

## *Résumé :*

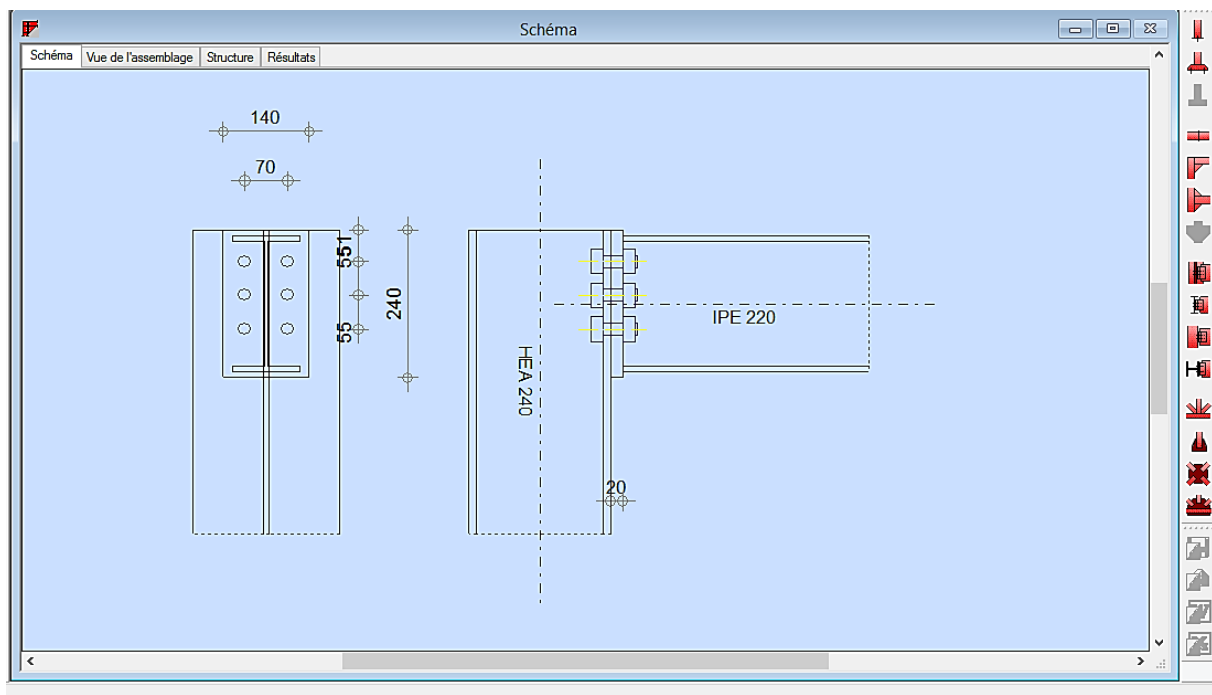
L'étude qui nous a été proposée consiste en le comportement d'un assemblage non raidi. Celui-ci a été dimensionné et vérifié selon le règlement **Eurocode3** dans un projet de fin d'étude ultérieur.

Le but est d'exciter l'assemblage par le spectre du RPA en se situant dans les quatre zones répertoriées. Pour chacune d'elles le calcul a été poussé jusqu'à atteindre la rotation ultime

Pour chaque calcul et pour chaque zone nous avons construit les courbes **M- $\theta$**  puis classé l'assemblage en fonction de rigidité sécante. Cette idée nous permettra de prévoir et conseiller un assemblage pour une zone donnée.

Un plan de travail comprend Cinq parties, la première partie est consacrée aux généralités sur les assemblages rencontrés dans les structures métalliques, la deuxième partie consiste à montrer les différentes recherches existantes dans la littérature étudiant les assemblages boulonnés, la troisième partie consacrée à la présentation des assemblages étudiés pour les différentes configurations, la quatrième partie est concernée par la présentation du logiciel ROBOT et la dernière partie au développement, l'interprétation des résultats.

**Mots clés :** platine d'about, analyse numérique, éléments finis, non linéarités.



**Figure IV-14** schéma de l'assemblage

- Dans la fenêtre **Assemblages définis**, clic sur le bouton **Note de calculs** afin de récupérer les différents éléments de calculs relatifs à l'assemblage défini.

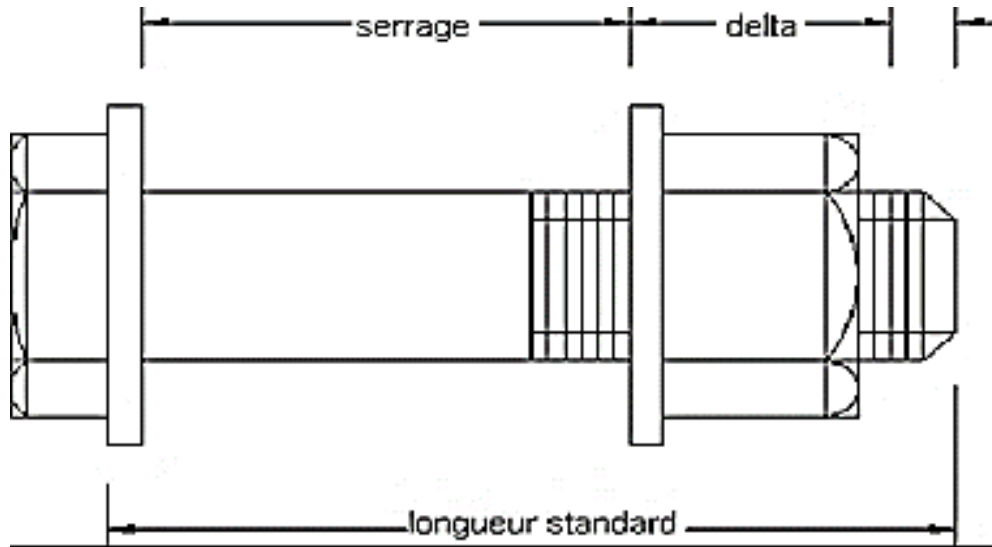
### IV.10 NOTE DE CALCUL :

La création de la documentation pour le projet étudié est une étape importante. A l'issue de notre étude, **Robot** nous offre de nombreuses possibilités pour configurer la documentation afin qu'elle réponde à nos besoins.

Les notes de calcul regroupent toutes les informations saisies par l'utilisateur, les résultats des calculs ainsi que les résultats du dimensionnement. De plus, tous les graphiques, tableaux et vues issus de **Robot** peuvent être intégrés dans la note de calcul.

### IV.11 Conclusion :

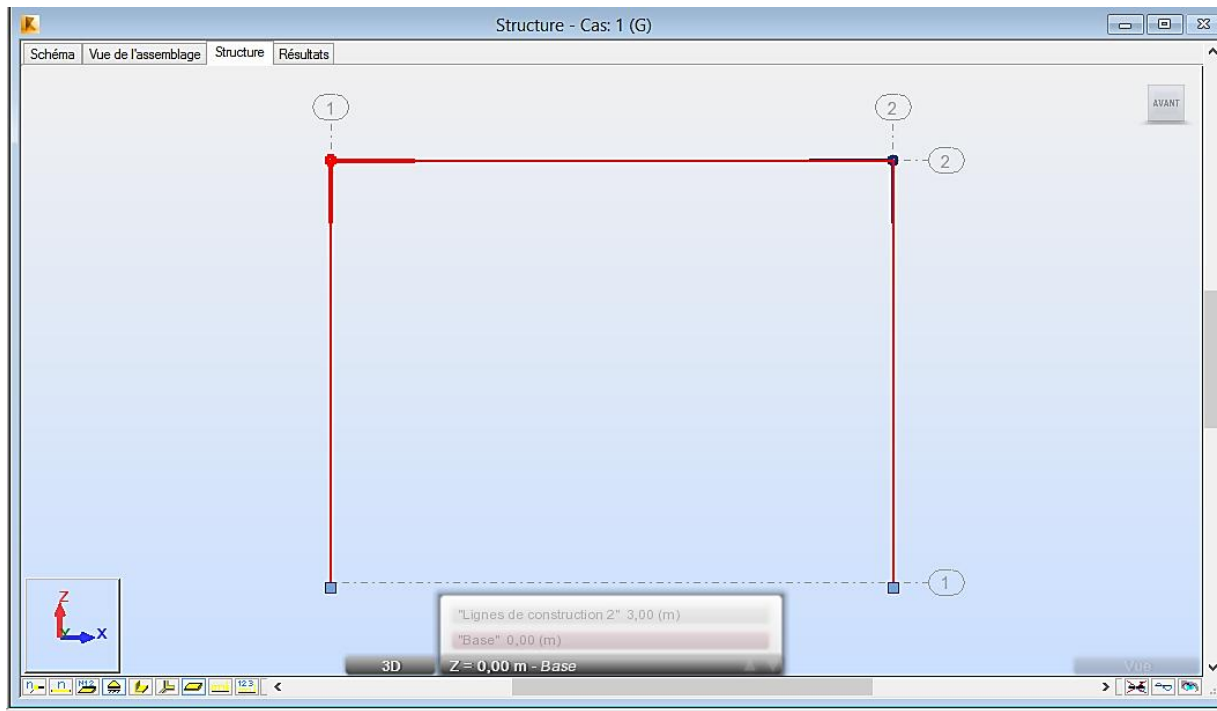
Au cours de ce chapitre nous avons présenté le code de calcul **ROBOT**, en Résumant les actions principales à effectuer pour créer un assemblage en construction métallique.



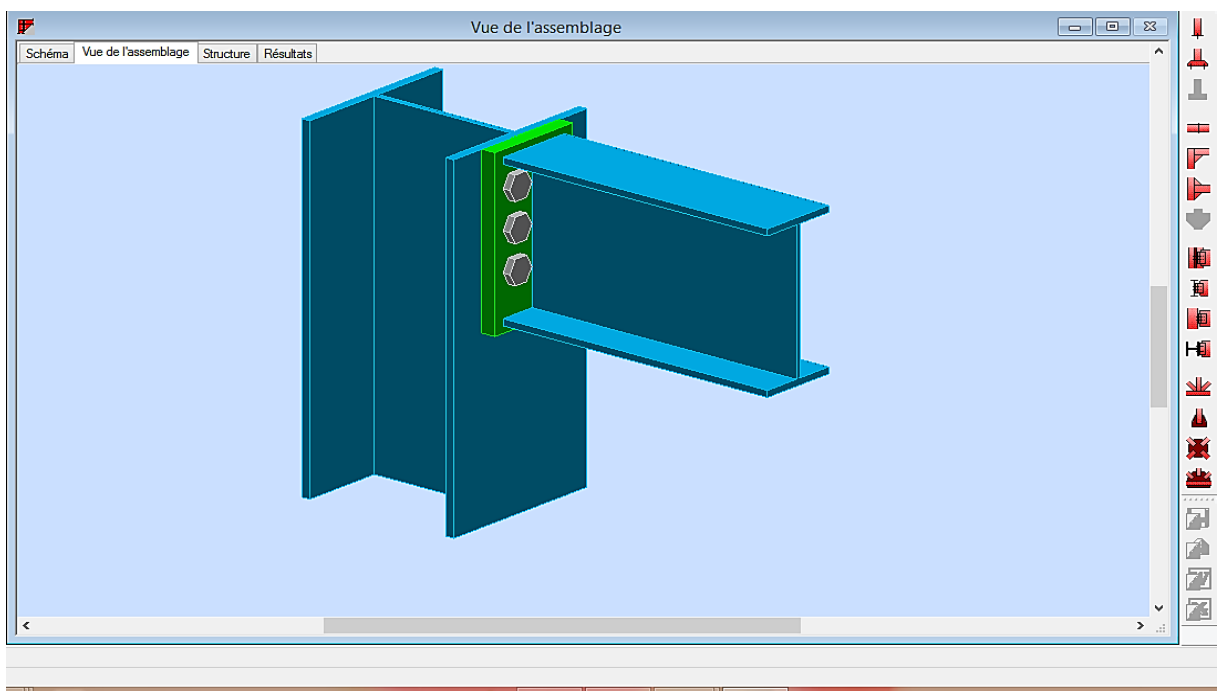
## II.10 Conclusion :

Les exigences des codes actuels et des recommandations penchent sur l'étude des assemblages comme les sources primaires du comportement inélastique de la structure. Cependant, comme indiqué dans cette recherche bibliographique, très peu de travaux fournissent un modèle qui décrit le comportement réel des assemblages, sauf les résultats des essais expérimentaux qui restent coûteux et l'EC3 ne donne pas d'indication explicite quant au calcul des caractéristiques mécaniques des parties débordantes de platines avec raidisseurs tandis que l'analyse numérique permet d'obtenir des informations détaillées et variées donc la voie numérique présente un grand intérêt pour décrire le comportement réel des assemblages métalliques et pour calculer les trois caractéristiques clés de ces assemblages, qui sont :

- Le moment résistant de calcul
- La rigidité initiale en rotation
- La capacité de rotation de calcul



**Figure IV-12:**vue de la structure en 2D



**Figure IV-13:**assemblage étudié en 3D

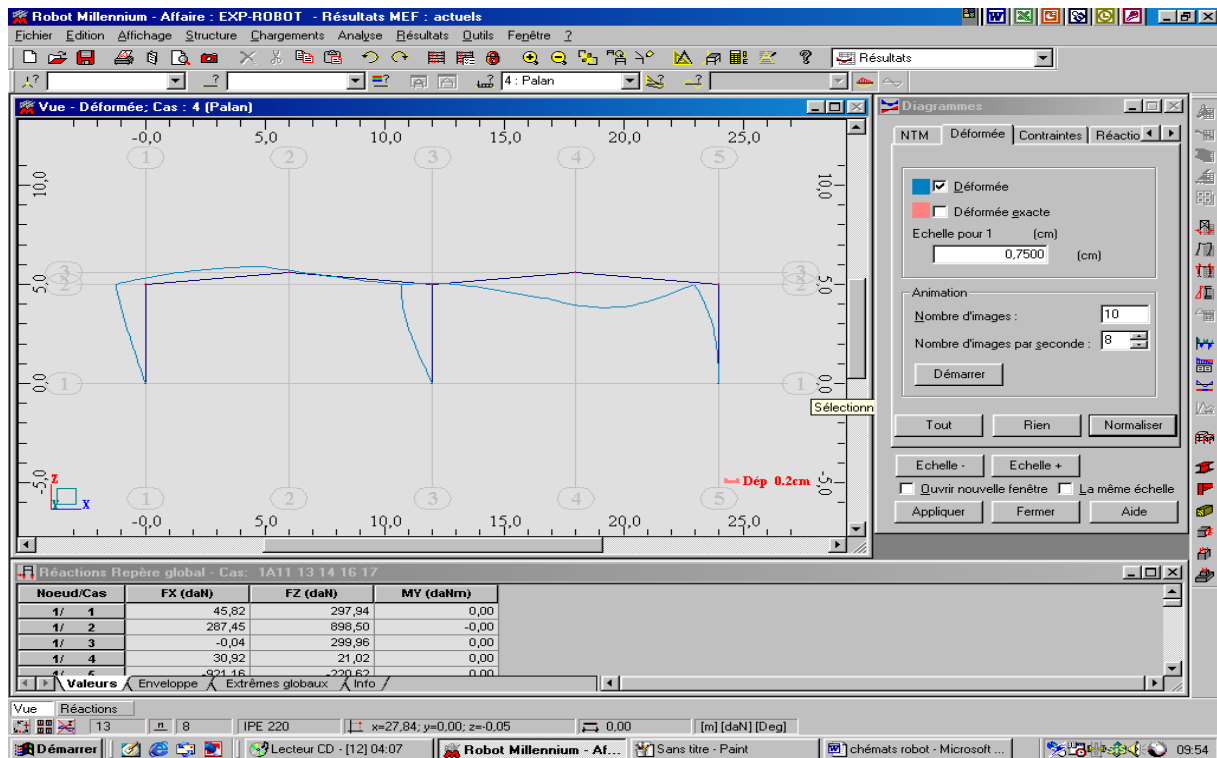
- Vérification de l'assemblage. Clic dans la fenêtre **Vue de l'assemblage**, puis **Analyse/Calcul** pour ouvrir la boîte de dialogue du calcul.
- Dans le champ Liste relatif aux cas de charge, saisir **Tout**, puis **Calculs**



## IV.8 ANALYSE DES RESULTATS :

### IV.8.1 La déformée de la structure :

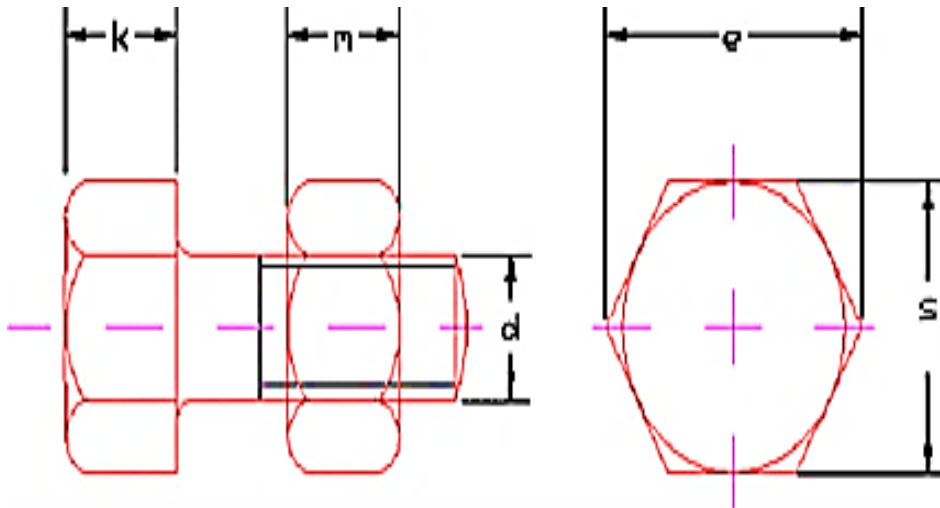
- Visualisation de la déformée de la structure sous le chargement de vent. Dans la fenêtre **Diagrammes**, clic sur l'onglet **Déformée** et activer l'option **Déformée**, puis **Appliquer**.



**Figure IV-11:** La déformée de la structure

## IV.9 ASSEMBLAGE POTEAU/TRVERSE :

- Dans la liste des bureaux disponibles, sélectionner le bureau **Dimensionnement/assemblage acier**.
- Dans la fenêtre **Vue**, sélectionner le poteau gauche extrême et la travée (sélection par capture) puis **Créer**. Il apparaît le dessin de l'assemblage défini ci-dessous.
- Définir les différentes options pour l'assemblage dans la fenêtre **Définition de l'assemblage-Eurocode**.



### II.9.2 Ecrou :

Les écrous sont définis par les paramètres suivant :

- Description écrou.
- Diamètre écrou (voir s sur la figure ci-dessous)
- Diamètre diagonale de l'écrou (voir e sur la figure ci-dessus)
- Hauteur de l'écrou (voir m sur la figure ci-dessous)

### II.9.3 Rondelle :

Les propriétés suivantes définissent une rondelle (voir figure ci-dessus) :

- Description de la rondelle
- Dimension D de la rondelle
- Dimension t de la rondelle
- Dimension d2 de la rondelle
- Matériau de la rondelle

### II.9.4 Longueur du boulon :

Un boulon standard peut être défini de 2 manières :

- Par la relation standard longueur-longueur du trou
- En ajoutant une valeur spécifique à la longueur du trou.

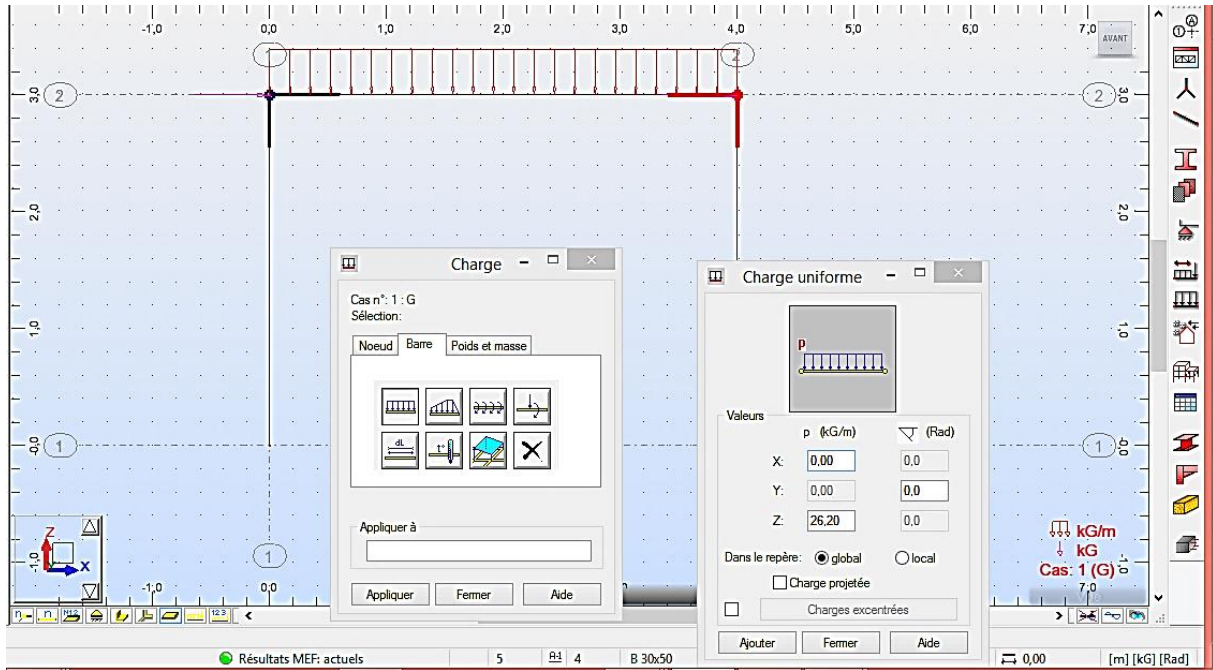


Figure IV-9: Définition de la Charge permanente

#### IV.7.2 Charge d'exploitation :

- Définition d'un nouveau cas de charge (nature : exploitation, nom : Q).
- Clic sur le bouton **Nouveau** dans la boîte de dialogue **Cas de charge**.
- Clic sur l'index **Barres** puis sur force et/ ou moment sur barre.

Paramètres de charge : Clic dans le champ intersection de la colonne «F» et de la ligne Z et saisir la valeur -6 (daN).

- Sélectionner la barre correspondante puis **Appliquer**.

#### IV.7.3. Force nodale F :

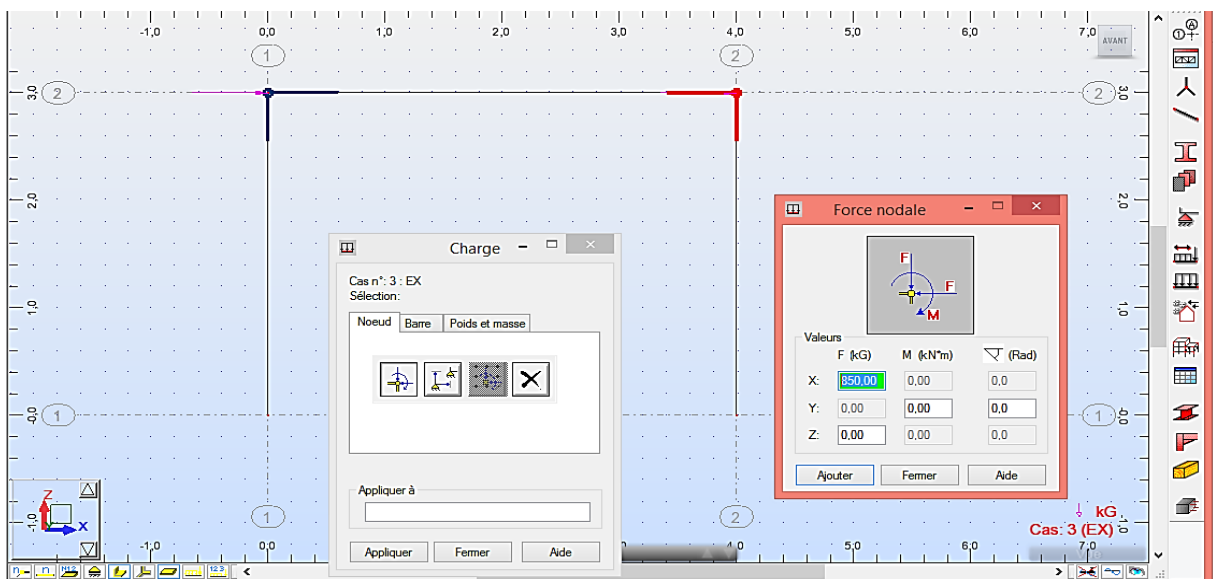


Figure IV-10: Définition de la force nodale

# Sommaire

## Introduction général

## Chapitre I : généralités sur les assemblages métalliques

I.1 INTRODUCTION.....	1
I.2 COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES METALLIQUES DANS UNE STRUCTURE GLOBALE.....	1
I.3 DEFINITIONS ET ROLE D'UN ASSEMBLAGE.....	2
I.3.1 CONFIGURATIONS D'ASSEMBLAGES DANS LE PLAN.....	2
I.3.2 DEFINITION DE LA ZONE D'ATTACHE ET DE L'ASSEMBLAGE (ASSEMBLAGE POTEAU-POUTRE).....	3
I.4 DIFFERENTS TYPES D'ASSEMBLAGES DANS UNE STRUCTURE METALLIQUE.....	3
I.5 MODES D'ASSEMBLAGES.....	6
I.5.1 LE RIVETAGE.....	6
I.5.2 Les Assemblages soudés.....	7
I.5.3 ASSEMBLAGES BOULONNES.....	8
I.5.3.1 Dimensions des boulons.....	8
I.5.3.2 Nuances d'acier .....	9
I.5.3.3 Diamètres des trous.....	9
I.5.3.4 Sections nominale et résistante d'un boulon .....	11
I.5.3.5 Principe de transmission des efforts .....	12

## IV.7 DEFINITION DES CHARGEMENTS :

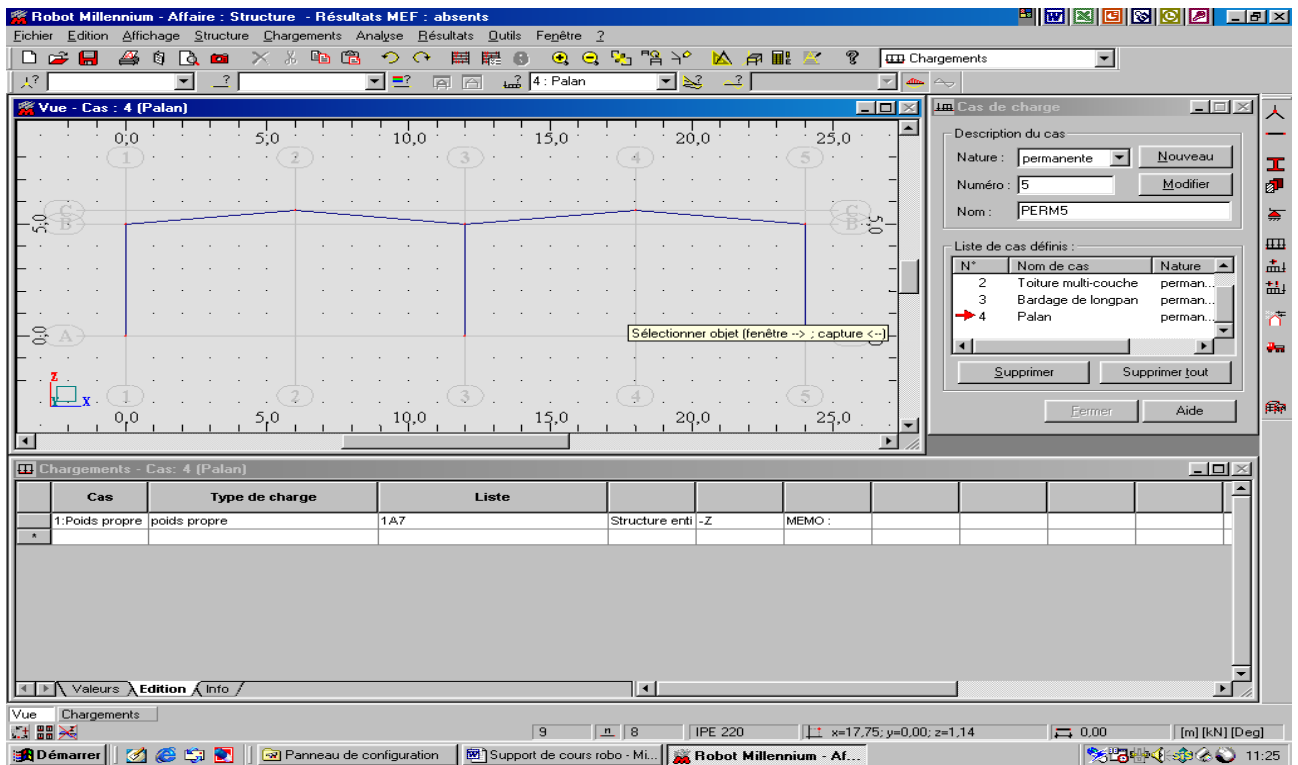


Figure IV-8: Définition des chargements :

- Dans la liste des bureaux disponibles, sélectionner **Chargements**.



- Définition d'un nouveau cas de charge (nature : permanente, nom : poids propre).
- Clic sur le bouton **Nouveau** dans la boîte de dialogue **Cas de charge**.

### IV.7.1 Charge permanente :

- Définition d'un nouveau cas de charge (nature : permanente, nom : G).
- Clic sur le bouton **Nouveau** dans la boîte de dialogue **Cas de charge**.
- Clic sur l'index **Barres** puis sur **Charges uniformes** |

Paramètres de la charge : Clic dans le champ intersection de la colonne «F» et de la ligne Z et saisir la valeur -28 (daN/m), puis Appliquer.

- Sélectionner la barre correspondante et **Applique**

**Le couple de serrage est la résultante de quatre effets :**

- Vaincre les frottements apparaissant entre la tête du boulon avec la plaque B, entre l'écrou et la rondelle.
- Vaincre les frottements apparaissant entre le filetage du boulon et l'écrou.
- Tirer sur le boulon pour l'allonger.
- Ecraser les deux plaques A et B pour les comprimer et les maintenir.

Les effets 1 et 2 serviront à empêcher le boulon de se desserrer car pendant la phase de serrage, ces effets sont parasites. Les deux effets sont très fortement influencés par les frottements de boulon-écrou-plaques, donc par les états de surfaces. L'effet 3 sert à profiter de l'élasticité du boulon pour qu'il comprime la plaque A contre la plaque B, plus on serrera fort plus on tirera sur le boulon et plus en empêcher les deux plaques A et B de se décoller sous l'effet des vibrations, de températures, des efforts extérieurs, mais, si on serre trop fort, on risque de trop écraser les plaques, d'allonger voire de casser le boulon. L'effet 4 est complémentaire de l'effet 3.

Si le boulon est beaucoup plus résistant que les plaques, celle-ci s'écrasera beaucoup alors que le boulon s'allongera peu et inversement.

## **II.9 QUELQUES NOTIONS SUR LES BOULONS :**

### **II.9.1 Boulon :**

Les boulons sont définis par les paramètres suivants :

- Description du boulon.
- Calibre du trou.
- Diamètre de construction (= diamètre requis pour la clé du boulon).
- Diamètre de tête (voir **S** sur la figure ci-dessus).
- Diamètre de tête diagonale (voir **E** sur la figure ci-dessus).
- Hauteur de la tête (voir **k** sur la figure ci-dessus).
- Section droite brute A du boulon.
- Aire de contraintes de traction  $A_s$  du boulon.

## V.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on a présenté l'interprétation des résultats obtenus lors du calcul numériques, en éléments finis non linéaire, permettent de simuler et d'analyser le comportement des assemblages métalliques respectivement dans la zone **I**, **IIa**, **IIb** et **III** et cela jusqu'à la ruine.

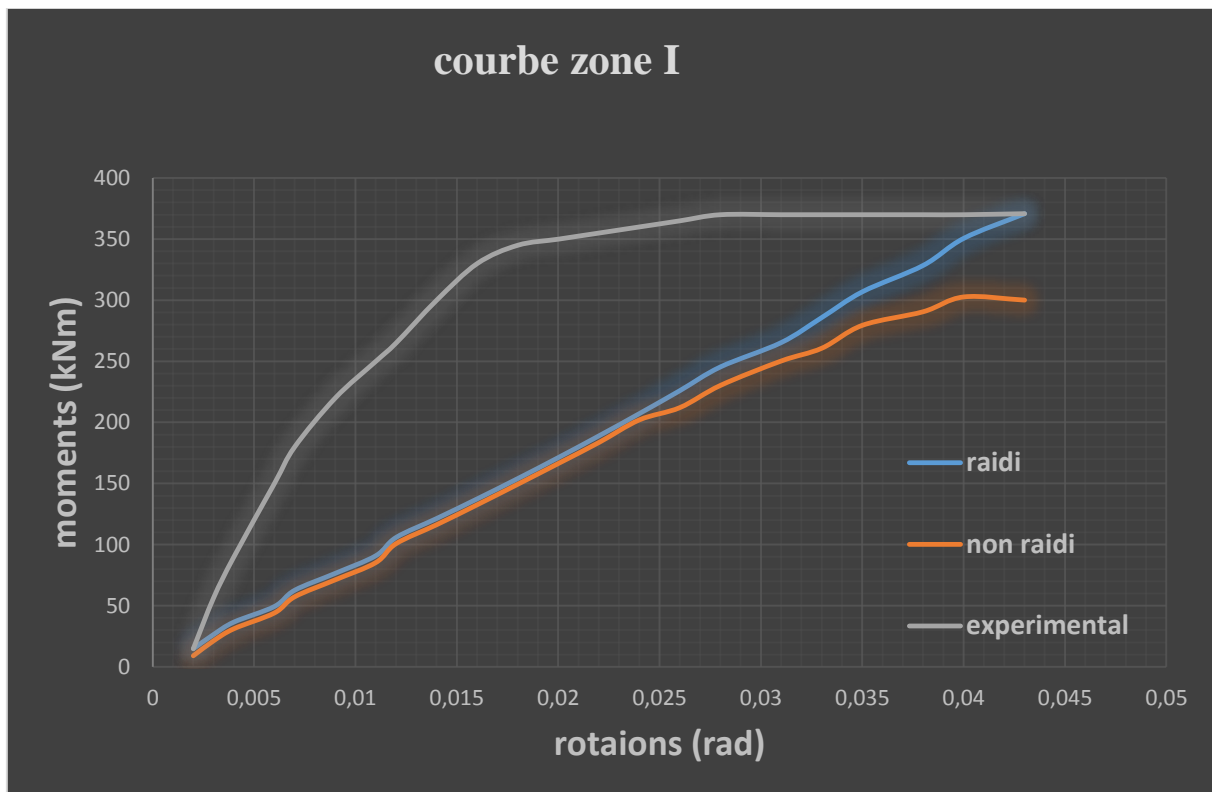
On a illustré les résultats obtenue à travers la simulation **Robot**, sous forme de tableaux qu'on a traduit –a laide d'EXCEL- par des courbe moment-rotation qui permet par la suite de comparer et classifier les assemblages métalliques.

## V.2 Classification des assemblages selon la rigidité et la résistance :

### V.2.1 En termes de rigidité :

$$0.5 E I_p / L_p = 727,608 \text{ KN.m/rad}$$

$$8 E I_p / L_p = 1164,172 \text{ KN.m/rad}$$



**Figure V.1** courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone **I**

## I.12 PRECAUTIONS CONSTRUCTIVES :

Les assemblages constituent des zones particulières plus fragiles que les zones courantes des pièces, car les sections sont réduites du fait des perçages ou la nature de l'acier affaiblie par la chauffe du soudage. En outre, les assemblages sont soumis à des sollicitations qui peuvent s'inverser et les contraintes peuvent changer de sens (une poutre de charpente peut fléchir dans le sens positif sous charge de neige et dans le sens négatif sous soulèvement par le vent). C'est pourquoi il faut être particulièrement vigilant dans la conception et le calcul des assemblages, afin de se prémunir contre tout risque de rupture brutale.

Les assemblages peuvent être considérés comme autant de "talons d'Achille" dans une structure, et les anciens ont coutume de dire qu'une charpente sous dimensionnée, mais correctement assemblée, est préférable à une charpente correctement dimensionnée, mais mal assemblée. Dans le premier cas, la réserve de plasticité autorisera l'apparition de grandes déformations, qui préviendront du risque possible, en revanche, dans le second cas, aucune déformation prémonitoire ne sera observable avant la rupture brutale mais un bon dimensionnement n'est pas suffisant, si la conception n'est pas correcte, il faut assurer, au travers de l'assemblage, la transmission parfaite des forces, afin de ne pas créer d'efforts ou de moments secondaires parasites.

## I.13 Conclusion

D'une manière générale la construction métallique et les avantages qu'elle offre ne sont plus à démontrer, elle ouvre une large porte vers la modernisation et l'industrialisation de la construction, elle est appréciée et recherchée dès que des grandes portées ou des grandes hauteurs s'imposent.

Cependant ce type de construction repose principalement sur les assemblages des différents éléments nécessitant une précaution supplémentaire, d'être capable de transmettre, de manière sécuritaire, les charges désirées entre les éléments assemblés.

L'analyse des assemblages requiert le choix d'une distribution réaliste des efforts internes en équilibre avec les forces extérieures appliquées, dans laquelle chaque élément est capable de transmettre l'effort qui est supposé lui être appliqué et pour laquelle les déformations des éléments sont inférieures à leur capacité de déformation.

IV.6.2 Barres :

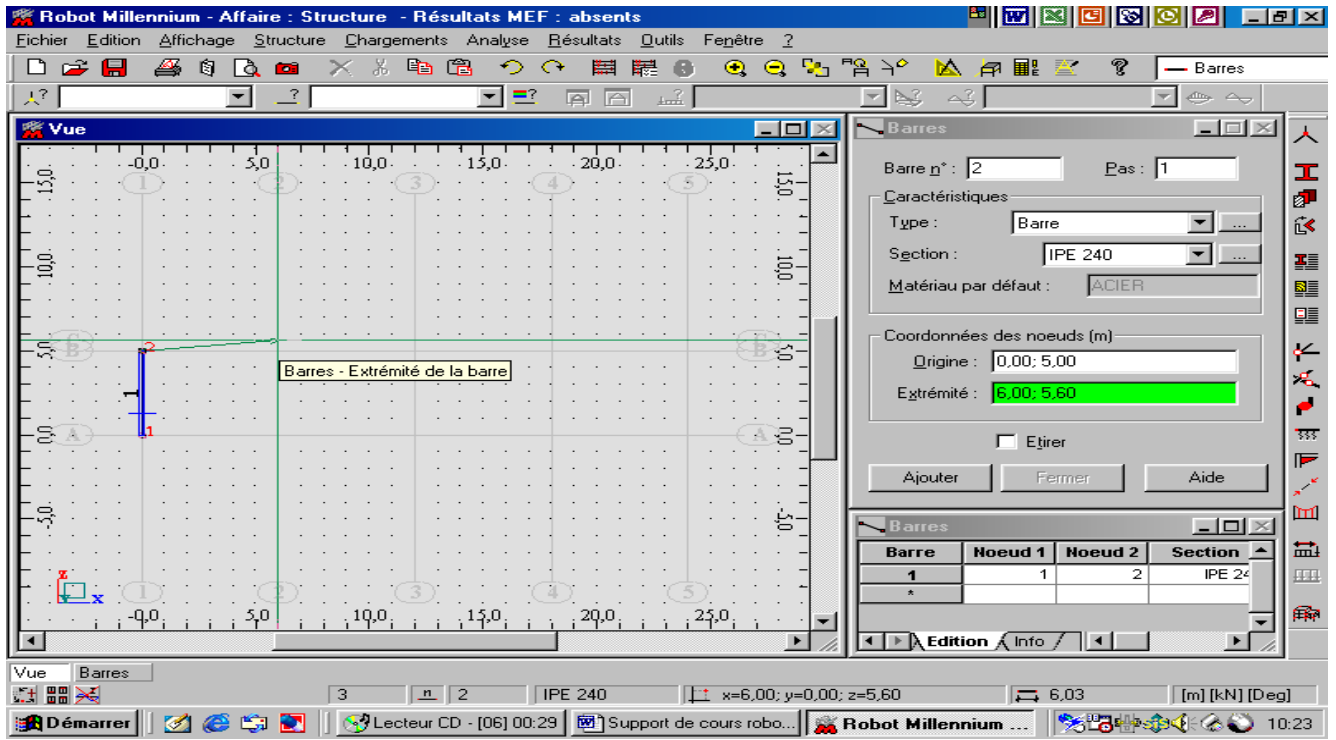


Figure IV-6: les étapes de la modélisation

IV.6.3 Appuis :

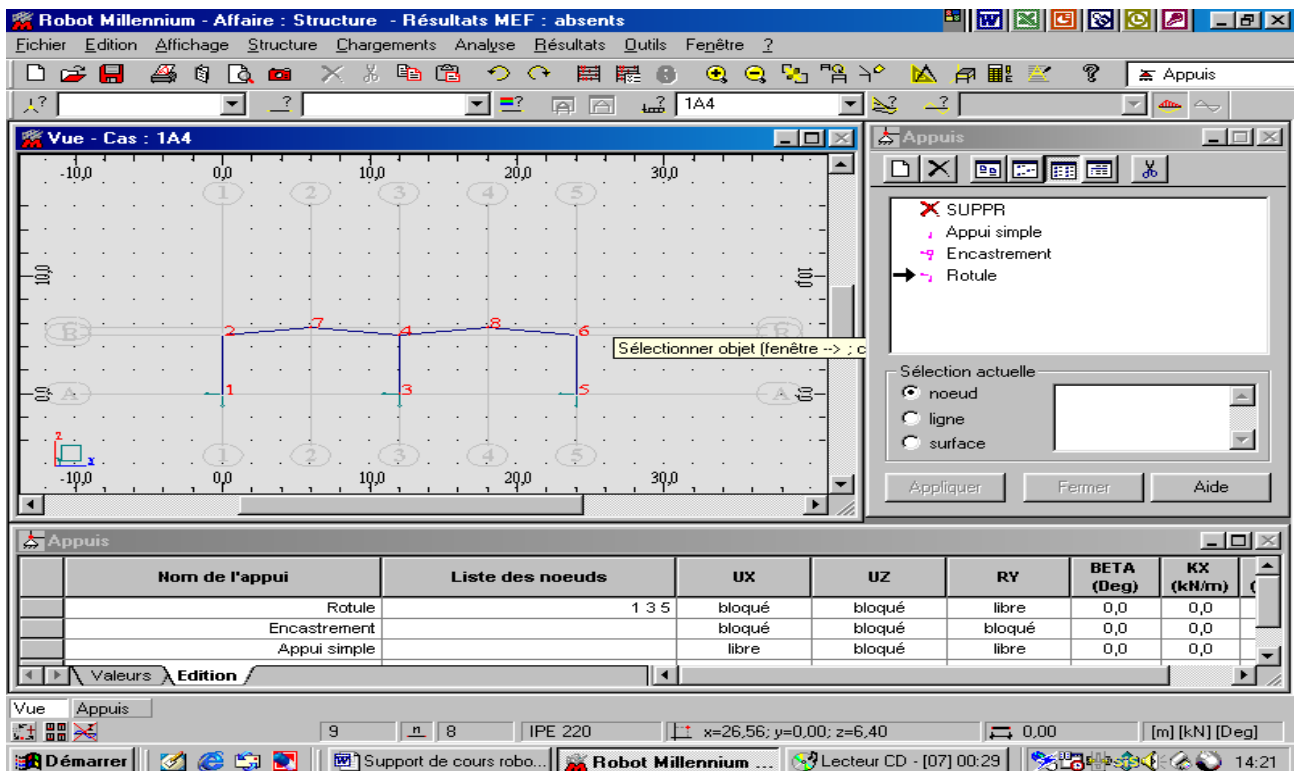
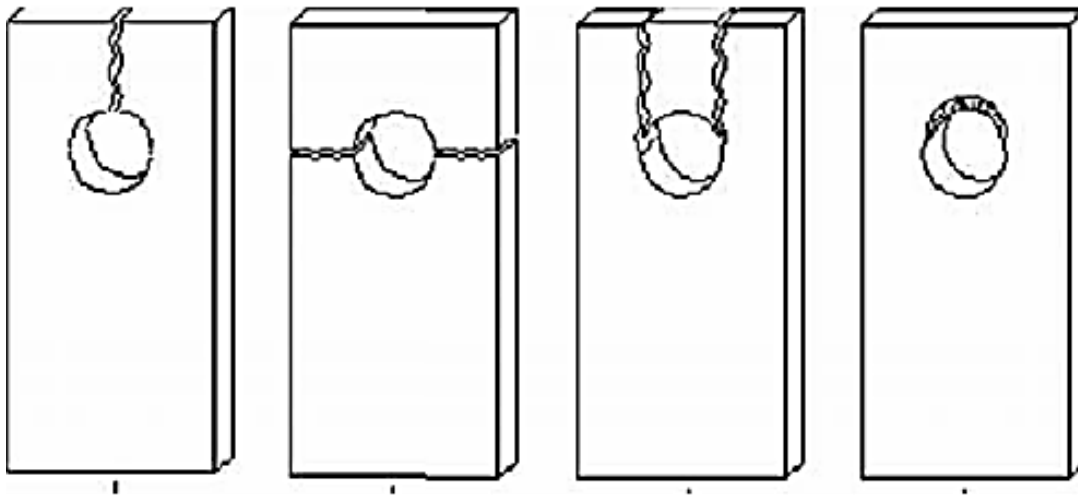


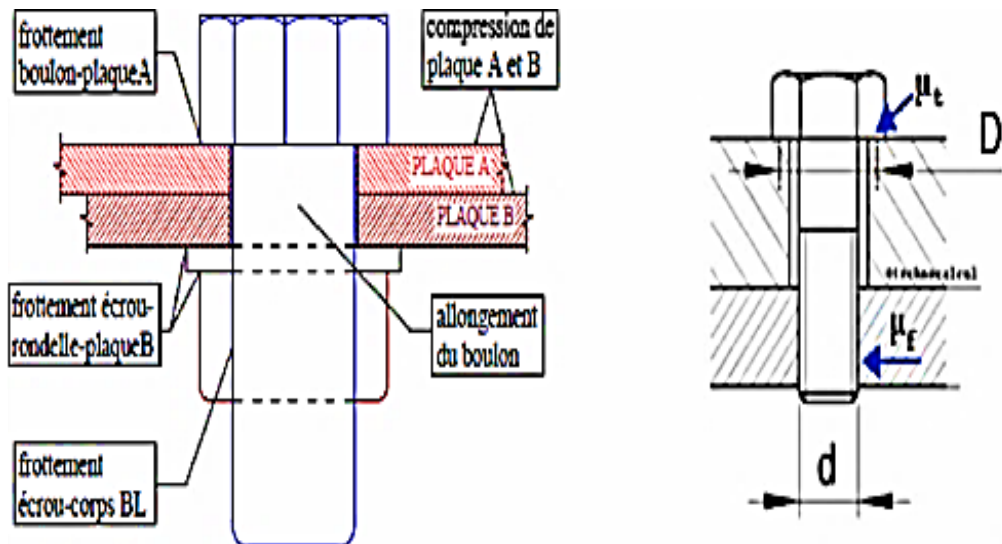
Figure IV-7 paramètre du type d'appuis



**Figure II.15** Mode de rupture dans les assemblages boulonnés [16]

### II.8 L'EFFET DU COUPLE DE SERRAGE :

Le couple de serrage a une influence directe sur l'effort de tension dans le boulon car quand on serre l'écrou pour l'assemblage des plaques, On exerce sur celui-ci un couple de serrage en fixant la tête de vis jusqu'à ce que le dessous de la tête de boulon vienne en contact avec la plaque A. puis la rondelle et l'écrou viennent en contact avec la plaque B.



**Figure II.16** Les effets du couple de serrage [16]

**Zone I :**

**Assemblage raidi :**

$$R_{init} = tg\alpha = M/\theta = 8125.58 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{init} = 8125.58 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172} \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{init} = 8125.58 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608} \text{ KN.m/rad}$$

➤ C'est un assemblage rigide.

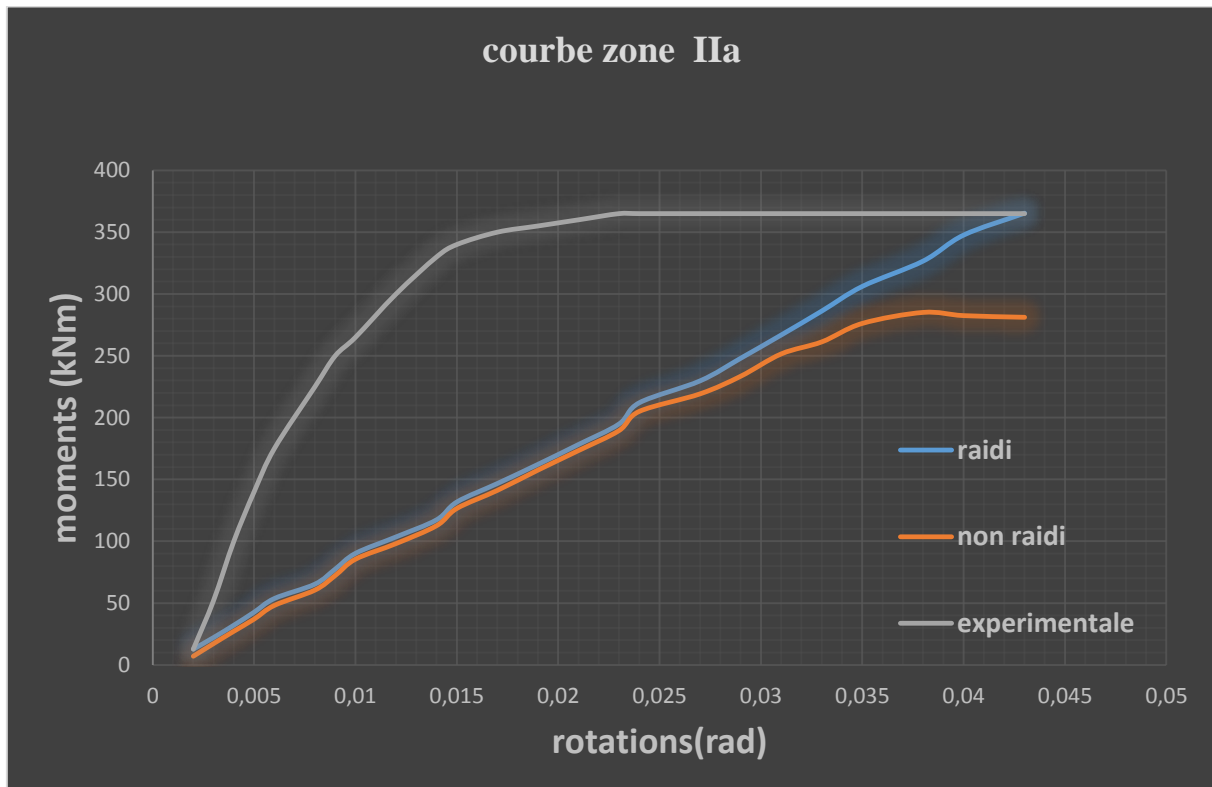
**Assemblage non raidi :**

$$R_{init} = tg\alpha = M/\theta = 7568 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{init} = 7040 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172} \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{init} = 7040 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608} \text{ KN.m/rad}$$

➤ C'est un assemblage rigide.



**Figure V.2** courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone IIa

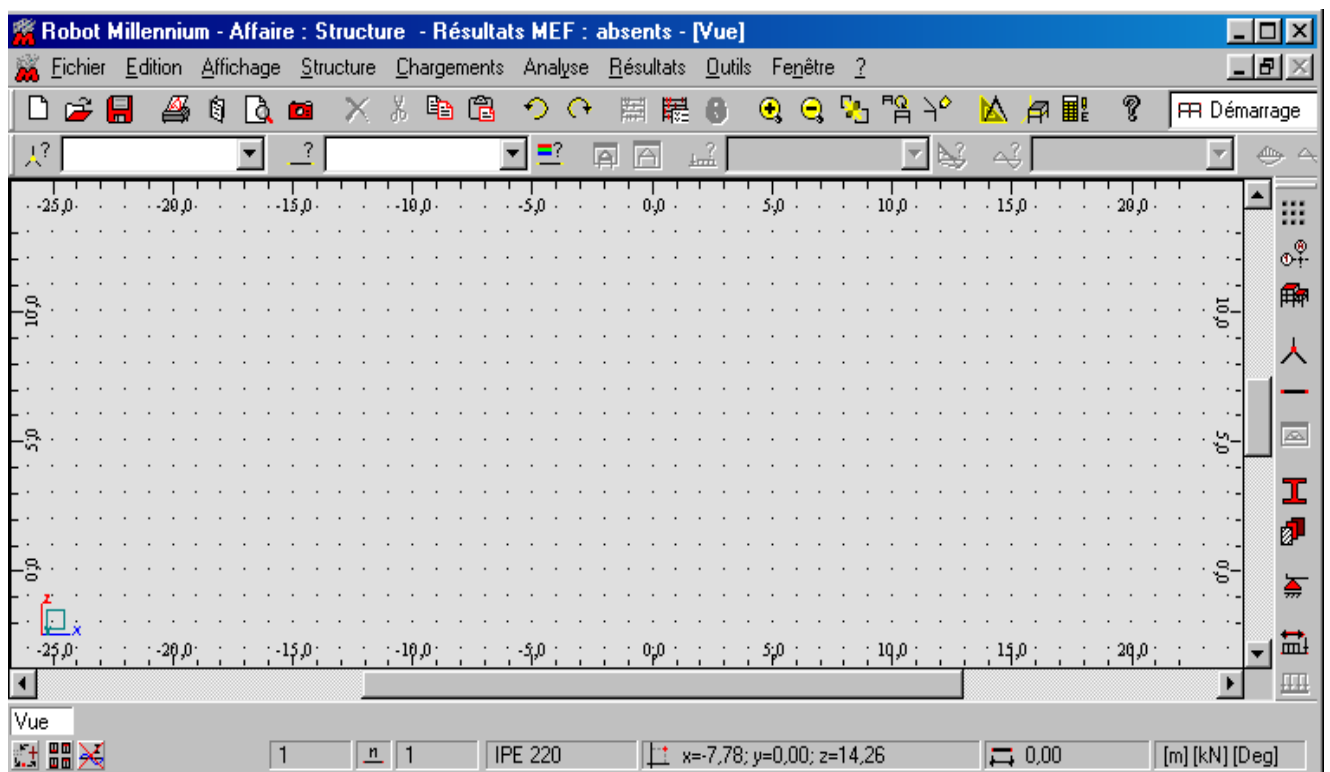
<b>I.6 CARACTERISTIQUE D'UN ASSEMBLAGE BOULONNE.....</b>	<b>15</b>
<b>I.7 COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES METALLIQUES.....</b>	<b>15</b>
<b>I.8 CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES BOULONNES.....</b>	<b>15</b>
<b>I.8.1 Assemblage rigide.....</b>	<b>17</b>
<b>I.8.2 Assemblage articulé.....</b>	<b>17</b>
<b>I.8.3 Assemblage semi-rigide.....</b>	<b>17</b>
<b>I.9 CLASSIFICATION DES ASSEMBLAGES METALLIQUES .....</b>	<b>17</b>
<b>I.9.1 Classification par la rigidité .....</b>	<b>17</b>
<b>I.9.1.1 Assemblage rigide .....</b>	<b>18</b>
<b>I.9.1.2 Assemblage semi-rigide.....</b>	<b>19</b>
<b>I.9.1.3 Assemblage articulé .....</b>	<b>19</b>
<b>I.9.2 Classification par la résistance .....</b>	<b>19</b>
<b>I.9.2.1 Assemblage à résistance complète .....</b>	<b>20</b>
<b>I.9.2.2 Assemblage à résistance partielle.....</b>	<b>20</b>
<b>I.9.2.3Assemblage articulé .....</b>	<b>21</b>
<b>I.9.3 Classification par la capacité de rotation .....</b>	<b>21</b>
<b>I.10 MODELISATION DES ASSEMBLAGES POUTRE_POTEAU .....</b>	<b>21</b>
<b>I.10.1Modélisation des assemblages adoptée par l'Eurocode 3 .....</b>	<b>24</b>
<b>I.10.2 Modélisation des courbes moment-rotation .....</b>	<b>25</b>
<b>I.11</b>	<b>RENFORCEMENT</b>
<b>ASSEMBLAGE .....</b>	<b>26</b>
<b>I.11.1 Les raidisseurs transversaux de poteau .....</b>	<b>26</b>
<b>I.11.2 Les renforcements par contre-plaques .....</b>	<b>27</b>
<b>I.11.3 Les doublures d'âme.....</b>	<b>27</b>
<b>I.12 PRECAUTIONS CONSTRUCTIVES .....</b>	<b>28</b>
<b>I.13 Conclusion.....</b>	<b>28</b>

## IV.6 MODELISATION DE LA STRUCTURE

Pour commencer la définition de la structure il faut lancer le système robot et clic sur l'icône correspondante.

Dans la fenêtre de l'assistant affiché par Robot, on sélectionne le premier icône du premier rang (Etude d'un portique plan).

### IV.6.1 lignes de constructions :

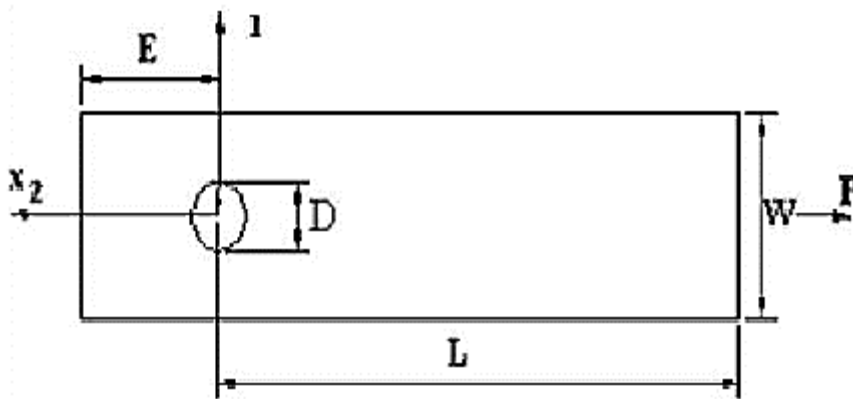


**Figure IV-5:** lignes de constructions

Le mode de rupture dans les plaques de l'assemblage boulonné dépend, entre autre, de deux paramètres géométriques décrivant les efforts du bord. Définis par deux rapports :

Le rapport entre la largeur de la plaque  $W$  et le diamètre du trou  $D$  qui définit le pourcentage de la zone utile de la plaque résistant à l'effort de traction.

Le rapport entre la distance du centre du trou ( $E$ ) au bord libre de la plaque et du diamètre du trou ( $D$ ) qui définit le pourcentage de la zone utile de la plaque à l'effort de cisaillement.



**Figure II.14** Paramétrage des efforts de bord d'une plaque trouée [11]

Pour les assemblages boulonnés les ruptures dans les plaques sont toujours situées à partir du bord du trou. Nous pouvons citer quatre modes de ruptures souvent rencontrés.

Par clivage caractérisé par la surface de cisaillement décrite par :

$$S_c = \left(E - \frac{D}{2}\right) \times t$$

Avec :  $t$  = épaisseur de la plaque

Par cisaillement caractérisé par deux surfaces de cisaillement décrite par

$$S = 2 \times (E \times t)$$

Par traction caractérisé par la surface :

$$S = (W - D) \times t$$

Par matage caractérisé par une zone de frottement endommagée sous l'action du corps du boulon conduisant à l'ovalisation du trou.

Il existe aussi des modes de ruptures mixtes (traction-cisaillement) ou les deux se propagent selon une direction quelconque.

**Zone IIa :**

**Assemblage raidi :**

$$R_{\text{init}} = \text{tg}\alpha = M/\theta = 7880.9 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 7880.9 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172 \text{ KN.m/rad}}$$

$$R_{\text{init}} = 7880.9 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608 \text{ KN.m/rad}}$$

➤ **C'est un assemblage rigide.**

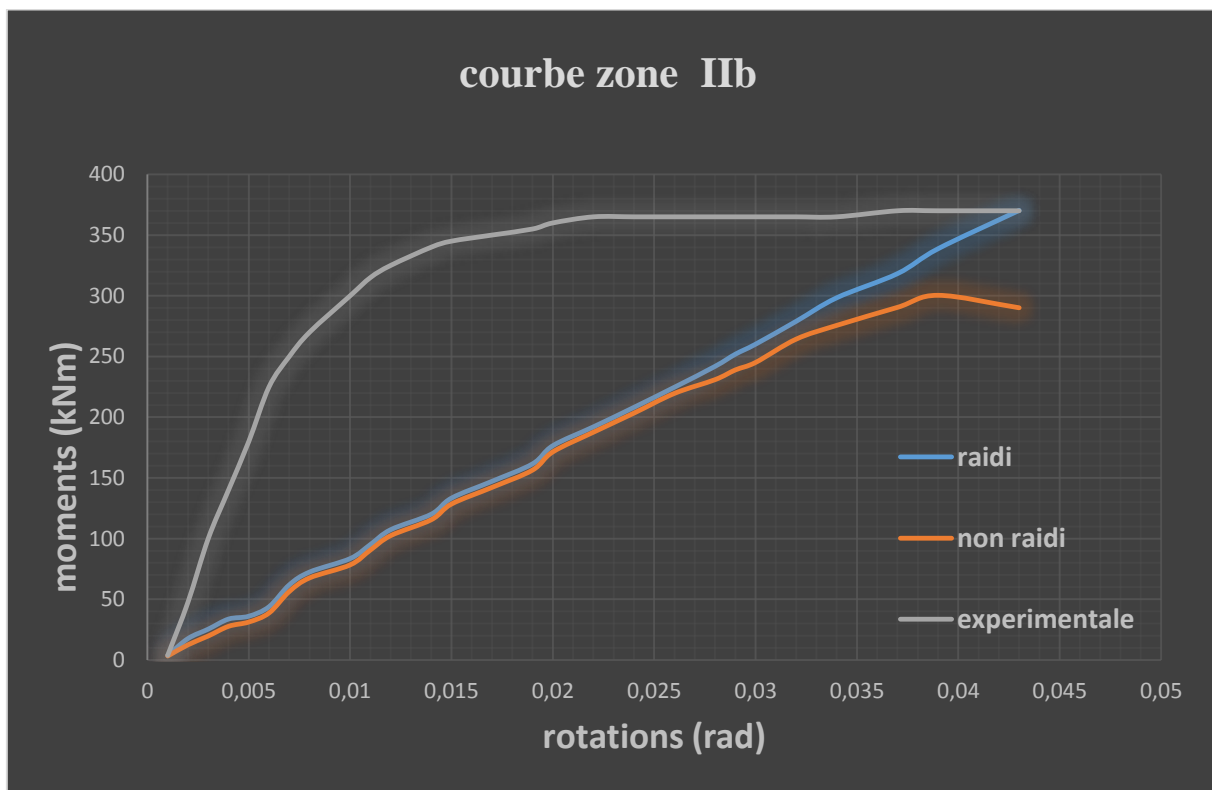
**Assemblage non raidi :**

$$R_{\text{init}} = \text{tg}\alpha = M/\theta = 6570,93 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 6570,93 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172 \text{ KN.m/rad}}$$

$$R_{\text{init}} = 6570,93 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608 \text{ KN.m/rad}}$$

➤ **C'est un assemblage rigide.**



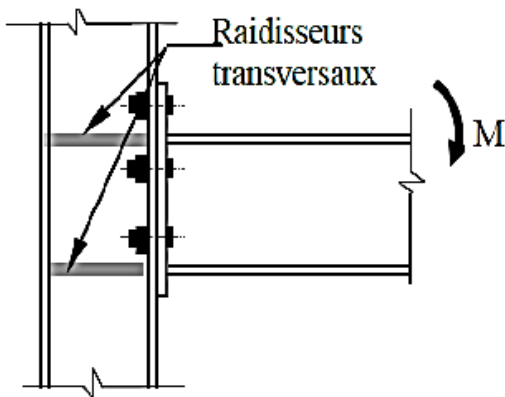
**Figure V.3** courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone **IIb**

### I.11.2 Les renforcements par contre-plaques :

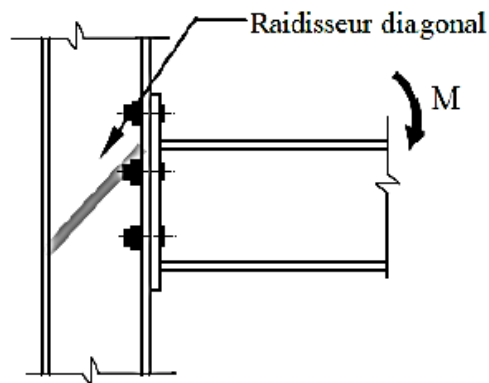
Ce sont des platines boulonnées contre la semelle du poteau en recouvrant au moins deux rangées de boulons dans la zone tendue de l'assemblage (**Figure I.25.c**). Elles permettent d'augmenter la résistance de la semelle du poteau pour certains modes de ruine ainsi que la rigidité dans certains cas, comme en présence de la précontrainte. Dans l'EC3, seule la partie résistance est considérée.

### I.11.3 Les doublures d'âme :

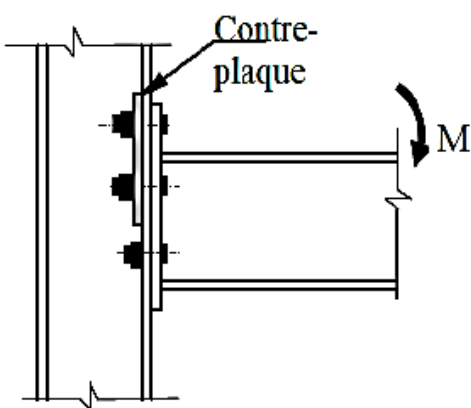
Une doublure d'âme, soudée sur tout son pourtour (**Figure I.25.d**) est utilisée pour augmenter la résistance de l'âme du poteau vis-à-vis de la traction, de la compression et du cisaillement. Dans le cas où la largeur de la doublure est très grande, des boulons sont nécessaires pour la solidariser à l'âme du poteau.



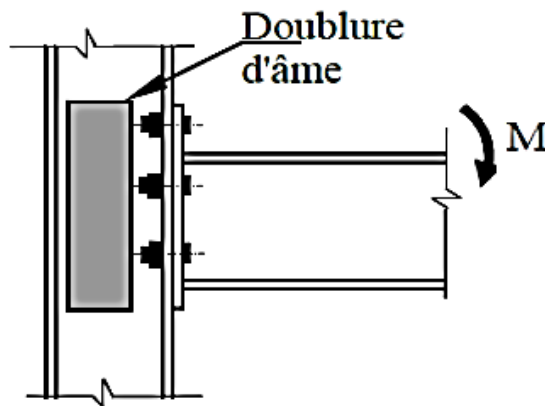
(a) assemblage avec raidisseurs transversaux



(b) assemblage avec raidisseur diagonal



(c) Assemblage avec contre-plaque

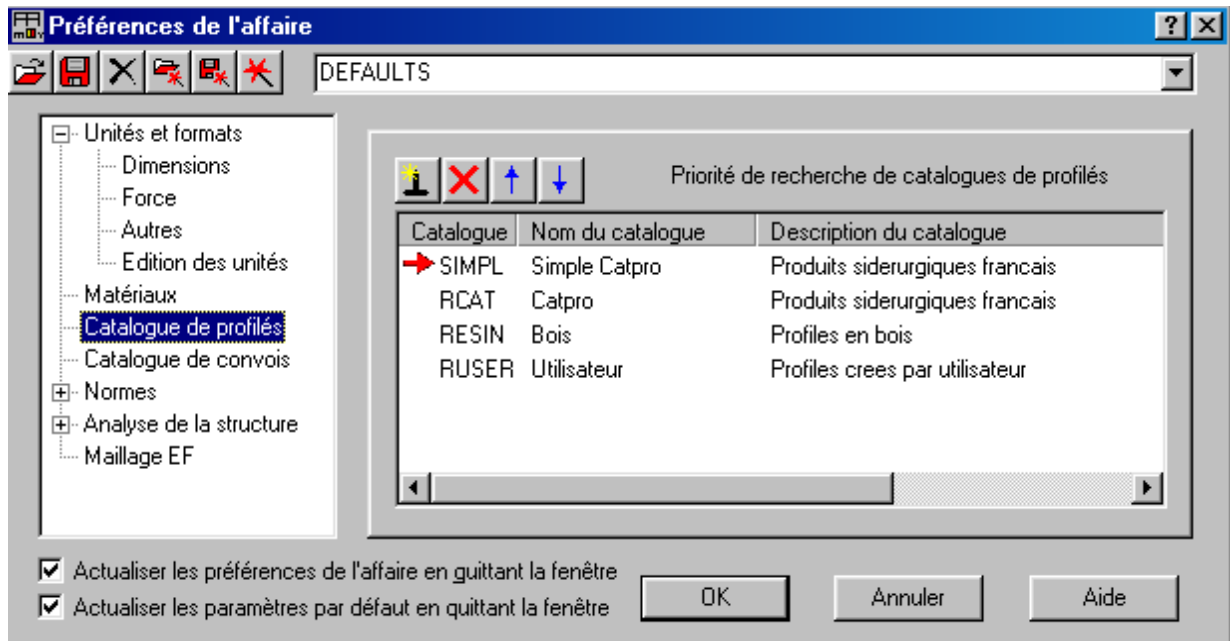


(d) Assemblage avec doublure d'âme

**Figure I.25** moyen de renforcement des assemblages selon l'EC3.

#### IV.4.2.4 Catalogue de profilés :

A propos de catalogue de profilés, les bases de données listées sont accessibles dans **Robot** dans l'ordre spécifié à cet endroit. Vous pouvez modifier l'ordre des catalogues pour mettre par exemple votre catalogue utilisateur en premier.



**Figure IV-4:** Catalogue de profilés

### IV.5 PARAMETRE DE L'ETUDE :

**Unité de données :** m et daN

**Géométrie :**

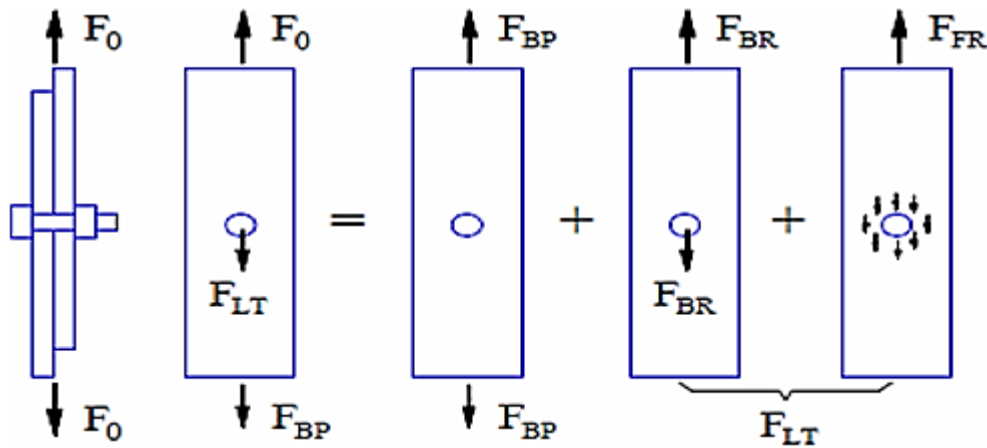
- Largeur entre portique : 4,00 m (constante)
- Hauteur des poteaux : 3,00 m
- Pied de poteaux : encastéré

**Section :**

- Poteaux : IPE 240
- Traverses : IPE220

**Charge : [17]**

- Permanentes :  
G: 28 daN/m
- Exploitation  
Q : 6 daN



**Figure II.13** Principe du transfert de charge dans un assemblage boulonné [7]

## II.6 CONCENTRATION DE CONTRAINTE DANS UN ASSEMBLAGE BOULONNE :

La concentration de contraintes aux bords des alésages des plaques est la cause principale de fissurations dans les assemblages boulonnés : la rupture survenant toujours par propagation de ces fissures dans les zones les plus sollicitées. La durée de vie de l'assemblage est directement liée au coefficient de concentration de contrainte  $K_t$  qui est défini comme le rapport de la contrainte maximale au bord de trou sur la contrainte appliquée à l'infini.

**BARROIS, en 1973 [BAR 73]** donne des formulations pour le calcul de ce coefficient de sur-contrainte en fonction du diamètre de la flexion.

$$K_t = \frac{1 + \lambda_k^2}{\lambda_k(1 - \lambda_k)} \quad \text{Avec :} \quad \lambda_k = \frac{\phi}{b}$$

Où  $b$  : la largeur de l'assemblage.

## II.7 MODES DE RUPTURES D'UN ASSEMBLAGE BOULONNE :

Les assemblages boulonnés sollicités en traction-cisaillement se rompent selon différents mode de rupture. Plusieurs travaux dans la littérature ont porté sur la chronologie et les mécanismes d'endommagement. Généralement, La fissuration s'initie au voisinage du bord de trou du fait de la concentration des contraintes : la contrainte à la rupture du matériau est dépassée dans cette zone de l'assemblage.

Ensuite. La fissure se propage d'une façon stable sur une certaine longueur. Suivra ensuite une propagation instable, provoquant la ruine l'assemblage. Mais la rupture peut aussi se produire au niveau de la fixation par cisaillement au plan de joint quand la valeur de la contrainte tangentielle du matériau du boulon atteint sa valeur maximale.

**Zone IIb :**

**Assemblage raidi :**

$$R_{\text{init}} = \text{tg}\alpha = M/\theta = 8086,97 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 8086,97 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172} \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 8086,97 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608} \text{ KN.m/rad}$$

➤ C'est un assemblage rigide.

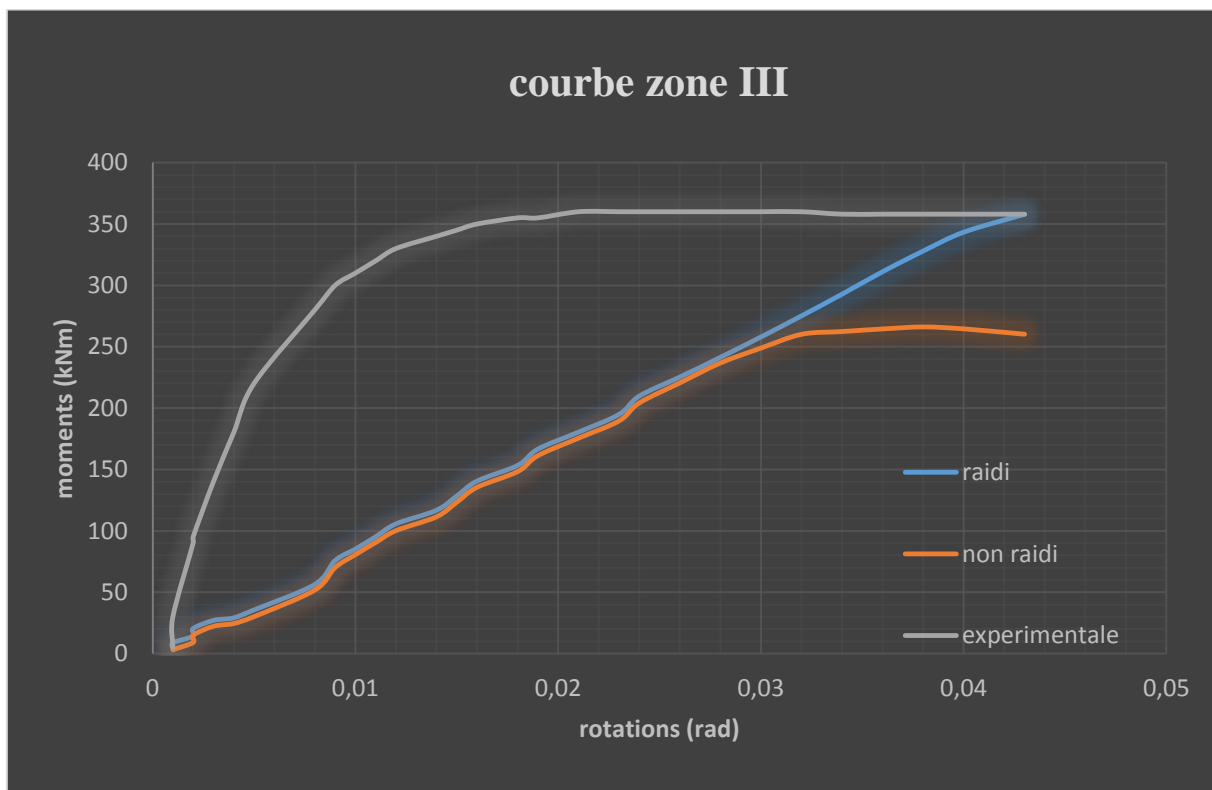
**Assemblage non raidi :**

$$R_{\text{init}} = \text{tg}\alpha = M/\theta = 6747,9 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 6747,9 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172} \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 6747,9 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608} \text{ KN.m/rad}$$

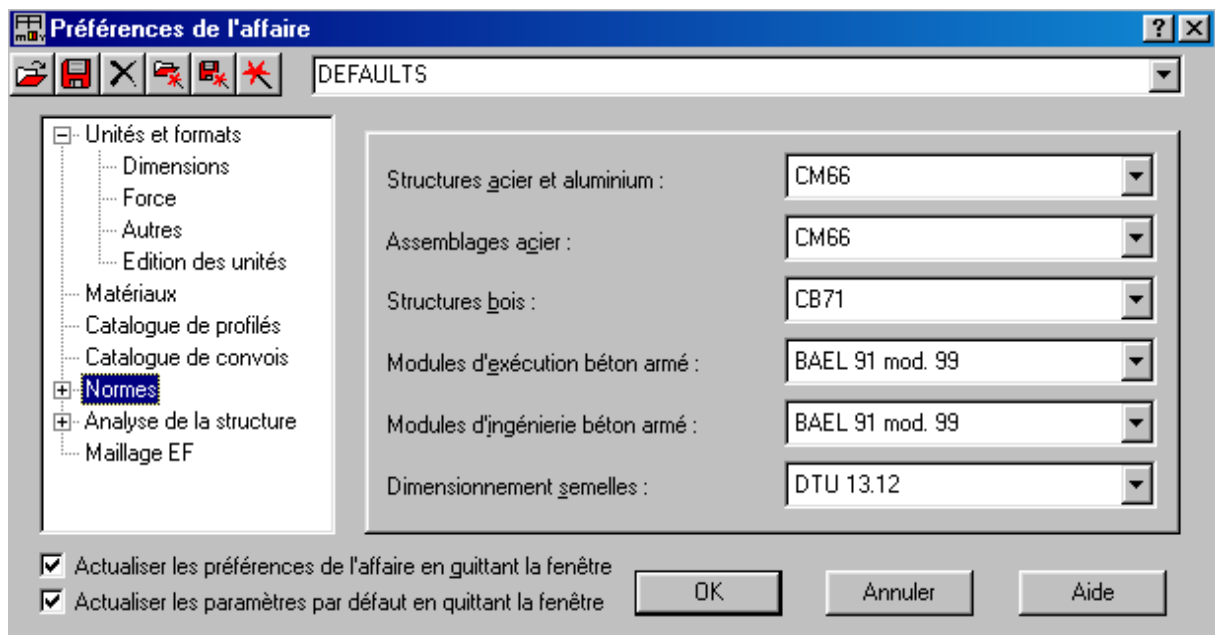
➤ C'est un assemblage rigide.



**Figure V.4** courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone **III**

## Chapitre II : états de connaissances sur les assemblages

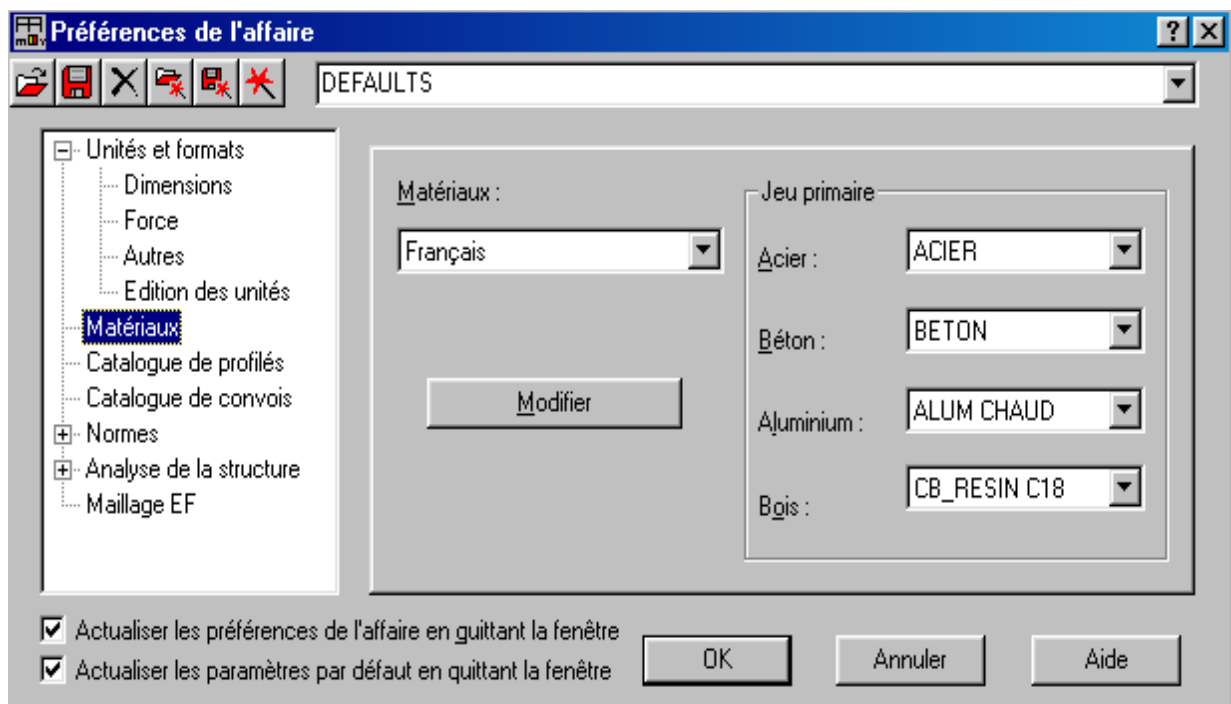
II.1 INTRODUCTION.....	29
II.2 RECHERCHES EFFECTUEES SUR LE COMPORTEMENT D'ASSEMBLAGE BOULONNE.....	29
II.2.1 GRUNDY (1980).....	29
II.2.2 KRIHNAMURTHY et GRADY (1976).....	30
II.2.3 BIRSI et LEONELLI (1994).....	30
II.2.4 GEBBEKEN (1994).....	31
II.2.5 BURSI ET JASPART (1997).....	31
II.2.6 SHERBOURNE et BAHARI (1997).....	31
II.2.7 ABIDELAH.A (2009) .....	32
II.3 LES DIFFERENTS MODELES MECANIQUE A RESSORT.....	32
II.3.1 J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA 1999.....	32
II.3.2 MODELE DE L'EUROCODE-3 .....	34
II.3.2.1 Le moment résistant de l'assemblage $M_{j,Rd}$ .....	34
II.3.2.2 Rigidité initiale en rotation .....	35
II.3.2.3 La capacité en rotation.....	35
II.4 COMPORTEMENT DE LA ZONE TENDUE D'ASSEMBLAGE (TRANCON EN TE).....	36
II.4.1 fonctionnement du tronçon en té.....	36
II.4.2 Modèle théorique du tronçon en té.....	37
II.4.3 Résistance du tronçon en té.....	38
II.4.4 Rigidité du tronçon en Té.....	39



**Figure IV-2: Réglage des normes**

#### IV.4.2.3 Choix des matériaux :

La fenêtre des préférences relatives aux matériaux est présentée sur la figure ci-dessous.



**Figure IV-3: les différents matériaux**

### III.1 INTRODUCTION :

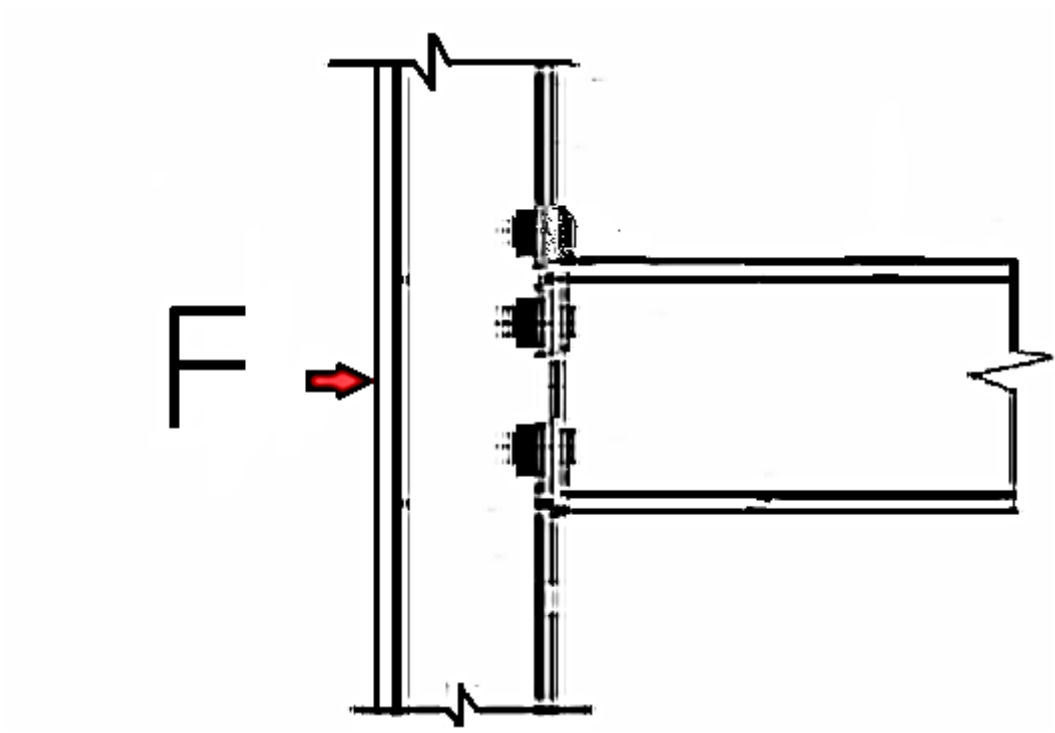
Dans ce chapitre, nous exposerons les assemblages boulonnés avec platine d'about débordante, non raidis. Pour notre part on poussera cette étude dans le domaine non linéaire à l'aide d'une méthode de simulation numérique effectuée à l'aide du logiciel ROBOT.

On présente en premier lieu, les assemblages à étudier ainsi que tous les éléments constructifs cela d'un point de vu géométrique et mécanique, en deuxième lieu les sollicitations et les différentes unités leur correspondants ainsi que les différentes étapes de travail.

### III.2 DESCRIPTION DES ASSEMBLAGES A ETUDIER :

Afin d'examiner la fiabilité du modèle, de l'assemblage métalliques poteau-poutre boulonnées ont été évalués.

La figure III-1 montre le schéma détaillé de l'assemblage à étudier.



**Figure III.1** : Schéma de l'assemblage à étudier

L'assemblage est formé d'un poteau avec une section en HEA240, d'une poutre de section plus faible que le poteau pour des raisons valables en IPE 220 liées à une platine, les liaisons semelle-platine et âme platine ont été réalisées par des soudures en bout. Ces matériaux sont conçus avec l'acier de construction S235. Les boulons utilisés sont de type M20 de classe 8.8.

**Zone III:**

**Assemblage raidi :**

$$R_{\text{init}} = \text{tg}\alpha = M/\theta = 8155,81 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 8155,81 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172 \text{ KN.m/rad}}$$

$$R_{\text{init}} = 8155,81 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608 \text{ KN.m/rad}}$$

➤ **C'est un assemblage rigide.**

**Assemblage non raidi :**

$$R_{\text{init}} = \text{tg}\alpha = M/\theta = 6051.39 \text{ KN.m/rad}$$

$$R_{\text{init}} = 6051.39 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{1164.172 \text{ KN.m/rad}}$$

$$R_{\text{init}} = 6051.39 \text{ KN.m/rad} > \mathbf{727.608 \text{ KN.m/rad}}$$

➤ **C'est un assemblage rigide.**

**V.2.2. En termes de résistance :**

À partir du graphe **M-Ø** en déduit le moment de résistance pour l'assemblage **M<sub>p</sub>** (appelé Aussi **M<sub>j,rd</sub>** dans la méthode analytique) :

**Zone I :**

$$M_{\text{pl.poutre}} = W_{\text{pl.y}} \times f_y / \gamma_{m_0} = \mathbf{163.04 \text{ kN.m}}$$

$$\mathbf{0.25. M_{\text{pl.poutre}} = 40.76 \text{ kN.m}}$$

➤ **Assemblage raidi :**

$$M_p = \mathbf{370,86 \text{ KN.m}}$$

$$\mathbf{0.25. M_{\text{pl.poutre}} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{\text{pl.poutre}} = \mathbf{163.04 \text{ kN.m}} < M_p = \mathbf{370,86 \text{ KN.m}}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage raidi est un assemblage à **résistance complète**.

Il est à signaler que  $\eta$  est le coefficient de modification de la rigidité ( $\eta = 2$  pour les assemblages poutre-poteau). Il permet de déterminer la rigidité sécante qui correspond au moment résistant de l'assemblage à partir de sa rigidité initiale.

Dans une analyse élastique-plastique, l'EC3 propose une courbe de comportement global  $M-\Phi$  constituée de trois parties. La première partie représente le comportement élastique en considérant les valeurs du moment inférieures à  $2/3 M_{J,Rd}$ . La deuxième partie de la courbe représente le comportement non linéaire jusqu'à la valeur du moment résistant. Dans la troisième partie, un palier plastique est considéré.

La deuxième partie non linéaire de la courbe  $M-\Phi$ , comprise entre  $2/3 M_{J,Rd}$  et  $M_{J,Rd}$  est définie à partir de la rigidité sécante  $S'$  par l'équation suivante :

$$S_j = \frac{S_{J,inj}}{(1.5M/M_{J,Rd})}$$

Ainsi, l'évaluation de la rigidité initiale et du moment résistant, sans écrouissage, permet de déterminer la courbe moment-rotation de l'assemblage par platine d'about.

## I.11 RENFORCEMENT DES ASSEMBLAGE : [16]

L'assemblage par platine d'about est largement utilisé dans les structures métalliques et sa popularité est attribuée à la simplicité et l'économie de sa fabrication. Toutefois, ces assemblages sont extrêmement complexes dans leur analyse et comportement structural

Particulièrement quand ils sont soumis à des efforts très importants. Il convient donc d'être particulièrement vigilant sur les détails de conception des assemblages car c'est en cet endroit que se concentrent toutes les difficultés par suite de la présence de pièces intermédiaire. De surcroit, ces zones à brusque changement de géométrie induisent des efforts localisés et des concentrations de contraintes. Ainsi, des ajustements peuvent être faits à un assemblage par platine d'about simple pour répondre aux exigences de différentes situations. Par exemple, des raidisseurs de platine d'about peuvent être ajoutés pour augmenter la rigidité de la platine et/ou sa résistance tout en réduisant son épaisseur. Trois moyens de renforcement sont actuellement couverts dans l'EC3: Les raidisseurs transversaux de poteau, les contre-plaques et les doublures d'âme.

### I.11.1 Les raidisseurs transversaux de poteau :

Ils sont soudés, au niveau des semelles en zones tendue et comprimée du poteau (**Figure I.25.a**), pour augmenter la rigidité et la résistance de l'âme du poteau en traction et en compression et de la semelle du poteau en flexion. Des raidisseurs diagonaux peuvent être utilisés pour améliorer la résistance de l'âme du poteau en cisaillement (**Figure I.25.b**), en combinaison avec les raidisseurs transversaux.

### IV.4.2.1 Réglage des unités :

Les unités utilisées sont celles qui sont employées dans la pratique de la charpente métallique. Elles sont parfois différentes des unités « légales » (Système International SI), ces dernières étant dans certains cas inadaptées, car disproportionnées par rapport aux ordres de grandeur des valeurs couramment rencontrées.

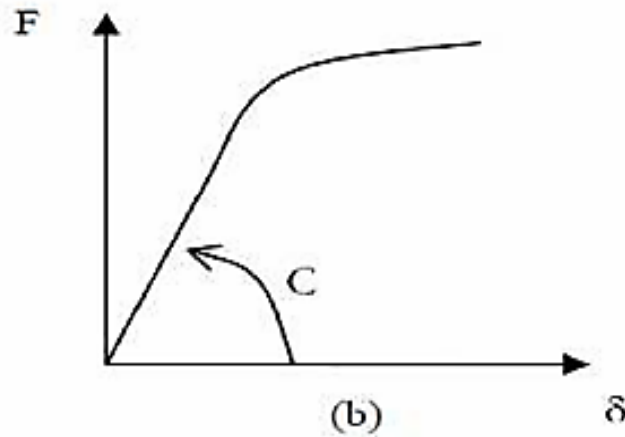
Le tableau ci-après donne les équivalences entre unités pratiques et théoriques :

**Tableau IV-1:** différentes unités dans **ROBOT:**

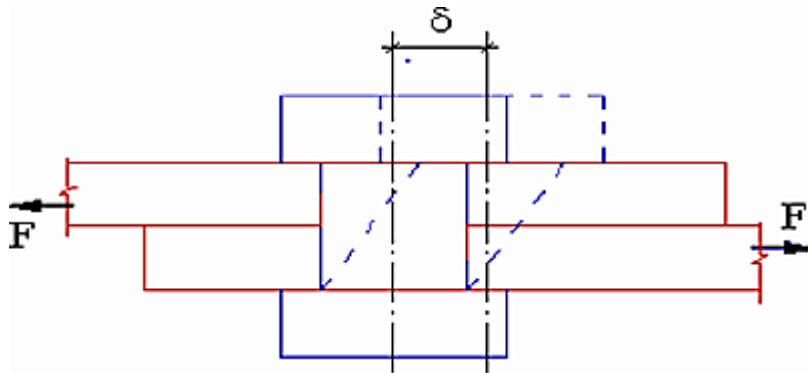
<b>Grandeurs mesurer</b>	<b>à</b>	<b>Unités pratiques</b>	<b>Unités théoriques</b>	<b>Equivalence</b>
<i>Efforts</i>		<i>daN</i>	<i>N</i>	$1 \text{ daN} = 10 \text{ N}$
<i>Longueurs</i>		<i>m</i>	<i>m</i>	$1 \text{ m} = 1 \text{ m}$
<i>Sections</i>		<i>cm<sup>2</sup></i>	<i>m<sup>2</sup></i>	$1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$
<i>Moments fléchissants</i>		<i>daNm</i>	<i>Nm</i>	$1 \text{ daNm} = 10 \text{ Nm}$
<i>Moments statiques</i>		<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>m<sup>3</sup></i>	$1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$
<i>Moment d'inertie</i>		<i>cm<sup>4</sup></i>	<i>m<sup>4</sup></i>	$1 \text{ cm}^4 = 10^{-8} \text{ m}^4$
<i>Contraintes</i>		<i>daN/mm<sup>2</sup></i>	<i>N/m<sup>2</sup> = Pa</i>	$1 \text{ daN/mm}^2 = 10^7 \text{ Pa}$
<i>Surcharges</i>		<i>daN/m<sup>2</sup></i>	<i>N/m<sup>2</sup> = Pa</i>	$1 \text{ da/m}^2 = 10 \text{ Pa}$

### IV.4.2.2 Réglage des normes :

La fenêtre de réglage des normes est présentée sur la figure ci-dessous.



**Figure II.11** Raideur d'une fixation dans le domaine élastique (courbe-déplacement) [24]



**Figure II.12** : Schématisation d'un assemblage boulonné à simple [24]

La notion de flexibilité est valide tant que le comportement de l'assemblage demeure linéaire ce terme s'applique aux assemblages de deux plaques en simple recouvrement

### II.5.1 Transfert de charge pour une fixation :

Pour un assemblage boulonné à plusieurs lignes de fixation. Différentes méthodes ont été développées afin de calculer la répartition des transferts de charge entre ces différentes lignes de fixations.

En effet, l'effort total appliqué à un assemblage boulonné n'est pas équitablement réparti sur toutes les fixations. La contrainte dans les plaques assemblées diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne d'une fixation (ou ligne de fixation) à une fixation (ou ligne de fixation) suivante. La (figure II-14). illustre le mécanisme du transfert d'effort au niveau de la dernière fixation (ou ligne de fixation) dans un assemblage en simple cisaillement.

➤ **Assemblage non raidi :**

$$M_p = 300,12 \text{ KN.m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{pl.poutre} = 163.04 \text{ kN.m} < M_p = 300,12 \text{ KN.m}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage non raidi est un assemblage à **résistance complète**.

**Zone IIa :**

$$M_{pl.poutre} = W_{pl.y} \times f_y / \gamma_{m_0} = 163.04 \text{ kN.m}$$

$$0.25 . M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m}$$

➤ **Assemblage raidi :**

$$M_p = 365,42 \text{ KN.m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{pl.poutre} = 163.04 \text{ kN.m} < 365,42 \text{ KN.m}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage raidi est un assemblage à **résistance complète**.

➤ **Assemblage non raidi :**

$$M_p = 281,22 \text{ KN.m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{pl.poutre} = 163.04 \text{ kN.m} < M_p = 281,22 \text{ KN.m}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage non raidi est un assemblage à **résistance complète**.

**Zone IIb :**

$$M_{pl.poutre} = W_{pl.y} \times f_y / \gamma_{m_0} = 163.04 \text{ kN}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m}$$

II.4.5 Longueur efficace du tronçon .....	40
II.5 LA FLEXIBILITE DE LA FIXATION .....	41
II.5.1 Transfert de charge pour une fixation .....	42
II.6 CONCENTRATION DE CONTRAINTE DANS UN ASSEMBLAGE BOULONNE .....	43
II.7 MODES DE RUPTURES D'UN ASSEMBLAGE BOULONNE :.....	43
II.8 L'EFFET DU COUPLE DE SERRAGE.....	45
II.9 QUELQUES NOTIONS SUR LES BOULONS.....	46
II.9.1 Boulon.....	46
II.9.2 Ecrou.....	47
II.9.3 Rondelle .....	47
II.9.4 Longueur du boulon.....	47
II.10 Conclusion.....	48

### **Chapitre III : présentation de la structure/ étapes de travail**

III.1 INTRODUCTION.....	49
III.2 DESCRIPTION DES ASSEMBLAGES A ETUDIER .....	49
III.3. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET MECANIQUES DE L'ASSEMBLAGE.....	50
III.3.1. Les caractéristiques géométriques des éléments constitutifs de l'assemblage.....	50
III.3.1.1 Les caractéristiques du Poteau : (profilé en HEA 240).....	50
III.3.1.2 Les caractéristiques de la Poutre: (profilé en IPE 200).....	50
III.3.1.3 : Les caractéristiques géométriques de la Platine .....	51
III.3.1.4 Caractéristiques géométriques des boulons .....	52
III.3.1.5 Les vérifications .....	52
III.3.1.5.1 Vérification de la composante de cisaillement .....	52
III.3.1.5.2 Vérification de la composante de traction	

### IV.3 Le principe des bureaux :

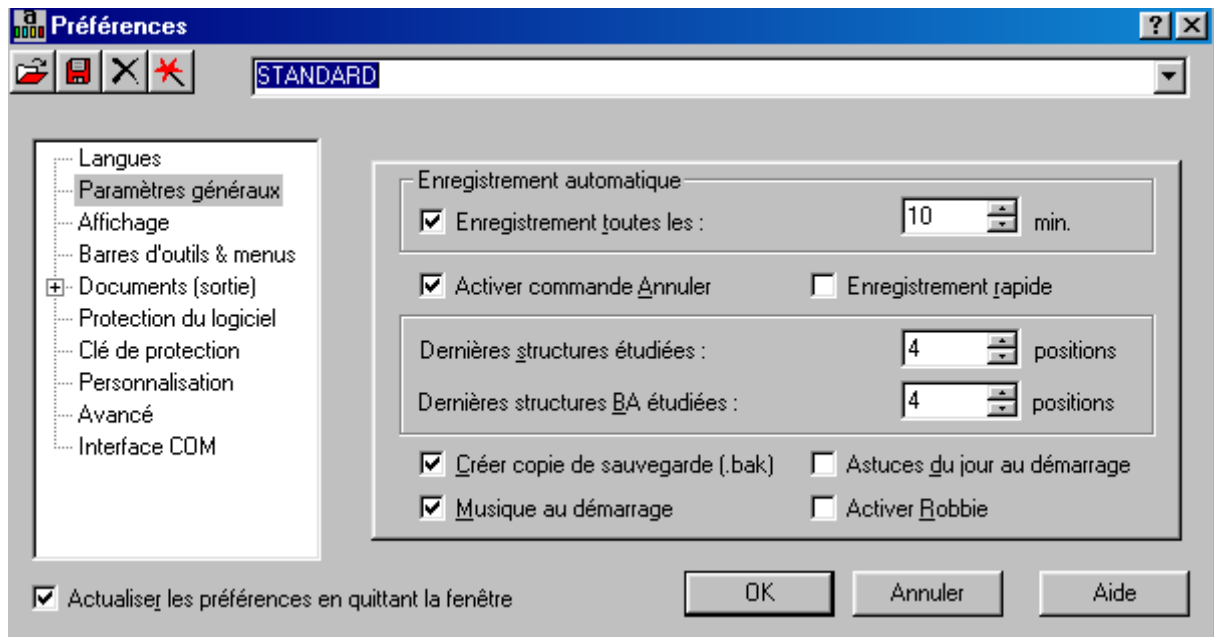
Le choix des bureaux se fait en ouvrant la liste déroulante des bureaux et en cliquant sur le bureau choisi afin d'effectuer la tâche précise correspondante :

### IV.4 Le réglage des préférences :

Afin de définir les paramètres de travail du système **Robot**, on peut utiliser deux options : **Préférences** et **préférences de l'affaire**.

#### IV.4.1 les préférences :

Dans la boîte de dialogue **Préférences** représentées sur la figure ci-dessous, on peut définir les paramètres de base du logiciel. Afin d'ouvrir la boîte de dialogue et sélectionner dans le menu déroulant **Outils** puis **Préférences**.



**Figure IV-1:** paramètre des préférences

#### IV.4.2 Les préférences de l'affaire :

Les préférences de l'affaire nous permettent de changer le fond de notre étude à savoir les unités, les matériaux, les normes, etc.

Tout comme les Préférences, on y accède dans le menu déroulant Outils, puis dans préférences de l'affaire afin de régler les différentes unités de Forces, Dimensions et Normes.

### III.3. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES ET MECANIQUES DE L'ASSEMBLAGE :

#### III.3.1. Les caractéristiques géométriques des éléments constitutifs de l'assemblage :

##### III.3.1.1 Les caractéristiques du Poteau : (profilé en HEA 240)

Tableau III.1 : profilés HEA240

Dimensions	h (mm)	b (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)	r (mm)	I <sub>Y</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>el.y</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>pl.y</sub> (cm <sup>3</sup> )
HEA 240	230	240	6.5	9	21	7763	675.1	744.6

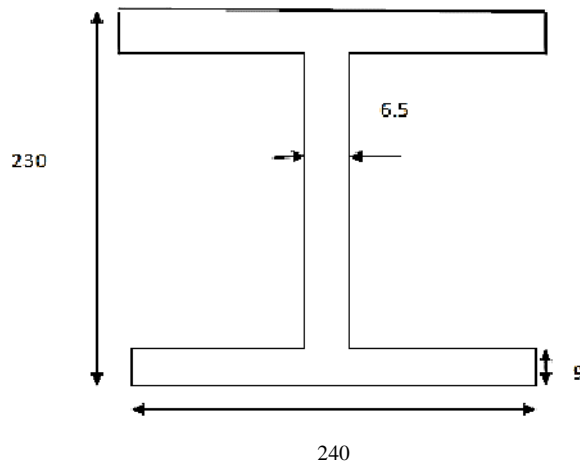


Figure III.2 : section du poteau HEA240

##### III.3.1.2 Les caractéristiques de la Poutre: (profilé en IPE 220) :

Tableau III.2 : profilés IPE 220

Dimensions	h (mm)	b (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)	r (mm)	L (mm)	I <sub>Y</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>el.y</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>pl.y</sub> (cm <sup>3</sup> )
IPE 220	220	100	5.9	9.2	12	2250	2772	252	285.4

➤ **Assemblage raidi :**

$$M_p = 370,47 \text{ KN.m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{pl.poutre} = 163.04 \text{ kN.m} < M_p = 370,47 \text{ KN.m}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage raidi est un assemblage à **résistance complète**.

➤ **Assemblage non raidi :**

$$M_p = 290,16 \text{ KN .m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{pl.poutre} = 163.04 \text{ kN.m} < M_p = 290,16 \text{ KN.m}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage non raidi est un assemblage à **résistance complète**.

**Zone III :**

$$M_{pl.poutre} = W_{pl.y} \times f_y / \gamma_{m_0} = 163.04 \text{ kN.m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m}$$

➤ **Assemblage raidi :**

$$M_p = 358 \text{ KN.m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{pl.poutre} = 163.04 \text{ kN.m} < M_p = 358 \text{ KN.m}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage raidi est un assemblage à **résistance complète**.

➤ **Assemblage non raidi :**

$$M_p = 260,21 \text{ KN .m}$$

$$0.25. M_{pl.poutre} = 40.76 \text{ kN.m} < M_{pl.poutre} = 163.04 \text{ kN.m} < M_p = 260,21 \text{ KN.m}$$

D'après le calcul on peut dire que l'assemblage non raidi est un assemblage à **résistance complète**.

Malgré les avantages dans la considération des assemblages semi-rigides et en dépit de l'approche de l'EC3 qui recommande de modéliser l'assemblage de la manière la plus réaliste possible, il y demeure une tendance de recourir dans la pratique à l'assemblage articulé ou l'assemblage rigide. Il y a lieu de savoir que le concept de l'assemblage articulé et de l'assemblage rigide est retenu dans l'approche de l'EC3. Le choix d'un assemblage articulé ou rigide doit reposer sur une comparaison analytique de la rigidité de l'assemblage avec la rigidité de la poutre.

### I.10.2 Modélisation des courbes moment-rotation :

Le comportement moment-rotation des assemblages est généralement décrit à l'aide d'une courbe non-linéaire (Figure I-18d). Cependant, l'utilisation de ce type de courbes demande des programmes d'analyse de structures sophistiqués. Afin de permettre un calcul simple des structures, les courbes moment-rotation des assemblages peuvent être idéalisées, selon l'EC3, par des modèles tri linéaires, bilinéaires ou linéaires. Le choix d'une idéalisation est lié à la méthode d'analyse utilisée et aux outils de calcul disponibles :

Analyse élastique, analyse rigide-plastique ou analyse élastique-plastique Figure I.2.4  
Cependant, l'idéalisation bilinéaire est la solution la plus utilisée.

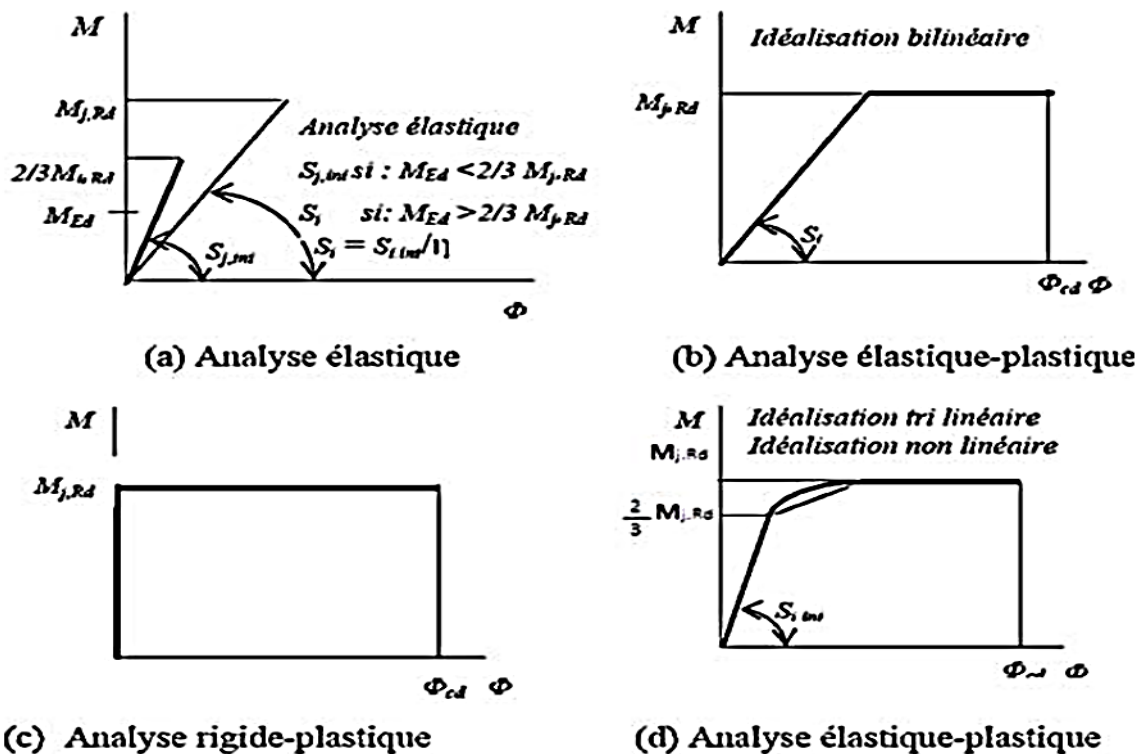
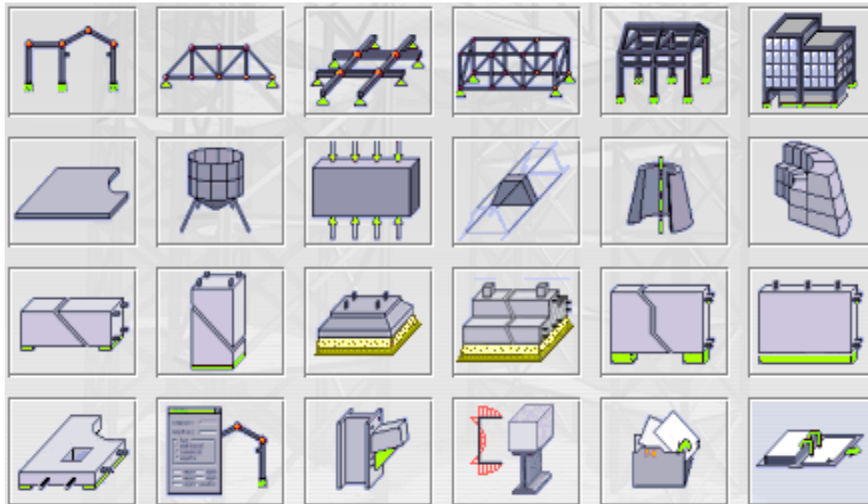
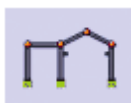


Figure I.24 : Idéalisation de courbes Moment-Rotation de l'assemblage.

**Remarque :** Lors du premier lancement de Robot, le rapport d'installation est généré. Le rapport contient les informations sur le logiciel Robot. La génération du rapport d'installation peut demander un certain temps. Une fois la génération terminée, le logiciel affichera le traitement de texte dans lequel le rapport généré sera présenté.



La signification des icônes (pour lesquels une info-bulle est affichée si on positionne le pointeur sur l'icône) affichés dans la fenêtre représentée ci-dessus est la suivante :



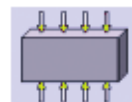
Etude d'un Portique Plan



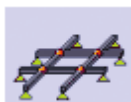
Etude d'une coque



Etude d'un Treillis Plan



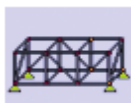
Etude en Contraintes Planes



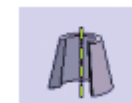
Etude d'un Grillage



Etude en Déformations Planes



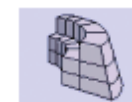
Etude d'un Treillis Spatial



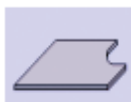
Etude d'une Structure  
Axisymétrique



Etude d'un Portique Spatial



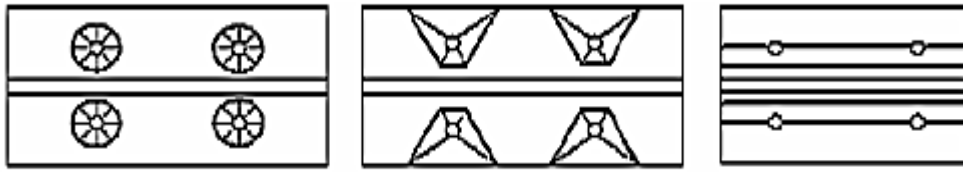
Modélisation en Volumique  
(Solide)



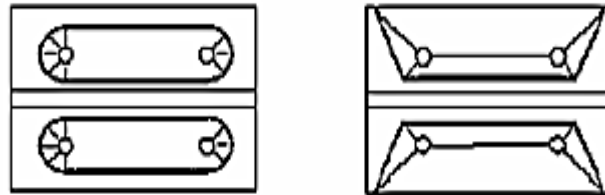
Etude d'une Plaque



Bâtiment



(a) mécanisme circulaire (b) mécanisme non circulaire (c) mécanisme poutre



(d) mécanisme circulaire (e) mécanisme non circulaire

**Figure II.10** Schémas des lignes de plastification des tronçons en Té (mécanisme de groupe)

## II.5 LA FLEXIBILITE DE LA FIXATION :

La flexibilité des fixations est un paramètre important dans le dimensionnement des assemblages boulonnés. Puisque la durée de vie de l'assemblage est liée à la répartition des contraintes autour du trou d'une fixation. Qui elle-même dépend de l'effort transféré par cette fixation. La flexibilité d'une fixation représente l'inverse de la raideur  $C$ , est définie par :

$$C^{-1} = \frac{d}{f}$$

**Avec :**

**d** : l'allongement de la fixation.

**f** : l'effort appliqué.

La figure illustre une schématisation d'un assemblage boulonné avec un simple recouvrement soumis à une traction-cisaillement et donne aussi un exemple type d'une courbe d'évolution de charge appliquée  $F$  en fonction du déplacement  $d$  permettant d'évaluer la raideur de l'assemblage dans le domaine élastique.

## V.2 Conclusion :

On peut observer que la rotation de l'assemblage augmente en fonction du moment résistant qui varie aussi à son tour avec la variation de l'effort appliqué à l'intersection des axes poteau-poutre.

On remarque que la plastification de l'assemblage non raidi survient plus tôt que le non raidi. Contrairement à ce qu'on a supposé la zone sismique n'a pas eu d'impact sur le courbe appart quelques différences insignifiantes.

- Soit parce qu'on l'a traduit par une force.
- Soit parce que le logiciel n'a pas pris en considération les différentes zones.

.....53

III.3.1.5.3 Vérification de l'effort combiné .....	53
III.3.2 Propriétés mécaniques des aciers .....	54
III.3.2.1. acier de construction .....	54
III.3.2.2 les boulons.....	54
III.4. DETERMINATION DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES ET DES SOLLICITATIONS.....	55
III.4.1. Pincés longitudinale et transversale .....	55
III.4.2. entraxes longitudinal et transversal des trous .....	55
III.5 ETUDE .....	56
III.5.1.Le Choix des unités pour notre simulation.....	56
III.5.2. Détermination de la rotation.....	56
III.6. LES ETAPES DU TRAVAIL.....	58
III.6.1 combinaisons d'actions .....	58
III.6.2 Estimation de la période fondamentale de la structure .....	59
III.6.3 Spectre de réponse de calcul RPA99 version 2003.....	59
III.6.4 Evaluation directe de la force sismique .....	60
III.7 CONCLUSION.....	61

#### **Chapitre IV : présentation du logiciel Robot**

IV.1 INTRODUCTION.....	62
IV.2 DESCRIPTION GENERALE DU LOGICIEL .....	62
IV.2.1 Les caractéristiques principales du logiciel <i>Robot</i> sont les suivantes....	62
IV.3 Le principe des bureaux .....	63
IV.4 Le réglage des préférences .....	64

### IV.1 INTRODUCTION :

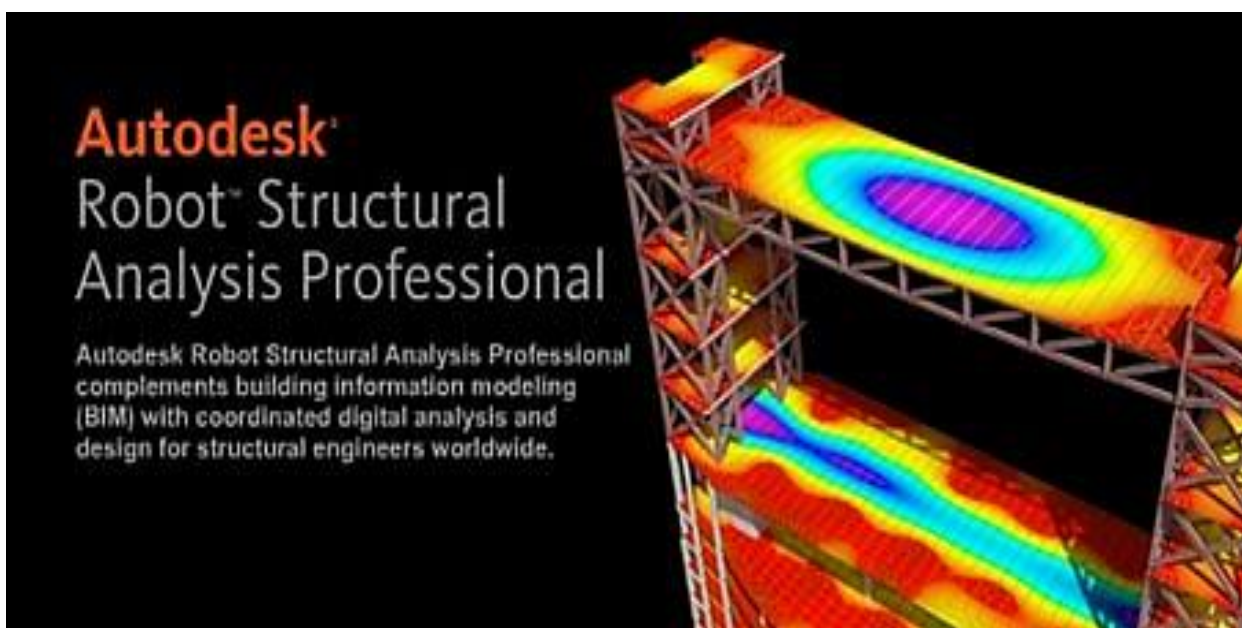
Ce chapitre est constitué d'exemples, de conseils et d'explications est un support technique de formation qui doit nous permettre de retrouver rapidement comment modéliser un portique en construction métallique. On retrouvera aussi d'autres explications d'utilisation et de référence.

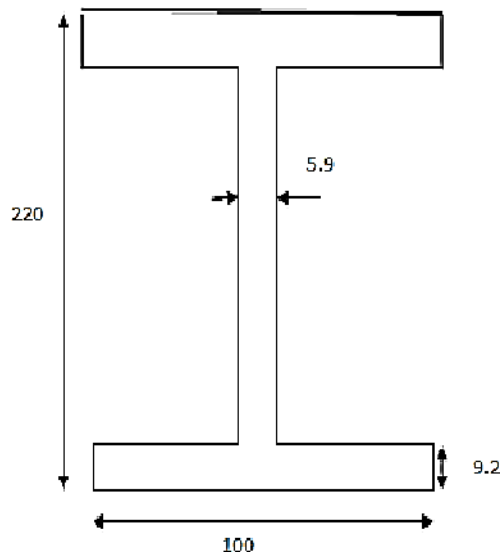
### IV.2 DESCRIPTION GENERALE DU LOGICIEL :

Le système **Robot** est un logiciel CAO/DAO destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures. **Robot** permet de modéliser les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape gérée par **Robot** est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

#### IV.2.1 Les caractéristiques principales du logiciel **Robot** sont les suivantes :

- la définition de la structure réalisée en mode entièrement graphique dans l'éditeur conçu à cet effet (on peut aussi ouvrir un fichier, p. ex. au format DXF et importer la géométrie d'une structure définie dans un autre logiciel CAO/DAO),
- la possibilité de présentation graphique de la structure étudiée et de représentation à l'écran des différents types de résultats de calcul (efforts internes, déplacements, travail simultané en plusieurs fenêtres ouvertes etc.),
- la possibilité de calculer (dimensionner) une structure et d'en étudier simultanément une autre.





**Figure III-3 : section de la poutre IPE220**

### III.3.1.3 : Les caractéristiques géométriques de la Platine :

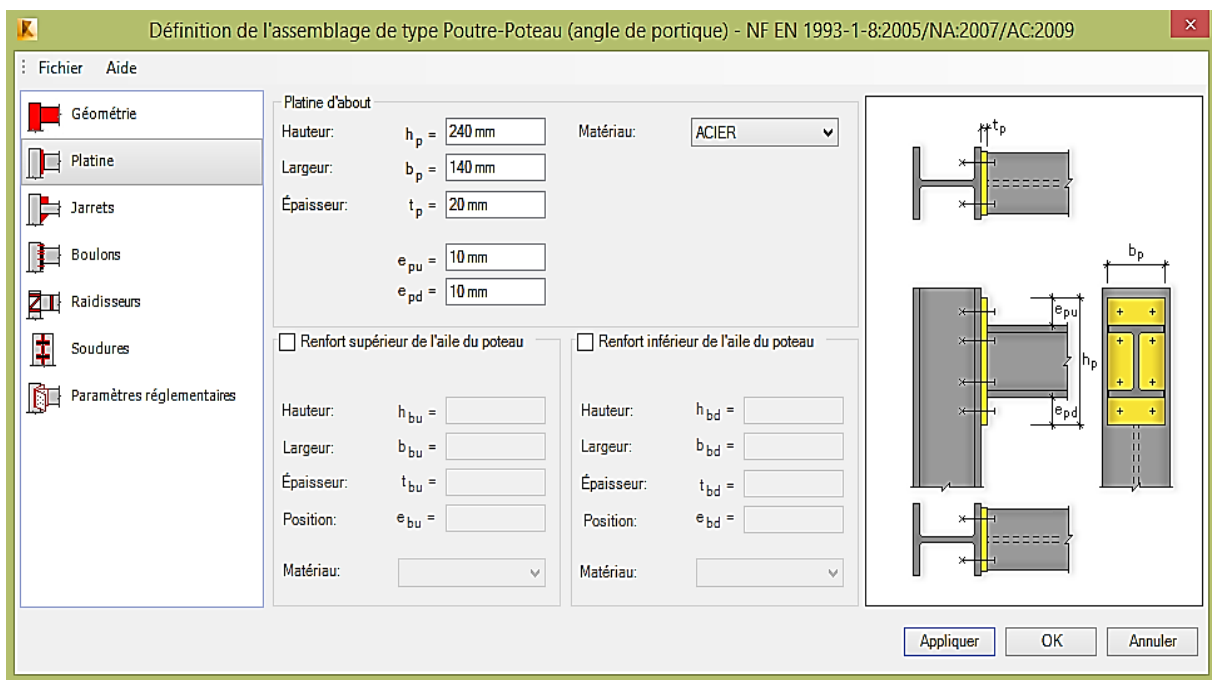
La platine choisie pour notre assemblage possède les caractéristiques suivantes :

Hauteur de la platine :  $h_{\text{platine}} \geq h_{\text{poutre}}$

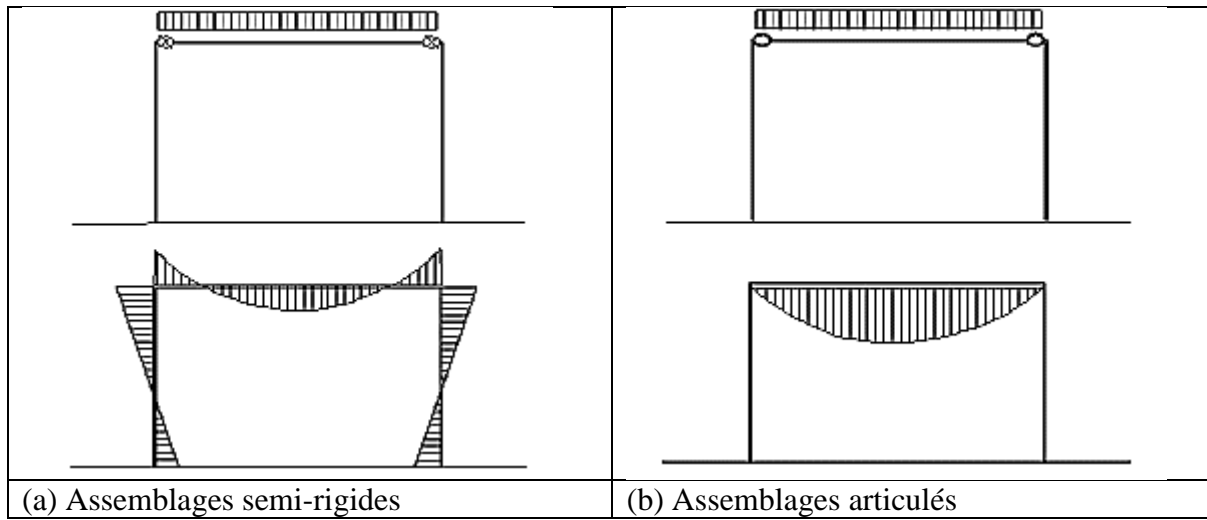
Largeur de la platine :  $b_{\text{platine}} \geq b_{\text{poutre}}$

Épaisseur de la platine :  $e = 20 \text{ mm}$ .

La platine est soudée sur la poutre et boulonnée au poteau.



**Figure III-4 : Représentation de la platine**



**Figure I.22** Répartition élastique des moments fléchissant dans un portique simple [7]

**I.10.1 Modélisation des assemblages adoptée par l'Eurocode 3 :**

Pour déterminer les efforts appliqués à l'assemblage, une analyse globale s'impose. Dans cette analyse, on doit déterminer les charges de calcul appliquées sur la structure en acier ainsi que la définition des bases de dimensionnement de cette structure. Lors de cette analyse, il y a lieu également de prendre en compte le comportement structural de l'assemblage (assemblage articulé, semi-rigide ou rigide, assemblage à résistance partielle ou complète). La **Figure I.23** donne une illustration de la modélisation simplifiée des assemblages (continu, semi-continu et simple) lors d'une analyse globale des structures en acier.

Dans cette modélisation, les poutres et les poteaux de la structure en acier sont représentés par des lignes (axes neutres) qui passent par les centres de gravité de leurs sections transversales. Ainsi, la portée effective des travées est dictée par la distance qui sépare les axes neutres des poteaux.

MODELISATION ASSEMBLAGES	ASSEMB. POUTRE-POTEAU FLEXION / AXE FORT	ASSEMB. DE CONTINUITÉ	BASES DE POTEAUX
SIMPLE			
SEMI-CONTINUE			
CONTINUE			

**Figure I.23:** Modélisation simplifiée des assemblages selon l'Eurocode 3

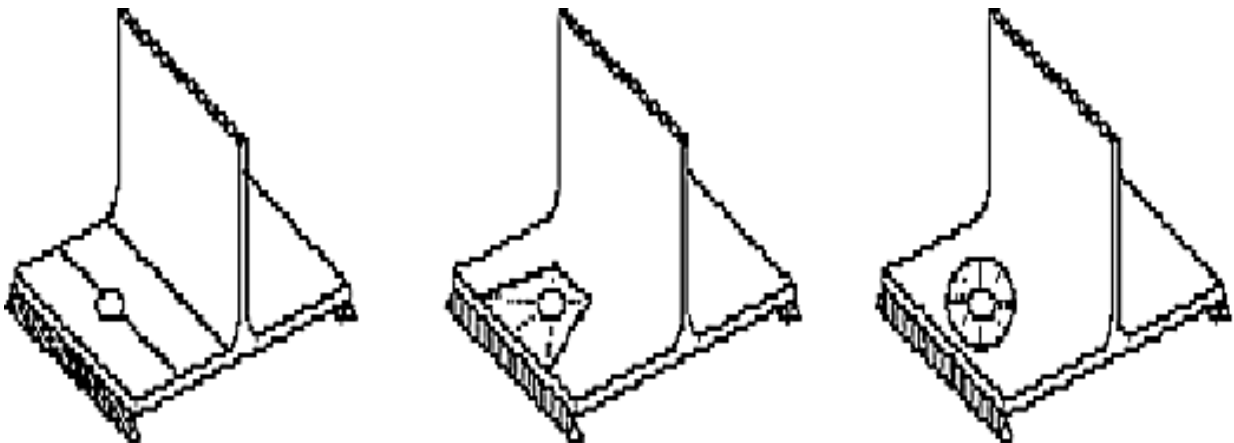
$$K_{ini} = \frac{E}{\frac{1}{K_f} + \frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_b}}$$

Avec :  $K_f$ ,  $K_p$ ,  $K_b$  sont les rigidités de la semelle du poteau, de la platine d'about et des boulons.

#### II.4.5 Longueur efficace du tronçon :

L'équivalent entre le tronçon en Té et la zone tendue d'un assemblage métallique se traduit par la détermination d'une longueur équivalente dite « longueur efficace » et notée  $L_{eff}$ , cette longueur est définie selon les schémas des lignes de plastification des différentes rangées de boulons, prises séparément lorsque la distance entre les rangées de boulons est importante ou en groupe lorsque les rangées de boulons sont proches).

Il est à signaler que la longueur efficace d'un tronçon en té équivalent est une longueur théorique et ne comprend pas nécessairement la longueur physique de la composante de base qu'il représente. Les valeurs à adopter pour la longueur efficace dépendent de la configuration de l'assemblage et de la disposition des trous. L'EC3 propose des valeurs de  $L_{eff}$  pour la plupart des cas rencontrés dans la pratique avec leurs schémas correspondants de ruine.



**Figure II.9** : Schémas des lignes de plastification des tronçons en Té (mécanisme individuel)  
[15]

IV.4.1 les préférences.....	64
IV.4.2 Les préférences de l'affaire.....	64
IV.4.2.1 Réglage des unités.....	65
IV.4.2.2 Réglage des normes .....	65
IV.4.2.3 Choix des matériaux.....	66
IV.4.2.4 Catalogue de profilés.....	67
IV.5 PARAMETRE DE L'ETUDE.....	67
IV.6 MODELISATION DE LA STRUCTURE.....	68
IV.6.1 lignes de constructions .....	68
IV.6.2 Barres .....	69
IV.6.3 Appuis.....	69
IV.7 DEFINITION DES CHARGEMENTS.....	70
IV.7.1 Charge permanente.....	70
IV.7.2 Charge d'exploitation .....	71
IV.7.3. Force nodale F.....	71
IV.8 ANALYSE DES RESULTATS.....	70
IV.8.1 La déformé de la structure.....	72
IV.9 ASSEMBLAGE POTEAU/TRVERSE.....	72
IV.10 NOTE DE CALCUL.....	74
IV.11 Conclusion.....	74

## **Chapitre V : interprétation des résultats**

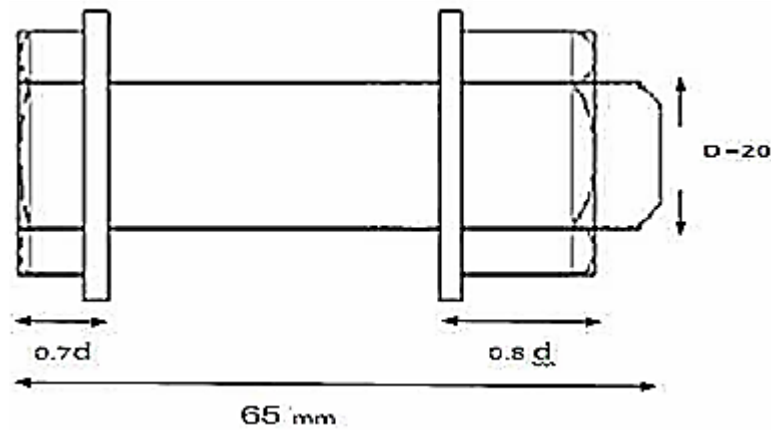
V.1 INTRODUCTION.....	75
V.1 Classification des assemblages selon la rigidité et la résistance .....	75
V.2.1 En termes de rigidité :.....	75

**Tableau III-3** : Caractéristiques géométriques de la platine d'about de l'assemblage

Platine d'about	Les dimensions de la platine en mm		
	Non débordante	bp	140
hp		240	
tp		20	

### III.3.1.4 Caractéristiques géométriques des boulons :

Après vérifications on n'a constaté que 6 boulons HR 8.8 d'un diamètre de  $\varnothing 20$  sont suffisamment capables de répondre aux exigences.



**Figure III-5** : Représentation du boulon utilisé.

Les boulons sont soumis à des efforts combinés de cisaillement et de traction.

### III.3.1.5 Les vérifications : [18]

#### III.3.1.5.1 Vérification de la composante de cisaillement : [18]

$$F_{vsd} \leq F_{brd}$$

$$F_{vsd} = V_{sd/n} = 8790/6$$

$$F_{vsd} = 1465 \text{ daN}$$

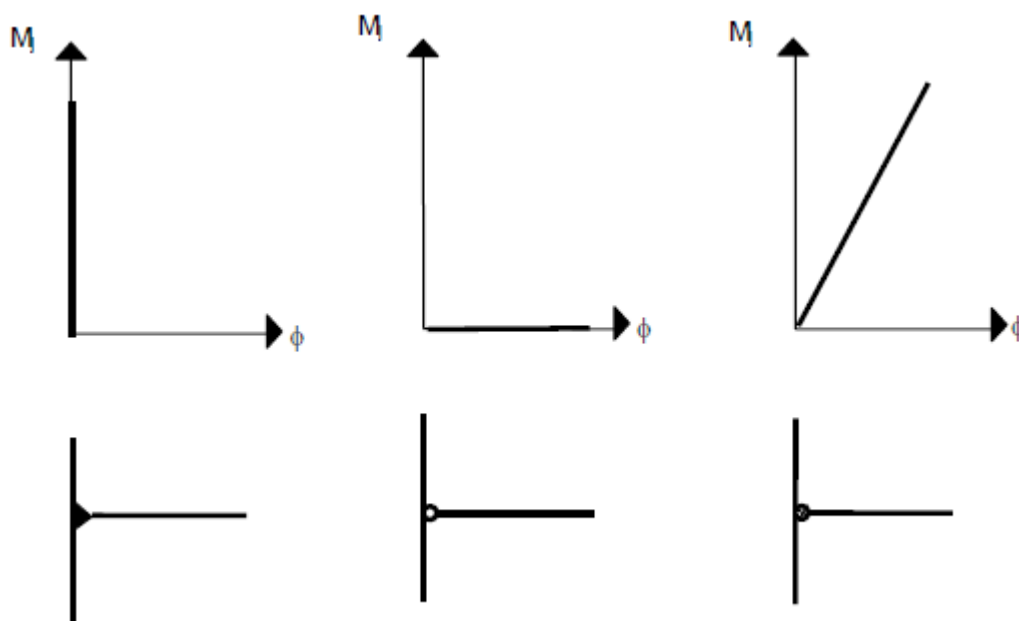
$$F_{brd} = 2.5 \times \alpha \times f_u \times d \times t / \gamma_{md} \quad (3.1)$$

**Avec:**  $a = \min(ei/3d0, pi/3d0-1/4, fub/fu0, 1)$  et  $a = 0.53$

**Tableau I.3:** Modélisation des assemblages dans l'analyse des structures en acier [5]

Analyse globale	Types d'assemblages utilisés		
Elastique	Articulation	Rigide	Semi-rigide
Rigide- plastique	Articulation	Résistance complète	Résistance partielle
Elastique plastique	Articulation	Rigide et résistance complète	- Semi rigide et résistance partielle - Semi rigide et résistance totale - Rigide et résistance partielle
Modélisation de structure	Simple	Continue	Semi-continue

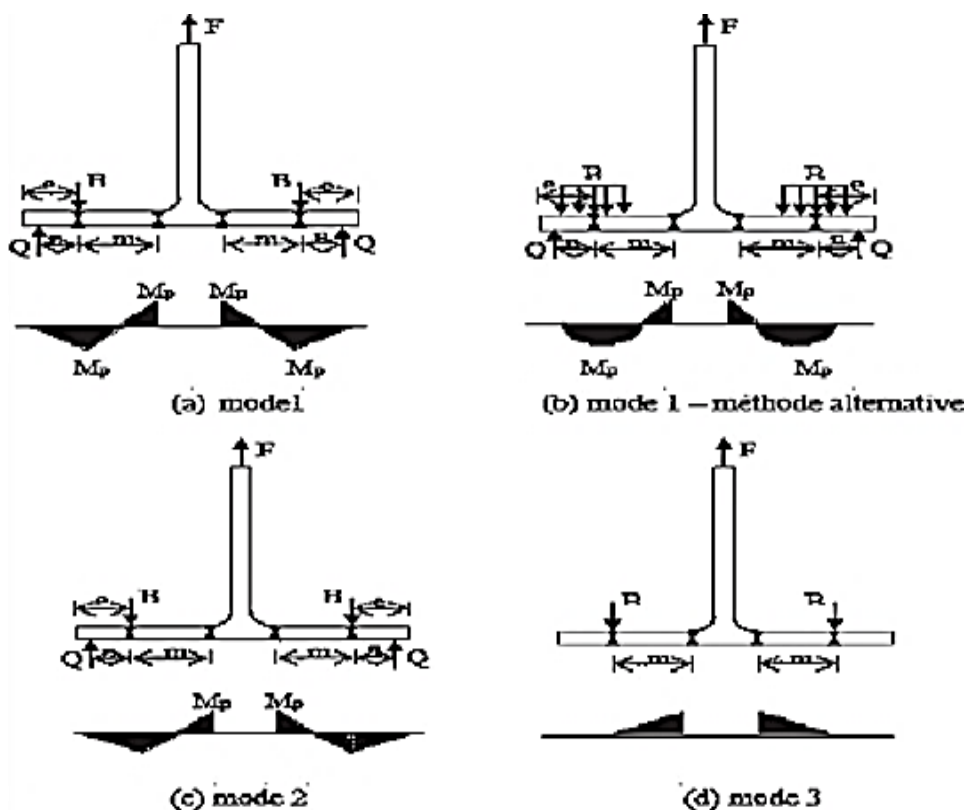
Pour les assemblages semi-rigides, les charges provoquent à la fois un moment fléchissant ( $M$ ) et une rotation relative ( $\Theta$ ), comme illustré dans la **Figure I.21** où, pour des raisons de simplicité, on suppose que l'analyse globale est effectuée avec des hypothèses élastiques linéaires.



**Figure I.21** Modélisation d'assemblages (analyse globale élastique)

L'avantage d'adopter des assemblages semi-rigides au lieu d'assemblages articulés permet de modifier non seulement les sollicitations introduites dans la structure en acier mais aussi les déplacements. Dans l'exemple donné dans la **Figure I.22**, les diagrammes de moments fléchissant répartis sont donnés pour les deux types d'assemblages (semi-rigides ou articulés). L'adoption des assemblages semi-rigides ont aussi des effets avantageux.

Dans ce cas, la résistance du tronçon en té en mode 1, doit être modifiée en intégrant l'effet de ( $n$  et  $dw$ ). Nous retrouvons la charge de ruine des tronçons seuls en mode 1 si nous posons  $M_{bp}=0$  dans les formules qui donnent la résistance des tronçons en Té renforcés par contre-plaque.



**Figure II.8** Réparation des moments dans un tronçon en Té [15]

L'avantage de cette procédure est de fournir le mode de ruine associé qui permettrait d'éviter les modes de ruines fragiles :

Le premier mode de ruine s'accompagne d'une déformation plastique importante de la semelle. Ce mode ductile est donc recherché

Le deuxième mode de ruine se caractérise par une capacité de déformation variable d'un tronçon à l'autre. Il est intermédiaire.

Le troisième mode de ruine est fragile car il correspond à la ruine brutale des boulons. Il est donc à éviter.

#### II.4.4 Rigidité du tronçon en Té :

Selon l'EC3, pour calculer la rigidité initiale du tronçon en Té d'une seule rangée de boulons, nous devons cumuler la contribution de la semelle du poteau (1er tronçon), de la platine d'about (2ème tronçon) et des boulons avec leurs coefficients de rigidité associés en série. Nous en déduisons alors la rigidité de la rangée de boulons de la façon suivante :

<b>V.2.2. En termes de résistance.....</b>	<b>79</b>
<b>V.3 Conclusion .....</b>	<b>80</b>

**Conclusion général**

**Références bibliographique**

Donc :  $F_{brd} = 2.5 \times 0.53 \times 360 \times 20 \times 20 \times 10^{-1} / 1.25 = 15264 \text{ daN}$

$F_{vrd} \leq F_{brd}$  .....condition vérifiée

### III.3.1.5.2 Vérification de la composante de traction : [18]

$F_{tsd} = \min (F_{trd}, B_{prd})$

$F_{trd}$  : effort de traction de calcul par boulon a l'ELU. (Voir tableau 6.5.3 **Eurocode 03**)

$B_{prd}$  : résistance de calcul au cisaillement par poinçonnement de la tête du boulon ou de l'écrou (voir 6.5.5. **Eurocode 03**)

**Avec:**

$$F_{tsd} = N_{sd} / n = 2203.5 / 6 = 367.25 \text{ daN} \quad (3.2)$$

$$F_{trd} = 0.9 \times F_{ub} \times A_s / \gamma_{mb} \quad (3.3)$$

$$= 0.9 \times 800 \times 245 \times 10^{-1} / 1.5 = 35177.8 \text{ daN}$$

$$B_{prd} = 0.6 \times \pi \times 32.4 \times 20 \times 360 \times 10^{-1} / 1.5 = 35177.8 \text{ daN} \quad (3.4)$$

$F_{tsd} < F_{trd}$  .....condition vérifiée

### III.3.1.5.3 Vérification de l'effort combiné : [18]

$$(F_{vrd} / F_{vrd}) + (F_{tsd} / 1.4 F_{trd}) \leq 1 \quad (3.5)$$

Avec :

$F_{vrd}$ : résistance de calcul au cisaillement par boulon (voir tableau 6.5.3. **Eurocode 03**)

$$F_{vrd} = 0.5 f_{ub} A_s / \gamma_{mb} \quad (3.6)$$

$$= 0.5 \times 800 \times 245 \times 10^{-1} / 1.25 = 9640 \text{ daN}$$

$(8790/9640) + (367.25 / 1.4 \times 11670) = 0.93 < 1$  .....condition vérifiée

#### Remarque :

Les deux types d'assemblages sont géométriquement différents. Cette différence est due à :

- La variation des positions des rangées des boulons.
- La variation de la hauteur de la platine.
- La présence d'un raidisseur pour un seul type.

## I.10 MODELISATION DES ASSEMBLAGES POUTRE\_POTEAU :

En se basant sur l'approche de l'**Eurocode 3**, l'analyse globale d'une structure en acier nécessite la modélisation des poutres, des poteaux et des assemblages. Le choix de la méthode d'analyse des structures en acier gouverne les caractéristiques de l'assemblage à introduire.

Dans le cas d'une analyse globale élastique, on peut utiliser les trois types d'assemblages suivants :

- assemblage rigide ;
- assemblage semi-rigide ;
- assemblage articulé.

D'une manière similaire, dans le cas d'une analyse globale rigide-plastique, on peut utiliser les trois types d'assemblages suivants :

- assemblage à résistance complète ;
- assemblage à résistance partielle ;
- assemblage articulé.

Enfin, lors d'une analyse élastoplastique ou élastique parfaitement plastique, on peut utiliser les trois types d'assemblages suivants :

- assemblage à résistance complète ;
- assemblage à résistance partielle ;
- assemblage articulé.

Par souci pratique, l'Eurocode 3 donne à cet égard les modèles d'assemblages continus, semi-continus ou articulés, voir **Tableau I.3**. Ces modèles sont :

- modèle continu (assemblage rigide et/ou à résistance complète)
- modèle semi-continu (assemblage rigide à résistance partielle ; assemblage semi-rigide à résistance complète et assemblage semi-rigide à résistance partielle) ;
- modèle simple (assemblage articulé).

Celles-ci sont données par les équations suivantes :

- **Mode 1 :** 
$$F_{T,Rd1} = \frac{4M_p + 2M_{bp}}{m}$$
- **Mode 2 :** 
$$F_{T,Rd2} = \frac{M_p + n \sum B_{t,Rd}}{m+n}$$
- **Mode 3 :** 
$$F_{T,Rd3} = \sum B_{t,Rd}$$

Où  $M_{pl}$  et  $M_{bp}$  sont les moments plastiques de la semelle et la contre-plaque, respectivement. Ils sont calculés en utilisant la valeur de la longueur efficace.

$$M_{pl, 1, Rd} = \frac{0.25 \sum L_{eff,1} \times (t_f)^2 \times f_y}{Y_{mo}}$$

$$M_{pl, 2, Rd} = \frac{0.25 \sum L_{eff,2} \times (t_f)^2 \times f_y}{Y_{mo}}$$

$$M_{bp, Rd} = \frac{0.25 \sum L_{eff,1} \times (t_{tb})^2 \times f_y}{Y_{mo}}$$

Avec :

$f_{y,bp}$  : limite d'élasticité des contre-plaques.

$T_{bp}$  : épaisseur des contre-plaques.

$F_{T,Rd}$  : résistance à la traction d'un boulon.

$D_w$  : diamètre de la rondelle, de la tête du boulon ou de l'écrou selon la partie qui est en contact avec la semelle.

$B_{T,Rd}$  : Résistance en traction de tous les boulons dans le tronçon en té.

Dans le mode 1 et 2, la déformation de la semelle du tronçon en té conduit à l'apparition de l'effort de levier dont la position dépend de la rigidité des boulons tendus et de la semelle fléchie. Par contre, la rigidité importante de la semelle dans le troisième mode conduit à une répartition des efforts sans apparition des efforts de levier.

En réalité, les têtes des boulons, les écrous et les rondelles possèdent des diamètres non négligeables et les efforts transmis à la semelle sont répartis sur une certaine zone de contact entre le boulon et la semelle. Cet effet est traduit dans l'EC3 sous la forme d'une forme alternative d'évaluation de la résistance plastique de la semelle. Cette formule est basée sur l'hypothèse d'une distribution uniforme de contraintes sous la tête du boulon, de l'écrou ou de la rondelle.

## LES SYMBOLES :

**n:** Facteur de forme

**K<sub>e</sub>. th:** Est la rigidité élastique de l'assemblage.

**K<sub>p</sub>. th :** Est la rigidité non élastique de l'assemblage

**M<sub>p</sub>. th :** Est le moment plastique de rupture de l'assemblage.

**M<sub>u</sub>. th :** le moment ultime de l'assemblage.

**K<sub>i</sub> :** Est la rigidité élastique de l'assemblage.

**K<sub>p</sub> :** Est la rigidité non élastique de l'assemblage.

**M<sub>o</sub>:** Est le moment plastique de rupture de l'assemblage.

**F<sub>ext</sub> :** Charge extérieure totale.

**F :** Effort extérieur encaissé par les boulons.

**n :** Nombre total de boulons

**ea Et es :** Sont respectivement l'épaisseur de l'âme et de la semelle de la poutre.

**a :** Épaisseur utile des cordons de soudure

**t :** Épaisseur de la plaque (moyenne des deux épaisseurs)

**m :** Moment unitaire le long du cordon de soudure de l'âme et au droit de la ligne de trusquinage des boulons.

**F<sub>ts</sub>:** Effort appliqué sur la semelle tendue

**D<sub>r</sub>:** Diamètre de rondelle

**σ<sub>p</sub>:** Contrainte admissible de traction de la plaque

**n :** le coefficient de soulèvement dû à l'effet de levier agissant sur les bords transversaux **intérieurs de la plaque.**

**S<sub>j.ini</sub> :** c'est la rigidité initiale

**M<sub>j</sub>, R<sub>d</sub> :** Moment résistant de calcul

**III.3.2 Propriétés mécaniques des aciers :**

**III.3.2.1. acier de construction :**

**Tableau III-5 :** propriétés mécaniques des aciers utilisés pour la simulation dans le domaine non linéaire.

Module de Young E	210000 MPa
Coefficient de Poisson $\mu$	0.3
Densité	7.85 E-005 N/mm <sup>3</sup>
Limite d'élasticité	235 MPa

**III.3.2.2 les boulons :**

En plus des caractéristiques citées ci-dessus, le boulon possède aussi des caractéristiques mécaniques définissant le boulon en termes de résistance :

La limite de résistance élastique, la résistance ultime (à la rupture) ainsi que l'allongement relatif  $\Delta\epsilon$  sont portés sur le tableau suivant :

**Tableau III-6 :** Caractéristiques mécaniques des boulons de l'assemblage. [2]

Designation	Type	Contrainte (Stress) [MPa]		Allongement relatif $\Delta\epsilon$ (Strain)	
		Lim_res_elast	Res_ultime	lim_elast	Res_ultime
<b>Boulons</b>	<b>M20 (8.8)</b>	Lim_res_elast	Res_ultime	lim_elast	Res_ultime
		640	800	0.00	0.0244

### 1.9.2.3 Assemblage articulé :

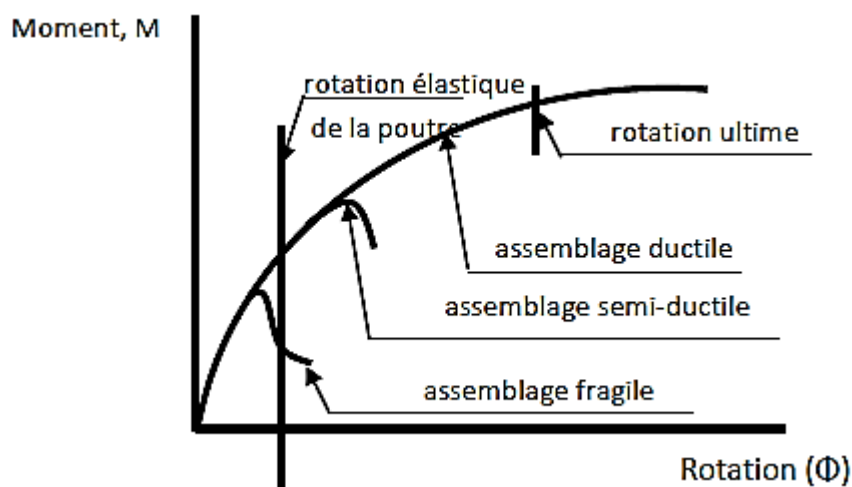
Un assemblage articulé possède une faible résistance, au maximum 25% de la résistance minimale requise pour avoir un assemblage résistance complète.

$$M_{Rd} < 0.25 M_{PLRd}$$

### 1.9.3 Classification par la capacité de rotation :

La capacité de rotation est une mesure de la déformation qui peut être atteinte avant que la ruine, dans l'assemblage ne provoque une chute de la résistance flexionnelle. Dans l'approche de l'**EUROCODE 3**, la classification des assemblages en termes de leur capacité de rotation demeure toujours vague. Cette classification constitue en principe une mesure de l'aptitude des assemblages à résister à une rupture fragile ou à instabilité locale prématurée. Une application pratique de cette classification des assemblages consiste à vérifier si une analyse globale basée sur un calcul plastique peut être conduite.

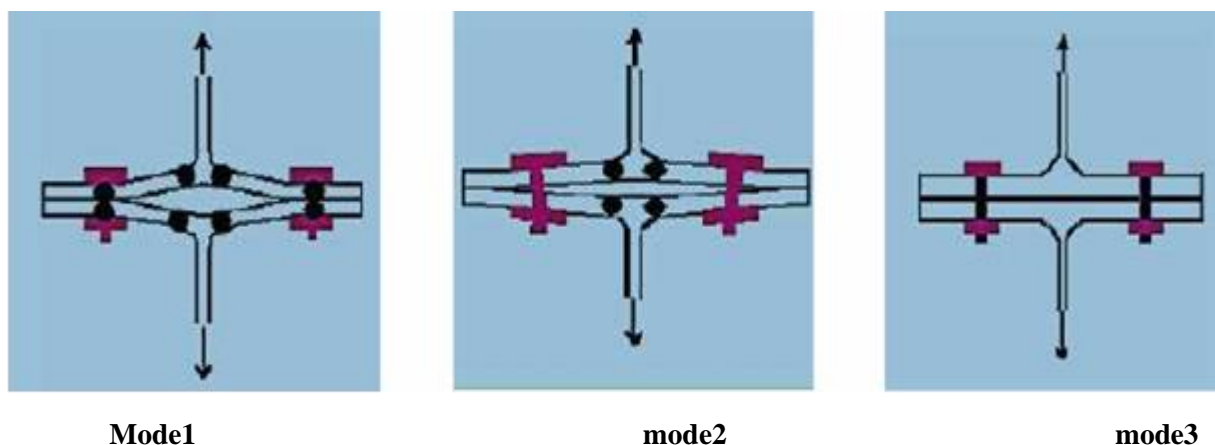
Une classification des assemblages selon leur capacité de rotation est toutefois proposée dans la littérature et qui dépend de la rotation de l'assemblage par rapport à celle de la poutre assemblée. Trois classes ont été définies à savoir, l'assemblage ductile, l'assemblage semi-ductile et l'assemblage fragile, voir **figure 1.20** Le comportement ductile est caractérisé par une courbe moment-rotation avec un plateau étendu qui indique généralement l'apparition de déformations plastiques avant la rupture. Le comportement fragile est caractérisé par une rupture, avec une rotation limitée, généralement sans déformation plastique. Enfin, le comportement semi-ductilité se situe entre le comportement fragile et le comportement ductile.



**Figure I.20:** Classification des assemblages par la capacité de rotation [5]

#### II.4.2 Modèle théorique du tronçon en té:

L'aspect théorique du comportement du tronçon en té comme élément indépendant de l'assemblage a été largement étudié. En conséquence, la réponse globale en termes de loi force-déplacement est bien définie dans le domaine élastique et plastique et des règles de calcul ont été déterminées dans ce sens. Ainsi, les trois modes de ruines, définis selon l'EC3 dépendent du rapport des résistances de la semelle du tronçon en flexion et des boulons en traction. Ces trois modes de ruine sont caractérisés par la ruine de la platine par formation d'un mécanisme plastique (**mode 1**), la ruine mixte de la platine et des boulons (**mode2**) ou la ruine des boulons (**mode3**).



**Figure II.7** mode de ruine du tronçon en té

**LE Mode1 :** correspond à la ruine du tronçon en Té par formation d'un mécanisme plastique, avant que la ruine des boulons ne soit atteinte. Les lignes de plastification se forment au niveau des rangées de boulons et à la naissance des congés de raccordement.

**LE Mode2 :** se rapporte à l'atteinte de la résistance des boulons alors que les lignes de plastification se sont déjà développées à la naissance du congé de raccordement entre la semelle et l'âme du tronçon.

**LE Mode3 :** s'apparente à la ruine des boulons. La rigidité importante des semelles du tronçon en Té conduit à la séparation des plats sans apparition d'effort de levier.

#### II.4.3 Résistance du tronçon en té :

La résistance à considérer est celle donnée par la valeur minimale de ruine des trois modes :

$$F_{rd} = \min (F_{T, rd1}, F_{T, rd2}, F_{T, rd3}).$$

**$\Theta_{cd}$** : Capacité de rotation de calcul

**$S_j$**  : Rigidité en rotation

**$M_j, R_d$** : Moment résistant de l'assemblage.

**$\Theta_j$** : La rotation dans l'assemblage.

**$t_{wc}$** : Épaisseur de l'âme de poteau.

**$\gamma_{Mo}$** : Coefficient de la sécurité égale à 1.1.

**$t_{fb}$** : Épaisseur de la semelle de la poutre.

**$M_{c,Rd}$** : Moment résistant de la poutre.

**$M_{pl,p}$** : moment plastique de la poutre

**$H_p$**  : hauteur du poteau

**$L$**  : longueur de la poutre

**$t_p$** : épaisseur de la platine

**$b_p$**  : largeur de la platine

**$h_s$**  : hauteur du raidisseur

**$b_s$**  : longueur du raidisseur

**$t_s$**  : épaisseur du raidisseur

**$I_y$**  : moment d'inertie.

**$f_y$**  : limite de résistance élastique.

**$E_p$**  : énergie plastique.

**$W_{el}$**  : module de résistance élastique.

**$W_{pl}$**  : module de résistance plastique

**$E_e$**  : énergie élastique.

**$\Theta_u$**  : Rotation ultime.

**$\Theta_e$**  : Rotation élastique.

**$\Theta_{ep}$**  : Rotation elasto-plastique

**$\epsilon_e$**  : Déformation élastique.

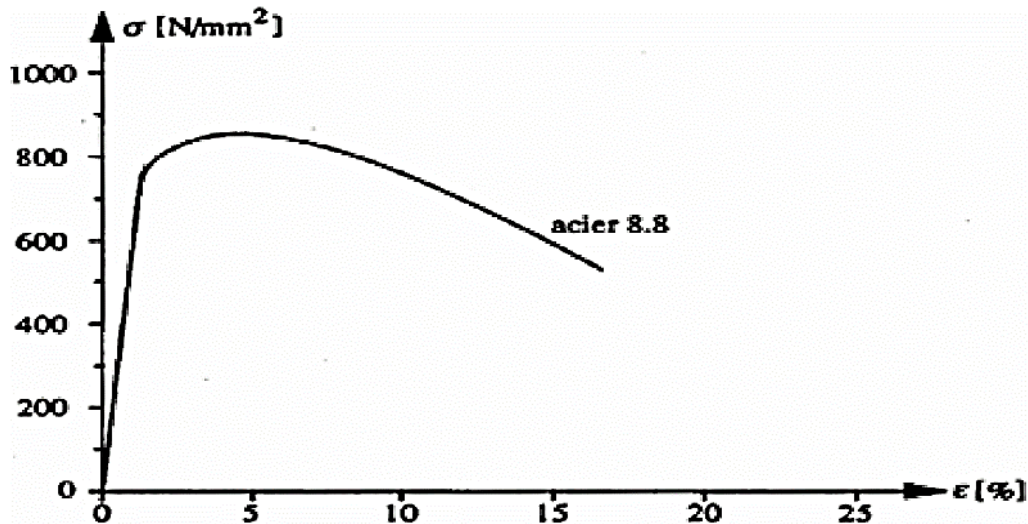


Figure III-6 : Le diagramme contrainte-déformation spécifique de l'acier 8.8 [24]

### III.4. DETERMINATION DES DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES ET DES SOLLICITATIONS :

Les distances entre les axes des boulons (entraxe p) ainsi qu'entre les axes des boulons et le bord de la pièce (pince e) doivent être comprises entre certaines limites pour les raisons suivantes :

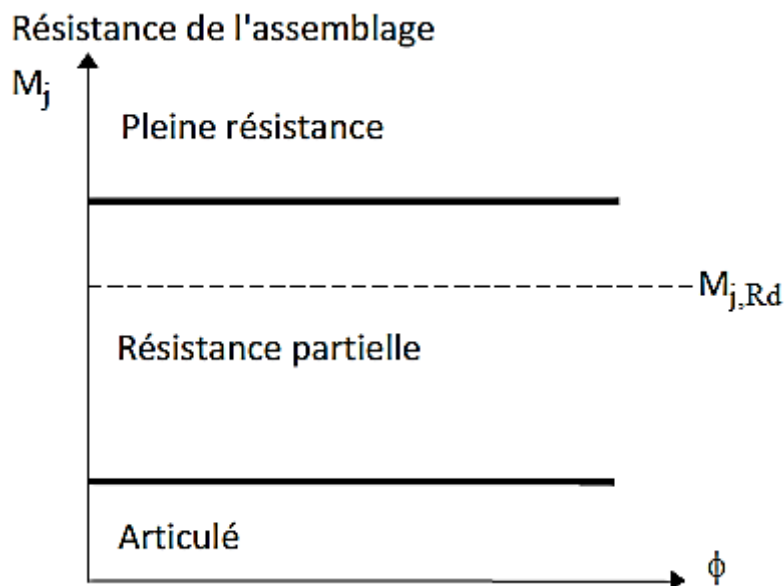
- Valeurs minimales : pour permettre la mise en place des boulons (outillage) et pour éviter la rupture de la tôle lorsque la pince est faible.
- Valeurs maximales : pour qu'il existe toujours un contact entre les pièces de l'assemblage et éviter de réaliser des assemblages trop longs.

#### III.4.1. Pincés longitudinale et transversale : [2]

Minimale	Maximale	Pince adopté
$e1 \geq 1,5 d0 = 33 \text{ mm.}$	$e1 \leq \min (150\text{mm}, 12t) = 108 \text{ mm.}$	$e1 = 70 \text{ mm.}$

#### III.4.2. entraxes longitudinal et transversal des trous : [2]

Minimale	maximale	Pince adopté
$P1 \geq 2,2 d0 = 48,4\text{mm.}$	$P1 \leq \min (14t, 200 \text{ mm}) = 126\text{mm.}$	$P1.1 = 55\text{mm}$ $P1.2 = 55\text{mm}$



**Figure I.19:** Limites de la classification des assemblages par résistance. [1]

### I.9.2.1 Assemblage à résistance complète :

Un assemblage à résistance complète est un assemblage qui possède une résistance plus grande que la résistance de la poutre assemblée. Dans ce cas, la déformation plastique est supposée se former dans la poutre assemblée. L'assemblage est considéré à résistance complète si :

$$M_{Rd} > M_{PLRd}$$

Où  $M_{Rd}$  désigne le moment résistant de calcul de l'assemblage et  $M_{PLRd}$  le moment plastique de calcul de la poutre assemblée.

Il n'est pas rare que la limite d'élasticité du matériau dont est constituée la poutre assemblée soit élevée par rapport à celle de l'assemblage. Dans ce cas, le calcul conduit alors à une sous-estimation de la résistance de la poutre assemblée et la rotule plastique se formerait dans l'assemblage.

### I.9.2.2 Assemblage à résistance partielle

Un assemblage à résistance partielle représente la solution intermédiaire. L'assemblage doit posséder une capacité de rotation suffisante pour assurer la formation de la rotule plastique. L'assemblage est considéré à résistance partielle si :

$$0,25M_{PLRd} < M_{Rd} < M_{PLRd}$$

## II.4 COMPORTEMENT DE LA ZONE TENDUE D'ASSEMBLAGE (TRANCON EN T $\acute{E}$ ) :

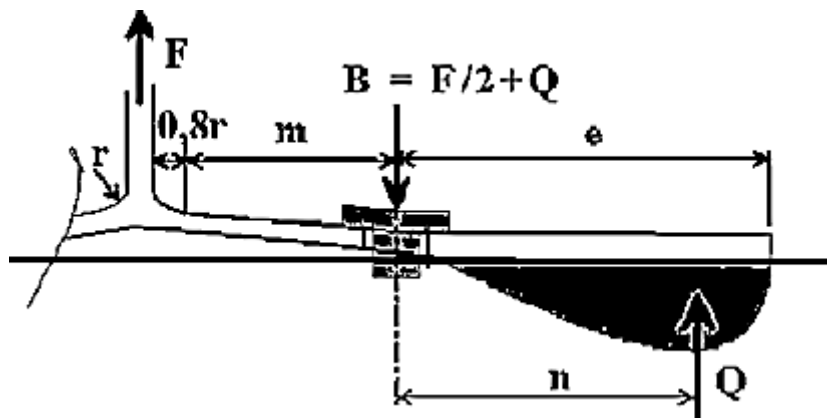
Une des composantes principales d'un assemblage boulonné avec platine débordante de type poteau-poutre est le tronçon en T $\acute{e}$  qui représente la zone tendue. Ce tronçon en T $\acute{e}$  peut être considéré comme un assemblage élémentaire unique ou comme une partie d'une configuration plus complexe.

### II.4.1 fonctionnement du tronçon en té:

La déformation du tronçon en T $\acute{e}$  est d'une part liée au comportement des boulons sollicités en traction et d'autre part, à l'état de déformation de la semelle ou de la platine sollicitée en flexion.

Une caractéristique importante du comportement des tronçons en T $\acute{e}$  est le développement de forces de levier sous la semelle. Ces forces secondaires, qui sont introduites dans les boulons en plus de la traction directe, peuvent provoquer une ruine prématurée.

Une illustration du mécanisme de levier dans un tronçon en T $\acute{e}$  est présentée dans la ( ). Pour une force  $F$  appliquée sur l'âme du tronçon, des forces de levier  $Q$  se développent en raison de la flexion de la semelle.



**Figure II.6** : mécanisme de levier dans un tronçon en té [24]

Selon l'EC3 (12) :  $n/m = 1,25$  où

$n$  : est à priori inconnu.

$Q$  : Force de levier = amplification de la traction (boulons).

L'équation de l'équilibre statique des forces verticales montre que la force  $B$  dans un boulon est égale à :

$$B = \frac{F}{2} + Q$$

**$\epsilon_p$**  : Déformation plastique.

**$\mu_\theta$**  : Ductilité

**$M_{el,y}$** : moment de résistance élastique

**E** : module d'élasticité

**$F_{tsd}$**  : effort de traction de calcul par boulon.

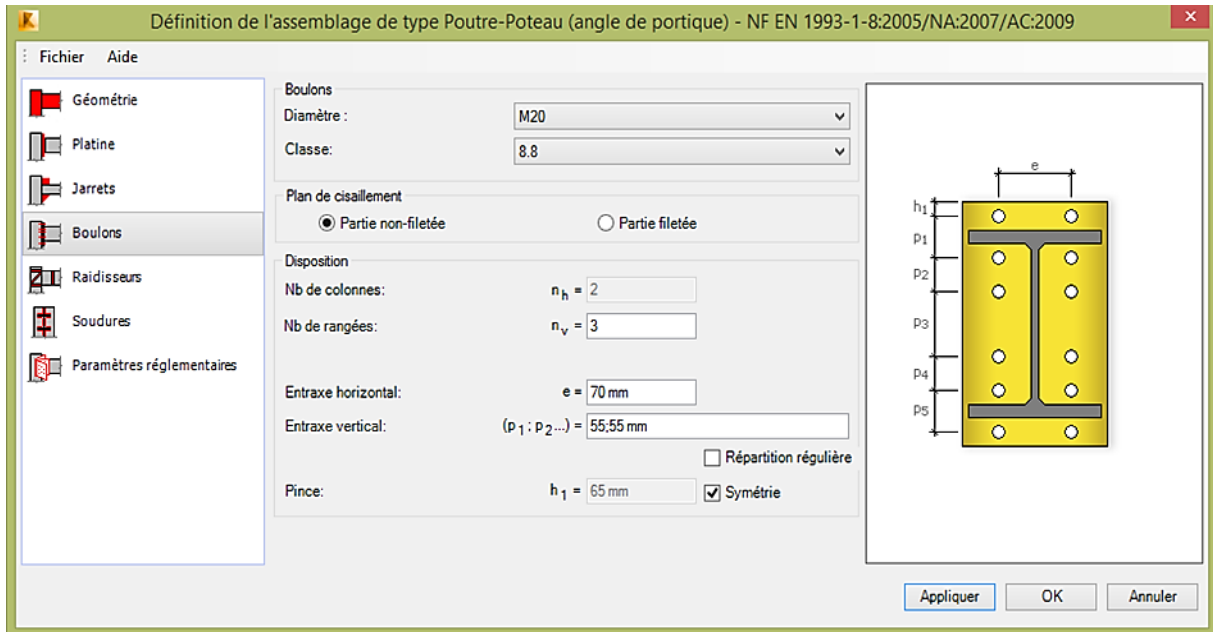
**$F_{trd}$**  : résistance de calcul en traction par boulon.

**$B_{prd}$**  : résistance de calcul au cisaillement.

**$M_u$** : moment ultime de l'assemblage

**$R_{init}$**  : rigidité initiale de l'assemblage

Dans la **figure III-7** suivante on retrouve dispositions des boulons dans les assemblages tels que modéliser dans le logiciel **Robot** :



**Figure III-7** : dispositions des boulons « dans les assemblages

### III.5 l'ETUDE :

L'étude qui nous a été proposée consiste en le comportement d'un assemblage non raidi. Celui-ci a été dimensionné et vérifié selon le règlement **Eurocode3** dans un projet de fin d'étude ultérieur.

Le but est d'exciter l'assemblage par le spectre du RPA en se situant dans les quatre zones répertoriées. Pour chacune d'elles le calcul a été poussé jusqu'à atteindre la rotation ultime

$\theta_t = \theta_e + \theta_{ep}$  calculée pour une ductilité requise du poteau égale à une valeur **1,5.R**.

Pour chaque calcul et pour chaque zone nous avons construit les courbes **M- $\theta$**  puis classé l'assemblage en fonction de rigidité sécante. Cette idée nous permettra de prévoir et conseiller un assemblage pour une zone donnée.

#### III.5.1.Le Choix des unités :

- distance : m
- temps : s
- masse : kg
- force : daN
- contrainte/pression : MPa
- grandeur : m

Lorsque l'assemblage rigide est considéré dans l'analyse globale de la structure en acier, sa conception et son dimensionnement doivent effectivement être tels pour que ses déformations aient une influence négligeable sur la distribution des efforts et sur les déformations de la structure en acier. Les assemblages rigides sont usuellement utilisés dans les structures en acier non contreventées. L'assemblage est considéré rigide si :

$$S_{j,ini} > 25 E I_b / L_b$$

### **I.9.1.2 Assemblage semi-rigide :**

$$0.5 E I_b / L_b < S_{j,ini} < 25 E I_b / L_b$$

### **I.9.1.3 Assemblage articulé :**

Ce type d'assemblage doit être suffisamment souple pour se déformer lors de la rotation. Il doit être conçu et dimensionné pour ne transmettre, en règle générale, aucun moment de flexion.

L'assemblage est considéré articulé si :

$$S_{j,ini} < 0.5 E I_b / L_b$$

Un assemblage articulé a donc pour mission de reporter depuis la poutre au poteau qu'un effort tranchant et/ou un effort normal. On comprend dès lors que ce type d'assemblage convient aux structures contreventées. Au niveau de chaque assemblage, les charges verticales sont transmises du plancher aux poutres et des poutres aux poteaux ; les charges horizontales sont reprises directement par le système de contreventement adopté.

## **I.9.2 Classification par la résistance :**

La classification fondée sur la résistance est utile dans le cas de structures en acier calculées par la théorie de plasticité. La classification de l'**Eurocode 3** vis-à-vis de la résistance des assemblages fait une distinction entre l'assemblage à résistance complète, l'assemblage à résistance partielle et l'assemblage articulé **Figure I.19**

### II.3.2.2 Rigidité initiale en rotation :

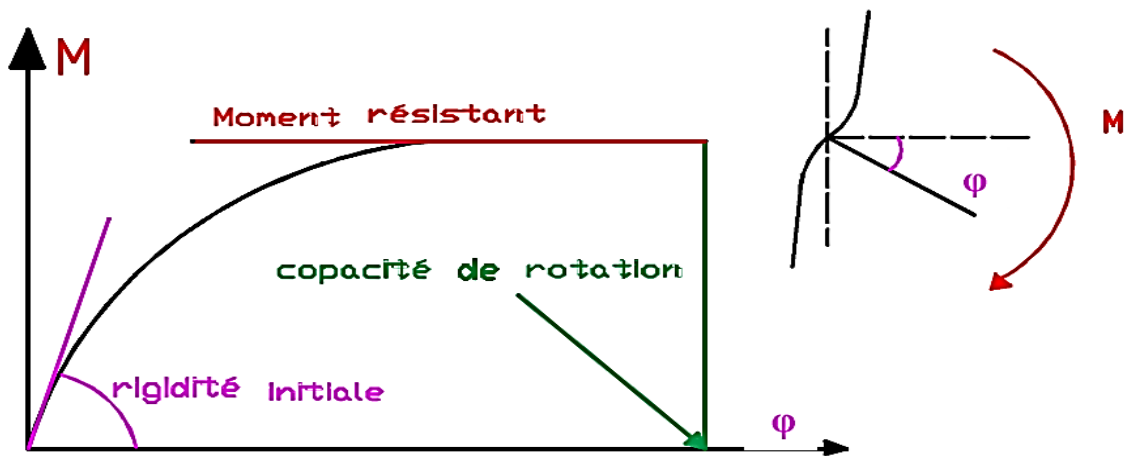


Figure II.5 Comportement d'un assemblage [23]

La rigidité en flexion (ou en rotation) est définie comme étant le rapport entre le moment sollicitant l'assemblage  $M_{J,Rd}$  et la rotation  $\Phi_j$  correspondante à l'assemblage (variation angulaire entre les fibres moyennes du poteau et de la partie attachée), donc :

$$S = \frac{M_{J,Rd}}{\Phi_j}$$

Avec :  $S_{j,ini}$  = rigidité initiale

### II.3.2.3 La capacité en rotation :

Un autre point à prendre en considération concerne l'aptitude de l'assemblage à rester cohérent et à accepter les rotations imposées sans rupture, telles la capacité de rotation

$$\Phi_{cd} = \frac{M_{J,Rd}}{S_j}$$

$M_{J,Rd}$  : moment résistant de calcul.

$\Phi_{cd}$  : capacité de rotation de calcul.

$S_j$  : rigidité en rotation.

Les trois caractéristiques ( $M_{J,Rd}$ ,  $S_{j,ini}$ ,  $\Phi_{cd}$ ) clés des assemblages influent directement sur le comportement de ces derniers et sur leur classification

La capacité de rotation de calcul  $\Phi_{cd}$  d'un assemblage poutre-poteau doit être prise égale à la rotation atteinte au stade du moment résistant de calcul de l'assemblage.

---

---

# **Introduction Générale**

---

---

**III.5.2. Détermination de la rotation : [17]**

➤ **Ductilité d'un élément en flexion :**

$$\mu_{\theta} = \Theta_e + \Theta_{ep} / \Theta_e \quad (5.1)$$

➤ **Rotation dans le domaine élastique :**

$$\Theta_e = M_{y,e}.L / 6.E I_{poutre} \dots \dots \dots poutre \quad (5.2)$$

$$\Theta_e = M_{y,e}.h / 6.EI_{colonne} \dots \dots \dots colonne \quad (5.3)$$

➤ **Demande en ductilité pour un système en portique en acier :**

$$\mu_c = 1.5 \times R \dots \dots \dots colonne \quad (5.4)$$

$$\mu_p = R \dots \dots \dots poutre \quad (5.5)$$

Avec :

**R** : facteur de comportement des systèmes en portique en acier. (Le R dans le RPA).

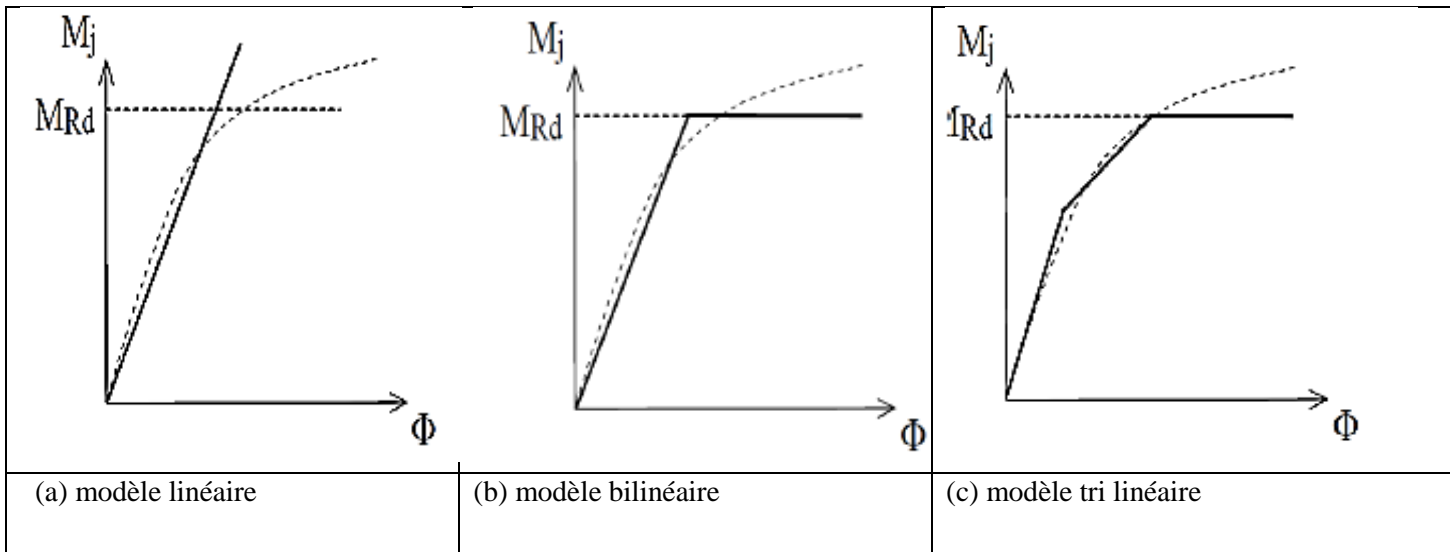
**Remarque** : On se référera à  $\mu_c$  car c'est le poteau qui provoque la ruine.

➤ **Calcul du moment de résistance élastique :**

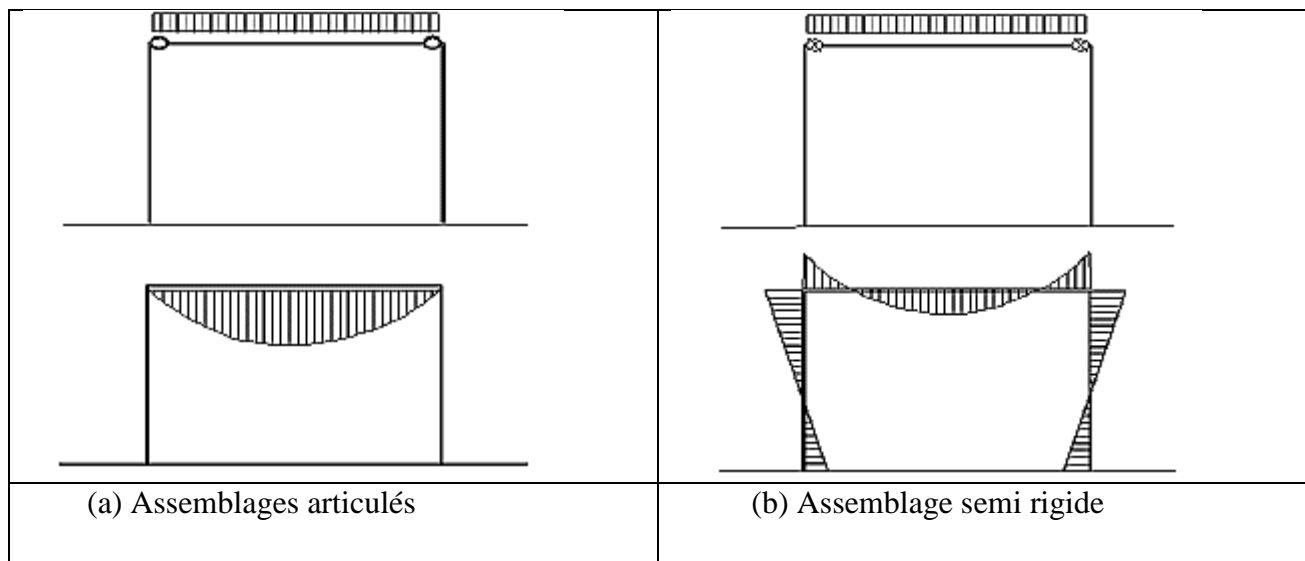
$$M_{el,y} = W_{el,y} \times f_y / \gamma_{mo} \quad (5.6)$$

D'où

$$M_{el,y} = 675.1 \times 235 \times 10^3 / 1.1 = 144.226 \times 10^6 \text{ N.mm}$$



La rigidité de l'assemblage intervient dans la phase initiale de l'analyse globale des structures en acier. Ainsi lors de la modélisation de la structure en acier, une attention particulière doit être accordée à la rigidité de l'assemblage. Bien sûr, la rigidité de l'assemblage influe sur le niveau de sollicitations et la flèche dans les poutres, comme illustré sur la **Figure I.18**. En particulier, la rigidité des assemblages peut également avoir des effets significatifs sur le comportement de la structure en acier et sur sa stabilité globale. La classification des assemblages, établie par l'approche de l'Eurocode 3, distingue l'assemblage articulé, l'assemblage semi-rigide et l'assemblage rigide et donne les limites de rigidités pour chaque type d'assemblage résumées ci-après :

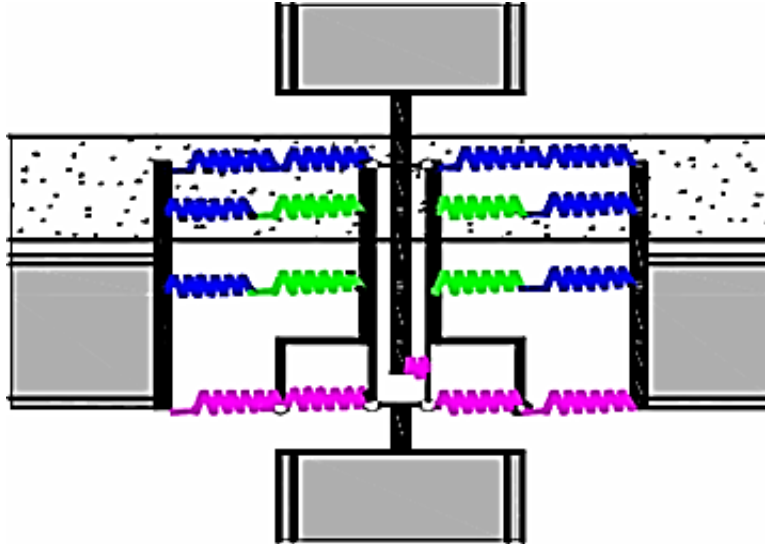


**Figure I.18:** Répartition élastique des moments fléchissant dans un portique simple [1]

### I.9.1.1 Assemblage rigide :

### II.3.2 MODELE DE L'EUROCODE-3 :

Le modèle mécanique simplifié présenté par L'EUROCODE-3 est basé sur le modèle présenté par TSCHEMMERNEGG



**Figure II.3 :** Le modèle de TSCHEMMERNEGG [5]

Dans ce modèle de calcul présenté par l' Eurocode-3, le comportement des assemblages est considéré à travers trois caractéristiques clés suivantes :

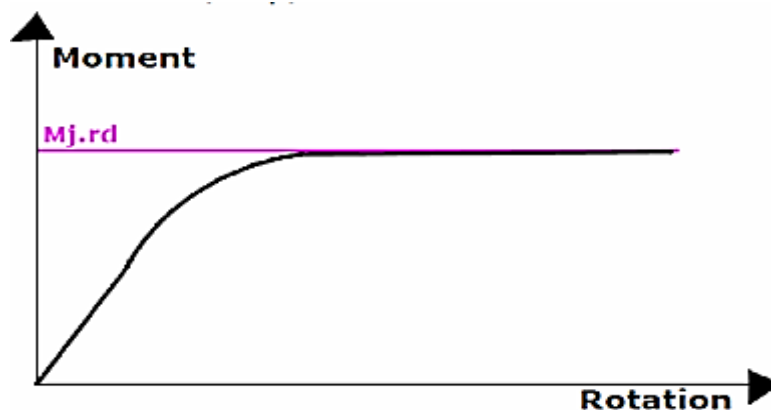
$M_{J,Rd}$  : Le moment résistant de calcul

$S_{Jini}$  : La rigidité initiale en rotation

$\Phi_{cd}$  : La capacité de rotation de calcul

#### II.3.2.1 Le moment résistant de l'assemblage $M_{J,Rd}$ :

Le moment résistant de calcul  $M_{J,Rd}$  est pris comme le moment maximum de la courbe de comportement moment rotation (M-F).



**Figure II.4 :** Le moment résistant de calcul  $M_{J,Rd}$

# INTRODUCTION GENERALE

La caractéristique essentielle des constructions métalliques est d'être composées d'un ensemble d'éléments barres (poteaux- poutres) constitués de profilés laminés ou soudés souvent en forme de (I ou de H) qu'il faut assembler entre eux pour constituer l'ossature.

Les liaisons entre ces différents éléments représentent ce qu'on appelle communément les Assemblages. Ces derniers constituent des composants spécifiques à la construction métallique, ils jouent un rôle très important, on peut les définir comme organes de liaison qui permettent de réunir et de solidariser plusieurs éléments entre eux, on assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les éléments assemblés, sans générer d'efforts parasites. Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à l'effondrement de la structure. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale.

Les assemblages des structures en acier assurent la continuité entre les éléments, tels que les poteaux et les poutres. Ces assemblages, qui constituent des zones de discontinuité, ont une influence sur le comportement global de la structure. La caractérisation du comportement des assemblages n'est pas aisée à cause de leur complexité géométrique et mécanique. Cette complexité résulte du nombre d'éléments intermédiaires utilisés (boulons, platine, cornière...) ainsi que des formes géométriques variées et des propriétés matérielles différentes. Elle engendre de fortes discontinuités et conduit à un comportement global non linéaire de l'assemblage.

Traditionnellement, les assemblages sont considérés rigides ou articulés. En réalité, les assemblages les plus flexibles sont capables de transmettre un certain moment de flexion tandis que les assemblages les plus rigides autorisent toujours une rotation relative des pièces assemblées. La prise en compte de cette réalité a conduit à l'introduction du concept de la semi-rigidité dans l'approche de calcul des structures. Ce concept qui permet d'approcher le comportement réel des assemblages dans l'analyse des structures offre une très grande souplesse dans le choix des assemblages et du dimensionnement.

La construction métallique utilise principalement deux types d'assemblages : les assemblages soudés et les assemblages boulonnés. Les assemblages boulonnés par platine d'about sont largement utilisés dans les structures métalliques. En général, ils ont des configurations géométriques variées du fait de la variation du nombre de rangées de boulons, de l'espacement des boulons, des dimensions de la platine d'about qui peut-être débordante ou non débordante, de la présence des raidisseurs, des dimensions des poteaux et des poutres, de

➤ **Calcul de la rotation élastique :**

$$\Theta_e = 144.266 \times 10^6 \times 3 \times 10^3 / 6 \times 2.1 \times 10^5 \times 7763 \times 10^4$$

$$= 0.004 \text{ rad}$$

**On prend :**

$$R=6 \longrightarrow \text{donc } \mu_c = 9$$

➤ **La rotation élasto-plastique : à partir de l'équation (5.1) :**

$$\mu_c = \Theta_{ep} + \Theta_e$$

$$\Theta_{ep} = \Theta_e \times \mu_c - \Theta_e$$

$$= 9 \Theta_e - \Theta_e = 8 \Theta_e = 0.032 \text{ rad}$$

La rotation élasto-plastique de la colonne est  $\Theta_{ep} = 0.032 \text{ rad}$

Et :

$$\Theta_t = \Theta_e + \Theta_{ep} = 0.032 + 0.004 = 0.036 \text{ rad}$$

➤ **La rotation  $\Theta_{ep(ass)}$  de l'assemblage :**

$$\Theta_{ep(ass)} = \Theta_{ep} \times 1.20 \longrightarrow \Theta_{ep(ass)} = 0.043 \text{ rad}$$

## III.6. LES ETAPES DU TRAVAIL: [25]

### III.6.1 combinaisons d'actions :

L'action sismique est considérée comme une action accidentelle au sens de la philosophie de calcul aux Etats Limites.

Les combinaisons d'actions à considérer pour la détermination des sollicitations et des déformations de calcul sont :

## **I.8 CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES BOULONNES :**

Les anciennes méthodes considèrent les assemblages soit comme des rotules parfaites au sens de la mécanique et que l'on considère comme des assemblages articulés ou des encastremements parfaits que l'on considère comme des assemblages rigides.

### **I.8.1 Assemblage rigide :**

Interdit toute rotation relative entre les éléments assemblés et assurent ainsi la transmission intégrales des efforts appliqués, autrement dit il est dimensionné pour transmettre l'ensemble des sollicitations avec une rotation nulle, par exemple un assemblage avec une platine d'extrémité débordante.

### **I.8.2 Assemblage articulé :**

Quand a ce nœud articulé, Il ne transmet aucun moment de flexion et n'empêche pas la rotation des éléments assemblés, autrement dit il est dimensionné pour ne transmettre aucun moment de flexion avec une rigidité nulle, par exemple l'assemblage boulonné par platine d'extrémité courte.

### **I.8.3 Assemblage semi-rigide :**

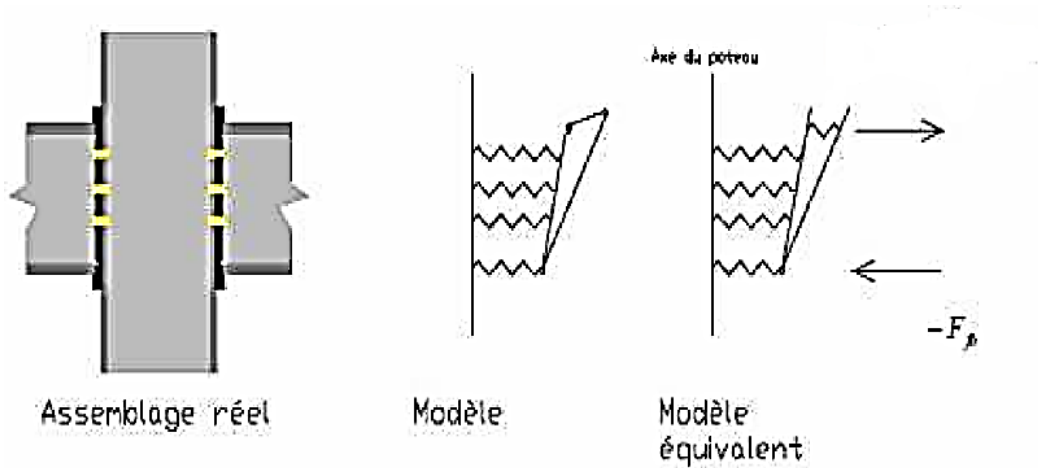
Ce concept permet de tenir compte de comportement réel de l'assemblage situé entre l'articulation et l'encastrement. Autrement dit, les assemblages les plus flexibles sont capables de transmettre un certain moment de flexion tandis que les assemblages les plus rigides autorisent toujours une certaine rotation relative des pièces assemblées, par exemple un assemblage boulonné par platine d'extrémité non débordante. Selon (**l'EC3 1993**) le comportement de ces assemblages est modélisé au moyen d'un ressort en rotation placé au point d'intersection entre les axes de la poutre et de poteau.

## **I.9 CLASSIFICATION DES ASSEMBLAGES METALLIQUES : [5]**

L'approche de l'**Eurocode 3**, qui traite de la classification des assemblages, fournit les règles de calcul de la rigidité initiale et de la résistance ultime. En vue d'une application pratique, l'approche idéalise le comportement réel des assemblages en utilisant le modèle linéaire, le modèle bilinéaire ou le modèle tri linéaire de la **Figure I.17**

**Figure I.17 : Idéalisations du comportement des assemblages en acier [1]**

### **I.9.1 Classification par la rigidité :**

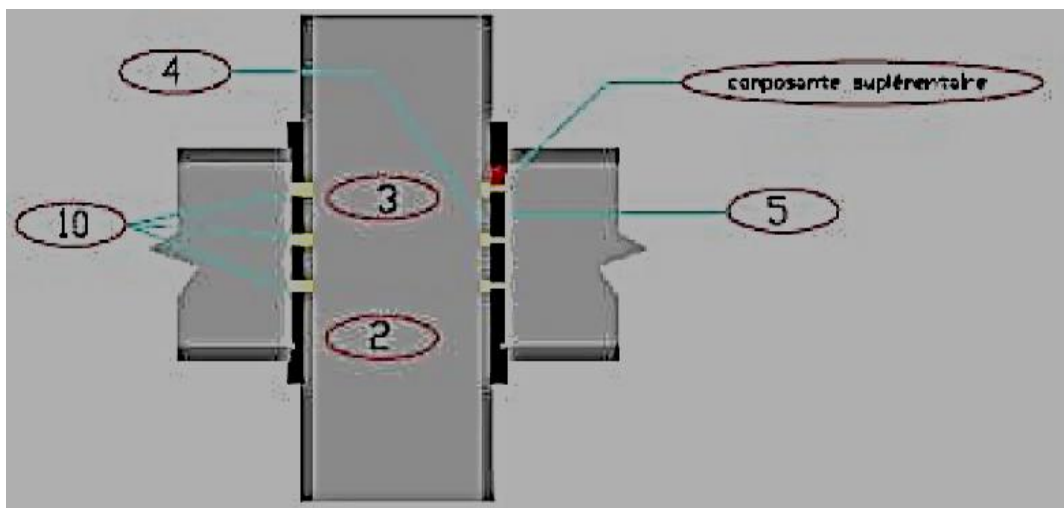


**Figure II.1** Modélisation de l'assemblage : modèle de J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA [24]

Ce modèle utilisant un ressort au niveau de chaque rangée de boulons permet d'introduire des lois de comportements non linéaires des composantes et d'évaluer la capacité de rotation de l'assemblage en rapport avec la ruine de l'un quelconque de ces composantes. Ensuite, en introduisant la déformation de la partie de la platine située entre la première rangée et la semelle tendue de la poutre comme un composant supplémentaire. Ce modèle repose sur les hypothèses suivantes:

L'assemblage boulonné est réalisé à partir des plaques soudées à l'extrémité de la poutre et fixées à la semelle du poteau (assemblage d'axe majeur).

On admet que l'assemblage résulte de l'association de composants dont le comportement est simulé par des ressorts. Ces composants sont :



**Figure II.2** : Composantes selon le modèle de J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA [24]

la force de précontrainte dans les boulons, des propriétés mécaniques de l'acier et des surfaces de contact.

Ces détails de conception entraînent des variations des caractéristiques de l'assemblage et affectent leur comportement, ce qui rend leur analyse extrêmement complexe.

Le comportement complexe des assemblages et le nombre important de paramètres géométriques et mécaniques qui influencent leur comportement font que leur étude par la voie numérique présente un grand intérêt. L'analyse numérique permet d'obtenir des informations détaillées et variées. Nous avons donc développé un modèle numérique par éléments finis, pour caractériser le comportement réel des assemblages avec platines d'about boulonnées. Ceci a permis de modifier certains paramètres afin d'étudier leur influence sur le comportement global, de mieux visualiser et de comprendre certains phénomènes en particulier l'influence des raidisseurs de platine d'about ainsi que d'évaluer le comportement des éléments constituant l'assemblage (poteaux, poutres, boulons, platine d'about ... etc.).

Ce mémoire comprend Cinq chapitres. Ils sont présentés ci-après.

- Le premier chapitre, à caractère bibliographique, permet de faire une présentation générale des assemblages structuraux. Nous décrivons les différents types d'assemblages d'utilisation courante. Cette représentation est effectuée du point de vue des caractéristiques géométriques et mécaniques et des modes de transmission des efforts. Nous revenons également sur la classification des assemblages, en particulier selon les critères de résistance et de rigidité ainsi que l'idéalisation des courbes moments-rotation, en s'appuyant principalement sur l'EC3. Aussi, nous présentons quelques techniques de renforcement des assemblages métalliques.
- Le deuxième chapitre est consacrée aux différentes recherches existantes dans la littérature étudiant les assemblages métalliques par différentes approches, soit: on exploitant les résultats obtenus à partir d'essais expérimentaux ou on utilisant une approche numérique par l'application de la méthode des éléments finis ou une approche analytique en passant par des modèles mécaniques à ressorts.
- Le troisième chapitre illustre les types d'assemblages à étudier : les assemblages boulonnées avec platine débordante ou non, sans raidisseurs ainsi que les caractéristiques géométriques et mécaniques des éléments constructifs.
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation du logiciel d'éléments finis **Robot** ainsi que les différentes étapes du développement du modèle numérique.
- Le cinquième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats et les conclusions.  
D'une manière générale, la construction métallique et les avantages qu' elle offre ne sont plus à démontrer, elle ouvre une large porte vers la modernisation et l'industrialisation de la construction elle est appréciée et recherchée dès que des grandes portées ou des grandes

$$G + Q + E \quad (6.1)$$

$$0.8 G E \quad (6.2)$$

Pour Les poteaux dans les ossatures auto-stables, la combinaison ( ) est remplacée par la combinaison suivante:

$$G + Q + 1.2 E \quad (6.3)$$

**G** : charges permanentes

**Q** : charges d'exploitation non pondérées

**E** : action du séisme représentée par ses composantes horizontales

Bien qu'aucune mention n'ait été faite des effets de l'accélération verticale due aux séismes, ces effets sont inclus comme suit :

La combinaison (6.1) comprend la totalité de la charge d'exploitation ainsi que la charge sismique. Du fait que cette charge d'exploitation est tout à fait improbable, une grande partie de Celle-ci (environ 40 à 60%) peut effectivement représenter l'effet des accélérations verticales des séismes.

La combinaison (6.2) tient compte de la réduction de la charge verticale qui se produira à cause des effets de l'accélération verticale

Dans les combinaisons précédentes, il y a lieu de tenir compte de la réversibilité des charges sismiques

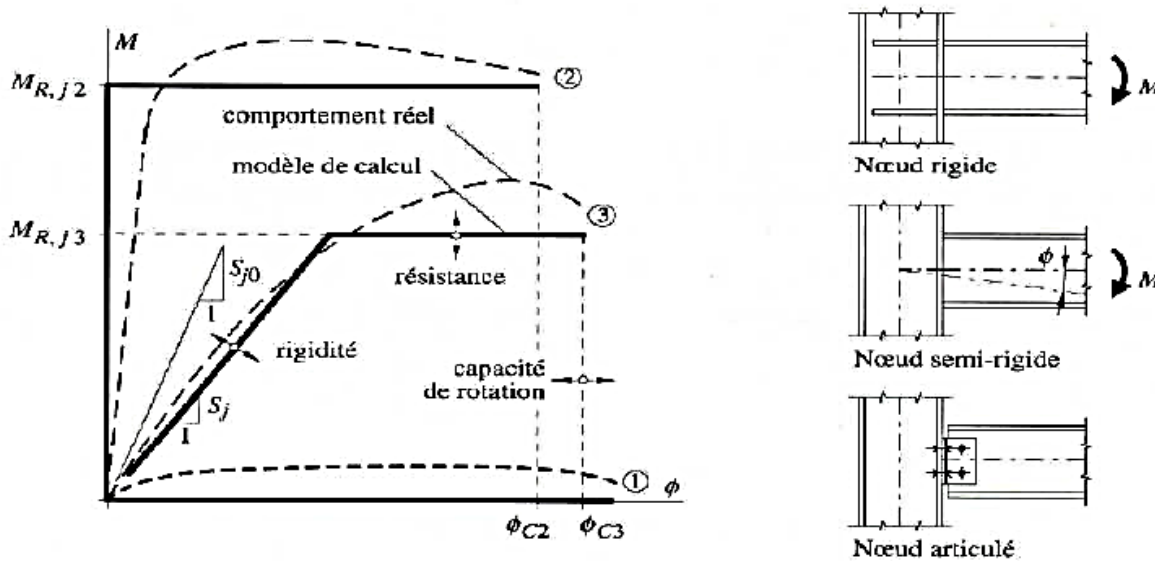
Pour les poteaux, la combinaison **G+P+1.2 E** en (6.3) a pour objet de leur fournir une meilleure résistance aux effets des moments de renversement dus aux mouvements sismiques majeurs. **(RPA99 version 2003)**

### III.6.2 Estimation de la période fondamentale de la structure : [25]

La valeur de la période fondamentale (**T**) de la structure peut être estimée à partir de formules empiriques ou calculée par des méthodes analytiques ou numériques.

La formule empirique à utiliser selon les cas est la suivante :

courbe 2 correspond à l'assemblage idéalisé comme un nœud rigide. Les courbes 1, 2 et 3 correspondent aux assemblages boulonnés par platine d'extrémité courte, non débordante et débordante, respectivement. Chaque assemblage possède un comportement non-linéaire intermédiaire (semi-rigide) situés entre les deux extrêmes (courbes 1 et 2).



**Figure I.16:** Comportement des assemblages en acier [24]

Le comportement non-linéaire de ces types d'assemblages résulte de la forme géométrique et des proportions de l'assemblage, des moyens d'assemblages utilisés (boulons, soudures), des discontinuités et des propriétés mécaniques. Le comportement réel de chaque assemblage est représenté par une courbe moment-rotation figure **I.16** caractérisée par trois propriétés essentielles, à savoir :

- rigidité de rotation initiale.
- capacité de résistance flexionnelle.
- capacité de rotation.

En se basant sur l'approche retenue par l'**EUROCODE 3** pour l'analyse globale des structures utilisant des assemblages par platine d'extrémité, il y a lieu de considérer les propriétés structurales (rigidité initiale, résistance et capacité de déformation) de chaque type d'assemblage.

- La courbe moment-rotation produit par le modèle d'E.F est semblable à celle de l'expérimentale. Le rôle joué par la semelle du poteau a provoqué une rotation à étudier.
- Le plus important dans cette partie de l'étude est la détermination de l'effet de paramètres géométriques de la configuration de l'assemblage avec platine d'extrémité sur la courbe moment-rotation développée par la M.E.F.
- Dans la deuxième partie de l'étude ils ont utilisé la relation moment-rotation présentée ci-dessous pour décrire le comportement des assemblages d'extrémité par 4 boulons :

$$M = \frac{(K_i - K_p)\varphi}{\left[1 + \left[\frac{K_i - K_p}{M_o}\right]^n\right]^{(n+1)}} + K_p * \varphi$$

**K<sub>i</sub>** : est la rigidité élastique de l'assemblage.

**K<sub>p</sub>** : est la rigidité non élastique de l'assemblage.

**M<sub>p</sub>** : est le moment plastique de rupture de l'assemblage.

**M<sub>0</sub>** : est le moment de référence de l'assemblage.

### II.2.7 ABIDELAH.A(2009) :

ABIDELAH a étudié l'influence de la présence des raidisseurs de platine d'about sur le Comportement des assemblages métalliques boulonnés. Une étude numérique par éléments finis pour la caractérisation du comportement non linéaire des assemblages métalliques de type poteau-poutre cruciformes avec attaches boulonnées et platine d'about est effectuée.

L'analyse numérique est basée sur un modèle tridimensionnel avec des éléments volumiques à 8 nœuds en utilisant le logiciel d'éléments finis CASTEM. Le modèle tient compte des non linéarités matérielles et géométriques (contact, plasticité, grands déplacements). Ce modèle est calibré sur la base de résultats expérimentaux de quatre assemblages avec différentes configurations géométriques. Aussi, pour valider le modèle développé, les résultats sont confrontés aux formulations analytiques de l'Eurocode3.

## II.3 LES DIFFERENTS MODELES MECANIQUE A RESSORT :

### II.3.1 J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA 1999 :

Cette recherche est basée sur le modèle suivant :

hauteurs s'imposent. Cependant ce type de construction repose principalement sur les assemblages des différents éléments nécessitant une précaution supplémentaire, d'où les méthodes avancées de calcul qui considère l'assemblage comme un élément séparé.

---

---

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les assemblages métalliques**

---

---

$$T = C_T \cdot h_N^{3/4} \quad (6.4)$$

$h_N$  : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

$C_T$  : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage et donné par le tableau 4.6. RPA99 /2003.

$C_T=0.075$  : Portiques auto-stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie

$$T=0.075 \times 3^{3/4} = 0.171 \text{ s}$$

### III.6.3 Spectre de réponse de calcul RPA99 version 2003 :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left( 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} & T > 3.0s \end{cases}$$

$A$  : coefficient d'accélération de zone.

$\eta$  : facteur de correction d'amortissement (quand l'amortissement est différent de 5%).

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2} + \xi} \geq 0.7$$

$\xi$  : pourcentage d'amortissement critique.

$R$  : coefficient de comportement de la structure. (Dans notre cas  $R=6$ ).

$T_1, T_2$  : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site.

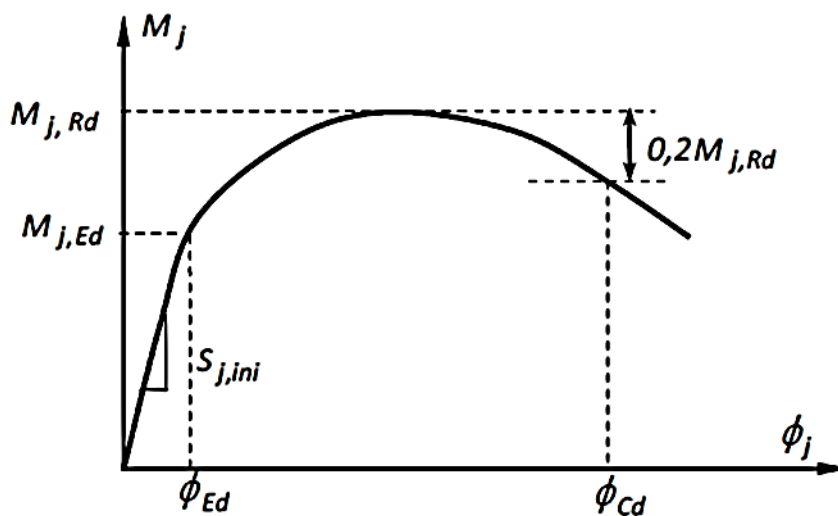
$Q$  : facteur de qualité.

## I.6 CARACTERISTIQUE D'UN ASSEMBLAGE BOULONNE : [1]

Fondamentalement, un assemblage poutre-poteau peut être identifié par la compréhension des caractéristiques comportementales de l'assemblage. Idéalement, ces caractéristiques comportementales peuvent être représentées par une relation entre le moment et la rotation de l'élément connecté. Cette relation est utile et importante et elle peut être illustrée par une courbe appelée la courbe Moment-Rotation ( $M-\theta$ ).

La figure I.15 montre les limites en déformation pour un assemblage boulonné à travers un moment arbitraire. Basé sur la courbe Moment-Rotation, un assemblage peut être classé généralement en trois paramètres qui caractérisent la courbe de comportement d'un assemblage. Ceux sont :

- La résistance au moment.
- La rigidité initiale en rotation.
- La capacité en rotation (ductilité).



**Figure I.15** : courbe Moment-Rotation: [1]

## I.7 COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES METALLIQUES :

D'habitude dans l'analyse globale des structures poutres-poteaux en acier, l'assemblage boulonné par platine d'extrémité courte, dimensionné pour ne transmettre aucun moment de flexion, est idéalisé comme un nœud articulé — assemblage articulé (rigidité nulle) — qui n'empêche aucune rotation (rotation élevée) des sections assemblées ; l'assemblage boulonné par platine d'extrémité débordante, dimensionné pour transmettre l'ensemble des sollicitations, est idéalisé comme un nœud rigide — assemblage rigide (rigidité élevée) — qui interdit toute rotation relative (rotation nulle) entre les sections assemblées.

La figure I.16 présente des exemples de comportement d'assemblages poutre-poteau par platine d'extrémité. La courbe 1 correspond à l'assemblage idéalisé comme un nœud articulé tandis que la

#### **II.2.4 GEBBEKEN (1994) :**

GEBBEKEN examine des différentes techniques de modélisation par la méthode des éléments finis pour découvrir les critères importants afin de décrire le comportement de l'assemblage métallique avec platine d'extrémité. Aussi l'auteur discute les résultats des études paramétriques pour démontrer que les éléments de l'assemblage fournissent des valeurs significatives de la flexibilité de l'assemblage.

Cette étude est faite sur un assemblage non raidi avec platine d'extrémité par 4 boulons avec un modèle bidimensionnel.

La relation contrainte-déformation est une fonction bilinéaire. Le contact entre la semelle du poteau et la platine d'extrémité est négligé. L'utilisation du modèle tridimensionnel par l'auteur, donne un succès limité pour le calcul de la courbe caractéristique moment-rotation de l'assemblage.

#### **II.2.5 BURSI ET JASPART (1997) :**

BURSI et JASPART récapitulent l'investigation de modélisation par la méthode des éléments finis pour les assemblages boulonnés. Ils montrent que la programmation par la méthode des éléments finis peut être utilisée pour déterminer avec exactitude le comportement de l'assemblage.

Ils ont utilisé dans leur étude le programme LAGAMINE SOFTWARE PACKAGE sur un modèle d'élément fini hexaédrique où le contact est pris en considération à l'aide d'une technique appelée la technique de pénalité. Le choix d'un coefficient comme paramètre de pénalité est semblable à un emplacement des ressorts entre les deux corps.

Les résultats de la méthode des éléments finis comparée avec les résultats expérimentaux présentent une légère différence dans les valeurs de la flèche au début de l'élasticité, qui est due principalement aux contraintes résiduelles dans la section en T qui sont négligées dans la méthode des éléments finis de ce tronçon.

#### **II.2.6 SHERBOURNE et BAHARI (1997) :**

SHERBOURNE et BAHARI dans la première partie de leur étude qui a pour but de décrire le comportement moment-rotation de l'assemblage métallique avec platine d'extrémité basée sur les résultats obtenus par la méthode des éléments finis d'un élément tridimensionnel d'un modèle de platine d'extrémité non raidi avec 4 boulons, utilisant le logiciel «ANSYS FINITE ELEMENT CODE »

- Le contact entre les éléments est considéré pour décrire le problème de l'interaction entre la platine et la semelle du poteau. Dans cette analyse, la non linéarité est considérée.

---

---

# **Chapitre II**

**Etat de connaissance des assemblages boulonnés**

---

---

Valeur de  $T_1$  et  $T_2$  :

Site	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$T_1$ (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
$T_2$ (sec)	0.30	0.40	0.50	0.70

### III.6.4 Evaluation directe de la force sismique : [25]

La force sismique totale agissant à la base de la structure est égale à l'effort tranchant élastique à la base de la structure.

La structure d'un ouvrage est définie par sa période propre fondamentale  $T$  période de son premier mode de vibration.

Connaissant la période  $T$  on détermine directement sur le spectre de réponse  $S_a(T)$ , son accélération spectrale  $S_a$ , de plus on sait que la force est égale à la masse par une accélération (NEWTON) :

$$F = m \cdot \gamma$$

A partir du spectre d'accélération de la RPA99 on déduit que :

$$F = W \cdot (S_a/g)$$

$$= W \cdot (S_a/g)$$

$$= m \cdot g \cdot (S_a/g)$$

$$F = m \cdot S_a$$

$m$  : masse de la structure

$W$  : poids de la structure

### c - Traction et cisaillement combinés (M et V)

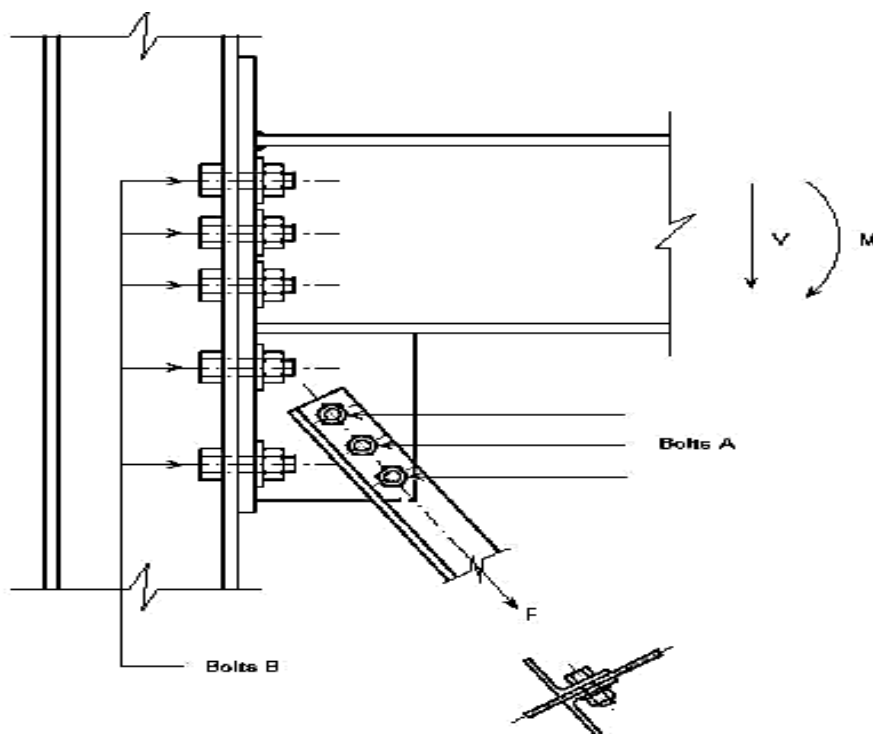
Lorsqu'un moment de flexion ( $M$ ) et un effort tranchant ( $V$ ) sont appliqués, les boulons sont susceptibles de devoir transmettre un effort transversal de cisaillement et un effort axial de traction. A la figure I.14, les boulons A sont soumis à un effort de cisaillement transversal, tandis que les boulons B sont soumis conjointement à cisaillement et traction ou cisaillement et compression.

Les boulons qui ne sont pas précontraints à un niveau prédéfini sont qualifiés de « non précontraints » ou « ordinaires ». Dans le cas d'un assemblage cisailé (figure I.12), on dit des boulons « qu'ils travaillent à la pression diamétrale ».

La sollicitation principale d'un boulon dans un assemblage à recouvrement, comme celui représenté à la figure I.14, est le cisaillement, dans le plan de la section transversale qui résulte du contact et de la pression diamétrale entre plats adjacents de l'assemblage.

La distribution élastique des contraintes de pression diamétrale et des contraintes résultantes dans le boulon est complexe. Dans le domaine plastique, par contre, la distribution des contraintes de cisaillement dans le boulon est par contre uniforme ; la résistance au cisaillement peut être définie comme le produit de l'aire de la section transversale du boulon, au niveau du plan de cisaillement et de la limite d'élasticité en cisaillement du matériau

Si le plan de cisaillement se trouve en dehors de la zone fileté, l'aire à considérer est celle du fût. Dans le cas contraire, l'aire de la section résistance, dans la partie fileté, doit être utilisée. En pratique, à l'heure actuelle, il est courant de se référer à l'aire la plus faible et, lorsque l'on fixe les détails d'assemblage, de ne pas expressément s'arranger pour que le plan de cisaillement se trouve en dehors de la zone fileté.



**Figure I.14** assemblage poutre poteau boulonné avec entretoise [7]

L'unification de ces procédures a duré environ 15 ans. Ainsi, MURRAY présentait un résumé de la recherche de l'université d'OKLAHAMA sur l'assemblage avec platine d'extrémité et leur méthode de calcul pour les différentes configurations d'assemblages métalliques.

D'autres méthodes de calcul à l'état limite des assemblages métalliques avec platine d'extrémité ont été présentées par FAELLA (2000).

Nous présentons en détail dans ce qui suit quelques recherches qui traitent les assemblages métalliques dans les dernières années.

### II.2.2 KRIHNAMURTHY et GRADDY(1976) :

C'est la première recherche sur les assemblages métalliques par la méthode des éléments finis, les résultats de ces assemblages sont obtenus avec l'erreur de non prise en compte du contact entre platine et la semelle rigide. Puisque tout simplement les algorithmes de calcul du contact n'était pas disponibles à l'époque et le concepteur utilise des ressorts aux endroits de contact, donc (boulon=ressort).

### II.2.3 BIRSI et LEONELLI (1994) :

La poutre et la platine sont modélisées par 20 nœuds, le contact platine et semelle du poteau est considéré rigide.

La relation moment-rotation peut être déterminée par la formule suivante :

$$M_{u,th} = \frac{(K_{e,th} - K_{p,th})\varphi}{\left[ 1 + \left[ \frac{(K_{e,th} - K_{p,th})}{M_{p,th} \left( 1 - \frac{K_{p,th}}{K_{p,th}} \right)} \right]^n \right]^{1/n}} + K_{p,th} * \varphi$$

**Avec :**

**n** : facteur de forme.

**Ke,th** : est la rigidité élastique de l'assemblage.

**Kp,th** : est la rigidité non élastique de l'assemblage.

**Mp,th** : est le moment plastique de rupture de l'assemblage.

**Conclusion** : boulon = élément poutre.

---

---

# **Chapitre III**

**Présentation de la structure / étapes de travail**

---

---

### III.7 CONCLUSION :

Après simplification des lois de spectre de réponse on a déduit qu'elles dépendent que de la zone sismique et on a aboutis au quatre résultats suivants :

$$F = m. Sa$$

**Zone I :**  $\longrightarrow$   $A=0.1$

$$F=Sa. g. m=0.703 \times 9.81 \times (104.8+482.4)=405.1 \text{ daN}$$

$$F_1= 405.1 \text{ daN}$$

**Zone IIa :**  $\longrightarrow$   $A=0.15$

$$F=Sa. g. m=0.105 \times 9.81 \times (104.8+482.4)=607.6 \text{ daN}$$

$$F_2= 607.6 \text{ daN}$$

**Zone IIb :**  $\longrightarrow$   $A=0.2$

$$F=Sa. g. m=0.141 \times 9.81 \times (104.8+482.4)=810.1 \text{ daN}$$

$$F_3= 810.1 \text{ daN}$$

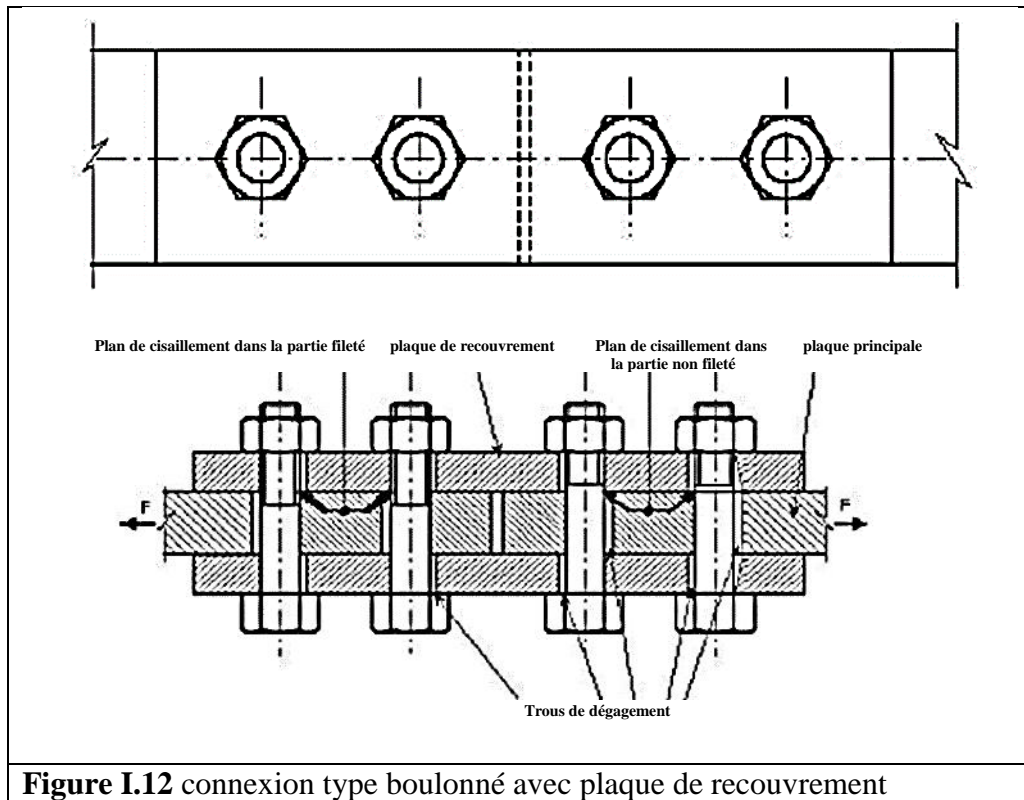
**Zone III :**  $\longrightarrow$   $A=0.25$

$$F=Sa. g. m=0.176 \times 9.81 \times (104.8+482.4)=1012.7 \text{ daN}$$

$$F_4= 1012.7 \text{ daN}$$

#### Application de la force à la structure :

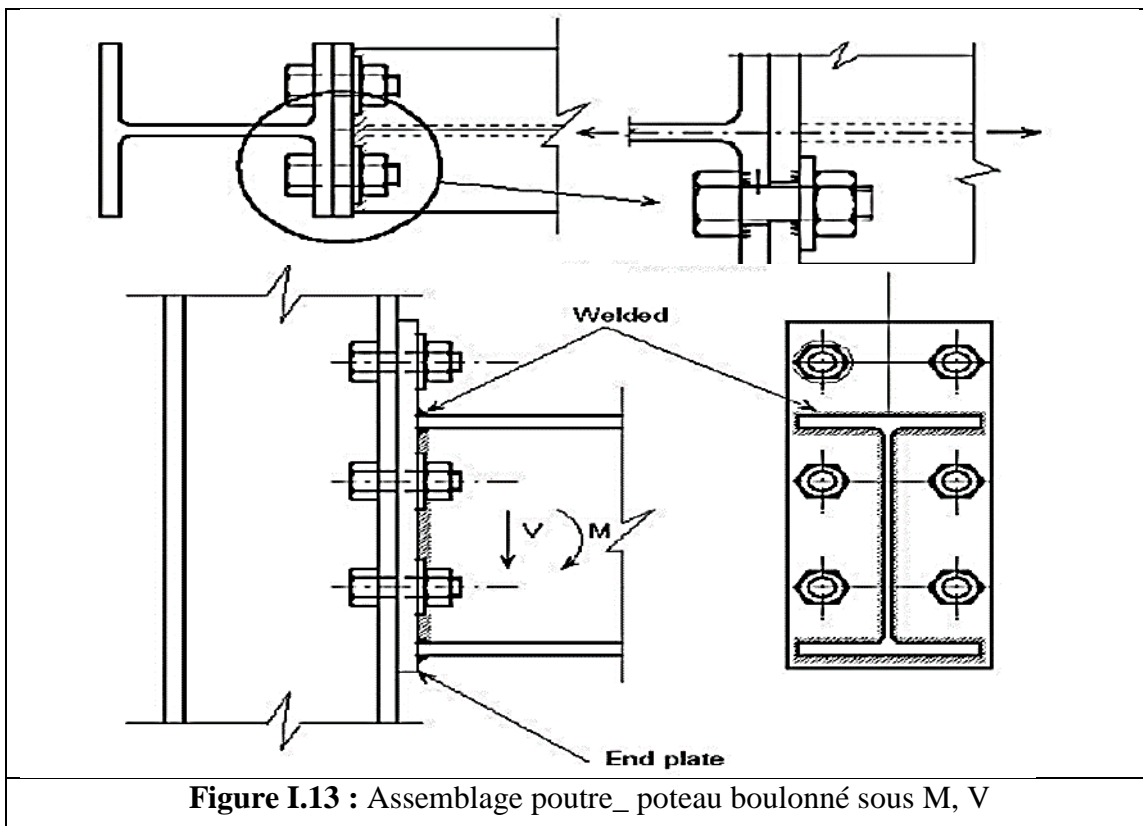
On excite notre portique en augmentant la valeur de la force jusqu'à atteindre la rotation ultime de l'assemblage, à savoir  $\Theta_t = 0.043$  Rad. On répète cette itération pour chaque zone avec les forces respectives de départ  $F_1, F_2, F_3, F_4$ .



**Figure I.12** connexion type boulonné avec plaque de recouvrement

### b - Traction

Dans le cas d'un chargement flexionnel seul ( $M$ ), la composante de traction est transmise par effort axial dans le boulon.



**Figure I.13** : Assemblage poutre\_ poteau boulonné sous  $M, V$

## II .1 INTRODUCTION :

Malgré leurs comportements et leurs analyses qui sont extrêmement complexes du fait de la variation des nombres de rangées de boulons, des espacements des boulons, des dimensions des poteaux et des poutres, de la force de la précontrainte dans les boulons, des propriétés mécaniques de l'acier et de surfaces de contact ainsi que la présence des raidisseurs, les assemblages boulonnés sont largement utilisés dans les structures métalliques en raison de la simplicité de leur réalisation, leur fabrication économique ainsi que la facilité de leur mise en œuvre.

L'analyse globale des structures, intégrant le comportement des assemblages, nécessite la connaissance de leurs courbes de comportement moment-rotation, qui sont déterminées en se basant sur différentes approches :

- Les travaux expérimentaux : permettant d'étudier le comportement de l'assemblage à l'état réel.
- Les approches numériques : permettant d'analyser le comportement de l'assemblage par des modèles élément finis plus ou moins sophistiqués.
- Les méthodes analytiques : abordant le comportement de l'assemblage sous une analyse plus souvent théorique.

## II.2 RECHERCHES EFFECTUEES SUR LE COMPORTEMENT D'ASSEMBLAGE BOULONNE :

La méthode de calcul pour les assemblages métalliques conçus avec 4 boulons a été élaborée par KRISHNAMURTHY (1978), HENDRICK et MURRAY (1984), CURTIS et MURRAY (1989), où la force de levier a été négligée et l'épaisseur de la platine est déterminée en assimilant la section à un té.

Une méthode de calcul pour les assemblages métalliques raidis par 8 boulons a été développée par HENDRICK et MURRAY (1984), MURRAY et KUKERT (1988) et CURTIS et MURRAY (1989). La force de levier a été introduite et prise en compte dans ces méthodes de calcul en se basant sur le comportement d'une section en forme de té.

**II.2.1 GRUNDY (1980)** a étudié le comportement général de l'assemblage métallique avec platine d'extrémité, mais cette étude est restée limitée jusqu'au 1984 où GRIFFITHS (1984) donna, une explication sur le développement du moment des assemblages métalliques avec platine d'extrémité et leurs procédures de calcul et fournit l'idée et la compréhension pratique de l'utilisation et l'usage de ces assemblages.

La recherche d'une procédure de calcul pour certaines configurations d'assemblages métalliques avec platine d'extrémité sous un chargement statique a commencé aux (USA) présentée dans AISC « manual of steel construction (1994) » pour le calcul des assemblages métalliques raidis avec platine d'extrémité réalisée par 4 boulons et 8 boulons.

---

---

## **Chapitre IV**

# **Présentation du logiciel Robot**

---

---

**Tableau I.3** : Aire nominale et résistante des boulons : [12]

Diamètre nominal $d_b$ (mm)	Aire nominale $A$ (mm <sup>2</sup> )	Aire résistante $A_s$ (mm <sup>2</sup> )
8	50,3	36,6
10	78,5	58,0
12	113	84,3
14	154	115
16	201	157
18	254	192
20	314	245
22	380	303
24	452	353
27	573	459
30	707	561

**Remarque** : Quel que soit le type de boulon, le jeu normal entre la tige du boulon et le trou des pièces à assembler est fixé à 2mm pour tous les diamètres.

Dans certains cas, un jeu plus petit peut être exigé. On parle de boulons ajustés lorsque le jeu est de 0.3 mm seulement. L'emploi de boulons ajustés offre l'avantage de créer des assemblages avec un mouvement relatif possible très petit, donc des structures très peu déformables. Cependant, la réalisation des trous doit être précise, ce qui augmente sensiblement le coût de ce type d'assemblage. On n'utilisera de ce fait les boulons ajustés qu'en cas de nécessité absolue.

#### **I.5.3.5 Principe de transmission des efforts : [7]**

Dans les assemblages de structures, les boulons sont utilisés pour transmettre des efforts d'un plan à un autre. Les figures **I.12**, **I.13** et **I.14** fournissent des exemples d'utilisation des boulons. Ces figures montrent des boulons sollicités en :

##### **a - Cisaillement**

La force est transmise au boulon et au-delà du boulon par pression diamétrale sur les plats assemblés. Les efforts dans les boulons sont transmis par cisaillement dans un plan perpendiculaire à l'axe du boulon

---

---

**Chapitre V**  
**Présentation des résultats et Discussions**

---

---

**I.5.3.4 Sections nominale et résistante d'un boulon : [6]**

Les boulons de construction métallique doivent être conformes à l'ISO 898/1  
 La figure I.11 précise les différents diamètres à considérer pour de tels boulons. L'aire du fût qui est utilisé dans les formules de calcul est désignée par A

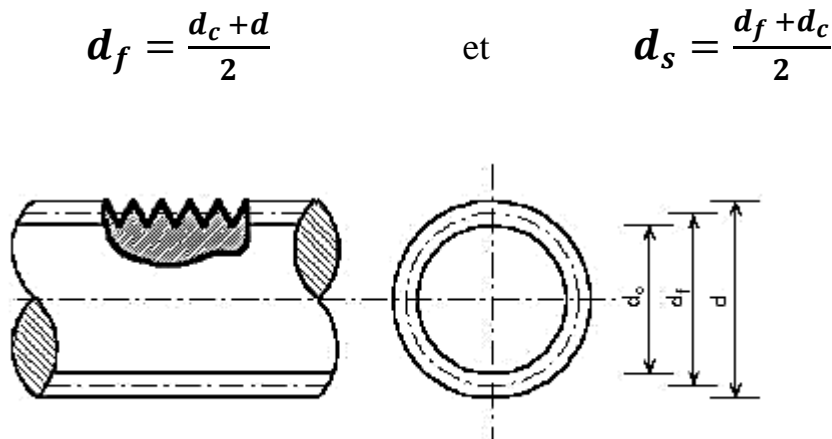
$$A = \pi d^2 / 4 \tag{I.4}$$

L'aire de la partie filetée est appelée aire résistante  $A_s$  :

$$A_s = \pi d_s^2 / 4 \tag{I.5}$$

(5)

Le diamètre  $d_s$  de la section résistante est légèrement supérieur au diamètre à fond de filet dans la mesure où un plan de rupture comprend au moins un filet.



**Figure I.11** diamètres des boulons [7]

$d_s$  : La valeur moyenne entre le diamètre à fond de filet

$d_c$  : Le diamètre à flanc de filet

$d_f$  : Diamètre à flanc de filet se définit comme la moyenne entre le diamètre à fond de filet et le diamètre nominal (d)

Pour les boulons courants, la valeur de ( $A_s$ ) est fournie au tableau suivant :

---

---

## **Références bibliographique**

---

---

Pour les assemblages travaillant en pression diamétrale, ce jeu peut être la cause de glissements des plats lorsque le chargement est appliqué.

Dans le cas de charges alternées, ce mouvement peut apparaître à chaque renversement du signe de l'effort. En règle générale, ce mouvement n'est pas admis.

A l'exception des boulons calibrés ou des trous à jeu faible ou surdimensionnés, le jeu normal, pour les trous standards, vaut :

1mm pour les boulons M12 et M14, 2 mm pour les boulons M16 à M24 et 3mm pour les boulons M27 et les boulons à diamètre plus élevé.

Pour les boulons de nuance 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9, la résistance de calcul en cisaillement  $F_{V,Rd}$  est prise égale à 0,85 fois la valeur fournie par les formules (1) à (2).

- Pour les nuances 4.6, 5.6 et 8.8 :

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (\text{I.1})$$

- Pour les nuances 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 :

$$F_{V,Rd} = \frac{0.5f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (\text{I.2})$$

La résistance de calcul en cisaillement  $F_{V,Rd}$  (réduite comme indiqué ci-dessus si nécessaire) n'est pas inférieure à la résistance de calcul à la pression diamétrale  $F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5\alpha F_u d_t}{\gamma_{Mb}} \quad (\text{I.3})$$

Les trous sont réalisés par forage ou poinçonnage. Le poinçonnage en construction métallique est nettement plus rapide que le forage mais des fissures peuvent apparaître dans le matériau ; par conséquent, dans certains cas, les trous ne seront pas poinçonnés au diamètre définitif mais bien poinçonnés à un diamètre inférieur de 2 mm et ensuite alésés. Les nouvelles machines de poinçonnage qui travaillent à une vitesse élevée, provoquent moins de dégâts dans le matériau et il faut donc s'attendre à ce que le poinçonnage soit plus souvent permis à l'avenir.

Sauf spécification contraire, le poinçonnage est permis pour des épaisseurs allant jusqu'à 25 mm à condition que le diamètre du trou ne soit pas inférieur à l'épaisseur du matériau à poinçonner.

---

---

# Conclusion Général

---

---

## Conclusion Général

L'étude a montré que la zone de sismicité n'influe pas sur la classification de l'assemblage, bien que notre idée de départ supposait le contraire. Cette étude doit être poursuivie en vue d'une meilleure investigation dans notre sens, nous doutons d'une quelconque omission dans la modélisation, ou du fait que le spectre n'a pas été pris sous sa forme initial (spectral).

Ce résultat peut être confronté par le fait que la structure étudiée présente un seul niveau, ce qui a donné une faible période

Nous avons remarqué que les moments engendrés dans les deux modes d'assemblages raidi et non raidi sont en adéquation avec la nature de ceci.

Les courbes obtenues nous paraissent en rapport avec ce qui est dicté dans les littératures inhérentes à savoir : celles obtenues par le logiciel robot sont au-dessous des courbes expérimentales

### I.5.3.2 Nuances d'acier

Les boulons et les écrous sont disponibles dans des aciers dont les résistances minimales en traction vont jusqu'aux environs de 1370 MPa

La nuance des boulons est désignée par deux nombres. Les nuances les plus habituelles sont les suivantes : 4.6, 5.6, 6.5, 6.8, 8.8 et 10.9.

La valeur de calcul de la limite d'élasticité  $f_{yb}$  et de la contrainte ultime  $f_{ub}$  des boulons Courants sont fournis au tableau 1, d'après l'**Eurocode 3**.

**Tableau I.2** : Propriétés mécaniques des boulons [10]

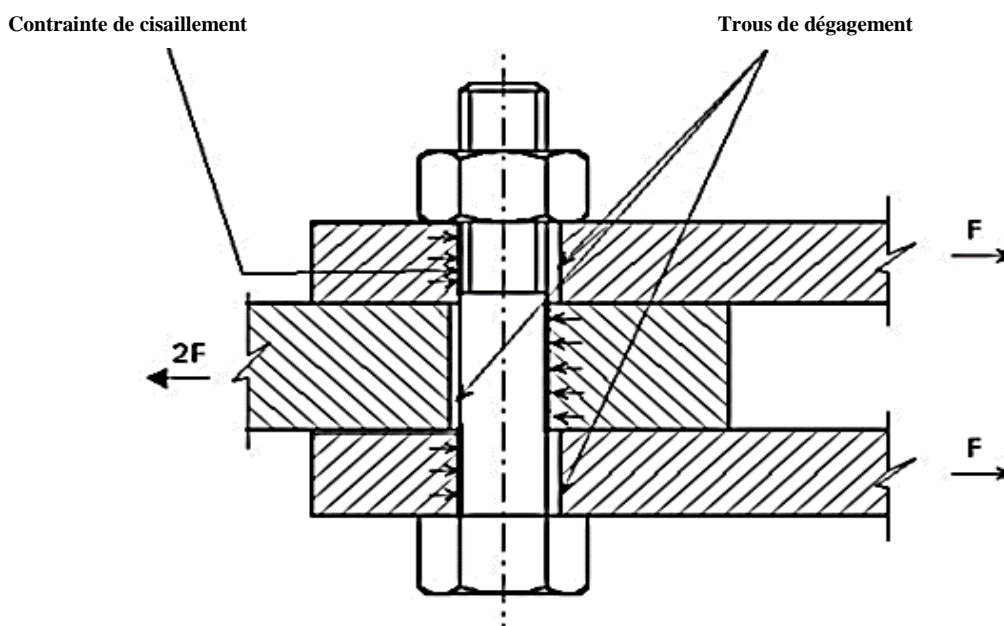
Nuance	4.6	5.6	6.5	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (MPa)	240	300	300	480	640	900
$f_{ub}$ (MPa)	400	500	600	600	800	1000

La valeur de calcul de la limite d'élasticité peut être déduite de la nuance en multipliant le premier nombre par le second, fois 10. La contrainte ultime  $f_{ub}$  s'obtient en multipliant le premier nombre par 100 (contraintes en MPa).

Les boulons de nuance 8.8 sont les plus couramment utilisés.

### I.5.3.3 Diamètres des trous :

Un jeu entre le boulon et le trou de boulon est nécessaire (figure I.10) en raison des tolérances sur la position des trous et des tolérances sur le diamètre du boulon ( $d$ ) et sur le diamètre des trous ( $d_b$ )



**Figure I.10** transmission de charge dans un assemblage [7]

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [1] **ABIDELLAH.A.** Analyse numérique du comportement d'assemblages métalliques. octobre 22, 2009.
  
- [2] **AKKOUCHE KARIM** Etude du comportement des assemblages métalliques poteaux-poutres boulonnés avec platine d'about raidie.
  
- [3] **BURSI.OS, JASPART.J-P.** **Benchmarks** for finite elements modeling of bolted steel connections. Journal of constructional steel research, 1997, pp. 17-42.
  
- [4] **CRISINEL, Michel.** Dimensionnement des assemblages mixtes semi-rigides (I), 1997.
  
- [5] **ENV 1993-1-1 –EUROCODE 3:**<< design of steel structure >>. Part 1-8 .designB of joint; Draft °01; 29 February 2000.

**Différents procédés de soudure :**

- Soudage manuel à l'arc.
- Soudage automatique sous flux solide.
- Soudage sous flux gazeux.

**Le soudage présente, par rapport au boulonnage, plusieurs avantages:**

- Il assure la continuité de matière, et de ce fait garantit une bonne transmission des sollicitations.
- Il dispense de pièces secondaire (goussets, attaches,.....)
- Il est de moindre encombrement et plus esthétique que le boulonnage.

**En revanche, il présente divers inconvénients:**

- Le métal de base doit être soudable.
- Le contrôle des soudures est nécessaire et onéreux.
- Le contrôle des soudures est aléatoire.
- Le soudage exige une main-d'œuvre qualifiée et un matériel spécifique.

### **I.5.3 ASSEMBLAGES BOULONNES:**

Le boulonnage constitue le moyen d'assemblage le plus utilisé en construction métallique de fait de sa facilité de mise en œuvre et des possibilités de réglage qu'il ménage sur site.

Deux types de boulons sont couramment utilisés :

- Les boulons ordinaires travaillant en traction et au cisaillement par butée.
- Les boulons HR pour lesquels l'effort de serrage empêche le glissement entre les pièces assemblées. On les appelle aussi boulons précontraints.

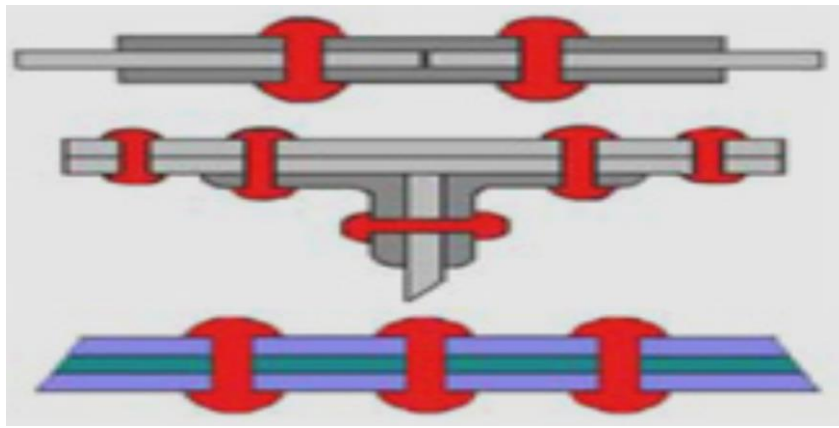
#### **I.5.3.1 Dimensions des boulons :**

Les boulons à tête hexagonale et les écrous sont disponibles dans une gamme de dimensions allant jusqu'à un diamètre de fût de 68 mm.

Les dimensions des boulons sont désignées par la lettre **M** suivie d'un nombre multiplié par un autre nombre ; par exemple, un boulon **M20, 60** correspond à un diamètre de fût de **20 mm** et une longueur de fût, y compris la zone fileté, de **60 mm**. La lettre M signifie « métrique ».

La longueur du boulon doit être telle que, en tenant compte des tolérances, la zone fileté du fût ne dépasse pas de l'écrou de moins d'une hauteur de filet après serrage et qu'au moins un filet (en plus du filet terminal) reste non utilisé entre l'écrou et la partie non fileté du fût

- [6] **EUROCODE 3 (EC3)**. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, EN 1993-1-1, 2004
- [7] **ESDEP**. Assemblages sous chargement statique. L1 1-3-1 .doc.
- [8] **G.L. KULAK, Ph.D, P.Eng.** Boulons à haute résistance dans les ouvrages de génie civil, novembre 2005.
- [9] **GEBBEKEN.N.** On the numerical analysis of end plate connections. journal of constructional steel research, 1-3, 1994, Vol. 30, pp. 177-196.
- [10] **J. MOUTY L.** Petit Manuel assemblages 1ière partie, Conception des assemblages en acier, february 1983.
- [11] **Jean-Pierre MUZEAU.** Construction Métallique – Moyens d’assemblages, Novembre 2010.
- [12] **JEAN-MOREL** Calcul Des Structures Métallique Selon l'Eurocode 3 : 1994.
- [13] **KRISHNAMURTHY.N , GRADDY.D.** Correction between 2 and 3 dimensional finite elements analysis of steel bolted. Journal computer et structures. 1976, Vol. 40, pp. 189-223
- [14] **Le CIDECT.** Guide de dimensionnement pour les assemblages, 2006.
- [15] **MAROUF.S.** Modélisation des assemblages poteaux poutres dans les structures métalliques. 02 Octobre 2014.



**Figure I.9** Différents modes d'assemblages par rivet

### I.5.2 Les Assemblages soudés :

Le soudage en construction métallique fait systématiquement appel à un apport extérieur de métal fondu en même temps que le bord des pièces à assembler ; cette fusion est toujours obtenue par l'intermédiaire d'un arc électrique établi entre les pièces à assembler et le métal d'apport encore solide

Dans le choix des produits d'apport, on s'attache essentiellement pour ce qui concerne l'aspect résistance présentant les meilleures caractéristiques possibles en matière de ductilité.

Les positions de soudage sont montrées schématiquement au tableau I-1, cela illustre d'une part quelles sont les possibilités concrètes de réalisation d'un joint soudé, d'autre part de classifier les détails soudés selon la forme de joint ou selon le type des soudures.

**Tableau I.1** Exécutions possibles pour différents types de soudure et formes de joint [11]

Joint	Soudure		
	complètement pénétrée	à pénétration partielle	cordon d'angle
bout à bout			—
en T			
par recouvrement	—	—	

[16] **MANFRED.A**, HIRT ROFT BEZ Traite De Génie Civil De L'école polytechnique Fédérale De Lausanne Volume 10, 1994

[17] **M.MECHICHE**. Évaluation du facteur de comportement global- relation entre ce facteur et les ductilités locale requises : cas des structures métalliques à contreventements centré et excentrés. Thèse doctorat UMMTO. Oct 2013

[18] **M.O.S MECHICHE** "Etude du facteur de comportement des structures en acier" thèse du Magister USTHB 1994

[19] **M. SARANIK**. Conception parasismique robuste de bâtiments à base d'assemblages boulonnés. 12 décembre 2011

[20] **Publication** de la C.T.I.C.E.M : construction métallique N °04 1972<< recherche sur l'assemblage par boulonnage d'une plaque d'extrémité >> D.KHALILI.

[21] **R.SLIMANI**. Mémoire magister thème Etude et caractérisation des assemblages mixte de type poteau poutre selon L'EUROCODE-04 .2008.

[22] **SHARBOUNE.A, BAHAAARI.M.R**. 3D simulation of bolted connections to unstiffned columns. journal of constructional steel research, Decem ber 1996, pp. 189-223.

[23] **THANG DANG-HOANG**. Rupture et endommagement d'un assemblage boulonné : approche expérimentale et simulation numérique, juillet 2009.

[24] **TAKOUACHET MOUNIR** caractérisation des assemblages structuraux en construction métallique selon l'ec3

## I.5 MODES D'ASSEMBLAGES :

Les différentes formes d'assemblages ci-dessus mentionnés sont généralement réalisées par les principaux modes d'assemblages suivants :

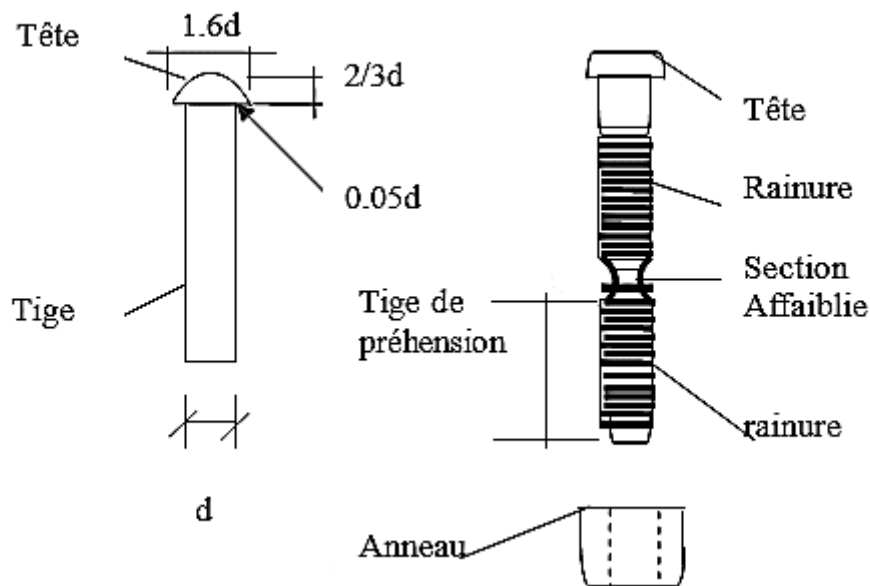
### I.5.1 LE RIVETAGE:

Le rivetage a constitué le principal mode d'assemblage de pièces métalliques jusqu'au développement de la soudure, qui avec la technique du boulon à haute résistance, l'ont progressivement remplacé dans les années 1960. Aujourd'hui, cette technique est réservée au domaine de la réparation des ouvrages métalliques anciens rivés.

Dans ce qui suit, on désigne par rivet l'ensemble de l'élément de fixation composé d'une tige avec sa tête première formée en usine.

La tête seconde sera réalisée en atelier ou sur site lors de la réalisation de l'assemblage.

La pose des rivets s'exécute à chaud par forgeage du métal de la tige au moyen d'outils spécifiques (bouterolles, tas...)



**Figure I.8** rivet et rivet a anneau [11]

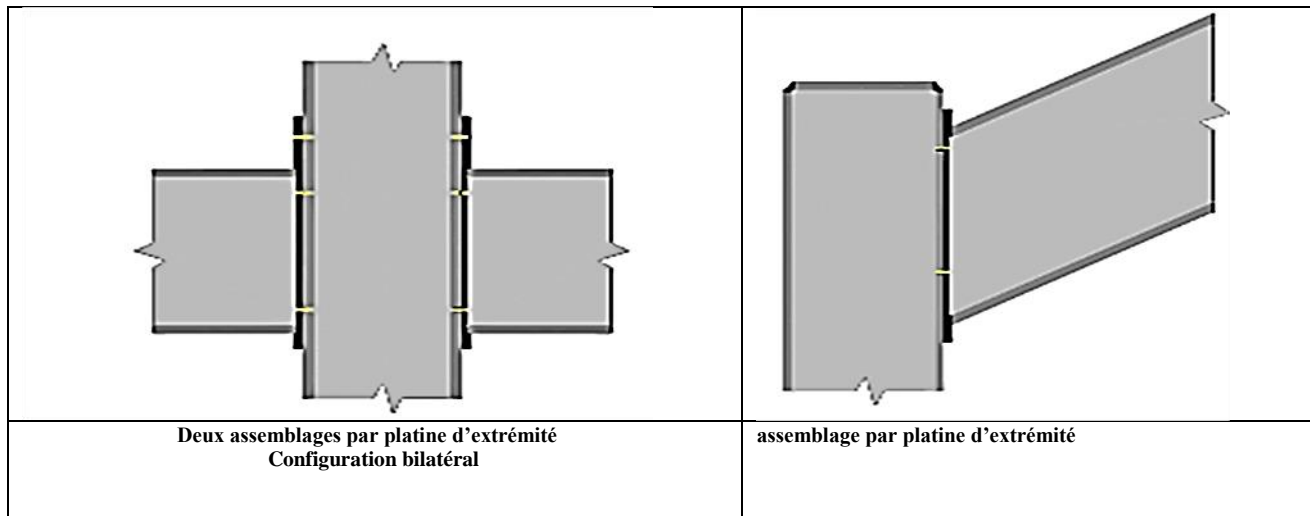
Le rivetage permet la réalisation de différents modes d'assemblages :

- Assemblage bout à bout par couvre joint.
- Assemblage d'angle par l'intermédiaire de cornières.
- Assemblage de semelles par superposition.

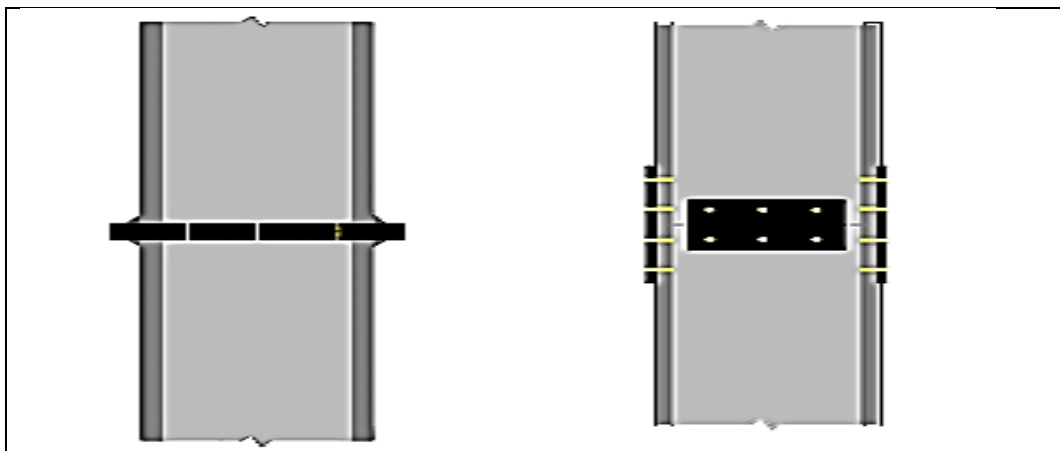
## LISTE DES FIGURES

### Chapitre I

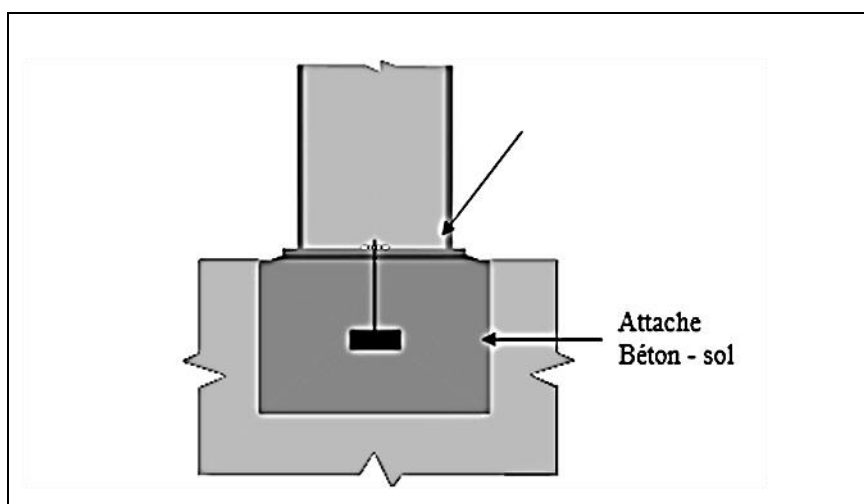
<b>Figure I-1</b> : configuration d'assemblages dans le plan .....	02.
<b>Figure I-2</b> : Définition de la zone d'attache et de l'assemblage (assemblage poteau-poutre).....	03.
<b>Figure I-3</b> : Différents types d'assemblages dans une structure métallique.....	04.
<b>Figure I.4</b> :Assemblage Poutre- Poutre( <b>B</b> ) .....	04.
<b>Figure I.4</b> :Assemblage Poutre- Poutre( <b>B</b> ) .....	05.
<b>Figure I.6</b> :Assemblage Poteau- Poteau ( <b>c</b> ).....	05.
<b>Figure I.7</b> : Attache dans une base de poteau ( <b>D</b> ).....	05.
<b>Figure I.8</b> :rivetetriveta anneau.....	06.
<b>Figure I.9</b> Différents modes d'assemblages par rivet.....	07.
<b>Figure I.10</b> transmission de charge dans un assemblage.....	09.
<b>Figure I.11</b> diamètres des boulons.....	11.
<b>Figure I.12</b> connexion type boulonné avec plaque de recouvrement.....	13.
<b>Figure I.13</b> : Assemblage poutre_ poteau boulonné sous M, V.....	13.



**Figure I.5 : Assemblage Poteau- Poutre (A)**



**Figure I.6 : Assemblage Poteau- Poteau (c)**

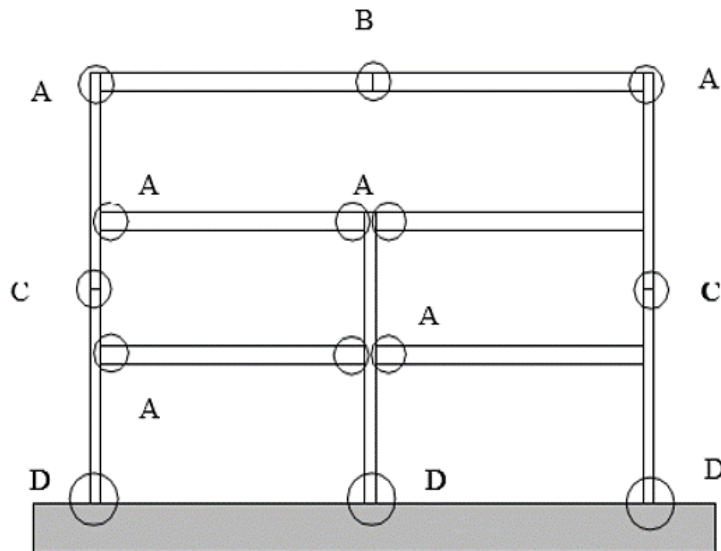


**Figure I.7: Attache dans une base de poteau (D)**

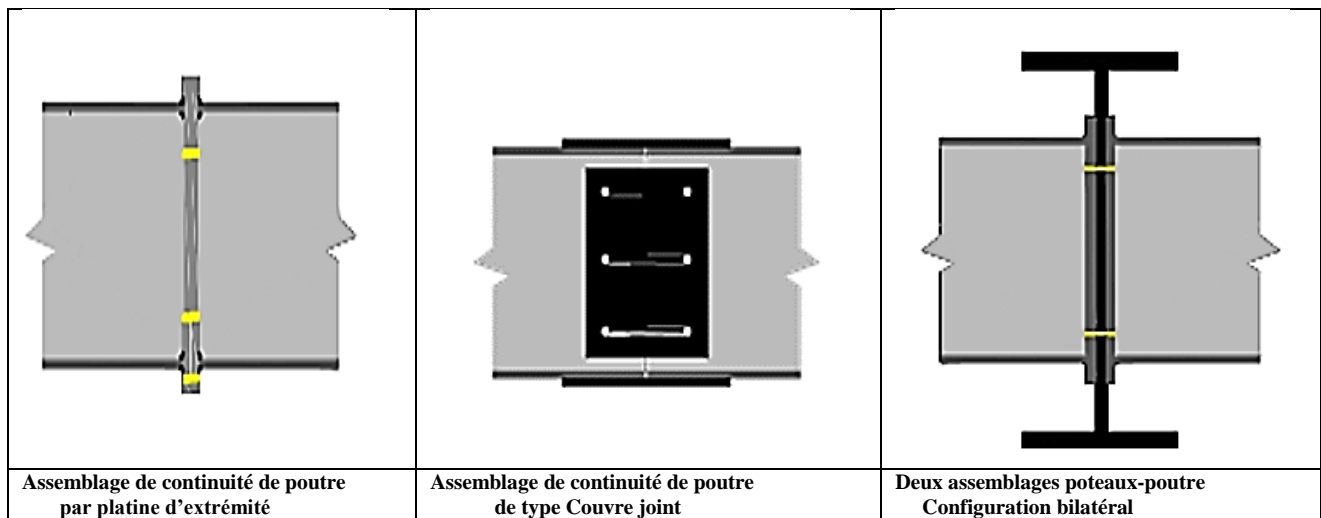
<b>Figure I.14</b> assemblage poutre poteau boulonné avec entretoise.....	14.
<b>Figure I.15</b> : courbe Moment-Rotation.....	15.
<b>Figure I.16</b> : Comportement des assemblages en acier.....	16.
<b>Figure I.17</b> : Idéalisations du comportement des assemblages en acier.....	17.
<b>Figure I.18</b> : Répartition élastique des moments fléchissant dans un portique simple.....	18.
<b>Figure I.19</b> : Limites de la classification des assemblages par résistance.....	19.
<b>Figure I.20</b> : Classification des assemblages par la capacité de rotation.....	21.
<b>Figure I.21</b> Modélisation d'assemblages (analyse globale élastique).....	23.
<b>Figure I.22</b> Répartition élastique des moments fléchissant dans un portique simple.....	23.
<b>Figure I.23</b> : Modélisation simplifiée des assemblages selon l' <b>Eurocode 3</b> .....	24.
<b>Figure I.24</b> : Idéalisations de courbes Moment-Rotation de l'assemblage.....	25.
<b>Figure I.25</b> moyen de renforcement des assemblages selon l' <b>EC3</b> . ....	27.

## Chapitre II

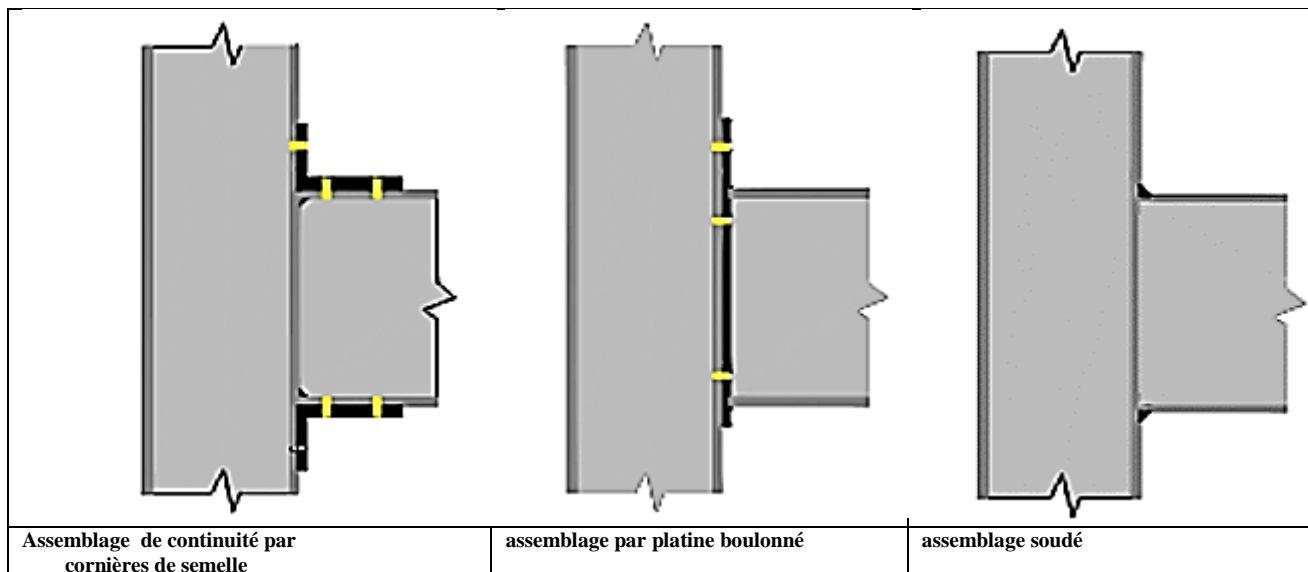
<b>Figure II.1</b> Modélisation de l'assemblage : modèle de J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA.....	33.
<b>Figure II.2</b> : Composantes selon le modèle de J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA .....	33.
<b>Figure II.3</b> : Le modèle de TSCHEMMERNEGG.....	34.
<b>Figure II.4</b> : Le moment résistant de calcul $M_{J,Rd}$ .....	34.
<b>Figure II.5</b> Comportement d'un assemblage.....	35.
<b>Figure II.6</b> :mécanisme de levier dans un tronçon en té.....Page36.	
<b>Figure II.7</b> mode de ruine du tronçon en té.....	37.
<b>Figure II.8</b> Répartition des moments dans un tronçon en Té.....	39



**Figure I-3 :** Différents types d'assemblages dans une structure métallique [1]



**Figure I.4 :** Assemblage Poutre- Poutre (B) [24]



<b>Figure II.9</b> : Schémas des lignes de plastification des tronçons en T <sub>é</sub> (mécanisme individuel)	40
<b>Figure II.10</b> Schémas des lignes de plastification des tronçons en T <sub>é</sub> (mécanisme de groupe)	41.
<b>Figure II.11</b> Raideur d'une fixation dans le domaine élastique (courbe-déplacement)	42.
<b>Figure II.12</b> : Schématisation d'un assemblage boulonné à simple	42.
<b>Figure II.13</b> Principe du transfert de charge dans un assemblage boulonné	43.
<b>Figure II.14</b> Paramétrage des efforts de bord d'une plaque trouée	44.
<b>Figure II.15</b> Mode de rupture dans les assemblages boulonnés	45.
<b>Figure II.16</b> Les effets du couple de serrage	45.

### Chapitre III

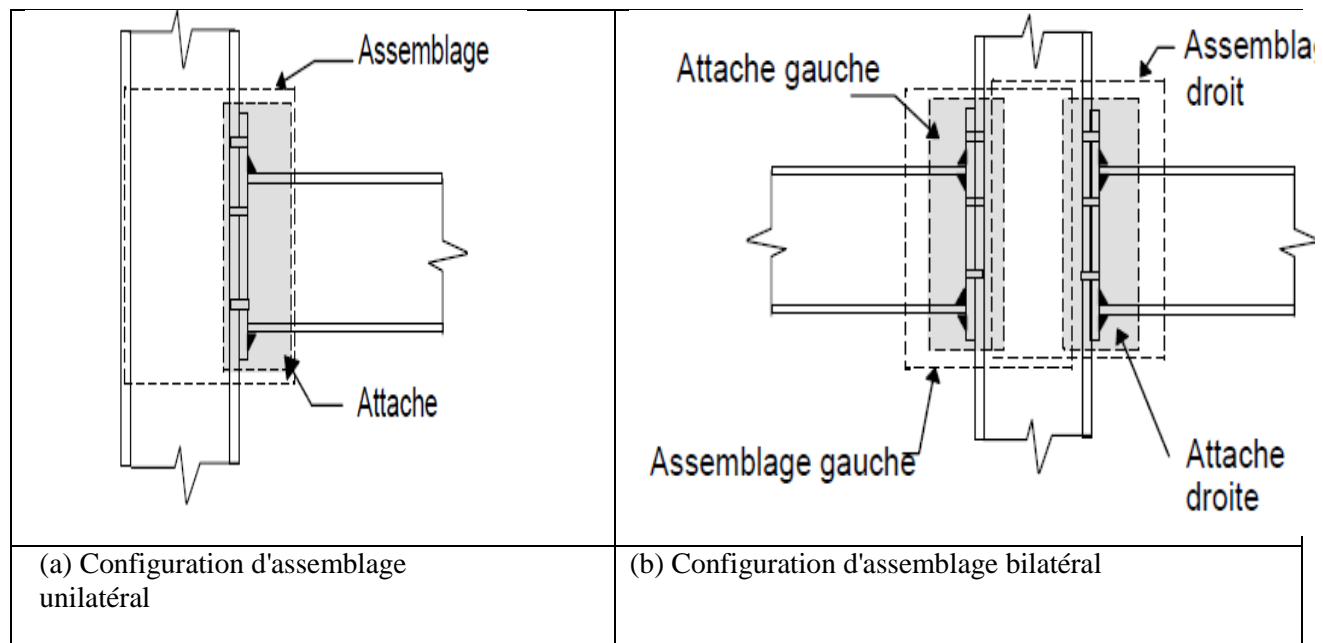
<b>Figure III.1</b> : Schéma de l'assemblage à étudier	49.
<b>Figure III.2</b> : section du poteau HEA240	50.
<b>Figure III-3</b> : section de la poutre IPE220	51.
<b>Figure III-4</b> : Représentation de la platine	51.
<b>Figure III-5</b> : Représentation du boulon utilisé	52.
<b>Figure III-6</b> : Le diagramme contrainte-déformation spécifique de l'acier 8.8	54.
<b>Figure III-7</b> : dispositions des boulons dans les assemblages	55.

### Chapitre IV

<b>Figure IV-1</b> : paramètre des préférences	64.
<b>Figure IV-2</b> : Réglage des normes	66.
<b>Figure IV-3</b> : les différents matériaux	66.

### I.3.2 DEFINITION DE LA ZONE D'ATTACHE ET DE L'ASSEMBLAGE (ASSEMBLAGE POTEAU-POUTRE) :

Une zone d'attache est définie comme la zone d'interaction qui englobe une partie de la poutre assemblée, la platine d'extrémité y compris les boulons et soudures et la partie du poteau à hauteur de la platine, comme illustré dans la figure pour le cas d'un assemblage poteau-poutre de rive et d'un assemblage poteau-poutre intermédiaire.



**Figure I-2** : Définition de la zone d'attache et de l'assemblage (assemblage poteau-poutre) [11]

### I.4 DIFFERENTS TYPES D'ASSEMBLAGES DANS UNE STRUCTURE METALLIQUE :

Dans les ossatures des bâtiments métalliques, les éléments structuraux sont reliés par des assemblages. Suivant la nature des éléments assemblés.

Les emplacements possibles de ces assemblages sont présentés sur le schéma de la (Figure I-3) :

- Les assemblages poutre- poutre (B)
- Les assemblages poutre- poteau (A)
- Les assemblages de continuité (C)
- Les assemblages poteau- fondation « pied de poteau » (D)

<b>Figure IV-4:</b> Catalogue de profilés.....	67.
<b>Figure IV-5:</b> lignes de constructions.....	68.
<b>Figure IV-6:</b> les étapes de la modélisation.....	69.
<b>Figure IV-7</b> paramètre du type d'appuis.....	70.
<b>Figure IV-8:</b> Définition des chargements :.....	70.
<b>Figure IV-8:</b> Définition des chargements :.....	70.
<b>Figure IV-9:</b> Définition de la Charge permanente.....	71.
<b>Figure IV-10:</b> Définition de la force nodale .....	72
<b>Figure IV-11:</b> La déformé de la structure.....	73
<b>Figure IV-12:</b> vue de la structure en 2D.....	74
<b>Figure IV-13:</b> assemblage étudié en 3D.....	73
<b>Figure IV-14</b> schéma de l'assemblage .....	74

## Chapitre V

<b>FigureV.1</b> courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone 1.....	75
<b>FigureV.2</b> courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone 2a.....	76
<b>FigureV.3</b> courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone 2b .....	77
<b>FigureV.3</b> courbe moment rotation assemblage raidi et non raidi zone 3.....	78

### I.3 DEFINITIONS ET ROLE D'UN ASSEMBLAGE :

Un assemblage est un dispositif ayant pour but d'assurer la continuité mécanique de plusieurs pièces en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre elles en générant un minimum de sollicitations parasites,

L'assemblage le plus simple est à la fois le plus économique et le plus efficace .On distingue alors trois types d'assemblages :

- Les assemblages articulés
- Les assemblages rigides
- Les assemblages semi rigides

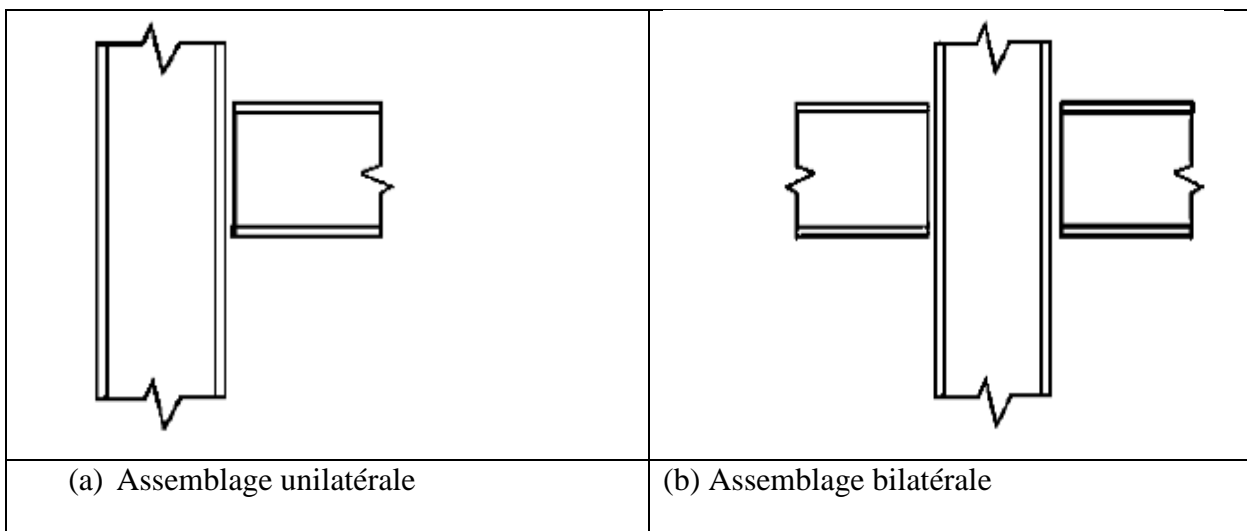
Ces assemblages doivent prendre en compte les trois fonctions suivantes :

- transmettre les efforts entre les différents éléments structuraux.
- correspondre au type de liaison voulue (encastrement, articulation, etc. ....).
- Assurer l'esthétique de l'ouvrage.

#### I.3.1 CONFIGURATIONS D'ASSEMBLAGES DANS LE PLAN :

Dans les assemblages métalliques nous définissons des configurations d'assemblages selon le nombre et la position des éléments :

- Unilatérales (sur un seul côté)
- Bilatérales (sur deux côtés)



**Figure I-1** : configuration d'assemblages dans le plan [16]

## **LISTE DES TABLEAUX :**

### **Chapitre I :**

<b>Tableau I.1</b> Exécutions possibles pour différents types de soudure et formes de joint.....	07
<b>Tableau I.2:</b> Propriétés mécaniques des boulons.....	09
<b>Tableau I.3 :</b> Aire nominale et résistante des boulons :.....	11
<b>Tableau I.3:</b> Modélisation des assemblages dans l'analyse des structures en acier.....	22

### **Chapitre III :**

<b>Tableau III.1 :</b> profilés HEA240.....	50
<b>Tableau III.2 :</b> profilés IPE 220.....	50
<b>Tableau III-3 :</b> Caractéristiques géométriques de la platine d'about de l'assemblage.....	52
<b>Tableau III-5:</b> propriétés mécaniques des aciers utilisés pour la simulation dans le domaine non linéaire.....	54

## **I.1 INTRODUCTION :**

Les assemblages de structures en acier permettent d'assurer la continuité entre les éléments, tels que les poteaux et les poutres. Ces assemblages possèdent des formes multiples liées à la nature des efforts à transmettre mais aussi aux moyens d'attaches utilisés. A l'heure actuelle, il existe principalement deux types d'assemblages : les assemblages soudés et les assemblages boulonnés mais il existe aussi l'assemblage par rivets.

Les assemblages métalliques ont une influence sur le comportement global de la structure. La caractérisation du comportement des assemblages n'est pas aisée à cause de leur complexité géométrique et mécanique. Cette complexité résulte du nombre d'éléments intermédiaires utilisés (boulons, platine, cornière...) ainsi que des formes géométriques variées et des propriétés matérielles différentes. Elle engendre de fortes discontinuités et conduit à un comportement global non linéaire de l'assemblage.

## **I.2 COMPORTEMENT DES ASSEMBLAGES METALLIQUES DANS UNE STRUCTURE GLOBALE :**

Depuis le tremblement de terre de 1994 à Northridge, des recherches approfondies sur la réponse sismique et la performance des différents types d'assemblages ont été effectuées. Les grandes variations dans la capacité observée par les essais expérimentaux sont probablement dues à différents mécanismes de plastification et modes de défaillance. En tant que tel, des grandes variations de résistance et de ductilité peuvent conduire à des difficultés dans la modélisation.

Par conséquent, la distinction entre l'énergie dissipative et l'énergie non-dissipative des composants entraîne dans la conception d'assemblages la distinction entre des mécanismes ductiles et des mécanismes fragiles. Il est également important de donner une résistance suffisante pour les composants qui sont susceptibles de présenter une rupture fragile.

Krawinkler et al ont conclu que les assemblages en acier ont été bien adaptés pour le comportement inélastique, comme ce serait survenu lors d'un événement sismique. Des essais ont été stables et reproductibles, montrant une bonne capacité de dissipation d'énergie, supérieure à ce qui était attendu d'un tremblement de terre et prouvant que l'acier de construction a été un bon matériel pour le chargement inverse répété. Les chercheurs ont recommandé que des liens faibles doivent être évités dans les assemblages, en recommandant que chaque élément devrait être en mesure de développer son élasticité.

**Tableau III-6** : Caractéristiques mécaniques des boulons de l'assemblage.....54

**Tableau III.4.1.** Pinces longitudinale et transversale .....55

**Tableau III.4.2.** entraxes longitudinal et transversal des trous .....55

## **Chapitre IV :**

**Tableau IV-1:**différentes unités dans **ROBOT**.....65

