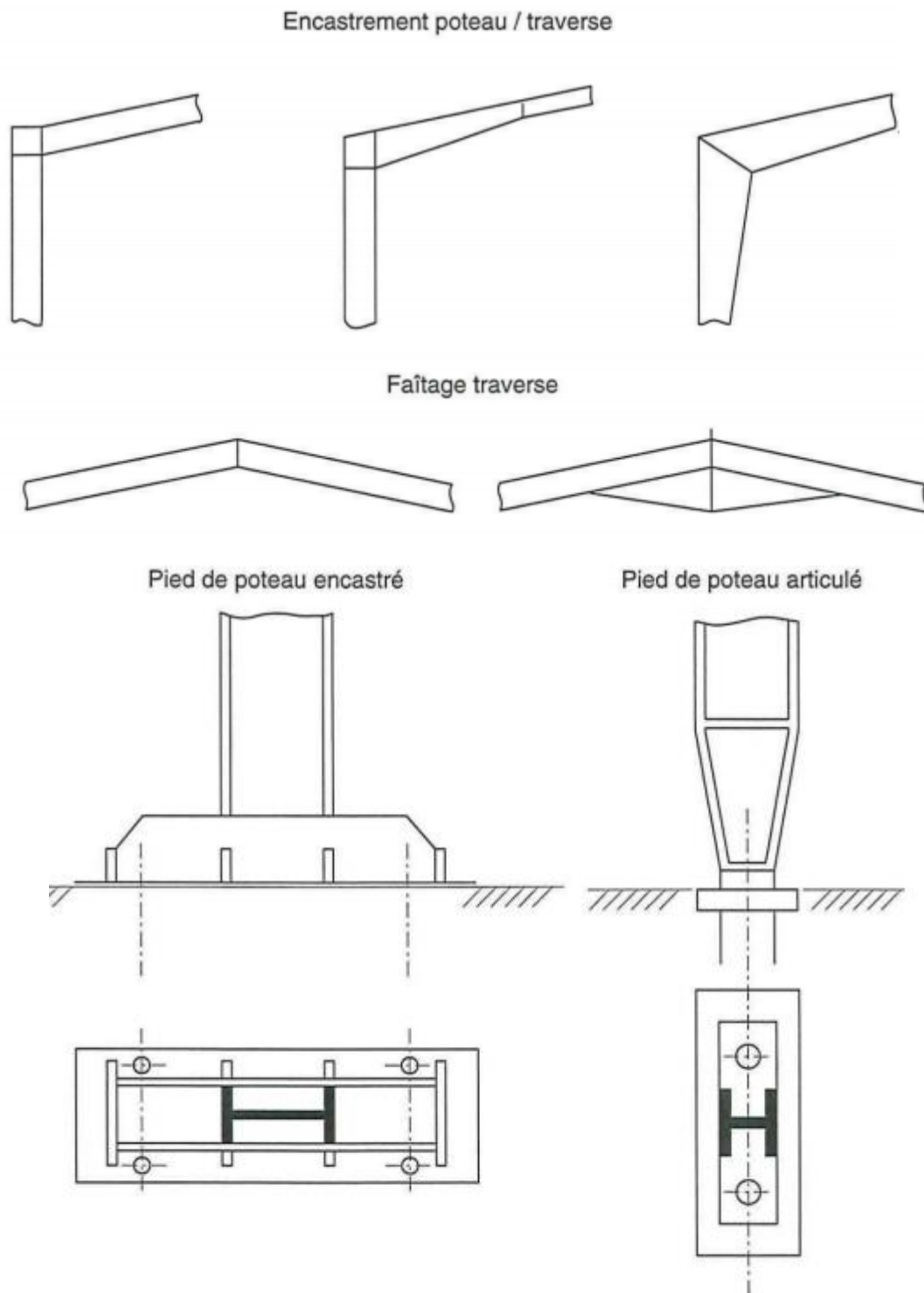
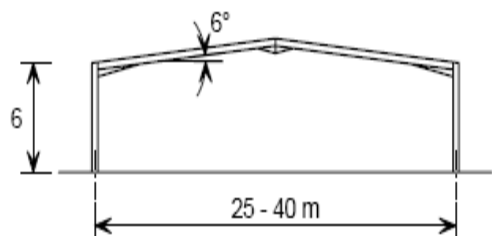


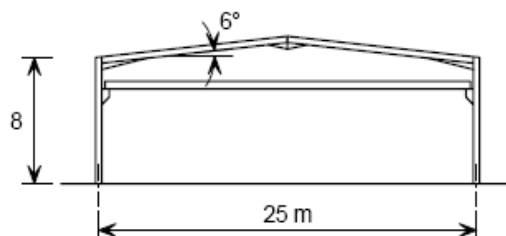
Figure.1.3 : Détails de liaisons : Poteaux et traverses

1.3- Dimensions pratiques

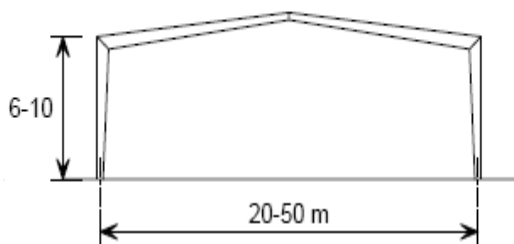
Le portique en acier constitue le type de structure le plus utilisé pour les ossatures principales. Les portiques peuvent être fabriqués soit à partir de profilés laminés à chaud, soit à partir de plats soudés automatiquement pour former des sections en I. La Figure.1.4 présente certaines variantes par rapport à la forme de base.



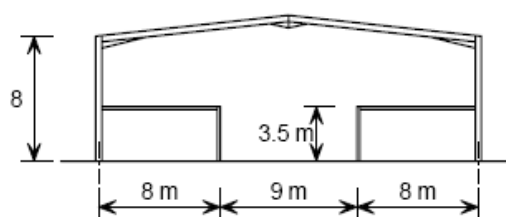
Portique à une travée à portée moyenne



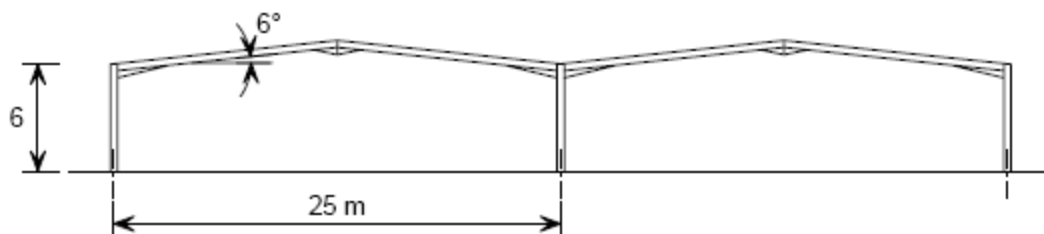
Portique avec pont roulant



Portique en profilés reconstitués par soudage



Portique avec plancher en mezzanine

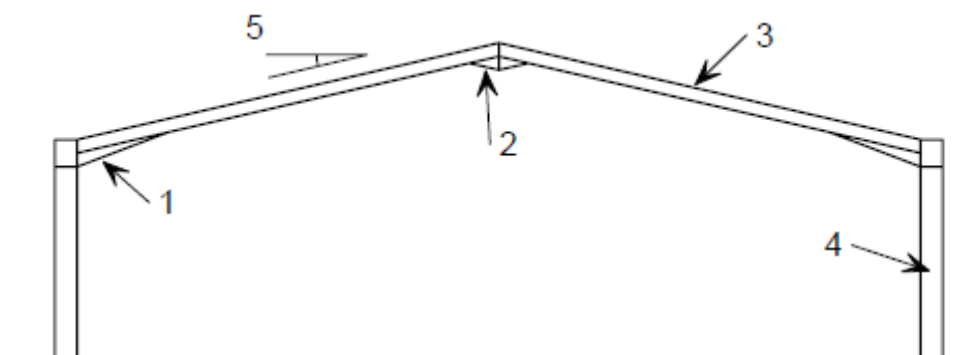


Portique à double travée

Figure 1.4 : Différents types de portiques

Les dimensions indiquées sont simplement données à titre indicatif, étant donné qu'il est possible de concevoir de façon économique un éventail très large de hauteurs et de portées. Pour les grands bâtiments, il est généralement plus économique de les diviser en travées de 20 à 30 m. L'espacement des portiques est compris entre 4,5 et 10 m, un écart de 6 m étant le plus courant en cas d'utilisation d'un système de pannes.

1.3.1- Portique symétrique à une travée



- Légende :
- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Renfort de jarret | 4. Poteau |
| 2. Renfort de faîtage | 5. Pente de la toiture |
| 3. Traverse | |

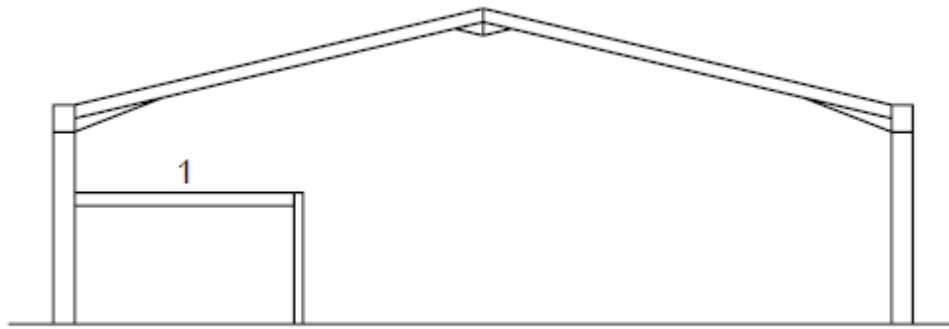
Figure. 1.5 : Portique symétrique à une travée

Un portique symétrique à une travée (voir la Figure 1.5) se présente typiquement comme suit :

- ❖ Une portée comprise entre 15 m et 60 m (20 à 30 m étant la portée la plus efficace).
- ❖ Une hauteur au jarret comprise entre 5 et 10 m (5 à 6 m est la hauteur la plus efficace sur le plan structural, toutefois les activités commerciales exigent fréquemment des bâtiments bien plus hauts).
- ❖ Une pente de toiture comprise entre 5° et 10° (6° étant communément adoptée).
- ❖ Un espacement des portiques compris entre 5 m et 8 m (plus la portée du portique est grande, plus l'espacement est important).
- ❖ Des renforts dans les traverses au niveau des jarrets, et si nécessaire au niveau du faîtage.

L'utilisation de renforts au droit des jarrets et du faîtage permet à la fois de réduire la hauteur nécessaire de la traverse et d'obtenir un assemblage encastré efficace. Le renfort est souvent découpé dans un profilé de mêmes dimensions que la traverse.

1.3.2- Portique avec étage en mezzanine



Légende : 1. Mezzanine intérieure

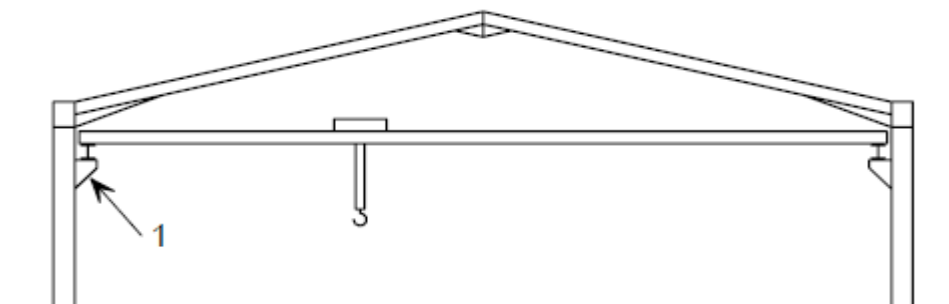
Figure.1.6 : Portique avec étage en mezzanine

Dans une structure constituée de portiques, il est fréquent de loger les bureaux dans un étage en mezzanine (voir la Figure 1.6), laquelle peut être partielle ou s'étendre sur toute la longueur du bâtiment. Elle peut être conçue pour stabiliser l'ossature, toutefois le plancher intérieur nécessite souvent une protection incendie supplémentaire.

1.3.3-Portique avec pont roulant

S'ils présentent une nécessité fonctionnelle, les appareils de levage exercent une influence majeure sur la conception et les dimensions des portiques. Ils entraînent des charges verticales supplémentaires ainsi que des efforts horizontaux considérables, qui ont une incidence sur les calculs.

Lorsque la capacité de l'appareil de levage est relativement faible (jusqu'à 20 tonnes environ), il est possible de prévoir des corbeaux fixés sur les poteaux pour supporter l'appareil de levage (voir la Figure 1.7). Pour réduire la flèche horizontale au jarret, il peut être nécessaire de prévoir soit un tirant, soit des pieds de poteau encastrés. Le déplacement vers l'extérieur de l'ossature au niveau du rail du chemin de roulement peut avoir une importance déterminante sur le fonctionnement de l'appareil de levage.



Légende : 1. Corbeau

Figure.1.7 : Portique d'appareil de levage avec corbeaux et chemin de roulement

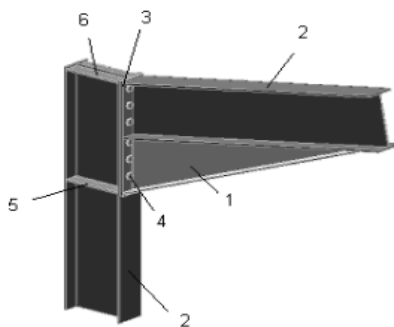
Pour les appareils de levage lourds, il convient d'appuyer le chemin de roulement sur des poteaux supplémentaires, lesquels peuvent être fixés au montant du portique au moyen d'un contreventement pour pallier aux problèmes d'instabilité.

1.4- Assemblages des éléments constituant le portique

Les trois principaux types d'assemblages dans un portique à simple travée sont ceux qui se situent au niveau du jarret, du faîtage et du pied de poteau.

- Pour les assemblages de jarret, les plus utilisés sont des assemblages boulonnés qui assurent la continuité avec la traverse, laquelle est dotée de platines d'about, comme le montre la Figure.1.8. Dans certains cas, le poteau avec le renfort de jarret de la traverse est fabriqué comme formant un tout et le profilé de la traverse, à hauteur constante, est assemblé au moyen d'un joint de continuité boulonné.

Afin de réduire les coûts de fabrication, il est préférable de concevoir les assemblages de jarret sans raidisseurs. Dans ce cas, il sera parfois nécessaire d'envisager les effets de la rigidité relative de l'assemblage sur le comportement global de la structure, c'est-à-dire les effets sur la distribution des sollicitations et sur les flèches. L'EN 1993-1-8 prévoit une procédure de calcul qui tient compte de ces effets.



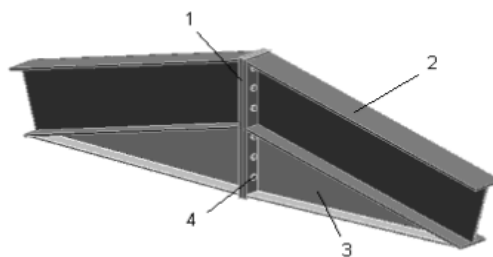
Légende :

1. Renfort de jarret
2. Profilé laminé à chaud
3. Platine d'about
4. Boulons de classe 8.8 ou 10.9
5. Raidisseur vis-à-vis de la compression
6. Raidisseur vis-à-vis de la traction

Figure. 1.8 : Assemblage typique de jarret dans un portique

- L'assemblage du faîtage est souvent conçu de la même manière, voir la Figure 1.9. Si la portée du portique ne dépasse pas certaines limites pour le transport, l'assemblage du faîtage sur site peut être considéré comme superflu. Il est également conseillé à

- L'ingénieur d'étude comme à l'entrepreneur d'éviter, si possible, de prévoir un renfort de faîtage en raison des coûts de fabrication accrus qui en découlent.



Légende :

1. Platines d'about
2. Profilé laminé à chaud
3. Renfort de faîtage si nécessaire
4. Boulon de classe 8.8 ou 10.9

Figure. 1.9 : Assemblage typique de faîtage dans un portique

- Le pied du poteau de portique est souvent conçu de la façon la plus simple possible, avec de plus grandes tolérances, pour faciliter l'interface entre les ouvriers du béton et ceux de la charpente métallique, voir la Figure 1.10. Dans la plupart des cas, il est conçu comme une articulation pour faire en sorte que les dimensions de la fondation soient les plus faibles possible. Il est important de s'assurer de la résistance aux efforts horizontaux. Il est possible d'utiliser des pieds de poteau encastrés, mais seulement s'il existe des informations fiables sur les caractéristiques du sol. Bien que normalement le pied soit de type articulé, il est préférable de prévoir quatre boulons d'ancrage pour des raisons de sécurité, car ils empêchent les poteaux de se renverser en phase provisoire de montage.

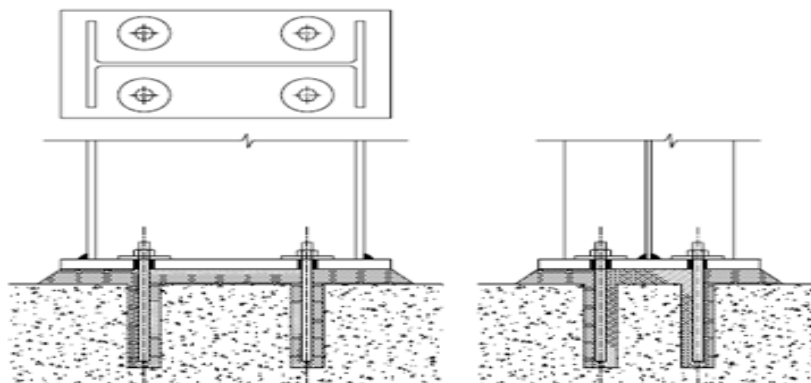
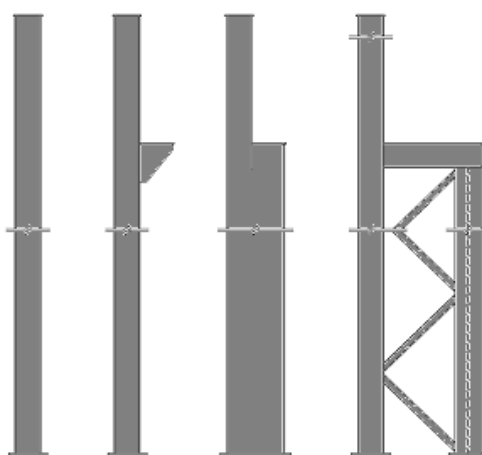


Figure1.10 : Exemples types d'assemblages de type articulé dans un portique

1.5- Types des poteaux :

Dans les bâtiments industriels, en plus de remplir leur fonction de support de charges verticales dues à un enneigement, aux appareils de levage, etc., les poteaux doivent être conçus pour résister à la flexion exercée par des charges de vent au niveau de la structure du mur extérieur, et par les charges horizontales exercées par les appareils de levage. Étant donné que les charges horizontales entraînent des moments de flexion dans les poteaux, les profilés laminés HEA forment la section transversale la plus habituelle. Les profilés HEB, IPE et RHS sont aussi utilisés et, pour les bâtiments de plus grande taille, des profilés H en PRS ou en caisson, et parfois des treillis, sont utilisés. Les différents types de poteaux habituels sont illustrés à la Figure 1.11.



Légende :

1. HEA, HEB, IPE
2. HEA, HEB avec appui pour une poutre de roulement
3. PRS avec appui pour une poutre de roulement
4. Treillis avec appui pour une poutre de roulement

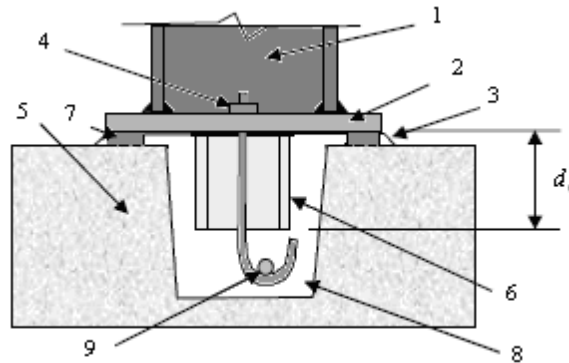
Figure. 1.11 : Différents types de poteaux

1.6- Base des poteaux :

Lors de l'étude détaillée de l'ossature, il est habituel de supposer les pieds comme articulés et de concevoir des assemblages résistant en flexion au niveau du jarret, en particulier pour des structures à inertie variable. Il s'agit là d'un moyen plus fiable que d'utiliser des pieds encastés dans les fondations, en raison du manque de fiabilité de l'interface entre les fondations et le sol. Dans certaines régions cependant, où le sol est connu comme ayant des qualités suffisantes, des pieds encastés sont utilisés avec des poteaux constitués de profilés laminés à chaud, étant donné que la résistance en flexion est uniforme sur la hauteur du poteau.

En général, l'entreprise de gros-œuvre implante des réservations, l'entreprise de construction métallique met en place avec une précision de l'ordre du millimètre le système d'ancrage et le béton est coulé ensuite. Ce n'est qu'après contrôle que le poteau et sa platine sont positionnés (Fig.1.12).

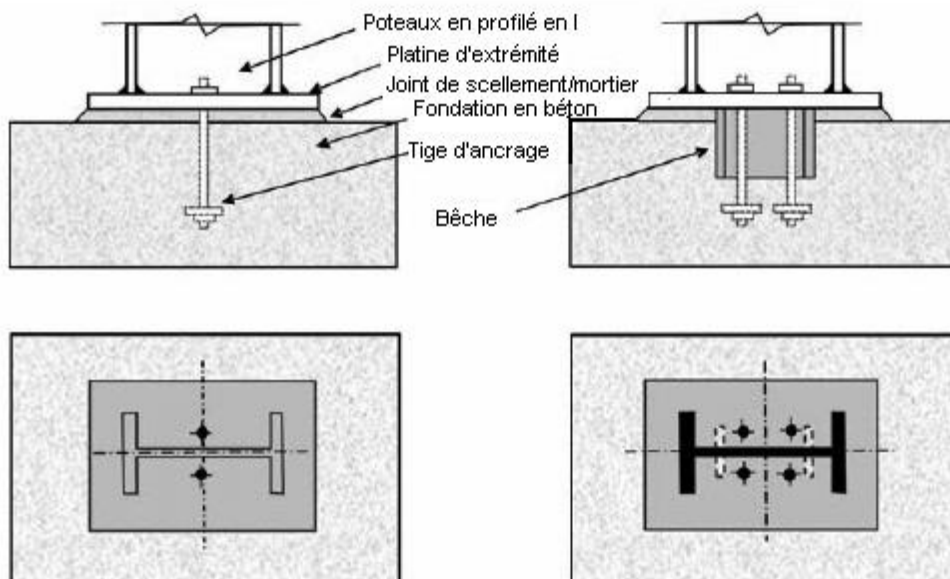
Les figures 1.13 et 1.14 présentent les pieds de poteaux articulés et encastrés types et différents emplacements pour les boulons d'ancrage.



Légende :

- | | |
|-------------------------------|---|
| 1. Poteau en I | 3. Scellement rempli de mortier décalage |
| 2. Plaque d'assise | 4. Boulon d'ancrage |
| 5. Fondation en béton | 7. Plaque de positionnement /nivellement en acier |
| 6. Bêche de cisaillement en I | 8. Cavité à remplir de mortier après avoir positionné le poteau |

Figure. 1.12 : Pied de poteau avec bêche de cisaillement



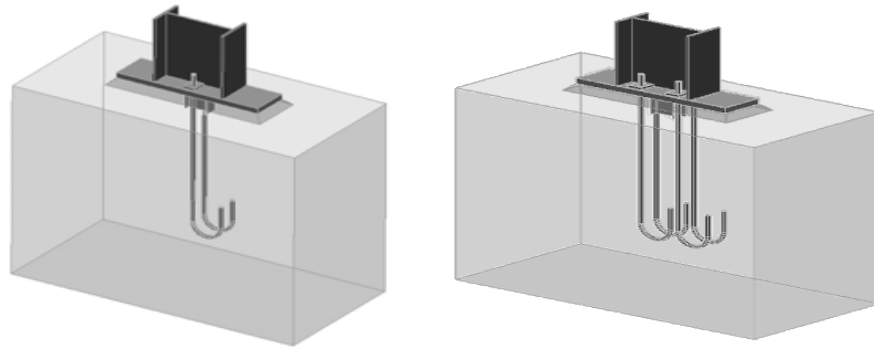


Figure. 1.13 : Pieds de poteaux articulés et différents emplacements pour les boulons d'ancrage.

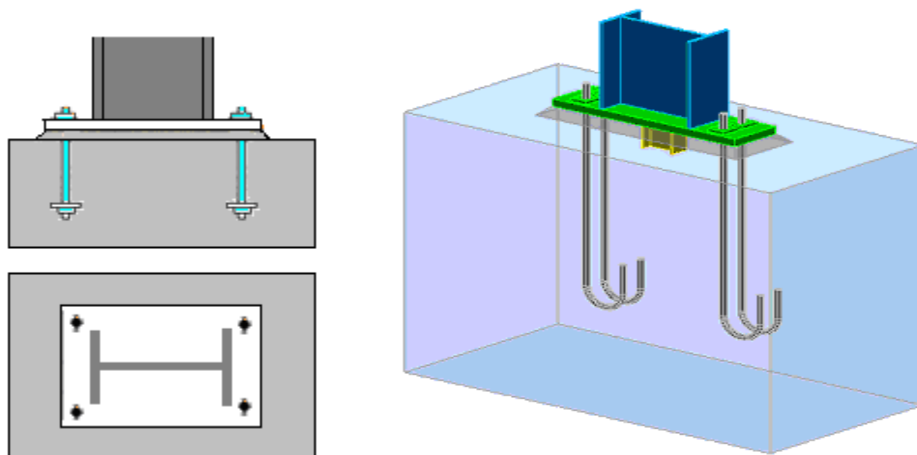
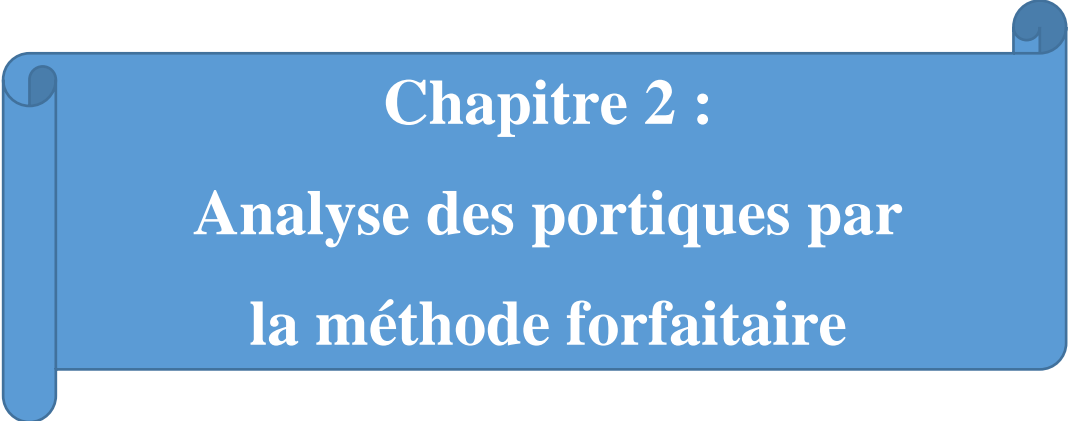


Figure. 1.14 : Pieds de poteaux encastré et emplacements pour les boulons d'ancrage.

A blue horizontal banner with rounded corners and a scroll effect on the left and right sides. The text is centered in white.

Chapitre 2 :
Analyse des portiques par
la méthode forfaitaire

Chapitre 2 : Analyse des portiques par la méthode forfaitaire

2.1. Calcul des sollicitations

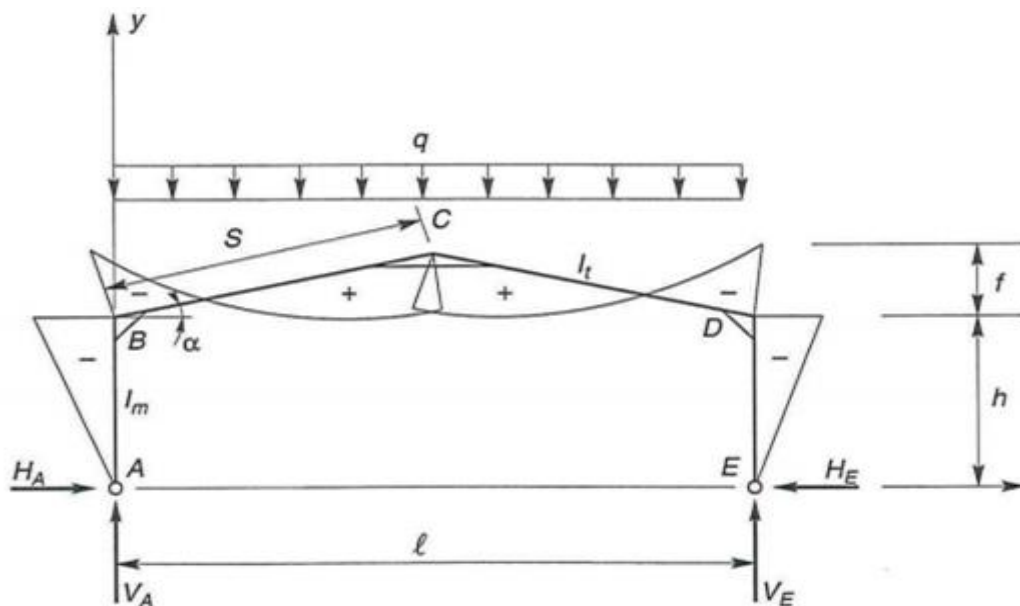
La détermination des sollicitations globales affectant les portiques exige un calcul par étapes de toutes les sollicitations élémentaires, engendrés par les diverses actions : charges permanentes, charges d'exploitation, neige, vent sur longpan, vent sur pignon, vent soulèvement... Il s'agira ensuite de repérer les combinaisons d'actions les plus défavorables, pour déterminer les sections des profils des pièces

Nous allons effectuer le calcul détaillé d'une sollicitation élémentaire : sollicitations sous charges verticales (charges permanentes ou neige). Les autres sollicitations étant déterminées par la même méthode, nous n'en effectuerons pas les calculs.

Nous donnerons les résultats finaux regroupés dans un tableau, sous forme de formulaire.

Calcul des sollicitations sous charges verticales (charges permanentes ou neige)

Soit q la charge linéique sur la traverse. Les moments et réactions d'appui verticales et horizontales sont représentés sur la figure ci-dessous.



Coefficient de rigidité de l'encastrement en B et D :

$$K = \frac{I_t}{S} \cdot \frac{h}{I_m} \quad \& \quad \varphi = \frac{f}{h}$$

$$\cos\alpha = \frac{l}{2S} \text{ \& } \sin\alpha = \frac{f}{S}$$

Nous allons exprimer le déplacement horizontal Δ de la structure, engendré par l'effort horizontal H_A , selon le théorème de Castigliano, et écrire qu'il est nul, du fait de la symétrie de la structure et des charges. Soit :

$$\Delta = \int_{ABCDE}^0 \frac{M}{EI} \cdot \frac{dM}{dH} ds = 0$$

Déplacement Δ_1 sur le tronçon AB :

En un point du poteau AB, d'ordonnée y, le moment vaut : $M=H \cdot y$, soit :

$$\frac{dM}{dH} = y \text{ et } \Delta_1 = \int_0^h \frac{Hy}{EI_m} \cdot y \cdot dy$$

$$\Delta_1 = \frac{1}{EI_m} \int_0^h Hy^2 dy = \frac{1}{EI_m} \cdot \frac{Hh^3}{3}$$

Déplacement Δ_2 sur le tronçon BC :

En un point de la traverse BC, situé à une abscisse x, le moment vaut

$$M = H(h + xsin\alpha) + q \frac{x^2 \cos^2 \alpha}{2} - Vxcos\alpha$$

$$\frac{dM}{dH} = h + xsin\alpha \text{ et } \Delta_2 \text{ s'écrit alors:}$$

$$\Delta_2 = \frac{1}{EI_t} \int_0^S \left[H(h + xsin\alpha) + q \frac{x^2 \cos^2 \alpha}{2} - Vxcos\alpha \right] (h + xsin\alpha) dx$$

Qui s'écrit encore, tous calculs faits, et en posant $sin\alpha = f/s$ et $cos\alpha = l/(2s)$:

Déplacement total Δ :

En écrivant $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = 0$, en tire :

$$H = \frac{ql^2S}{32I_t} \cdot \frac{5f + 8h}{\frac{h^3}{I_m} + \frac{h^2S}{I_t} \cdot \left(3 + \frac{f^2}{h^2} + 3 \cdot \frac{f}{h}\right)}$$

Qui se réduit à l'expression suivante, en introduisant le coefficient de rigidité de l'encastrement k :

$$H = \frac{ql^2}{32} \cdot \frac{8h + 5f}{h^2(k + 3) + f(3h + f)}$$

D'où l'on tire :

$$M_B = M_D = -Hh \quad \& \quad M_A = M_E = H$$

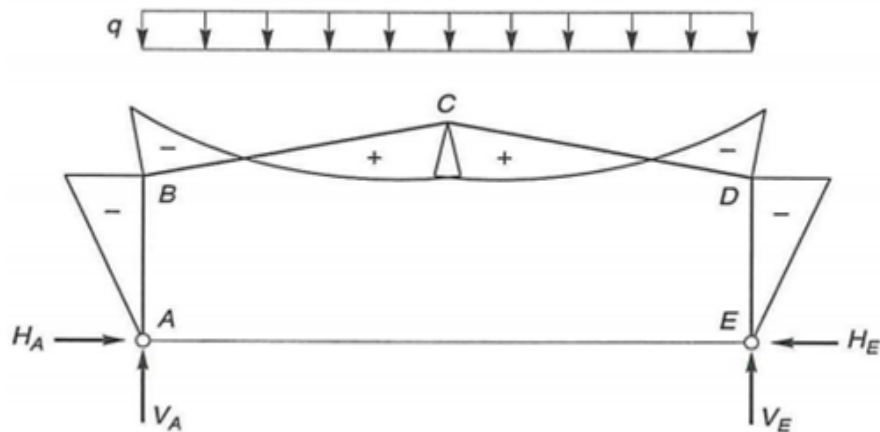
$$M_C = \frac{ql^2}{8} - H(h + f) \quad \& \quad V_A = V_E = \frac{ql}{2}$$

2.2. Autres sollicitations

Une même démarche de calculs conduit à la détermination des autres sollicitations élémentaires.

Les diagrammes qui suivent, représentent les principaux cas de figure.

Cas de figure.2.1 : Charge de permanentes G ou Neige S



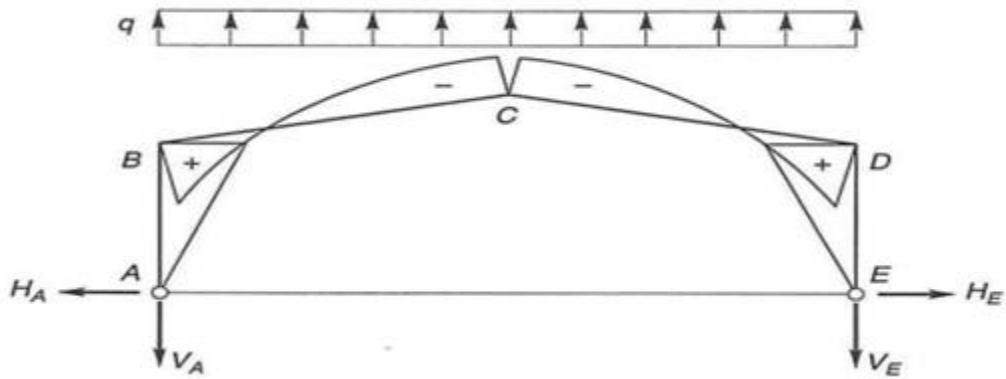
$$V_A = V_E = \frac{ql}{2}$$

$$H_A = H_E = \frac{ql^2}{32} \cdot \frac{8h + 5f}{h^2(k + 3) + f(3h + f)} = H$$

$$M_B = M_D = -Hh$$

$$M_C = \frac{ql^2}{8} - H(h + f)$$

Cas de figure.2.2 : Vent W au soulèvement



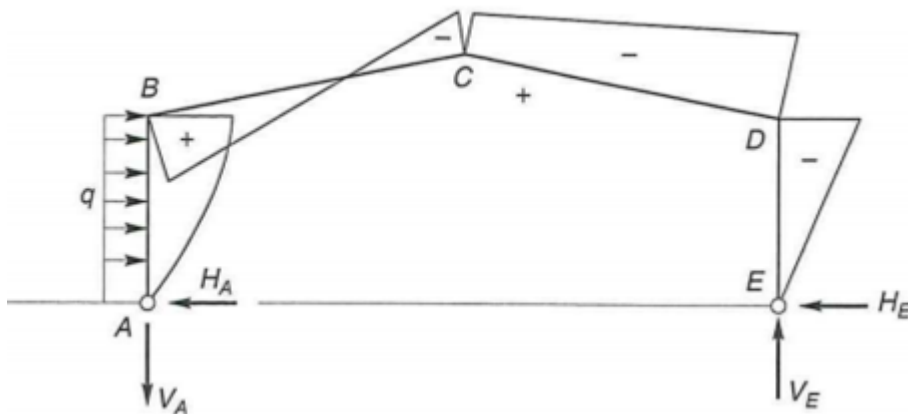
$$V_A = V_E = -\frac{ql}{2}$$

$$H_A = H_E = -\frac{ql^2}{32} \cdot \frac{8h + 5f}{h^2(k + 3) + f(3h + f)} = H$$

$$M_B = M_D = Hh$$

$$M_C = -\frac{ql^2}{8} + H(h + f)$$

Cas de figure.2.3 : Vent horizontal W – Pression



$$V_E = -V_A = \frac{qh^2}{2l}$$

$$H_E = \frac{qh^2}{16} \cdot \frac{5kh + 6(2h + f)}{h^2(k + 3) + f(3h + f)}$$

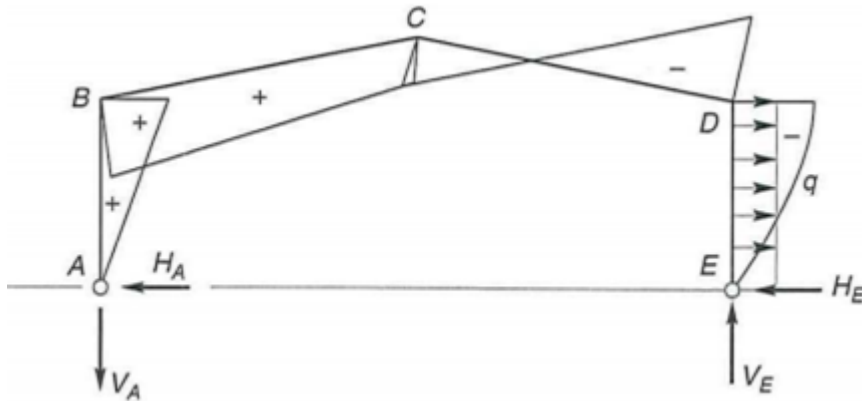
$$H_A = qh - H_E$$

$$M_B = \frac{qh^2}{2} - H_E \cdot h$$

$$M_C = \frac{qh^2}{4} - H_E(h + f)$$

$$M_D = -H_E \cdot h$$

Cas de figure.2.4 : Vent horizontal W – Succion



$$V_E = -V_A = \frac{qh^2}{2l}$$

$$H_A = \frac{qh^2}{16} \cdot \frac{5kh + 6(2h + f)}{h^2(k + 3) + f(3h + f)}$$

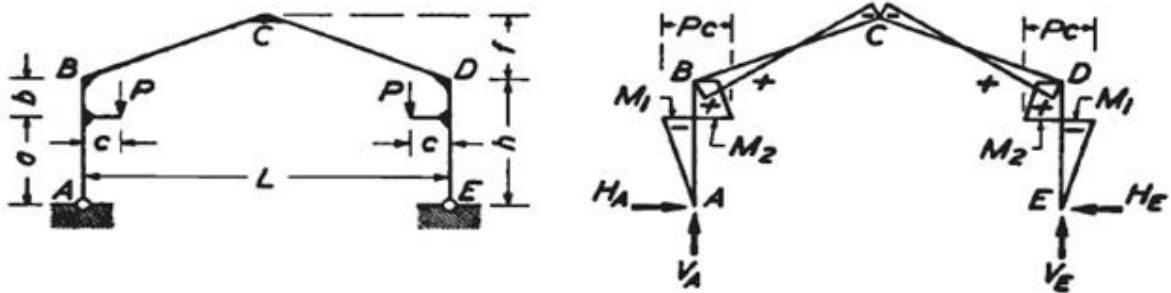
$$H_E = qh - H_A$$

$$M_B = H_A \cdot h$$

$$M_C = -\frac{qh^2}{4} + H_A(h + f)$$

$$M_D = -\frac{qh^2}{2} + H_A \cdot h$$

Cas de figure.2.5 : Effort vertical de pont roulant



Constant : $a_1 = \frac{a}{h}$

$$M_B = M_D = Pc \cdot \frac{\varphi C + k(3a_1^2 - 1)}{N}$$

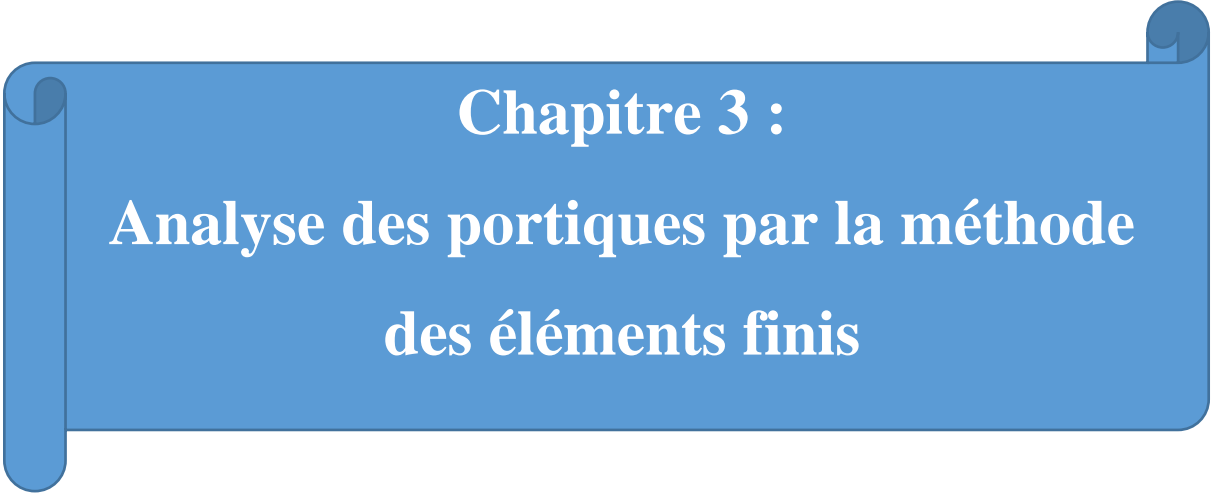
$$M_C = -\varphi Pc + m M_B$$

$$H_A = H_E = \frac{Pc - M_B}{h}$$

$$V_A = V_E = P$$

$$M_1 = -a_1(Pc - M_B)$$

$$M_2 = (1 - a_1)Pc + a_1 M_B$$

A blue horizontal banner with rounded corners and a scroll effect on the left and right sides. The text is centered in white.

Chapitre 3 :
**Analyse des portiques par la méthode
des éléments finis**

Chapitre 3 : Analyse des portiques par la méthode des éléments finis

3.1- Principe de la méthode des éléments finis [4]

La méthode des éléments finis (abrégée MEF) est une méthode de calcul numérique qui a été inventée plutôt par les ingénieurs que par les mathématiciens.

Le principe de la méthode des éléments finis consiste à remplacer le système continu de la structure par un système discret. Le solide est alors divisé en un certain nombre de sous-domaines appelés **éléments**, dont l'assemblage permet la reconstitution de la géométrie initiale. Chacun des éléments est relié à ces voisins par des **nœuds** dont les degrés de liberté (**DDL**) constituent les inconnues du problème.

La structure à analyser est divisée en plusieurs éléments. Ces éléments sont ensuite reconnectés par l'intermédiaire des nœuds (fig.3.1). Ces nœuds sont « des points de colle » qui maintiennent les éléments dans un ensemble unitaire.

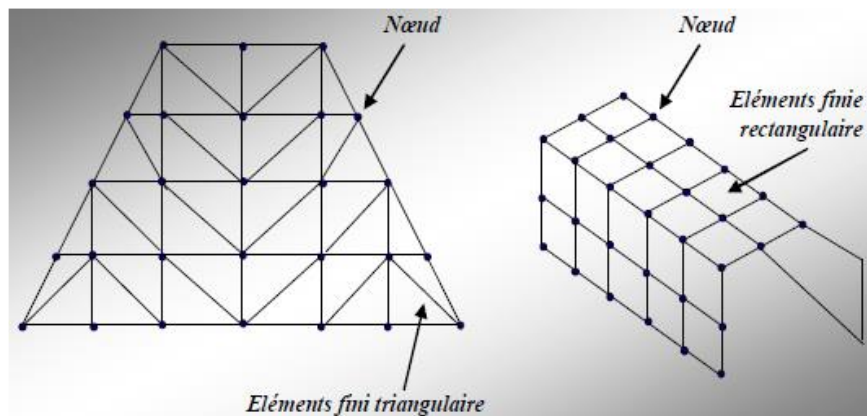


Fig.3.1. Discrétisation d'une structure en nœuds et éléments

Le comportement de chaque élément est décrit par un système d'équations algébriques. Dans l'analyse des contraintes ces équations sont des équations d'équilibre des nœuds. Du fait que le nombre de ces équations est très grand (centaines ou milliers), l'utilisation d'un ordinateur est absolument obligatoire.

Autrement dit, dans un élément, une quantité de champ de déplacement est interpolé à partir des valeurs existantes dans les nœuds. En connectant les éléments ensemble, la quantité de champ devient interpolée sur l'entier de la structure. Les meilleures valeurs de la quantité de champ dans les nœuds sont celles qui minimisent certaines fonctions (telle que l'énergie totale). Le processus de minimisation génère un système d'équations algébriques simultanées pour les

différentes valeurs de la quantité de champ dans les nœuds. Ce système d'équations est décrit sous forme matricielle par :

$$\{F\} = [K] \cdot \{\delta\}$$

Où :

$\{\delta\}$ = vecteur d'inconnues (valeurs de la quantité de champ dans les nœuds – ex : vecteur des déplacements) ;

$[K]$ = matrice des constantes (connue – ex : matrice de rigidité) ;

$\{F\}$ = vecteur des chargements (connu – ex : matrice des forces nodales).

Actuellement, il existe un grand nombre de logiciels pour l'analyse des structures par la méthode des éléments finis : ANSYS, ABAQUS, ADINA, CASTEME, COSMOS, SAP, ROBOT etc.

3.1.1- Types d'éléments finis

Les éléments finis peuvent être divisés en plusieurs catégories en fonction de la structure : éléments de barre (en anglais : TRUSS), éléments de poutre (en anglais : BEAM), éléments plans, éléments de plaque, éléments de coque, éléments solides 3D etc.


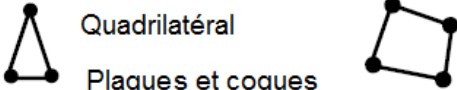
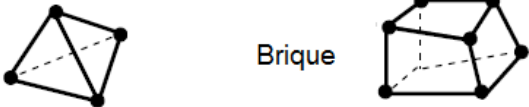
unidimensionnels	Barre : Ferme en treillis	Poutre : Portique	
bidimensionnels	Triangulaire	Quadrilatéral Plaques et coques	
tridimensionnels	Piramide	Brique	
autres types	Masse	Ressort	Contact

Fig. 3.2. Types d'éléments finis

Remarque : Certains éléments finis ont des nœuds intérieurs pour améliorer la précision.

3.1.2- Exemples d'application des éléments finis

a)- Elément de barre (Truss élément) :

Il est utilisé dans la modélisation d'une structure qui travaille uniquement en traction-compression. La Fig.3.3 montre l'exemple d'un portique métallique avec ferme en treillis, les efforts de traction ou de compression dans les différentes barres sont calculés par la MEF en utilisant des éléments barre. Dans cet élément, il est supposé que seule la contrainte normale (σ_x) est différente de zéro et qu'elle est constante sur la section droite. C'est généralement un élément à 2 nœuds. Chaque nœud admet 2 degrés de liberté (u, v) en plan XY et 3 degrés de liberté (u, v, w) dans l'espace XYZ.

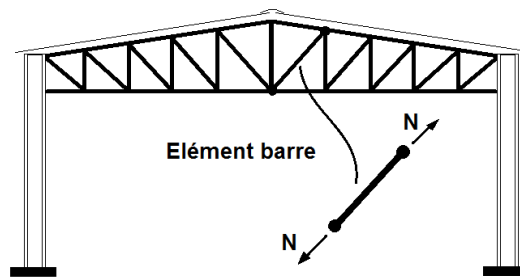


Fig.3.3. Portique métallique avec fermes en treillis

b)- Elément de poutre (Beam élément) :

Il est utilisé dans la modélisation d'une structure qui travaille à la flexion simple, flexion déviée, flexion composée ou torsion. La Fig.3.4 présente l'exemple d'un portique (poteau-poutre) à plusieurs étages, les sollicitations M, N et T dans les poutres et les poteaux peuvent être calculés par la MEF en utilisant des éléments poutre. C'est un élément à 2 nœuds qui comporte 3 degrés de liberté par nœud en plan : 2 translations (u, v) et une rotation (Θ_z). Dans l'espace, il comporte 6 DDL par nœud : les 3 translations (u, v, w) et les 3 rotations ($\Theta_x, \Theta_y, \Theta_z$) des sections droites extrêmes.

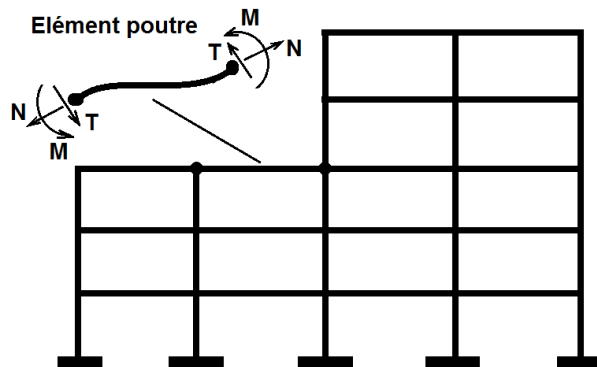


Fig.3.4. Portique (poteau-poutre) à plusieurs étages

c)- **Eléments de membrane (Triangulaire and Quadrilatéral plan stress éléments) :**

Ce sont des éléments bidimensionnels dans lequel on suppose que les contraintes sont uniformes dans l'épaisseur et que la contrainte σ_z est nulle (Z est l'axe perpendiculaire au plan de l'élément). Il est utilisé pour modéliser :

- des structures minces travaillant en membrane c'est-à-dire sans rigidité de flexion,
- des structures plus épaisses quand on peut considérer que les composantes du tenseur des contraintes ne varient pas dans l'épaisseur.

C'est généralement un élément triangulaire à 3 nœuds ou quadrangulaire à 4 nœuds qui comporte 2 inconnues par nœud : les 2 composantes du vecteur déplacement (u.v.) dans le plan.

La Fig.3.5 donne l'exemple de modélisation par des éléments plans triangulaires d'un mur barrage en béton, ancré dans le sol et soumis à la pression de l'eau du barrage.

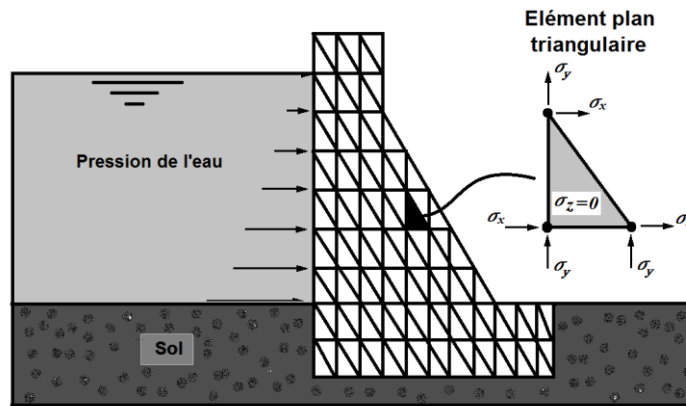


Fig. 3.5. Modélisation par éléments finis d'un mur barrage en béton

La Fig.3.6 montre l'exemple de modélisation d'un mur voile en béton avec ouvertures en utilisant des éléments plans rectangulaires.

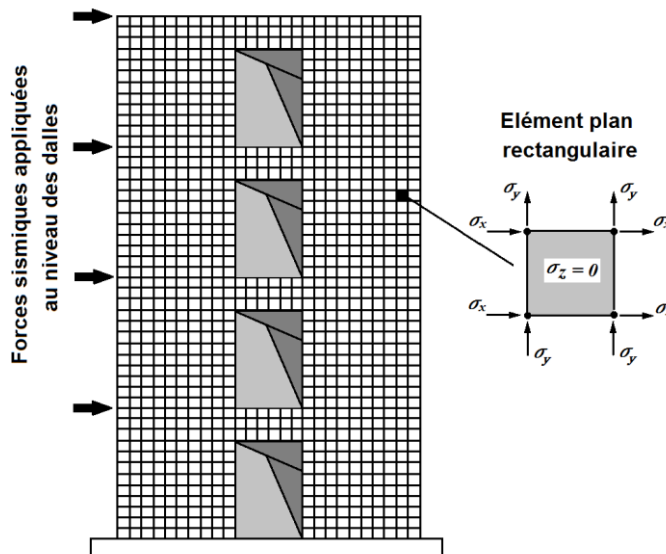


Fig.3.6. Modélisation par éléments finis d'un mur voile en béton avec ouvertures

d)- Élément de plaque ou coque (Shell élément) :

Cet élément bidimensionnel permet d'analyser des plaques ou des coques soumises à la flexion et repose sur les hypothèses suivantes :

- la contrainte normale σ_z est négligeable,
- l'interaction entre les phénomènes de membrane et de flexion est négligée,
- les contraintes σ_x , σ_y , τ_{xy} varient linéairement suivant l'épaisseur.

Les éléments de plaque ou de coque quadrangulaires à 4 nœuds comportent 5 (DDL) par nœud : les 3 translations (u , v , w) et les 2 rotations (Θ_x , Θ_y). (Z est l'axe perpendiculaire au plan de l'élément).

La Fig.3.7 présente l'exemple de modélisation d'une dalle pleine en béton par éléments plaques rectangulaires.

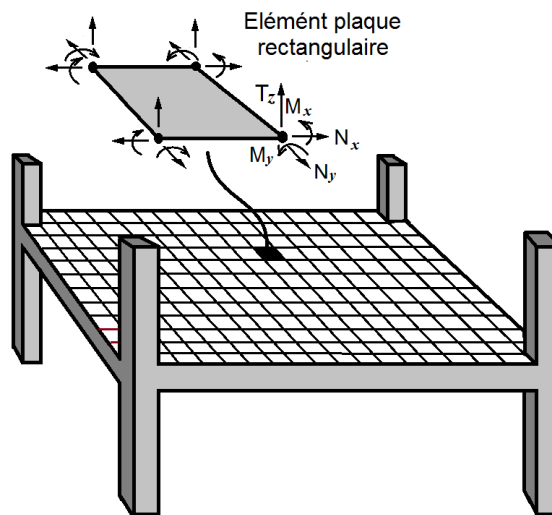


Fig.3.7. Modélisation d'une dalle pleine en béton par des éléments plaques rectangulaires

Ensuite, la Fig.3.8 montre l'exemple de modélisation d'une coupole en béton en utilisant des éléments de coque rectangulaires.

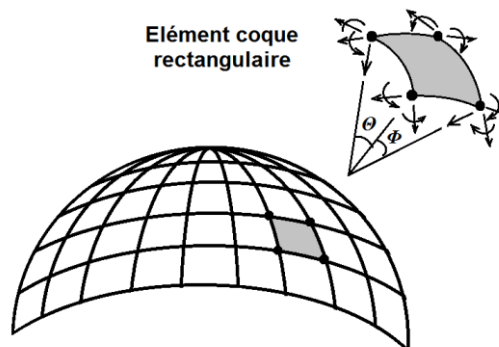


Fig.3.8. Modélisation d'une coupole en béton par des éléments de coque rectangulaires

e)- Éléments solides tétraédriques et rectangulaires (Solid éléments) :

Dans les éléments solides volumiques, toutes les composantes de contrainte sont Calculées. La Fig.3.9 présente l'exemple de modélisation d'une semelle circulaire en béton par des éléments solides (pyramides) tétraédriques de 4 nœuds comportant 3 DDL à chaque nœud : (u, v, w).

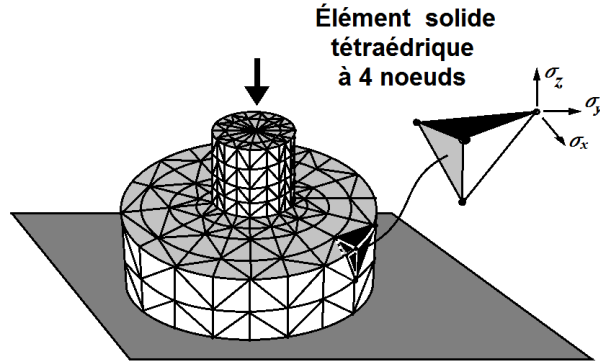


Fig.3.9. Modélisation d'une semelle circulaire en béton par des éléments solides pyramides (tétraédriques) à 4 nœuds

En plus, la Fig.3.10 présente l'exemple de modélisation d'une semelle rectangulaire en béton par des éléments solides briques (hexaédriques) à 8 nœuds et comportent 3 DDL par nœud : les 3 translations (u,v,w).

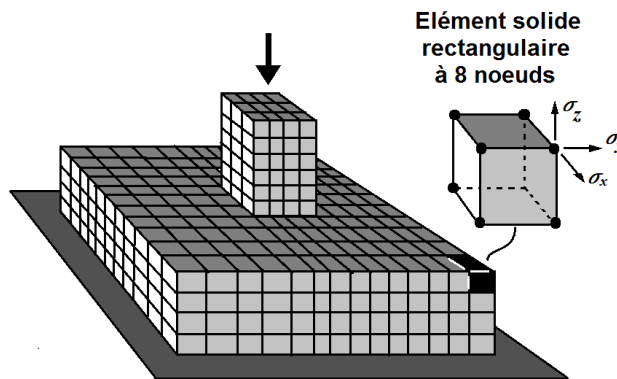


Fig.3.10. Modélisation d'une semelle rectangulaire en béton par des éléments solides brique (hexaédriques) à 8 nœuds

3.2- Présentation du logiciel ANSYS

ANSYS, créé en 1970 aux Etats-Unis, est un code éléments finis d'usage général dédié à la résolution numérique d'une large variété de problèmes physique en général et de mécanique en particulier. Ces problèmes portent notamment : analyse structurale en statique et en dynamique (linéaire et non linéaire), transfert de chaleur, dynamique des fluides, acoustique, électromagnétique.

Pour mener notre étude par modalisation numérique, on a utilisé le logicielle numérique ANSYS, ce logicielle comprend plusieurs composantes telles que : ANSYS/Professionnel, ANSYS/ Multiphysics...etc. Chaque composante est destinée à l'un des domaines d'ingénierie, et son choix met automatiquement à la disposition de l'utilisateur les processus adéquats (type d'élément, conditions à limites, tracées...etc.). Dans notre analyse, on a utilisé les modules structural dans ANSYS/ Multiphysics, qui permet de traiter la majorité des problèmes de mécanique. Il offre des outils puissants pour l'analyse en deux et trois dimensions, On trouve dans le manuel d'aide de « ANSYS » toutes les instructions qui permettent son exploitation à travers son interface utilisateur graphique "Graphical User Interface" ainsi que toute la documentation nécessaire. De nombreux processus de calcul sont disponibles dans ce code et chaque processus est une sorte d'ensemble de fonctions qui effectuent une tache spécifique.

3.2.1. De façon générale, une résolution par éléments finis comporte trois étapes :

a)- Préparation des données ou Pré-processing : définir le problème ; les étapes majeures sont données ci-dessous :

- ❖ Définition des points clés (keypoints) /lignes/surfaces/volumes ;
- ❖ Définir le type d'élément fini, ses propriétés géométriques et les propriétés physiques des matériaux ;
- ❖ Maillage des lignes /surfaces/volume si cela est requis.

Les données nécessaires dépendent évidemment de là de la dimension du problème. (1D, 2D, axisymétrique, 3D).

b)- Traitement ou Processing : assigner les charges, contraintes (conditions aux limites) et résolution ; on spécifie notamment la nature des charges (localisées et/ou distribuées), contraintes ou conditions aux limites (translation et rotation) et, finalement, on résout le système d'équations.

c)- **Post-processing** : analyse et visualisation des résultats ; lors de cette étape, on peut examiner :

- ❖ La liste des déplacements nodaux ;
- ❖ Les forces et des moments au niveau des éléments ;
- ❖ Tracé des Déformées ;
- ❖ Tracé des Iso contours des contraintes.

3.3 – Définition du Probleme-PostProcessing :

Avant de commencer, il est indispensable de présenter la fenêtre du logiciel ANSYS :

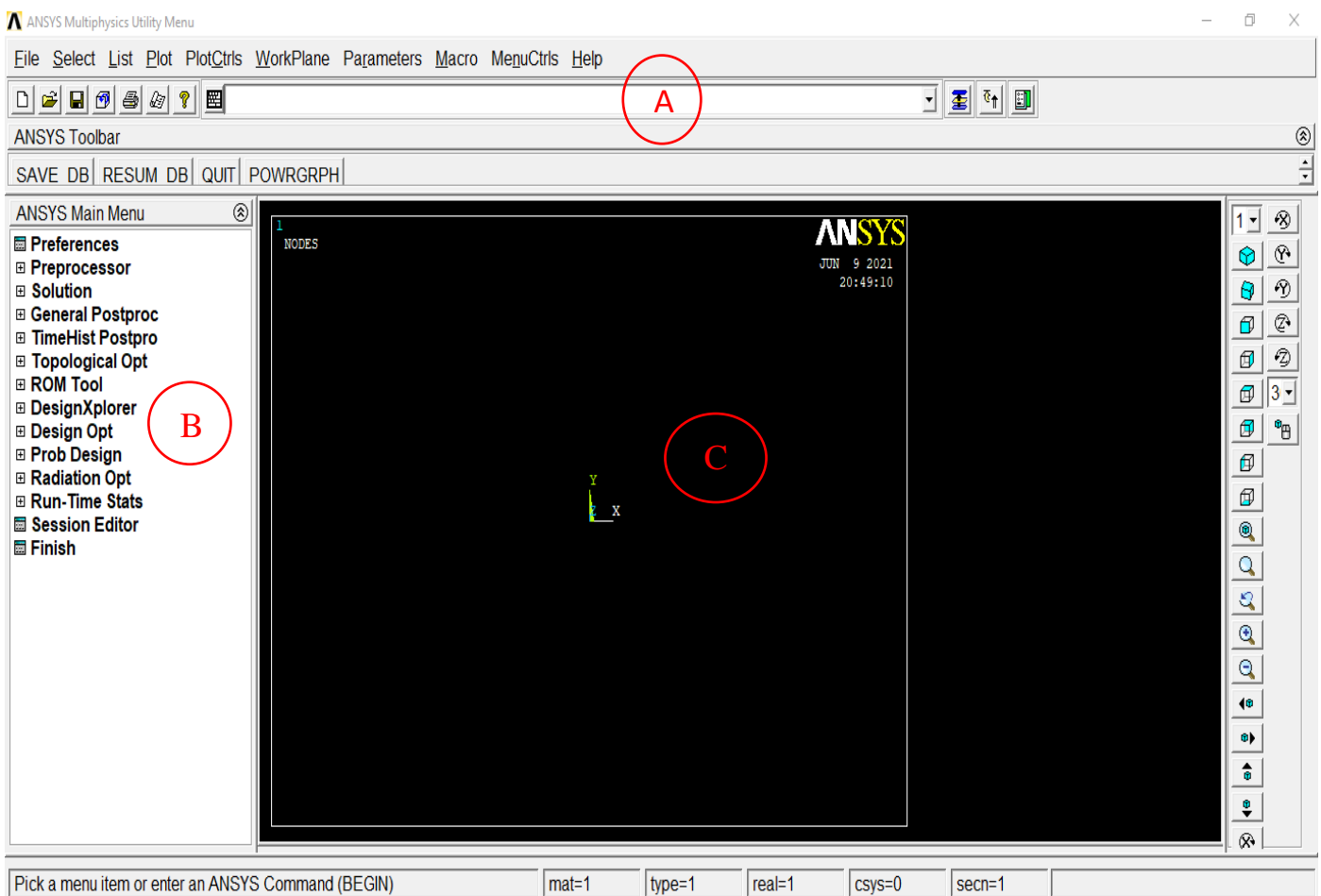


Fig.3 .11 – Fenêtre du logiciel ANSYS

(A) *Utility Menu* : contient des fonctions comme les contrôles des fichiers des sélections, des graphiques et des paramètres.

(B) *Main Menu* : contient les fonctions de base de Ansys comme *Preprocessor*, *Solution*, *General Postprocessor* et autres c'est-à-dire la majorité des fonctions de modélisation.

(C) Fenêtre graphique : est l'endroit où le graphique est affiché, où la sélection du graphique est possible, où on peut voir le modèle dans ses différentes étapes de construction et là où on peut afficher les résultats de l'analyse.

3.3.1 – Titre :

Il s'agit de nommer le fichier.

Dans l'*Utility Menu*, cliquer sur *File > Change title* : (**Portique-âme pleine**) par exemple.

Il est très important d'enregistrer le travail à chaque étape de sa création. Pour enregistrer le modèle :

Dans l'*Utility Menu*, cliquer sur *File > Save as Jobname.db*

Le fichier sera enregistré sous le nom de « *Jobname.db* » et pour le mettre à jour, il suffit de cliquer sur *Save*.

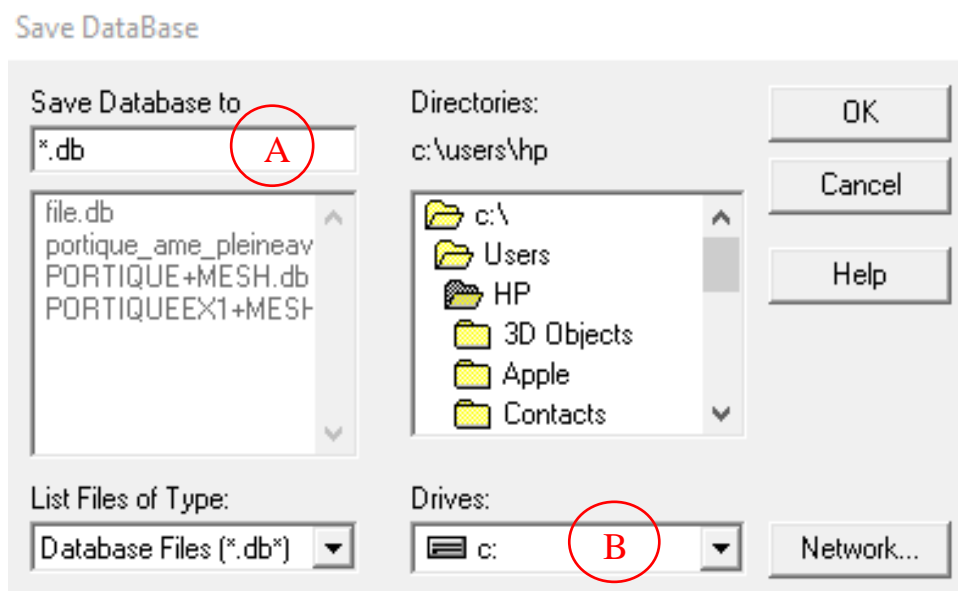


Fig.3.12 – Enregistrer dans Ansys

(A) Donner le *Jobname.db*.

(B) La partition du disque où l'on enregistre le fichier.

Remarque :

- Il est indispensable de spécifier à l'avance la méthode : dans *Main Menu > Préférence > h – method* ou *p – method*.

- A l'avance, nous devons spécifier les unités à utiliser pendant la modélisation : dans *Main Menu > Preprocessor > Material Props > Material Library > Select Units*.

3.3.2 – Définir les éléments :

Comme le titre l'indique, il s'agit de définir les types d'éléments finis à utiliser.

Dans *Main Menu* > *Preprocessor* > *Element Type*>*Add/Edit/Delete*>Choisir l'élément *BEAM3*>*2D elastic 3*.

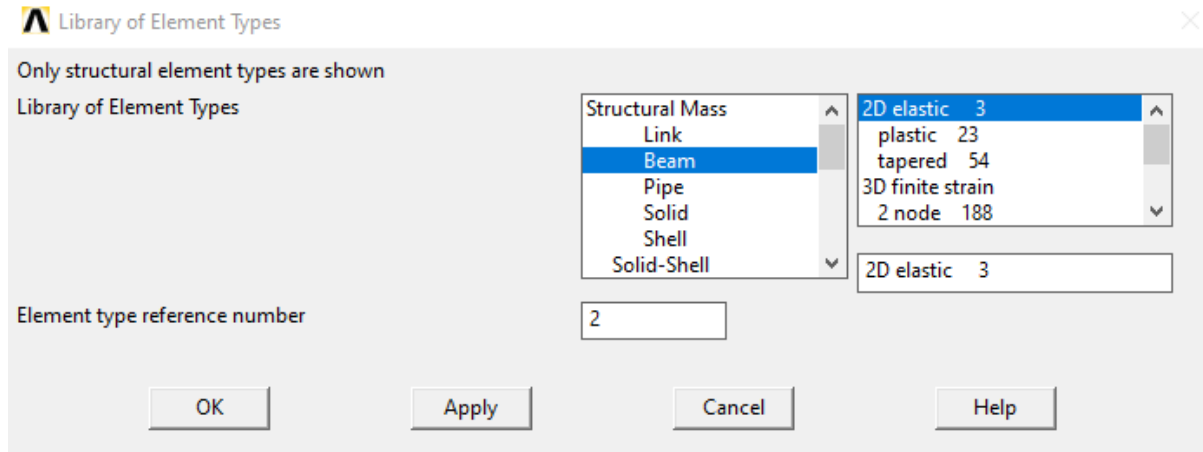


Fig.3.13- Définition des types d'éléments

3.3.3 – Définition Real Constants :

Dans *Main Menu* > *Preprocessor* >*Real Constants*> *Add/Edit/Delete*> *OK*.

Des successions de fenêtres comme indiquées sur la figure 5 apparaissent et on doit définir.

Exemple :

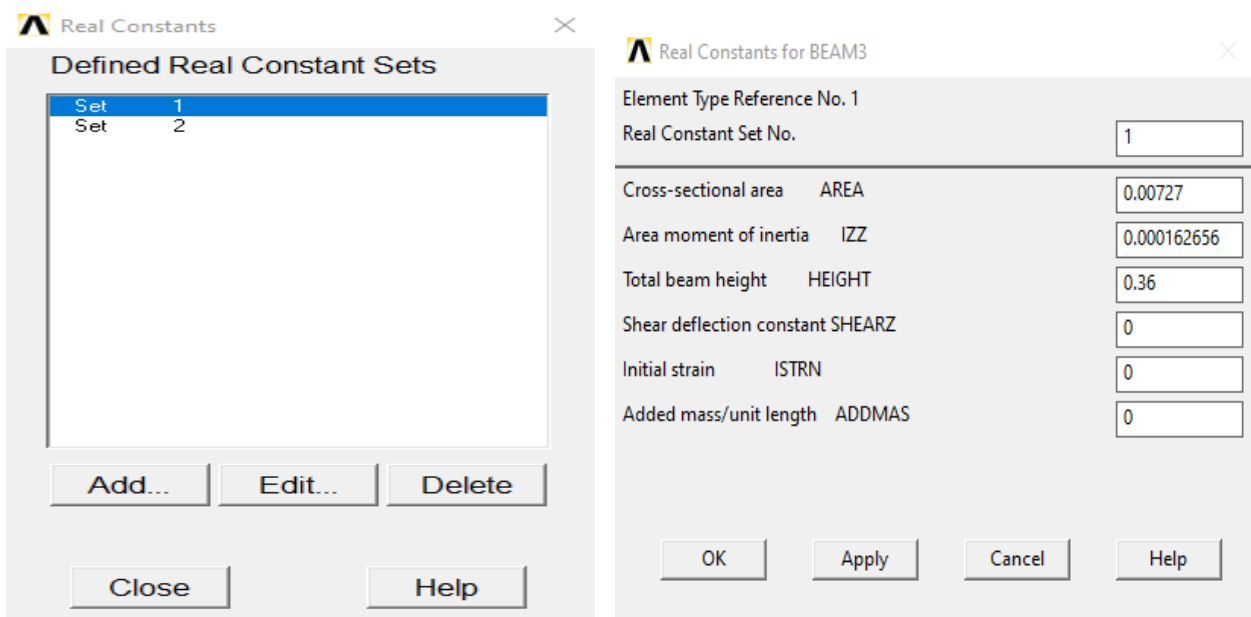


Fig.3.14 – Définition Real Constants

3.3.4 – Propriétés des matériaux :

On définit la courbe de comportement de chaque matériau constituant le modèle dans le domaine linéaire ainsi que dans le modèle non linéaire.

Pour définir le comportement d'un matériau dans le domaine linéaire :

Main Menu > Preprocessor > Material Props (Material properties) > Material Models > Double cliquer sur Structural > Linear > Elastic > Isotropic.

On définit les propriétés de chaque matériau, par exemple :

- Matériau 1 : $E = 210000000$ (Module d'élasticité)
 $PR = 0.3$ (Coefficient de Poisson)

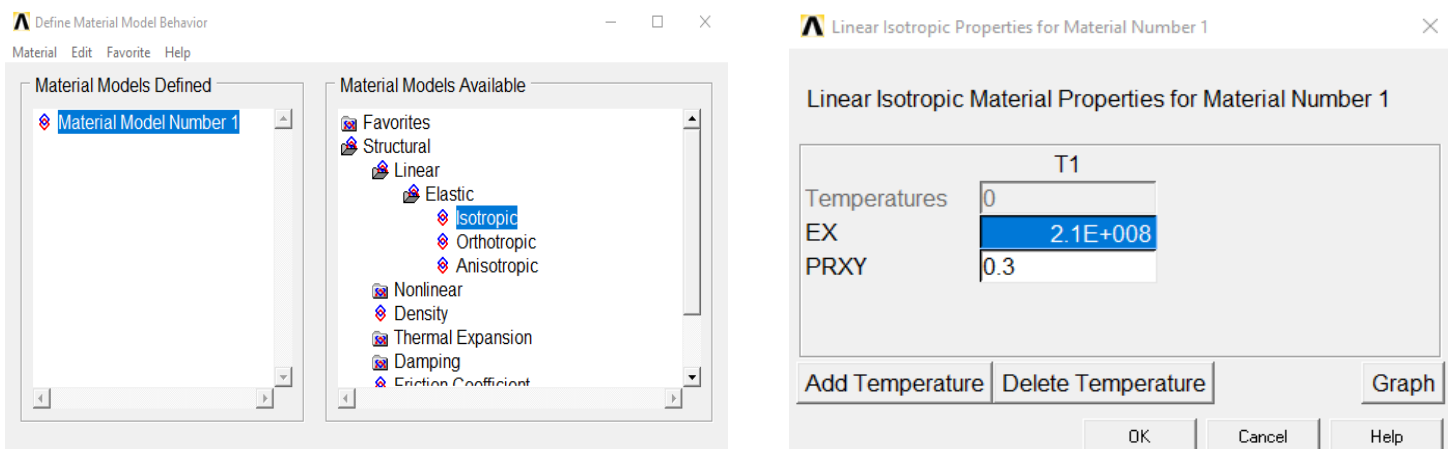


Fig.3.15 – Définition des propriétés d'un matériau dans le domaine linéaire

3.3.5 – Création de la géométrie du modèle :

D'une manière générale, la géométrie du modèle est constituée par un ensemble de lignes, d'aires et de volumes. En ce qui concerne notre exemple, il s'agit d'un ensemble d'aires. Cela revient à dire qu'on doit les dessiner l'une après l'autre et ainsi de suite.

Dans *Main Menu > Preprocessor > Modeling > Create > Keypoints > in active C S > OK*

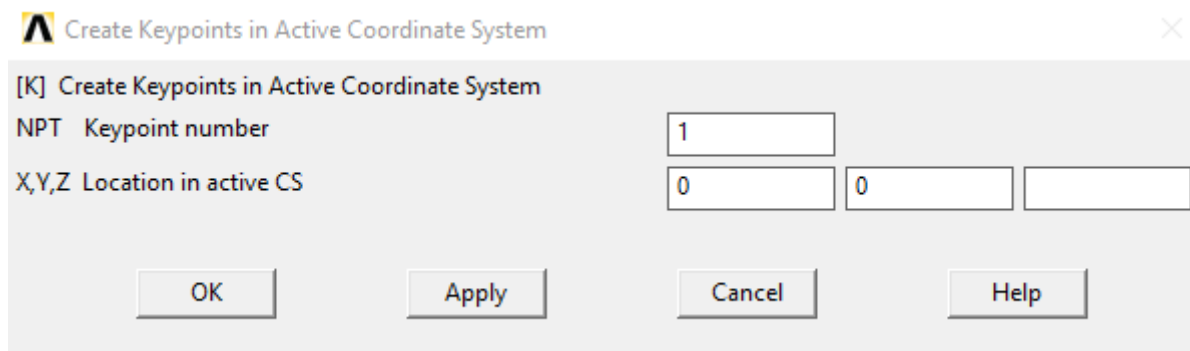


Fig.3.16- Création de la géométrie du modèle

Keypoint	Cordonnés	
	X	Y
1	0	0
2	0	9
3	10	10
4	20	9
5	20	0

3.3.6 – Attribution des propriétés de chaque élément :

Cette partie consiste à attribuer à chaque élément géométrique ses propriétés à savoir : le type de matériau, son épaisseur et le type d'élément.

Main Menu > Preprocessor > Meshing > Mesh Attribute > Picked Lines >

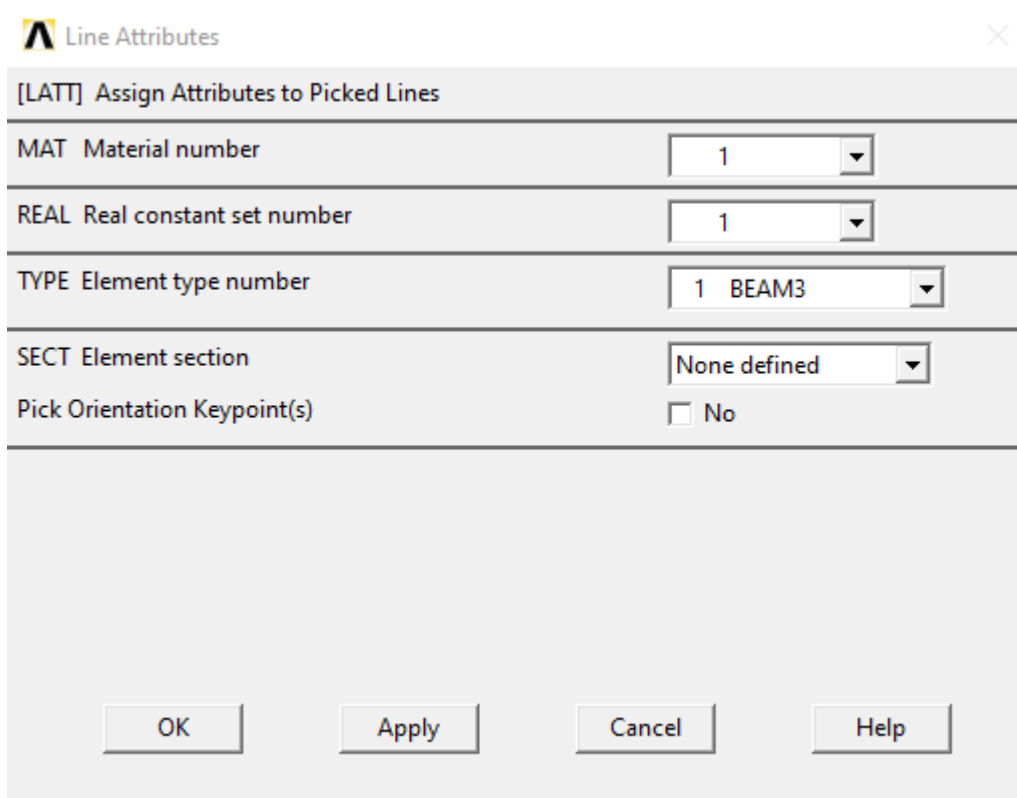


Fig.3.17- Attribution des propriétés à chaque élément

3.3.7 – Maillage :

Cette rubrique consiste à définir le maillage de chaque surface sélectionnée en divisant les lignes formant cette surface ou en divisant directement la surface concernée.

a) En utilisant le deuxième cas : *Main Menu > Preprocessor > Meshing > Meshtools > Size Controls > Line > Set >*

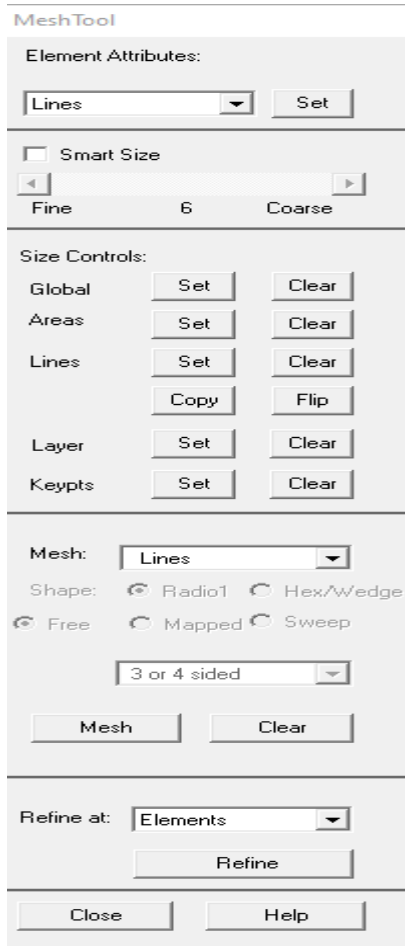


Fig.3.18-Meshtools

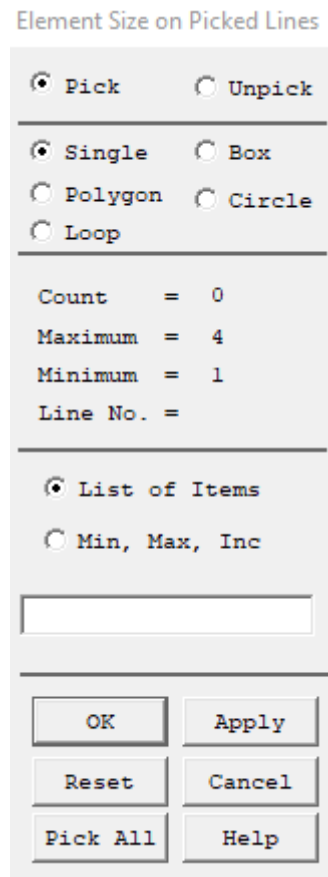


Fig.3.19- Définition du maillage (Size controls area)

b) Si la longueur de la maille est différente de sa largeur, il est plus sûr de définir le maillage de la surface en divisant les lignes qui le constituent. La procédure est presque la même, la nuance survient au niveau de :

Size Controls > Line > Set > Sélectionner les lignes qui vont être divisées avec les mêmes valeurs > Donner la dimension de la maille ou le nombre de division voulue > *Apply >* Sélectionner les autres lignes > Donner la dimension de la maille ou le nombre de division voulue > *Apply > ...*

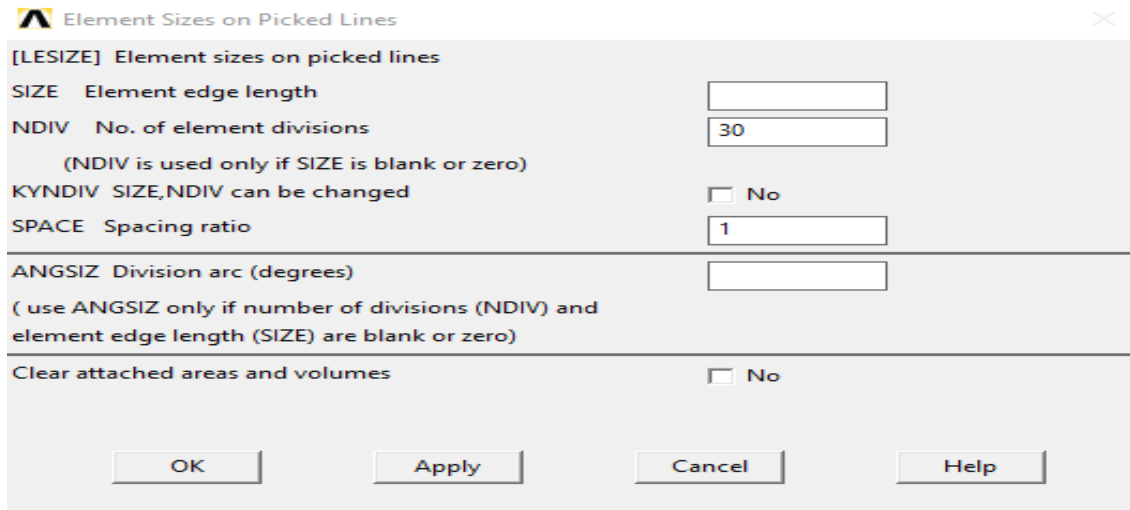


Fig.3.20 - Définition du maillage (Size controls Line)

SIZE : Donner la taille d'un côté de la maille,

NDIV : Nombre de division sur la ligne. Elle est prise en considération quand SIZE est vide ou nulle,

SPACE : égale à 1.

3.4- Solution :

3.4.1- Type d'analyse :

Avant de commencer la résolution des systèmes d'équations, il est nécessaire de définir le type d'analyse (statique dans notre cas), et régler les paramètres de résolution.

Main Menu > Solution > Analysis type > New analysis > Static.

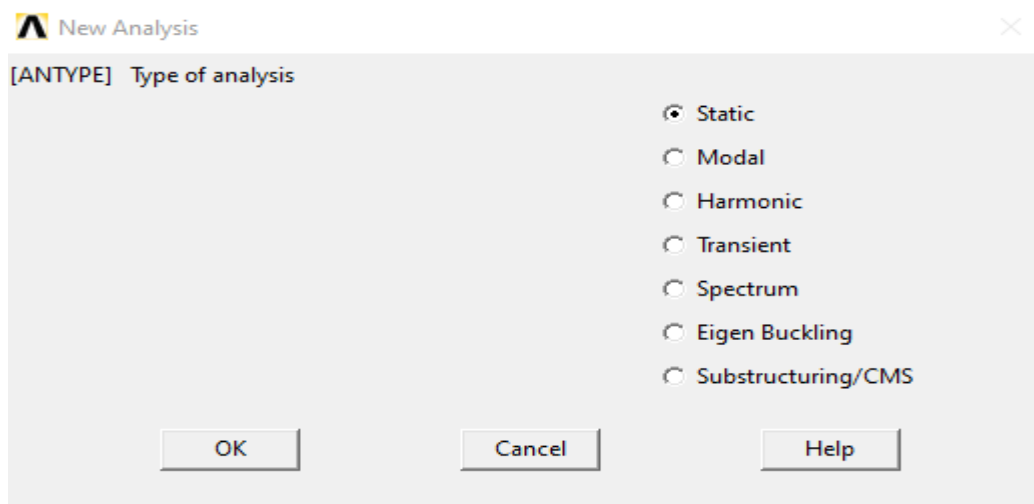


Fig.3.21- Type d'analyse

3.4.2- Conditions aux limites :

Les nœuds à la base du bloc de béton sont bloqués dans les deux directions x et y pour traduire le fait que le bloc de béton repose sur une plateforme.

Par symétrie, on ne représente que la moitié de la structure modélisée, ceci implique que les nœuds du profilé par lesquels passe l'axe de symétrie sont bloqués horizontalement (dans la direction x)

Pour cela : Sélectionner les keypoints concernés >Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Displacement> On Keypoints > Sélectionner les keypoints et spécifier les conditions aux limites.

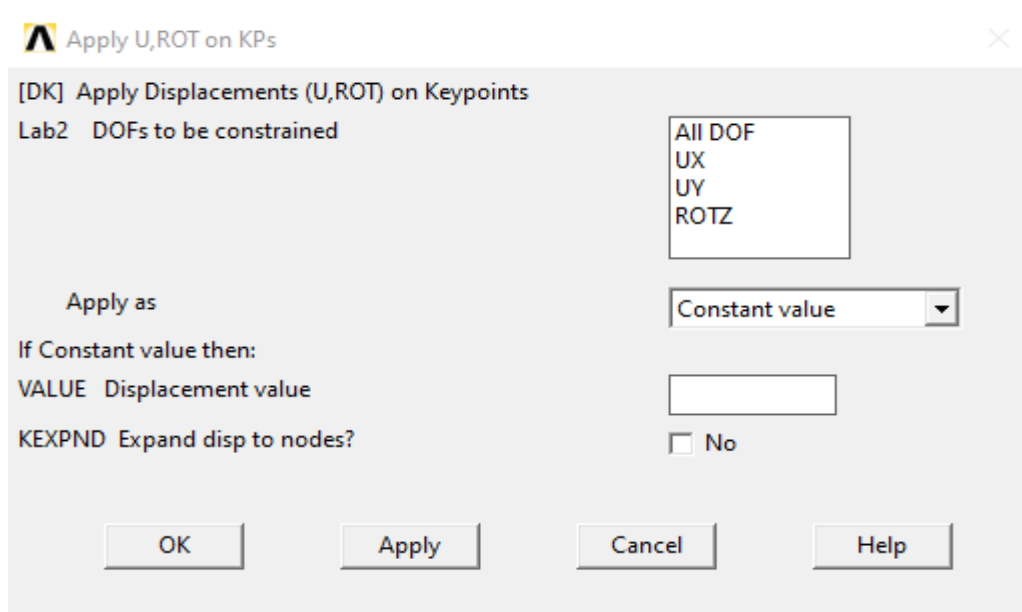


Fig.3.22- Définition des conditions aux limites

3.4.3 – Application des charges :

Sélectionner les nœuds où les charges sont appliquées> Main Menu> Solution> Define Loads> Apply> Structural> Force/Moment> On Nodes> Sélectionner un nœud> Donner la direction, le sens et la valeur de la charge comme indiqué sur la figure suivante :

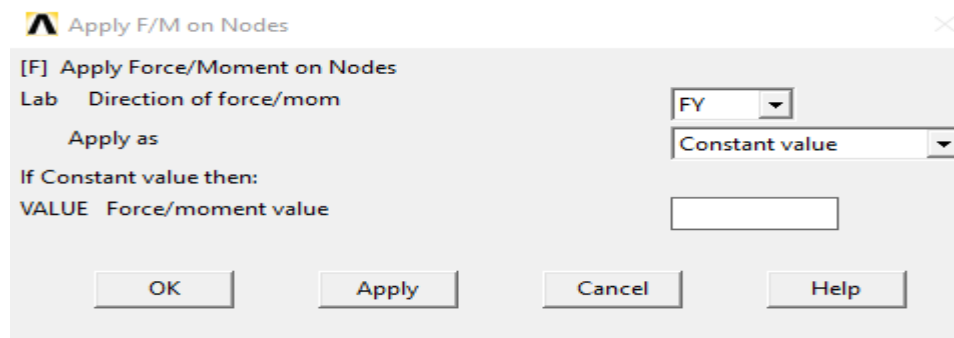


Fig.3.23- Définition du chargement

Pour la suite, cliquer sur *Apply*> Sélectionner le nœud suivant> Donner la direction, le sens et la valeur de la charge > *Apply* ...

Remarque : les nœuds dont la valeur de la charge appliquée est la même valeur peuvent être sélectionnés ensemble afin d'éviter les répétitions.

3.4.4 – Résolution du système :

Main Menu> Solution> Solve > Current LS> OK.

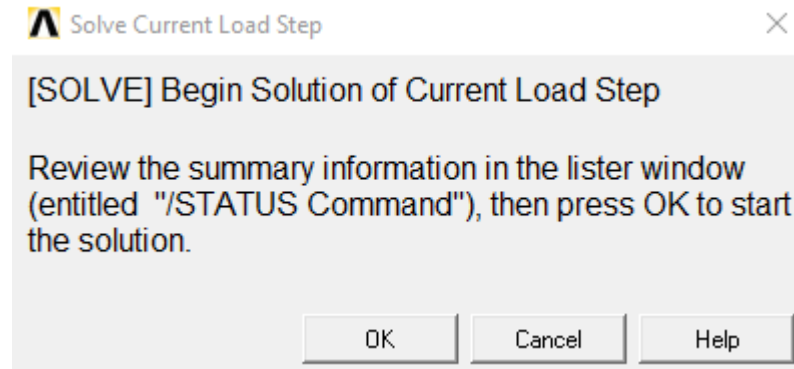


Fig.3.24 – « Solve Current Load Step »

Le logiciel procède alors à la résolution du système même dans le domaine non linéaire, après résolution la fenêtre de la figure ci-dessous apparait.

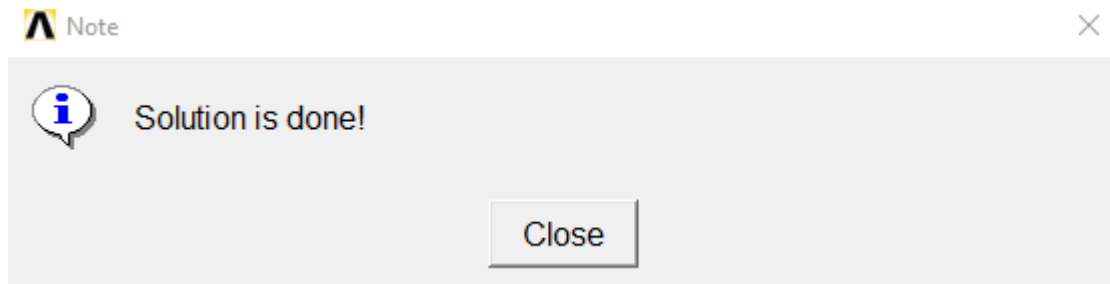


Fig.3.25 – Fin de la résolution

3.5- Postprocessing :

1- Define element Table:

Main Menu > General Postprocessing > Element Table > Define Table.

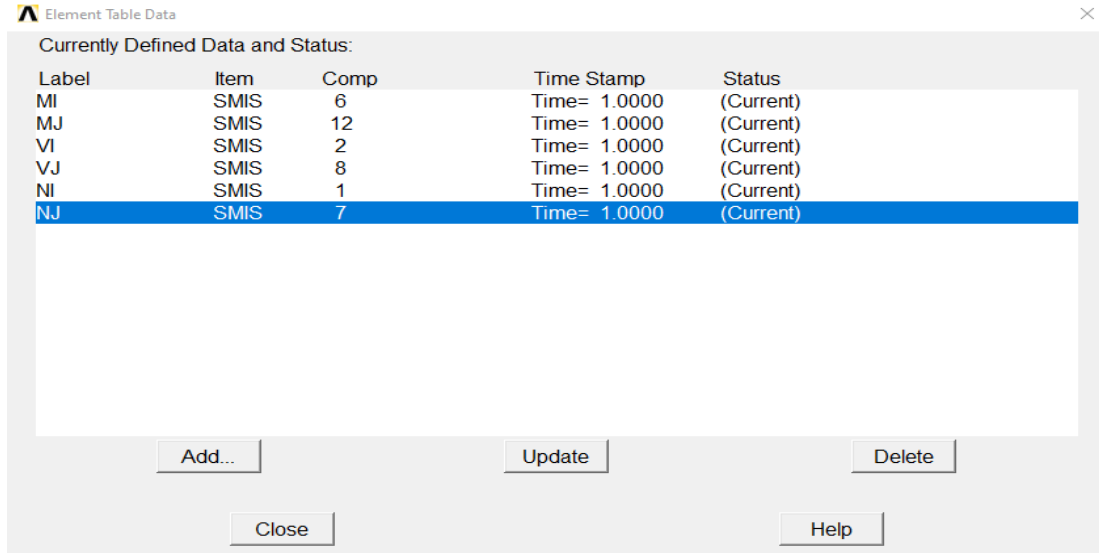


Fig.3.26 – Define Table

Cette rubrique nous permet d’afficher tous les résultats

A partir de là, il est possible divers types de résultat :

Main Menu > General Postprocessing > List Result > Element Solution > Structural Moments
> Z-Component of moment

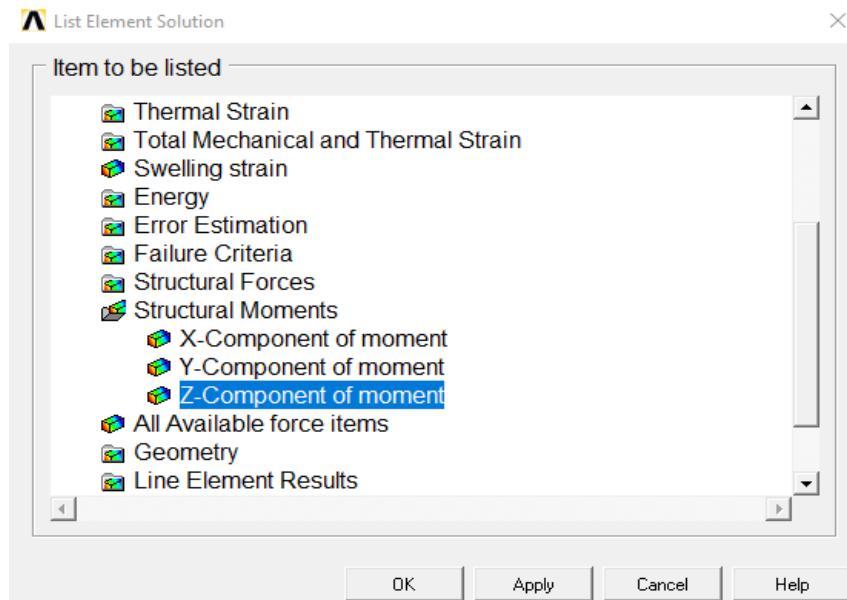
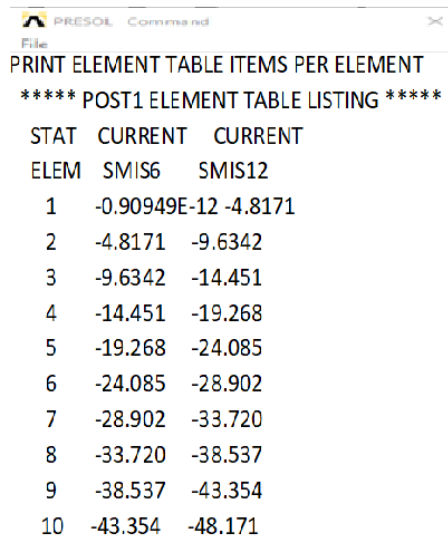


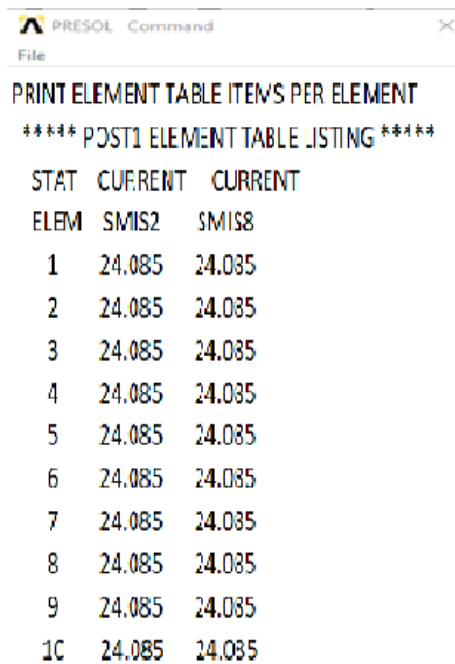
Fig.3.27 – List Élément Solution

Les résultats



```
PRESOL Command
File
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****
STAT CURRENT CURRENT
ELEM SMIS6 SMIS12
1 -0.90949E-12 -4.8171
2 -4.8171 -9.6342
3 -9.6342 -14.451
4 -14.451 -19.268
5 -19.268 -24.085
6 -24.085 -28.902
7 -28.902 -33.720
8 -33.720 -38.537
9 -38.537 -43.354
10 -43.354 -48.171
```

Fig.3.28 – List De Résultats (Moment)



```
PRESOL Command
File
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****
STAT CURRENT CURRENT
ELEM SMIS2 SMIS8
1 24.085 24.085
2 24.085 24.085
3 24.085 24.085
4 24.085 24.085
5 24.085 24.085
6 24.085 24.085
7 24.085 24.085
8 24.085 24.085
9 24.085 24.085
10 24.085 24.085
```

Fig.3.29 – List De Résultats (Force)

3.5.1- Contraintes :

Il est aussi possible d'obtenir la distribution des contraintes.

Main Menu > General Postprocessing > Plot Results > Contour Plot > Line Element Results > Ok.

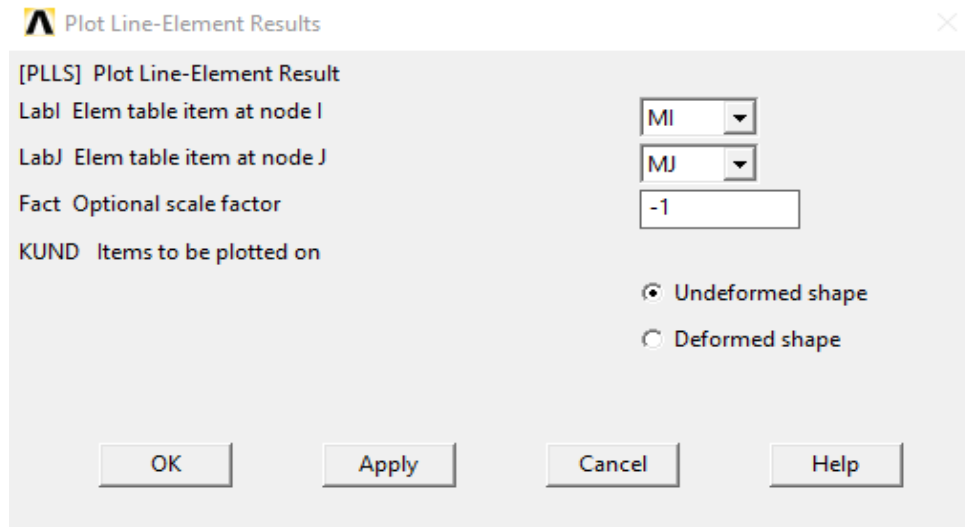


Fig.3.30- Plot Line Element Results

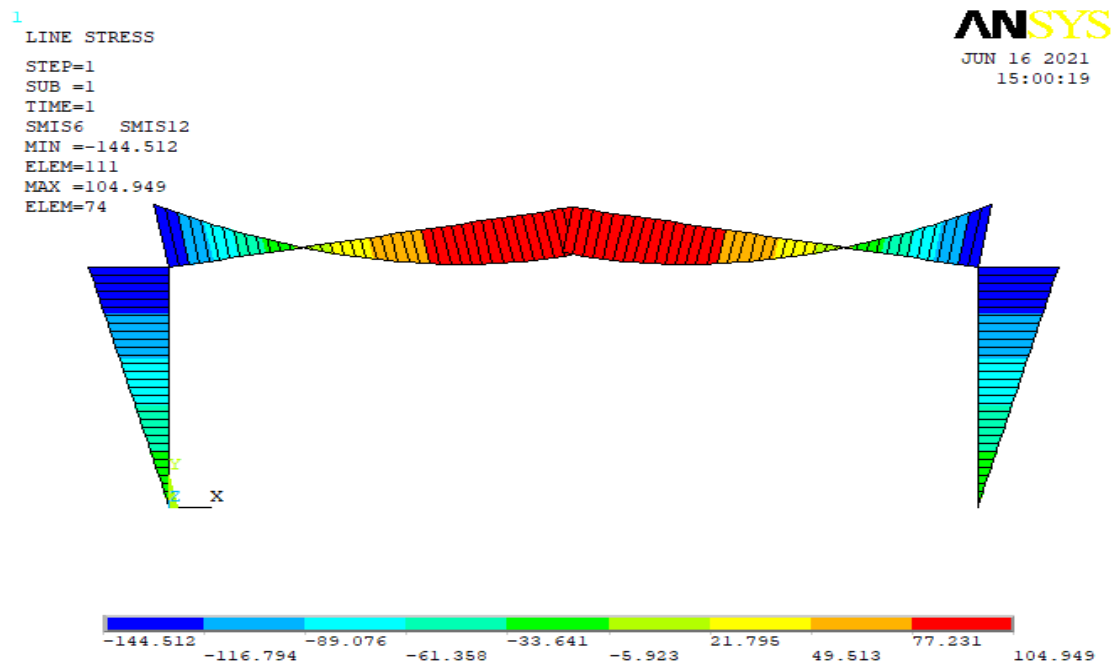


Fig.3.31- Contraintes

CONCLUSION :

Vu ce qui précède, nous avons pu développer les étapes à suivre pour la modélisation de l'essai Push-Out. Il est à noter qu'il existe d'autres méthodes pour mener à bien la simulation d'un modèle sur ANSYS.

Les étapes décrites dans ce manuel n'est qu'une petite aperçu des options du logiciel ANSYS, il est possible d'obtenir d'autres résultats car ce logiciel est très performant et très vaste.

A blue horizontal scroll graphic with rounded ends and a vertical strip on the left side, resembling a rolled-up document. The text is centered on the scroll.

Chapitre 4 :
Exemples d'application

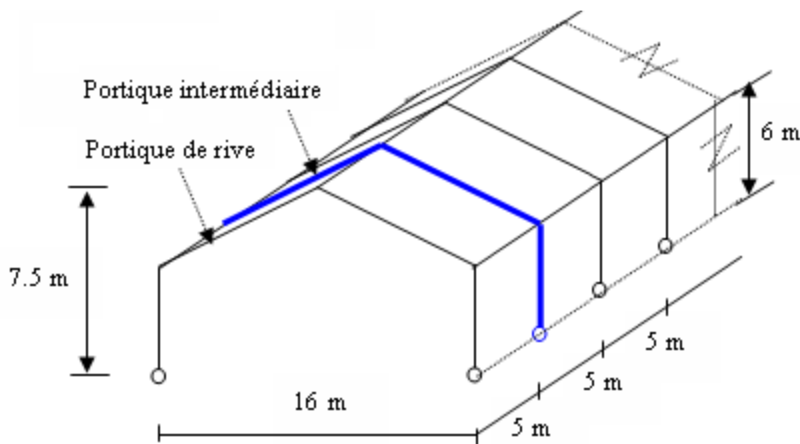
Chapitre 4 : Exemple d'application

4.1-Exemple :

Soit à calculer les poteaux d'un hangar dont l'ossature est formée de portiques de portée de 16 m, espacés de 5 m.

Les poteaux de 6.0 m de hauteur, sont articulés en pied et encastré sur les traverses portant la couverture. Dans le sens perpendiculaire aux portiques les poteaux sont fixés à des lisses (entre axe 2 m).

Les portiques doivent résister au poids de la couverture, à la neige et aux efforts du vent s'exerçant sur des éléments de façade butés au niveau du sol et au niveau des têtes de poteaux :



4.1.1- Effet des charges verticales sur un portique :

a)- Charges permanentes :

Couverture et accessoires de pose.....17.00 kg/m² = 17daN/m²

Pannes : ... (IPE 120)10.4kg/ml \approx 5.2 kg/m² = 5.2daN/m²

Traverse :...(Estimée).....12.00 kg/m² = 12daN/m²

Poids total: $G = 17 + 5.2 + 12.0 = 34.2 \text{ kg /m}^2 = 34.2 \text{ daN/m}^2$

Entre axe des portiques est de 5m :

$$G = 34.2 * 5.0 = 171 \text{ kg /ml} = 171 \text{ daN/ml}$$

b)- Effet de la neige :

$N = 68 \text{ kg /m}^2 = 680 \text{ N/m}^2$ (par projection horizontale)

$$N = 68 * 5 = 340 \text{ kg /ml} = 340 \text{ daN/m}^2$$

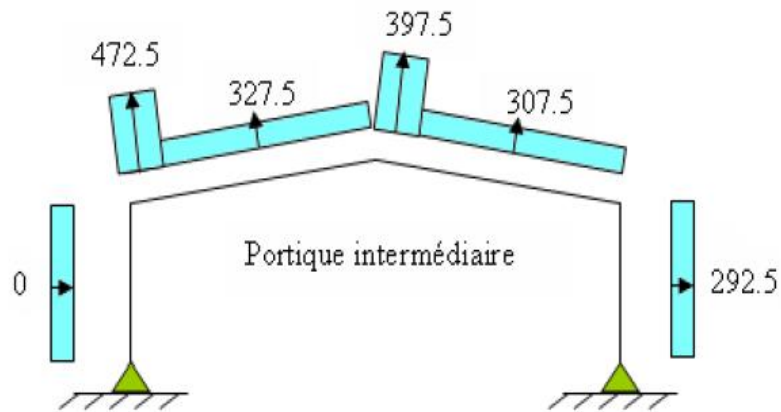
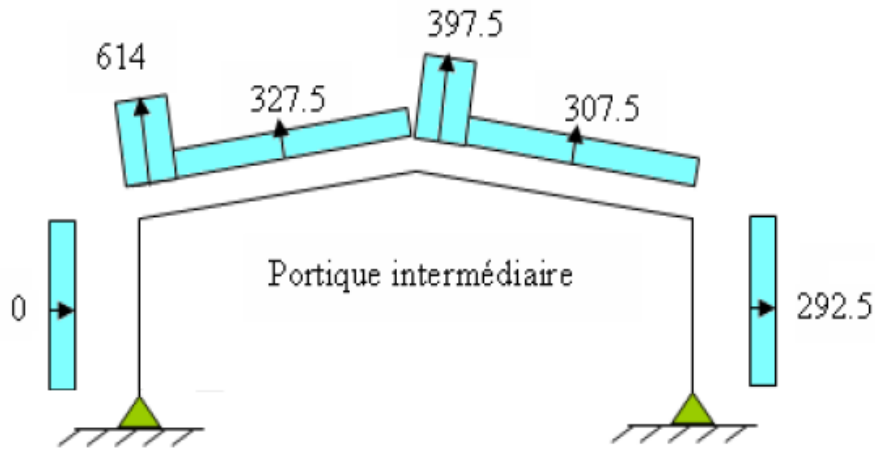
c)- Etude au vent

Vent Gauche/Droite : (le plus défavorable)

Convention de signe :

(+) pression ; action du vent vers la paroi

(-) dépression ; action du vent hors de la paroi



Le portique intermédiaire est le plus chargé vis-à-vis de la charge du vent car la surface tributaire du portique intermédiaire est le double de celle du portique de rive et que la valeur de 109.2 est proche de 95.5.

Pour simplifier les calculs on transforme la charge du vent sur la toiture en une charge équivalente uniformément répartie.

Coefficient de pression équivalent :

Versant gauche :

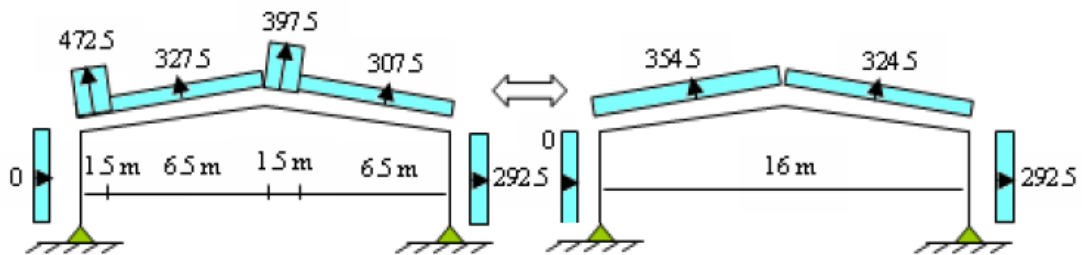
Versant droit : La charge du vent uniformément répartie équivalente se déduit de la même façon :

Versant gauche

$$\frac{472.5 \times 1.5 + 327.5 \times (8 - 1.5)}{8} = 354.7Kg/ml = 5347N/ml$$

Versant droit

$$\frac{397.5 \times 1.5 + 307.5 \times (8 - 1.5)}{8} = 324.4Kg/ml = 3244N/ml$$



Etant donné que les actions du vent sur les deux versants sont comparables, et pour des raisons de simplicité on peut admettre une seule valeur équivalente sur les deux versants.

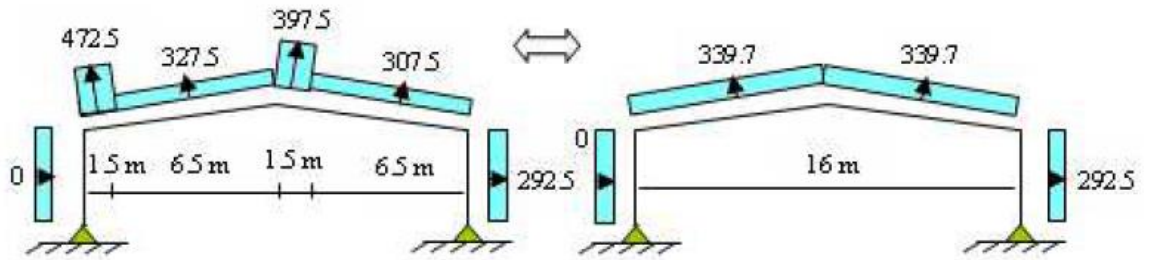
Charge équivalente du vent :

$$\frac{472.5 \times 1.5}{16} + \frac{327.5 \times 6.5}{16} + \frac{397.5 \times 1.5}{16} + \frac{307.5 \times 6.5}{16} = \frac{w \times 16}{16}$$

$$W=339.5Kg/ml = 3395N/ml$$

Ou bien :

$$W=\frac{354.5+324.5}{2} = 339.5Kg/ml = 3395N/ml$$



4.2- Calcul des efforts internes :

On assume $I_2 \approx I_1$

$$k = \frac{\text{raideur - rampant}}{\text{raideur - bequille}} = \frac{I_2 h}{I_1 s} = \frac{h}{s} = \frac{6}{8/\cos 10.62} = \frac{6}{8.139} = 0.737$$

$$\varphi = \frac{f}{h} = \frac{1.5}{6} = 0.25$$

$$\Delta = K + 3 + 3\varphi + \varphi^2 = 0.737 + 3 + 3 \times 0.25 + 0.25^2 = 4.5495$$

4.2.1- Charges verticales vers le bas : (Charges permanentes et Surcharge de neige)

Calcul sous la charge unitaire :

$$q = 1 \text{ daN/ml}$$

$$\beta = \frac{8 + 5\varphi}{4\Delta} = \frac{8 + 5 \times 0.25}{4 \times 4.5495} = 0.5083$$

$$\gamma = 1 - \beta(1 + \varphi)$$

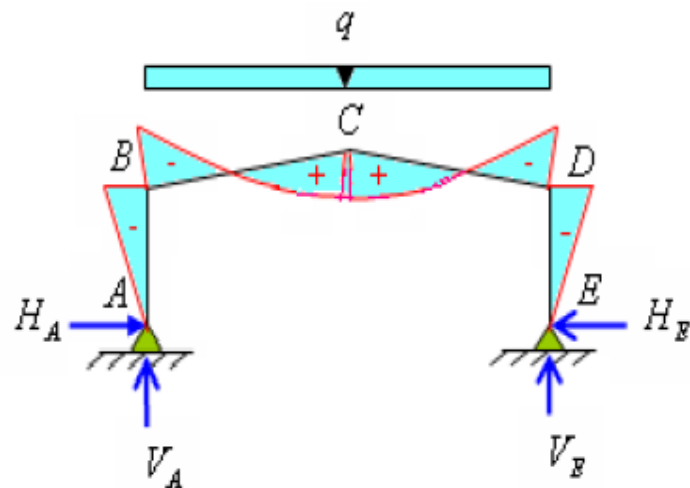
$$\gamma = 1 - 0.5083(1 + 0.25) = 0.3646$$

$$H_A = H_E = \beta \frac{ql^2}{8h} = 2.71 \text{ daN}$$

$$V_A = \frac{ql}{2} = 20.123 \text{ daN} \quad 40.246$$

$$V_E = -\frac{ql}{2} = -20.123 \text{ daN}$$

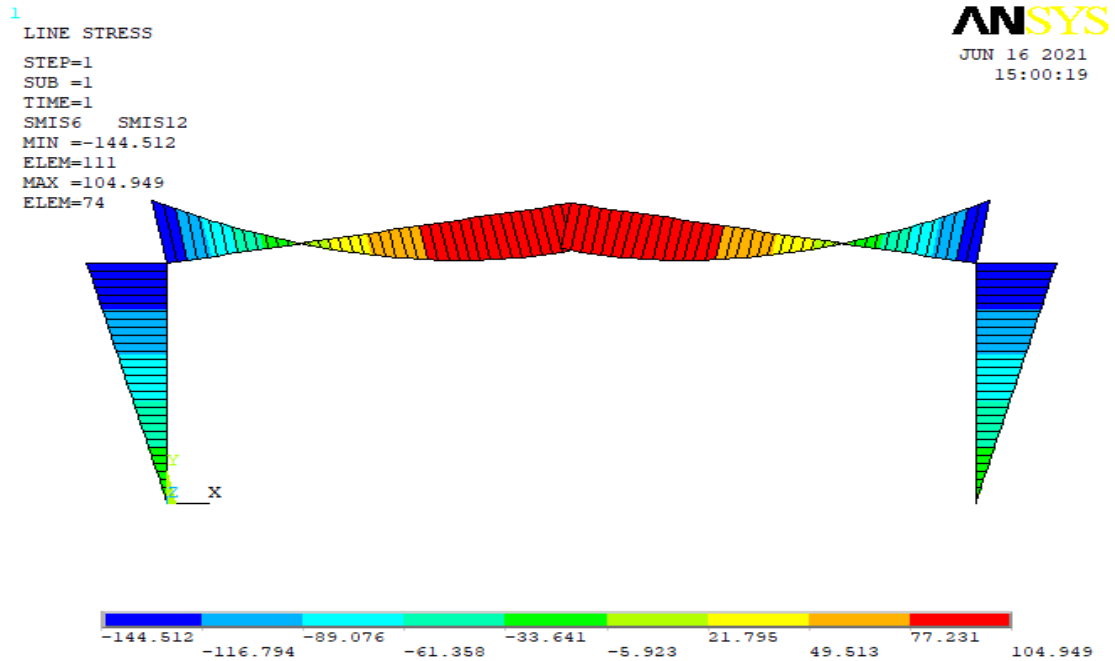
$$\frac{ql^2}{8} = 32 \text{ daNm}$$



$$M_B=M_D=-\beta \frac{ql^2}{8} = -16.27 \text{ daNm}$$

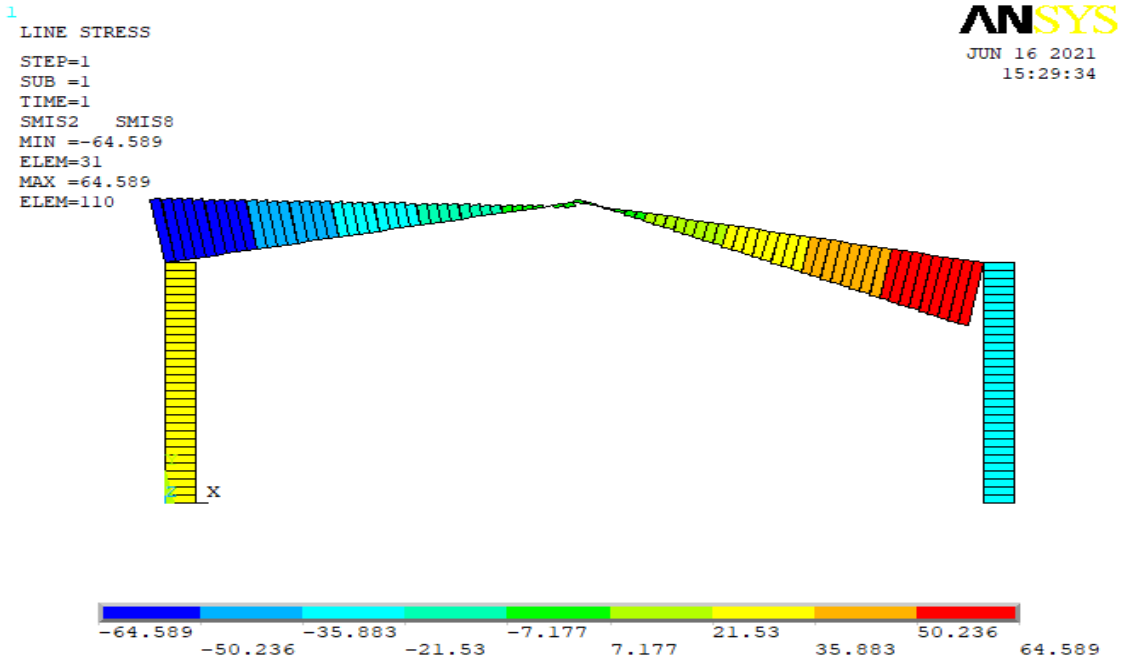
$$M_C=\gamma \frac{ql^2}{8} = 11.67 \text{ daNm}$$

Résultats avec le logiciel ANSYS



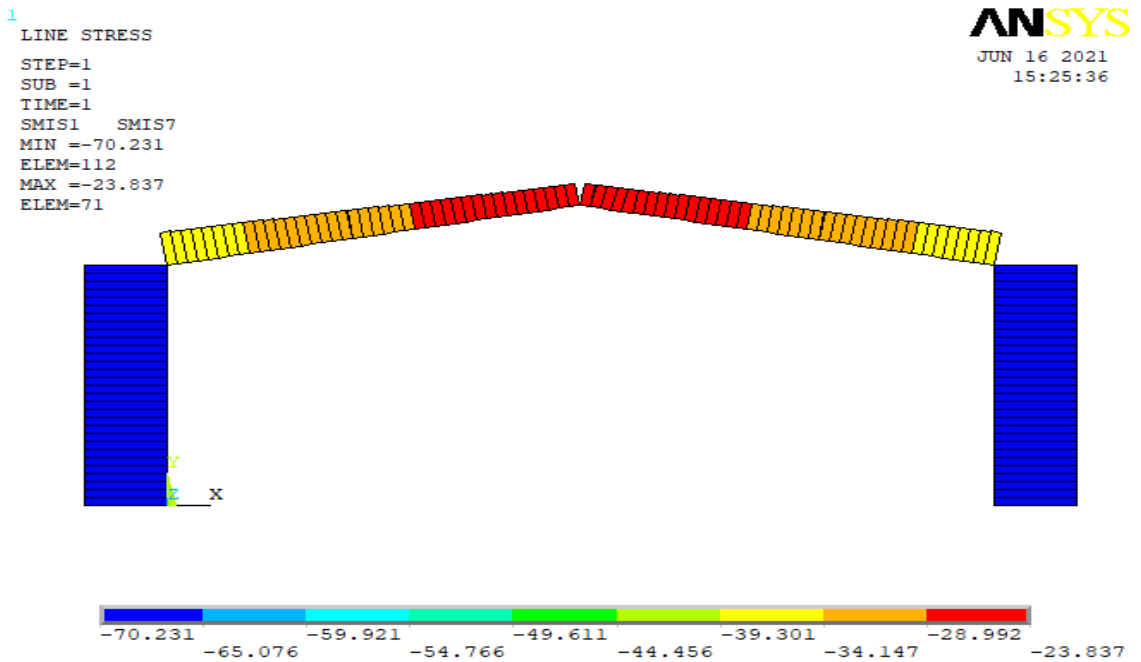
Sollicitations	Les moments (M en daNm)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	0	-16.27	11.67	-16.27	0
MEF-ANSYS	0	-14.451	10.457	-14.451	0
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	0	12.587%	11.59%	12.587%	0

Tableaux.4.1 : Des charges verticales vers le bas (Moments)



Sollicitations	Les efforts Tranchants (V en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	20.123	-66.67	-15.67	-66.67	-20.123
MEF-ANSYS	24.085	-59.589	-13.5649	-59.589	-24.085
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	16.45%	11.88%	15.52%	11.88%	16.45%

Tableaux.4.2- Des charges verticales vers le bas (efforts tranchants (V))



Sollicitations	Les efforts Normaux (N en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	-80.534	-26.27	-21.67	-26.27	-80
MEF-ANSYS	-70.231	-36.616	-25.837	-36.616	-70.231
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	14.67%	28.25%	16.13%	28.25%	13.91%

Tableaux.4.3- Des charges verticales vers le bas (efforts normaux (N))

4.2.2- Charges verticales vers le haut : (Vent de soulèvement)

Calcul sous la charge unitaire : $q=1daN/ml$

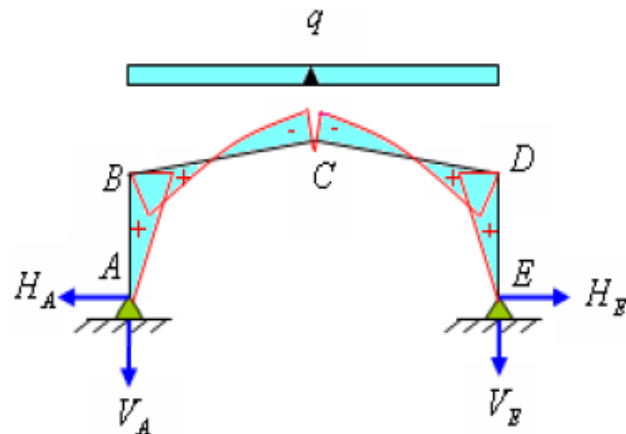
$$H_A=H_E=\beta \frac{ql^2}{8h} = 2.71daN$$

$$V_A=-\frac{ql}{2} = -18daN$$

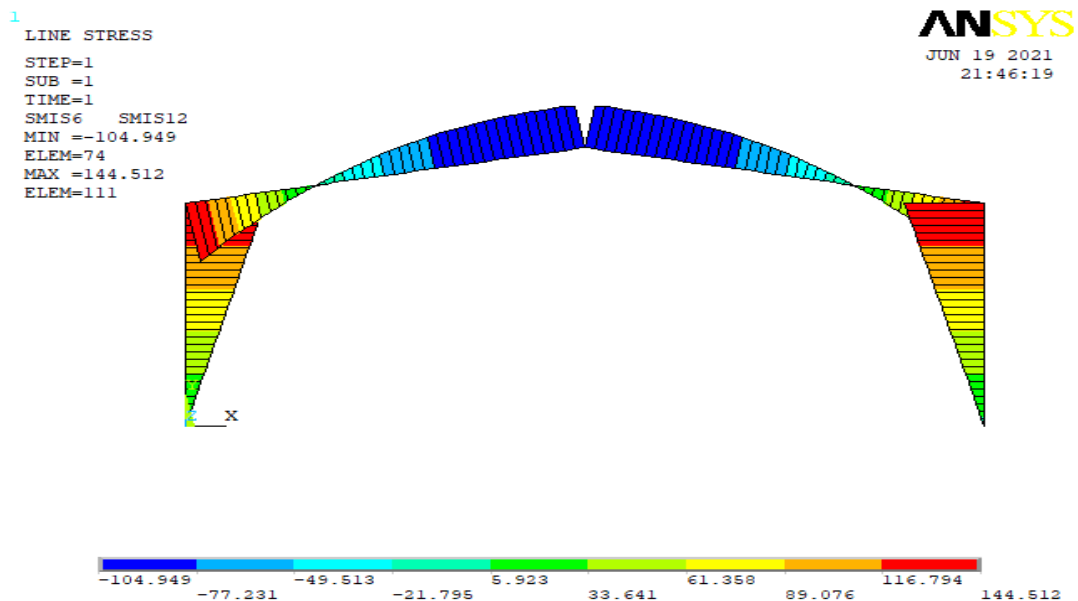
$$V_E=\frac{ql}{2} = 18daN$$

$$M_B=M_D=\beta \frac{ql^2}{8} = 16.27daNm$$

$$M_C = -0.3646 \times 32 = -11.67daNm$$

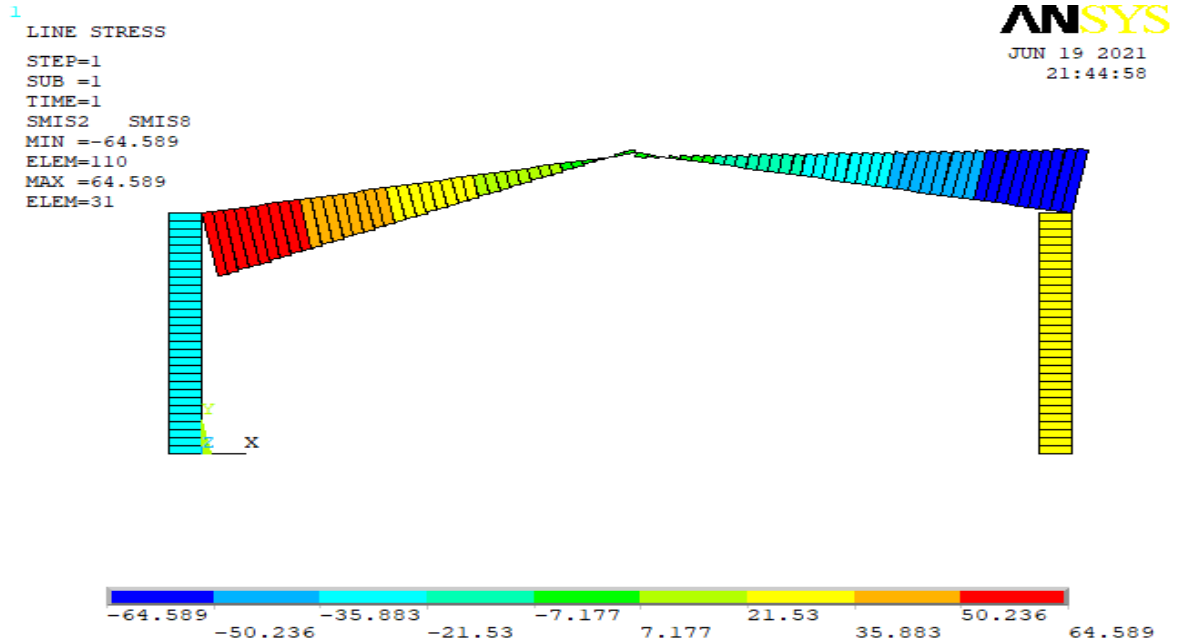


Résultats avec le logiciel ANSYS



Sollicitations	Les moments (M en daNm)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	0	16.627	-11.067	16.027	0
MEF-ANSYS	0	14.451	-12.457	14.451	0
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	0	15.06%	11.16%	15.06%	0

Tableaux.4.4 : Des charges verticales vers le haut (Moment(M))



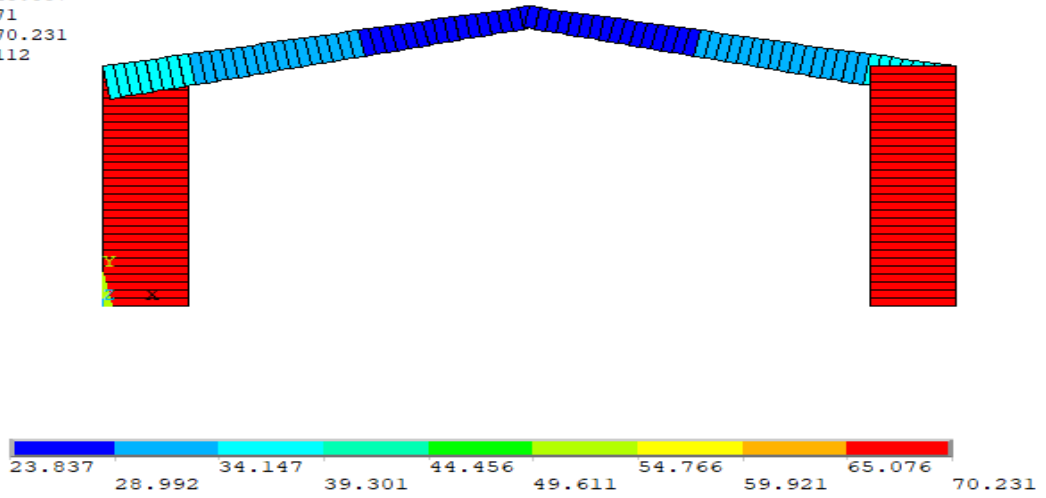
Sollicitations	Les efforts Tranchants (V en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	-18	+66.27	15.67	+66.27	18
MEF-ANSYS	-24.085	59.589	13.5649	59.589	24.085
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	25.26%	11.21%	15.52%	11.21%	25.26%

Tableaux.4.5- Des charges verticales vers le haut (efforts tranchants (V))

```

1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SMIS1 SMIS7
MIN =23.837
ELEM=71
MAX =70.231
ELEM=112
    
```

ANSYS
 JUN 19 2021
 21:45:43



Sollicitations	Les efforts Normaux (N en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	80.23	-46.27	+26.67	-46.27	80.23
MEF-ANSYS	70.231	36.616	23.837	36.616	70.231
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	14.24%	26.36%	11.88%	26.36%	14.24%

Tableaux.4.6- Des charges verticales vers le haut (efforts normaux (N))

4.2.3- Vent horizontal (pression)

Calcul sous la charge unitaire : $q=1daN/ml$

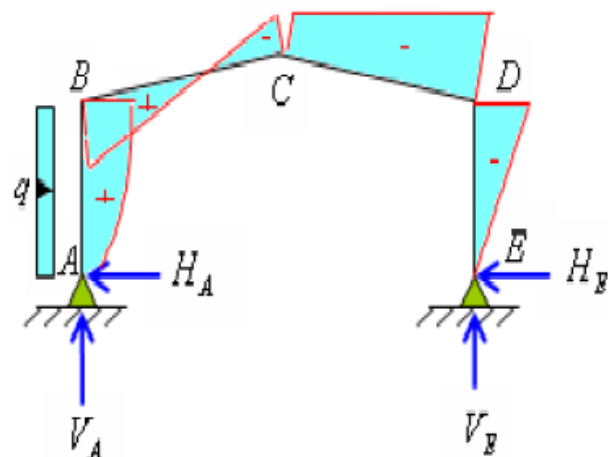
$$H_E = \delta \frac{qh}{2}$$

$$H_A = qh - H_E$$

$$V_A = -V_E = -\frac{qh^2}{2l}$$

$$M_B = \beta \frac{qh^2}{2}$$

$$M_D = -\delta \frac{qh^2}{2}$$



$$M_C = -\gamma \frac{qh^2}{2}$$

$$\delta = \frac{5K + 12 + 6\varphi}{8\Delta} = \frac{5 \times 0.737 + 12 + 6 \times 0.25}{8 \times 4.5495} = 0.4722$$

$$\beta = 1 - \delta = 1 - 0.4722 = 0.5278$$

$$\gamma = \delta(1 + \varphi) - \frac{1}{2} = 0.4722(1 + 0.25) - \frac{1}{2} = 0.0902$$

$$H_E = 0.4722 \frac{1.0 \times 6}{2} = 1.42 \text{ daN}$$

$$H_A = 1.0 \times 6 - 1.42 = 4.58 \text{ daN}$$

$$V_A = -41.125 \text{ daN}$$

$$V_E = -11.125 \text{ daN}$$

$$\frac{qh^2}{2} = 18 \text{ daNm}$$

$$M_B = 80.5 \text{ daNm}$$

$$M_D = -80.5 \text{ daNm}$$

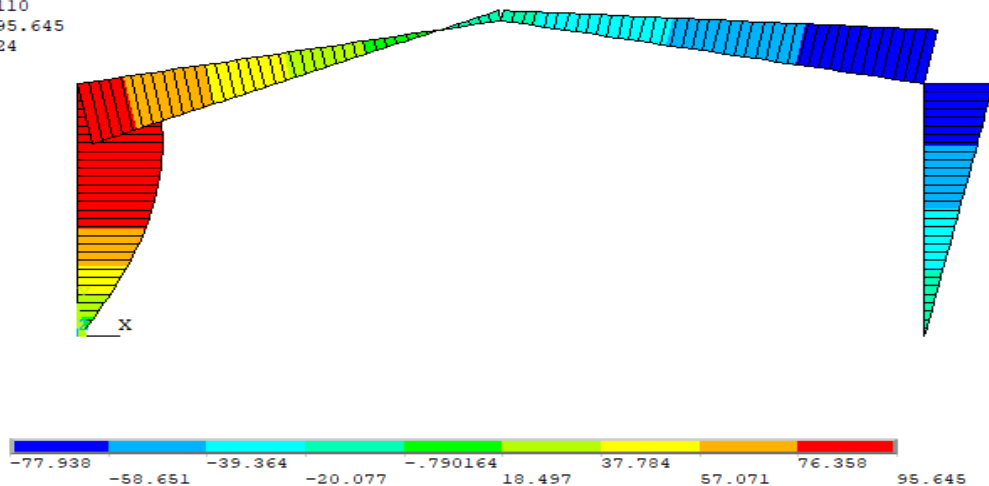
$$M_C = -11.62 \text{ daNm}$$

Résultats avec le logiciel ANSYS

```

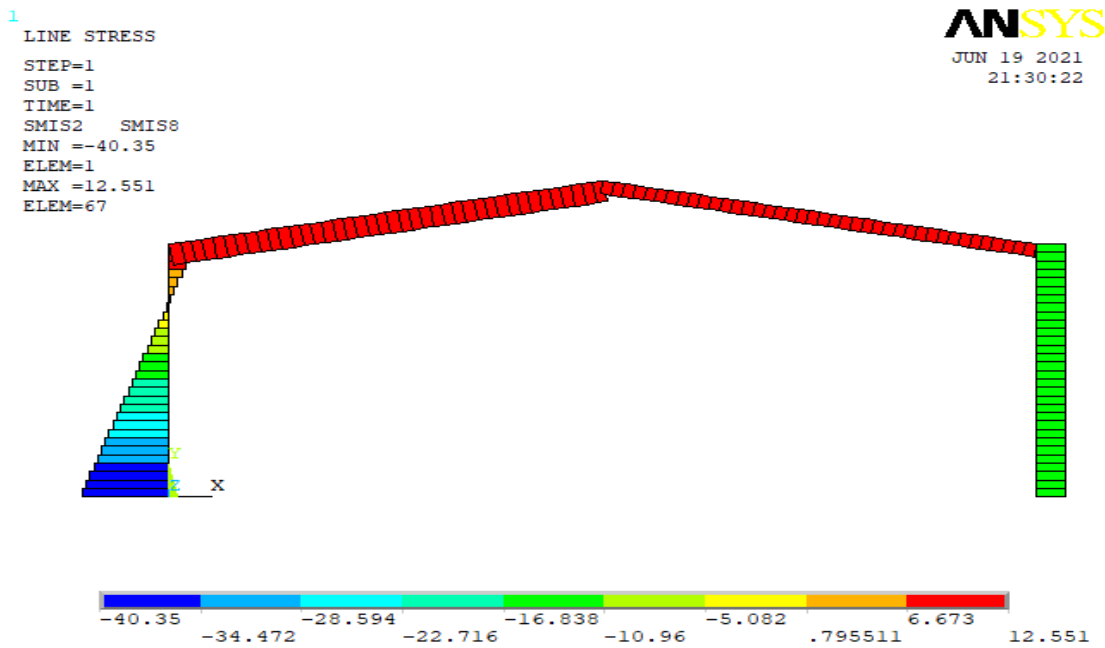
1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SMIS6 SMIS12
MIN =-77.938
ELEM=110
MAX =95.645
ELEM=24
    
```

ANSYS
JUN 19 2021
21:28:57



Sollicitations	Les moments (M en daNm)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	0	80.5	-11.62	-80.5	0
MEF-ANSYS	0	89.658	-14.746	-89.658	0
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	0	10.21%	21.20%	10.21%	0

Tableaux.4.7 : Des vents horizontaux (pression) ;(Moment(M))



Sollicitations	Les efforts Tranchants (V en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	-41.125	+8.50	+6.62	-9.5	-11.125
MEF-ANSYS	-49.350	11.212	7.7638	-12.990	-14.992
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	16.67%	24.19%	14.73%	26.87%	25.79%

Tableaux.4.8- Des vents horizontaux (pression) (efforts tranchants (V))

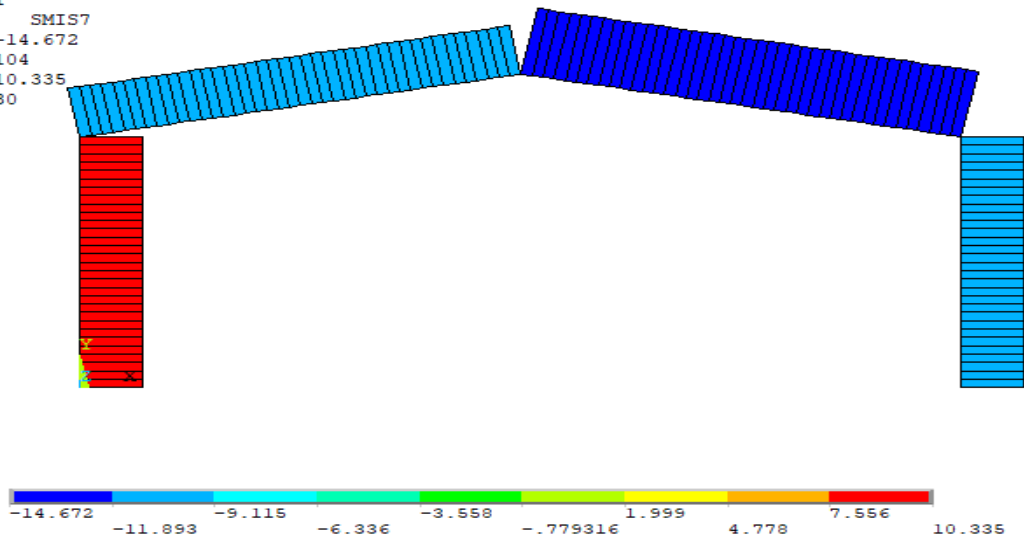
1

```

LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SMIS1 SMIS7
MIN =-14.672
ELEM=104
MAX =10.335
ELEM=30
    
```

ANSYS

JUN 19 2021
21:30:59



Sollicitations	Les efforts Normaux (N en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	8.5	16.27	-11.67	-16.27	-8.5
MEF-ANSYS	10.335	19.335	-14.672	-19.335	-10.335
Différence= $\frac{ANSYS-RDM}{ANSYS}$ En (%)	17.75%	15.85%	20.46%	15.85%	17.75%

Tableaux.4.9- Des vents horizontaux (pression) ;(efforts normaux (N))

4.2.4- Vent horizontal (dépression)

$$H_E = \delta \frac{qh}{2}$$

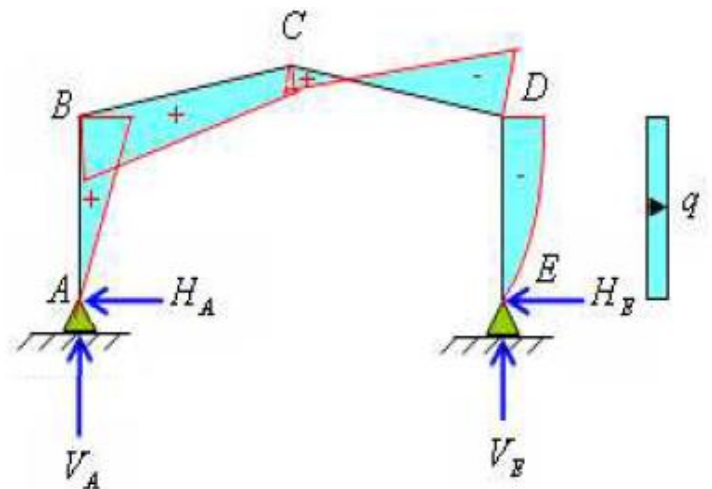
$$H_A = qh - H_E$$

$$V_A = -V_E = -\frac{qh^2}{2l}$$

$$M_B = -\beta \frac{qh^2}{2}$$

$$M_D = \delta \frac{qh^2}{2}$$

$$M_C = \gamma \frac{qh^2}{2}$$



$$\delta = \frac{5K + 12 + 6\varphi}{8\Delta} = \frac{5 \times 0.737 + 12 + 6 \times 0.25}{8 \times 4.5495} = 0.4722$$

$$\beta = 1 - \delta = 1 - 0.4722 = 0.5278$$

$$\gamma = \delta(1 + \varphi) - \frac{1}{2} = 0.4722(1 + 0.25) - \frac{1}{2} = 0.0902$$

$$H_E = 0.4722 \frac{1.0 \times 6}{2} = 1.42 daN$$

$$H_A = 1.0 \times 6 - 1.42 = 4.58 daN$$

$$V_A = -11.125 daN$$

$$V_E = -41.125 daN$$

$$\frac{qh^2}{2} = 18 daNm$$

$$M_B = 90.5 daNm$$

$$M_D = 70.5 daNm$$

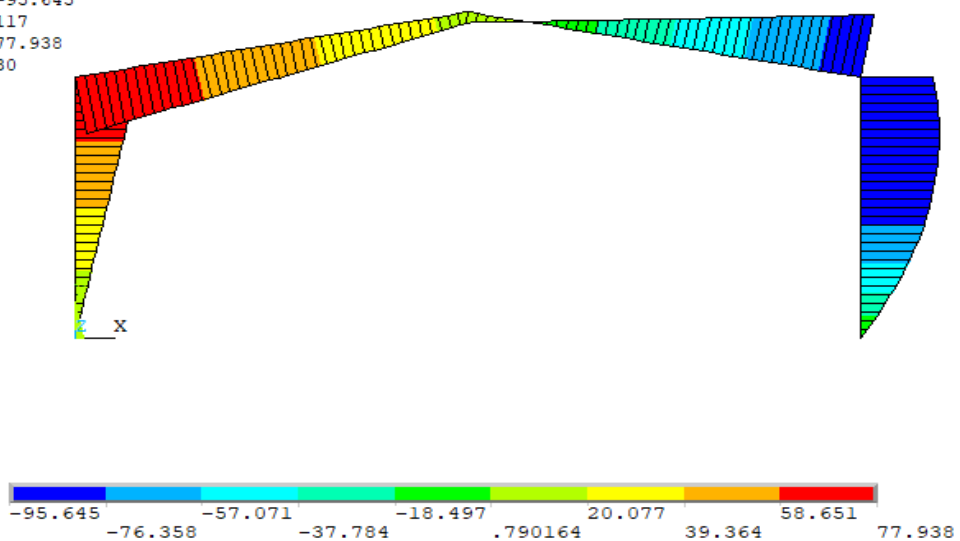
$$M_C = 11.62 daNm$$

Résultats avec le logiciel ANSYS

```

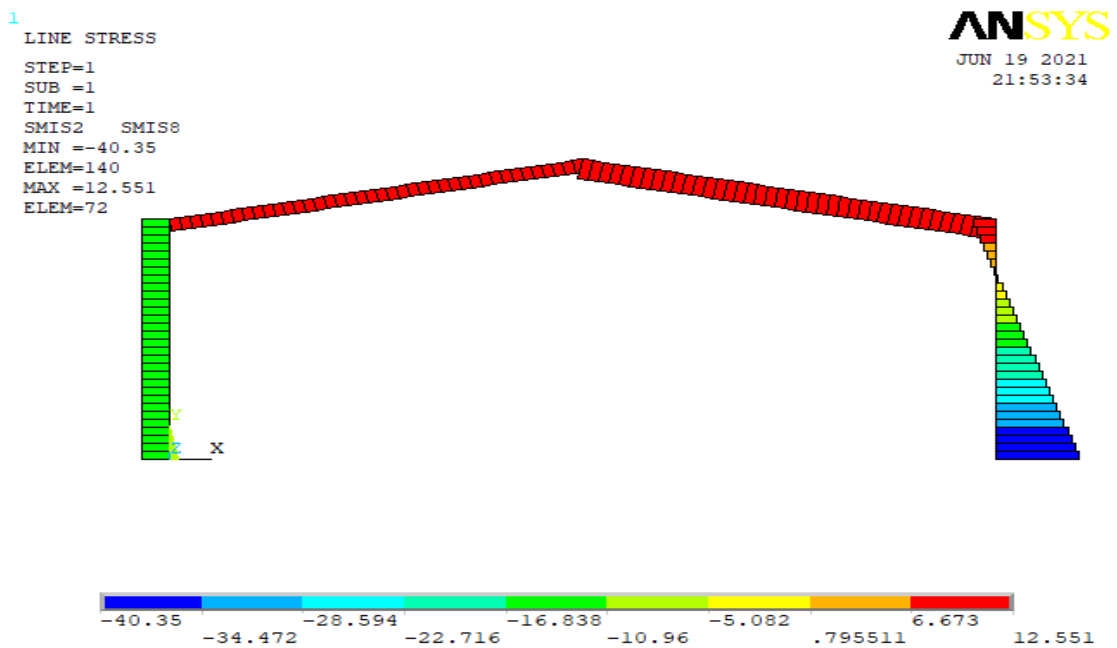
1
LINE STRESS
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SMIS6 SMIS12
MIN =-95.645
ELEM=117
MAX =77.938
ELEM=30
    
```

ANSYS
 JUN 19 2021
 21:53:03



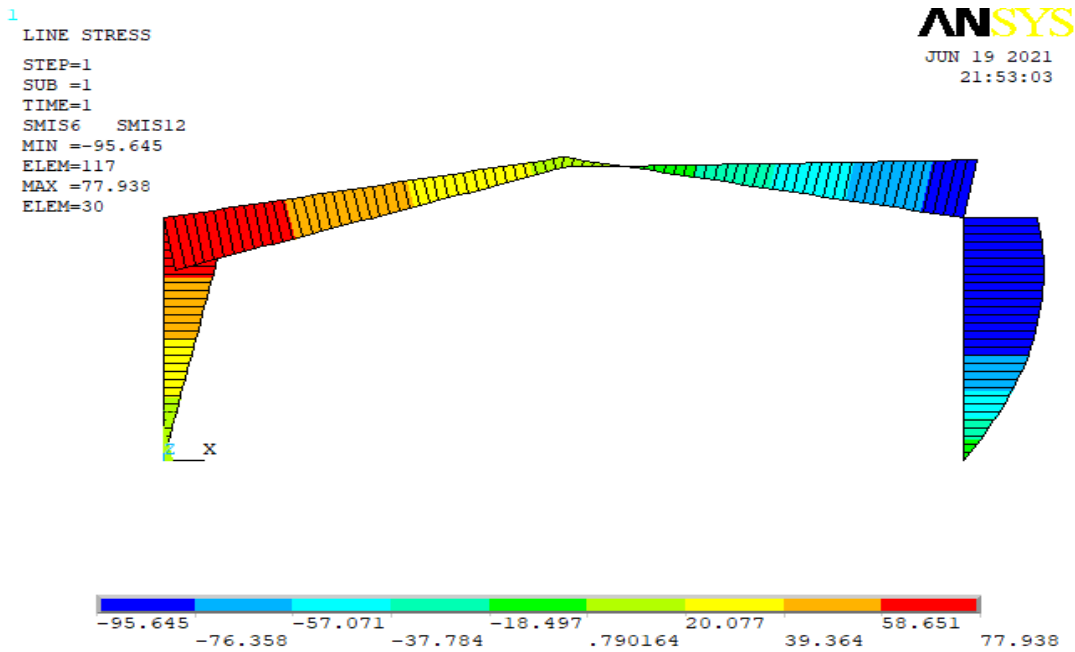
Sollicitations	Les moments (M en daNm)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	0	90.5	11.62	70.5	0
MEF-ANSYS	0	77.938	16.325	-84.862	0
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	0	16.12%	28.82%	16.92%	0

Tableaux.4.10 : Des vents horizontaux (dépression) ;(Moment(M))



Sollicitations	Les efforts Tranchants (V en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	-11.125	-10.50	6.62	9.5	-41.125
MEF-ANSYS	-12.990	-12.990	7.7638	11.212	-49.350
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	14.36%	19.17%	14.73%	15.26%	16.67%

Tableaux.4.11- Des vents horizontaux (dépression) ;(efforts tranchants (V))



Sollicitations	Les efforts Normaux (N en daN)				
	A	B	C	D	E
Méthode forfaitaire	8.5	16.27	11.67	-16.27	-8.5
MEF-ANSYS	10.335	19.435	14.672	-19.863	-10.335
Différence= $\frac{ANSYS-Forf}{ANSYS}$ En (%)	17.75%	16.28%	20.46%	18.09%	17.75%

Tableaux.4.12- Des vents horizontaux (dépression) ;(efforts normaux (N))

Commentaire et Recommandation :

Après une étude comparative entre la méthode forfaitaire et la MEF, pour le calcul des sollicitations sous les différentes charges, on a remarqué une grande différence des résultats qui a dépassée 10%.

A cet effet, on recommande de remplace la méthode forfaitaire pour la MEF en utilisant les logiciels d'analyse des structures, comme le SAP, ROBOT, ETABS,...etc.

Conclusion générale

Après une brève introduction, dans Le premier chapitre on a présenté la conception des portiques avec traverses à âme pleine, dans le deuxième chapitre, on a montré en détail la procédure de calcul des sollicitations par la méthode forfaitaire. Ensuite, dans le troisième chapitre, on a expliqué la modélisation des portiques par la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel ANSYS version 12.1. Une étude comparative entre les deux méthodes d'analyse a fait l'objet du chapitre quatre à travers des exemples d'application.

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

- La méthode forfaitaire donne des valeurs de sollicitations erronées
- La méthode forfaitaire ne peut pas traitée le cas des portiques multiples sollicités par des sollicitations combinées verticales et horizontales
- Le calcul des sollicitations par la méthode forfaitaire est pénible et fastidieux

Perspectives

- On recommande de remplacer la méthode
- On propose de poursuivre cette étude sur la comparaison entre les méthodes forfaitaires et la MEF pour l'analyse du comportement des portiques sous l'action des charges sismiques.

Références bibliographiques

- [1] **A. ZABIHOLLAH** – Finite Element Analysis, Department of Mechanical & Industrial Engineering. Concordia University, 2007.
- [2] **DAHMANI LAHLOU** (calcul des éléments de construction métallique selon l'eurocode3).
- [3] **Jean Morel**- Calcul des structures métalliques selon l'Eurocode 3.
- [4] **MAZOZ Aida** (2019)-Méthode des éléments finis, Cours et TP-Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi – Bordj Bou Arreridj.
- [5] **Présentation des outils ANSYS** – ANSYS Inc., ansys.com.
- [6] **Règlement neige et vent « RNV99 »** (D.T.R. C 2- 4.7) MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie).
- [7] **Règlement parasismiques algériens « RPA 99 version 2003 »** MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie).
- [8] **Y. NAKASONE, S. YOSHIMOTO et T. A. STOLARSKI**- Engineering Analysis with ANSYS Software. Elsevier, elsevier.com.



ANNEXE

Annexe

A.1- Efforts internes : Portique articule

Coefficients :

$$K = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{s}$$

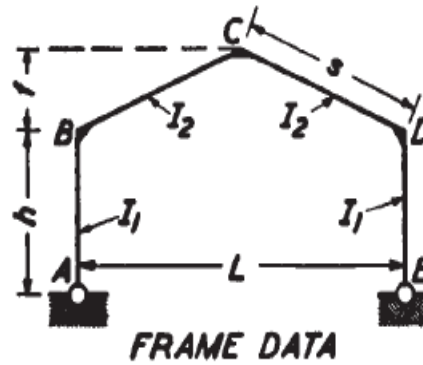
$$\phi = \frac{f}{h}$$

$$m = 1 + \phi$$

$$B = 2(K+1) + m$$

$$C = 1 + 2m$$

$$N = B + mC$$



A.1.1- Charges verticales vers le bas : (Charges permanentes et Surcharge de neige)

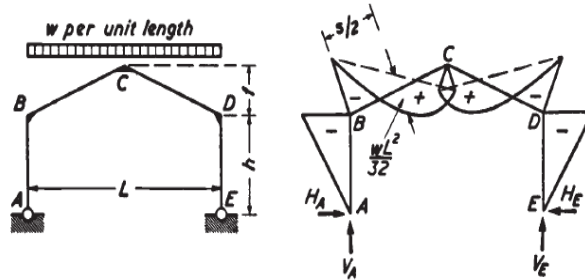
Calcul sous la charge unitaire : w

$$M_B = M_D = -\frac{wL^2(3 + 5m)}{16N}$$

$$M_C = \frac{wL^2}{8} + mM_B$$

$$H_A = H_E = -\frac{M_B}{h}$$

$$V_A = V_E = \frac{wL}{2}$$



A.1.2- Vent horizontal (pression)

Calcul sous la charge unitaire : w

$$M_D = -\frac{wh^2}{8} \cdot \frac{2(B+C)+K}{N}$$

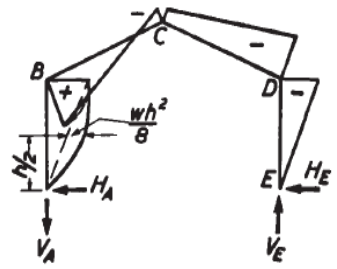
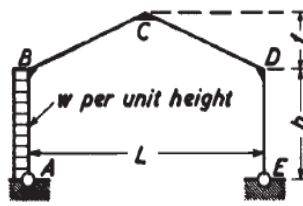
$$M_B = \frac{wh^2}{2} + M_D$$

$$M_C = \frac{wh^2}{4} + mM_D$$

$$V_A = -V_E = -\frac{wh^2}{2L}$$

$$H_E = -\frac{M_D}{h}$$

$$H_A = -(wh - H_E)$$



A.1.3- Effort vertical de Pont Roulant : P

Constant : $a_1 = \frac{a}{h}$

$$M_B = M_D = Pc \cdot \frac{\phi C + k(3a_1^2 - 1)}{N}$$

$$M_C = -\phi Pc + mM_B$$

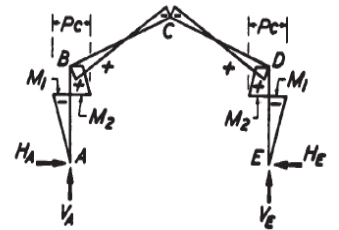
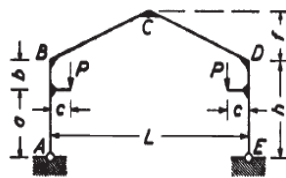
$$H_A = H_E = \frac{Pc - M_B}{h}$$

$$V_A = V_E = P$$

$$M_1 = -a_1(Pc - M_B)$$

$$M_2 = (1 - a_1)Pc + a_1M_B$$

$$a = \frac{2}{3}h \quad b = \frac{1}{3}h \quad c = \frac{1}{2}h$$



A.2- Efforts internes : Portique encastre

Coefficients :

$$k = \frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{h}{s}$$

$$\phi = \frac{f}{h}$$

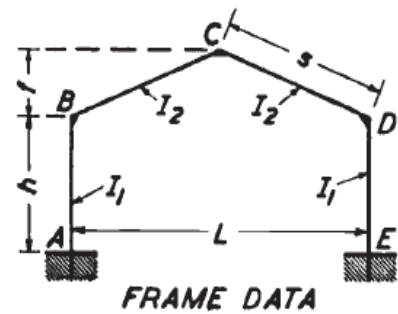
$$m = 1 + \phi$$

$$B = 3k + 2$$

$$C = 1 + 2m$$

$$k_1 = 2(k + 1 + m + m^2)$$

$$k_2 = 2(k + \phi^2)$$



$$R = \phi C - k$$

$$N_1 = k_1 k_2 - R^2$$

$$N_2 = 3k + B$$

A.2.1- Charges verticales vers le bas : (Charges permanentes et Surcharge de neige)

Calcul sous la charge unitaire : w

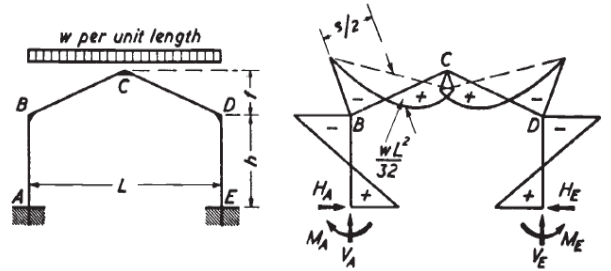
$$M_A = M_E = \frac{wL^2}{16} \cdot \frac{k(8 + 15\phi) + \phi(6 - \phi)}{N_1}$$

$$M_B = M_D = -\frac{wL^2}{16} \cdot \frac{k(16 + 15\phi) + \phi^2}{N_1}$$

$$M_C = \frac{wL^2}{8} - \phi M_A + m M_B$$

$$V_A = V_E = \frac{wL}{2}$$

$$H_A = H_E = \frac{M_A - M_B}{h}$$



A.2.2- Vent horizontal (pression)

Calcul sous la charge unitaire : w

Constants :

$$X_1 = \frac{wh^2}{8} \cdot \frac{k(k + 6) + k\phi(15 + 16\phi + 6\phi^2)}{N_1}$$

$$X_2 = \frac{wh^2 k(9\phi + 8\phi^2 - k)}{8N_1}$$

$$X_3 = \frac{wh^2(2k + 1)}{2N_2}$$

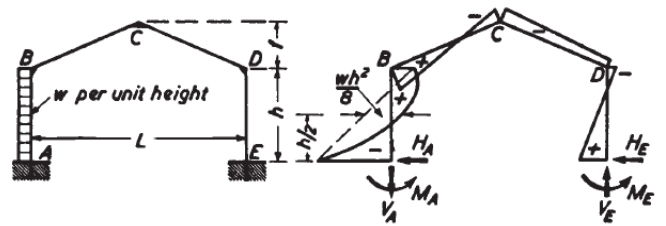
$$M_A = -X_1 - X_3$$

$$M_B = +X_2 + \left(\frac{wh^2}{4} - X_3\right)$$

$$M_E = -X_1 + X_3$$

$$M_D = +X_2 - \left(\frac{wh^2}{4} - X_3\right)$$

$$M_C = -\frac{whf}{4} + \phi X_1 + m X_2$$



$$V_A = -V_E = -\frac{wh^2}{2L} + \frac{2X_3}{L}$$

$$H_E = \frac{wh}{4} - \frac{X_1 + X_2}{h}$$

$$H_A = -(wh - H_E)$$

A.2.3 Effort vertical de Pont Roulant : P

Constants : $a_1 = \frac{a}{h}$ $b_1 = \frac{b}{h}$

$$Y_1 = Pc[2\phi^2 - (1 - 3b_1^2)k]$$

$$Y_2 = Pc[\phi C + (3a_1^2 - 1)k]$$

$$M_A = M_E = \frac{Y_2 R - Y_1 k_1}{N_1}$$

$$M_B = M_D = \frac{Y_2 k_2 - Y_1 R}{N_1}$$

$$M_C = -\phi(Pc + M_A) + mM_B$$

$$V_A = V_D = P$$

$$H_A = H_E \frac{Pc + M_A - M_B}{h}$$

$$M_1 = M_A - H_A a$$

$$M_2 = M_B + H_E b$$

$$a = \frac{2}{3}h \quad b = \frac{1}{3}h \quad c = \frac{1}{2}h$$

