



# REMRCIEMENT

Au nome Dieu, merci au Dieu très haut gloire à tout puissant pour réaliser à ce modeste travail

Ainsi remercier tous ceux qui ont participé dans aide près ou de loin qui arrive à réaliser ce travail

Aussi bien que remercier tout à:

Nos parents à tous qui m'ont donnés l'aide

Notre encadreur: TITOU MESSAOUD : pour avoir accepté de diriger ce travail responsable et de conseil.

A tous les enseignants respectueux qui ont contribué à notre formation.

A tous qui n'a épargné aucune force d'encouragement et d'aide pour accomplissement de ce modeste travail.

Hassen et Oussama



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui m'a enseigné la science et veiller à mon études à tous ceux utilisant la science au service de bien de l'humanité.

- A ma mère

- A mon père.

A ma chère épouse.

- A toute ma famille.

- A tous mes amis.

- A mon binôme.

- A la promotion de GC 2020-2021.

- A tous ceux qui nous ont présenté de l'aide qui arrive à cette réalisation

Hassen. Z

# DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui m'a enseigné la science et veiller à mon études à tous ceux utilisant la science au service de bien de l'humanité.

- A ma mère

- A mon père.

- A toute ma famille.

- A tous mes amis.

- A mon binôme.

- A la promotion de GC 2020-2021.

- A tous ceux qui nous ont présenté de l'aide qui arrive à cette réalisation

Oussama. G

## Sommaire

1. Introduction générale.....	1
<b>Chapitre 01 : Présentation du sujet</b>	
1. Définition les portiques à fermes treillis .....	4
2. Conception des portiques avec fermes à treillis .....	4
2.1 Portiques avec fermes à treillis .....	5
3.1 Typologie des fermes à treillis.....	5
A. Ferme Anglaise .....	6
B. Ferme Américaine.....	6
C. Ferme Belge .....	7
D. Ferme Mansardes.....	8
E. Ferme shed.....	8
2.3 Géométrie générale des fermes de toiture.....	
3. Les éléments constituants de portique.....	
3.1 Les fermes treillis.....	
3.2 Poteaux.....	
3.3 Contreventements.....	
3.4 Éléments secondaires.....	
3.4.1 Le bardage et la couverture.....	
3.4.2 Les pannes et les lisses.....	
3.4.3 Les potelets.....	
4. Etude des Assemblages de portique.....	
4.1 Introduction .....	
4.2 Définition.....	
4.3 Fonctionnement des assemblages.....	
4.4 Classification des assemblages.....	

4.5 Assemblages.....	.....
4.5.1 Assemblage de jarret.....	.....
4.5.2 Assemblage de faîtage .....	.....
4.6 Types de boulons utilisés .....	.....
4.7 Base des poteaux .....	.....
4.8 Conclusion.....	.....

### Chapitre 02 :

1. Calcul des sollicitations par la méthode forfaitaire (Méthode des nœuds) :
2. Exemple De Calcule (ferme triangulaire) :.....

### Chapitre 03 :

1. Analyse Des Portique Par La Methode Des Element Finis

### Chapitre 04 :

1. Exemple d'application :
2. Calcul d'un ferme de toiture :

## Liste Figure

<b>Figure 1</b> .....	4
<b>Figure 2</b> .....	6
<b>Figure 3</b> .....	6
<b>Figure 4</b> .....	7
<b>Figure 5</b> .....	8
<b>Figure 6</b> .....	8
<b>Figure 7</b> .....	10
<b>Figure 8</b> .....	11
<b>Figure 9</b> .....	12
<b>Figure 10</b> .....	13
<b>Figure 11</b> .....	14
<b>Figure 12</b> .....	16
<b>Figure 13</b> .....	17
<b>Figure 14</b> .....	17
<b>Figure 15</b> .....	18
<b>Figure 16</b> .....	19
<b>Figure 17</b> .....	20
<b>Figure 18</b> .....	21
<b>Figure 19</b> .....	21
<b>Figure 20</b> .....	24
<b>Figure 21</b> .....	25
<b>Figure 22</b> .....	26
<b>Figure 23</b> .....	29
<b>Figure 24</b> .....	30

<b>Figure 25</b> .....	30
<b>Figure 26</b> .....	31
<b>Figure 27</b> .....	32
<b>Figure 28</b> .....	33
<b>Figure 29</b> .....	52

## Résumé

Notre projet de fin d'études est une modélisation par éléments finis des portiques avec fermes à treillis des halles métalliques avec des poteaux en acier encastré.

On a pour cela décomposé notre étude en parties. La première partie comprend la conception des halles métalliques à fermes treillis et calcul les efforts internes par la méthode des nœuds.

La deuxième partie consiste à une modélisation des portiques avec traverses avec fermes à treillis par logiciel **ANSYS 12.01**.



***Introduction  
générale***

# 1. Introduction générale:

## 1. Généralité

La charpente métallique est très large et vaste dans le domaine de génie civil , l'ingénieur ou technicien structure de bureau d'études doit concevoir puis dimensionner l'ouvrage de manière à fournir à l'entreprise exécutante les plans nécessaires à sa réalisation. Très souvent, celui-ci utilisera un outil de 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.

#### **a) 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.

#### **b) 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 ferme à treillis en utilisant le logiciel ANSYS.

#### **c) Méthodologie**

Ce manuscrit est divisé en quatre 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 portiques avec ferme à treillis, 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.

# ***Chapitre 01***

1. Définition les portiques à fermes treillis.
2. Conception des portiques avec fermes à treillis.
3. Les éléments constituant le portique.
4. Assemblage.
5. Fixation des pieds de poteaux au sol.

## 1.1-Définition les portiques à fermes treillis :

Les fermes sont les poutres maîtresses d'un comble. Elles sont constituées le plus souvent, par un système triangulé dont la membrure supérieure appelée arbalétrier, est située sous la surface extérieure du comble. Les extrémités de cette membrure sont reliées à la membrure inférieure, appelée entrait, par les goussets de retombée. Les deux membrures sont réunies par un système à treillis comprenant montants et diagonales. Les fermes prennent appui, soit sur des poteaux, soit sur des murs, et parfois sur des sablières. On considère dans le présent chapitre les fermes légères à âme simple destinées à supporter la couverture, dites de toiture.

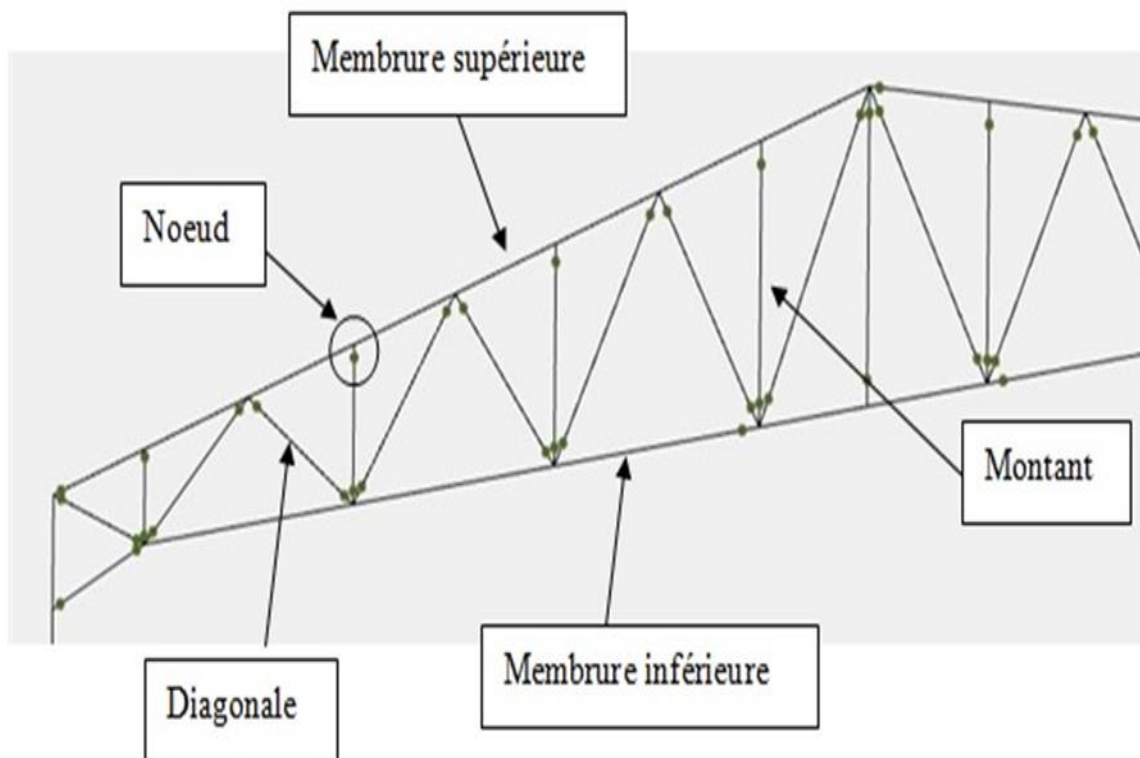


Figure 1.1 : portiques à fermes treillis

## **1.2-Conception des portiques:**

La conception structurale est la phase initiale de l'étude d'une ossature de bâtiment. Elle est considérée comme étant la phase la plus importante, puisque le dimensionnement des éléments porteurs et des fondations, les estimations des coûts et des délais d'exécution dépendent fortement de ses résultats. Elle doit être conduite en respectant les règles d'art de la construction et en satisfaisant au mieux les contraintes architecturales et celles du site.

### **1.2.1 portiques avec fermes à treillis :**

Les fermes à treillis constituent un type particulier d'élément porteur de la toiture des halles, Elles constituent souvent la solution la plus légère pour réaliser les traverses des portiques, Elles sont utilisées en général pour de grande portées, mais peuvent également convenir pour des portées plus faibles (traverses à treillis légères)

Ces fermes sont constituées d'une membrure supérieure, d'une membrure inférieure et d'un treillis constitué de montants et de diagonales assemblées dans des nœuds selon leur forme générale.



### **1.2.2- Typologie des fermes à treillis :**

Il existe divers sorte de treillis, de forme triangulaire, trapézoïdale ou droite. Les treillis sont en (**N**, **V**, **K**,.....etc). Les différences entre ces fermes portent sur l'inclinaison relative des membrures ainsi que de la forme de la triangulation, on site :

### a)-Ferme Anglaise :

Caractérisée par une triangulation dont les montants sont perpendiculaires aux diagonales inclinées de telles façons que leur point haut situé vers le faîtage. de portée entre 7 à 14m et inclinaison entre  $30^\circ$  et  $45^\circ$ , ferme anglaise à entrain droit ferme anglaise à entrain brisé.


#### 1/Ferme a deux versant droit:

Type de ferme	description	portée	inclinaison
<p><b>Ferme anglaise:</b></p>  <p>Ferme anglaise a entrain droit</p>  <p>Ferme anglaise a entrain brisé</p>	<p>Caractérisée par une triangulation dont les montants sont perpendiculaire au diagonales inclinés de tels façon que leur point haut situé vers le faîtage.</p>	7 a 14 m	$30^\circ$ a $45^\circ$

**Figure1.2 : Ferme Anglaise**

### b)-Ferme Américaine :

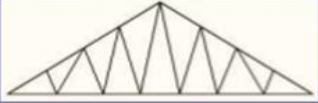



Elles diffèrent de la ferme anglaise par la direction des diagonales. de portée 6 à 10 m et inclinaison entre  $30^\circ$  à  $45^\circ$  Ferme américaine a entrain brisé une Ferme a deux versant droit.

<p><b>Ferme américaine:</b></p>  <p>Ferme américaine a entrain brisé</p>	<p>Elle diffèrent de la ferme anglaise par la direction des diagonales .</p>	6 a 10 m	$30^\circ$ a $45^\circ$
---	--	----------	-------------------------

**Figure1. 3 : Ferme Américaine**

**c)-Ferme Belge :**

Elle est caractérisée par les montants qui sont perpendiculaires à l'arbalétrier. 6 a 10 m  
 30° à 45° Ferme belge a entrain brisé Ferme belge a entrain droit Ferme sous-tendue:  
 Type de ferme utilisé pour les ouvrages qui nécessite un plan dégagé.de portée 15 à 30  
 m et inclinaison entre 30° à 45° A entrain droit a entrain brisé.

<p><b>Ferme belge :</b></p>  <p>Ferme belge a entrain droit</p>  <p>Ferme belge a entrain brisé</p>	<p>Elle est caractérisée par les montants qui sont perpendiculaires à l'arbalétrier.</p>	<p>6 a 10 m</p>	<p>30° a 45°</p>
<p><b>Ferme sous-tendue:</b></p>  <p>A entrain droit</p>  <p>a entrain brisé</p>	<p>Type de ferme utilisé pour les ouvrages qui nécessite un plan dégagé</p>	<p>15 a 30 m</p>	<p>30° a 45°</p>

**Figure1. 4 : Ferme Belge**

#### d)-Ferme Mansard

C'est le type classique de ferme utilisé pour les constructions à deux versants brisés. 6 à 14m 30° à 45° Ferme mansard simple a pane intermédiaire deux Ferme a versants brisés.

#### 2/Ferme a versants brisés:

<p><b>Ferme mansard</b></p>  <p><b>Ferme mansard simple</b></p>  <p><b>Ferme mansard à pane intermédiaire</b></p>	<p>C'est le type classique de ferme utilisé pour les constructions à deux versants brisés.</p>	<p>6 à 14m</p>	<p>30° à 45°</p>
--	--	----------------	------------------

**Figure 1.5 : Ferme Mansard**

#### e)-Ferme shed :

Convient aux bâtiments industriels et commerciaux qui ont besoin beaucoup de lumière. de portée 15 à 120 m et inclinaison entre 30° à 45°.

<p><b>Ferme shed</b></p>  	<p>Convient aux batiments industrielle et commerciaux qui ont besoin baucoups de lumiere.</p>	<p>15 à 120 m</p>	<p>30° à 45°</p>
--	---	-------------------	------------------

**Figure 1.6 : Ferme shed**

### 1.3 Géométrie générale des fermes de toiture :

- Les treillis fournissent généralement une solution économique pour des portées supérieures à 20 ou 25 m
- Le rapport portée sur hauteur de la poutre doit être compris dans un intervalle de 10 à 15
- L'inclinaison des diagonales par rapport aux membrures doit être comprise entre  $35^\circ$  et  $55^\circ$
- Les charges ponctuelles doivent impérativement être appliquées aux nœuds
- L'orientation des diagonales doit être telle que les barres les plus longues soient tendues (seules les plus courtes sont susceptibles d'être comprimées).

#### 1.3.1-Les éléments constitutants de portique :

##### a)- Les fermes treillis :

Les fermes treillis sont composées généralement d'éléments jumelés afin d'éviter toute dissymétrie et se prémunir ainsi contre les sollicitations de flexion gauche, de torsion et de déversement.

Les membrures sont constituées de doubles cornières, simples ou renforcées de plats, de double U, de T ou de profils creux (ronds ou carrés).

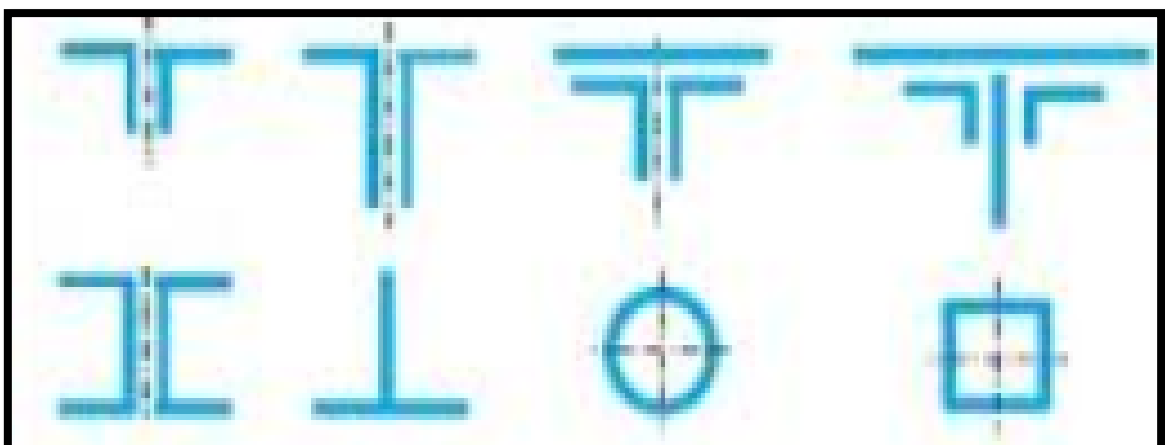
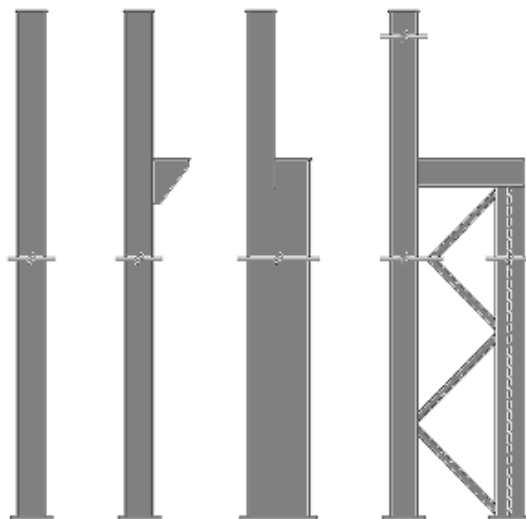


Figure 1.7 : Les fermes treillis

### b)-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 1.8**.



*Figure 1.8 : Différents types de poteaux*

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.

### c)-Contreventements :

Un portique est stable dans son propre plan, mais doit être contreventé pour en assurer la stabilité hors plan. Ceci se fait généralement au moyen d'un contreventement (souvent composé d'éléments en cornières ou tubulaires) dans le plan de la toiture, entre les portiques externes. Il peut être approprié d'utiliser une poutre au vent pour qu'elle transmette les charges latérales vers les portiques en pignon qui sont alors contreventés.

Le contreventement horizontal d'une toiture (poutre au vent) fonctionne à la manière d'une poutre s'appuyant contre des contreventements verticaux. En général, les pannes servent de membrures et la poutre à treillis est complète une fois que des diagonales lui sont ajoutées.

Les contreventements verticaux sont disposés dans les lignes de poteaux et se servent des poteaux comme éléments de membrure. Pour minimiser les effets des changements de températures dans les bâtiments longs, il est recommandé de disposer les treillis le plus près possible du milieu du bâtiment **Figure 1.9**.

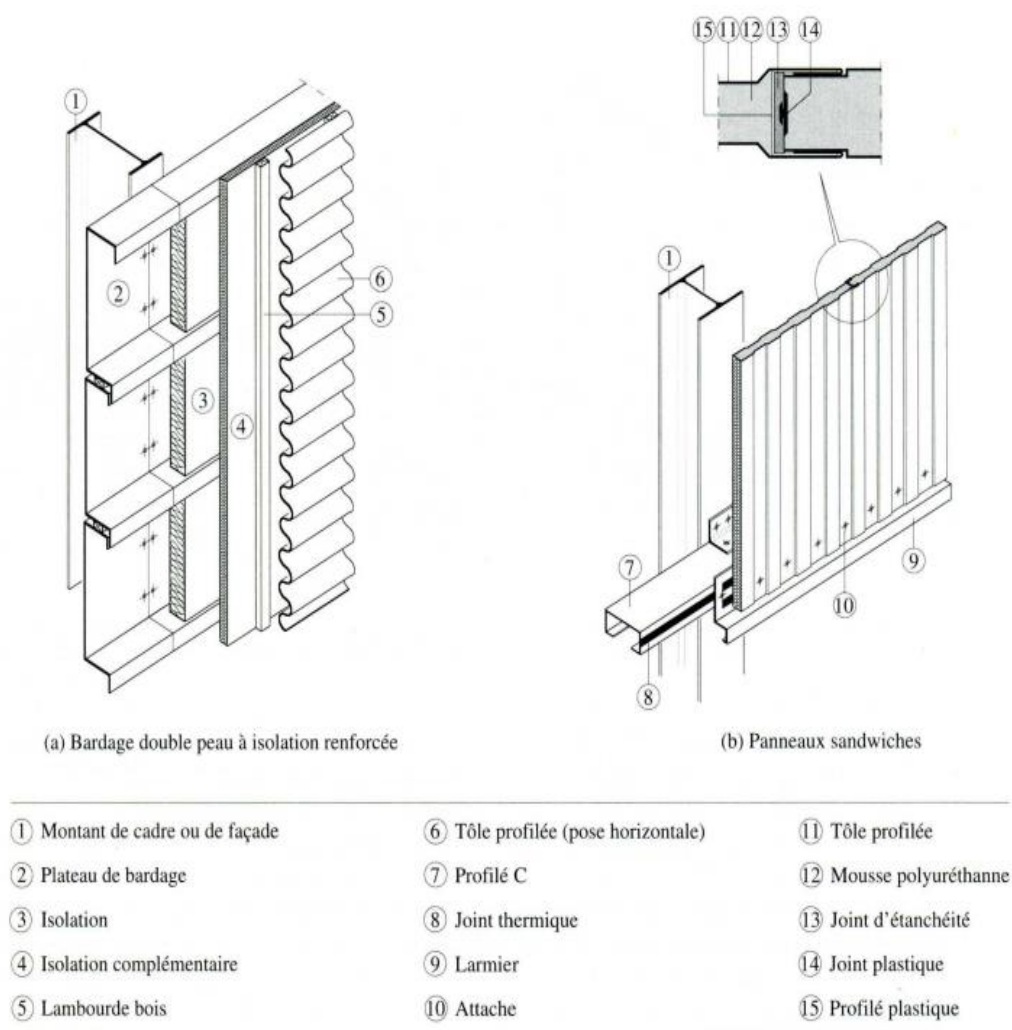


*Figure1. 9 : Détails du contreventement*

## 1.4 Éléments secondaires :

### 1.4.1 Le bardage et la couverture :

Le bardage et la couverture d'un bâtiment à un seul niveau recouvrent la structure principale sur laquelle ils s'appuient soit directement, sur un système de pannes et de lisses qui constitue une ossature secondaire **Figure 10**.

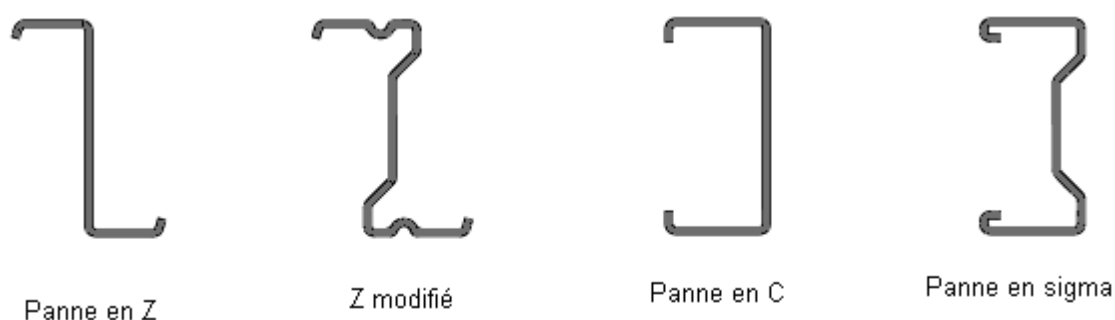


**Figure 1. 10 : Bardage double peau et panneau sandwichs**

### 1.4.2 Les pannes et les lisses :

Sont généralement espacées de 1,5 à 2,0m pour conférer les maintiens nécessaires le long des traverses et des poteaux. Il s'agit également là d'un espacement optimal pour la plupart des profilés de bardage et de couverture.

Les pannes et les lisses sont généralement des profilés laminés mais pour des raisons économiques, elles sont des profilés formés à froid, qui sont des variantes de sections en Z ou en C. La (Figure 11) présente quelques-unes des formes les plus courantes



*Figure 1.11. Profilés formés à froid pour des pannes ou des lisses*

### 1.4.3 Les potelets :

Sont le plus souvent des profilés en **I** ou **H** destinés à rigidifier la clôture (bardage) et résister aux efforts horizontaux du vent. Ils sont considérés comme articulés dans les deux extrémités.

## 1.5-Etude des Assemblages de portique :

### 1.5.1- Introduction :

La conception et le calcul des assemblages ont une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces constituant la structure. En effet, les assemblages constituent un dispositif qui permet de réunir et de solidariser les pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations régnant dans les différents composants structurels, En cas de défaillance d'un assemblage, c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est remis en cause. Le calcul des différents éléments structuraux est fait selon le règlement EC3.

### 1.5.2- Définition :

Un assemblage est un dispositif qui permet de réunir et de solidariser plusieurs pièces entre elles, en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces, sans générer de sollicitations parasites.

En construction métallique, les éléments à assembler peuvent être placés :

- ❖ Soit bout à bout (éclissage, rabouages) ;
- ❖ Soit concourantes (attaches poutre/poteau, treillis et système articulés).

### 1.5.3- Fonctionnement des assemblages :

Les principaux modes d'assemblage sont :

- ❖ Le boulonnage ;
- ❖ Le soudage.

On distingue deux principaux modes de fonctionnement des assemblages :

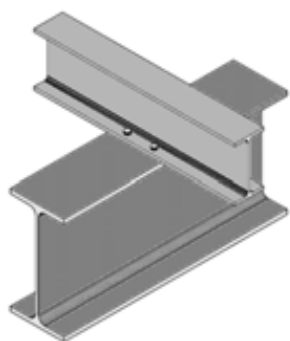
- ❖ Fonctionnement par obstacle : c'est le cas des boulons ordinaires, non précontraints, dont les tiges reprennent les efforts et fonctionnement au cisaillement.
  
- ❖ Fonctionnement par adhérence : dans ce cas, la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact, cela concerne le soudage, et le boulonnage par boulons HR.

### 1.5.4- Classification des assemblages :

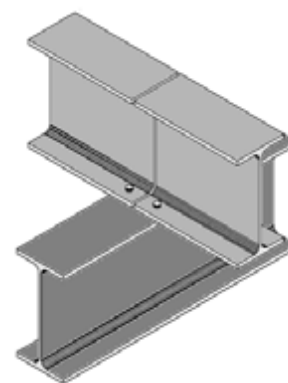
Les assemblages peuvent être classés en fonction de :

- ❖ Leur rigidité.
- ❖ Leur résistance.

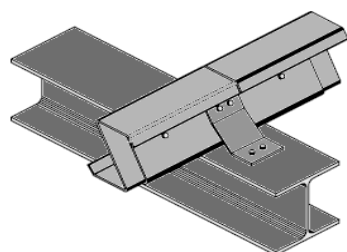
Il est recommandé d'utiliser des échantignolles pour fixer les pannes aux traverses et les lisses aux poteaux. La **Figure 1.12**, présente des détails d'assemblages types.



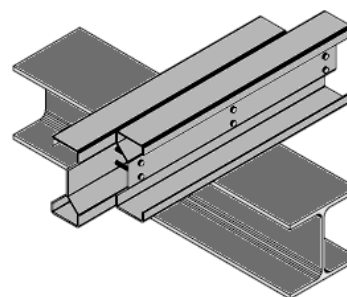
Appui pour panne continue en acier  
Laminé



Appui pour panne simplement  
appuyée en acier laminé

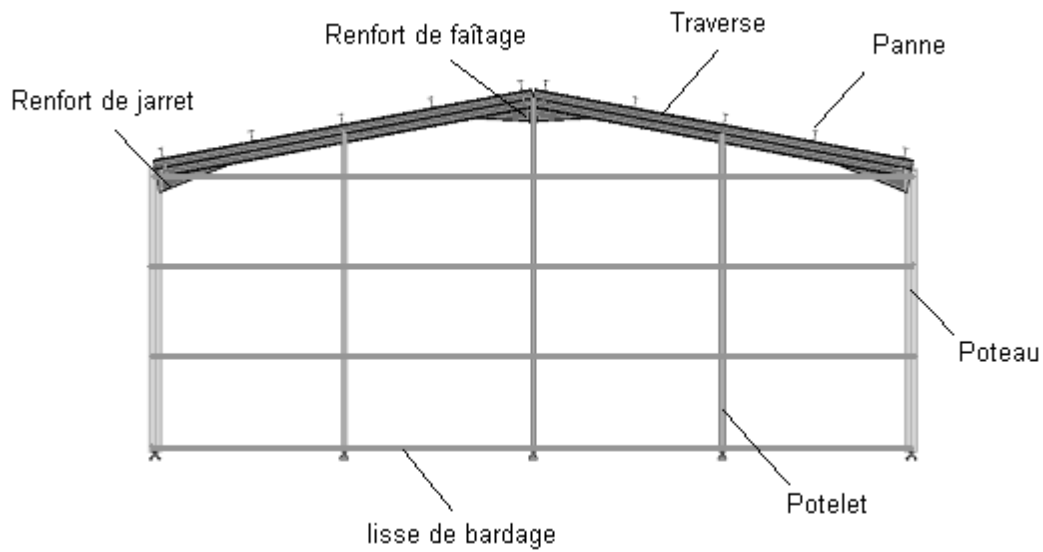


Appui pour panne continue en  
acier formé à froid de section z



Appui pour panne simplement  
appuyée en acier formé à  
froid de section sigma

***Figure 1.12: Détail d'assemblage des pannes aux traverses***



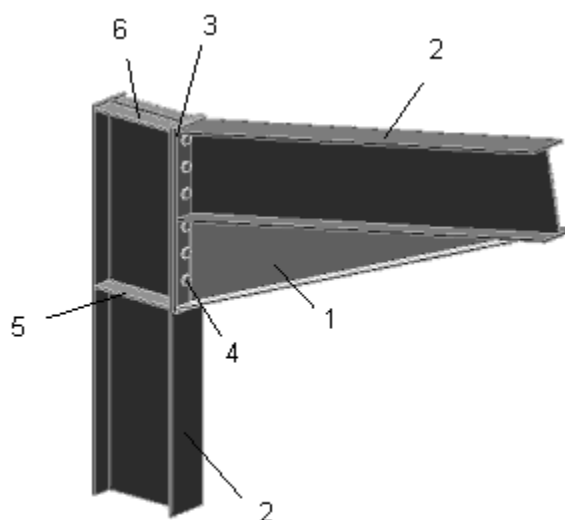
*Figure 1.13: Eléments secondaires (portique de rive)*

## 1.5- Assemblages :

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

### 1.5.1 Assemblage de jarret :

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 1.14**.



*Figure 1.14 : Assemblage typique de jarret dans un portique*

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 si nécessaire
6. Raidisseur vis-à-vis de la traction si nécessaire

### **Renfort de jarret**

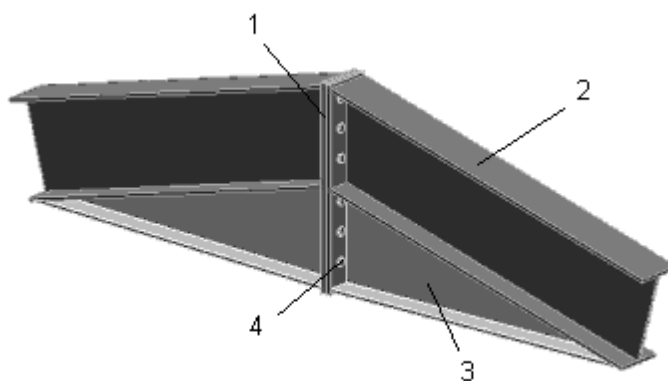
- Le renfort de jarret doit remplir les fonctions suivantes : Augmenter la résistance à la flexion de l'arbalétrier au niveau du moment le plus élevé, pour pouvoir ainsi utiliser un arbalétrier de plus petite taille.

- Fournir suffisamment de hauteur au niveau de l'interface poteau /traverse, pour que l'assemblage soit efficace.

Le renfort de jarret peut être découpé dans un profilé laminé à chaud ou il peut être fabriqué dans de la tôle. Il est généralement préférable d'utiliser des découpes de profilés laminés similaires au poteau ou à la traverse.

### 1.5.2 Assemblage de faîtage :

L'assemblage du faîtage est souvent conçu de la même manière, voir **Figure 15**. Si la portée du portique ne dépasse pas certaines limites pour le transport, l'assemblage du faîtage sur site peut être considéré comme superflu.



*Figure 1.15: Assemblage typique de faîtage dans un portique*

#### Légende :

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

### 1.6 Types de boulons utilisés :

Les avis sont partagés quant au type de boulons à utiliser.

En ce qui concerne les boulons non précontraints (généralement des boulons de 20 mm ou de 24 mm de diamètre disposés dans des trous de passage normaux ; les jeux dans les trous sont de 1 à 2 mm),

La catégorie des boulons utilisés dépend du pays de fabrication : des boulons de la classe 10.9 sont utilisés dans la majeure partie de l'Europe, mais des boulons de la classe 8.8 sont utilisés au Royaume-Uni et des boulons de la classe 6.8 sont utilisés en France.

Des boulons précontraints peuvent aussi être utilisés, surtout dans les cas de charges dynamiques importantes, comme par exemple lorsque la charpente est conçue pour supporter des appareils de levage. La **Figure 16** montre les boulons d'assemblages.

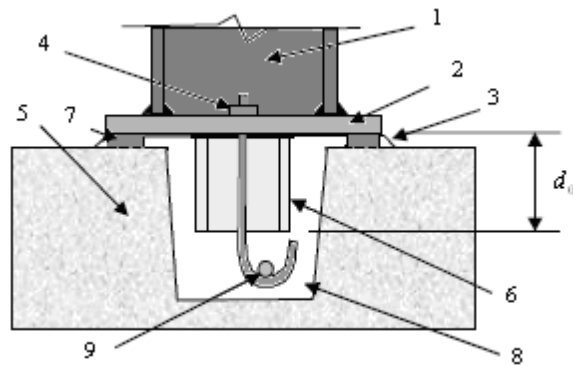


*Figure 1.16 : Les boulons d'assemblages*

### **1.7 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 encastrés 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 encastrés 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 (**Figure 1.17**).

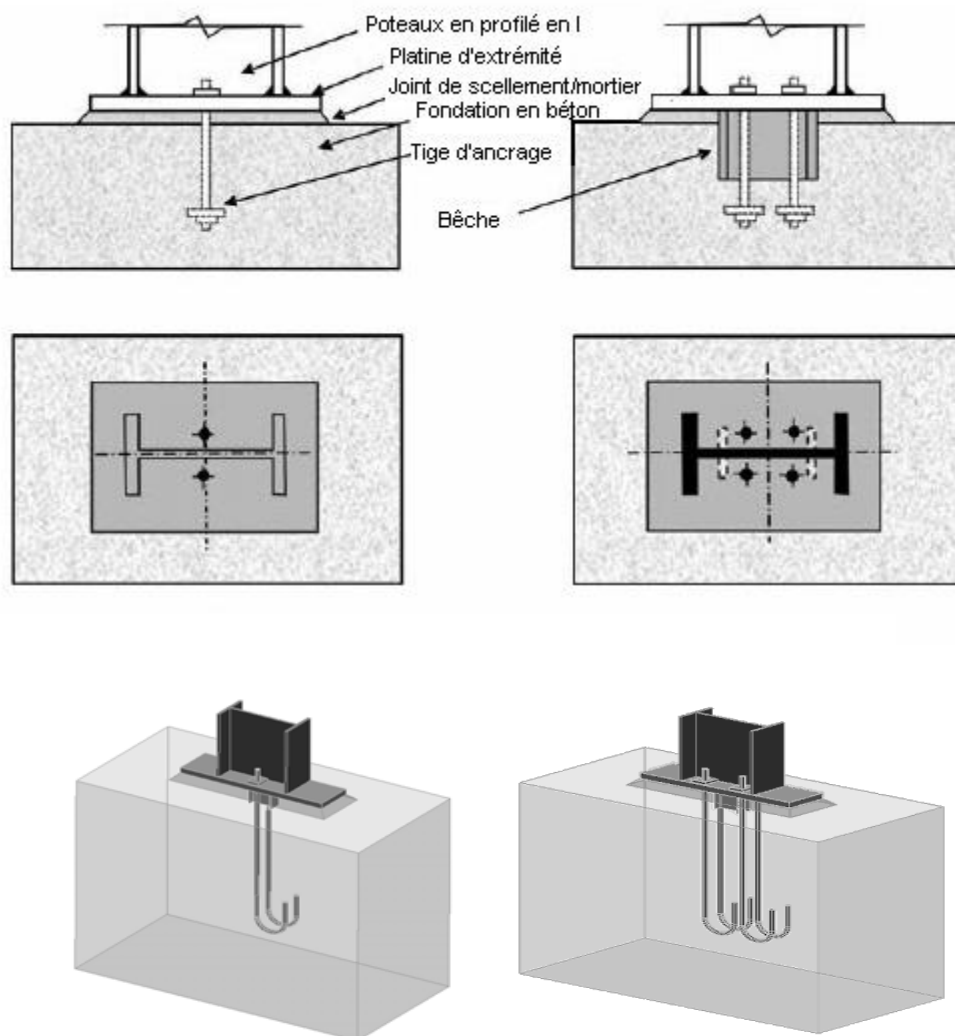


*Figure 1.17 : Pied de poteau avec bête de cisaillement*

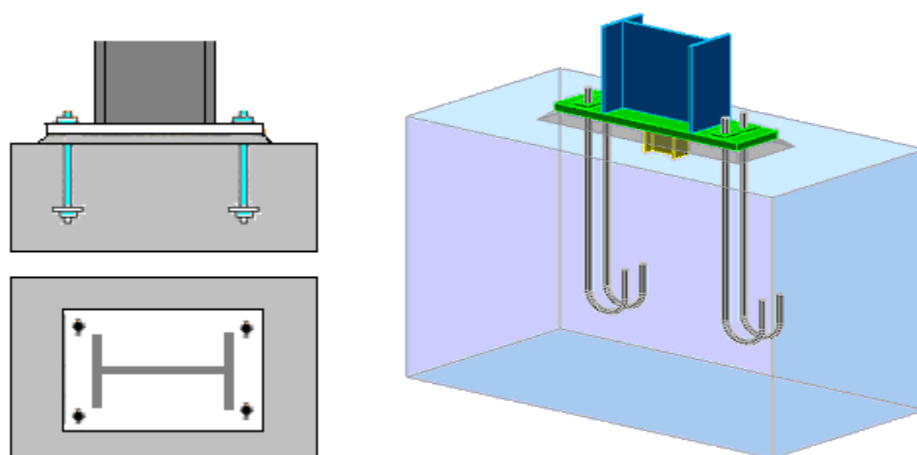
Légende :

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

Les **Figures 1.18** et **1.19** présentent les pieds de poteaux articulés et encastrés types et différents emplacements pour les boulons d'ancrage.



*Figure 1.18: Pieds de poteaux articulés et différents emplacements pour les boulons d'ancrage.*



*Figure 1.19: Pieds de poteaux encasté et emplacements pour les boulons d'ancrage.*

## 4.8 Conclusion :

Pour les bâtiments à un seul niveau, l'acier offre les atouts suivants :

- La rentabilité de la construction,
- Une maintenance faible pendant toute la durée de vie du bâtiment,
- De grandes portées aptes à s'adapter à des changements d'occupants et d'activités, allongeant ainsi la vie économique du bâtiment.
- Les bâtiments en acier à un seul niveau représentent l'un des secteurs les plus efficaces de l'industrie de la construction, avec des approches optimisées pour l'ossature principale, les structures secondaires et le bardage provenant de fournisseurs spécialisés.

Il est conseillé au client de communiquer avec les bureaux

# ***Chapitre 02***

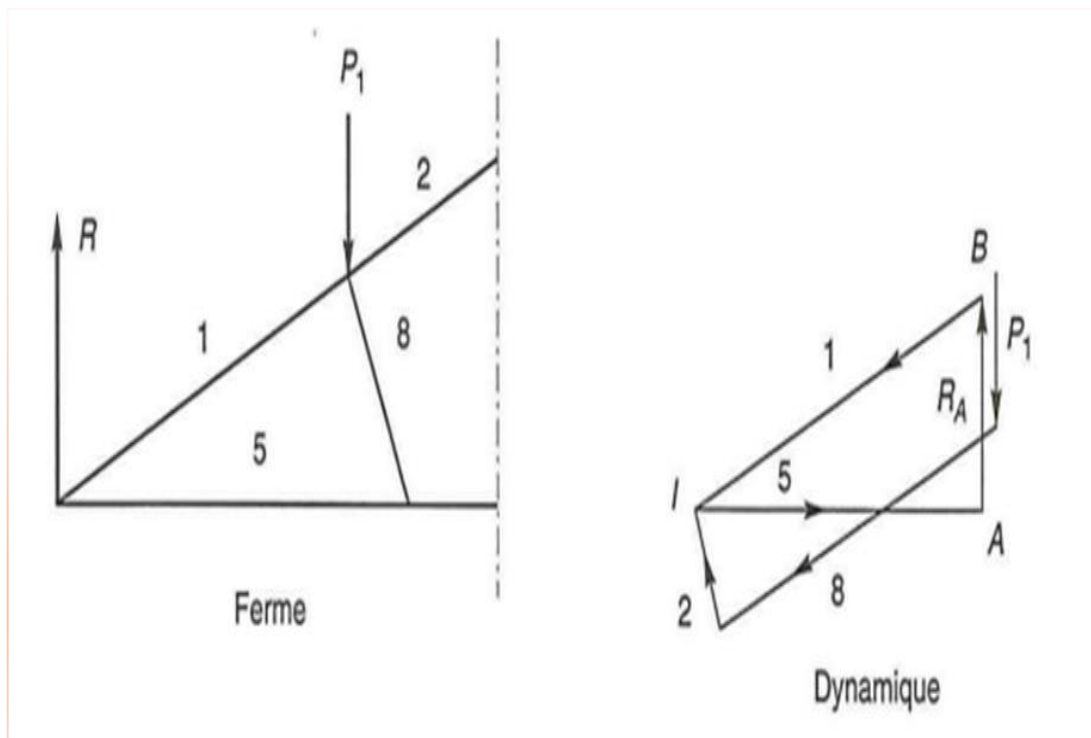
ANALYSE DES PORTIQUES PAR LA METHODE  
FORFAITAIRE

## 1- Calcul des sollicitations par la méthode forfaitaire

### (Méthode des nœuds) :

#### 1.1-Le principe de la méthode est le suivant :

- Numéroté les barres et les nœuds.
- Déterminer l'ordre de résolution des nœuds, en considérant que la résolution n'est possible que si les efforts dans les barres concourantes à un nœud sont inconnus pour deux d'entre elles seulement (deux équations de la statique par nœud, donc deux inconnues possibles seulement). Les efforts dans les barres seront donc obtenus deux par deux, de proche en proche pour cela :
- Construire la dynamique des forces extérieures, y compris les réactions d'appuis, progressivement selon l'ordre retenu de résolution des nœuds, en traçant à chaque étape, à partir de l'origine **A** et de l'extrémité **B** de dynamique, les parallèles aux directions des deux barres inconnues. Ces parallèles se coupent en un point **I** et les segments **AI** et **BI**, mesurés à l'échelle des forces représentent les efforts dans les deux barres inconnues, en valeur absolue (voir la figure ci-dessous).



- Le sens des efforts dans les barres inconnues est obtenu en parcourant la dynamique dans le sens des forces connues. Si la barre est orientée vers le nœud, elle est comprimée. Dans le sens contraire, elle est tendue.

# ***Chapitre 03***

ANALYSE DES PORTIQUE PAR LA METHODE

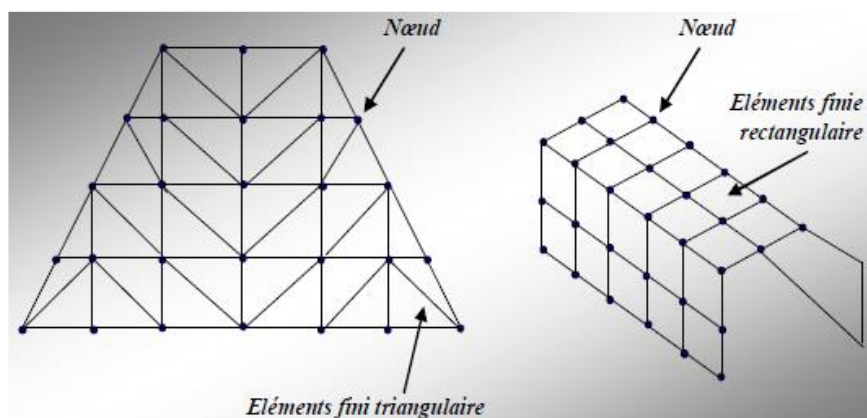
DES ELEMENT FINIS

### 3.1. Principe de la méthode des éléments finis

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. Discretisation 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 :

$$\{F\} = [K] \cdot \{\mathcal{D}\}$$

où :

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


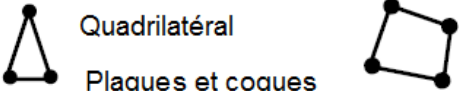
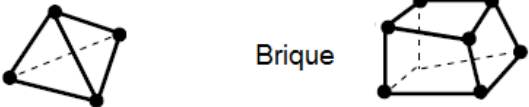
$[K]$  = matrice des constantes (connue – ex : matrice de rigidité) ;

$\{F\}$  = 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

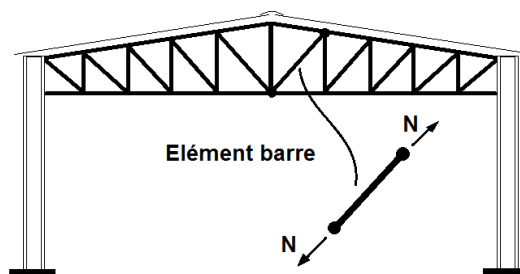
*Fig. 3.2. Types d'éléments finis*

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

### 3.1.2.Exemples d'application des éléments finis

#### 3.1.2.1- Élément de barre (Truss element):

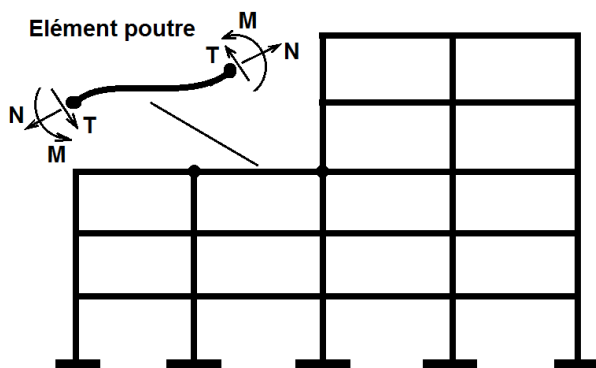
Il est utilisé dans la modélisation d'une structure qui travaille uniquement en traction-compression. La Fig.3.3 montre l'exemple d'un portique métallique avec ferme en treillis, les efforts de traction ou de compression dans les différentes barres sont calculés par la MEF en utilisant des éléments barre. Dans cet élément, il est supposé que seule la contrainte normale ( $\sigma_x$ ) est différente de zéro et qu'elle est constante sur la section droite. C'est généralement un élément à 2 noeuds. Chaque noeud 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*

#### 3.1.2.2- Élément de poutre (Beam element):

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 noeuds qui comporte 3 degrés de liberté par noeud en plan : 2 translations ( $u, v$ ) et une rotation ( $\Theta_z$ ). Dans l'espace, il comporte 6 DDL par noeud : 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*

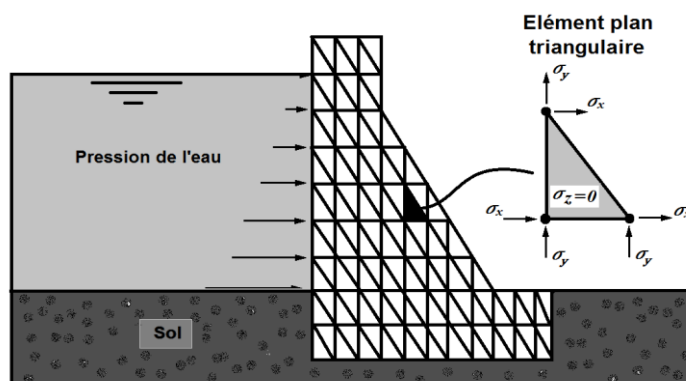
### 3.1.2.3- Éléments de membrane (Triangular and Quadrilateral plan stress elements):

Ce sont des éléments bidimensionnels dans lesquels on suppose que les contraintes sont uniformes dans l'épaisseur et que la contrainte  $\sigma_z$  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.

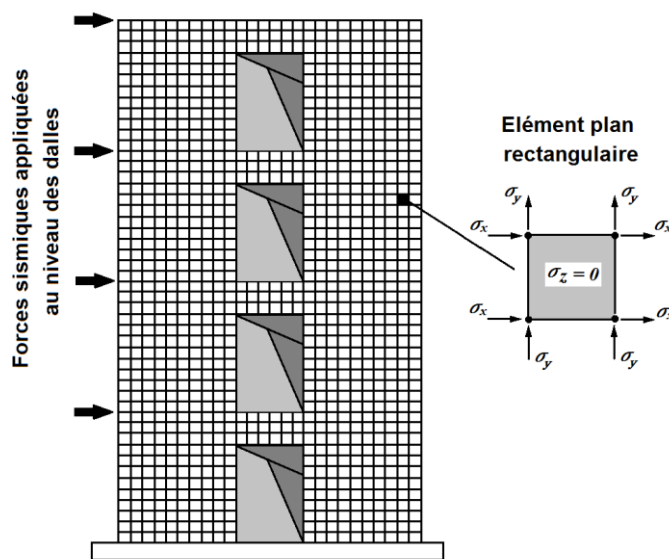
C'est généralement un élément triangulaire à 3 noeuds ou quadrangulaire à 4 noeuds qui comporte 2 inconnues par noeud : les 2 composantes du vecteur déplacement  $(u,v)$  dans le plan.

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*

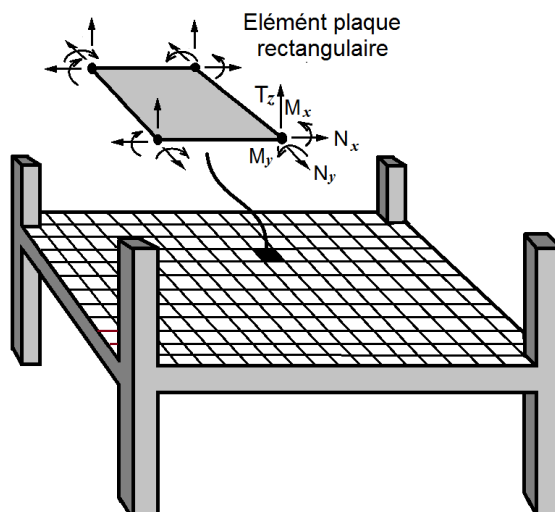
### 3.1.2.4 Élément de plaque ou coque (Shell element):

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

- la contrainte normale  $\sigma_z$  est négligeable,
- l'interaction entre les phénomènes de membrane et de flexion est négligée,
- les contraintes  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  varient linéairement suivant l'épaisseur.

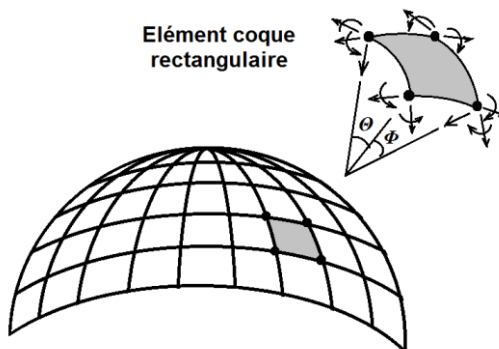
Les éléments de plaque ou de coque quadrangulaires à 4 noeuds comportent 5 (DDL) par noeud : les 3 translations (u,v,w) et les 2 rotations ( $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ). (Z est l'axe perpendiculaire au plan de l'élément).

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**

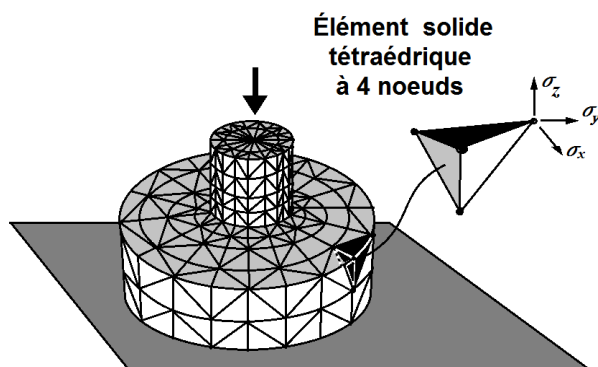
Ensuite, la Fig.3.8 montre l'exemple de modélisation d'une coupole en béton en utilisant des éléments de coque rectangulaires.



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

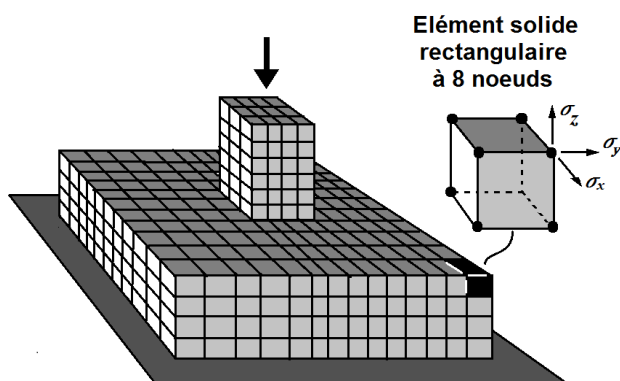
### 3.1.2.5- Éléments solides tétraédriques et rectangulaires (Solid elements):

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 noeuds comportant 3 DDL à chaque noeud: (u, v,w).



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

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



**Fig.3.10. Modélisation d'une semelle rectangulaire en béton par des éléments solides briques (héxaédriques) à 8 noeuds**

### 3.2- Présentation du logiciel ANSYS

La fabrication de prototype coûte très cher (en argent mais également en temps) et nécessite souvent plusieurs essais avant de répondre correctement au cahier des charges d'un produit. Effectuer toute la conception d'une pièce à partir de prototype n'est donc pas très rentable. Le calcul par éléments finis est aujourd'hui le meilleur moyen pour résoudre ces problèmes de manière efficace. Cela permet d'optimiser le processus de conception (gain de temps énorme) et donc de proposer des produits plus innovants (intégration d'une pré-analyse dans le cycle de conception), de qualité plus élevée tout en minimisant les coûts.[1]

Nous avons choisi le code de calcul ANSYS pour simuler l'essai Push-Out avec un connecteur en cornière. Ce choix se justifie par le fait que :

ANSYS Inc., créé en 1970 aux Etats-Unis, est le numéro un mondial des logiciels de simulation. ANSYS propose des mailleurs et des solveurs robustes [1]

Les logiciels de calculs par éléments finis sont en général très peu abordables car ils nécessitent d'importantes connaissances dans le calcul. Les logiciels ANSYS sont conçus pour être utilisés sans avoir nécessairement une formation basée sur les éléments finis.[1]

Dans tout ce qui suit, nous développerons les étapes pour à suivre afin de préparer un fichier de données ANSYS. Généralement, ces étapes peuvent être classées en trois parties qui sont :

La définition du problème ou *Preprocessing* (définition de la géométrie, types d'éléments, propriétés des matériaux, maillage) [2]

L'application des chargements et des conditions aux limites et résolution qui se trouve dans la rubrique *Solution* (Spécification du chargement, des conditions aux limites, et enfin résolution du système d'équation par la méthode de Newton-Raphson) [2]

Affichage des résultats dans la rubrique *Postprocessing* (il est possible de voir les déplacements nodaux, forces intérieures et moments, forme de la déformée, diagramme des contraintes...) [2]

A titre d'exemple, considérons la modélisation bidimensionnelle de la moitié d'une éprouvette d'essai Push-Out ci-dessous. Il est à noter qu'il existe deux méthodes d'exploitation du logiciel ANSYS mais nous traiterons uniquement la méthode graphique.

### 3.3 DEFINITION DU PROBLEME- *POSTPROCESSING* :

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

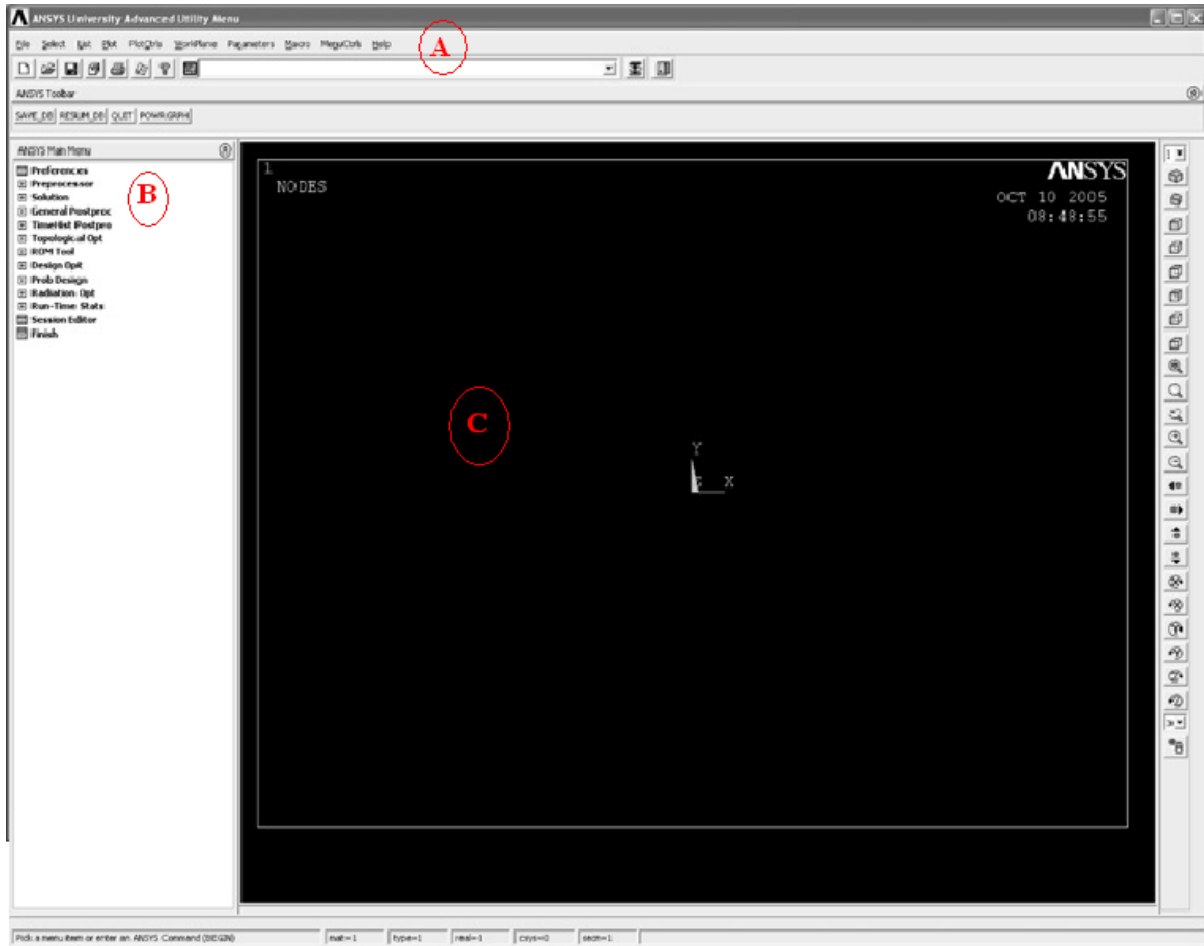


Fig.3.11 – Fenêtre du logiciel ANSYS

(A) *Utility Menu* : contient des fonctions comme les contrôles des fichiers des sélections, des graphiques et des paramètres. [2]

(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. [2]

(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. [2]

### 3.3.1 – Titre :

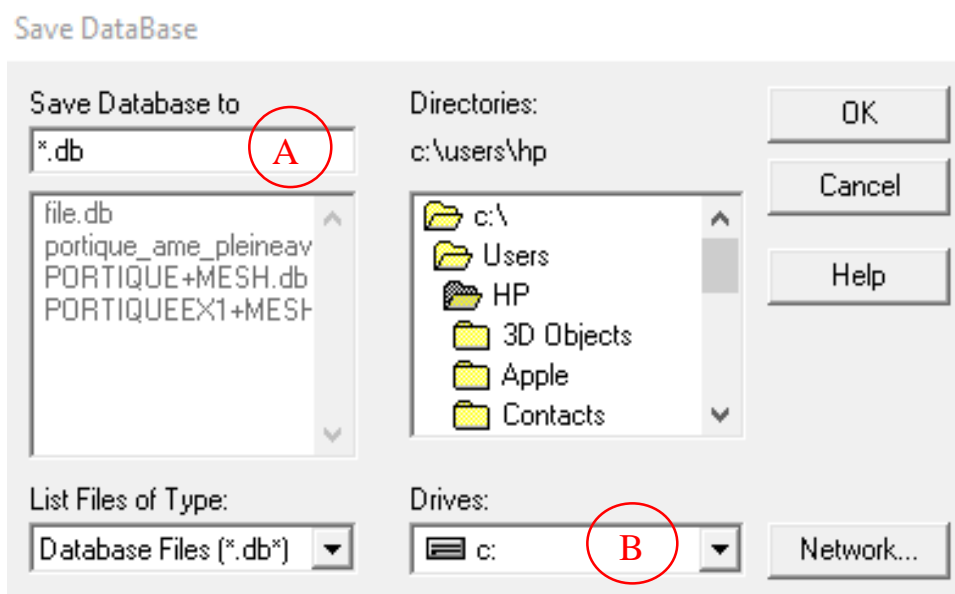
Il s'agit de nommer le fichier.

Dans l'*Utility Menu*, cliquer sur *File > Change title* : (**Portique-Ferme treillis**) 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*.



**Figure 3.12 – Enregistrer dans Ansys**

(A) Donner le *Jobname.db*.

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

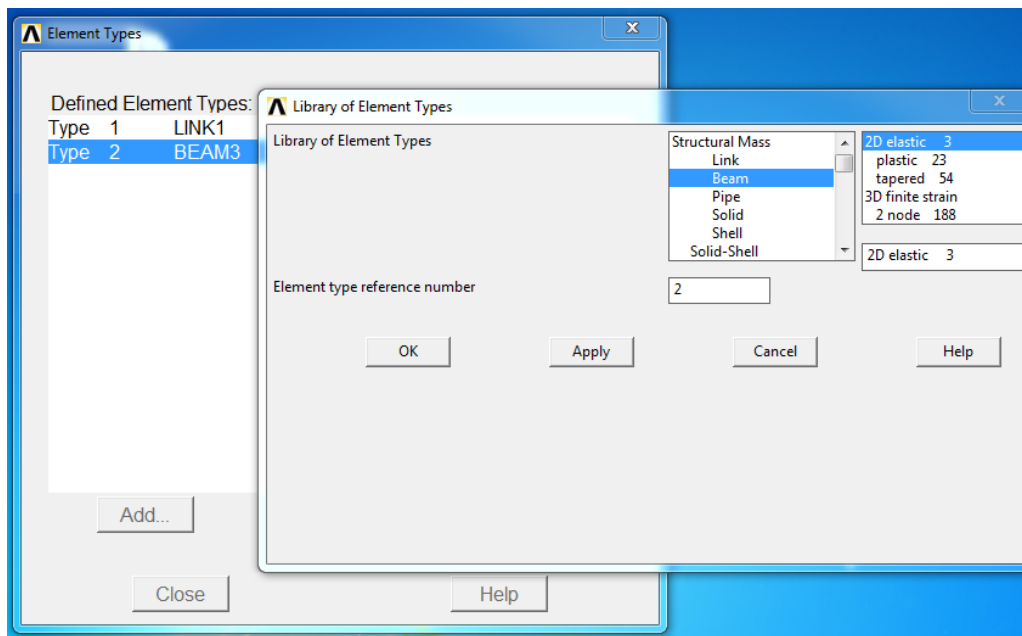
Remarques :

- 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 les éléments *LINK1* et *BEAM3*



*Figure -1- 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 apparaissent et on doit définir les caractéristiques géométriques des profilés utilisés.

### 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 :

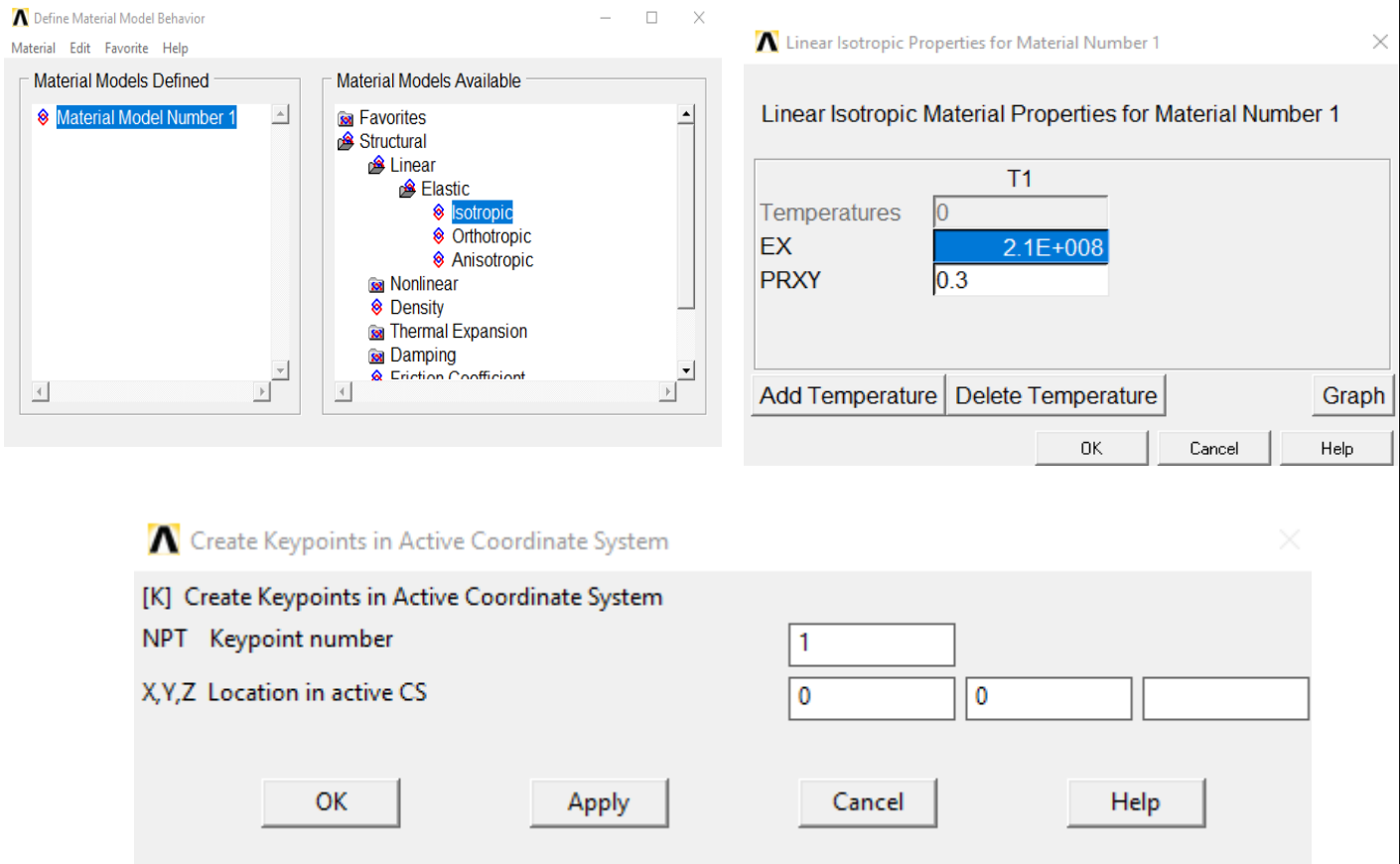
- Matériau 1 :  $E = 210000000$  (Module d'élasticité)
- PR = 0.3 (Coefficient de Poisson)

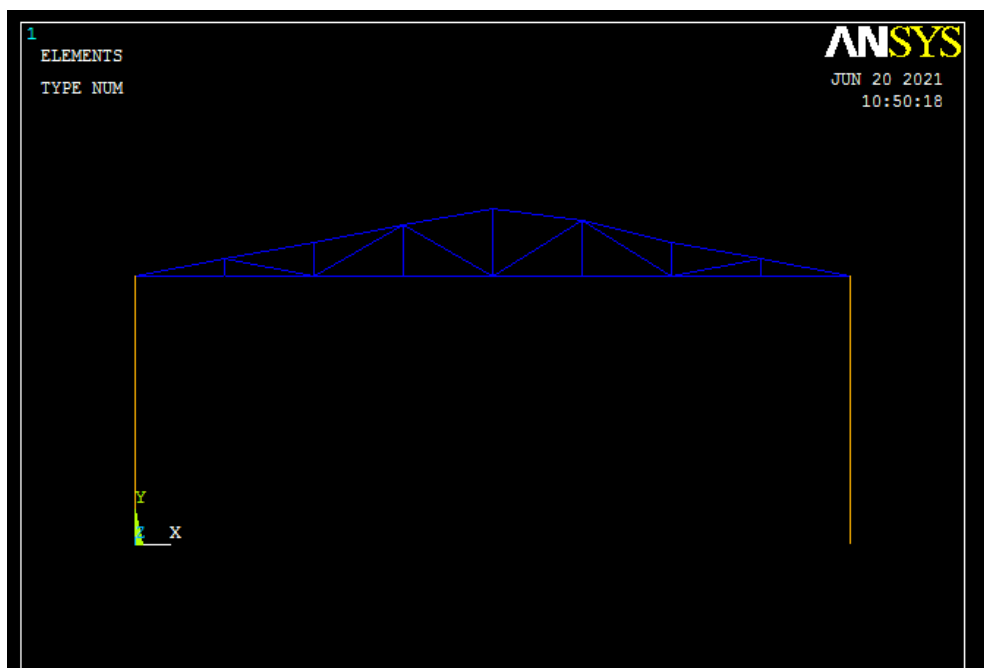
### 3.3.5 – Création de la géométrie du modèle :

D'une manière générale, la géométrie du modèle est constituée par un ensemble de lignes..

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**



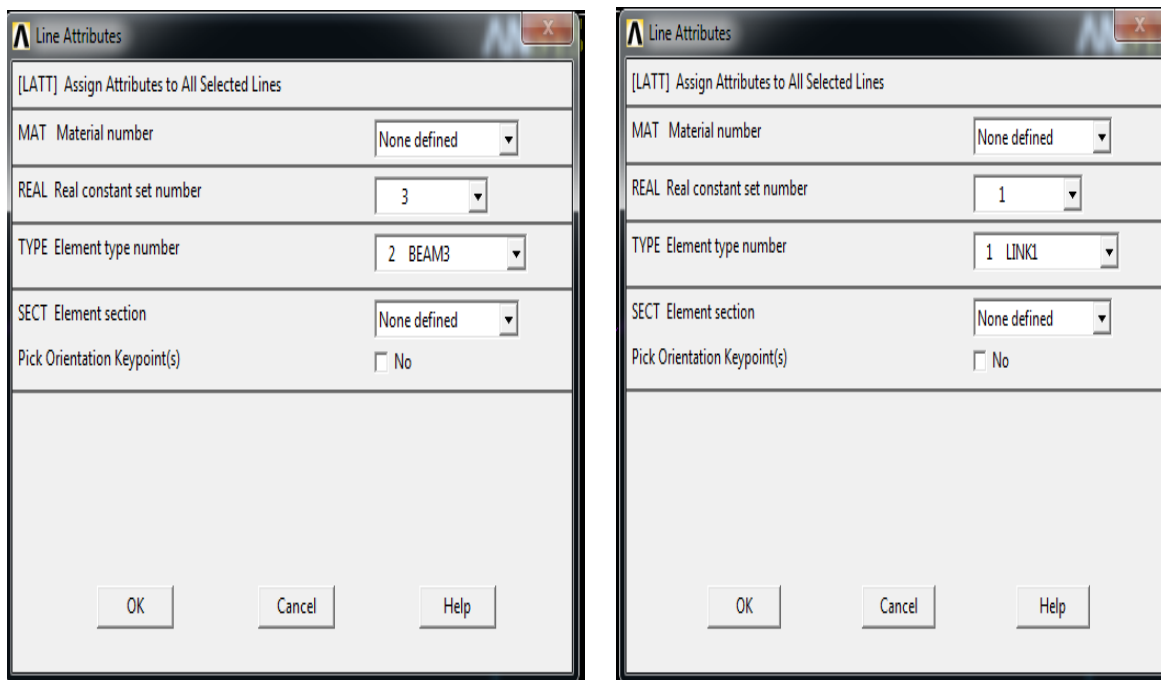


*Figure 2- Création de la géométrie du modèle*

### **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 >*

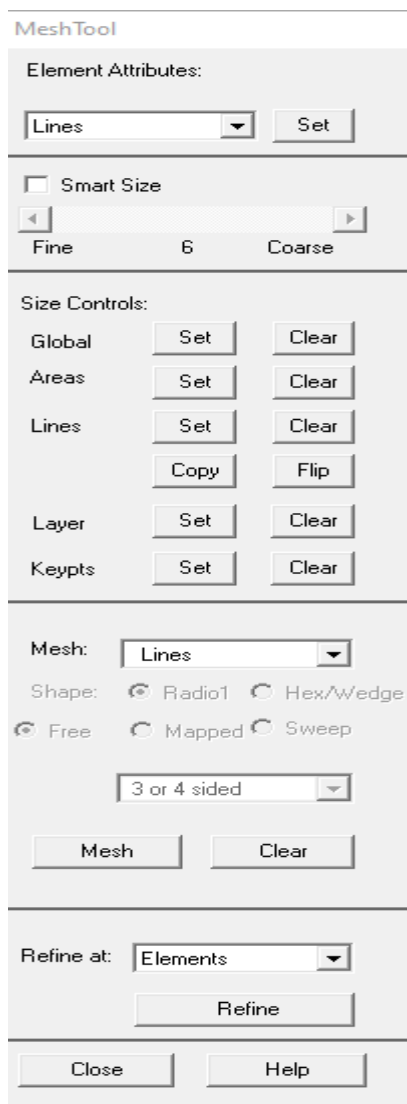


*Figure -29- Attribution des propriétés à chaque élément*

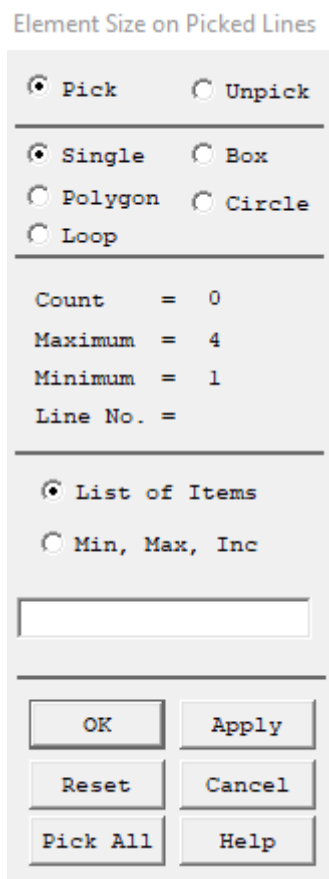
### 3.3.7 – Maillage :

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 >*



**Figure 2 -- Meshtools**



**Figure 3 -- 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*>

*Figure 4 -- 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.*

*Figure 5 -- 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.

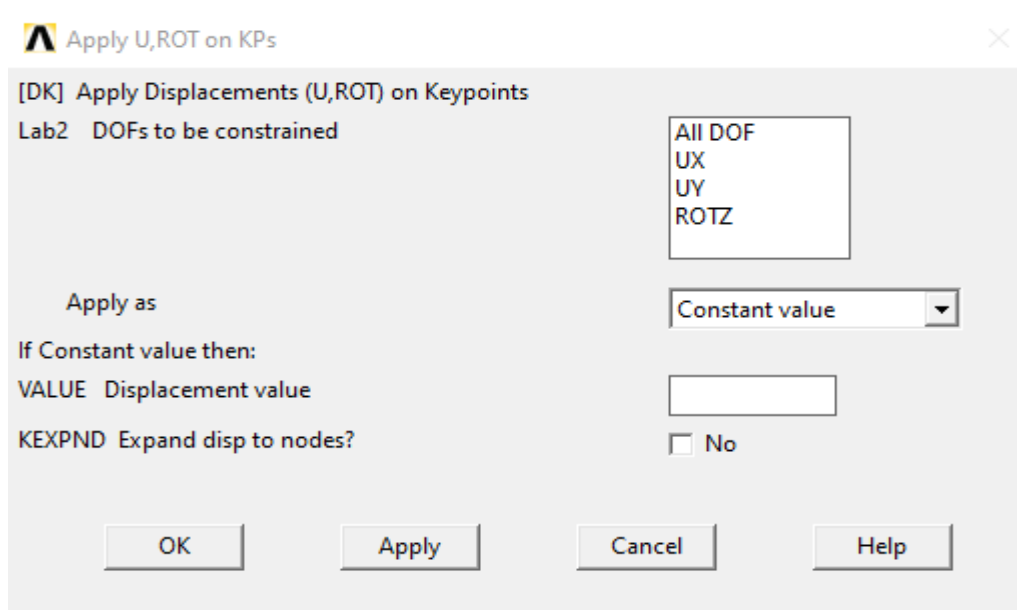
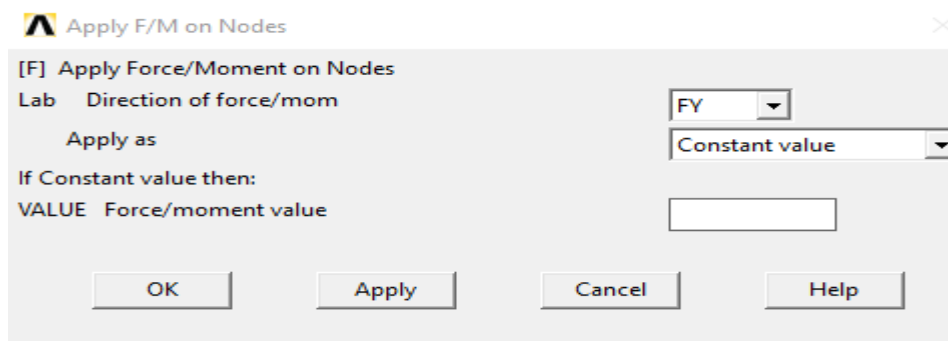


Figure 6 -- Définition des conditions aux limites

### 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 :



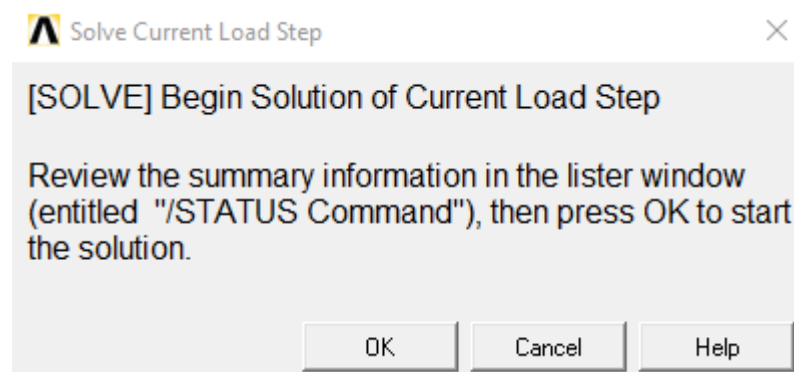
*Figure 7 -- Définition du chargement*

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.

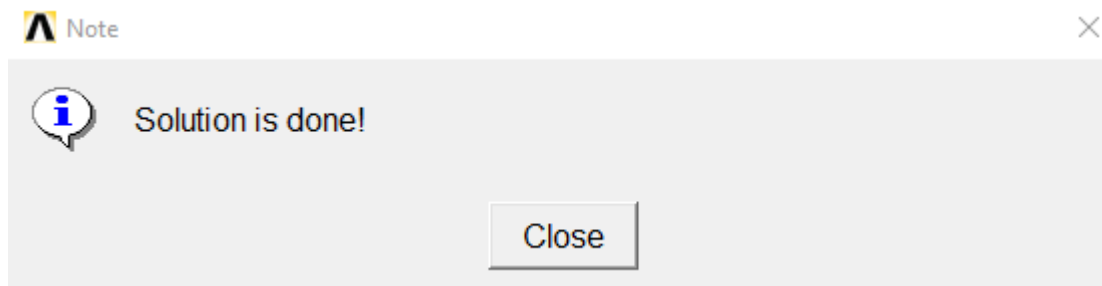
### 3.4.4 – Résolution du système :

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



*Figure 8 – « 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 apparaît.

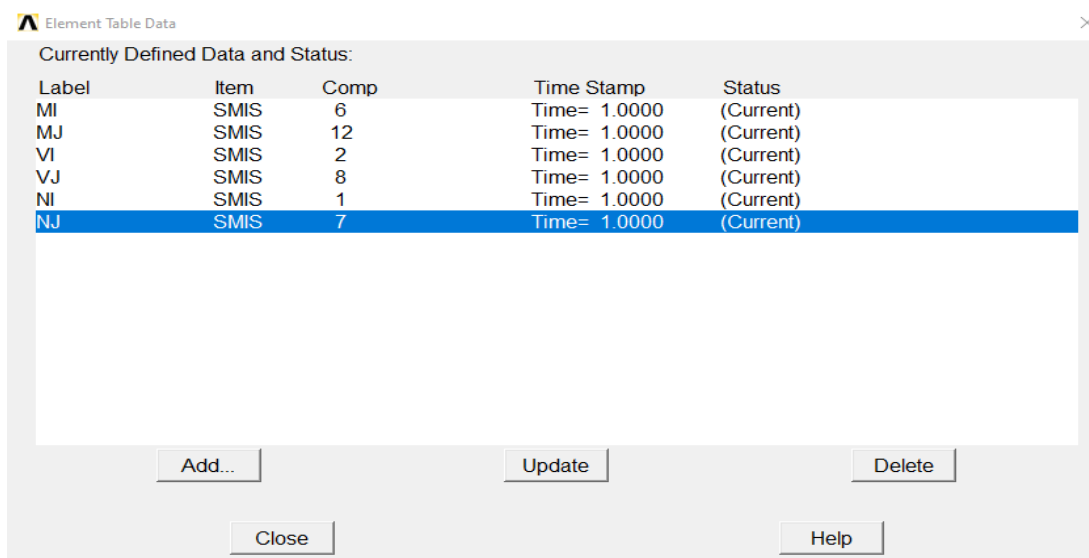


*Figure 9 – Fin de la résolution*

### 3.5- POSTPROCESSING:

1-Define element Table :

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

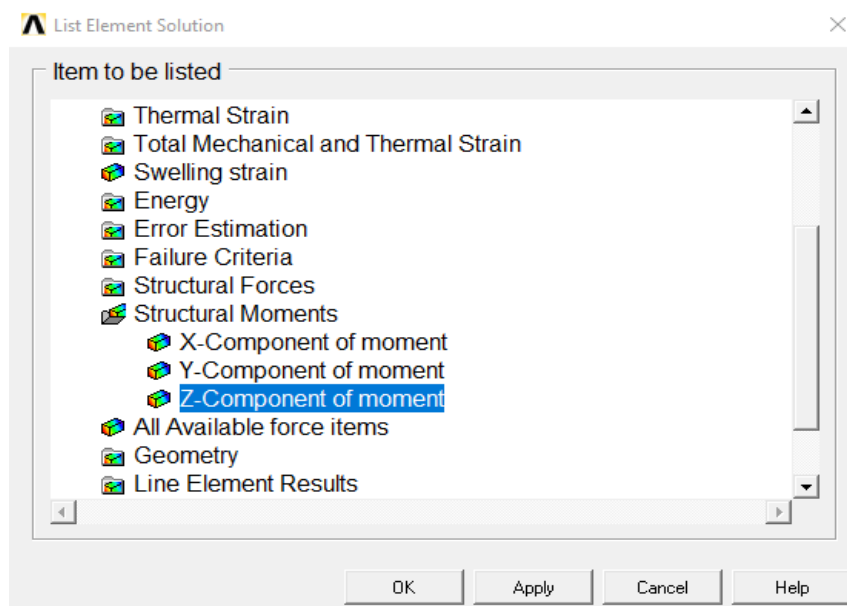


*Figure 10 – Define Table*

Cette rubrique nous permet d'afficher tous les résultats

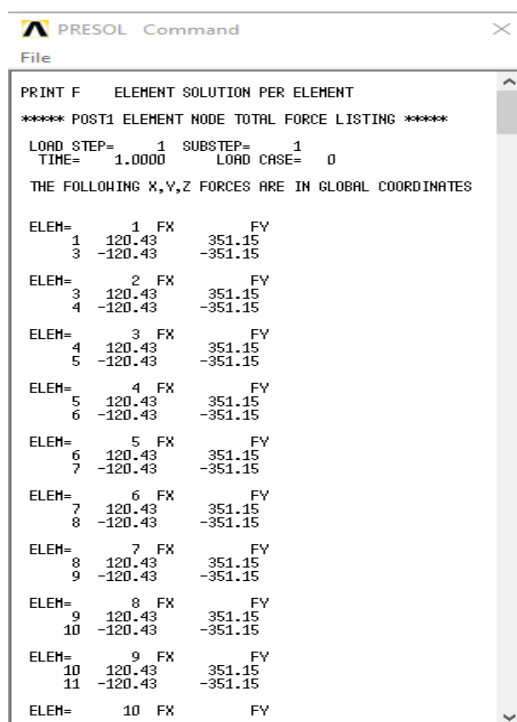
A partir de là, il est possible divers types de résultat :

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



**Figure 11 – List Element Solution**

Les résultats



**Fig.3.28 – List De Résultats (Moment)**

```

PRESOL Command
File
PRINT M ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT
***** POST1 ELEMENT NODE TOTAL FORCE LISTING *****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
THE FOLLOWING X,Y,Z FORCES ARE IN GLOBAL COORDINATES

ELEM= 1 HZ
1 0.36380E-11
3 -24.085

ELEM= 2 HZ
3 24.085
4 -48.171

ELEM= 3 HZ
4 48.171
5 -72.256

ELEM= 4 HZ
5 72.256
6 -96.342

ELEM= 5 HZ
6 96.342
7 -120.43

ELEM= 6 HZ
7 120.43
8 -144.51

ELEM= 7 HZ
8 144.51
9 -168.60

ELEM= 8 HZ
9 168.60
10 -192.68

ELEM= 9 HZ
10 192.68
11 -216.77

ELEM= 10 HZ

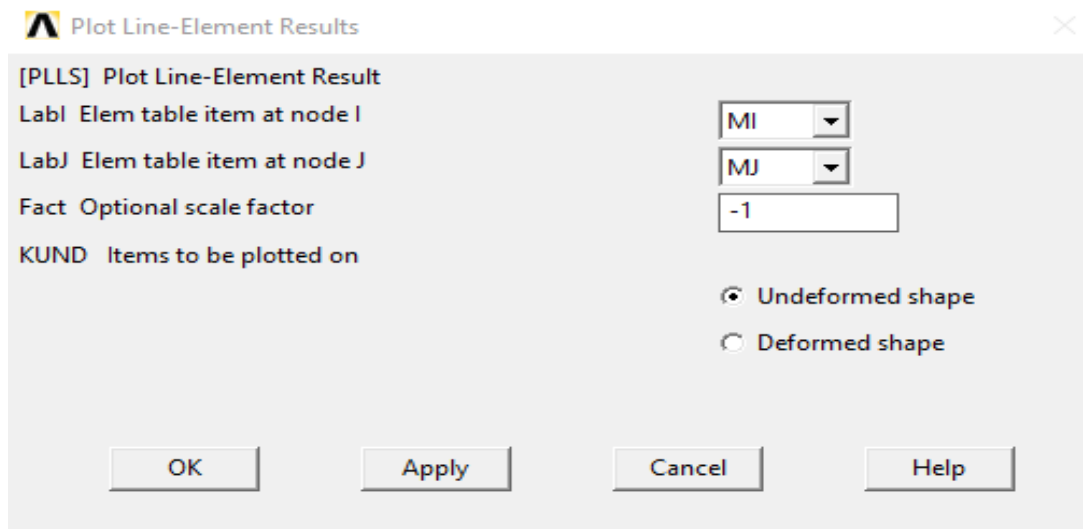
```

*Fig.3.29 – List De Résultats (Force)*

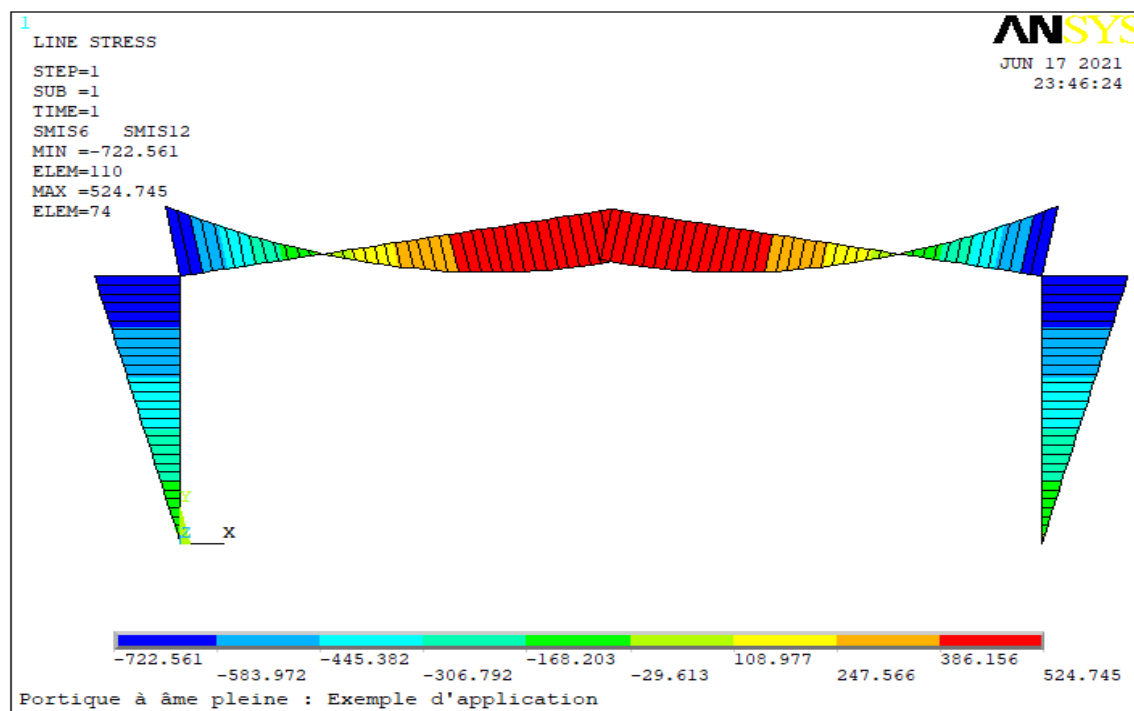
### 3.5.1- Contraintes :

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

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



*Figure 12 -- 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.



# ***CHAPITRE 04***

EXEMPLE D'APPLICATION

## Exemple d'application :

### 4.1-Calcul d'un ferme de toiture :

- Soit une ferme triangulée de **16 m** de portée et de **1.5 m** de hauteur, supportant
- **05** pannes par versant. L'entre axe horizontal des pannes est de **2.0 m**
- L'entre axe des fermes est de **5.0 m**.
- Dimensionner les barres les plus sollicitées de la ferme en compression et en
- Traction. (Membrure supérieure, membrure inférieure, montants, et diagonales).

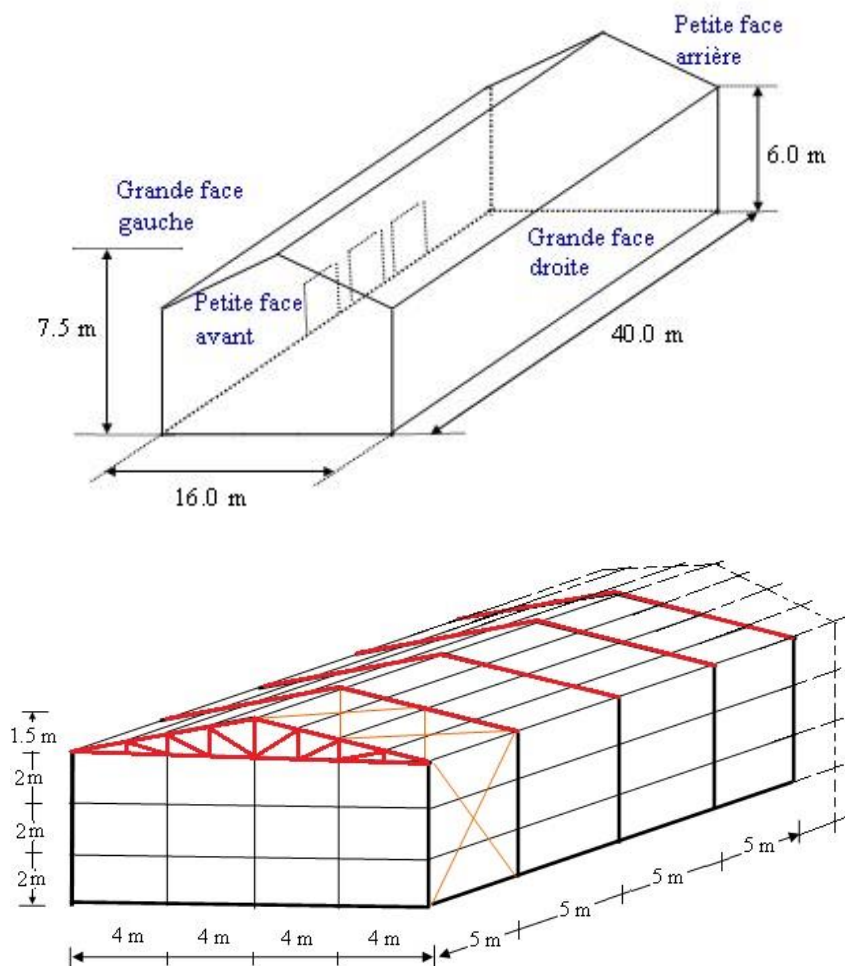


Figure 21

#### 4.2- Calcul des efforts par la méthode des nœuds :

##### Cas d'une charge unitaire $P = 1616.70 \text{ Kg}$ :

➤ La ferme peut être considérée comme un ensemble de nœuds articulés et de barres soumises à des efforts axiaux. Comme elle est en équilibre, chaque nœud doit aussi se trouver parfaitement équilibré. Cet équilibre peut être mis-en évidence par le schéma du nœud isolé à partir duquel nous pouvons facilement écrire les équations d'équilibre.

$$P = (1.35 \times 442) + (1.5 \times 680) = 1616.70 \text{ daN}$$

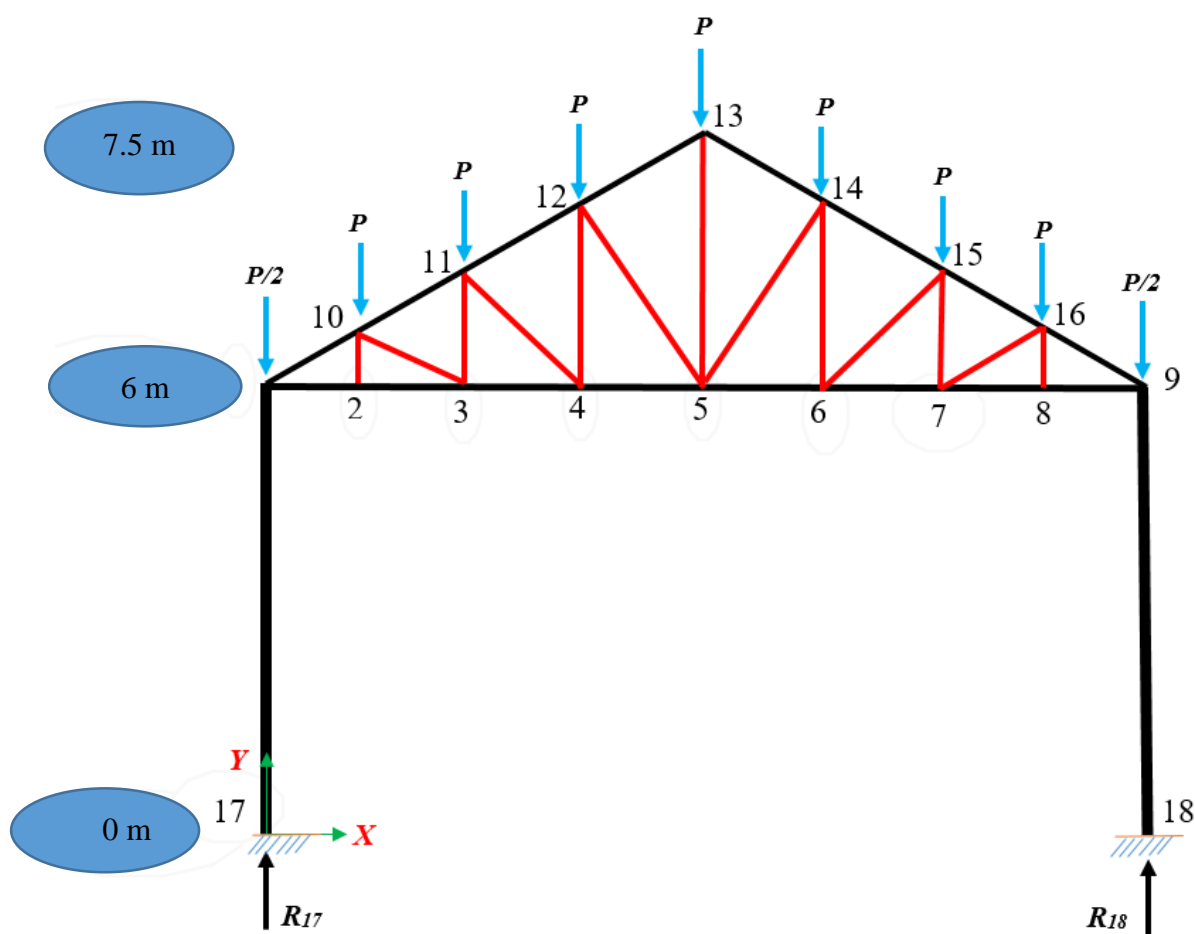
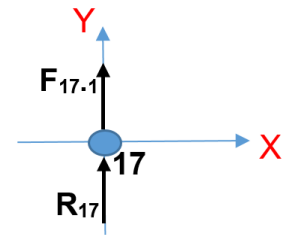


Figure 22

$$R_{17} = R_{18} = 4P \longrightarrow R_{17} = R_{18} = 6466.80 \text{ daN}$$

$$\sum F_y = 0 \longrightarrow F_{17.1} = -6466.80 \text{ daN}$$



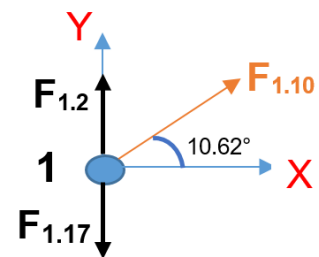
### 1) Nœud 01 :

$$\sum F_x = 0 \longrightarrow F_{1.2} + F_{1.10} \cos 10.62^\circ = 0$$

$$\sum F_y = 0 \longrightarrow F_{1.17} - P/2 + F_{1.10} \sin 10.62^\circ = 0$$

$$F_{1.2} = -38799.51 \text{ daN}$$

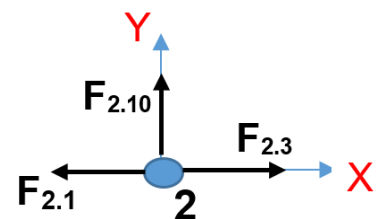
$$F_{1.10} = 39475.69 \text{ daN}$$



### 2) Nœud 02:

$$\sum F_x = 0 \longrightarrow F_{2.3} = F_{1.2} = -38799.51 \text{ daN}$$

$$\sum F_y = 0 \longrightarrow F_{2.10} = 0$$



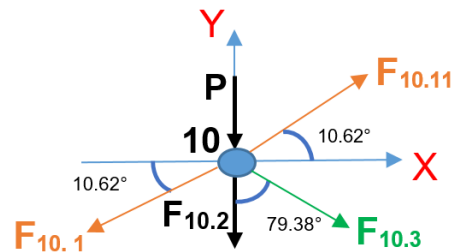
### 3) Nœud 10:

$$\Sigma F_x = 0 \longrightarrow -F_{10.3} \sin 79.38 + F_{10.11} \cos 10.62^\circ - F_{10.1} \cos 10.62^\circ = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow -F_{10.3} \cos 79.38 + F_{10.11} \sin 10.62^\circ = 0$$

$$F_{10.3} = -4386.19 \text{ daN}$$

$$F_{10.11} = 43861.88 \text{ daN}$$



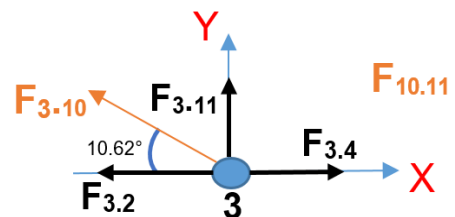
### 4) Nœud 03:

$$\Sigma F_x = 0 \longrightarrow F_{3.4} + F_{3.2} - F_{3.10} \cos 10.62^\circ = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow F_{3.11} + F_{3.11} \sin 10.62^\circ = 0$$

$$F_{3.11} = 808.35 \text{ daN}$$

$$F_{3.4} = -43110.57 \text{ daN}$$



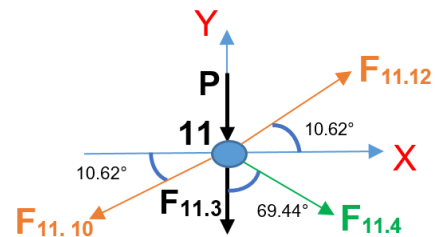
### 5) Nœud 11:

$$\Sigma F_x = 0 \longrightarrow -F_{11,4} \sin 69.44 + F_{11,12} \cos 10.62^\circ - F_{11,10} \cos 10.62^\circ = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow -F_{11,4} \cos 69.44 + F_{11,12} \sin 10.62^\circ = 0$$

$$F_{11,4} = -4603.79 \text{ daN}$$

$$F_{11,12} = 48247.55 \text{ daN}$$



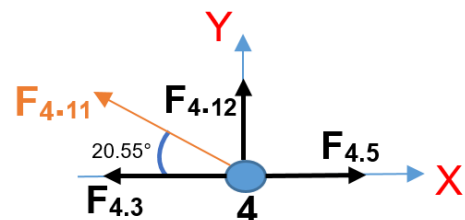
### 6) Nœud 04:

$$\Sigma F_x = 0 \longrightarrow F_{4,5} - F_{4,3} - F_{4,11} \cos 20.55^\circ = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow F_{4,12} + F_{4,11} \sin 20.55^\circ = 0$$

$$F_{4,12} = 1616.79 \text{ daN}$$

$$F_{4,5} = -47481.12 \text{ daN}$$



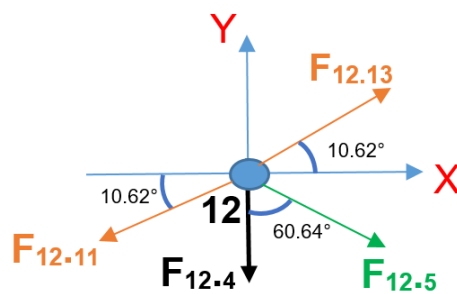
### 7) Nœud 12:

$$\Sigma F_x = 0 \longrightarrow -F_{12,5} \sin 60.64 + F_{12,13} \cos 10.62^\circ - F_{12,11} \cos 10.62^\circ = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow -F_{12,5} \cos 60.64 + F_{12,13} \sin 10.62^\circ - F_{12,13} \sin 10.62^\circ - P - F_{12,4} = 0$$

$$F_{12,5} = -4946.31 \text{ daN}$$

$$F_{12,13} = 52633.67 \text{ daN}$$

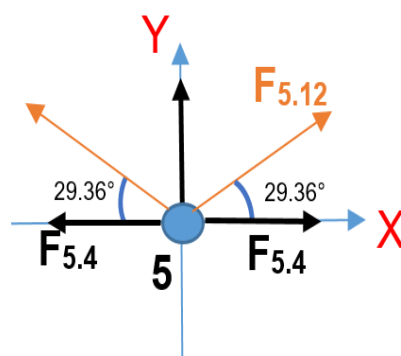


### 8) Nœud 05:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \longrightarrow F_{5.13} - F_{5.12} \sin 29.36^\circ = 0$$

$$F_{5.13} = 4850.31 \text{ daN}$$



## Tableau récapitulatif :

Eléments	N° des barres	Effort dû à 1616.7 Kg	Nature des efforts		
			G(kg) 442 kg	N(kg) 680 kg	V(kg) - 679 kg
Membrure Supérieure	1-10	39475.69	17448254,98	26843469,2	-26803993,5
	10-11	43861.88	19386951	29826078,4	-29782216,5
	11-12	48247.55	21325417,1	32808334	-32760086,5
	12-13	52633.67	23264082,1	35790895,6	-35738261,9
Membrure inférieure	1-2	-38799.51	-17149383,4	-26383666,8	26344867,3
	2-3	-38799.51	-17149383,4	-26383666,8	26344867,3
	3-4	-43110.53	-19054986,9	-29315364,4	29272253,6
	4-5	-47421.12	-20960135	-32246361,6	32198940,5
Diagonales	10-3	-4386.19	-1938695,98	-2982609,2	2978223,01
	11-4	-4603.79	-2034875,18	-3130577,2	3125973,41
	12-5	-4946.31	-2186269,02	-3363490,8	3358544,49
Montants	10-2	0	0	0	0
	11-3	808.35	357290,7	549678	-548869,65
	12-4	1616.79	714621,18	1099417,2	-1097800,41
	13-5	4850.31	2143837,02	3298210,8	-3293360,49

		Les combinaisons les plus défavorables	
Eléments	N° des barres	1.35 G +1.5 N	G + 1.5V
Membrure supérieure.	1-10	63820348	-22757735,3
	10-11	70911501,5	-25286373,8
	11-12	78001814,1	-27814712,7
	12-13	85092854,2	-30343310,8
Membrure inférieure	1-2	-62727167,8	22367917,6
	2-3	-62727167,8	22367917,6
	3-4	-69697278,9	24853393,5
	4-5	-76665724,7	27338275,8
Diagonales	10-3	-7091153,37	2528638,54
	11-4	-7442947,29	2654084,94
	12-5	-7996699,38	2851547,72
Montants	10-2	63820348	-22757735,3
	11-3	70911501,5	-25286373,8
	12-4	78001814,1	-27814712,7
	13-5	85092854,2	-30343310,8

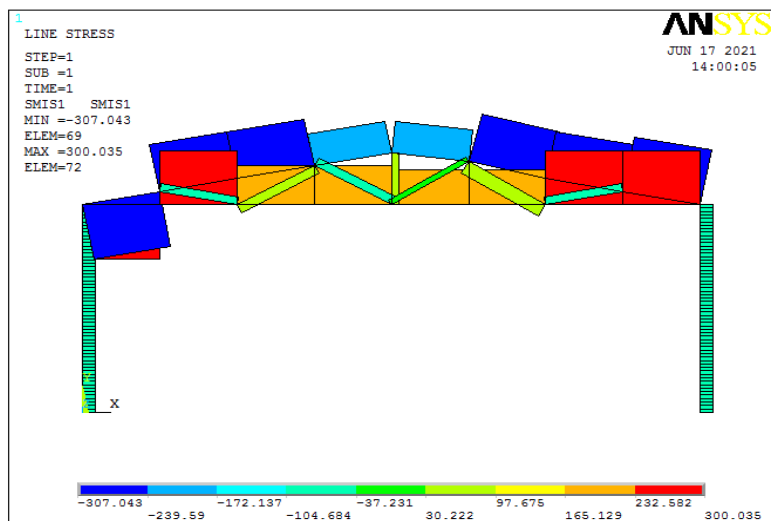
**Remarque :**

1. La combinaison la plus défavorable pour toutes les barres est :

$$N_{sd} = 1.35G + 1.5N$$

2. On prend :  $1kg = 1daN$
3. Convention de signe : (+) Tension et (-) Compression

## Résultats avec le logiciel ANSYS



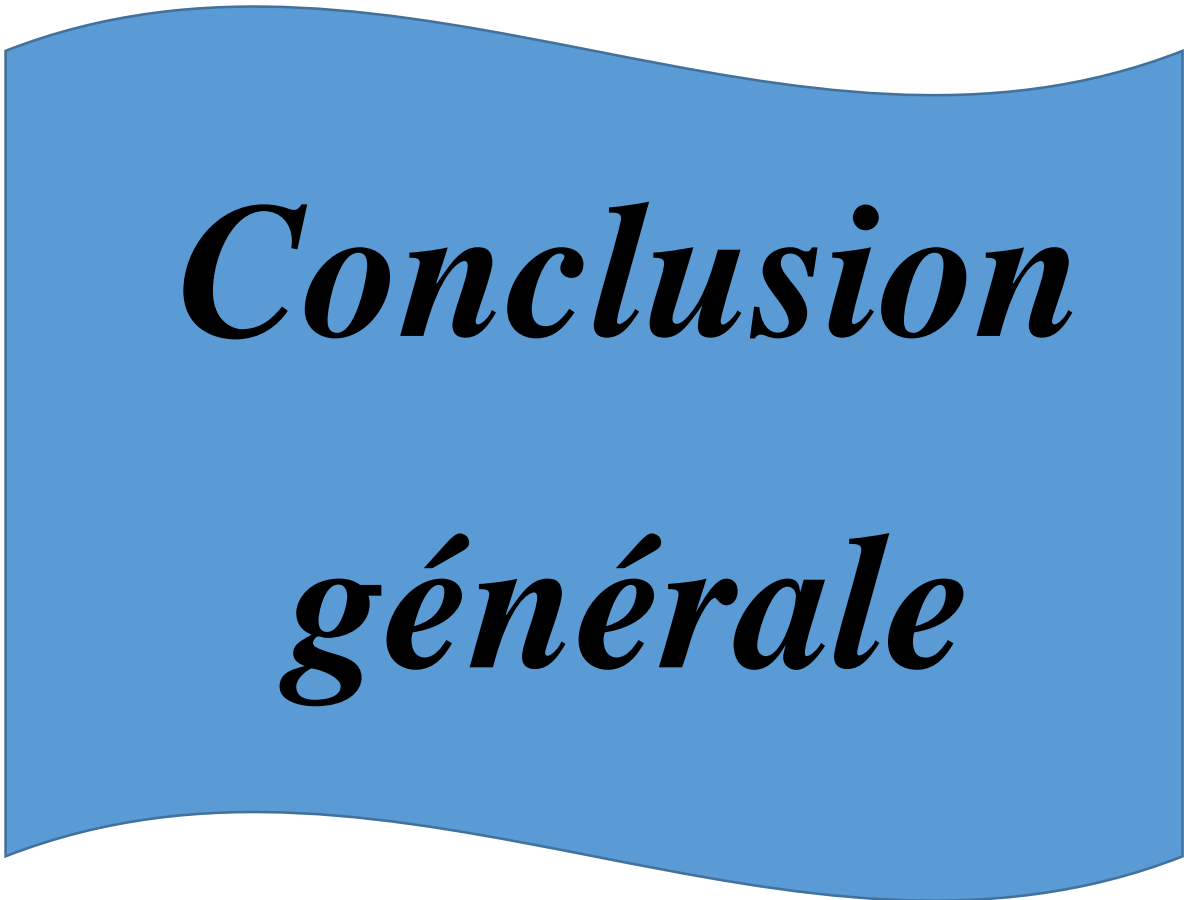
Eléments	N° des barres	RDM	ANSYS	Difference = $\frac{\text{ANSYS} - \text{RDM}}{\text{ANSYS}}$
Membrure Supérieure	1-10	39475.69	47856.78	17.51%
	10-11	43861.88	49895.62	12.09%
	11-12	48247.55	56781.59	15.03%
	12-13	52633.67	59652.63	11.77%
Membrure inférieure	1-2	-38799.51	-45895.58	015.46%
	2-3	-38799.51	-45895.58	15.46%
	3-4	-43110.57	-49245.56	12.46%
	4-5	-47421.12	-53691.32	11.69%
Diagonales	3-10	-4386.19	-5160.58	15.00%
	4-11	-4603.79	-5606.65	17.89%
	5-12	-4946.31	-5869.24	15.61%
Montants	10-2	0	0	0%
	11-3	808.35	921.32	12.26%
	12-4	1616.79	1821.58	11.24%
	13-5	4850.31	5640.54	14.01%

**Tableaux :Des charge vertical vers la bas**

### **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 utilisent les logiciels d'analyse des structures, comme le SAP, ROBOT, ETABS,...etc.



*Conclusion*  
*générale*

## CONCLUSION GENERALE

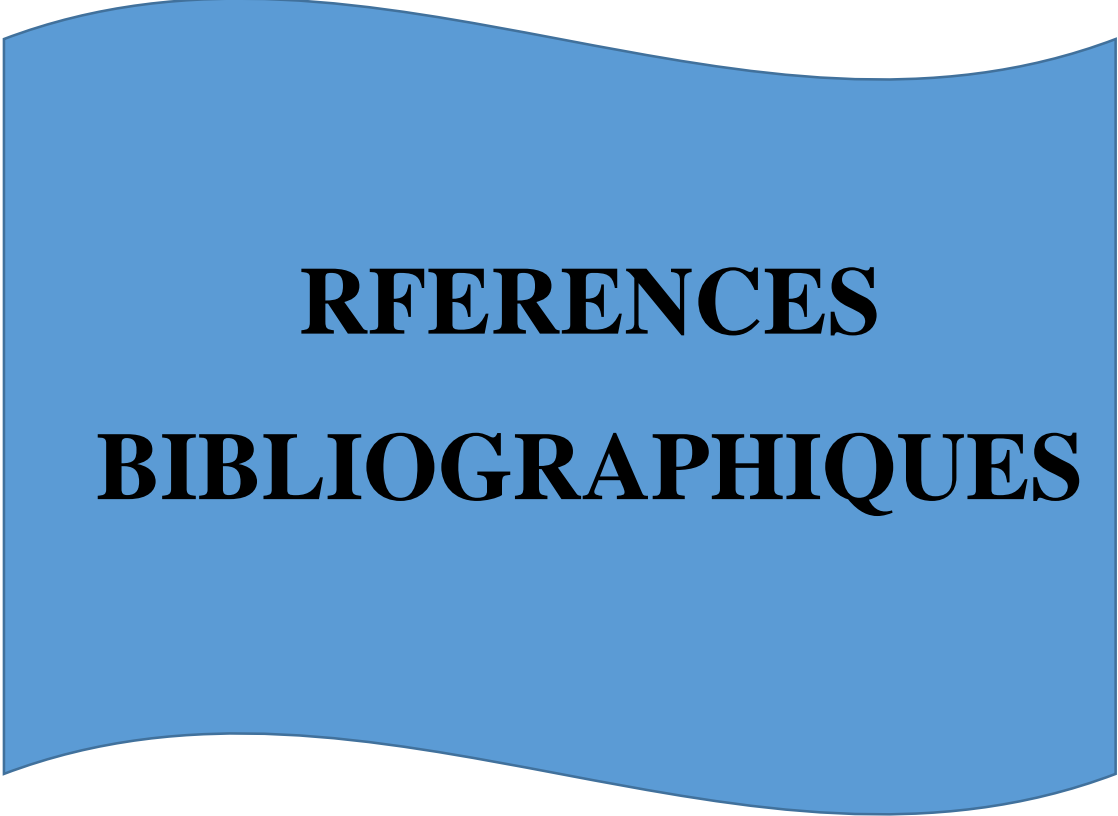
Après une brève introduction, dans Le premier chapitre on a présenté la conception des portiques avec ferme à treillis , dans le deuxième chapitre, on a montré en détail la procédure de calcul des sollicitations par la méthode forfaitaire. Ensuite, dans le troisième chapitre, on a expliqué la modélisation 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.



**REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **DAHMANI LAHLOU** (calcul des éléments de construction métallique selon l'eurocode3).
- [2] **Règlement neige et vent « RNV99 »** (D.T.R. C 2- 4.7) MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie).
- [3] **Règlement parasismiques algériens « RPA 99 version 2003 »** MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME, (Algérie).
- [4] **JEAN MOREL** (calcul des structures métalliques selon l'eurocode3).

[1] *Présentation des outils ANSYS* – ANSYS Inc., ansys.com

[2] Y.NAKASONE, S. YOSHIMOTO et T. A. STOLARSKI- *Engineering Analysis with ANSYS Software*. Elsevier, elsevier.com

[3] A. ZABIHOLLAH – *Finite Element Analysis*, Department of Mechanical & Industrial Engineering. Concordia University, 2007