

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique**

*Université Mentouri Constantine*  
*Faculté des sciences de l'ingénieur*  
*Département de génie civil*

N° D'ordre :.....

N° De série :.....

**MEMOIRE**

**Présenté Pour l'obtention du diplôme de**

**MAGISTER**

**Spécialité : GENIE CIVIL**

**Option : MECANIQUE DES STRUCTURES**

**Par : TAKOUACHET MOUNIR**

**THEME :**

**CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES  
STRUCTURAUX EN CONSTRUCTION  
METALLIQUE SELON L'EC3**

Soutenu Publiquement le : ..../..../2008

Devant le jury composé de :

Président :	M <sup>r</sup> MIMOUNE M	Professeur	U.M.Constantine.
Examineurs :	M <sup>r</sup> BOUMEKIK A	Professeur	U.M.Constantine.
	M DJABBAR N	Maître de conférence	U.M.Constantine
Rapporteur :	M <sup>me</sup> MIMOUNE F.Z	Professeur	U.M.Constantine

## *Remerciements*

*Ce travail à été effectué au Laboratoire de mécanique des sols et des structures (L.M.S.S) du département GENIE CIVIL de l'université MENTOURI CONSTANTINE .*

*Grâce à dieu, aux personnes qui m'ont soutenu et qui ne sont autre que mes enseignants ce travail a pu avoir le jours.*

*Au terme de cette étude, je tient à exprimer ma profonde gratitude à mon promoteur Madame MIMOUNE F.Z, Professeur à l'université Mentouri Constantine pour son aide et ses encouragements et ces conseils durant toute la période de la réalisation de ce travail.*

*Je remercie également Monsieur MIMOUNE M, Professeur à l'université Mentouri Constantine pour tous ses encouragements et ses efforts afin que je puisse réaliser ce travail.*

*Je remerciements vont également à mes enseignants Monsieur HOUARI H, Professeur à l'université Mentouri Constantine, Monsieur BOUMAKIK A, Professeur à l'université Mentouri Constantine, Monsieur TEKKOUK , Professeur à l'université Mentouri Constantine, Monsieur KHALEFELLAH S, Maître de conférences à l'université Jijel, Monsieur BOUSALEM B, Docteur l'université Mentouri Constantine,*

*Ma sincère reconnaissance va au Professeur MIMOUNE MOSTFA, pour m'avoir fait l'honneur d'être le président de mon jury de soutenance.*

*Mes remerciements vont également à Monsieur BOUMAKIK A, Professeur à l'université de Mentouri Constantine, Monsieur DJABBAR N Docteur à l'université de Constantine pour l'honneur qu'il me acceptant d'être examinateurs de mémoire.*

*Je tient à remercier tous ceux qui, d'une manière ou d'autre, ont participé à ma formation et à la réalisation de ce travail.*

# **LISTE DE MATIÈRE**

# Liste de matière

Remerciements	01
Table de matière	02
Liste des figures	07
Liste des tableaux	11
<i>Notation et symbole</i>	13
<i>Les Indices</i>	19
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	20
<b>CHAPTIRE I</b>	
<b>I.1 INTRODUCTION</b>	24
<b>I.2 DEFINITION ET ROLE D'UN ASSEMBLAGE</b>	24
<b>I.3 DIFFERENTES FORMES D'ASSEMBLAGE RENCONTRES EN C.M.</b>	25
<b>I-4 MODES D'ASSEMBLAGES:</b>	28
A)-Le rivetage	28
B)-Le boulonnage	29
C)-Le soudage	31
<b>I-5 FONCTIONNEMENT DES ASSEMBLAGES</b>	32
a)- Fonctionnement par obstacle:	32
b)- Fonctionnement par adhérence:	32
b)- Fonctionnement par adhérence	32
<b>I.6 L'IDIFFERENTES CONFIGURATIONS D'ASSEMBLAGES POUTRE-POTEAU UTILISES EN C.M.</b>	32
a)-Soudé	32
b)-Boulonné avec platine et boulons	33
c)-Boulonné avec cornière	33
<b>I.7 CLASSIFICATION D'ASSEMBLAGE DU TYPE POUTRE-POTEEAU.</b>	33
<b>I-8 PRECAUTIONS CONSTRUCTIVES:</b>	34
<b>I.9 DESCRIPTION D'UN ASSEMBLAGE POUTRE -POTEAU BOULONNE PAR PLATINE D'EXTREMITE.</b>	36
<b>I.10CONCLUSION.</b>	37
<b>I.11 OBJECTIFS DU TRAVAIL.</b>	37
<b>CHAPTIRE II</b>	39
<b>II.1 - INTRODUCTION</b>	40
<b>II.2 RECHERCHES EFFECTUEES SUR LE COMPORTEMENT D'ASSEMBLAGE BOULONNE.</b>	40

<b>II.3 QUELQUES RECHERCHES BASEES SUR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS</b>	41
<b>II-3-1 KRIHNAMURTHY et GRADDY (1976)</b>	41
<b>II-3-2 BIRSI et LEONELLI (1994)</b>	41
<b>II-3-3 GEBBEKEN (1994)</b>	42
<b>II-3-4 BURSI et JASPART (1997)</b>	42
<b>II-3-5 SHERBOURNE et BAHARI (1997)</b>	43
<b>II-4 QUELQUES RECHERCHES BASEES SUR L'EXPERIMENTALE</b>	44
<b>II-4-1 R.DELESUES (1972)</b>	44
<b>II-4-2 D.KHALILI (1972)</b>	48
<b>II-5 METHODE ANALYTIQUE BASE SUR LE MODELE MECANIQUE A RESSORT</b>	55
<b>II-5-1 J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA 1999</b>	55
<b>II-5-2 Modèle de L'EC-3</b>	56
<b>A)- Le moment résistant de l'assemblage <math>M_{j,Rd}</math></b>	57
<b>B)- La rigidité initiale en rotation <math>S_{j,ini}</math></b>	58
<b>C)- La capacité en rotation</b>	58
<b>D)- Classification des assemblages poutre- poteau</b>	59
<b>D-1) Classification par résistance</b>	60
<b>D-2) Classification par rigidité en rotation</b>	61
<b>E) Idéalisations de la courbe de comportement (<math>M - \varphi</math>) selon L'EC-3</b>	61
<b>F) Analyse globale de la structure</b>	63
<b>II.6 CONCLUSION</b>	64
<b>CHAPITRE III</b>	
<b>III-1 INTRODUCTION</b>	65
<b>III.2 METHODES ANALYTIQUES DE CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES.</b>	66
<b>III.2.1 LA NORME NF P 22 460</b>	66
<b>III.2.1.1 RECOMMANDATIONS POUR L'APPLICATION DE LA NORME NF P22460</b>	66
<b>III.2.1.2 Procédure de détermination du moment résistant de l'assemblage <math>M_{j,Rd}</math>.</b>	67
<b>A) - Assemblage Par Platine D'extrémité Sans Rangée De Boulons Extérieurs</b>	71
<b>B) - Assemblage Par Platine D'extrémité Avec Rangée De Boulons Extérieurs</b>	72
<b>Organigramme de calcul de moment résistant selon la norme NF P22460</b>	75
<b>III.2.2 LA METHODE DES COMPOSANTES. EC- 3</b>	76

<b>III.2.2.1 Identification des composantes.</b>	77
<b>III.2.2.2 Caractérisation des composantes.</b>	79
<b>III.2.2.3 Assemblage des composantes.</b>	79
<i>A)-Montage des résistances. <math>M_{j,Rd}</math></i>	81
<i>B)-Montage des rigidités initiales <math>S_{jini}</math>.</i>	82
<b>III.2.2.4 APPLICATION DE LA METHODE DES COMPOSANTES.</b>	83
<i>A)-Conception N° 01 : Assemblage avec une seule rangée de boulons tendus.</i>	83
<i>B)-Conception N° 02 Assemblage par plusieurs rangés tendu sans et avec rangée de boulons extérieurs</i>	106
<b>III.3 ANALYSE CRITIQUE DES DEUX METHODES.</b>	123
<b>CHAPITRE IV</b>	
<b>IV -1 – INTRODUCTION</b>	125
<b>IV 2– PRESENTATION DE LOGICIEL DE CALCUL</b>	126
<b>IV 2-1 Génie logiciel</b>	126
<b>IV -2-2 Delphi</b>	126
<b>IV -3 DESCRIPTION DU LOGICIEL DE CALCUL "ABP Extrem"</b>	127
<b>IV 3-1-Exemple De Calcul selon la norme NFP22 460 Pour La Validation Du Logiciel</b>	135
<b>IV 3-2 Exemple De Calcul Selon La L'ec-3 Pour La Validation Du Logiciel</b>	144
<b>IV 3-2 -1 ETUDE PARAMETRIQUE D'UN ASSEMBLAGE PAR PLATINE D'EXTRIMITE selon la Norme NF P 22460</b>	152
<b>A) - Influence de l'épaisseur de la platine</b>	153
<b>B) - Influence de la hauteur de la nuanced'acier de la platine</b>	157
<b>C)- Influence de la distance verticale entre axes des boulons</b>	159
<b>D)- Influence de la hauteur de la poutre</b>	159
<b>E)- Influence de nombre de rangées de boulons</b>	160
<b>IV 3-2 -2 - ETUDE PARAMETRIQUE SELON L'EC03</b>	163
<b>A)- Influence de l'épaisseur de la platine</b>	163
<b>B)- Influence de Nombre de rangées</b>	166
<b>C) -Influence de distance entre rangées P</b>	167
<b>D)- Influence de la hauteur de la poutre</b>	171
<b>E) -Influence de la distance horizontale entre files</b>	173

<i>Conclusion</i>	176
<i>Conclusion générale</i>	179
<i>Annexes</i>	183
<i>Resume</i>	189
<i>Reference Bibliographique</i>	192

# **LISTES DES FIGURES**



# Listes des Figures

## CHAPITRE : I

Figure : I - 1 - Différents types d'assemblages dans une ossature de bâtiment.....	page 25
Figure : I - 2 - Attache dans une base de poteau.....	page 26
Figure : I - 3 - Assemblage poutre – poutre.....	page 26
Figure : I - 4 - Assemblage poteau – poutre.....	Page 27
Figure : I -5 - Assemblage poteau – poteau.....	page 27
Figure : I -6 - Rivet et Rivet a anneau.....	page 28
Figure : I -7 – boulon de charpente et boulon a haut résistance.....	page 30
Figure : I -8 – Assemblage sou dé par platine d'extrémité.....	page 32
Figure : I -9 – Assemblage boulonnée par platine d'extrémité.....	page 33
Figure : I - 10 – Assemblage boulonnée avec cornière de semelle.....	page 33
Figure : I - 11 – Assemblage boulonnée avec cornière de d'âme et semelle.....	page 34
Figure : I - 12 – Représente le diagramme de comportement d'assemblage.....	page 35
Figure : I - 13 – Représente les zone critique d'assemblage.....	page 36

## CHAPITRE : II

Figure : II – 1 – Représente la configuration d'assemblage traité les notations utilisés	page 44
Figure : II – 2 – Représente le tronçon en Té.....	page 34
Figure : II – 3 – Présente la numérotation des rangées.....	page 49
Figure : II – 4 – Présente la répartition des efforts.....	page 51
Figure : II – 5 – Présente la répartition des effort dans les boulons	page 53
Figure : II – 6 – Modélisation de l'assemblage modèle de J. M. ARIBERT , A. LACHAL Et D . N . DINGA.....	page 53
Figure : II – 7 – Composantes selon le modèle de J. M. ARIBERT , A . LACHAL Et D . N . DINGA .....	page 56
Figure : II – 8 – présenté le modèle de TSCHEMMERNEGG.....	page 57
Figure : II – 9 – Le moment résistant de calcul MJ . Rd.....	page 57
Figure : II – 10 – Rotation d'un assemblage mixte sous un chargement symétr rique.....	page 58

Figure : II – 11 – Comportement D'un Assemblage..... page 58  
 Figure : II – 12 – propriétés caractéristiques d'une courbe moment rotation d'un  
 Assemblage poutre – poteau..... page 59  
 Figure : II – 13 – Classification des assemblage..... page 60  
 Figure : II – 14 – Classification des assemblage poutre – poteau par rigidité..... page 61  
 Figure : II – 15 – Courbe M- $\phi$  non – linéaire..... page 62  
 Figure : II – 16 – Idéalisations des courbes..... page 62

**CHAPITRE : III**

Figure : III – 1 Assemblage poteau poutre par platine d'extrémité sans rangée de  
 Boulons extérieurs..... page 67  
 Figure : III – 2 Assemblage poteau poutre par platine d'extrémité avec rangée de  
 Boulons extérieurs ..... page 68  
 Figure : III – 3 Coupe d'Assemblage par platine d'extrémité sans rangée de  
 Boulons extérieurs présente les dimensions sur le plan vertical..... page 70  
 Figure : III – 4 Coupe d'Assemblage par platine d'extrémité sans rangée de  
 Boulons extérieurs présente les dimensions sur le plan horizontal..... page 71  
 Figure : III – 5 Coupe d'Assemblage par platine d'extrémité sans rangée de  
 Boulons extérieurs présente les dimensions sur le plan vertical..... page 74  
 Figure : III – 6 Régions et zones d'un assemblage type poutre –poteau..... page 78  
 Figure : III – 7 Représente un modèle mécanique à ressort des différentes  
 Composantes..... page 79  
 Figure : III – 8 Représente les différentes composantes actifs au niveau de  
 L'assemblage..... page 83  
 Figure : III – 9 Caractéristiques géométriques du poteau métallique..... page 84  
 Figure : III – 10 Caractéristiques de poutre métallique..... page 85  
 Figure : III – 11 Caractéristiques de la platine d'extrémité..... page 86  
 Figure : III – 12 Représente la perforation de la platine d'extrémité..... page 88  
 Figure : III – 13 Représente les dimensions relatif à de disposition des boulons..... page 89  
 Figure : III – 14 Diffusion de l'effort de compression..... page 91  
 Figure : III – 15 Effort de compression localisé dans la semelle de la poutre..... page 92  
 Figure : III – 16 Deux tronçons en Té attaché par deux boulons..... page 93  
 Figure : III – 17 Représente le mécanisme plastique complet de la semelle..... page 94  
 Figure : III – 18 Représente le mécanisme par ruine des boulons et plastification de  
 La semelle (mécanisme partielle)..... page 95  
 Figure : III – 19 Représente le plastification de l'âme tendue..... page 97  
 Figure : III – 20 Représente les caractéristiques géométriques de la semelle poteau..... page 98  
 Figure : III – 21 Représente les caractéristiques géométriques de la platine..... page 98  
 Figure : III – 22 Représente les caractéristiques géométriques pour calcul  
 Préliminaire de la composante N 05..... page 101  
 Figure : III – 23 Représente un modèle mécanique à ressort des différentes  
 Composantes pour l'assemblage sans rangée de boulons extérieurs.... Page 106  
 Figure : III – 24 Représente un modèle mécanique à ressort des différentes  
 Composantes pour l'assemblage avec rangée de boulons extérieurs.... page 106  
 Figure : III – 25 pour l'identification des composantes pour l'assemblage sans et

Avec ragée de boulons extérieurs.....	page 107
Figure : III – 26 Représente une série des tronçons en Te attachée par boulons.....	page 108
Figure : III –27 Représente nominations des rangées vais au calcul des Longueurs efficaces pour semelle du poteau.....	page 109
Figure : III – 28 Représente nominations des rangées vais au calcul des Longueurs efficaces pour platine d'extrémité.....	page 110
Figure : III –30 Représente la répartition plastique des efforts dans les boulons.....	page 115
Figure : III – 29 Représente la répartition élastique des efforts dans les boulons.....	page 117
Figure : III – 31 Représente la réparation élasto- plastique des efforts dans Les boulons.....	page 119
Figure : III –32 Représente la assemblage des rigidités.....	page 121

## CHAPITRE : IV

Figure : IV – 1 – Fenêtre principale de logiciel.....	page 128
Figure : IV – 2 – Fenêtre de Tache N 01.....	page 129
Figure : IV –3 – Fenêtre de la base des donnée des profilés et leur nuance d'acier .....	page 130
Figure : IV – 4 – Fenêtre en cas d'erreur .....	page 131
Figure : IV –5 – Coupe latérale d'assemblage uni- axiale axe majeure .....	page 136
Figure IV-6coupe horizontale d'assemblage uni axiale axe majeure	
Figure : IV – 7 – Fenêtre Tache N 02 fouille boulon .....	page 139
Figure : IV – 8 – Fenêtre programme N 03 .....	page 140
Figure : IV – 9 – Présentation la configuration de l'assemblage traité pour la validation des programmes N°03 et N°04.....	page 144
Figure : IV – 10- Présentation les différente composantes actifs pour L'assemblage traité pour la validation des programmes N °03 et N°04 .....	page 145
Figure IV -11 Représente la configuration ABPExtrem 01.....	page 153
Figure : IV – 10 – Moment résistant en fonction de l'épaisseur de la platine selon NFP 22460 .....	page 154
Figure IV -12- Représente la configuration ABPExtrem 02.....	page 155
Figure : IV – 11 – Moment résistant en fonction de l'épaisseur de la platine D'extrémité ABP Extrem 02 selon NFP 22460 .....	page 156
Figure IV-16- représente la configuration ABPExtrem 03 .....	page 157
Figure IV-17- Moment résistant en fonction de l'épaisseur de la platine et la nuance d'acier de la platine.....	
Figure : IV – 18 – Moment résistant en fonction de la hauteur de la poutre.....	page 159
Figure : IV – 19 – Moment résistant en fonction de l'entraxe boulons selon NFP 22460 .....	page 160
Figure : IV – 20 – Moment résistant en fonction de nombre de rangée de boulon.....	page 161
Figure : IV –22Variation des résistance des comportement d'assemblage avec l' L'épaisseur de la platine d'extrémité .....	page 163
Figure IV -23- VARIATION DE LA RIGIDIT2 DES COMPOSANTES AVEC L'EPAISSEUR DE LA PLATINE.....	page 164
Figure : IV – 26 – Moment résistant en fonction du nombre de rangées boulons selon L'EC03 .....	page 166

# **LISTES DES TABLEAUX**

# Listes des Tableaux

## CHAPITRE : I

Tableau : I - 1- Caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons .....page 29  
Tableau : I -2- tableau pour la caractéristiques et symbole des boulons .....page 31

## CHAPITRE : II

Tableau : II - 1- pour les assemblages avec ragées extérieur.....page 46  
Tableau : II - 2- pour les assemblages sans ragées extérieur.....page 47  
Tableau : II - 3- Types de modélisation d'assemblages .....page 63

## CHAPITRE : III

Tableau : III - 1- Régions et composantes correspondantes d'un assemblage .....page 78  
Tableau : III - 2- groupement en série et en parallèle des composantes .....page 81  
Tableau : III -3- Regroupe les valeurs des pinces et entraxes .....page 88

## CHAPITRE : IV

Tableau : IV - 1- Regroupe les assemblage de l'étude paramétrique ..... page 152  
Tableau : IV -2- Tableau des caractéristiques du poteau rencontré dans l'étude paramétrique . page 152  
Tableau : IV -3- Tableau des caractéristiques de la poutre rencontré dans L'étude paramétrique page 153  
Tableau : IV -4- Tableau moment résistant en fonction de l'épaisseur de la platine ABPErem01 page 154  
Tableau : IV -5- Tableau moment résistant en fonction de l'épaisseur de la platine ABPErem02 page 155  
Tableau : IV -6- Tableau % de gain en moment résistant ABPEExt01/ ABPEExt01en ..... page 156  
Tableau : IV -7- Tableau regroupe les valeurs de l'étude de Mr en fonction de Tp et nuance  
D'acier d'acier de poteau ..... page 158  
Tableau : IV -8- Tableau regroupe les valeurs de l'étude de Mr en fonction de la hauteur de  
la poutre .....page 159  
Tableau : IV -9- Tableau regroupe les valeurs de l'étude de Mr en fonction de la distance  
Vertical entre rangées..... page 159  
Tableau : IV -10-. Tableau regroupe les valeurs de l'étude de Mr en fonction de nombre  
de rangée de boulons..... page 160

## Annexe :

Tableau Annexe – 1- tableau des longueur efficace semelle poteau en flexion .....page 186  
Tableau Annexe – 2- tableau des longueur efficace semelle poteau en flexion .....page 184  
Tableau Annexe – 3- tableau des longueur efficace platine d'extrémité .....page 185  
Tableau Annexe – 4- tableau des caractéristiques géométrique du boulons .....page 185  
Tableau Annexe – 5- tableau des caractéristiques mécanique du boulons .....page 185  
Tableau Annexe – 6- tableau des alpha.....page 187-188

# **NOTATIONS ET SYMBOLES**

# NOTATIONS ET SYMBOLES

## A :

- $A_c$  : Aire de la section du poteau métallique  
 $A_b$  : Aire de la section de la poutre métallique  
 $a_{cs}$  : La distance entre le bord supérieur de la dalle et le centre de Gravité des armatures longitudinales de la dalle ( enrobage )  
 $a_w$  : Epaisseur utile (ou gorge) d'un cordon de soudure sur l'âme  
 $a_f$  : Epaisseur utile (ou gorge) d'un cordon de soudure sur semelle  
 $A_{sb}$  : Section résistance de la tige d'un boulon au fond de filet  
 $A_{vc}$  : Aire de cisaillement du poteau  
 $A_s$  : L'aire de la section des armature longitudinales  
 $A$  : Aire de la section de la tige du boulon

## B :

- $\beta$  : Paramètre de transformation  
 $b_c$  : La largeur de la section du poteau métallique  
 $b_b$  : La largeur de la section de la poutre métallique  
 $b_{eff.b}$  : La largeur efficace de la dalle en béton =  $3h_b$   
 $b_{eff.c.wc} = b_{eff.c}$  La hauteur efficace d'âmes du poteau en compression  
 $b_{eff.t.fc}$  : La longueur efficace de la semelle du poteau en flexion ( traction )  
 $b_{eff.wb}$  : La longueur efficace de l'âme de la poutre en traction

## C :

$$C_0 = \text{un rapport} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

## D :

- $d_{wc}$  : La hauteur de l'âme de la section du poteau  
 $d_{wb}$  : La hauteur de l'âme de la poutre  
 $d_s$  : La distance entre le centre de gravité de la section métallique de la poutre et centre de gravité de la section des armatures longitudinale de la dalle  
 $d_w = d_m$  : Diamètre moyen entre le cercle circonscrit et le cercle inscrit de la tête du boulon  
 $d_{eff}$  : L'épaisseur efficace de la dalle en béton  
 $d$  : Diamètre de la partie non filetée de boulon

$d_0$  : Diamètre nominal du trou de boulon

## **E :**

$E_a$  : Module d'élasticité de l'acier structural

$e_{pl}$  : La distance verticale entre le centre de gravité de la rangée du boulon et le bord de la semelle inférieure de la poutre

$E_{cm.c}$  : Module d'élasticité du béton

$E_s$  : Module d'élasticité des armateurs de la dalle

$e_s$  : Espacement entre les connecteurs de cisaillement

$e$  : La distance entre la centre de gravité de la rangée du boulon et la bord de la semelle du poteau  
( Distance horizontale )

$$e_w = \frac{d_w}{4}$$

## **F :**

$f_{y.c}$  : La limite d'élasticité de l'acier de la section du poteau

$f_{y.we}$  : La limite d'élasticité de l'acier de l'âme du poteau

$f_{y.fb}$  : La limite d'élasticité de l'acier de la semelle du poteau

$f_{y.b}$  : La limite d'élasticité de l'acier de la section de la poutre

$f_{y.wb}$  : La limite d'élasticité de l'acier de l'âme de la poutre

$f_{y.fb}$  : La limite d'élasticité de l'acier de la semelle poutre

$f_{y.p}$  : La limite d'élasticité de la platine d'extrémité

$f_{u.b}$  : La résistance à la traction d'un boulon

$f_{y.b}$  : La limite d'élasticité d'un boulon

$f_{ck}$  : Résistance ultime du béton à 28 jours

$f_{sk}$  : La limite d'élasticité de l'acier des armatures de la dalle

$f_{t.Rd} = B_{t.Rd}$  : La résistance à la traction des boulons

$F_{v.Rd}$  : La résistance de calcul au cisaillement des boulons

$F_{Rd.i}$  : La résistance de calcul de la composante i

$F_{Rd.j}$  : La résistance de calcul de l'assemblage

$f_{y.cp}$  : La limite d'élasticité de l'acier de la plaque de contact

$F_{c.Rd}$  : La résistance de l'attache en compression

$F_{t.Rd}$  : La résistance de l'attache en traction

$F_{c.we.Rd}$  : La résistance de calcul de l'âme de poteau en compression



$F_{fc.Rd.ti}$  : La résistance de calcul de la semelle du poteau en flexion selon le mode de ruine \* i \*

$F_{c.cp.Rd}$  : La résistance de calcul de la plaque de contact en compression

## **H :**

$h_c$  : La hauteur de la section du poteau

$h_b$  : La hauteur de la section de la poutre

$h_{ps}$  : La hauteur des nervures de la tôle profilée de la dalle

$h_{cs}$  : La hauteur de la dalle en béton ( ou ' de la partie de béton située au-dessus des nervures de la tôle )

$h_n$  : La hauteur de l'écrou

$h_h$  : La hauteur de la tête du boulon

$h_{cp}$  : La hauteur de la plaque de contact

## **I :**

$I_{y.b} = I_a$  : Le moment d'inertie par rapport à y de la section de la poutre ( par rapport à l'axe fort de l'inertie )

## **K :**

$k_{sc}$  : La rigidité d'un connecteur de cisaillement

$k_i$  : La rigidité de la composante \* i \*

$k_{eq}$  : Le coefficient de rigidité de ressort effectif

$k_{wca}$  : Le coefficient qui prend en compte l'effet défavorable des contraintes longitudinales agissant sur l'âme de poteau en compression

$kt$  : La rigidité des la partie en traction de l'assemblage

$k_{a.wp.s}$  : La rigidité des panneau d'âme en cisaillement du poteau non enrobé

$k_{c.wp.s}$  : La contribution du béton dans la rigidité de panneau d'âme en cisaillement du poteau enrobé

$k_{fc}$  : Coefficient qui prend en compte l'effet défavorable des contraintes longitudinales agissant dans la semelle ( effort normal et moment fléchissant ) sur la résistance locale de la semelle du poteau fléchi

$k_{st}$  : La rigidité de translation de la dalle en béton en traction lorsque en néglige le glissement des connecteurs de cisaillement

## **L :**

$L_b$  : La distance entre le centre de la tête du boulon et le centre de l'écrou

$l_{eff.b}$  : La longueur efficace de la poutre

$l_{eff}$  : La longueur équivalente du tronçon en té

$l_{eff.t.wc}$  : La longueur efficace de l'âme du poteau en traction

$l_{eff.p}$  : La longueur efficace de la platine d'extrémité en flexion

## **M :**

$m$  : La distance entre le centre du boulon et point de la naissance de courbure au niveau de la jonction âme- semelle

$m_{pl.fc}$  : Le moment résistant plastique de la semelle du poteau par une unité de la longueur

$m_{pl.p}$  : Le moment résistant plastique de la platine d 'extrémité

$m_{p1}$  : La distance horizontale entre le centre du boulon et le point de la naissance de la cordon de soudure de la platanes avec l'âme de la poutre

$m_{p2}$  : La distance verticale entre le centre du boulon et le point de naissance de la cordon de soudure de la platine avec la semelle de la poutre

$M_{j.Rd} = M_{Rd}$  : Le moment résistant plastique de calcul de l'assemblage

$M_{e.Rd}$  : Le moment le résistant élastique de l'assemblage

$M_{c.Rd} = M_{pl.c.Rd}$  : Le moment résistant plastique de calcul de la section tr ansversale de la poutre

$M_{sd}$  : Le moment sollicitant

## **N :**

N : Le nombre de connecteurs de cisaillement qui se trouve sur la longueur efficace

$n$  Ou  $n_p$  : la distance entre le centre de gravité de la rangée de boulons et le point d'applications de l'effort de levier Q

## **P :**

$P_p$  : La distance verticale entre le centre de gravité de la rangée supérieure de boulons et le centre de gravité de la rangée inférieure de boulons

$P$  : la distance verticale entre le centre de gravité de la rangée supérieures de boulons et le bord de la semelle supérieurs de la poutre

## **Q :**

Q : La force ou l'effort de levier

## **R :**

$r_c$  : Le rayon de la courbure qui se trouve au niveau de la jonction âme – semelle d'un profilé laminé de poteau

$r_b$  : Le rayon de la courbure qui se trouve ou niveau de la jonction âme – semelle d'un profilé laminé de poutre

## **S :**

$S_{j.ini}$  : La rigidité initiale de l'assemblage ( poutre – poteau )

$S_j$  : La rigidité nominale de l' assemblage ( poutre –poteau )

## **T :**

$t_{we}$  : L'épaisseur de l'âme de la section métallique du poteau

$t_{fc}$  : L'épaisseur de la semelle de la section métallique du poteau

$t_{wb}$  : L'épaisseur de l'âme de la section métallique de la poutre

$t_{fb}$  : L'épaisseur de la semelle de la section métallique de la poutre

$t_p$  : L'épaisseur de la platine d'extrémité

## **W :**

$W_{pl.y.c}$  : Module plastique de flexion de la poteau autour de l'axe fort (y)

$W_{pl.y.b}$  : Module plastique de flexion de la poutre autour de l'axe (y)

$W_{el.y}$  : Module plastique de flexion autour de l'axe fort (y)

W : la distance horizontale entre la rangée gauche de boulons et la rangée droite de boulons

$W_i$  : La déformation du ressort (composante) \* i \*

$W_c$  : Coefficient de réduction qui prend en charge l'influence de la contrainte de cisaillement dans le panneau d'âme du poteau en compression

$W_t$  : Coefficient de réduction qui prend en charge l'influence de la contrainte de cisaillement dans le panneau d'âme du poteau en traction

## **D' AUTRES CARACTERES**

$\beta$  : Paramètre de transformation

$\phi_{cd}$  : Capacité de rotation de l'assemblage

$\mu$  : Le rapport entre  $S_{j.im}$  et  $S_j$

$\mu$  : le pourcentage des armatures longitudinales dans la dalle de béton

$\rho$  : Facteur qui tient compte le flambement de l'âme de poteau en compression

$\lambda_p$  : élancement réduit

$\sigma_{com.Ed}$  : La contrainte maximale de compression longitudinale exercée dans l'âmes de poteau à la racine du rayon en un point situé juste à l'extérieure de l'assemblage

$\alpha$  : Coefficient qui dépend de la position des trous de boulons sur la platine

$\sigma_{n.fc}$  : La contrainte maximale du compression longitudinale ( force axiale et moment fléchissant ) exercée au centre de gravité de la semelle de poteau

# LES INDICES

a : acier structural  
b : beam = poutre  
c : colomn =poteau  
w : web = ame  
wc : ame du Poteau  
wb :ame de la poutre  
f :flang =semelle  
fc : semelle du poteau  
fb : semelle de la poutre  
Rd : résistant de calcul  
Sd : sollicitant  
S :Armature de la dalle = slab  
t :Traction  
c :compression  
f :flexion  
eff :efficace ou effectif  
j : Joint =assemblage  
ini : initiale  
cd : capacité  
s : schear = cisaillement  
v : force de cisaillement( effort)  
p : Panneau  
pl : plastique  
c : concert = béton  
Ed : de calcul

# **INTRODUCTION GENERALE**

## ***INTRODUCTION GENERALE***

Dans le cadre de la suite de la recherche que développe l'équipe de recherche au sien de laboratoire de mécanique des sols et des structures (**L.M.S.S**) du département génie civil de **l'université MENTOURI de Constantine** sur les structures métalliques, les structures mixte aciers –béton et sur leur assemblages, un thème de recherche sur les assemblages métalliques par platine d'extrémité et boulons H.R, à été proposé pour l'obtention du diplôme de magister à Mr TAKOUACHET mounir.

L'étude envisagée dans le cadre de ce magister est d'étudier les différentes conceptions d'assemblages métalliques boulonnés ( par platine d'extrémité et boulons H.R avec ou sans rangée de boulons extérieurs) en appliquant l'ancienne te la nouvelle approche de calcul pour mener à bien cette étude, un plan de travail a été tracé comprenant les étapes suivante :

**-Une première partie :** est consacrée aux généralités sur les assemblages dans les constructions métalliques en général et sur les assemblages poutre- poteau en particulier avec les différentes configurations tout en mettant l'accent sur le rôle et l'importance de ces derniers pour les constructions métalliques. Différents modes et moyens d'assemblage ainsi que la classification de ces derniers ont fait l'objet de cette étape.

**-Une deuxième partie :** est consacrée à l'état de connaissances sur la conception, la modélisation et le calcul des assemblages métalliques de type poutre-poteau boulonné par platine d'extrémité et boulons H.R.

Une étude bibliographique sur les différents modèles de calcul des assemblages, avec différentes approches (numérique, expérimentale et analytique) a permis de collecter un grand nombre d'articles récents qui traitent les assemblages, afin de faire une synthèse bibliographique qui servira de base pour notre étude analytique. Le modèle de calcul présenté par l'Euro code 3 est retenu comme modèle de calcul dans notre étude .

Cette étape est en partie, consacrée à la conception et à l'approche analytique selon l'Eurocode-3 c'est-à-dire :

Classification des assemblages métalliques.

- Définition des caractéristiques principales des assemblages métalliques.

$$(M_{j.rd}, S_{j.ini}, \phi_{cd})$$

**-Une troisième partie :** consacrée à l'étude et l'application en détail de l'ancienne méthode ( la norme NFP22460) et la méthode des composantes de L'EUROCODE3 qui commence par l'identification des composantes de chaque type d'assemblage étudié ( par platine d'extrémité avec ou sans rangée de boulons extérieurs) passant par la caractérisation de chaque composante pour en fin déterminer les caractéristiques principales d'un assemblage métallique :

- leur moment résistant ( $M_{j.rd}$ )
- leur rigidité initiale en rotation ( $S_{j.ini}$ )

**-Une quatrième partie :**

Est consacrée à l'élaboration d'un logiciel de calcul permettant de caractériser un assemblage métallique on optant soit pour l'ancienne méthode ou la nouvelle préconisée par L'EUROCODE3. L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus par ce traitement numérique ont permis de constater l'influence positive ou négative de certains paramètres sur les caractéristiques de l'assemblage métallique.

# CHAPTIRE I



## **CHAPTIRE I**

### **LES ASSEMBLAGES DANS LES OSSATURES DE BATIMENTS METALLIQUES.**

#### **I.1 INTRODUCTION**

Ce chapitre est consacré aux généralités sur les assemblages rencontrés dans les ossatures de bâtiments métalliques. Dans un premier temps on définit le rôle et l'importance d'un assemblage dans ce type de construction, ensuite nous présentons les différents formes modes d'assemblages rencontrés et les différents moyens d'assemblage utilisés pour les réaliser. Une description des différentes configurations d'assemblages poutre- poteau que l'on peut avoir est présentée ; Suit d'une classification de ces assemblages suivant l'ancienne et la nouvelle approche.

En dernier lieu l'accent est mis sur les assemblages les plus importants dans une ossature métallique pouvant supportés des moments fléchissant, des efforts normaux et des efforts tranchants. A savoir les assemblages poutre- poteau boulonné par platine d'extrémité débordante ou non (**configuration**) couramment utilisée, en décrivant les zones critiques qui puissent se développés sous ces efforts internes.

#### **I.2 DEFINITION ET ROLE D'UN ASSEMBLAGE.**

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 assemblés 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.

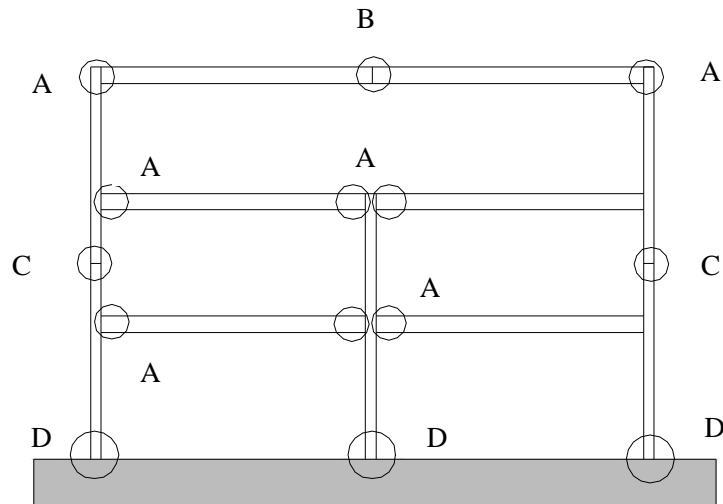
Un assemblage mal conçu, mal calculé ou mal réalisé peut conduire à l'effondrement de la structure. De ce fait la conception et le calcul des assemblages est d'une importance capitale.

***1.3 DIFFERENTES FORMES D'ASSEMBLAGE RENCONTRES EN C.M. [2].***

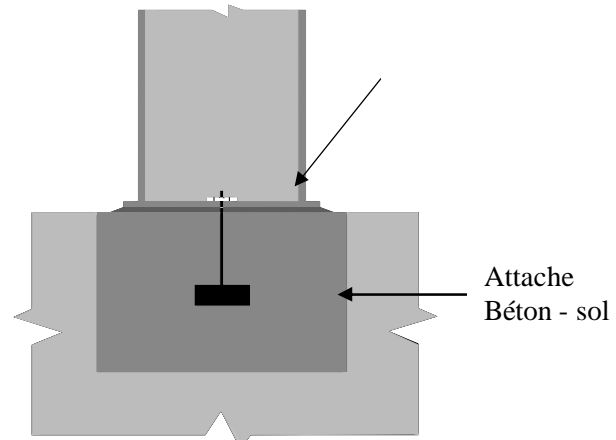
Dans les ossatures des bâtiments métalliques, les éléments structuraux sont reliés par des

**assemblages**. Suivant la nature des éléments assemblés, on distingue ( **Figure I.1**) entre autres :

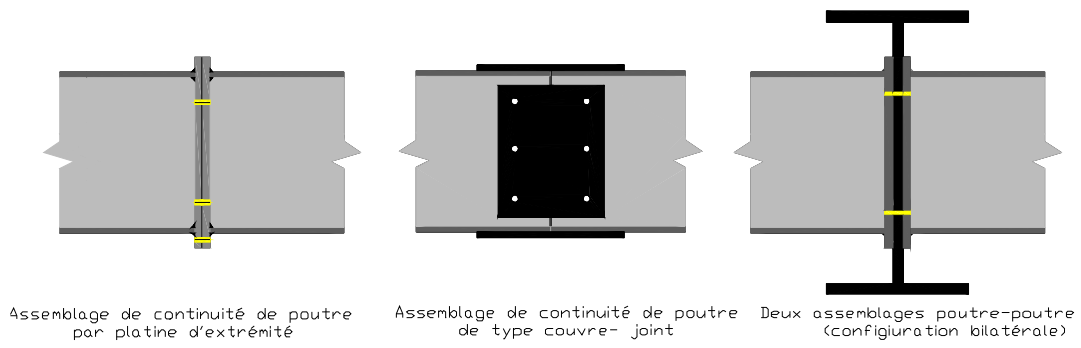
- Les assemblages poutre- poutre (B)
- Les assemblages poutre- poteau (A)
- Les assemblages de continuité( C)
- Les assemblages dans un système en treillis « un nœud » (E)
- Les assemblages poteau- fondation « pied de poteau » (D)



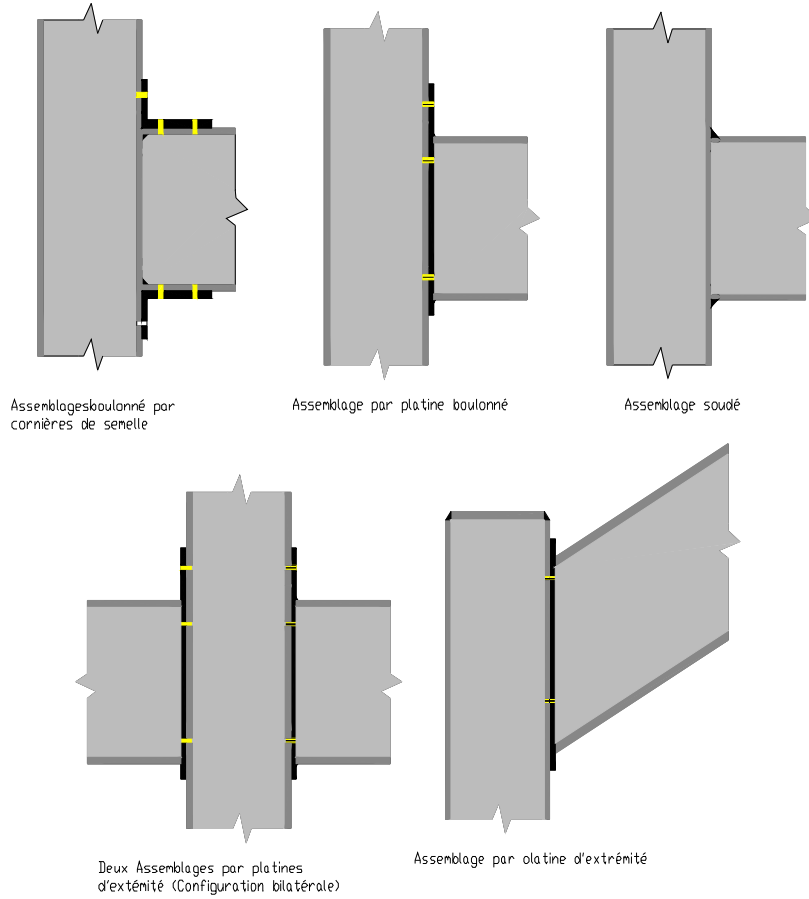
**Figure I.1** Différents des types d'assemblages dans une ossature de bâtiment



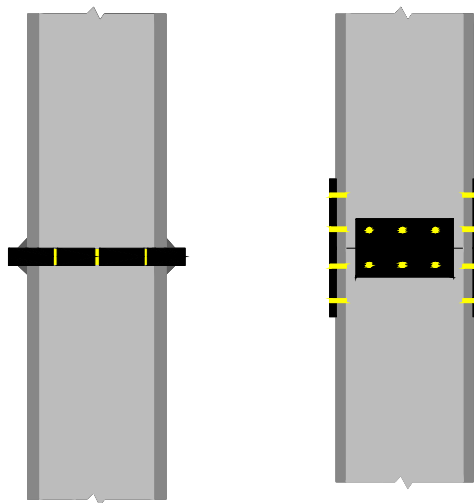
**Figure I.2 Attache dans une base de poteau**  
(D)



**Figure I.3 Assemblage Poutre- Poutre**  
(B)



**(A) Figure I.4 Assemblage Poteau- Poutre**



**Figure I.5 Assemblage Poteau- Poteau**

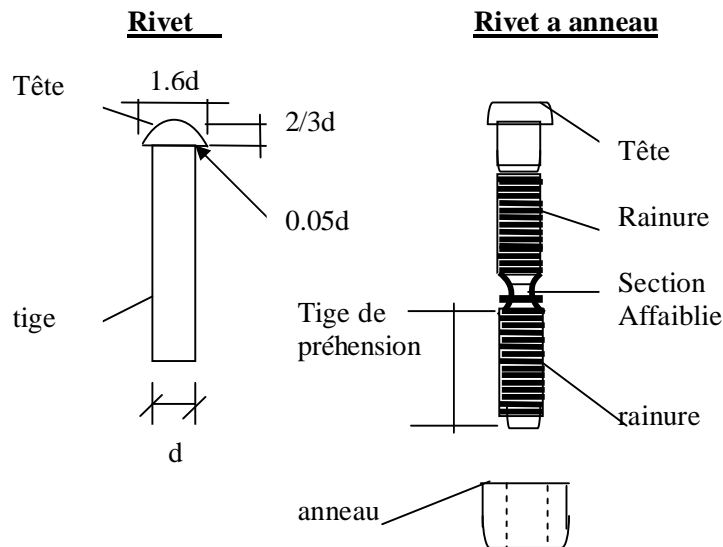
**(C)**

**I-4 MODES D'ASSEMBLAGES [9]:**

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

**A)-le rivetage**

Les rivets ont été le premier moyen d'assemblage utilisé en construction métallique. Actuellement, l'emploi des rivets est limité et on leur préfère, dans la plupart des pays industrialisés, les boulons et la soudure. On les rencontre donc essentiellement dans des structures anciennes, datant du début de ce siècle. Leur diamètre varie généralement de 10 à 28mm. (**Figure I.2**)



**Figure I.6 rivet et rivet a anneau [9]**

**Rivets a anneau:**

Les rivets a anneau (rivelons) sont des éléments de connexion mécanique qui tiennent à la fois du rivet (dans la mesure où il a une même forme de tête et qu'il introduit une force de précontrainte) et du boulon (car une partie de sa tige est rainurée).

Les principales caractéristiques: la tige se compose de deux parties rainurées (et non pas filetées), séparées par une portion de tige dont la section est affaiblie. L'acier des rivets à anneau est un acier à haute résistance de type


**B)-le boulonnage [9].**

Les caractéristiques des différents types d'aciers utilisés pour les boulons **tableau 1.1** présentes les valeurs de la limite d'élasticité  $f_{yB}$  et de la résistance à la traction  $f_{uB}$  des quatre classes de qualité d'acier utilisées pour les boulons (la signification des chiffres pour définir la classe de qualité est donnée au paragraphe).

boulons	Classe De qualité	$f_{yB} (N / mm^2)$	$f_{uB} (N / mm^2)$
De charpente	4.6	240	400
	5.6	300	500
A haute résistance	8.8	640	800
	10.9	900	1000

**Tableau I.1\_caractéristiques mécaniques des aciers pour boulons**

ce tableau montre également que l'on distingue deux types de boulons, qui se différencient par leurs caractéristiques mécaniques plus ou moins élevées :

 **les boulons de charpente métallique** (aciers 4.6 et 5.6).

 **les boulons à haute résistance** (aciers 8.8 et 10.9).

Les boulons de charpente métallique s'emploient couramment pour réaliser les assemblages faiblement sollicités des halles et des bâtiments. Les boulons à haute résistance s'utilisent en général pour les assemblages de ponts, ainsi que pour les assemblages fortement sollicités ou soumis à des effets dynamiques. Seuls les boulons à haute résistance peuvent être précontraints,

**L'euro code 3** ajoute les classes de qualité 4.8, 5.8 et 6.8 à celles données dans le tableau et utilise la notion de boulon ordinaire à la place de boulon de charpente

**Remarque :**

Quel que soit le type de boulons, le jeu normal entre la tige du boulon et le trou des pièces assemblées est fixé à 2mm pour les diamètres de boulons inférieurs ou égaux à 24mm, et à 3mm pour les diamètres de boulons égaux ou supérieurs à 27mm. Le diamètre  $d_0$  du trou vaut donc :

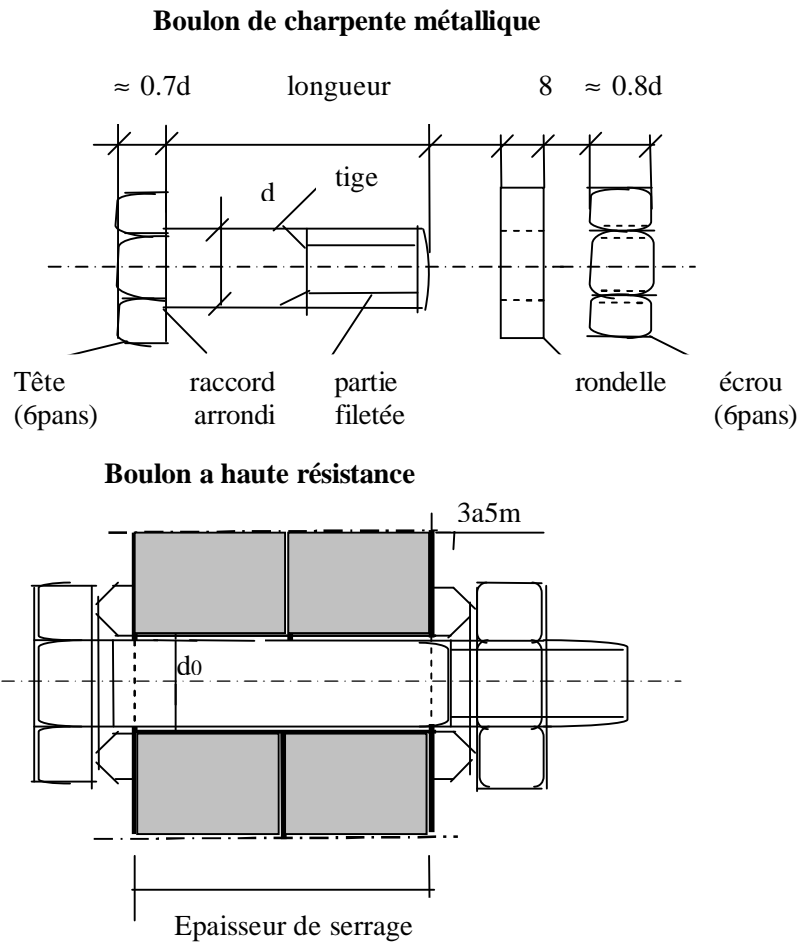
- $d_0 = d + 2\text{mm}$  pour  $d \leq 24\text{mm}$ .
- $d_0 = d + 3\text{mm}$  pour  $d \leq 27\text{mm}$ .

L'euro code 3 propose les mêmes diamètres de trous, sauf pour les diamètres de boulons  $d \leq 14\text{mm}$ , pour lesquels  $d_0 = d + 1\text{mm}$ .

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.

La figure suivante montre les différentes parties composant un boulon de charpente et un boulon à haute résistance .ces derniers se distinguent des boulons de charpente métallique par l'inscription de la classe de qualité de l'acier du boulon sur leur tête et leurs rondelles,

Il faut toujours prévoir une rondelle sous partie qui sera tournée lors de mise en place du boulon (en général l'écrou, parfois la tête, souvent les deux).pour placer des boulons dans les ailes des profilés



**Figure I-7 boulon de charpente et boulon a haut résistance.**

**Tableau des caractéristiques et symboles des boulons .**

	M12	M16	M20	M24	M27
Diamètre de la tige d(mm)	12	16	20	24	27
Diamètre du trou do(mm)	14	18	22	26	30
Section de la tige A (mm <sup>2</sup> )	113	201	314	452	573
Section résistante As(mm <sup>2</sup> )	84	157	245	353	459
Symbole boulon de charpente					
Symbole HR non précontrainte					
Symbole HR précontrainte					

**Tableau I-2 tableau pour la caractérisation et symbole des boulons**

**c)-le soudage [8].**

Le soudage est un procédé, qui permet d'assembler des pièces par liaison intime de la matière, obtenue par fusion ou plastification.

Le soudage implique donc :

- l'existence d'une source de chaleur suffisante pour obtenir la fusion du matériau elle peut être d'origine électrique (résistance, arc, plasma), chimique (combustion de gaz)

Mécanique (friction).

- une aptitude du matériau à être soudé, appelée soudabilité, la soudabilité à haute température dépend des qualités propres du matériau, mais également de divers paramètres limitatif, tels que :

les modifications de la structure physico-chimique du matériau

l'apparition de fissurations et de criques au refroidissement

L'apparition de déformations géométriques dues aux effets de dilatation

Et retrait.

- la naissance de contraintes internes.

Qui nécessitent donc de prendre une série de précautions, sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

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 FONCTIONNEMENT DES ASSEMBLAGES [8]:**

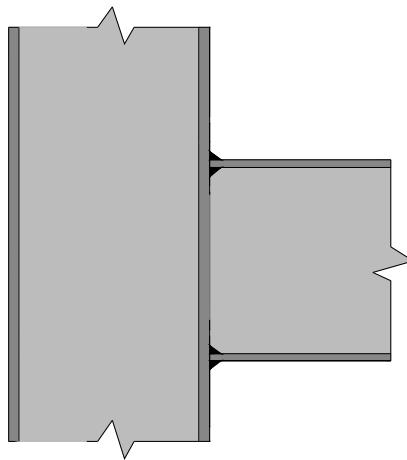
**a)- Fonctionnement par obstacle:** c'est le cas des boulons ordinaires, non précontraints dont les tiges reprennent les efforts et fonctionnement en cisaillement.

**b)- Fonctionnement par adhérence:** dans ce cas, la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact. Cela concerne le soudage, et le boulonnage par boulons HR .

**c)- Fonctionnement mixte:** c'est le cas du rivetage (et dans les cas extrêmes, du boulonnage HR ) à savoir que les rivets assurent la transmission des efforts par Adhérence des pièces jusqu'à une certaine limite, qui lorsqu'elle est dépassée, fait intervenir les rivets par obstacle, au cisaillement

### **I.6 - I'IDIFFERENTES CONFIGURATIONS D'ASSEMBLAGES POUTRE-POTEAU UTILISES EN C.M.**

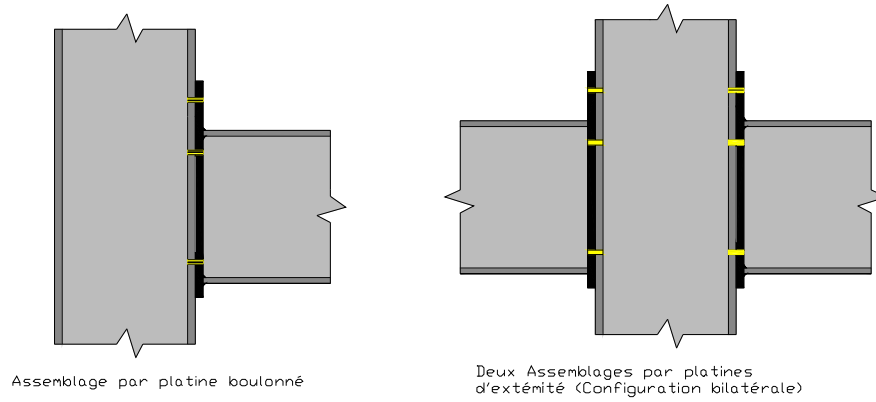
#### **a)-Soudé**



Assemblage soudé

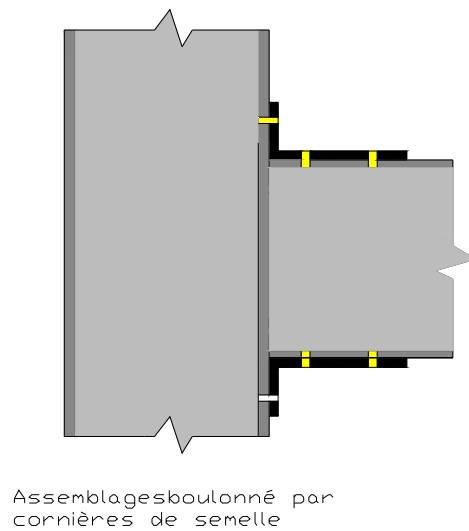
**Figure I-8 Assemblage soudé par platine d'extrémité**

**b)-Boulonné avec platine et boulons**

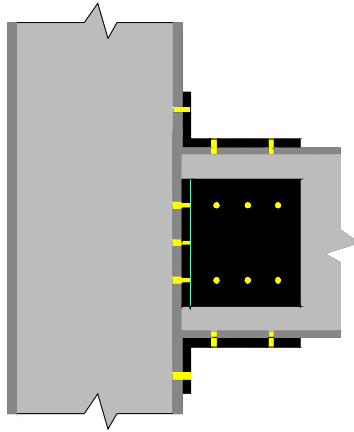


**Figure I-9 Assemblage Boulonné par platine d'extrémité**

**c)-Boulonné avec cornière**



**Figure I-10 Assemblage Boulonné avec cornière de semelle**



Assemblages boulonné par  
cornières de semelle et âme

**Figure I-11 Assemblage Boulonnée avec cornière de d'âme et semelle**

### ***1.7 CLASSIFICATION D'ASSEMBLAGE DU TYPE POUTRE-POTEEAU [9].***

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 encastremets parfaits que l'on considère comme des assemblages rigides.

- ❖ **assemblages articulés** : transmettant uniquement les efforts normaux et tranchants.
- ❖ **les assemblages rigides**: transmettant en outre les divers moments.

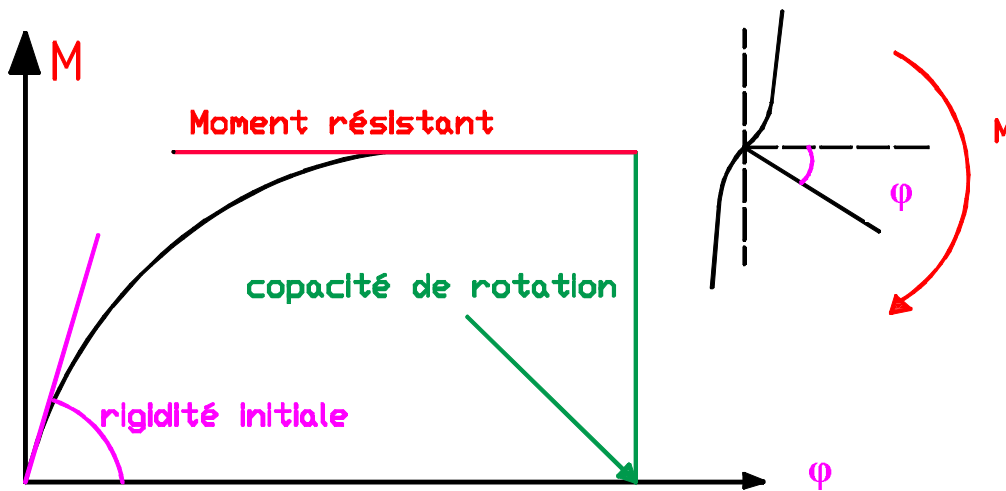
Cette dichotomie est en faite une simplification pour mener les calculs, car, en réalité, les assemblages ont un comportement intermédiaire (semi –articulés, semi- encastrés).

Les articulations, réalisées par boulonnage, n'ont pas l'apparence d'articulations classiques. Le critère caractéristique réside en fait dans la flexibilité à proximité n œud. C'est pourquoi la nouvelle classification qui tient compte du comportement réel des assemblages définis trois caractéristiques principales suivantes :

**Rigidité**

**Moment résistant**

**Capacité de rotation (ductilité)**



**Figure I-12 Représente le diagramme de comportement d'assemblage**

En fonction de ces caractéristiques on classe les assemblages en :

**Assemblage du type articulé**

**Assemblage semi-rigide**

**Assemblage rigide**

**I-8 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 où 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.

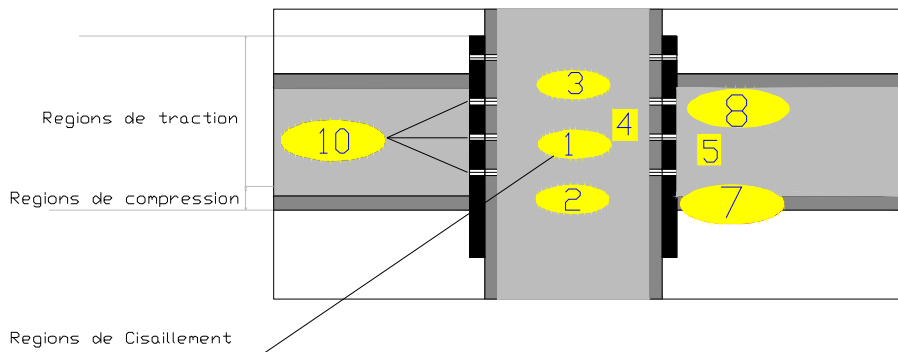
Les assemblages peuvent être considérés comme autant de "talons d'Achille" dans une structure, et les anciens ont coutume de dire qu'une charpente Sous dimensionnée , mais correctement assemblée , est préférable a une charpente correctement dimensionnée , mais mal assemblée .dans le premier cas , la 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 [8].

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 crée d'efforts ou de moments secondaires parasites.

### ***I.9 -DESCRIPTION D'UN ASSEMBLAGE POUTRE -POTEAU BOULONNE PAR PLATINE D'EXTREMITE.***

Les assemblages les plus importants qui méritent une attention particulière sont les assemblages poutre- poteau, ceux boulonnés avec platine d 'extrémité ont retenus notre attention, ils présentent une certaine complexité et ils sont d 'un usage très répondu par rapport à d 'autre forme anglo-saxonne (boulonnés avec des cornières) ou soudés .La **figure I.3** représente ce type d 'assemblage avec les zones critiques qui peuvent se développées sous différentes sollicitations.







**Figure I-12 Représente les zones critiques d'assemblage**

### ***1.10 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'où les méthodes avancées de calcul qui considère l'assemblage comme un élément séparé. C'est ainsi que nous avons souhaité étudier les assemblages métalliques de type poutre- poteau en détail .La caractérisation du comportement de ces derniers par la mise au point d'un logiciel de calcul, constituera l'objectif principal de notre travail.

### ***1.11 OBJECTIFS DU TRAVAIL.***

D'une manière plus précise, les objectifs de notre travail seront les suivants :

-  Dans le **deuxième chapitre** on fera l'état de connaissance des travaux et modèles théoriques réalisés à travers le monde pour l'étude et la caractérisation du comportement des assemblages métalliques de type poutre- poteau boulonné par platine d'extrémité.
-  Le **troisième chapitre** à comme objectif la présentation des méthodes analytiques utilisées pour le calcul et la vérification des assemblages dans les constructions métalliques à savoir : l'ancienne méthode donnée par la norme **NF P22460** et la nouvelle méthode dite « **la méthodes des composantes** » proposée par l'**Eurocode-3** dans son **annexe J** pour les deux types de configurations d'assemblage retenus qui sont:
  1. assemblage type **poutre- poteau** boulonné avec platine d'extrémité non débordante.
  2. assemblage type **poutre- poteau** boulonné avec platine d'extrémité débordante.  
Où il sera discuté des limites et des avantages respectifs des deux méthodes.
-  En fin le **quatrième chapitre** à comme objectif l'élaboration d'un logiciel de calcul en utilisant un langage de programmation **Delphi-7**. Ce logiciel nous permettra le calcul rapide soit par :
-  La norme **NF P 22460**

■ La méthode des composantes de l'**Eurocode-3 annexe J**, les caractéristiques ( $M_{j.rd}, S_{j.int}$ ) d'un nombre important d'assemblages. Les résultats de ces calculs seront utilisés pour conduire une étude paramétrique afin de déterminer les paramètres les plus influents sur le comportement et la résistance de ces derniers.

# CHAPITRE II



## **CHAPITRE II**

### **ETAT DE CONNAISSANCE SUR LES ASSEMBLAGES BOULONNEES PAR PLATINES D'EXTREMITES**

#### **II.1 - INTRODUCTION**

Cette partie est consacrée aux différentes recherches existant dans la littérature étudiant les assemblages métallique 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.

#### **II.2 RECHERCHES EFFECTUEES SUR LE COMPORTEMENT D'ASSEMBLAGE BOULONNE [10].**

La méthode de calcul pour les assemblages métalliques conçu 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 aussi 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 [ ].

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 à commencer aux (U.S.A) présentée dans AISC « manual of steel construction (1994) » pour le calcul des assemblages métalliques raidis avec platine d'extrémité réalisée par 4 boulons ou par 8 boulons.

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 avec 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.2-1 QUELQUES RECHERCHES BASEES SUR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS**

#### **II.2-1 -1 KRIHNAMURTHY et GRADY (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 la platine et la semelle rigide. Puisque tout simplement les algorithmes de calcul du contact n'étaient pas disponibles à l'époque et le concepteur utilise des ressorts aux endroits de contact, donc ( **boulon = ressort** )

#### **II.2-1 -2 BIRSI et LEONELLI (1994)**

La poutre et la platine sont modélisées par 20 nœuds, **le contact platine et semelle poteau** utilise ont été représentés par un nouveau élément poutre à été utilisé pour modéliser les boulons soigneusement serrés et la semelle du poteau est considérée rigide.

La relation moment –rotation peut être déterminée par la formule suivante.

$$M = \frac{(K_{e.th} - K_{p.th})\Phi}{\left[ 1 + \left[ \frac{(K_{e.th} - K_{p.th})}{M_{p.th} \left(1 - \frac{K_{p.th}}{K_{e.th}}\right)} \right]^n \right]^{\frac{1}{n}}} + K_{p.th} \Phi \quad \dots\dots (II-1)$$

Avec:

$n$  : facteur de forme

$K_{e.th}$  : est la rigidité élastique de l'assemblage.

$K_{p.th}$  : est la rigidité non élastique de l'assemblage.

$M_{p.th}$  : est le moment plastique de rupture de l'assemblage.

$M_{u.th}$  : est le moment ultime de l'assemblage.

Conclusion : **(Boulon = élément poutre)**

### **II.2-1 -3 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 tendus et le modèle utilisé est bi- dimensionnel.

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

### **II.2-1 -4 BURSI et JASPART (1997)**

BURSI et JASPART récapitule l'investigation de la 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 utilisés 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 des deux corps.

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

### **II.2-1 -5 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 tri – dimensionnel 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.

La courbe moment- rotation produit par le modèle d'E.F est semblable à celle de l'expérimentale.

Le rôle joué par la résistance de la semelle du poteau à provoquer 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 la M.E.F.

Dans la deuxième partie de l'étude ils ont utilisés la relation moment –rotation présentée ci – dessous pour décrire le comportement des assemblages d'extrémité par 4 boulons :

$$M = \frac{(K_i - K_p)\phi}{\left[ 1 + \left[ \frac{K_i - K_p}{M_0} \right]^n \right]^{(n+1)}} + K_p \phi \quad \dots\dots \text{(II-2)}$$

$K_i$  : est la rigidité élastique de l'assemblage.

$K_p$  : est la rigidité non élastique de l'assemblage.

$M_p$  : est le moment plastique de rupture de l'assemblage.

$M_0$  : est le moment de référence de l'assemblage.

## II-2-2 QUELQUES RECHERCHES BASEES SUR L'EXPERIMENTALE

### II-2-2-1 R.DELESUES (1972) [5]:

L'objectif de cette recherche est d'établir des règles pratiques de vérification de l'assemblage et de dimensionnement.

La méthode de calcul proposée pour les assemblages boulonnés par platine d'extrémité sollicités en traction ou en flexion.

Pour la traction, il suffit d'additionner les résistances locales de la platine au droit des différents boulons, déterminées ci-dessous.

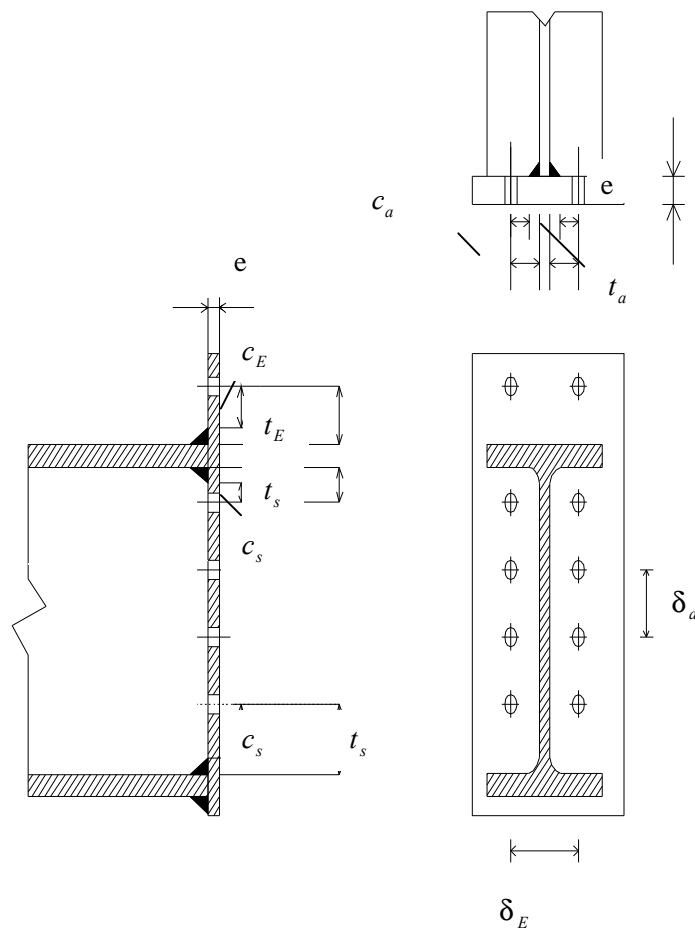


Figure II-1 Représente la configuration d'assemblage traité les notations utilisés

#### **Boulons extérieurs (E) :**

Ce sont les boulons situés à l'extérieur de la poutrelle, au-delà d'une des semelles.

La résistance de la platine au droit de chacun des boulons E:

$$F = 375e \frac{t_E}{c_E} \frac{\delta_E}{\delta_E + t_E} \quad (\text{II-3})$$

### **Boulons centraux (C)**

Ce sont les boulons situés de part et d'autre de l'âme, à l'exception de ceux qui sont immédiatement au voisinage des semelles.

La résistance de la platine au droit de chacun des boulons : C

$$F = 375e \frac{t_a}{c_a} \frac{\delta_a}{\delta_a + t_a} \quad (\text{II-4})$$

### **Boulons d'angle intérieur ( $A_E$ ou $A_0$ )**

Si la platine est prolongée au-delà de la semelle de la poutre et y est attachée par des boulons extérieurs E, on peut considérer que ses liaisons avec la semelle ainsi que l'âme constituent des encastresments parfaits, on admet donc comme résistance de la platine au droit de ces boulons  $A_0$  :

$$F = 375e \left( \frac{t_a}{c_a} + \frac{t_s}{c_s} \right) \quad (\text{II-5})$$

Pour le cas de flexion l'auteur propose la méthode de calcul suivante. Pour tous les boulons, autres que les plus voisins de la semelle comprimée, on calcule la résistance locale de la platine par les formules précédentes. Toutefois, on limite cette valeur:

- soit à la traction admissible par boulon ( 80% du produit de sa limite d'élasticité par la section résistante  $A_r$  de sa partie filetée);

- soit à la moitié de la traction admissible par la longueur d'âme attachée par le couple de boulons centraux, soit  $0.5\sigma_e e_a \delta_a$  ( avec  $\sigma_e$  = limite d'élasticité de l'acier de l'âme ,  $e_a$  = épaisseur de l'âme,  $\delta_a$  =distance entre axes des boulons mesurée parallèlement à l'âme );

On admet comme moment résistant de l'assemblage la somme des produits de la distance de chaque boulon à la force intérieure de la semelle comprimée par la résistance locale ainsi calculée ( et éventuellement limitée).

Compte tenu du mode de détermination des résistances locales de la platine, le moment ainsi calculé pas le moment résistant maximal de l'assemblage, mais un moment limité à l'apparition de grandes déformations.

L'application de cette méthode exige l'application d'abord d'un pré- dimensionnement qui réduit les tâtonnements nécessaires.

Donc pour l'application de la méthode il faut déjà avoir l'épaisseur de la platine, diamètre et la qualité des boulons ainsi que leur nombre et leur disposition.

On connaît le moment M que doit supporter l'assemblage. On choisit a priori le nombre n de boulons qu'on envisage de placer sur chaque file de part et d'autre de l'âme, entre les semelles.

Les deux boulons d'angles intérieurs de côté tendu auront alors à résister à un moment  $\alpha M$  avec:

$$\alpha = \frac{9.2 + n}{8 + 4n} \quad \text{(II-6)} \quad \text{si on peut disposer de boulons extérieurs.}$$

$$\alpha = \frac{38 + n}{20 + 10n} \quad \text{(II-7)} \quad \text{s'il n'y pas de boulons extérieurs.}$$

Pour les assemblages avec rangées extérieur

n	$\alpha$
2	0.7
3	0.61
4	0.55
5	0.508
6	0.475
7	0.45
8	0.43
9	0.414
10	0.4

(Tableau II-1) Représente les valeurs de Alpha pour les assemblages avec rangée des boulons extérieurs

Pour les assemblages sans ragées extérieur

n	$\alpha$
2	1
3	0.821
4	0.7
5	0.615
6	0.55
7	0.5
8	0.46
9	0.427
10	0.4

(Tableau II-2) ) Représente les valeurs de Alpha pour les assemblages sans rangée des boulons extérieurs

En admettant pour ces boulons un bras de levier égal à la 9/10 de la distance entre faces intérieures des semelles, on obtient pour chacun un effort

$$F = \frac{\alpha M}{1.8(h - 2e_s)} \quad \text{(II-8)}$$

Ceci permet de choisir le diamètre des boulons à utiliser.

Après le choix de disposition en peut déterminer l'épaisseur de la platine

$$e = \frac{F}{375\left(\frac{t_a}{c_a} + \frac{t_s}{c_s}\right)} \quad \text{(II-9)} \quad \text{s'il est prévu des boulons extérieurs.}$$

$$e = \frac{F}{375\left(\frac{t_a}{c_a} + \frac{t_s}{2c_s}\right)} \quad \text{(II-10)} \quad \text{s'il est n'a pas de boulons extérieurs.}$$



**II-2-2 -2 D.KHALILI (1972) [4]:**

Cette recherche basé sur les résultats expérimentaux a pour but d'avoir quelque hypothèse simplificatrices permettant d'aboutir à une méthode de calcul simple à appliquer donnant avec une sécurité suffisante des efforts dans les boulons et les plaques (semelle poteau et platine d'extrémité).

L'auteur utilise la méthode des poutres croisées comme passage à sa modélisation.

**Règle de calcul simple :**

Dans le cas d'un assemblage en traction et lorsque les plaques ont une rigidité flexionnelle homogène et que la distribution des boulons s'obtient normalement, nous avuons:

$$F = \frac{F_{ext}}{n} \tag{II-11}$$

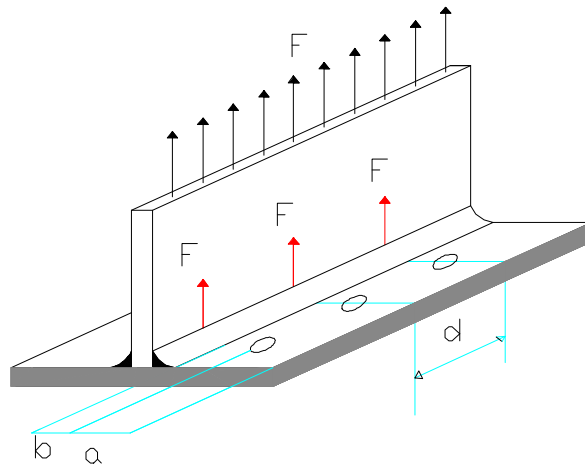
Avec

$F_{ext}$  : Charge extérieure totale.

$F$  : effort extérieur encaissé par les boulons.

$n$  : Nombre total de boulons

Ceci s'applique, par exemple, à un tronçon en **T** assemblé par des boulons disposés symétriquement de part et d'autre de l'âme. Dans le cas du tronçon en **I**, l'effort par boulon n'est pas plus le même, l'auteur propose le calcul suivant.

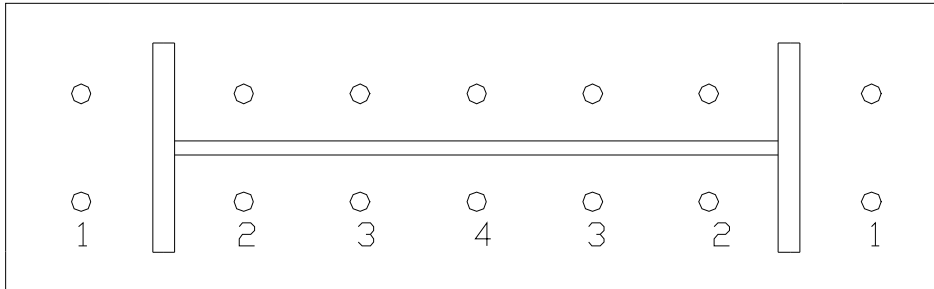


**Figure II-2 représente le tronçon en Té**

Soit un assemblage dont la répartition des boulons est celle de la de la figure II-3

On obtient les efforts appliqués aux boulons de la manière suivante

- l'effort de traction venant de l'âme se répartit sur les deux rangées intérieures à n boulons chacune (N° 2, 3 et 4).
- L'effort de traction venant de la semelle se répartit sur les boulons de part et d'autre de la semelle (N° 1. et 2)



**Figure II-3 : Présente la numérotation des rangées**

Si  $F_a$  est la force transmise par l'âme et  $F_s$  la force transmise par les semelles, on peut écrire:

$$F_1 = \frac{F_s}{8} \quad \text{(II-12)}$$

$$F_3 = F_4 = \frac{F_a}{10} \quad \text{(II-13)}$$

$$F_2 = \frac{F_s}{8} + \frac{F_a}{10} \quad \text{(II-14)}$$

il est à noter que  $F_1, F_2, F_3, \dots$  etc. représentent l'effort extérieur à appliquer à chaque boulon, tandis que l'effort dans le boulon s'écrit:

$$N = N_0 + (F_i + Q) \frac{A_B}{A_B + A_p} \leq 0.8\sigma_e A_r \quad \text{(II-15)}$$

(i = 1,2,3,.....)

Ou:

$$N = N_0 + F(1+\eta)\frac{1}{6} \quad \text{(II-16)}$$

Pour déterminer  $\eta$ , on utilise la formule ci-après:

$$\eta = \frac{\frac{1}{6} - R}{S + R} \quad \text{(II-17)}$$

Avec :

$$R = \frac{d(a+b)t^4}{72a^2b^2} \quad \text{(II-18)}$$

$$S = \frac{a(a+4b)}{12b^2} \quad \text{(II-19)}$$

Cependant cette formule est valable pour le premier cas (trouçon en T). Mais pour un trouçon en I assemblé par boulons HR, on pourra supposer que  $F_1 = F_2$  et la semelle de la poteau sera considérée comme un trouçon en T.

Si l'épaisseur de la plaque a été donnée, on vérifie l'équation suivante:

$$t = \sqrt[4]{\frac{3a^2b^2(A_B + A_p)}{d(a+b)}} \quad \text{(II-20)}$$

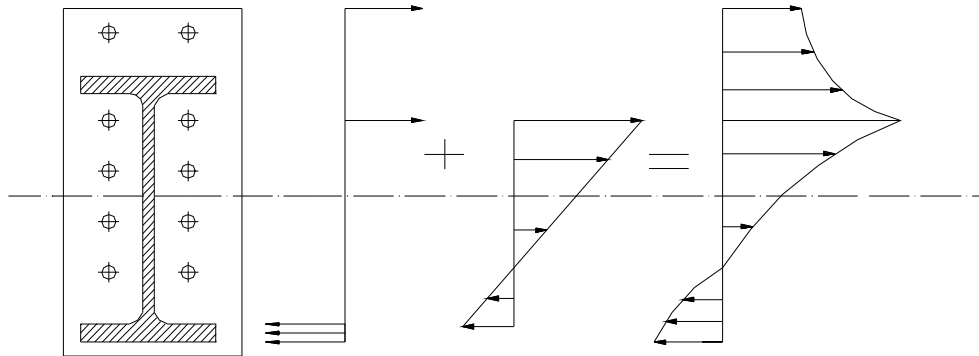
Alors  $\eta$  devient nul. L'effort extérieur provoquant la disparition des prés serrage des plaques est:

$$F_s = N_0 \left(1 + \frac{A_B}{A_p}\right) \approx 1.16N_0 \quad \text{(II-21)}$$

Donc F doit rester inférieur à  $F_s$ .

### **Cas d'assemblage en flexion**

Les efforts provenant de la poutre dans la partie tendue sont répartis entre les boulons par l'intermédiaire de la plaque selon la (figure II-4). Dans la partie comprimée les efforts de comprissions se répartissent dans la plaque par l'âme et la semelle de la poutre à travers les cordons de soudure qui lient la plaque au profil, selon les droites de pente 1.



**Figure II-4 Présente la répartition des efforts.**

On rappellera que si le joint est calculé dans le domaine élastique ou si on admet une adaptation plastique, le calcul est différent.

**-Calcul en élastique:**

On se donne d'abord une valeur  $h_c = 0.2H$  c'est -à- dire qu'on suppose que l'axe neutre se rapproche de la pièce extrême comprimée, d'une distance égale à 20% de la hauteur de la poutre.

L'aire comprimée est alors :

$$A_{comp} = (A_{c1} + A_{c2}) \tag{II-22}$$

$$A_{c1} = (b - e_a)(e_s + 2a + 2t) \tag{II-23}$$

$$A_{c2} = h_c (e_a + 2a + 2r) \tag{II-24}$$

$e_a$  Et  $e_s$  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)

Soit  $\sigma_c$  la contrainte admissible de la compression de la plaque.

En admettant une répartition linéaire des contraintes de compression dans l'âme de la poutre, l'effort de compression appliqué au joint est égale à:

$$F_c = \sigma_c \left( A_{c1} + \frac{1}{2} A_{c2} \right) \quad (\text{II-25})$$

Les efforts provenant de la partie tendue de la poutre sont encaissés par les boulons.

**Calcul des efforts dans les boulons:**

**Boulon tiré à l'extérieur de la semelle tendue:**

En supposant que les quatre boulons tendus se comportent identiquement; nous avons:

$$b'.m = F_{ts} \cdot \frac{d'}{2} \quad (\text{II-26})$$

**Avec**

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

$F_{ts}$  : effort appliqué sur la semelle tendue

$$d' = \frac{1}{2}(d - D_r) \quad (\text{II-27})$$

$D_r$  : Diamètre de rondelle

$$m = \frac{\sigma_p \cdot t^2}{6} \quad (\text{II-28})$$

$\sigma_p$  : Contrainte admissible de traction de la plaque

$$F_4 = \frac{4}{6} \sigma_p t^2 \frac{d'}{b'} \quad (\text{II-29})$$

D'où l'effort dans chacun des boulons extérieurs égale à:

$$N_5 = \frac{1}{6} \sigma_p t^2 \frac{d'}{b'} \quad (\text{II-30})$$

Les Boulons intermédiaire prennent une charge bien intérieure que ces derniers et ce fait nous n'avons pratiquement pas besoin de les vérifier (pour des raisons constrictives). Cependant, en supposant que l'intensité de tension dans l'âme (répartie linéairement) est proportionnelle à sa distance de l'axe neutre, on calcule les boulons supportent les efforts provenant de l'âme) Figure II-

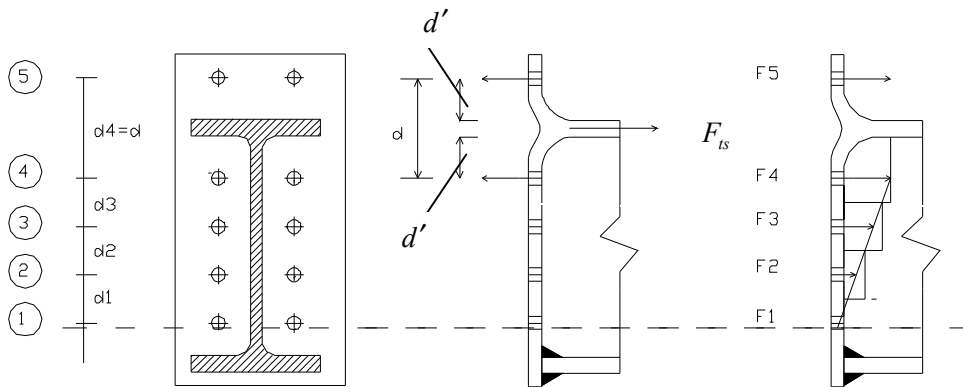


Figure II-5 Présente la répartition des effort dans les boulons

Boulon situé à l'intérieur immédiatement près de la semelle tendue:  
 Ces boulons, représentés par le N°3 sur la figure II-5, prennent à la fois l'effort provenant de l'âme ( $F_3$ ) et celui des boulons extérieurs ( $N_5$ ). Par conséquent, nous avons:

$$N_4 = F_4 + N_5 \quad \text{(II-31)}$$

La position de l'axe neutre sera vérifiée si cela est nécessaire en écrivant les équations d'équilibre des forces statiques.

$$M = \sum_n N_i \cdot Y_i \quad \text{(II-32)}$$

Et l'équilibre des efforts est égale à :

$$\sum X = 0 \quad \text{(II-33)}$$

$$F_c = \sum_n N_i \quad \text{(II-34)}$$

Calcul du joint en plasticité:

Dans une structure calculée en plasticité, les assemblages peuvent être calculée selon deux façons:

- 1- l'assemblage reste dans le domaine élastique et les rotules plastiques se forment non pas au voisinage immédiat du joint mais dans les barres. Dans ce cas il suffit de calculer l'assemblage pour les charges maximale que les barres peuvent supporter (dans le cas de flexion, prendre  $M_p$  comme moment appliqué ou la valeur  $F_{ts} = b \cdot e_s$ ).
- 2- Les éléments de l'assemblage se plastifient en même temps que les barres .c'est à dire que la rotule plastique se produit dans l'ensemble de joint.

La méthode énoncée ci-dessus serait modifiée en conséquence par:

- a)- l'effort dans la partie comprimée de la plaque:

$$F_c = \sigma_c (A_{c1} + A_{c2}) \quad (\text{II-35})$$

b)- l'effort dans les boulons.

**Effort provenant de la semelle tendue:**

$$F_{ts} = \sigma_e \cdot b \cdot e_s \quad (\text{II-36})$$

La plaque doit résister à cet effort:

$m_p = \frac{\sigma_e t^2}{4}$  Moment plastique unitaire de la plaque.

$$b' \cdot m = \frac{F_{ts}}{2} \frac{d'}{2} \quad (\text{II-37})$$

Donc

$$F_{ts} = \sigma_p t^2 \frac{d'}{b'} \quad (\text{II-38})$$

**Effort provenant de la l'âme:**

$F_{ta} = h_t e_a \sigma_e$  Est supposé pris par les boulons situés à l'intérieur des semelle par l'intermédiaire de la plaque:

$$F_{ta} = \sigma_p t^2 \cdot \frac{h_t}{c} \quad (\text{II-39})$$

c : étant la distance de la ligne de trusquinage des boulons a proximité du cordon du soudure. Par conséquent:

- l'effort appliqué aux boulons le long de l'âme ( N ° 2,3, figure II-5 )

$$N_i = \frac{F_{ta}}{n} \quad (\text{II-40})$$

( i= 2,3 et n= 3 pour notre exemple).

- l'effort appliqué dans les boulons extérieurs ( N ° 5 Figure II-)

$$N_i = \frac{F_{ts}}{4} (1 + \eta) \quad (\text{II-41})$$

$\eta$  : étant le coefficient de soulèvement dû à l'effet de levier agissant sur les bords transversaux intérieurs de la plaque.

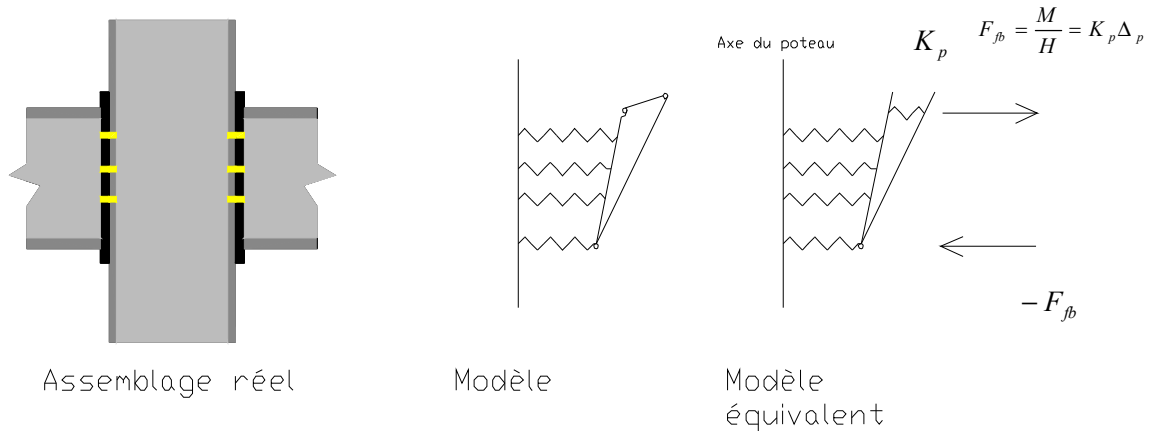
- l'effort appliqué à l'intérieur des boulons au voisinage immédiat de la semelle tendue (N ° 4 Figure II-5)

$$N_5 = N_4 + N_i \quad (\text{II-42})$$

**II -2- 3 METHODE ANALYTIQUE BASEE SUR UN MODELE MECANIQUE A RESSORT.**

**II -2- 3-1 J.M.ARIBERT, A. LACHAL et D.N.DINGA 1999:**

Cette recherche est base sur le modèle suivant.



**Figure II-6 Modélisation de l'assemblage modèle de J.M.ARIBERT,A.LACHAL et D.N.DINGA .**

Ce modèle utilisant un ressort au niveau de chaque rangées de boulons .ceci 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 composante.

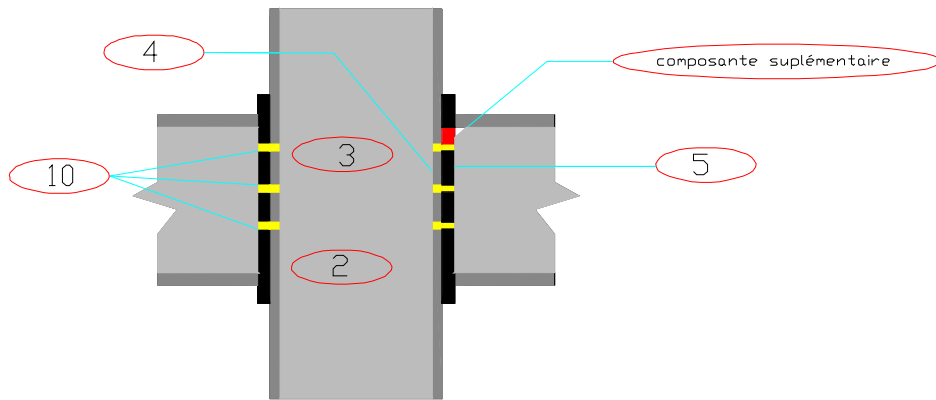
Ensuite, en introduisant la déformation de la partie de la platine située entre la première rangée et la semelle tendue de la poutre comme un composant supplémentaire.

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 aux semelle du poteau (assemblage d'axe majeure).
- On admet que l'assemblage résulte de l'association de composants dont le comportement est simulé par des ressorts.

Ces composantes sont





Figure

II-7 Composantes selon le modèle de J.M.ARIBERT, A.LACHAL et D.N.DINGA.

### II -2- 3 -2 MODELE DE L'EUROCODE-3

Le modèle mécanique simplifié présenté par l'Eurocode3 est basé sur le modèle présenté par TSCHEMMERNEGG [1]

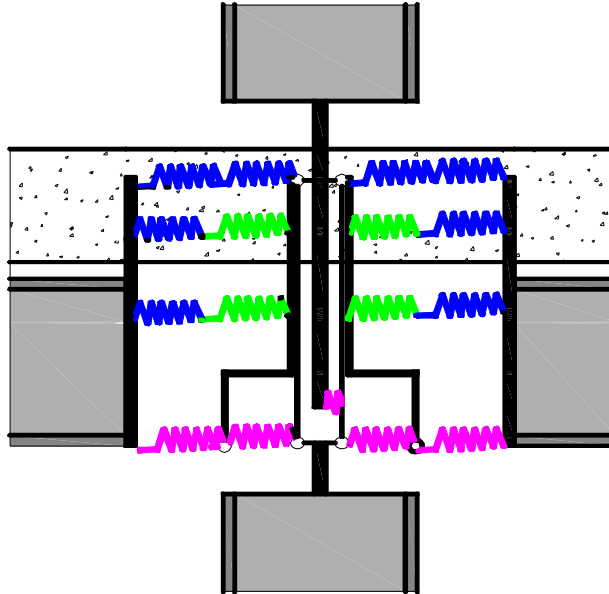


Figure II-8 présenté le modèle de TSCHEMMERNEGG

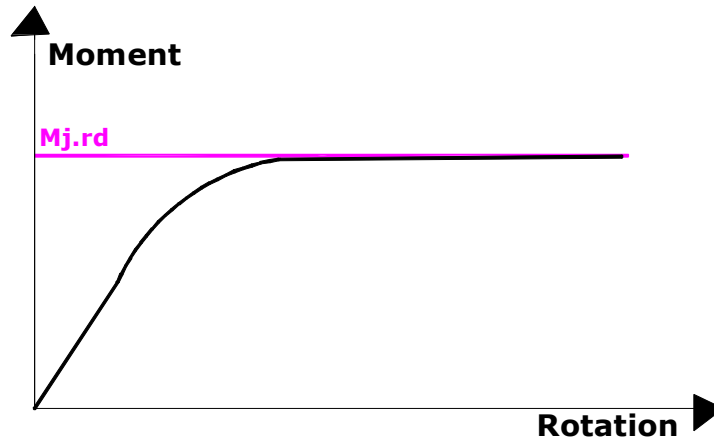
Dans ce modèle de calcul présenté par l'eurocode-3, le comportement des assemblages est considéré à travers trois caractéristiques clés suivantes :

-Le moment résistant de calcul  $M_{j,Rd}$

-La rigidité initial en rotation  $S_{j.ini}$  -La capacité de rotation de calcul  $\phi_{cd}$

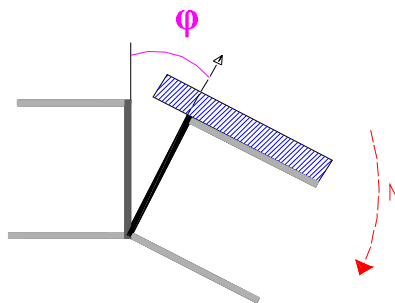
**A)- le moment résistant de l'assemblage  $M_{j.Rd}$**

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



**Figure II- 9: Le moment résistant de calcul  $M_{j.rd}$ .**

**B) – rigidité initiale en rotation  $S_{j.ini}$**



**Figure II- 10: rotation d'un assemblage mixte sous un chargement symétrique**

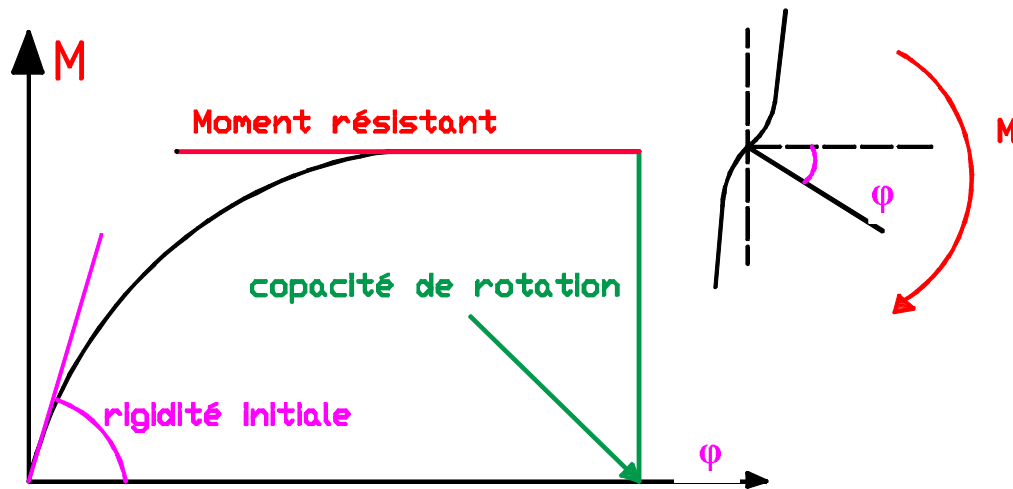


Figure II-11: Comportement d'un assemblage

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 de l'assemblage (la variation angulaire entre les fibres moyennes du poteau et de la partie attachée), donc

$$S_{j,ini} = \frac{M_{j,Rd}}{\phi_j} \quad (II-43)$$

Telle que  $S_{j,ini}$  = c'est la rigidité initiale

### C)-la capacité en rotation

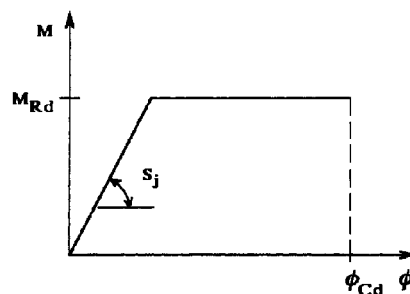
Un autre point à prendre en considération concerne l'aptitude de l'assemblage à rester cohérent et à accepter les rotations imposées sans rupture, telles la capacité de rotation :

$$\Phi_{cd} = \frac{M_{j,Rd}}{S_j} \quad (II-44)$$

$M_{j,Rd}$  : Moment résistant de calcul

$\Phi_{cd}$  : Capacité de rotation de calcul

$S_j$  : Rigidité en rotation



**Figure II-12: propriétés caractéristiques d'une courbe moment - rotation d'un assemblage poutre - poteau**

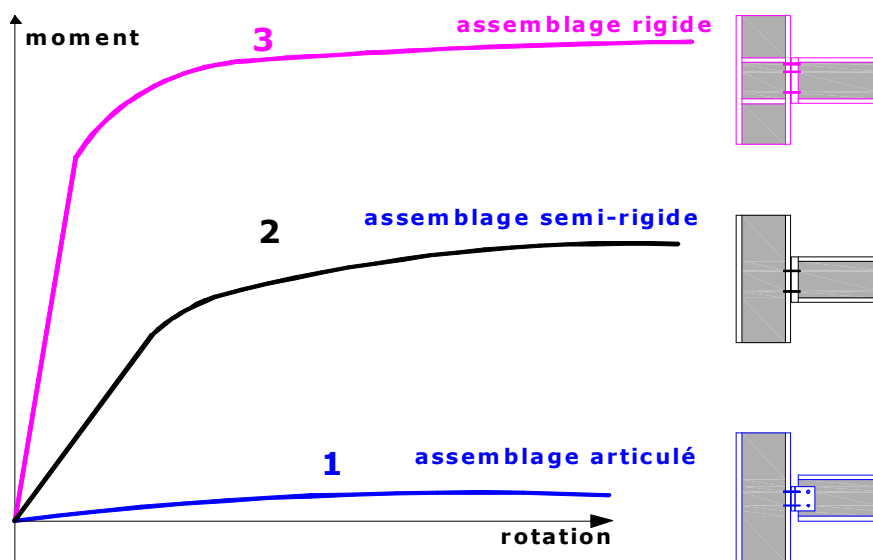
- la capacité de rotation de calcul  $\theta_{Cd}$  d'un assemblage poutre- poteau doit être prise égale à la rotation atteinte au stade du moment résistant de calcul de l'assemblage [2].

$$\theta_{Cd} = \frac{M_{j.Rd}}{S_j} \quad (\text{II-45})$$

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

#### D) Classification des assemblages poutre – poteau

Les courbes de comportement ( $M - \phi$ ) des assemblages peuvent être ramenées à trois grandes catégories représentées sur la figure (II-13). Pour chaque catégorie de comportement ( $M - \phi$ ) est associée à la conception de l'assemblage correspondante.



**Figure II-13 : Classification des assemblages**

La courbe (1) représente le cas d'un assemblage articulé qui ne possède pas de rigidité à la flexion. La courbe (2) correspond à un assemblage semi-rigide où la transmission d'un certain moment de flexion est possible avec une rigidité moyenne. La courbe (3) correspond à un assemblage rigide capable de transmettre un moment de flexion important pour une faible rotation.

La prEN 1993-1.8 [1] propose un système de classification basé sur la résistance ( $M_{j.rd}$ ) et la rigidité ( $S_{j.ini}$ ) de l'assemblage.

**D-1)- Classification par résistance**

Les assemblages sont classés comme suit :

- Assemblage pleinement résistant au sommet d'un poteau si :

$$M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd}$$

Et

$$M_{j,Rd} \geq M_{c,pl,Rd}$$

Où  $M_{j,Rd}$  : le moment résistant de l'assemblage.

$M_{b,pl,Rd}$  : moment plastique de calcul de la poutre en flexion négative.

$M_{c,pl,Rd}$  : moment plastique résistant de calcul du poteau

- Assemblage est pleinement résistant le long d'un poteau si :

$$M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd}$$

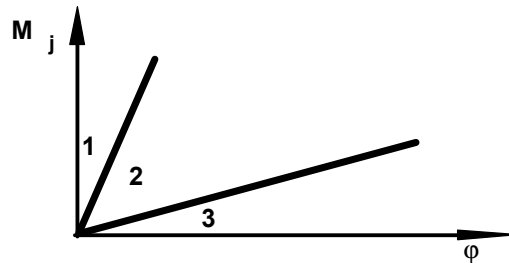
$$M_{j,Rd} \geq 2M_{c,pl,Rd}$$

- Assemblage est articule si :

$M_{j,Rd}$  est plus faible que 25% de moment résistant requis pour avoir un assemblage pleinement résistant.

**D-2)- Classification par rigidité en rotation**

La classification de la prEN 1993-1-8 [1] compare la rigidité de l'assemblage avec celle du membre assemblé.



**Figure II- 14 : Classification des assemblages poutre- poteau par rigidité**

**Zone 1** : si  $S_{j.ini} \geq 8 \frac{EI_b}{L_b}$  → Assemblage rigide

**Zone 2** : si  $0,5 \frac{EI_b}{L_b} < S_{j.ini} < 8 \frac{EI_b}{L_b}$  → Assemblage semi rigide

**Zone 3** : si  $S_{j.ini} \leq 0,5 \frac{EI_b}{L_b}$  → Assemblage articulé

Avec :  $EI_b$  : rigidité flexionnelle de section de poutre.

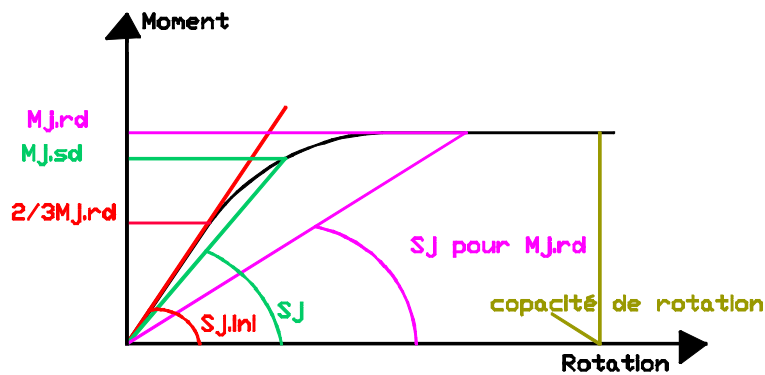
$L_b$  : portée de la poutre (distance entre centres des poteaux).

-A fin de permettre un calcul linéaire (plus simple), La courbe de comportement non linéaire doit être idéalisée.

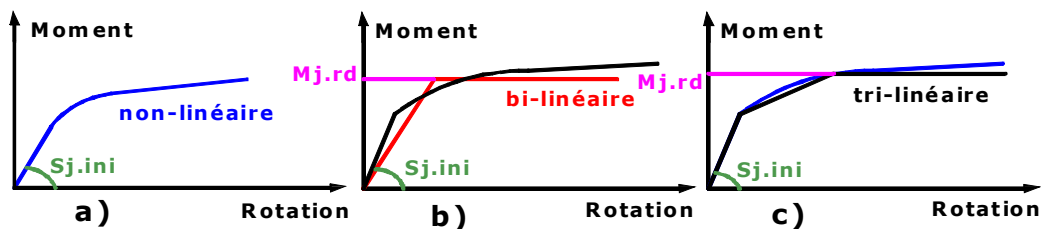
**E)- Idéalisations de la courbe de comportement (M-φ) selon l'EC-3**

La courbe de comportement M- φ non linéaire donnée par la pr EN 1993-1-8 [1] comprend trois parties :

- de 0 à  $2/3 M_{j,Rd}$  → courbe élastique linéaire.
- $2/3 M_{j,Rd}$  à  $M_{j,Rd}$  → la courbe est non linéaire.
- à  $M_{j,Rd}$  → un plateau plastique.
- L'extrémité de cette courbe M-φ définit la capacité de rotation  $\phi_{CD}$  de l'assemblage.



**Figure II- 15 : Courbe M- φ non- linéaire**



**Figure II-16: Idéalisations des courbes.**

La prEN1993-1-8 [1] propose les trois possibilités d'idéalisation présentées dans la figure ( II-16). La courbe (a) correspond au comportement M- φ réel des assemblages. Ce pendant, l'utilisation de ces courbes non-linéaire demande des programmes d'analyse de structures sophistiqués [3]. Afin

de permettre un calcul linéaire (plus simple) c'est-à-dire une analyse élastique globale de structure, la courbe non-linéaire peut être simplifiée à l'aide de lignes droites (courbe b ou c) telle que la courbe simplifiée se situe toujours sous la courbe non -linéaire (coté de la sécurité).

- La rigidité idéalisée  $S_j^*$  de la courbe bi-linéaire est obtenue on divisant  $S_{j.ini}$  par un facteur de modification  $\eta$  [2].

$$S_j^* = S_{j.ini} / \eta \quad (\text{II-46})$$

- Comme le comportement des assemblages influence celui de la structure, d'où le choix de l'analyse globale de la structure est lié à la classification de ses assemblages.

**F)- ANALYSE GLOBALE DE LA STRUCTURE**

-Puisque le comportement des structures est lié au comportement des assemblages le tableau ci-dessous montre les différents modes d'analyse globales possibles dans les constructions métalliques en fonction de la classification des assemblages.

Méthode d'analyse globale	Classification de l'assemblage		
élastique	articulé	Rigide	semi-rigide
rigide-plastique	articulé	pleinement résistant	partiellement résistant
Elastique-plastique	articulé	rigide et pleinement résistant	semi-rigide et partiellement résistant
			semi-rigide et pleinement résistant
			rigide et partiellement résistant
Type de modélisation de l'assemblage	simple	Continu	Semi-Continu

**Tableau II-3 : Types de modélisation d'assemblages**

- Le tableau II-3 montre les relations entre les différents types de modélisation d'assemblage, leur classification et les méthodes d'analyse globale



### ***II.3 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.

-Les recherches qui traitent les assemblages avec la M.E.F sont limitées généralement à des éléments finis simples (élément poutre par exemple) et à des assemblages où le comportement est relativement bien compris et la simplicité de la modélisation est évidente. L'EUROCODE-3 présente la méthode des composantes avec son modèle raffiné 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  $M_{j,Rd}$ .
- -La rigidité initial en rotation  $S_{j,ini}$ .
- -La capacité de rotation de calcul  $\phi_{cd}$ .

Dans Le chapitre suivant sera détaillée la proche analytique basée sur ce modèle de L'EC 3 et appliquée à des configurations différentes d'assemblage poteau\_ poutre boulonné par platine d'extrémité.



# CHAPITRE III

## **CHAPITRE III**

### **METHODES ANALYTIQUES DE CARACTERISATION D'ASSEMBLAGE BOULONNE PAR PLATINE D'EXTREMITE SELON : LA NORME NF P 22460 (ancienne) ET L'EUROCODE-3 (nouvelle)**

#### **III-1 INTRODUCTION**

Après la présentation de l'état de connaissances sur le comportement et la caractérisation des assemblages boulonnés par platine d'extrémité dans le chapitre précédent .Ce chapitre **III** reprend en détail l'ancienne méthode de caractérisation, de ces derniers, donnée par la **norme NFP 22460** et la nouvelle méthode dite « **méthode des composantes** » présentée par **L'EUROCODE -3** ainsi que leurs applications sur les types d'assemblages suivants :

-  Assemblage boulonné avec platine d'extrémité sans rangée de boulons extérieurs.
-  Assemblage boulonné avec platine d'extrémité avec rangée de boulons extérieurs.

Une analyse critique des deux approches nous permettra de soulever les limites de l'une et les avantages ainsi que la complexité de mise en œuvre de l'autre.

#### **III.2 METHODES ANALYTIQUES DE LA CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES.**

##### **III.2.1 LA NORME NF P22460**

L'application de la norme **NFP 22 460 [ 7 ]** Pour la caractérisation d'assemblage poutre – poteau boulonné par platine d'extrémité ne peut être envisagée pour n'importe quel assemblage de ce genre, mais doit obéir à certaines recommandations.

### **III.2.1.1 RECOMMANDATIONS POUR L'APPLICATION DE LA NORME NF P22460**

- Les profils sont des I ou H symétriques, exclusivement laminés pour les poteaux.
- La hauteur totale de la poutre est limitée à 600 mm pour l'assemblage par platine d'extrémité sans rangée de boulons extérieurs.
- La hauteur totale de la poutre est limitée à 1000 mm pour les assemblages par platine d'extrémité avec rangée de boulons extérieurs.

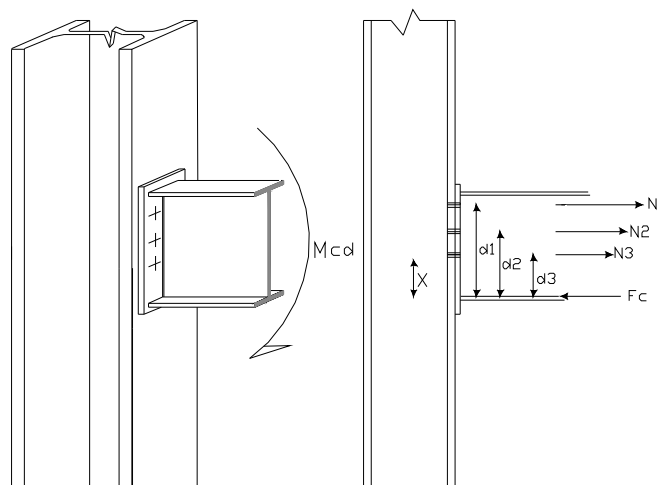
D'autres dispositions constructives sont à respecter tel que :

-La distance entre les files des boulons et celle entre les axes des boulons et les extrémités des pièces (les pinces longitudinales et transversales).

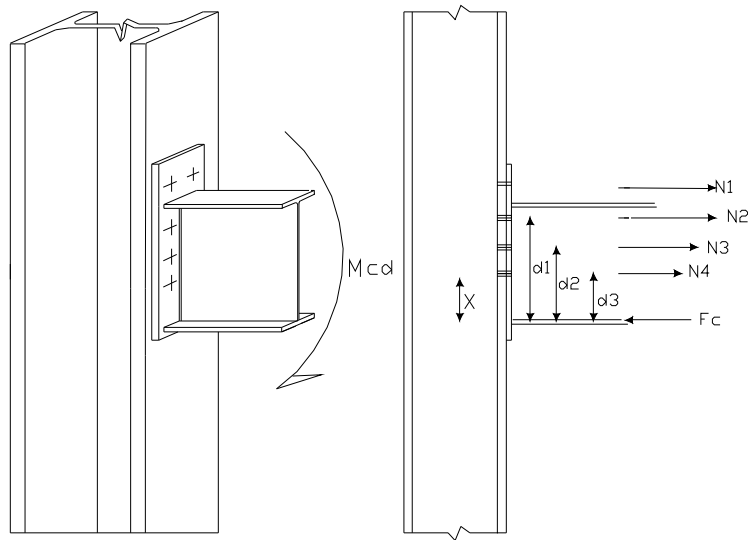
### **III.2.1.2 Procédure de détermination du moment résistant de l'assemblage $M_{rd}$ .**

La **figure III.1** représente un assemblage type entre une poutre et un poteau réalisé par des boulons disposés en de 2 files et trois rangées, ou plus, plus une platine d'extrémité (plaque d'acier) ayant la même nuance d'acier que celles des éléments assemblés avec (une épaisseur  $e_p$ , une largeur  $l_p$  et une hauteur  $L_p$ ).

La platine est soudée sur l'extrémité de la poutre par des cordons de soudure et l'ensemble est boulonné sur la semelle du poteau. Le tout est soumis à un moment fléchissant extérieur ( $M_{cd}$ ).



**Figure III-1 assemblage poteau poutre par platine d'extrémité sans rangée de boulons extérieurs**



**Figure III-2 assemblage poteau poutre par platine d'extrémité avec rangée de boulons extérieurs**

Dans les deux cas avec ou sans rangée de boulons extérieurs la procédure pour déterminer le moment résistant par la **norme 22460** est la même.

La résistance de l'assemblage exige que le moment résistant de celui-ci doive être supérieure ou égale au moment fléchissant extérieur.

$$M_{r,d} \geq M_{s,d} \quad \text{(III.1)}$$

Le moment résistant de l'assemblage  **$M_{r,d}$**  est défini comme le produit des efforts de traction  $N_i$  sollicitant les boulons qui se trouvent dans la partie tendue (définie par la distance  **$X$** ), par leurs distances respectives  **$d_i$**  (calculée entre l'axe du boulon et l'intrados de la semelle comprimée de la poutre)

$$M_{j,Rd} = \sum N_i d_i \quad \text{(III.2)}$$

**Condition N°01** :  $d_i \geq X$   
**(III.3)**

$$\text{Et } X = t_{fb} \sqrt{\frac{b_b}{t_{wb}}} \quad \text{( III.4)}$$

X : la hauteur de la partie comprimée

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

$b_b$  : Largueur de la semelle de la poutre.

$t_{wb}$  : Épaisseur de l'âme de la poutre.

**Condition N°02**  $\sum N_i \leq F_c$  **(III.5)**

Avec  $F_c = \min(A_{cb} f_{yb}, A_{cc} f_{yc})$  **(III.6)**

$A_{cb}$  : La surface de la partie comprimé de la poutre.

$A_{cc}$  : La surface de la partie comprimé du poteau.

$f_{yb}$  : La limite élastique de l'acier du poutre.

$f_{yc}$  : La limite élastique de l'acier du poteau.

$$A_{cb} = t_{fb} (b_b + \sqrt{b_b t_{wb}}) \quad \text{(III.7)}$$

$$A_{cc} = t_{wc} [t_{fb} + 2t_p + 5(t_{fc} + r_c)]. \quad \text{(III.8)}$$

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

$r_c$  : Congé âme semelle du poteau.

$t_{fc}$  : Épaisseur de la semelle du poteau

$t_{wb}$  Épaisseur de l'âme de la poutre.

$t_p$  : Épaisseur de la platine.

$N_i$  : La force de traction dans les boulons

La répartition des efforts dans les boulons se fait d'une manière linéaire (répartition élastique), la résistance à la traction de la première rangée est donnée par la formule suivante

**Condition N°3:**

Condition de non- plastification de l'âme comprimée du poteau

Il faut que

$$t_{wc} \geq t_{wc(\min)} = \frac{f_{yc}}{f_{yp}} * \frac{b_b t_{fb}}{A_{cc}} \quad \text{(III-19)}$$

Avec :

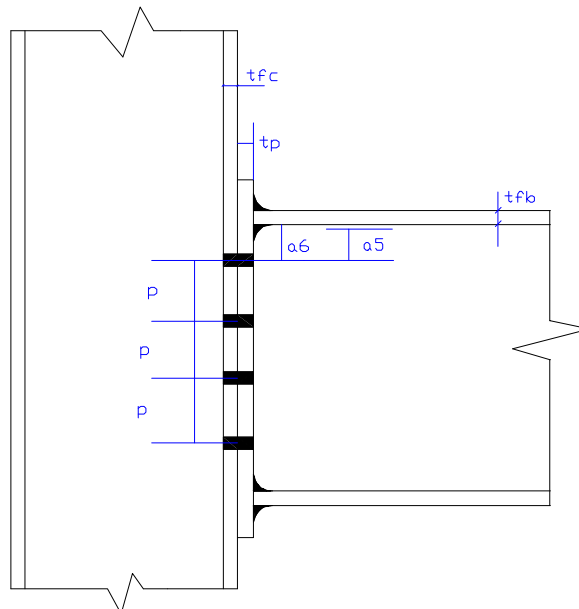
$A_{cc}$  : La surface de la partie comprimé du poteau

**Condition N°4:**

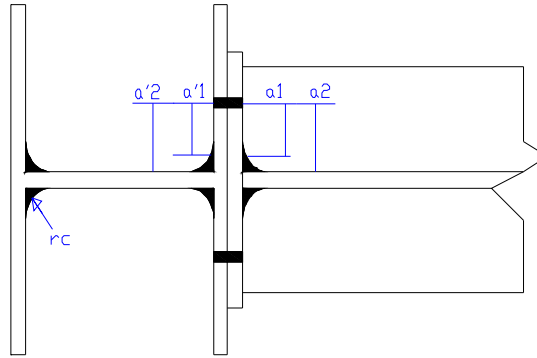
Condition de vérification de la zone tendue sans raidisseur

Il faut que

$$t_{wc} \geq 0.4 \sqrt{b_b t_{fb} * \frac{f_{yp}}{f_{yc}}} \quad \text{(III-20)}$$



**Figure III-3 Coupe d'assemblage par platine d'extrémité sans rangée de boulons extérieurs  
Présente les dimensions sur le plan vertical**



**Figure III-4 Coupe d'assemblage par platine d'extrémité sans rangée de boulons extérieurs**  
**Présente les dimensions sur le plan horizontal**

**A) - Assemblage Par Platine D'extrémité Sans Rangée De Boulons Extérieurs**

Les résistances au niveau de chaque rangée calculer de la manière suivante

Calcul de la résistance de calcul de la première rangée sous semelle (rangée intérieur)

La résistance de calcul de la rangée intérieur est donnée par la formule suivante:

$$N_1 \text{ Min} \left\{ \begin{array}{l} 0.8A_s f_{yB} \\ 3750t_p \left( \frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{2a_5} \right) \\ 3750t_{fc} \left( \frac{a'_2}{a'_1} * \frac{p}{p + a'_2} \right) \\ 0.5f_{yc} * t_{wc} * p \end{array} \right. \quad \text{(III-21)}$$



**Calcul de la résistance de calcul des rangées sous la rangée intérieur (rangées centrales)**

$$N_2 = N_3 = \dots = N_i \left\{ \begin{array}{l} 0.8A_s f_{yB} \\ 3750t_p \left( \frac{a_2}{a_1} + \frac{p}{p+a_2} \right) \\ 3750t_{fc} \left( \frac{a'_2}{a'_1} * \frac{p}{p+a'_2} \right) \\ 0.5 f_{yc} * t_{wc} * p \\ 0.5 f_{yp} * t_{wb} * p \end{array} \right. \quad \text{(III-22)}$$

**- B) - Assemblage Par Platine D'extrémité Avec Rangée De Boulons Extérieurs**

Les résistances au niveau de chaque rangée calculer de la manière suivante

**Calcul de la résistance de calcul rangée extérieur:**

$$N_1 \text{ Min} \left\{ \begin{array}{l} 0.8A_s f_{yB} \\ 3750t_p \left( \frac{a_2}{a_1} + \frac{a_4}{a_3} \right) \\ 3750t_{fc} \left( \frac{a'_2}{a'_1} * \frac{p}{p+a'_2} \right) \\ 0.5 f_{yc} * t_{wc} * p_{1-2} \end{array} \right. \quad \text{(III-23)}$$

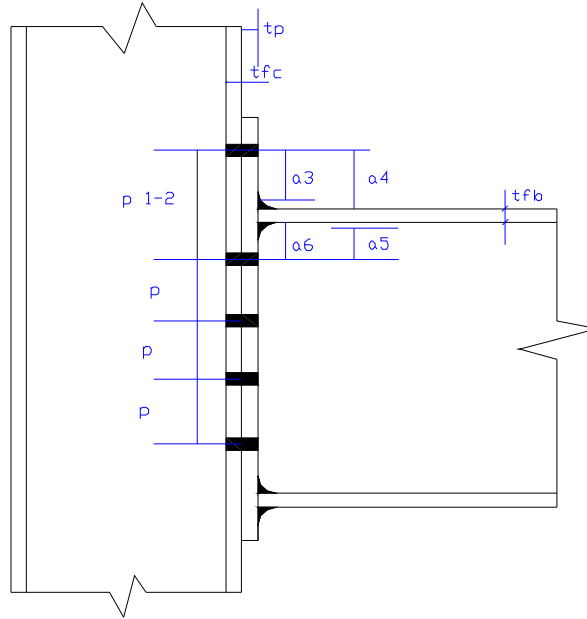
**Calcul de la résistance de calcul de la première rangée sous semelle (rangée intérieur)**

La résistance de calcul de la rangée intérieur est donnée par la formule suivante:

$$N_2 \text{ Min } \left\{ \begin{array}{l} 0.8A_s f_{yB} \\ 375t_p \left( \frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{a_5} \right) \\ 375t_{fc} \left( \frac{a'_2}{a'_1} * \frac{p}{p + a'_2} \right) \\ 0.5f_{yc} * t_{wc} * p \end{array} \right. \quad \text{(III-24)}$$

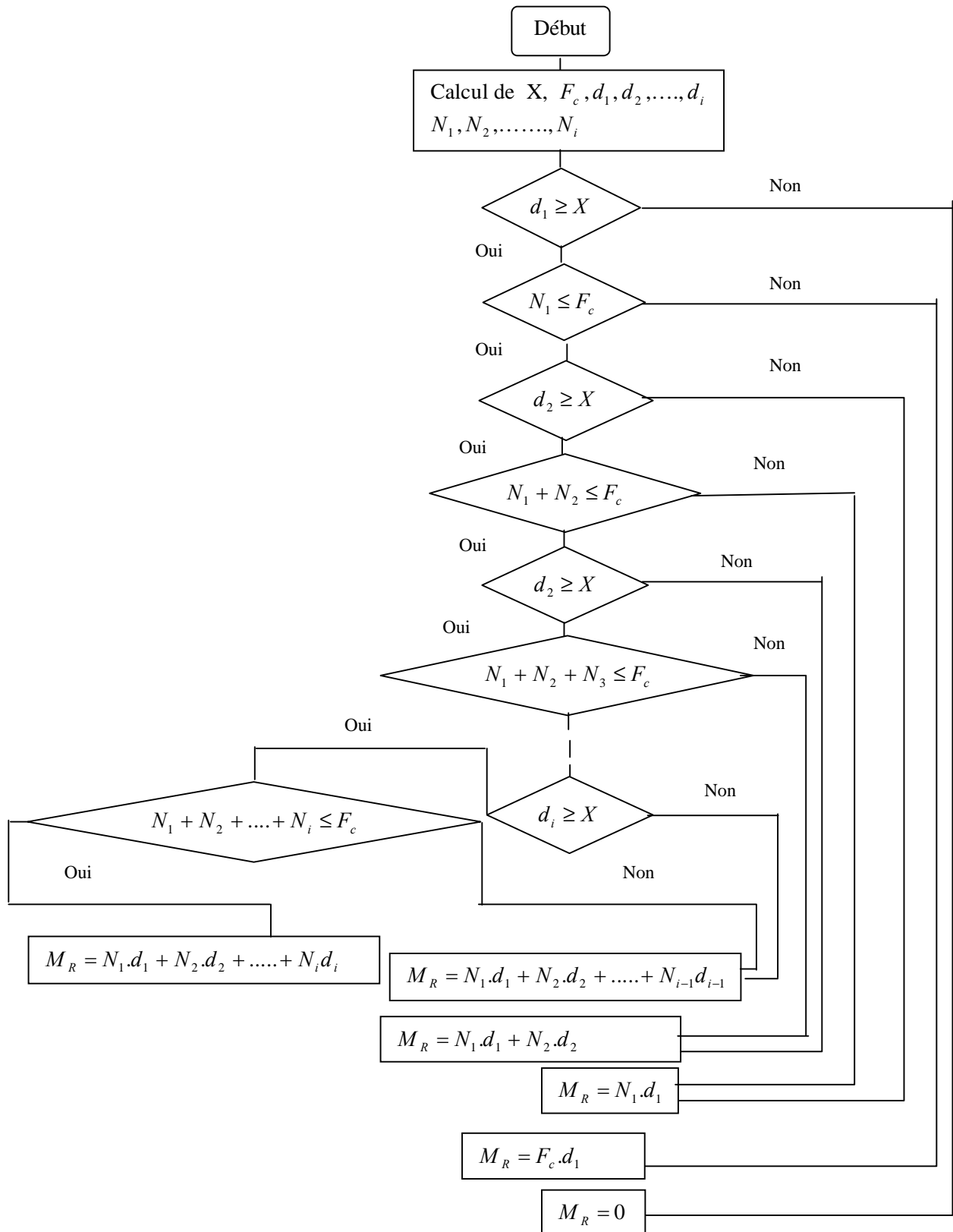
**Calcul de la résistance de calcul des rangées sous la rangée intérieur (rangées centrales)**

$$N_2 = N_3 = \dots = N_i \left\{ \begin{array}{l} 0.8A_s f_{yB} \\ 375t_p \left( \frac{a_2}{a_1} + \frac{p}{p + a_2} \right) \\ 375t_{fc} \left( \frac{a'_2}{a'_1} * \frac{p}{p + a'_2} \right) \\ 0.5f_{yc} * t_{wc} * p \\ 0.5f_{yp} * t_{wb} * p \end{array} \right. \quad \text{(III-25)}$$



**Figure III-5 Coupe d'assemblage par platine d'extrémité sans rangée de boulons extérieurs  
Présente les dimensions sur le plan vertical**

Organigramme de calcul de moment résistant selon la norme NF P22460



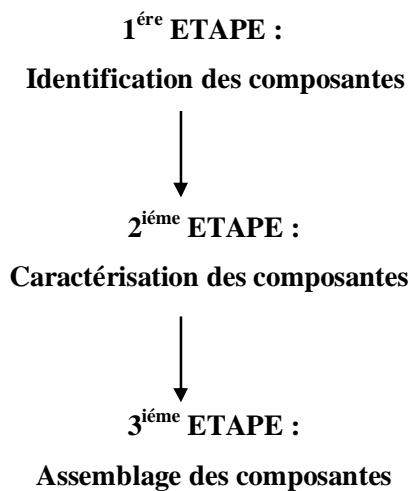
### **III.2.2 LA METHODE DES COMPOSANTES. EC- 3 [ 2 ]**

Les campagnes d'essais réalisés sur des assemblages réels ont montrés que le comportement mécanique de ceux-ci en terme, de résistance, rigidité et capacité de rotation est un phénomène complexe. Pour déterminer, ce dernier, l'assemblage peut être décomposé en différents éléments appelés « **composantes** ». Chaque composante forme une **identité** dans l'assemblage. Le comportement mécanique de toutes ces composantes est étudié séparément. Quand toutes les composantes de l'assemblage sont caractérisées par leur résistance, rigidité et capacité de déformation, le comportement mécanique de l'assemblage peut être déterminé par L'assemblage des contributions des différentes composantes en s'aidant de modèle mécanique de ressorts.

\* Les différentes composantes peuvent être vues comme des ressorts de translation avec un comportement force déplacement non linéaire. Chaque composante peut être testée séparément à l'aide d'essais peu coûteux pour obtenir à la fin des modèles théorique. Finalement, la réponse totale de l'assemblage peut être obtenue en assemblant toutes les composantes

\* L'application de la méthode des composantes passe par trois étapes essentielles.

#### **LA METHODE DES COMPOSANTES :**



- **Identification des composantes** : détermination des composantes actives au sein de l'assemblage et intervenant en compression, traction et cisaillement.
- **Caractérisation des composantes** : détermination des propriétés mécaniques de ces composantes.
- **Assemblage des composantes** : pour l'évaluation des caractéristiques clés de l'assemblage qui sont le moment résistant de l'assemblage  $M_{j,rd}$  et la rigidité initiale de celui-ci  $S_{j,ini}$ .

### *III.2.2.1 Identification des composantes.*

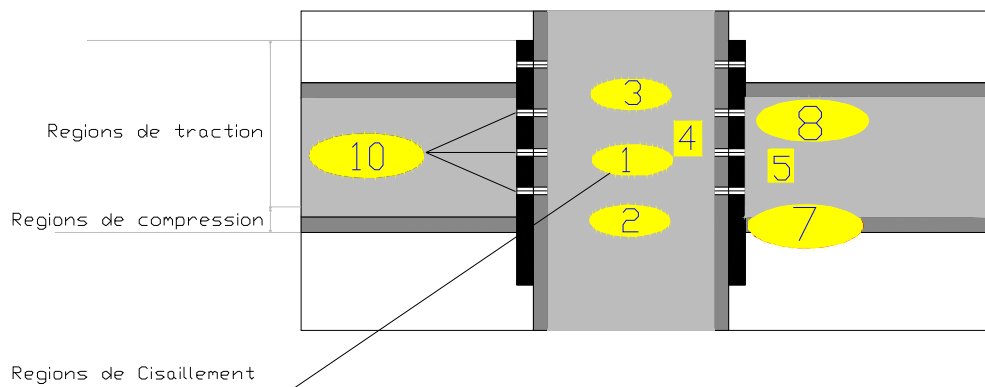
-L'Euro code-3 [ 2 ], définit une composante de l'assemblage comme une partie spécifique de celui-ci dont la contribution est identifiée à une ou plusieurs propriétés mécaniques.

-Lors de l'identification des composantes, il est possible de distinguer celles en traction, en compression, en flexion et en cisaillement.

-chaque une de ces composantes est modélisée à l'aide d'un ressort en translation.

-La figure ( III-6 ) représente les régions des différentes sollicitations qui existent au niveau de l'assemblage et les zones constituant l'assemblage.

-Dans le tableau ( III-1 ) sont identifiées les composantes et les sollicitations au quelles elles sont soumises pour chaque région de l'assemblage.



**Figure III-6: régions et zones d'un assemblage type poutre-poteau**

	<b>REGION</b>	<b>COMPOSANTE</b>
<b>01</b>	<b>Région de compression</b>	<b>2- âme de poteau en compression 7- âme et semelle de poutre en compression</b>
<b>02</b>	<b>Région de traction</b>	<b>3- âme de poteau en traction 4- semelle de poteau en flexion 5- platine d'extrémité en flexion 8- âme de poutre en traction 10- boulons en traction</b>
<b>03</b>	<b>Région de Cisaillement</b>	<b>1- âme de poteau en cisaillement</b>
<b>Pour les assemblages métalliques des composants complémentaires comme l'équerre et le Té en flexion peuvent être ajouté : assemblage ANGLO-SAXON</b>		

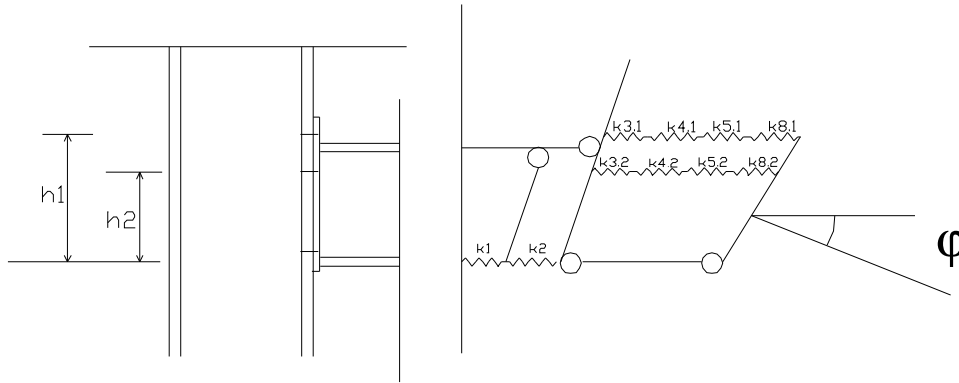
**Tableau (III-1) : Régions et composantes correspondantes d'un assemblage**

### ***III.2.2.2 Caractérisation des composantes.***

Chaque composante est caractérisée par sa résistance et sa rigidité déterminée individuellement, le modèle de chaque composante est un ressort dans le comportement est basée sur les courbes force-déplacement.

Des modèles mécaniques décrivant la réponse de composantes de base, ont été développés dans plusieurs centres de recherche et validés par des résultats d'essais [1], sur les composantes et fournissent les propriétés suivantes.

- La résistance de calcul  $F_{Rd,i}$
  - La rigidité initiale en translation  $K_i = F_{Rd,i} / E \cdot W_i$  (III-26)
  - $W_i$  étant la déformation de la composante
- Où  $i$  est le N° de la composante.



**La figure III-7 Représente un modèle mécanique à ressort des différentes composantes**

### ***III.2.2.3 Assemblage des composantes.***

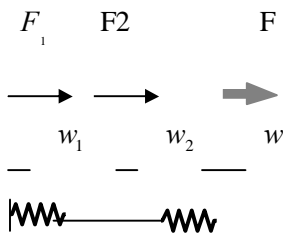
-Le passage des relations force déplacement de composantes individuelles à la courbe (moment-rotation) de l'assemblage s'obtient en satisfaisant aux exigences de compatibilité et d'équilibre,



ainsi qu'aux limitations de résistance et de capacité de déformation [ 1 ].

-Suivant le niveau de précision désiré, l'assemblage des composantes peut mener. Soit aux seules propriétés clés de l'assemblage, soit à l'ensemble de la courbe de comportement ( $M - \phi$ ). Puisque le modèle de composantes sophistiqué nécessite des boucles itératives suite à l'interaction complexe, les Euro codes proposent le modèle de composante simplifié où la somme des ressorts de composantes de base est déduite en ajoutant pas à pas les ressorts agissant en parallèle ou en série.

**En série**



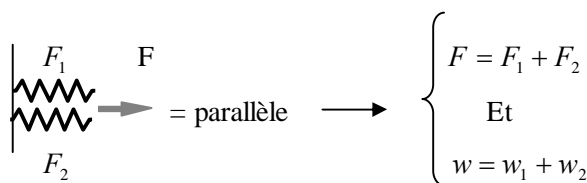
En série

$$\left. \begin{array}{l} \text{On a } F=w.k.E \\ \text{Et} \\ w = w_1 + w_2 \end{array} \right\}$$

$$w_{eq} = w = w_1 + w_2 \Rightarrow \frac{F_{eq}}{k_{eq}.E} = \frac{F_1}{E.k_1} + \frac{F_2}{E.k_2} \quad \text{Puisque } F_{eq} = F = F_1 + F_2 \quad \text{(III-27)}$$

$$\Rightarrow \frac{F}{k_{eq}} = F \left[ \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right] \Rightarrow \frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad \text{(III-28)}$$

**En parallèle**



$$F_{eq} = w_{eq} k_{eq} E = w_1 k_1 E + w_2 k_2 E \quad \text{Puisque } w = w_{eq} = w_1 = w_2 \quad \text{(III-29)}$$

$$\Rightarrow w_{eq} k_{eq} = w_1 k_1 + w_2 k_2 \Rightarrow k_{eq} = k_1 + k_2 \quad \text{(III-30)}$$

caractéristique	groupement	
	En parallèle	En série
Rigidité initiale $k_{eq}$	$k_1 + k_2$	$\frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}}$
Résistance $F_{eq}$	$F_1 + F_2$	$F_1 = F_2$
Capacité de déformation $w_{eq}$	$w_{eq} = w_1 = w_2$	$w_1 + w_2$

**Tableau III-2: groupement en série et en parallèle des composantes**

**A)-Montage des résistances.  $M_{j,Rd}$**

La procédure de montage des résistances permet d'obtenir la valeur de la résistance dite de calcul de l'assemblage  $M_{j,Rd}$ .

Le moment de résistance de calcul  $M_{j,Rd}$  est associé à la résistance de calcul de la composante d'assemblage ayant la plus faible résistance.

Le moment résistant de l'assemblage peut être exprimé par la formule suivante :

$$M_{j,Rd} = F_{Rd} \cdot Z \quad \text{(III-31)}$$

$-Z$  : le bras de levier entre les efforts intérieurs de traction compression.

$F_{Rd} = \text{Min} [F_{RD,i}$  avec  $i=1, 2, 3, 4, 5, n$ ] : La résistance de calcul de la plus faible des composantes de l'assemblage

**B)-Montage des rigidités initiales  $S_{jini}$ .**

La rigidité initiale  $S_{jini}$ . Est déterminée à partir de la rigidité en translation des composantes de l'assemblage. Le comportement élastique de chaque composante est représenté par un ressort avec la relation force-déplacement donnée par

$$F_i = E.K_i.W$$

$E = E_a$  : le module élastique de l'acier structural.

$K_i$  : le coefficient de rigidité en translation du ressort "i"

$W_i$  : la déformation du ressort "i"

$F_i$  : la force dans le ressort "i".

On a 
$$S_{j,ini} = \frac{M_{j,Rd}}{\phi_j} \tag{III-32}$$

$M_{j,Rd}$  : le moment de calcul de l'assemblage

$\phi_j$  : La rotation dans l'assemblage

Tel que 
$$M_{j,Rd} = F.Z \tag{III-33}$$

$F$  : l'effort agissant dans chaque ressort

$Z$  : Bras de levier

Où 
$$\phi_j = \frac{w_1 + w_2 + w_{13}}{Z} \tag{III-34}$$

$$S_{j,ini} = \frac{M_{j,Rd}}{\phi_j} = \frac{F.Z}{\frac{\sum W_j}{Z}} \tag{III-35}$$

Puisque  $F = K_i.W_i.E$

$$\Rightarrow S_{j,ini} = \frac{F.Z}{\frac{F}{E} \sum \frac{1}{k_i}} = \frac{EZ^2}{\sum \frac{1}{k_i}} \tag{III-36}$$

$$s_{j,ini} = \frac{E.Z^2}{\sum \frac{1}{k_i}} \quad \text{(III-37)}$$

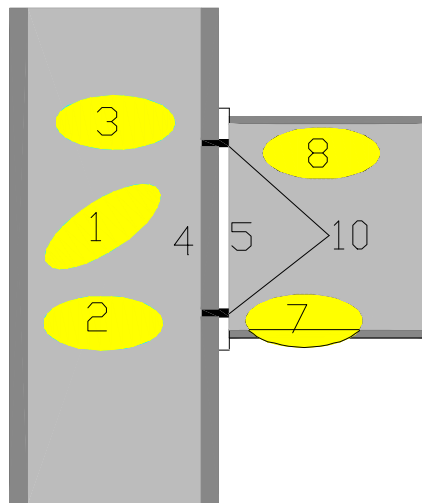
#### **III.2.2.4 APPLICATION DE LA METHODE DES COMPOSANTES.**

Dans ce qui suit en traite Par la méthode des composantes. Les deux conceptions d'assemblage par platine d'extrémité suivante :

- ✓ avec une seule rangée de boulons tendus.
- ✓ avec plusieurs rangées des boulons tendus avec et sans rangée de boulons extérieurs à la poutre.

##### **A)-Conception N° 01 : Assemblage avec une seule rangée de boulons tendus.**

**La première étape** : c'est l'identification des composantes actives au sein de ce type d'assemblage .Les composantes sont représentées à la figure ( III-8) suivante.



**Figure III-8 Représente les différentes composantes Actifs au niveau de l'assemblage**

**Région comprimée:**

Composante 2:âme de poteau en compression.

Composante 7:semelle et âme de poutre en compression .

**Région tendue**

Composante 3:âme de poteau en traction.

Composante 4:semelle de poteau en flexion

Composante 5:Platine d'extrémité en flexion .

Composante 8:âme de poteau en traction .

Composante 10:boulons en traction.

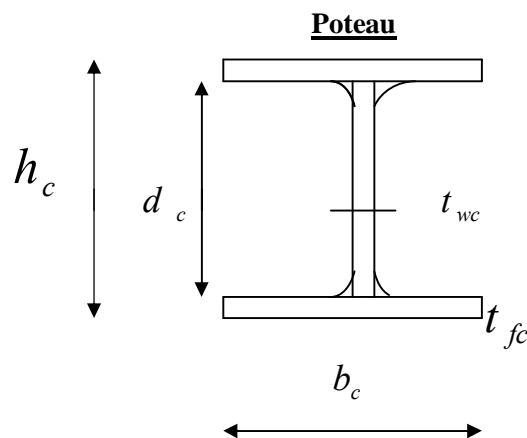
**Région cisailée:**

Composante 1:âme de poteau en cisaillement .

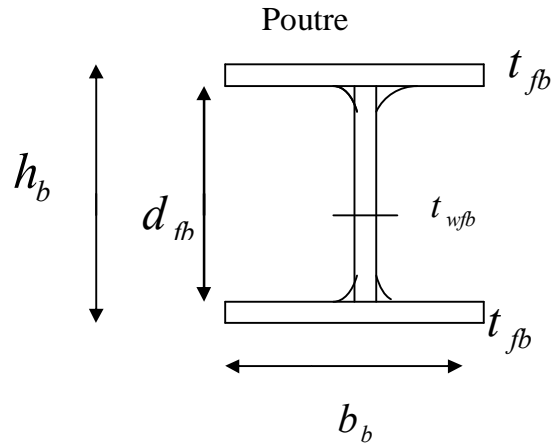
**La deuxième étape :** calcul des résistances ( $F_{RD,i}$ ) et les rigidités ( $K_i$ ) des composantes de l'assemblage.

\*Avant d'exposer la méthode de calcul des résistances et des rigidités des composantes et par la suite celle du calcul des caractéristiques mécaniques de l'assemblage, il est nécessaire d'effectuer des calculs préliminaires et de présenter les caractéristiques géométriques des éléments assemblés.

Dimensionnement en fonction de l'hauteur d'étage pour le poteau et la poutre



**Figure III-9 : Caractéristiques géométriques du poteau métallique**



**Figure III-10 Caractéristiques de la poutre métallique**

Le moment résistant plastique de calcul de la section de la poutre est fonction de la classe de section transversale :

1. Section de classe 1 et 2:-----  $M_{pl.c.Rd} = \frac{W_{pl.yb} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$  (III-38)

2. Section de classe 3-----  $M_{pl.c.Rd} = \frac{W_{el.y} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}}$  ( III-39)

Section de classe 4-----  $M_{pl.c.Rd} = \frac{W_{el.eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M1}}$  (III-40)

❖ **Platine d'extrémité : [ 2 ].**

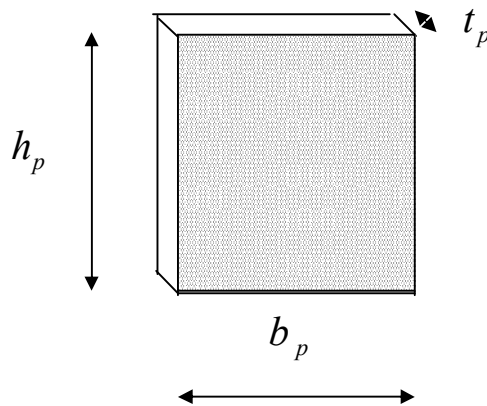
Les valeurs des résistances de calculs des aciers et les valeurs des coefficients partiels de sécurité sur ces résistances sont les suivantes

( Voir L'EC3-DAN chapitre 3,5 et 6)

Limite d'élasticité de l'acier S235 de la section et de la platine ;

- ◆  $f_y = 235 N / mm^2$  épaisseurs  $t \leq 16mm$
- ◆  $f_u = 340 N / mm^2$  épaisseurs  $3mm \leq t \leq 100mm$

Est le coefficient partiel de sécurité ;  $\gamma_{m0} = 1.1$



**Figure III-11 Caractéristiques de la platine d'extrémité**

**Remarque:**

La largeur de la poutre  $\leq$  largeur du poteau (pour l'esthétique)

Donc :  $b_{fb} \leq b_{fc}$

Cette condition n'est pas obligatoire

**Dimensionnement des soudures entre poutre et platine [ 2 ].**

On suppose que des soudures d'angle double seront utilisées pour attacher la poutre sur la platine d'extrémité dans les assemblages par platines d'extrémité.

Les relations fondamentales pour le calcul des soudures sont données ci-dessous les assemblages par platines avec boulons extérieurs et pour les assemblages par platines débordants sans boulons extérieurs (ou la hauteur de la platine est supérieure à la hauteur de la poutre). Les deux approches suivantes peuvent être utilisées:

- ◆ calcul en fonction de la résistance de la poutre:

La résistance des soudures d'angle doubles entre les semelles de poutre sur la platine d'extrémité doit être au moins égale à la résistance de calcul plastique des semelles  $N_{t,Rd}$

$$N_{t,Rd} = \frac{b_f t_{fb} f_{yf}}{\gamma_{m0}} \quad \text{(III-41)}$$

En utilisant la méthode simplifiée pour le calcul des soudures, on obtient:

$$2a_f b_f f_{y.wd} \geq N_{t.Rd} \quad \text{(III-42)}$$

Avec la résistance de calcul au cisaillement de la soudure définie comme:

$$f_{yw.d} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta\gamma_{mw}} \quad \text{(III-43)}$$

Où :

$a_f$  : est l'épaisseur de gorge de chacun des deux cordons de soudure

$f_u$  : La résistance à la traction de calcul de l'acier de l'élément assemblé le plus faible (platine d'extrémité ou semelle de poutre).

L'expression suivante est obtenue pour la dimension de la gorge de soudure;

$$a_f \geq \left( \frac{\sqrt{3}\gamma_{mw} \beta_w f_{yb}}{2\gamma_{m0} f_u} \right)^{\frac{1}{j}} t_{fb} \quad \text{(III-44)}$$

Un calcul de soudure plus économique utilisant l'annexe M de L'EC3 donne:

$$a_f \geq \left( \frac{\gamma_{mw} \beta_w f_{yb}}{\sqrt{2}\gamma_{m0} f_u} \right)^{\frac{1}{j}} t_{fb} \quad \text{(III-45)}$$

Des expressions similaires peuvent être obtenues pour la dimension de la gorge des soudures d'angle attachant la platine d'extrémité sur l'âme de la poutre.

Les valeurs des coefficients partiels de sécurité sont :  $\gamma_{mw} = 1.25$  et  $\gamma_{m0} = 1.1$ .

Les valeurs de  $\beta_w$  dépendent de la résistance de l'acier  $f_u$ , de la façon suivante:

$$\begin{aligned} \beta_w &= 0.80 \text{ pour l'acier S235} \\ &= 0.85 \text{ pour l'acier S275} \\ &= 0.90 \text{ pour l'acier S355} \end{aligned}$$

❖ la Platine et le Poteau permettent de dimensionner le diamètre des boulons

En calcul  $t$  = l'épaisseur minimale entre (semelle poteau ou platine )

**Si**

$$t < 10 \text{ mm} \quad : d = (12), 14, 16 \text{ mm}$$



CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES STRUCTURAUX EN CONSTRUCTION METALLIQUE SELON L'EC3

-   $10 \text{ mm} \leq t \leq 25 \text{ mm}$  :  $d = 16, 20, 24 \text{ mm}$
-   $t > 25 \text{ mm}$  :  $d = 24, (27), (30)$

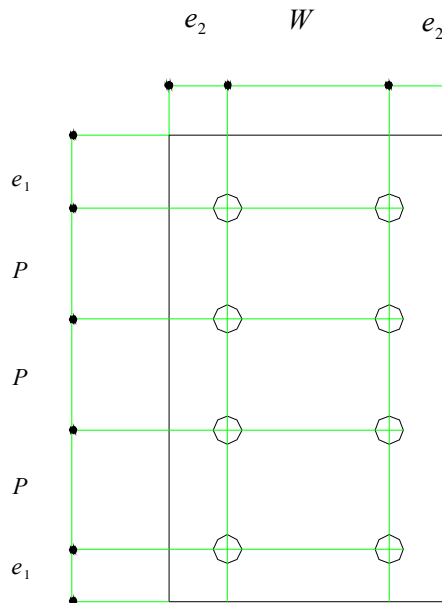
❖ Après le choix de diamètre des boulons on choisit le classe des boulons : soit (HR10.9 ou HR 8.8)

A partir du diamètre on peut donner une disposition, que l'on a résumée dans le tableau ? Suivant.

boulons	Valeurs usuelles (mm)			Valeurs minimales (mm)		
	P	e1	e2	P	e1	e2
M12	40	25	20	35	20	15
M16	50	35	25	40	25	20
M20	60	40	30	45	30	25
M24	70	50	40	55	35	30
M27	80	55	45	65	40	35

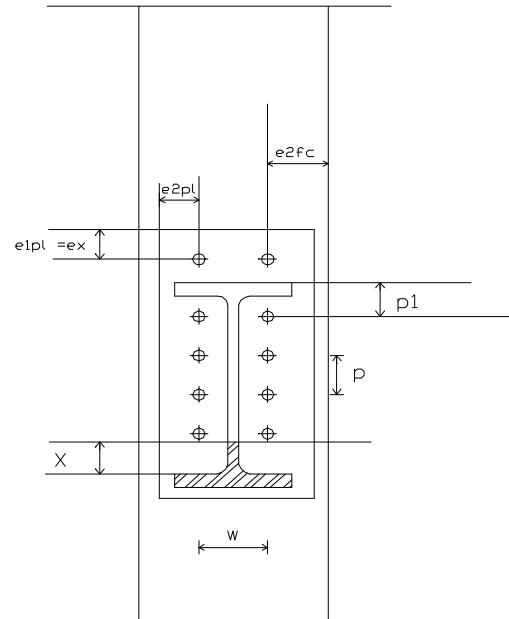
**Tableau III-3 regroupe les valeurs des pinces et entraxes**

Cette perforation de la platine d'extrémité (disposition des boulons) doit satisfaire les conditions suivantes :



**Figure III-12 représente la perforation de la platine d'extrémité**

$d_0$  : Diamètre du trou ;  $t$  : épaisseur du plat le plus mince entre (platine et semelle poteau)



**Figure III-13 représente les dimensions relatif à de la disposition des boulons**

Tel que 
$$m_2 = p_1 - t_{fb} - 0.8a_f \sqrt{2} \tag{III-46}$$

L'EC 03 recommande de limiter toutefois la valeur 'n' a 1.25 m c'est à dire

$$n = \min(e, 1.25m) = e \leq 1.25m \tag{III-47}$$

**Calcul des  $F_{Rd,i}$  et  $K_i$**

**Région comprimée:**

La résistance de la Région comprimée c'est la résistance minimale des résistances des deux composantes (2,7)

**Composante N°02 âme de poteau en compression**

La résistance de calcul d'une âme de poteau en compression est évalué à l'aide de la formule 6.9 de pr EN 1993-1-8 [ ?]

**Résistance**

$$F_{Rd.2} = \frac{w_c b_{eff.c} t_{wc} f_{y.wc}}{\gamma_{m0}} K_{wc} \rho \quad \text{(III-48)}$$

**Rigidité**

$$K_{Rd2} = \frac{0.7 b_{eff.c} t_{wc}}{d_{wc}} \quad \text{(III-49)}$$

$b_{eff.c}$  : Hauteur efficace d'âme qui assure la reprise de l'effort transversal de compression.

$\rho$  : Facteur qui tien en compte du flambement de l'âme de poteau

$f_{y.wc}$  : La limite d'élasticité de l'acier de l'âme de poteau.

$K_{wc}$  : Coefficient de réduction qui tient en compte l'influence de la contrainte de Compression longitudinale exercée dans l'âme de poteau.

$w_c$  : Coefficient de réduction qui tient en compte l'influence de la contrainte du Cisaillement dans le panneau d'âme.

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

$\gamma_{m0}$  : Coefficient de la sécurité égale à 1.10.

❖ **Calcul de longueur efficace  $b_{eff.c}$**

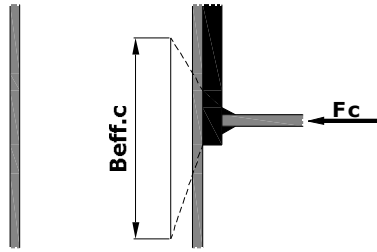
La longueur efficace est donnée par la formule :

$$b_{eff.c} = 0.5 t_{fb} + a_f \sqrt{2} + t_p + 5(t_{fc} + s) \quad \text{(III-50)}$$

$a_f$  : Epaisseur utile (ou gorge) d'un cordon de soudure sur la semelle

$s = r_c$  : pour les profilés laminés en I ou H

La longueur efficace  $b_{eff.c}$  représente la longueur de diffusion de l'effort figure ( ?)



**Figure III-14 : Diffusion de l'effort de compression [ 1].**

\*Calcul de  $\rho$  facteur qui tient en compte du flambement de l'âme de poteau

$$d_{wc} = h_c - 2t_{fc} - 2r_c \quad \text{(III-51)}$$

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff.c} d_{wc} f_{y.wc}}{Et_{wc}^2}} \quad \text{(III-52)}$$

Si  $\bar{\lambda}_p \leq 0.72$  donc  $\rho = 1$

Si  $\bar{\lambda}_p > 0.72$  donc  $\rho = \bar{\lambda}_p^2 (\bar{\lambda}_p - 0.2)$  (III-53)

❖ Calcul de  $K_{wc}$  coefficient de réduction qui tient en compte l'influence de la contrainte

Le calcul de  $K_{wc}$  en fonction  $\sigma_{com.Ed}$

$\sigma_{com.Ed}$  : La contrainte maximale de compression longitudinale exercée dans l'âme de poteau à la racine de rayon en un point situé juste à l'extérieur de l'assemblage [ ?].

si  $\sigma_{com.Ed} \leq 0.5f_{y.wc}$  Donc  $K_{wc} = 1$

si  $\sigma_{com.Ed} > 0.5f_{y.wc}$  Donc  $K_{wc} = \frac{1.25 - 0.5\sigma_{com.Ed}}{f_{y.wc}}$  (III-54)

la valeur de  $K_{wc}$  est comprise entre 1 et 0.75. cependant pour le calcul ,on prend  $K_{wc} = 1$  puisque

$\sigma_{com.Ed}$  atteignent rarement des valeurs supérieures à  $0.5f_{y.wc}$

- ❖ Calcul  $w_c$  : coefficient de réduction qui tient en compte de l'influence de la contrainte de cisaillement dans le panneau d'âme.

Le calcul  $w_c$  en fonction en  $\beta$  paramètre de transformation

Si  $0 \leq \beta \leq 0.5$  donc  $w_c = 1$

Si  $0.5 < \beta < 1$  donc  $w_c = w_1 + 2(1 - \beta)(1 - w_1)$  (III-55)

Si  $\beta = 1$  donc  $w_c = w_1$

Si  $1 < \beta < 2$  donc  $w_c = w_1 + (\beta - 1)(w_2 - w_1)$  (III-56)

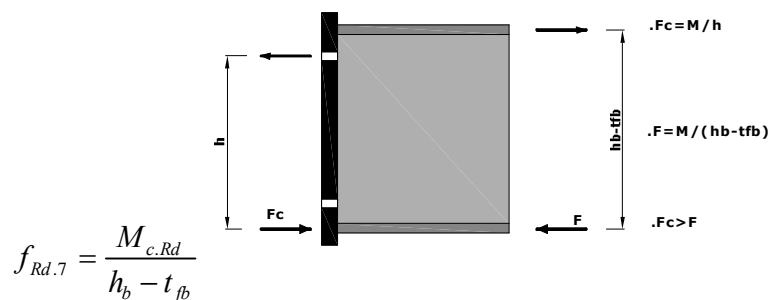
Si  $\beta = 2$  donc  $w_c = w_2$

Tel que  $w_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3(b_{eff.c} \frac{t_{wc}}{A_{vc}})^2}}$  (III-57)

$$w_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5.2(b_{eff.c} \frac{t_{wc}}{A_{vc}})^2}}$$
 (III-58)

**Composante N°07 semelle et âme de poutre en compression.**

**\*Résistance**



**Figure III-15 : effort de compression localisé dans la semelle de la poutre [2].**

Tel que

$h_b$  : Hauteur total de la poutre

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

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

**\*Rigidité**

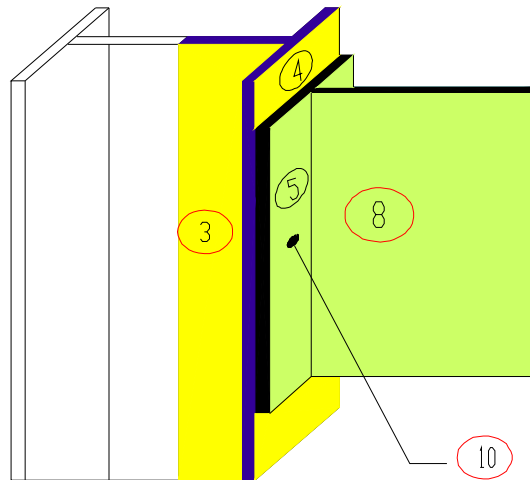
$$k_7 = \infty$$

**La résistance de la région comprimée**

$$F_{c.Rd} = \text{Min}(F_{2.Rd}, F_{7.Rd}) \quad \text{(III-59)}$$

**Résistance de la Région tendue:**

La région tendue composée dans ce cas, de deux tronçons en Té attachés par deux boulons comme représenté sur la figure [ . ] suivante:



**Figure III-16 deux tronçons en Té attaché par deux boulons**

Tronçon en Té N°01: semelle et âme poteau

Tronçon en Té N°02: Platine et âme poutre

La résistance de la Région tendue c'est la résistance minimale des deux tronçons en Té et des deux boulons en traction, c'est à dire la résistance minimale des composantes (3,4,5,8,10 )

Le mode de ruine d'un tronçon en Té équivalent est atteint suivant (04) modes :

- **Mode de ruine N°01 : mécanisme plastique complet de la semelle**

C'est le mécanisme le plus simple qui consiste à la formation de quatre charnières plastiques linéaires deux lignes sur chaque côté de l'aile fléchie, dont une passant près du pied du congé ou cordon d'angle de soudure (la 1<sup>er</sup> formée) .et l'autre passant par les axes de boulons

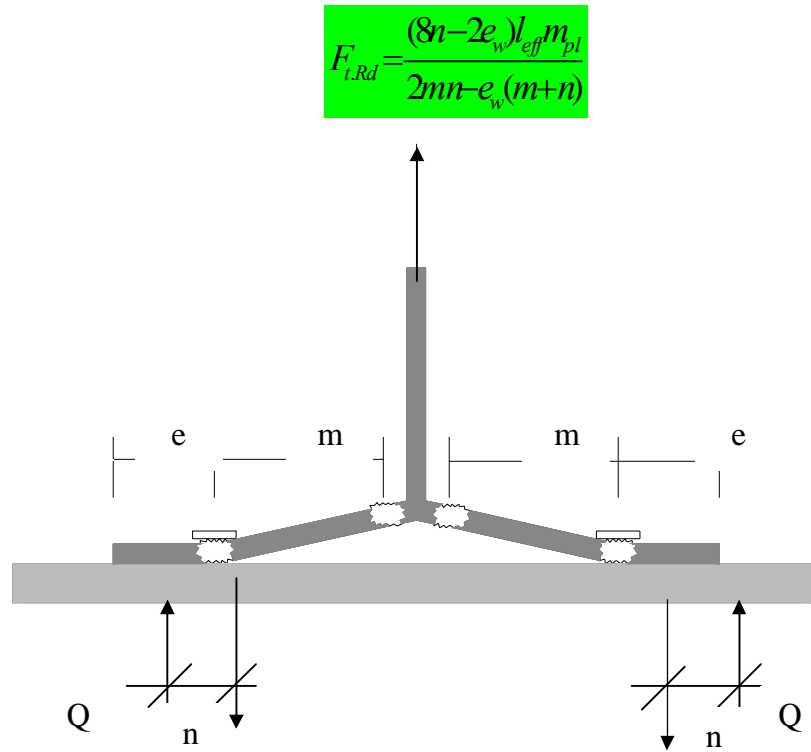


Figure III-17 représente le mécanisme plastique complet de la semelle

$$F_{boulon} = 0.5F_{t.Rd} + Q \leq B_{t.Rd}$$

$$Q = \frac{M_{pl.Rd}}{n}$$

Q : la force de lever c'est une force qui t'a crier leur de la déformation de la semelle (la force de lever Q augmente l'effort de traction dans les boulons)

Dans la figure suivante en présente la variation du la force dans les boulons avec la force de la traction appliqués sur le tronçon équivalent en Té.

Le mode de ruine N° 01 s'accompagne d'une déformation plastique importante de la semelle (rupture après l'apparition des 4 charnières plastiques) s'exprime en une propriété ciblée c'est la ductilité de l'assemblage

- **Mode N°02 : Mécanisme par ruine des boulons et plastification de la semelle (mécanisme partielle)**

$$F_{t.Rd} = \frac{(2l_{eff} m_{pl} + n \sum B_{t.Rd})}{(m + n)}$$

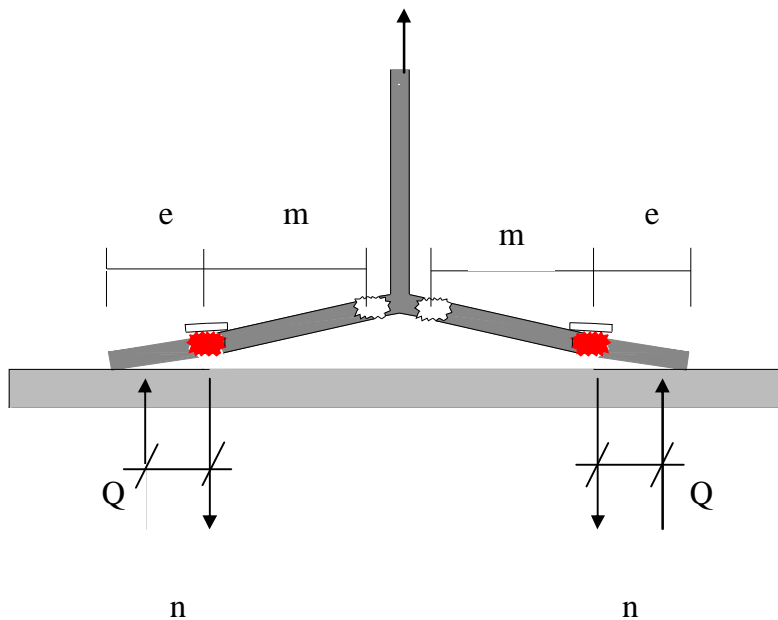


Figure III-18 représente le Mécanisme par ruine des boulons et plastification de la semelle (mécanisme partielle)

$$F_{boulon} = 0.5F_{t.Rd} + Q = B_{t.Bd}$$

$$Q = \frac{(M_{pl.Rd} - mB_{t.Rd})}{(n + m)}$$



Le mode 1 et 2 représente la composante 4 (semelle du poteau en flexion) et la composante 5 platine d'extrémité en flexion.

**Mode N° 03 :** Ruine des boulons seuls (plastification en traction des boulons)

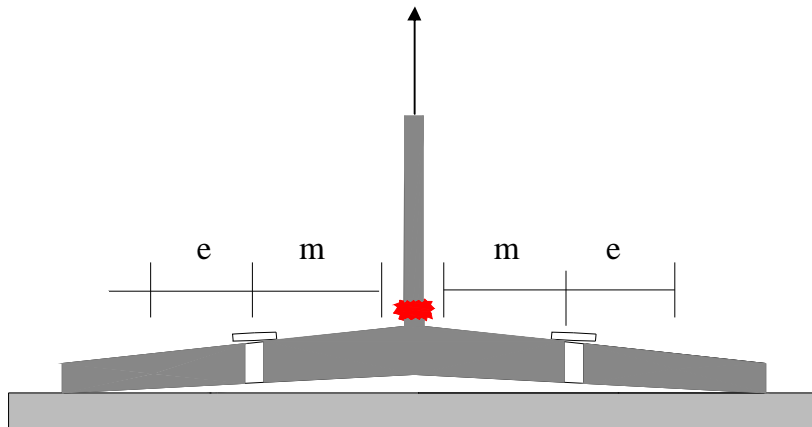
$$F_{boulon} - 0.5F_{t.Rd} = B_{t.Rd}$$

$$Q = 0$$

Ce mode représente la composante 10 (boulon en traction)

**Mode N° 04 :** Plastification de l'âme tendue

$$F_{t.Rd} = N_{t.w.Rd}$$



**Figure III-19** représente le Plastification de l'âme tendue

$$F_{boulon} = 0.5F_{t.Rd} + Q < B_{t.Rd}$$

Ce mode représente les composantes 3 et 8

**Composante N°04**

**Semelle de poteau en flexion**

Avant de procéder à calculer la résistance de la semelle de poteau en flexion .il faut déterminer les caractéristiques géométriques de l'âme du poteau.

**Caractéristiques géométriques en relatif à la semelle du poteau**

- calcul de  $m_{fc}$  et  $n_{fc}$

Ces deux grandeurs sont présentées par les figures suivantes.

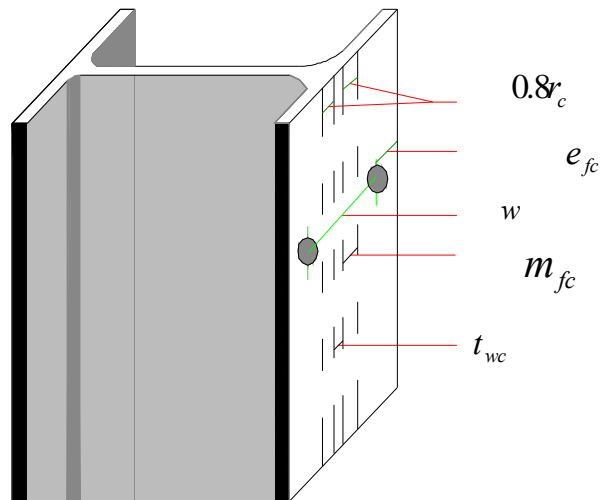


Figure III-20 représente les caractéristiques géométriques de la semelle Poteau

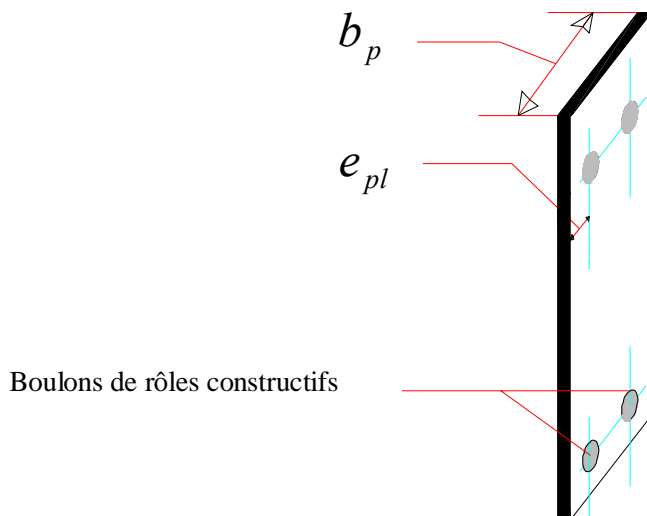


Figure III-21 représente les caractéristiques géométriques de la platine

$$m_{fc} = m = \frac{W - t_{wc}}{2} - 0.8r_c \quad \text{(III-60)}$$

W : la distance horizontal en les deux files des boulons.

$$e_{\min} = \min(e_{fc}, e_{pl}) \quad \text{(III-61)}$$

$e_{fc}$  : La distance entre le bords de la semelle du poteau et le centre des rangées de boulons.

$e_{pl}$  : La distance entre le bords de la platine du poteau et le centre des rangées de boulons.

$$e_{fc} = \frac{b_c - W}{2} \quad \text{(III-62)}$$

$$e_{pl} = \frac{b_p - W}{2} \quad \text{(III-63)}$$

$$n_{fc} = n = \min(e_{\min}, 1.25m_{fc}) \quad \text{(III-64)}$$

- calcul de la longueur efficace

La longueur efficace est donne par l'expression suivante :

$$l_{eff.t.fc} = \min(2\pi m_{fc}, 4m_{fc} + 1.25e_{fc}) \quad \text{(III-65)}$$

### Résistance

La résistance de la semelle de poteau en flexion c'est la résistance minimal de tronçon en Té équivalent (âme et semelle du poteau) suivent des deux modes 1 et 2

(Plastification complet de la semelle, plastification partiel et rupture des boulons)

$$F_{4.Rd} = \min(F_{fc.Rdt_1}, F_{fc.t.Rdt_2}) \quad \text{(III-67)}$$

**1<sup>er</sup> mode :**

$$F_{fc.Rdt_1} = \frac{(8n - e_w) l_{eff.t.fc} m_{pl.fc} k_{fc}}{2mn - e_w(m + n)} \quad \text{(III-68)}$$

**2<sup>eme</sup> mode :**

$$F_{fc.Rdt_2} = \frac{2l_{eff.t.fc} m_{pl.t.fc} + 2B_{t.Rd} n}{m + n} \quad \text{(III-69)}$$

▪ calcul de  $e_w$

$$e_w = \frac{d_w}{4} : \quad \text{(III-70)}$$

Où

$d_w$  : Le diamètre de la rondelle ou diamètre du cercle circonscrit de l'écrou ou de la tête, selon le cas.

- Calcul de  $K_{fc}$

$K_{fc}$  : est le coefficient qui prend en compte l'effet défavorable des contraintes longitudinales agissant dans la semelle (effort normal et moment fléchissant) sur la résistance local de la semelle de poteau fléchi. Il définie comme suite:

$$K_{fc} = \min\left(1, \frac{2f_{y.fc} - 180 - \sigma_{n.fc}}{2f_{y.fc} - 360}\right) \quad \text{(III-71)}$$

$\sigma_{n.fc}$  : C'est la contrainte maximale de compression longitudinale (force axiale et moment fléchissant) exercée au centre au centre de gravité de la semelle de poteau.

La valeur de  $K_{fc}$  est comprise entre 1 et 0.5 puisque  $\sigma_{n.fc}$  atteignent rarement  $180 \text{ N/mm}^2$ , on prend  $K_{fc} = 1$  c'est plus sûre et plus sécuritaire.

D'après la formule de  $K_{fc}$  en constate :

Si  $\sigma_{n.fc} \leq 180 \text{ N/mm}^2$  donc  $K_{fc} = 1$

Si  $\sigma_{n.fc} > 180 \text{ N/mm}^2$  donc  $K_{fc} = \frac{2f_{y.fc} - 180 - \sigma_{n.fc}}{2f_{y.fc} - 360}$  (III-72)

- Calcul de  $B_{t.Rd}$

$$B_{t.Rd} = \frac{0.9f_{ub}A_{sb}}{\gamma_{m0}} \quad \text{(III-73)}$$

**Rigidité**

$$k_4 = \frac{0.85l_{eff.t.fc}t_{fc}^3}{m^3} \quad \text{(III-74)}$$

### Composante N°03

#### Ame de poteau en traction

La résistance calculée suivant le mode N°04

Le raçon e Té N°01 composer de l'âme de poteau et semelle de poteau

Donc

La longueur efficace de l'âme du poteau = la longueur efficace de la semelle du poteau

$$b_{eff.t.wc} = l_{eff.t.fc} \quad (III-75)$$

**Résistance:** en calcul la résistance par la formule suivante

$$F_{3.Rd} = \frac{w b_{eff.t.wc} t_{wc} f_{yc}}{\gamma_{m0}} \quad (III-76)$$

- ❖ calcul de  $w_t$  coefficient de réduction qui tient en compte l'influence de la contrainte du cisaillement dans le panneau d'âme.

Le calcul de  $w_t$  se fait dans le calcul de composante N°02

#### Rigidité

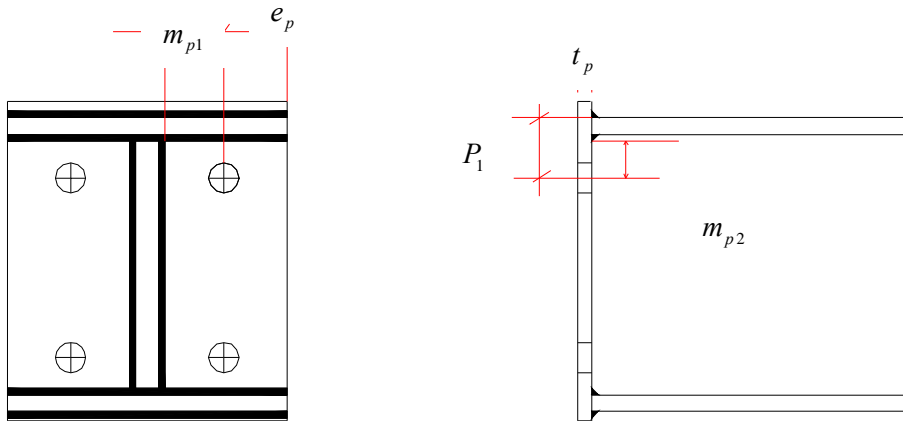
$$k_3 = \frac{0.7 b_{eff.t.wc} t_{wc}}{d_{wc}} \quad (III-77)$$

**Composante N°05**

**Platine en flexion**

Les caractéristiques géométriques

Principales sont présentées à la figure suivante



**Figure III-22 représente les caractéristiques géométriques pour le calcul préliminaire de la composante N°05**

D'après la figure en trouve que :

$$m_{p1} = \frac{(W - t_{wb})}{2} - 0.8a_w \sqrt{2} \quad \text{(III-78)}$$

$$m_{p2} = P_1 - t_{fb} - 0.8a_f \sqrt{2} \quad \text{(III-79)}$$

$$e_p = \frac{b_p - w}{2} \quad \text{(III-80)}$$

$$n_p = \min(e_{\min}, 1.25m_{p1}) \quad \text{(III-81)}$$

**Résistance :**

La résistance de la platine à la flexion c'est la résistance minimale de tronçon équivalent en Té (platine et âme poutre) suivant le mode 1 et 2 :

(Plastification complet de la platine, plastification partiel de la platine et rupture des boulons)

$$F_{5,Rd} = \min(F_{eq,Rd.1}, F_{eq,Rd.2}) \quad \text{(III-82)}$$

$$F_{eq,Rd.1} = \frac{(8n_p - 2e_w)l_{eff.p}m_{pl.p}}{2m_{p1}n_p - e_w(m_{p1} + n_p)} \quad \text{(III-83)}$$

$$F_{eq,Rd.2} = \frac{2l_{eff.p}m_{pl.p} + 2B_{t,Rd}n_p}{m_{p1} + n_p} \quad \text{(III-84)}$$

- calcul de la longueur efficace de tronçon en Té équivalent

$$\lambda_1 = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e} \quad \text{(III-85)}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e} \quad \text{(III-86)}$$

} on détermine la valeur de  $\alpha$  a partir de  $\lambda_1, \lambda_2$  a l'aide de la courbe  $(\lambda_1, \lambda_2, \alpha)$  voir Annexe.

Dans notre étude numérique On a transformé l'abaque à un tableau qui permettra leur exploitation (voir annexe)

$$l_{eff.p} = \min(2\pi m_{p1}, \alpha m_{p1}) \quad \text{(III-87)}$$

- calcul de  $m_{pl.p}$  : le moment résistant plastique de la platine en flexion par unité de longueur

$$m_{pl.p} = \frac{M_{pl.p}}{L_{eff.p}} = 0.25t_p^2 \frac{f_{yp}}{\gamma_{m0}} \quad \text{(III-89)}$$

**Rigidité**

$$k_5 = \frac{0.85l_{eff.t.p}t_p^3}{m_p^3} \quad \text{(III-90)}$$

**Composante N°08**

**Ame de Poutre en traction**

La résistance calculée suivant le mode N°04

Le raçon e n Té N°02 composé de platine et semelle de poutre

Donc

La longueur efficace d'âme de la poutre = la longueur efficace de la platine

$$b_{eff.t.wb} = l_{eff.t.p} \tag{III-91}$$

La résistance s'exprime par la formule suivante

$$F_{8.Rd} = \frac{b_{eff.t.wb} t_{wb} f_{yb}}{\gamma_{m0}} \tag{III-92}$$

$$k_8 = \infty$$

**Composante N°10**

**Boulons en traction**

Le mécanisme qui provoque la rupture des boulons c'est le mécanisme 3 (suivant le 3<sup>eme</sup> mode)

Le tableau Annexe -4 comporte les principales caractéristiques des boulons

La résistance s'écrite sous forme

$$F_{10.Rd} = 2B_{t.Rd} \tag{III-93}$$

Avec

$$B_{t.Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_{sb}}{\gamma_{mb}}$$

Tel que  $\gamma_{mb} = 1.25$

**Rigidité**

$$k_{10} = \frac{1.6 A_{sb}}{l_b} \tag{III-94}$$

Avec

$$l_b = t_p + t_{fb} + 0.5(h_n + h_h)$$

$l_b$  : La distance entre le centre de l'écrou et le centre de la tête du boulon

$h_n \approx 0.7d$  : Hauteur de l'écrou

$h_h \approx 0.8d$  Hauteur de la tête de boulon



**Composante N°05**

**Résistance de la région tendue**

$$F_{t.Rd} = \min(F_{3.Rd}, F_{4.Rd}, F_{5.Rd}, F_{8.Rd}, F_{10.Rd}) \quad \text{(III-95)}$$

**Région cisailée**

**Composante N°01 (cisaillement âme de poteau)**

**Résistance**

$$F_{Rd.1} = \frac{0.9 A_{vc} f_{y.wc}}{\sqrt{3} \gamma_{m0}}$$

$A_{vc}$  : L'aire cisailée de la section de poteau.

- Calcul de  $A_{vc}$

$$A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc} \quad \text{(III-98)}$$

**Rigidité**

$$K_{eff.r} = \frac{1}{\frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5} + \frac{1}{K_8} + \frac{1}{K_{10}}} \quad \text{(III-97)}$$

$$K_{eq} = \frac{K_{eff.r} Z_1}{Z_{eq}} \quad \text{(III-98)}$$

$$z_{eq} = h_b - \frac{t_{fb}}{2} - m_2 \quad \text{(III-99)}$$

$$K_1 = \frac{0.38 A_{vc}}{\beta Z_{eq}} \quad \text{(III-100)}$$

**Assemblage des Composantes**

**Résistance**

**La résistance de la région comprimée**

$$F_{c.Rd} = \text{Min}(F_{2.Rd}, F_{7.Rd})$$

**La résistance de la région Tendue**

$$F_{t.Rd} = \text{Min}(F_{3.Rd}, F_{4.Rd}, F_{5.Rd}, F_{8.Rd}, F_{10.Rd})$$

**La résistance minimale est :**

$$F_{Rd} = \text{Min}(F_{t.Rd}, F_{c.Rd}, F_{1.Rd})$$

**Le Moment plastique de calcul**

$$M_{j.Rd} = F_{Rd} \cdot z$$

$$z_{eq} = h_b - \frac{t_{fb}}{2} - m_2 \quad \text{(III-101)}$$

**Le Moment élastique de calcul**

$$M_{e.Rd} = \frac{2}{3} M_{j.Rd} \quad \text{(III-102)}$$

**Rigidité**

**La rigidité initiale**

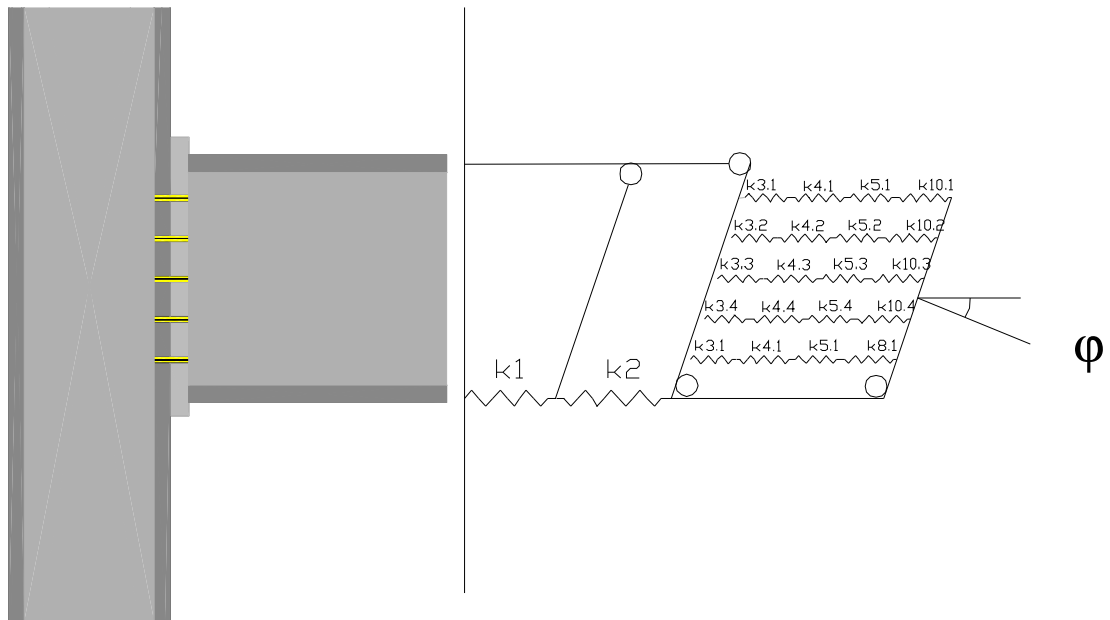
$$S_{j.ini} = \frac{E_a z_{eq}^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_7} + \frac{1}{k_{eff,r}}} \quad \text{(III-103)}$$

**La rigidité nominale**

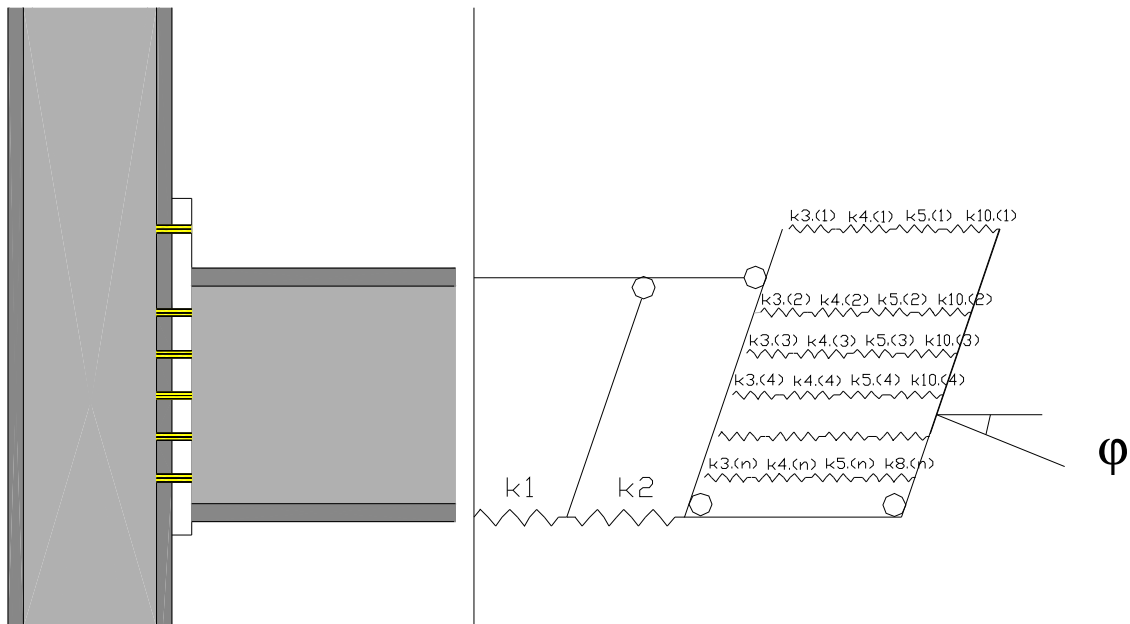
$$S_j = \frac{S_{j.ini}}{2} \quad \text{(III-104)}$$

*B)-Conception N° 02*

*Assemblage par plusieurs rangés tendu sans et avec rangée de boulons extérieurs*

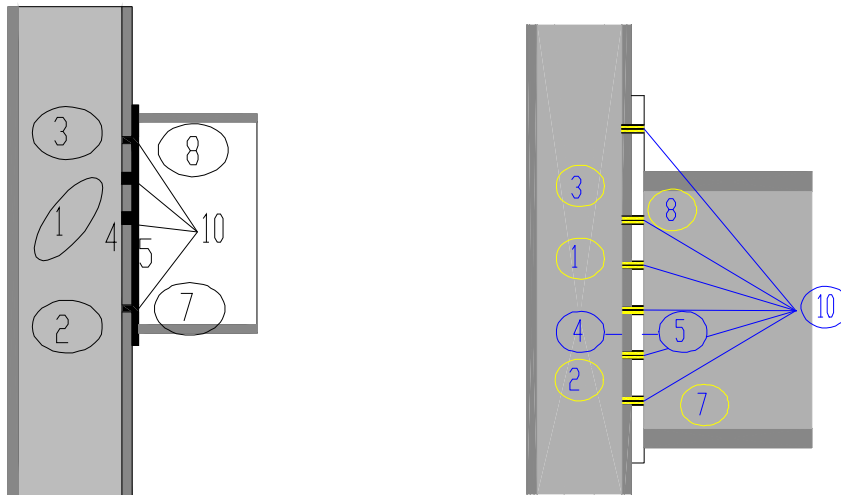


**Figure III-23** Représente un modèle mécanique à ressort des différentes composantes pour l'assemblage sans rangée de boulons extérieurs



**Figure III-24** Représente un modèle mécanique à ressort des différentes composantes pour l'assemblage avec rangée de boulons extérieurs

## IDENTIFICATION DES COMPOSANTES



**Figure III-25 pour l'identification des composantes pour l'assemblage sans et avec ragée de boulons extérieurs**

Les composantes actives de ce model cette présente comme suite

### Région comprimée:

Composant 2:âme de poteau en compression.

Composant 7:semelle et âme de poutre en compression .

### Région tendue:

Composant 3:âme de poteau en traction.

Composant 4:semelle de poteau en flexion

Composant 5:Platine d'extrémité en flexion .

Composant 8:âme de poteau en traction .

Composant 10:boulon en traction

### Région cisillée:

Composant 1:âme de poteau en cisaillement.

### Région comprimée:

La résistance de la Région comprimée c'est la résistance minimale des deux composantes (2,7)

### Composante N°02 âme de poteau en compression

**Cette composante été déjà calculer a la conception N°01**

### Résistance

$$F_{Rd.2} = \frac{w_c b_{eff} . c . t_{wc} . f_{y.wc}}{\gamma_{m0}} K_{wc} \rho$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.2} = \frac{0.2b_{eff} \cdot c \cdot t_{wc}}{d_{wc}}$$

**Composante N°07 semelles et âme de poutre en compression.**

**Résistance**

$$f_{Rd.7} = \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}}$$

**Rigidité**

$$k_7 = \infty$$

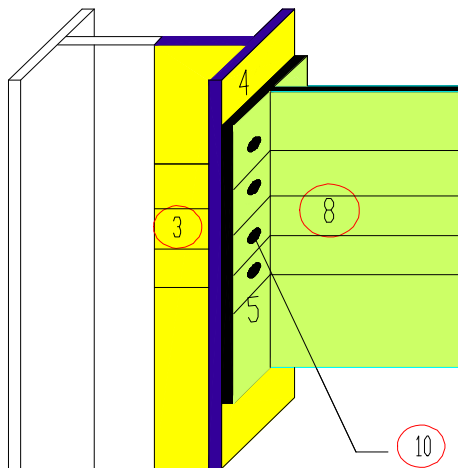
**La Résistance de la région comprimée**

$$F_{c.Rd} = \text{Min}(F_{2.Rd}, F_{7.Rd})$$

**Résistance de la Région tendu:**

En calculons la résistance de la région tendue pour chaque rangée

La région tendue est composée dans ce cas, de deux rangons en Té attaché par plusieurs boulons comme sa présenté à la figure suivante :



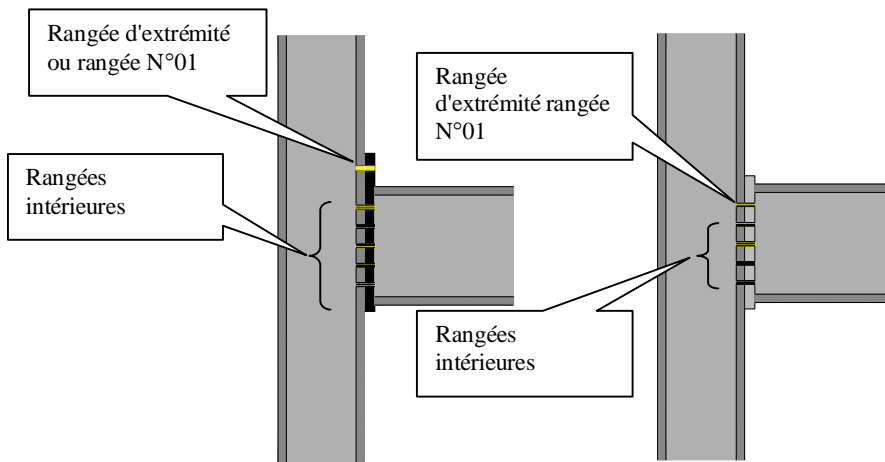
**Figure III-26 représente une série des tronçons en Te attachée par des boulons**

**Composante N° 4 :**

**(Semelle de poteau en flexion)**

**La longueur efficace de la rangée d'extrémité**

Vis-à-vis a la semelle du poteau on considérons que la rangée extérieur pour l'assemblage par platine d'extrémité par rangée du boulons extérieurs comme une rangée d'extrémité et les autres rangée appelons "rangées intérieures, Et pour l'assemblage par platine d'extrémité sans rangée du boulon extérieurs on considérons la première rangée sous semelle tendu comme une rangée d'extrémité et les autre rangées appelons rangées intérieures, comme à la présenté à la figure suivante



**Figure III-27 représente nominations des rangées vais au calcul des longueurs efficaces pour semelle du poteau**

- Rangées d'extrémité

$$l_{eff.t.fc(a)} = \min(2\pi m, 4m + 1.25e, 0.5p + 2m + 0.625e) \quad \text{(III-105)}$$

-Rangée intérieur

$$l_{eff.t.fc(b)} = \min(2\pi m, 4m + 1.25e, p) \quad \text{(III-106)}$$

**Résistance**

La résistance de la semelle de poteau en flexion c'est la résistance minimal de tronçon en Té équivalent (âme et semelle du poteau) suivent des deux modes 1 et 2

(Plastification complet de la semelle, plastification partiel et rupture des boulons)

$$F_{4,(1).Rd} = \min(F_{fc.Rdt_1}, F_{fc.t.Rdt_2})$$

**1<sup>er</sup> mode :**

$$F_{fc.Rdt_1} = \frac{(8n - e_w) l_{eff.t.fc(1)} m_{pl.fc} k_{fc}}{2mn - e_w(m + n)}$$

**2<sup>eme</sup> mode :**

$$F_{fc.Rdt_2} = \frac{2l_{eff.t.fc} m_{pl.t.fc(1)} + 2B_{t.Rd} n}{m + n}$$

**Rigidité :**

$$k_{A,(1)} = \frac{0.85 l_{eff.t.fc(1)}^3 t_{fc}^3}{m^3}$$

**Composante N° 3 (Ame de poteau en traction):**

**La longueur efficace de la 1<sup>ere</sup> rangé**

La longueur efficace de l'âme du poteau = la longueur efficace de la semelle du poteau

$$b_{eff.t.wc(1)} = l_{eff.t.fc(1)}$$

**Résistance:**

En calcul la résistance par la formule suivante

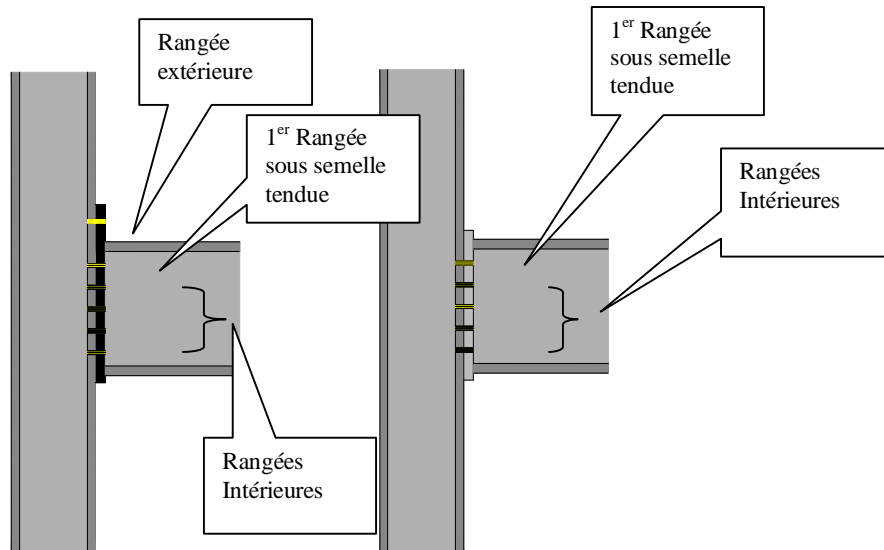
$$F_{3.(1)Rd} = \frac{wb_{eff.t.wc} t_{wc} f_{yc}}{\gamma_{m0}}$$

**Rigidité**

$$k_{3(1)} = \frac{0.7 b_{eff.t.wc(1)} t_{wc}}{d_{wc}}$$

**Composante N° 5 (platine d'extrémité en flexion):**

**Calcul de la longueur efficace**



**Figure III-28 représente nominations des rangées vais au calcul des longueurs efficaces pour platine d'extrémité**

Longueur efficace

-rangée extérieure

$$l_{eff.p.(a)} = \min(0.5b_p, 0.5w + 2m_x + 0.625e_x, 4m_x + 1.25e_x, 2\pi m_x) \quad \text{(III-107)}$$

- 1er rangée sous semelle tendue:

$$l_{eff.p.(b)} = \min(2\pi m_{p1}, \alpha m_{p1}) \quad \text{(III-108)}$$

-rangée intérieure

$$l_{eff.p.(b)} = \min(2\pi m_{p1}, 4m_{p1} + 1.25e_p, p) \quad \text{(III-109)}$$

Résistance

$$F_{5.Rd} = \min(F_{eq.Rd.1}, F_{eq.Rd.2})$$

Résistance suivant 1<sup>er</sup> Mode

$$F_{eq.Rd.1} = \frac{(8n_p + 2e_w)l_{eff.p(1)}m_{pl.p}}{2m_{p1}n_p - e_w(m_{p1} + n_p)}$$

Résistance suivant 2<sup>eme</sup> Mode

$$F_{eq.Rd.2} = \frac{2l_{eff.p(1)}m_{pl.p} + 2B_{t.Rd}n_p}{m_{p1} + n_p}$$

Rigidité :

$$k_{5.1} = \frac{0.85l_{eff.t.p(1)}t_p^3}{m_p^3}$$

Composante N° 8 (Ame de poutre en traction):

Calcul de la longueur efficace

La longueur efficace de l'âme de poutre = la longueur efficaces pour une platine d'extrémité

$$b_{eff.t.wb(1)} = l_{eff.t.p(1)}$$

Résistance

La résistance s'exprime par la formule suivante

$$F_{8(1)Rd} = \frac{b_{eff.t.wb(1)}t_{wb}f_{yb}}{\gamma_{m0}}$$



**Rigidité**

$$k_{8,1} = \infty$$

**Composante N° 10 (Boulon en traction):**

Donc la résistance s'écrit sous forme

$$F_{10.Rd} = 2B_{t.Rd}$$

Avec

$$B_{t.Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_{sb}}{\gamma_{mb}}$$

Tel que  $\gamma_{mb} = 1.25$

**Rigidité**

$$k_{10} = \frac{1.6 A_{sb}}{l_b}$$

***Résistance de calcul à la traction de la première rangée :***

La résistance de calcul à la traction de la première rangée c'est la plus petite résistance de composantes qui travaillent à la traction pour la première rangée donc:

$$F_{t,(1).Rd} = \min(F_{3,(1).Rd}, F_{4,(1).Rd}, F_{5,(1).Rd}, F_{8,(1).Rd}, F_{10,(1).Rd}) \quad \text{(III-110)}$$

2 - si  $F_{t.Rd,(1)} = 2B_{t.Rd}$

En raison d'une capacité de déformation limitée des boulons en traction, aucune redistribution des forces n'est autorisée entre les rangées de boulons.

La résistance

$$F_{Rd} = \text{Min}(F_{t,(1).Rd}, F_{c.Rd}, F_{1.Rd})$$

- ◆ si  $\min(F_{2.Rd}, F_{7.Rd}, F_{1.Rd}) = F_{2.Rd}$  en dit que le mode de ruine de l'assemblage est par plastification de l'âme de poteau en compression.
- ◆ si  $\min(F_{2.Rd}, F_{7.Rd}, F_{1.Rd}) = F_{7.Rd}$  en dit que le mode de ruine de l'assemblage est par plastification de l'âme de poutre en compression.
- ◆ si  $\min(F_{2.Rd}, F_{7.Rd}, F_{1.Rd}) = F_{1.Rd}$  en dit que le mode de ruine de l'assemblage est par plastification de l'âme de poteau en cisaillement.

En démontrant plus loin quelle est le cas le plus rencontré parmi ces trois dernières possibilités.

Pour la simplification d'établir l'organigramme en pose  $\min(F_{2.Rd}, F_{7.Rd}, F_{1.Rd}) = F_c$

**Le Moment plastique de calcul**

$$M_{j.Rd} = F_{Rd} \cdot Z$$

$$z = h_b - \frac{t_{fb}}{2} - m_2$$

**Le Moment élastique de calcul**

$$M_{e.Rd} = \frac{2}{3} M_{j.Rd}$$

3- si  $1.9B_{t.Rd} < F_{t.Rd.(1)} < 2B_{t.Rd}$  et  $F_{t.Rd.(1)} < F_{c.Rd}$

Donc la redistribution est élastique des efforts,

Le moment sera 
$$M_{j.Rd} = \frac{F_{t.(1).Rd}}{h_1} \sum h_i^2 = F_1 \cdot h_1 + F_2 h_2 + \dots + F_i h_i \tag{III-111}$$

A condition que  $\sum F_i = F_{c.Rd}$

3- si  $F_{t.Rd.(1)}$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{Est associée à la ruine de l'âme de poutre en traction} \\ \text{ou} \\ \text{Est associée à la ruine de l'ensemble boulons –platine} \\ \text{(Y compris la ruine des boulons seuls ou de platine seul)} \end{array} \right\}$  **et**

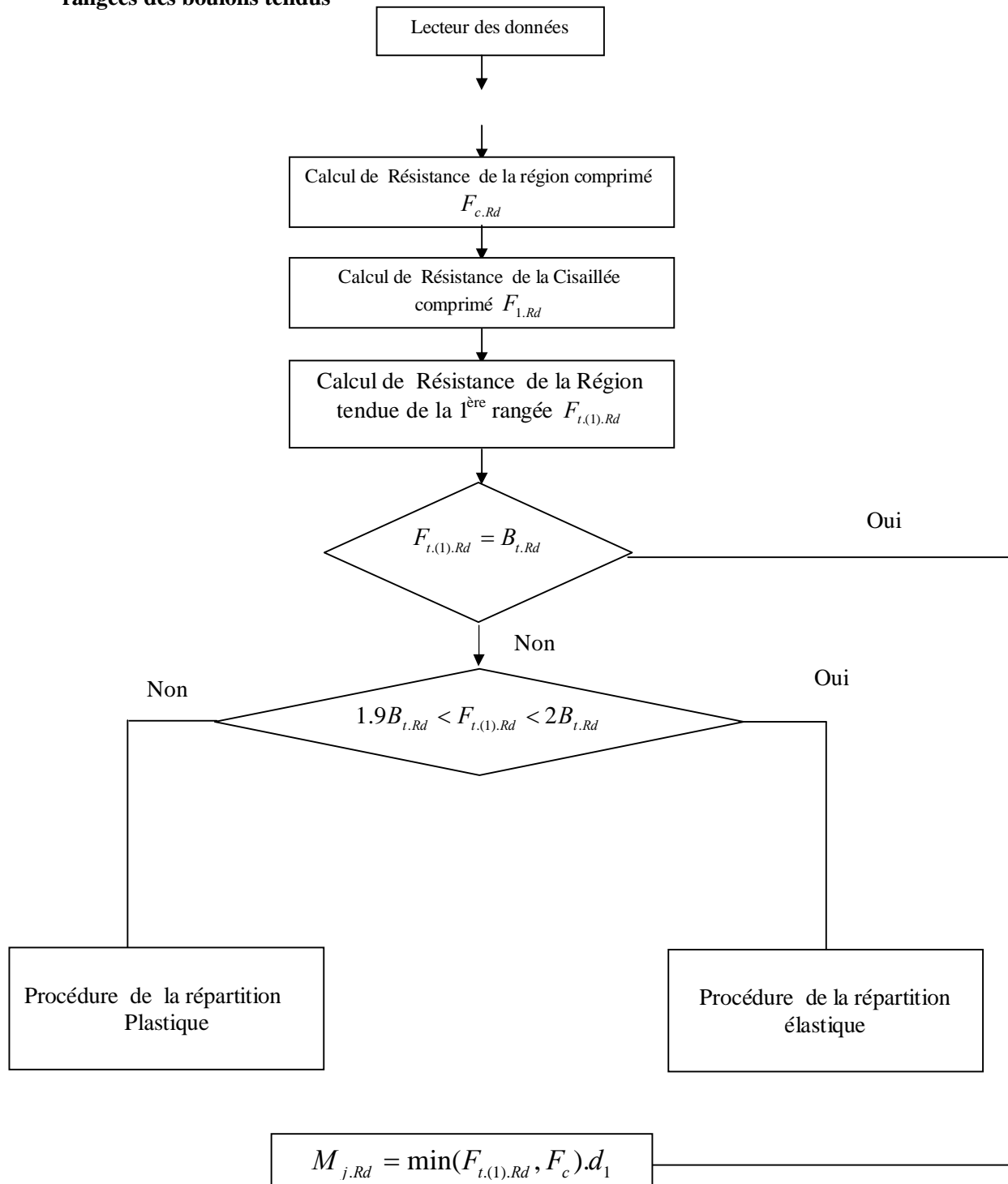
$$F_{t.Rd.(1)} \leq 1.9B_{t.Rd}$$

Donc on peut dire que la rangée possède une capacité de déformation suffisante pour permettre une redistribution plastique.

Et on passe à la 2<sup>ème</sup> rangée et on calcule  $F_{t.Rd.(2)} \dots$

Le résumé de la méthode des composants se présente par l'organigramme suivante

Organigramme de calcul du moment fléchissant d'un assemblage métallique à plusieurs rangées des boulons tendus



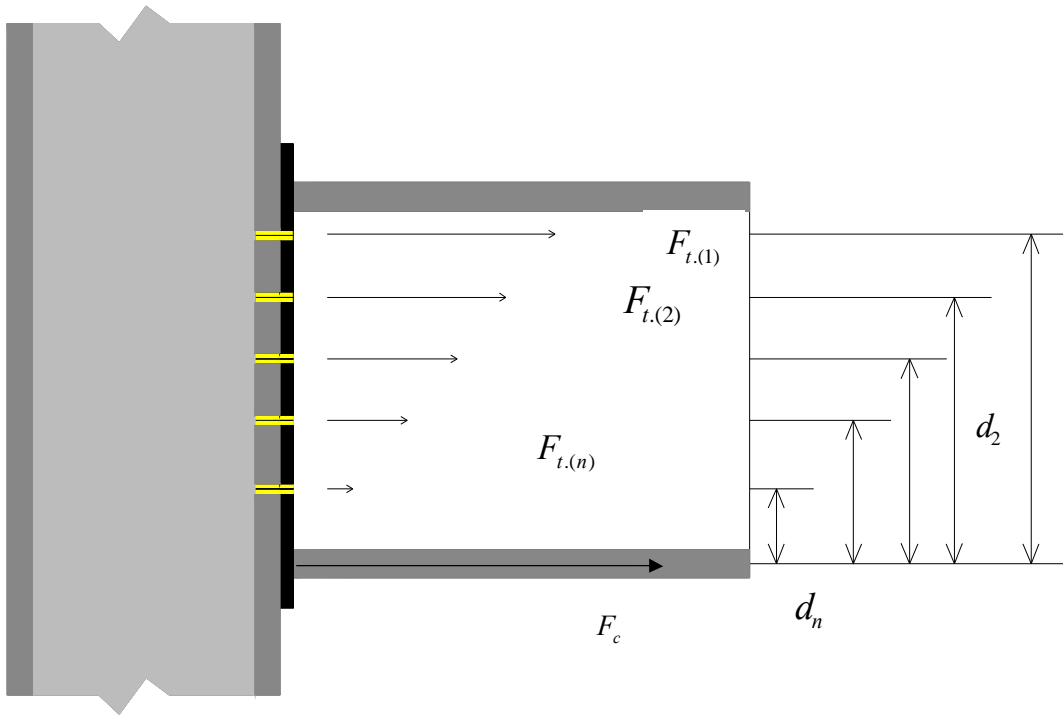
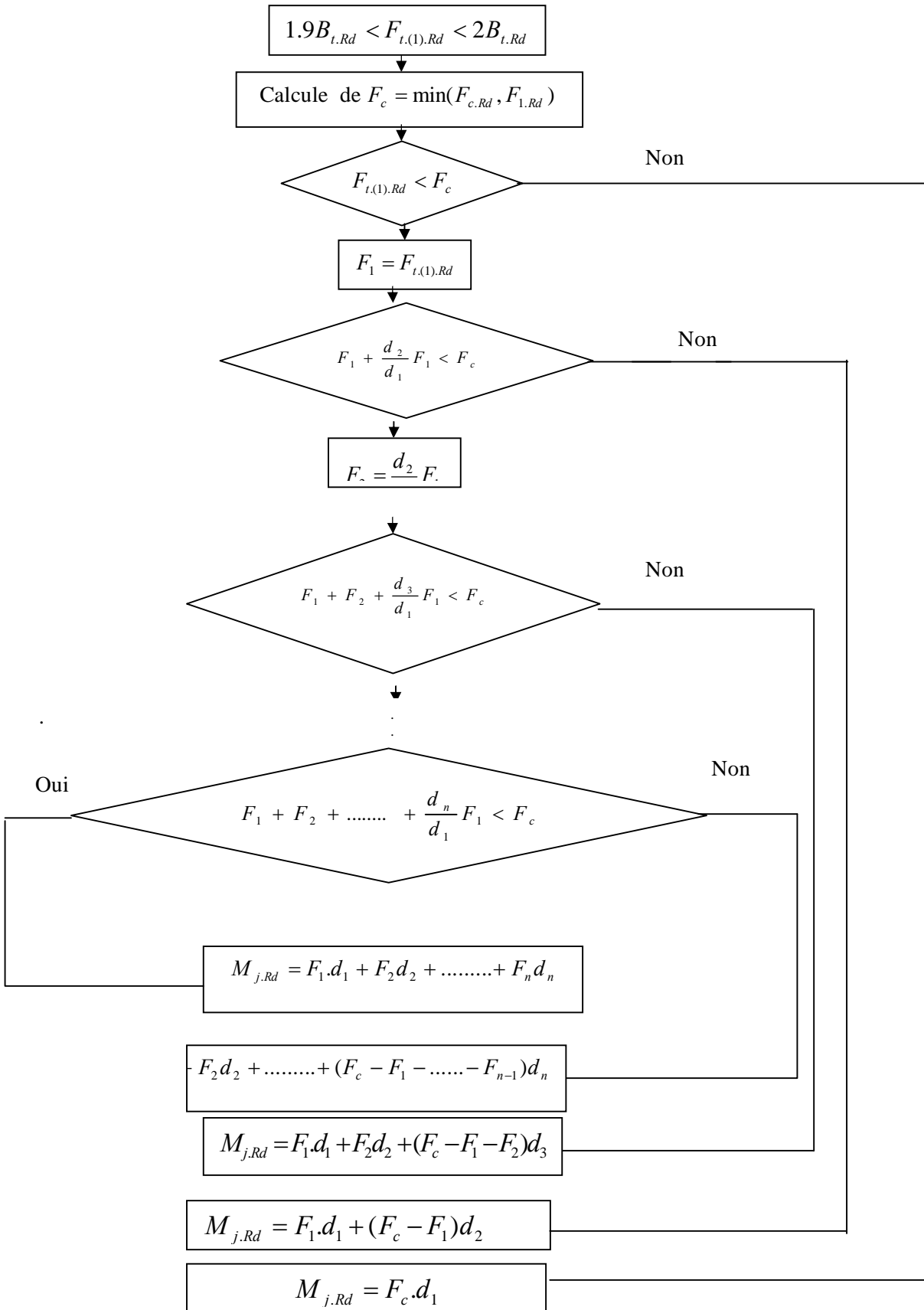
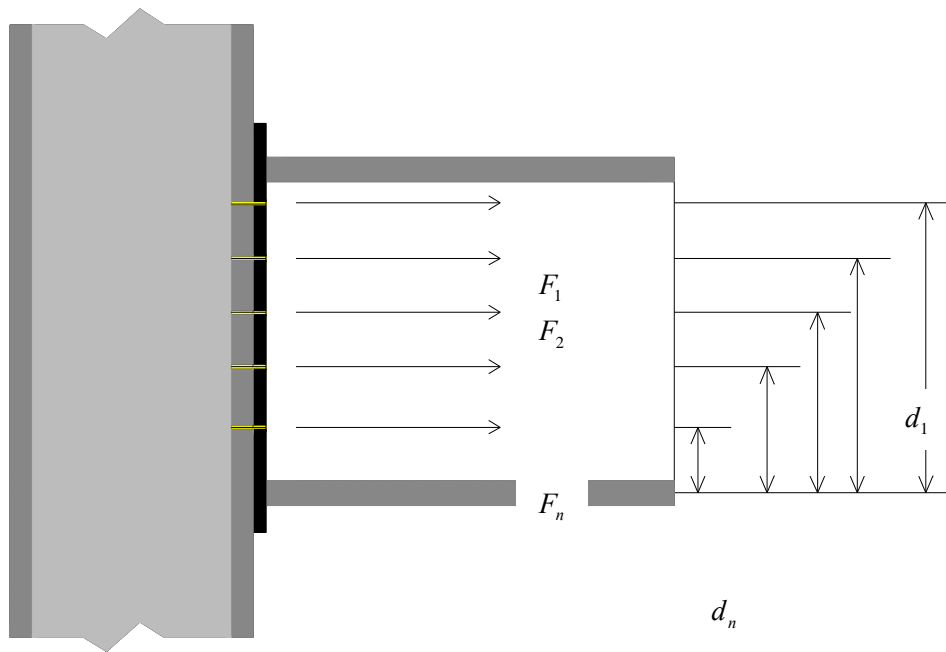


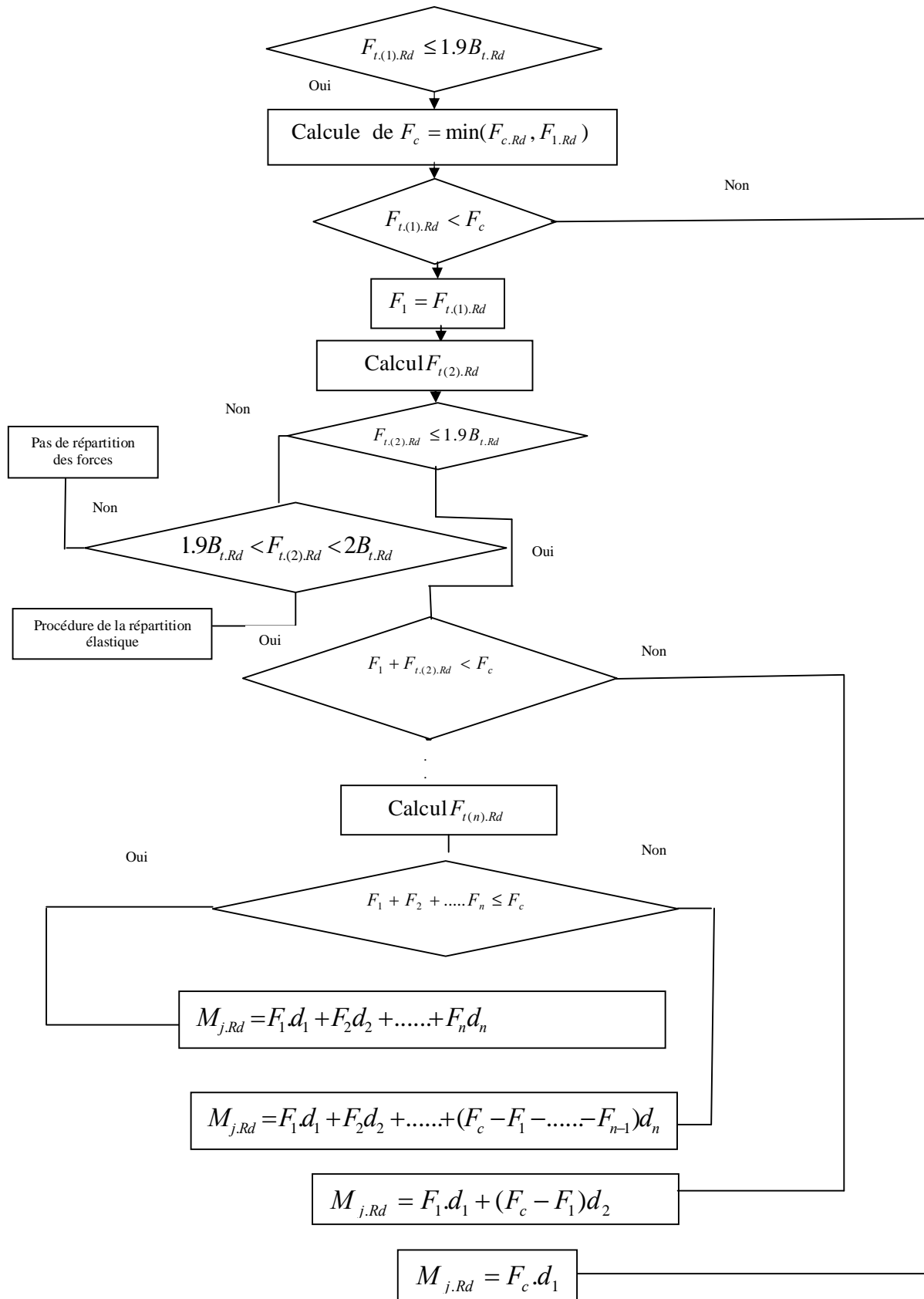
Figure III-29 représente la répartition élastique des efforts dans les boulons



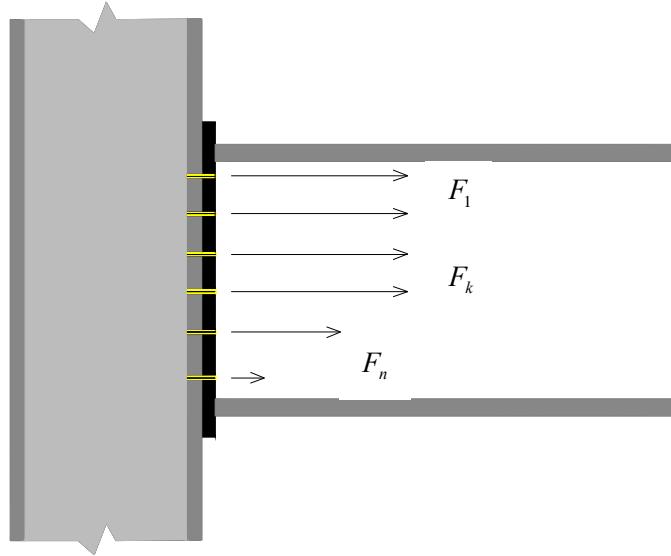
**Procédure de la répartition plastique**



**Figure III-30** représente la répartition Plastique des efforts dans les boulons



En constate que dans le cas de répartition plastique et en cas d'une rangée de k à la résistance est  $1.9B_{t,Rd} < F_{t,(k),Rd} < 2B_{t,Rd}$  donc la répartition des forces sous la rangée k est une répartition élastique donc l'ensemble des deux répartition s'appelle répartition élasto- plastique comme ce présente a la figure suivante



**III-31 Représente la répartition élasto -plastique des efforts dans les boulons**

### **Calcul de résistance et rigidité de calcul de la région tendue pour la 2eme rangée**

On constate qu'une approche simplifiée peut être adoptée lorsque la distance entre les rangées (l'entraxe P) est constante.

Il en résulte que chacune des rangées centrales à la même longueur efficace de tronçon équivalent  $l_{eff}$  et, par conséquent, la même résistance de calcul. En plus, parce que la résistance de calcul de chaque rangée peut être déterminée individuellement, il n'est pas nécessaire de passer par les résistances des groupes pour déduire, avec cette approche simplifiée on réduit considérablement le nombre de vérifications à faire.

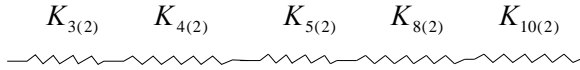
On peut déduire qu'un effet de groupe est présent entre deux rangées lorsque la condition suivante est satisfaite

$$P < \min(2\pi m, 4m + 1.25e) \quad [6] \quad \text{(III-112)}$$



### Résistance

La résistance des composantes sera calculer par la même procédure précédente avec les longueurs efficaces qui concerne la rangée



$$k_{t(2)} = \frac{1}{\frac{1}{k_{3(2)}} + \frac{1}{k_{4(2)}} + \frac{1}{k_{5(2)}} + \frac{1}{k_{8(2)}} + \frac{1}{k_{10(2)}}} \quad \text{[2]} \quad \text{(III-113)}$$

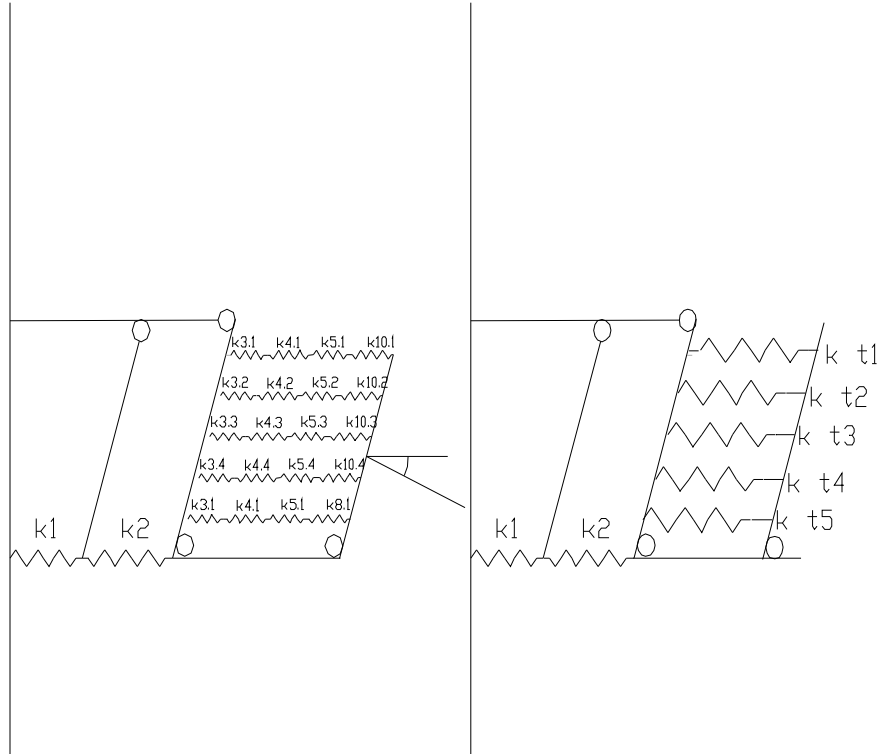
*Calcul de résistance et rigidité de calcul de la région tendue pour la 3<sup>eme</sup>, 4<sup>eme</sup>.  
.....N<sup>eme</sup> rangées*

$$F_{t.(2).Rd} = F_{t.(3).Rd} = F_{t.(4).Rd} = \dots\dots\dots = F_{t.(n).Rd} \quad \text{(III-114)}$$

La Rigidité des Autres rangées

$$k_{t(2)} = k_{t(3)} = k_{t(4)} = \dots\dots\dots = k_{t(n)} \quad \text{(III-115)}$$

La raideur équivalent des raideurs des composantes tendues



**Figure III-32 représente l'assemblage des rigidités**

D'après la figure on trouve que les raideurs équivalentes des rangées de la région tendue sont en parallèle donc

$$k_{eq} = \frac{\sum_i k_{t(i)} \cdot h_i}{z} \quad \text{(III-116)}$$

Z: la distance entre le centre de la semelle inférieure de poutre et la position de la Force équivalente de la résistance de calcul de la région tendue.

$$z_{eq} = \frac{\sum_i k_{t(i)} h_i^2}{\sum_i k_{t(i)} h_i} \quad \text{(III-117)}$$

### Assemblage des Composantes

#### Le Moment élastique de calcul

$$M_{e.Rd} = \frac{2}{3} M_{j.Rd}$$

#### Rigidité

**La rigidité initiale**

$$S_{j.ini} = \frac{E_a z_{eq}^2}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_7} + \frac{1}{k_{eq}}}$$

**La rigidité nominale**

$$S_j = \frac{S_{j.ini}}{2}$$

### ***III.3 ANALYSE CRITIQUE DES DEUX METHODES.***

Après la présentation et l'application des deux méthodes de calcul (l'ancienne et la nouvelle) à une configuration d'assemblage métallique la plus utilisée, on constate que l'ancienne méthode est simple d'utilisation et d'approche, permet de calculer rapidement le moment résistant de l'assemblage en le réduisant à la seule résistance des boulons tendus, sans se soucier ni des pertes de résistances ni encore moins des déformations d'autres éléments faisant partie de l'assemblage tel que : la platine d'extrémité, la semelle du poteau, celle de la poutre, l'âme du poteau, qui peuvent entraîner la ruine de l'assemblage. En revanche la méthode des composantes EC3 est très sophistiquée, très lourde à mettre en œuvre manuellement vu la quantité de calcul préliminaire ou fondamentale à faire, nécessitant d'office la mise au point d'un calcul automatique. Elle décrit le comportement de l'assemblage d'une manière très proche de la réalité, en le décortiquant en différentes zones (comprimée, tendue, cisailée), chaque zone avec ses composantes actives ; Le moment résistant est calculé en se basant sur la résistance de la plus faible des composantes. De ce fait, cette démarche introduit tous les éléments constituant la zone d'assemblage, elle permet aussi de calculer la rigidité initiale, caractéristique clé, pour la classification de ces derniers.

### ***III.4 CONCLUSION.***

Si un calcul du moment résistant de l'assemblage avec la norme **NFP 22460** est possible manuellement, celui utilisant **la méthode des composantes** s'avère pratiquement impossible notamment si on veut faire une étude paramétrique pour déterminer les facteurs influents sur les valeurs caractéristiques de l'assemblage. **(Mj.rd et Sjini).**

Le chapitre IV a pour objectif, l'élaboration d'un logiciel de calcul qui nous permettra d'obtenir rapidement les résultats recherchés, avec l'une ou l'autre des deux méthodes déjà citées.

# CHAPITRE IV

## **CHAPITRE IV**

### ***ELABORATION D'UN PROGRAMME DE CALCUL DES ASSEMBLAGES METALLIQUE SELON LA NORME NFP22460 ET METHODE DE COMPOSANTE***

#### ***IV -1 – INTRODUCTION***

Ce chapitre est consacré à la description et la présentation du logiciel de calcul, qui à été élaboré pour l'étude des assemblages métalliques qui sont l 'assemblage boulonnés en boulons HR par platine d'extrémité sans et avec rangées des boulons extérieurs selon la norme ancienne NF P 22 460 et la norme moderne EC03. Notre logiciel permet de déterminer automatiquement les caractéristiques des assemblages qui sont développées dans le chapitre III.

A l'aide de notre logiciel, nous allons conduire une étude paramétrique pour déterminer les facteurs influents sur le comportement des assemblages tel que :

- la hauteur des profilés métalliques des poutres.
- la nuance d'acier des profilés.
- les nombres de rangées des boulons dans la partie rendue
- l'épaisseur de la platine d'extrémité
- la dispositions des boulons.
- la nuance d'acier du boulon
- le diamètre des boulons

Et en finalisant avec la discussion des résultats obtenus par notre logiciel.

## ***IV 2– PRESENTATION DE LOGICIEL DE CALCUL:***

Notre logiciel prend son analyse à partir de la norme NPF 22460 et la méthode des composantes , on utilisant l'environnement de développement **Delphi** version **7** pour l'élaboration de cette version qui prend en charge les notions principales du génie logiciel.

### ***IV 2-1 Génie logiciel***

**Définition** : On appelle génie logiciel "l'ensemble des activités de conception et de mise en œuvre des produits et des procédures tendant à rationaliser la production du logiciel

Les principaux objectifs de cette maîtrise sont

- ▣ La mise en œuvre de solutions par des logiciels bien structurés
- ▣ La vérification des logiciels dans le respect des objectifs initiaux
- ▣ L'évaluation du processus de développement et de son niveau de maturité

### ***IV -2-2 Delphi :***

#### **Introduction**

Delphi est un outil de programmation orienté Windows et maintenant linux. Un peu comme Visual Basic, il est possible de créer des programmes Windows et linux très aisément. C'est un logiciel de développement de type **rad** (rapide application développement).

Delphi est puissant et fiable, grâce à la **vcl** (virtuel composent librairie), on n'a plus réellement besoin de se soucier des caractéristiques propre à Windows ou linux. On n'a qu'à se concentrer sur l'algorithme à développer. On peut à tout instant décider d'utiliser l'api au lieu de la vcl.

Delphi permet d'utiliser le basic, l'assembleur, les micro-soft fondations classes (mfc). Comme on peut voir, il est très polyvalent. La vcl fournit de nombreux composants visuels et non-visuels dans de nombreux domaines : bases de données, communication, réseau, multimédia. Avec l'envolée d'internet,

Delphi utilise le pascal objet, qui a fait ses preuves depuis longtemps. Il surpasse dans certains domaines le langage c++. En somme, il possède la puissance du C++ avec la facilité du visuel basic, ce qui constitue un rêve pour les programmeurs. Les fichiers exécutables de Delphi ne nécessitent aucunement de bibliothèque supplémentaire fin de fonctionner, ce qui augmente considérablement leurs vitesses d'exécution.

Delphi pour Windows en est rendu à sa 8 version, on a le choix entre 4 variantes de Delphi:

Personnel

Professionnel

Entreprise

Architecte

Le standard étant amplement suffisant pour les besoins d'un programmeur débutant, les autres préféreront la version professionnelle.

Kylix est la version de Delphi et de bcb pour linux, ils sont offerts en trois versions:

Développement Serveur

Développement Desktop

Open Edition

La version open édition est offerte gratuitement en téléchargement, si vous voulez découvrir la puissance de Delphi, n'hésitez pas à la télécharger.

Même si Delphi facilite grandement la programmation, il faudra comme dans tout langage travailler fort enfin de devenir un excellent programmeur. On peut grâce à Delphi 6, 7 et kylix développer une application qui fonctionnera sans trop de problème sous les deux systèmes d'exploitation.

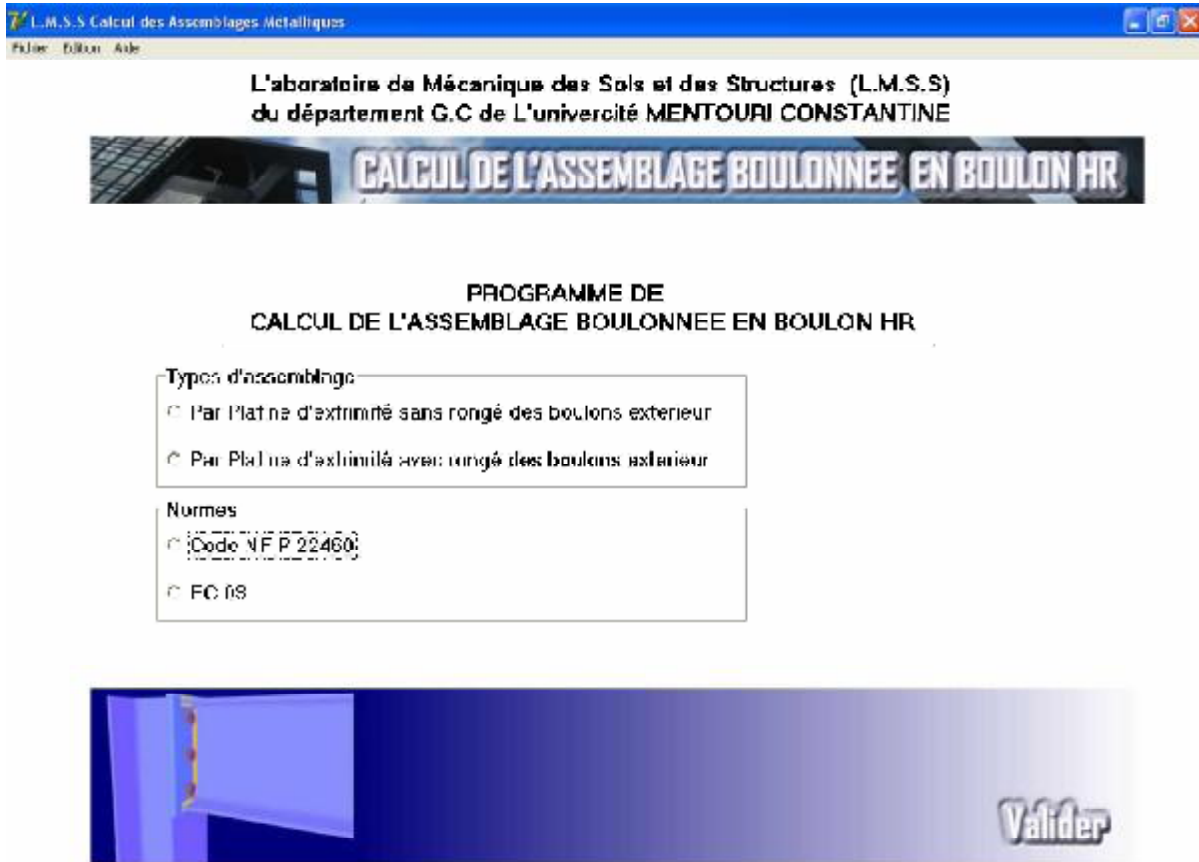
Delphi 8 est orienté .NET, le pont avec Win 32 est brisé. Borland utilise le framework MS .Net.

#### **IV -3 DESCRIPTION DU LOGICIEL DE CALCUL "ABP Extrem" :**

La première fenêtre c'est la fenêtre principale, c'est là où l'utilisateur doit commencer, on choisissant le type d'assemblage devant être traité, on a un groupe permettant le choix d'un seul type d'assemblage (Style Radio), et un autre pour le choix de la norme qui doit être traité avec le type d'assemblage choisi. En suite on valide par un simple clique sur le bouton valider.

La fenêtre principale est présentée par la figure suivante :





**Figure IV -1 fenêtre principale de logiciel**

D'après l'image précédente on peut comprendre que le logiciel peut exécuter quatre Programme :

**Programme N° 01** : assure le traitement d'assemblage par platine d'extrémité sans ragnées des boulons extérieurs par la norme NF P 22460.

**Programme N° 02** : celle-ci, permet le traitement d'assemblage par platine d'extrémité avec ragnées des boulons extérieurs par la norme NF P 22460.

**Programme N° 03** : elle traite l'assemblage par platine d'extrémité sans ragnées des boulons extérieurs par la norme EC03.

**Programme N° 04** : assure le traitement d'assemblage par platine d'extrémité avec ragnée des boulons extérieurs par la norme EC03.

Alors, l'utilisateur peut exécuter la première tache on choisissant le premier bouton du groupe

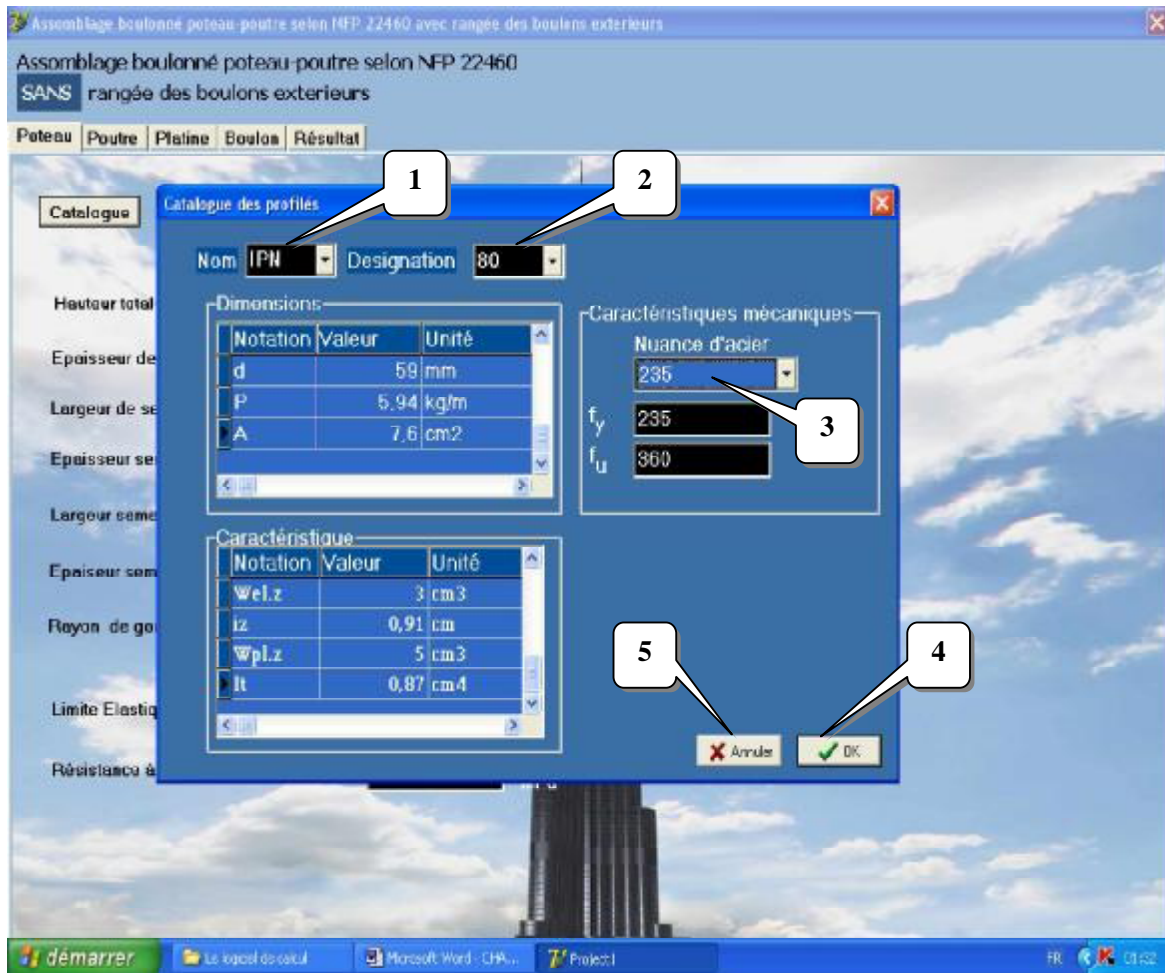
**Type** et le premier bouton du groupe**Norme**, il va se trouver dans la fenêtre suivante :



**Figure IV-2 Fenêtre de Programme N° 01**

La fenêtre de Programme N° 01 comporte cinq feuilles d'opération, le passage entre les feuilles se fait d'une manière simple par une simple clique sur les noms des feuilles.

La première et la deuxième feuille concernent les données du poteau et la poutre, un exemple par défaut (HEB200 pour le poteau et IPE 360 pour la poutre) est fournie à l'exécution. Pour choisir un autre profilé il faut cliquer sur le bouton **Catalogue**. Qui conduit à une base des données des profilés laminés. La figure suivante présente la fenêtre qui sera affichée à la suite d'un clic sur le bouton **Catalogue**.

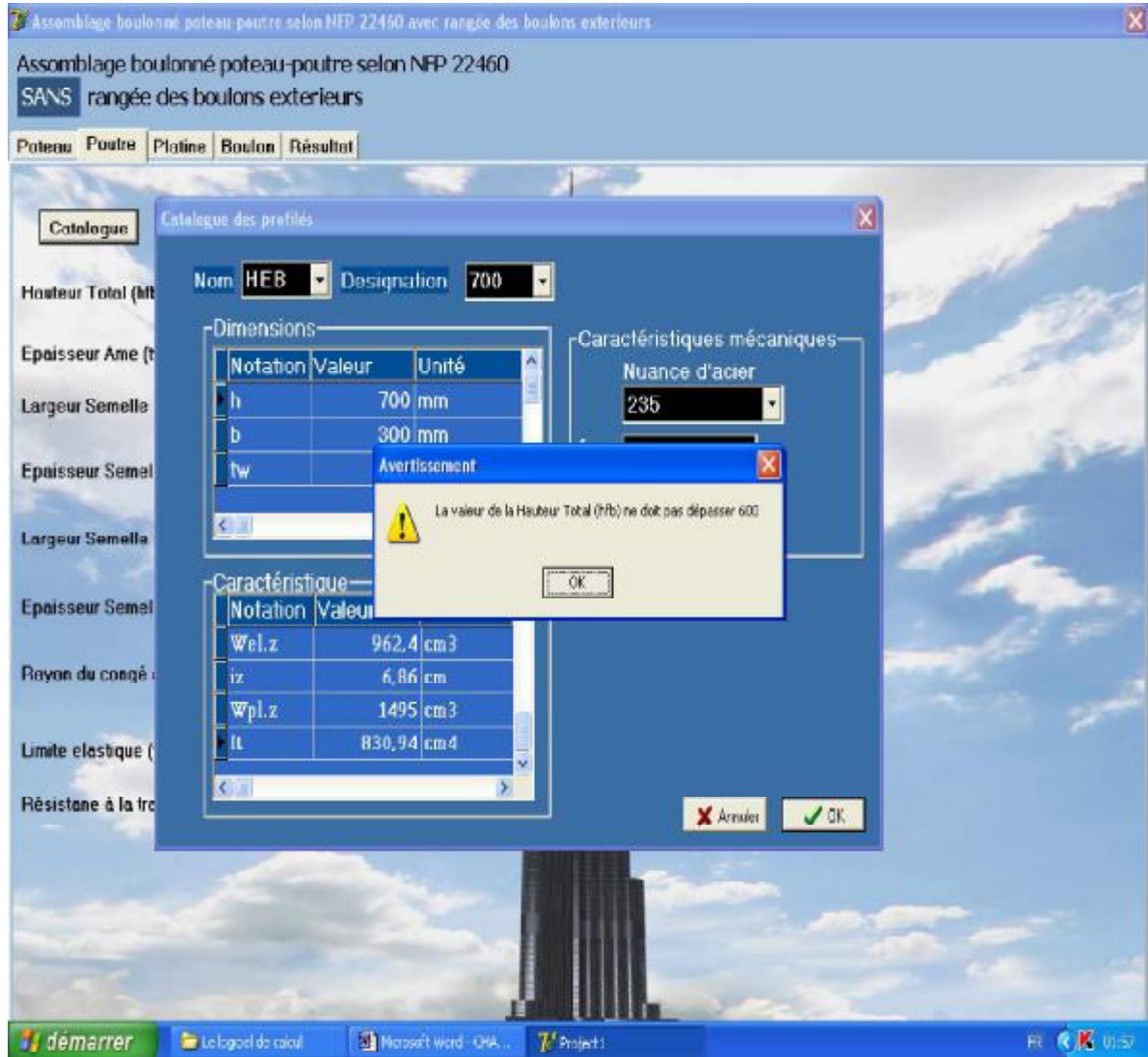


**Figure IV-3 Fenêtre de De la Base des donnée des Profilés et leur nuance d'acier**

Le choix de type de profilés sera comme suit

- 1- Choix du nom de la famille de profilés ;
- 2- Précision du profilé ;
- 3- La nuance d'acier du profilé
- 4- Valider les choix, et fermer la fenêtre ;
- 5- Fermer la fenêtre sans prise en charge des modifications.

Pour les poutres le logiciel prend en charge la condition de la hauteur maximal ( 600 mm) en cas d'erreur de la part de l'utilisateur, le logiciel affichera un message d'avertissement et n'acceptera pas les données érronées. Un tel cas peut ressembler à la figure suivante :



**Figure IV-4** fenêtre en cas d'erreur

Le logiciel prend en charge les conditions suivantes

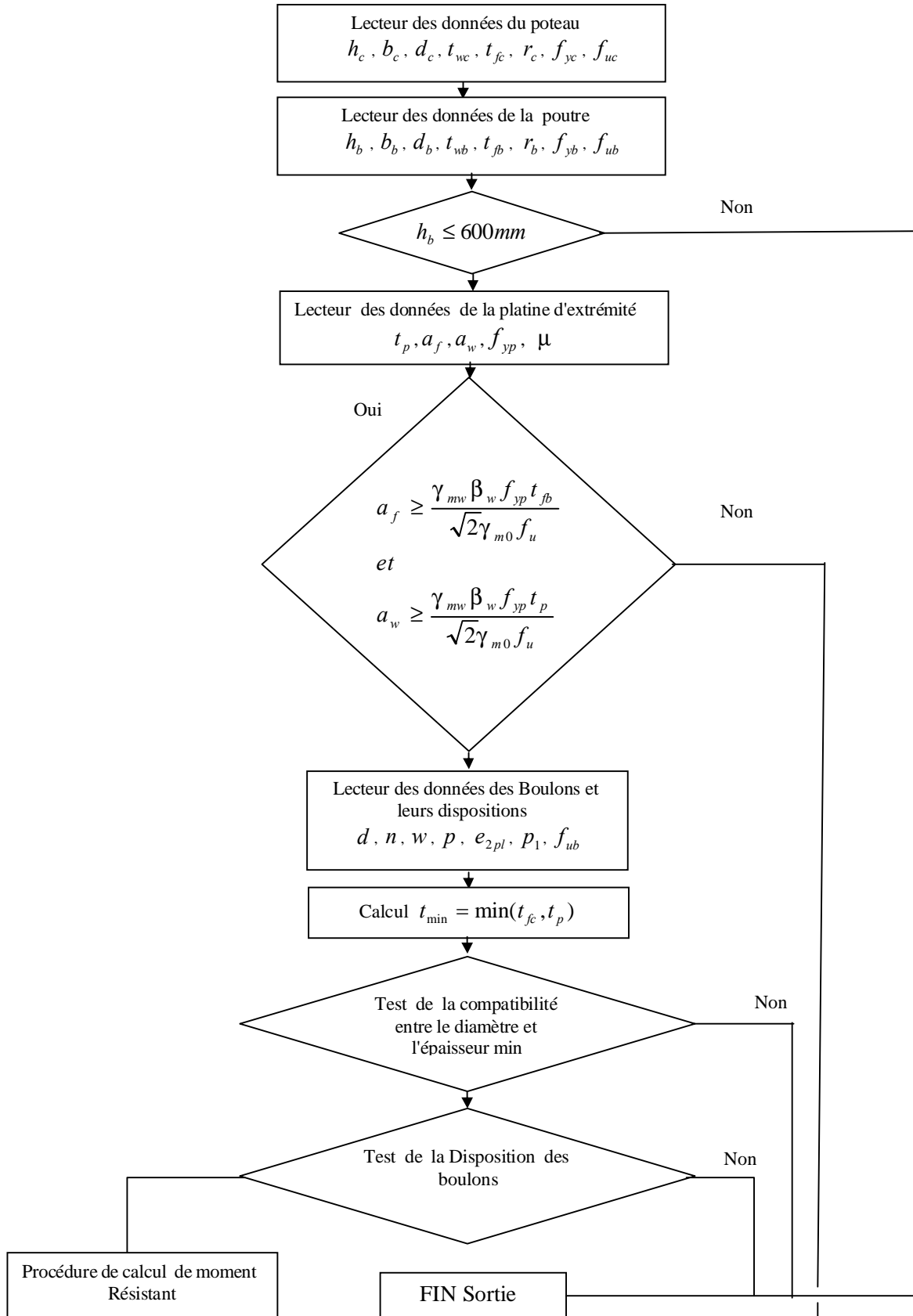
- La disposition des boulons au niveau de la feuille boulon
- Le cordon de soudure minimale au niveau de feuille platine
- La condition de la compatibilité entre en le diamètre des boulons choisie et l'épaisseur minimale ( semelle poteau et platine d'extrémité)

- La condition de la ductilité nécessaire pour une répartition plastique. Ceci est pris en charge par le Programme N° 02

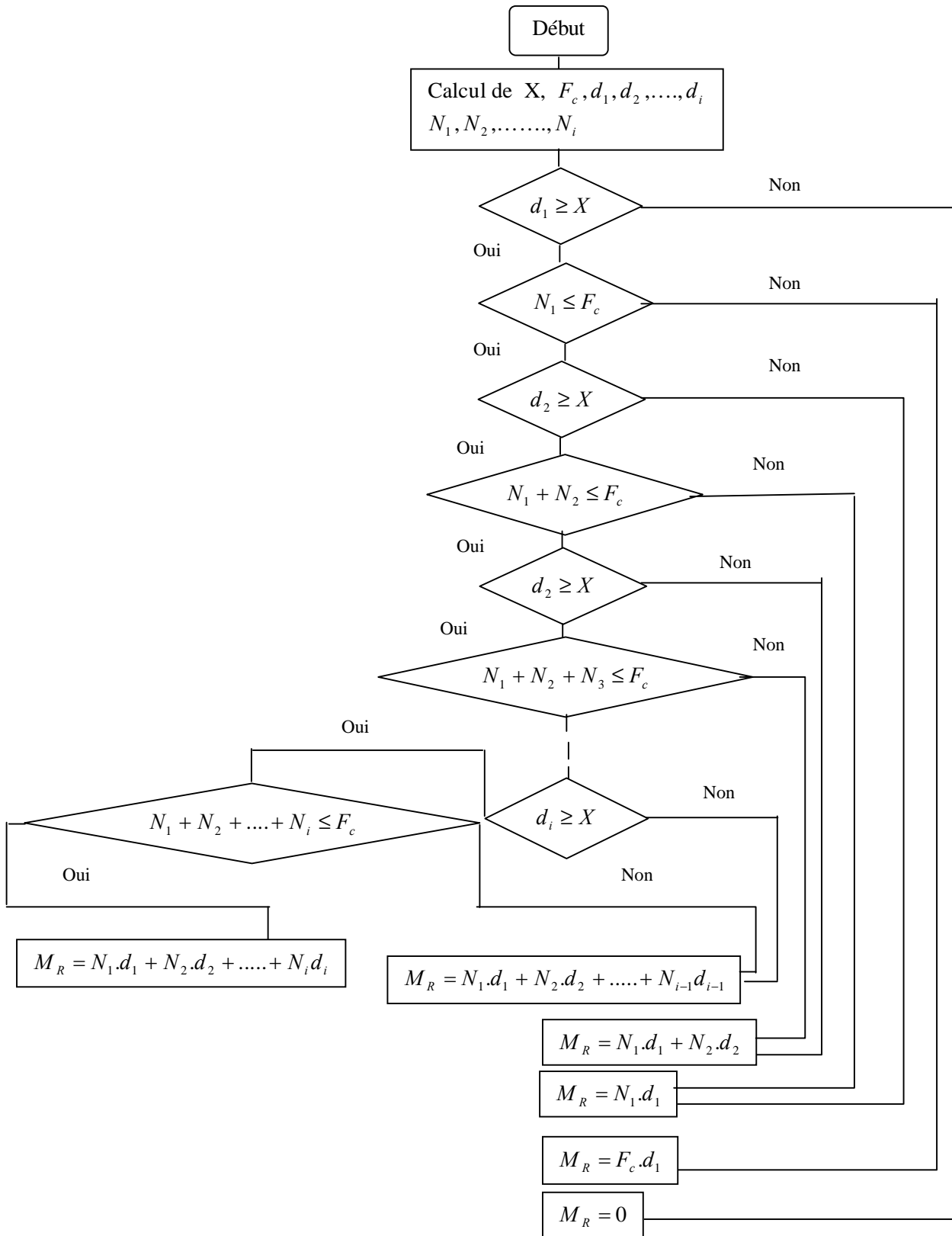
Le logiciel guide l'utilisateur par des messages d'avertissements en cas d'erreur et minimise le tâtonnement nécessaire pour concevoir un assemblage répondant aux conditions normalisées.

L'élaboration du Programme N° 01 repose sur la traduction d'un organigramme suivant

**Organigramme pour le calcul selon la norme NFP 22 460**



Organigramme de calcul de moment résistant selon la norme NF P22460



### IV 3-1-Exemple De Calcul selon la norme NF P 22 460 Pour La Validation Du Logiciel

En presente ici un exemple de calcul manuel Pour la validation de notre logiciel "tout trouvant cet exemple dans le logiciel par défaut"

**Poteau : HEB 200**

$$h_c = 200mm \quad , \quad b_c = 200mm \quad , \quad t_{wc} = 9mm \quad , \quad t_{fc} = 15mm \quad , \quad r_c = 18mm \quad , \quad d_{wc} = 134mm$$

$$f_{yc} = 235MPa \quad f_{uc} = 360MPa$$

**Poutre : IPE 360**

$$h_b = 360mm \quad , \quad b_b = 170mm \quad , \quad t_{wb} = 8mm \quad , \quad t_{fb} = 12.7mm \quad , \quad r_b = 12mm \quad , \quad d_{wb} = 310.6mm$$

$$, f_{yb} = 235MPa \quad , \quad f_{ub} = 360MPa \quad ,$$

**Platine :**

$$t_p = 8mm \quad , \quad a_f = 7mm \quad , \quad a_w = 4mm \quad , \quad f_{yp} = 235MPa \quad , \quad f_{up} = 360MPa$$

**Boulon :**

Nombre de rangés = 03

Type H.R10.9

M16

W= 100 mm

P= 100 mm

P1= 70 mm

$$e_{2pl} = 35mm$$

**LES VERIFICATIONS NECESSAIRES**

1-  $h_b = 360mm \leq 600mm$  **vérifiée.**

$$a_f = 7mm \geq \frac{\gamma_{mw} \beta_w f_{yp} t_{fb}}{\sqrt{2} \gamma_{m0} f_u} = \frac{1.25 * 0.80 * 235 * 12.7}{\sqrt{2} * 1.1 * 360} = 5.329 mm$$

2- et

$$a_w = 4mm \geq \frac{\gamma_{mw} \beta_w f_{yp} t_p}{\sqrt{2} \gamma_{m0} f_u} = \frac{1.25 * 0.80 * 235 * 8}{\sqrt{2} * 1.1 * 360} = 3.356 mm$$

**vérifiée.**

Calcul  $t_{min}$  :

$$t_{min} = \min(t_{fc}, t_p) = \min(15mm, 8mm) = 8mm$$

3-  $t_{min} = 8mm < 10mm$  en peut choisie d=16mm **vérifiée.**



4- vérification la disposition des boulons

4-1-  $d=16\text{ mm}$  donc  $d_0 = 18\text{mm}$

$3d_0 = 3 * 18 = 54 \leq p = w = 100 \leq \min(14t, 200\text{mm}) = \min(14 * 8, 200) = 112$  **Vérifiée.**

4-2  $1.5d_0 = 27 \leq e_{2.pl} = 35\text{mm} \leq \max(12t, 150) = 150\text{mm}$  **vérifiée.**

**Calcul de hauteur de la partie comprimée.**

La hauteur de la partie comprimée est donnée par la formule suivante.

$$X = t_{fb} \sqrt{\frac{b_b}{t_{wb}}} = 12.7 * \sqrt{\frac{170}{8}} = 58.54\text{mm}$$

**Calcul de la surface de la partie comprimée de la poutre  $A_{cb}$  :**

$$A_{cb} = t_{fb} (b_b + \sqrt{b_b t_{wb}}) = 12.7 * (170 + \sqrt{170 * 8}) = 2627,3528\text{mm}^2$$

**Calcul de la surface de la partie comprimée de la poutre  $A_{cc}$  :**

$$A_{cc} = t_{wc} (t_{fb} + 2t_p + 5(t_{fc} + r_c)) = 9 * (12.7 + 2 * 8 + 5 * (15 + 18)) = 1743.3\text{mm}^2$$

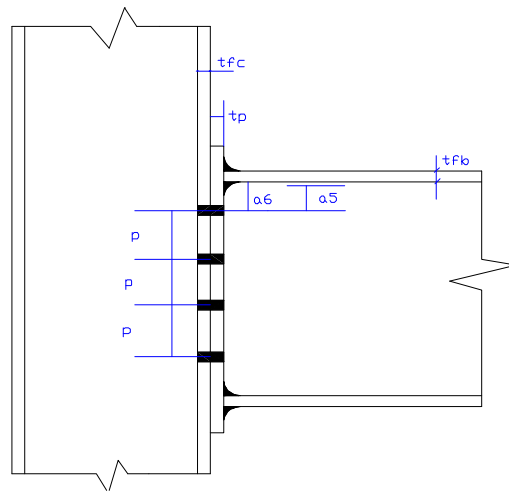
**Calcul de la force résistante de la partie comprimée**

$$F_c = \min(A_{cc} f_{yc}, A_{cb} f_{yb}) = \min(1743.3 * 235, 2627.3582 * 235) \\ = \min(409675.5, 617429.177) = 409675.5\text{N} = 409.6755\text{KN}$$

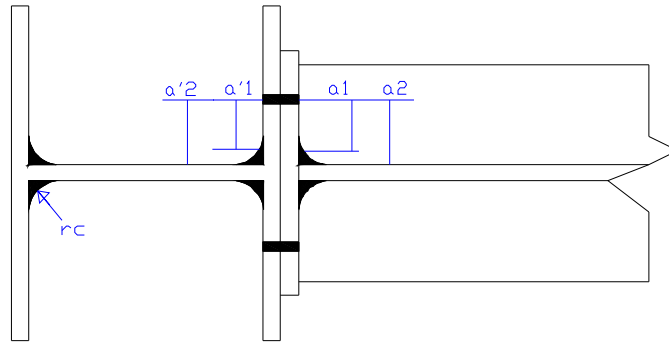
**Calcul des efforts dans les boulons:**

**Rangées des boulons intérieurs:**

- calcul préliminaire



**Figure IV-5 coupe latérale d'assemblage uni- axiale axe majeur**



**Figure IV-6 coupe horizontale d'assemblage uni axiale axe majeur**

$$a_2 = \frac{w - t_{wb}}{2} = \frac{100 - 8}{2} = 46 \text{ mm}$$

$$a_1 = a_2 - 0.8\sqrt{2}a_w = 46 - 0.8 * \sqrt{2} * 4 = 41.4745 \text{ mm}$$

$$a'_2 = \frac{w - t_{wc}}{2} = \frac{100 - 9}{2} = 45.5 \text{ mm}$$

$$a'_1 = a'_2 - 0.8r_c = 45.5 - 0.8 * 18 = 31.1 \text{ mm}$$

$$a_6 = p_1 - t_{fb} = 70 - 12.7 = 57.30 \text{ mm}$$

$$a_5 = a_6 - 0.8\sqrt{2}a_f = 57.30 - 0.8\sqrt{2} * 7 = 49.38 \text{ mm}$$

La résistance de calcul de la rangée intérieure est donnée par l'expression suivante

$$N_1 = 2 * \text{mi} \left\{ \begin{array}{l} 0.8A_s f_{yB} = 0.8 * 157 * 900 = 113040 \text{ N} = 113.04 \text{ KN} \\ 3750 \alpha_p \left( \frac{a_2}{a_1} + \frac{a_6}{2a_5} \right) = 3750 * 8 * \left( \frac{46}{41.4745} + \frac{57.3}{2 * 49.38} \right) = 50670 \text{ N} = 50.67 \text{ KN} \\ 3750 \alpha_{fc} \left( \frac{a'_2}{a'_1} * \frac{p}{P + a'_2} \right) = 3750 * 15 * \left( \frac{45.5}{31.1} * \frac{100}{100 + 45.5} \right) = 56560.14 \text{ N} = 56.560 \text{ KN} \\ 0.5 * f_{yc} * t_{wc} * p = 0.5 * 235 * 9 * 100 = 105750 = 105.75 \text{ KN} \end{array} \right.$$

$$N_1 = 2 * 50.67 \text{ KN} = 101.34 \text{ KN}$$

La résistance de calcul de rangées centrales est donnant par la formule suivante

$$N_2 = N_3 = \dots = 2 * \min \left\{ \begin{array}{l} 0.8 A_s f_{yB} = 0.8 * 157 * 900 = 113040 N = 113.04 KN \\ 3750 \alpha_p \left( \frac{a_2 * p}{a_1 * p + a_2} \right) = 3750 * 8 * \left( \frac{46}{41.4745} * \frac{100}{100 + 46} \right) = 22790.039 N = 22.79 KN \\ 3750 \alpha_{jc} \left( \frac{a'_2 * p}{a'_1 * p + a'_2} \right) = 3750 * 15 * \left( \frac{45.5}{31.1} * \frac{100}{100 + 45.5} \right) = 56560.14 N = 56.560 KN \\ 0.5 * f_{yc} * t_{wc} * p = 0.5 * 235 * 9 * 100 = 105750 = 105.75 KN \\ 0.5 * f_{yp} * t_{wb} * p = 0.5 * 235 * 8 * 100 = 94000 N = 94. KN \end{array} \right.$$

$$N_1 = 2 * 2279 KN = 45.58 KN$$

**Calcul des bras de leviers des efforts**

$$d_1 = h_b - t_{fb} - P_1 = 360 - 12.7 - 70 = 277.3 mm$$

$$d_2 = d_1 - P = 277.3 - 100 = 177.3 mm$$

$$d_3 = d_1 - 2p = 277.3 - 2 * 100 = 77.3 mm$$

Tan que (  $d_1$  ,  $d_2$  et  $d_3$  )  $\geq X$  et  $\sum N_i \leq F_c$  donc

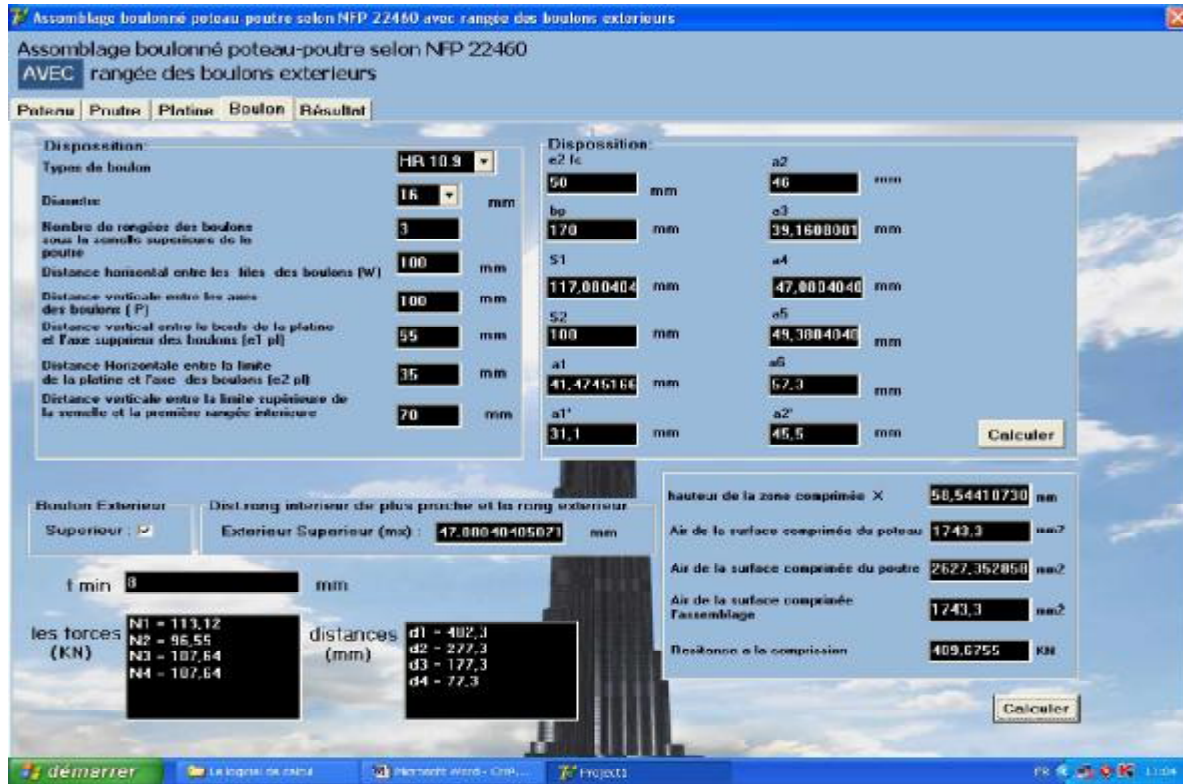
$$M_R = N_1 * d_1 + N_2 * d_2 + N_3 * d_3$$

$$= (101.34 * 0.2773 + 45.58 * 0.1773 + 45.58 * 0.0773) = 28.101 + 8.081 + 3.523 = 39.705 KN.m$$

On remarquant l'existence d'une légère déférence entre les résultats obtenus par le calcul manuel et le calcul automatisé, cette déférence est due à la grande précision du calcul automatique.

**Programme N° 02**

Pour traiter un assemblage par platine d'extrémité avec rangées des boulons extérieurs on va exécuter le Programme N° 02, dont l'interface est quasi identique à le premier Programme avec une petite déférence au niveau de la feuille « boulon ».



**Figure IV-7- fenêtre Porogramme N°02 fouille boulon.**

Le Tache N° 02 prend en charge les conditions supplémentaires pour ce type d'assemblage tel que:

- la hauteur maximale des poutres est 1000mm
- les deux conditions pour la ductilité nécessaire pour avoir une répartition plastique a savoir;

$$\frac{d}{t_p} \geq 1.9 \sqrt{\frac{f_{yp}}{f_{ub}}}$$

Et

$$\frac{d}{t_{fc}} \geq 1.9 \sqrt{\frac{f_{yfc}}{f_{ub}}}$$

**Programme N° 03et N°04 :** Ces programmes permettent l'évaluation des critères clés des assemblages par l'EC03 , voir Figure IV-8

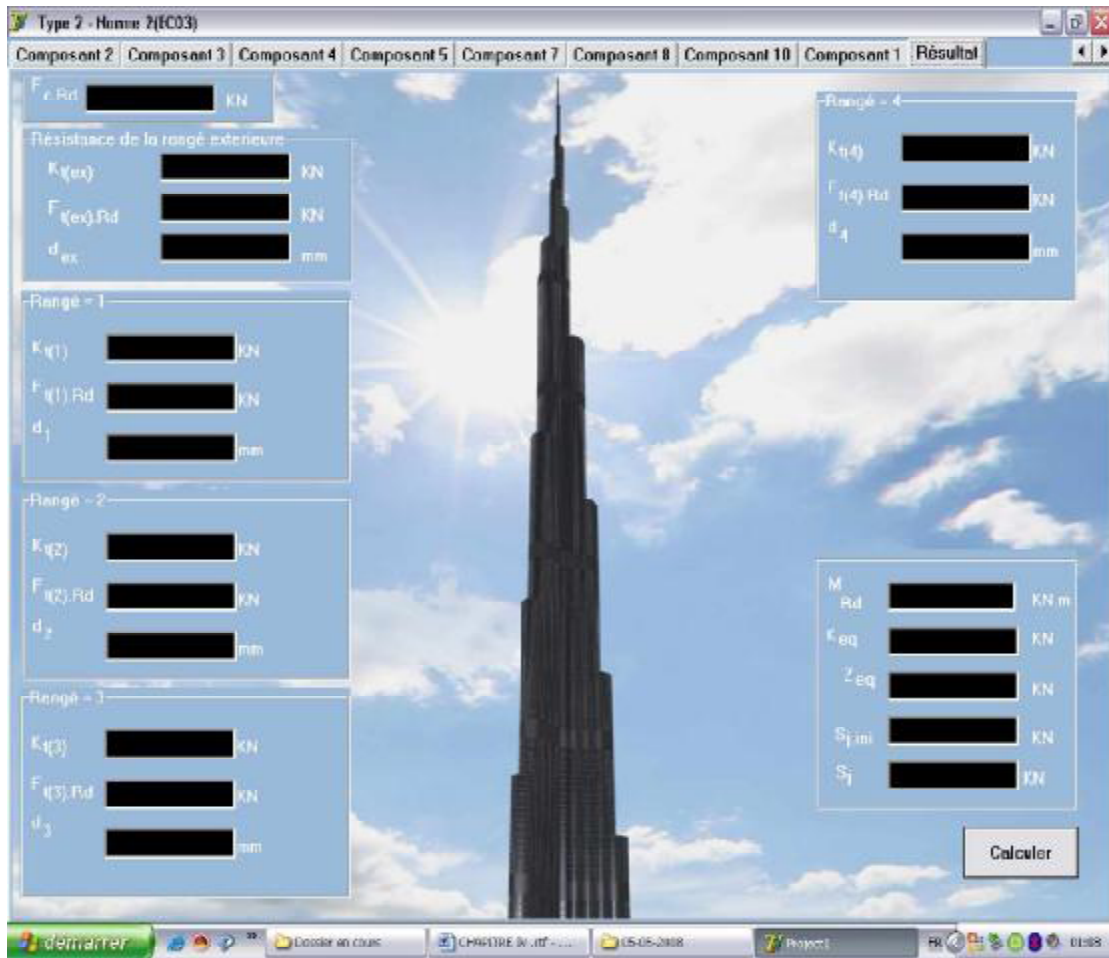
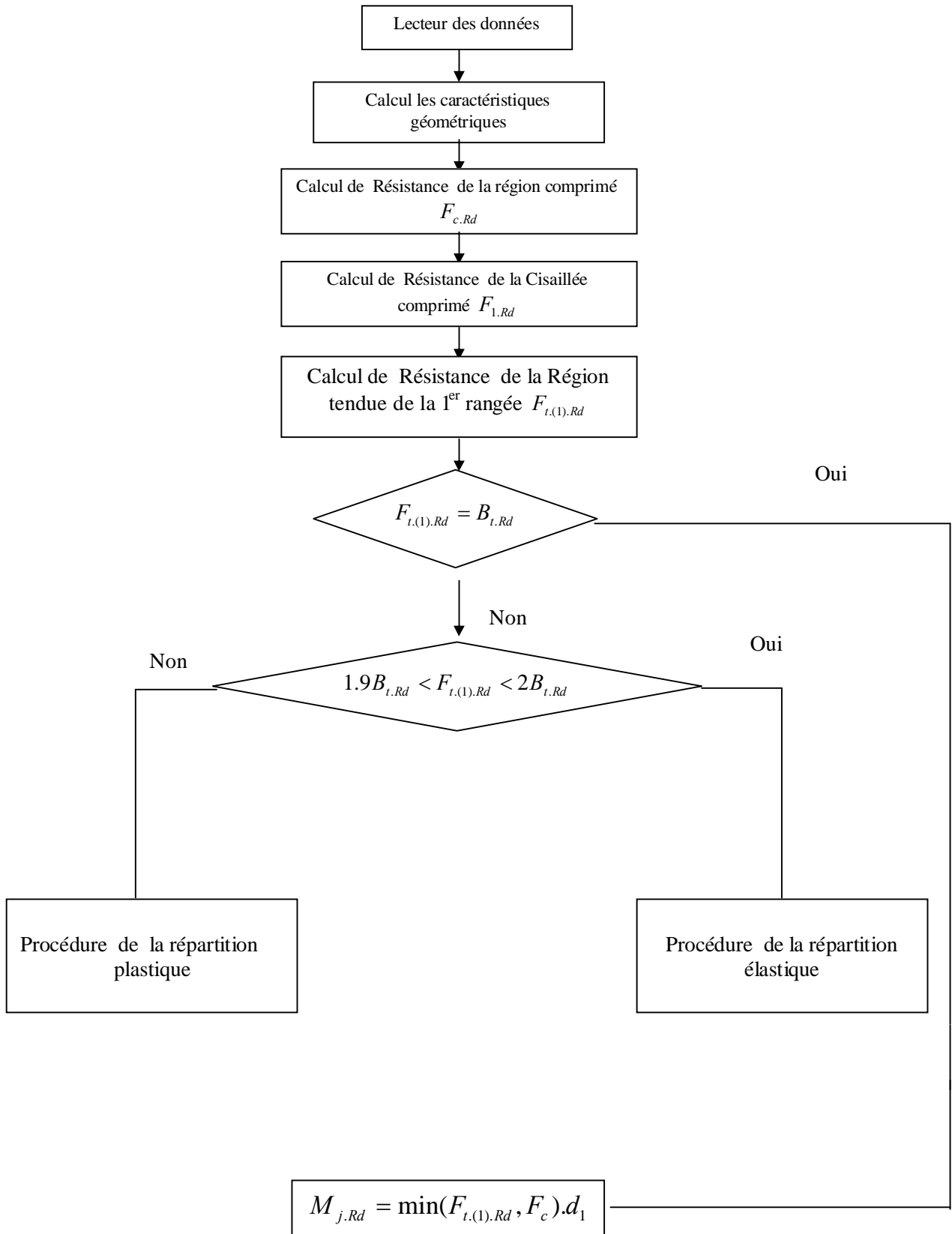
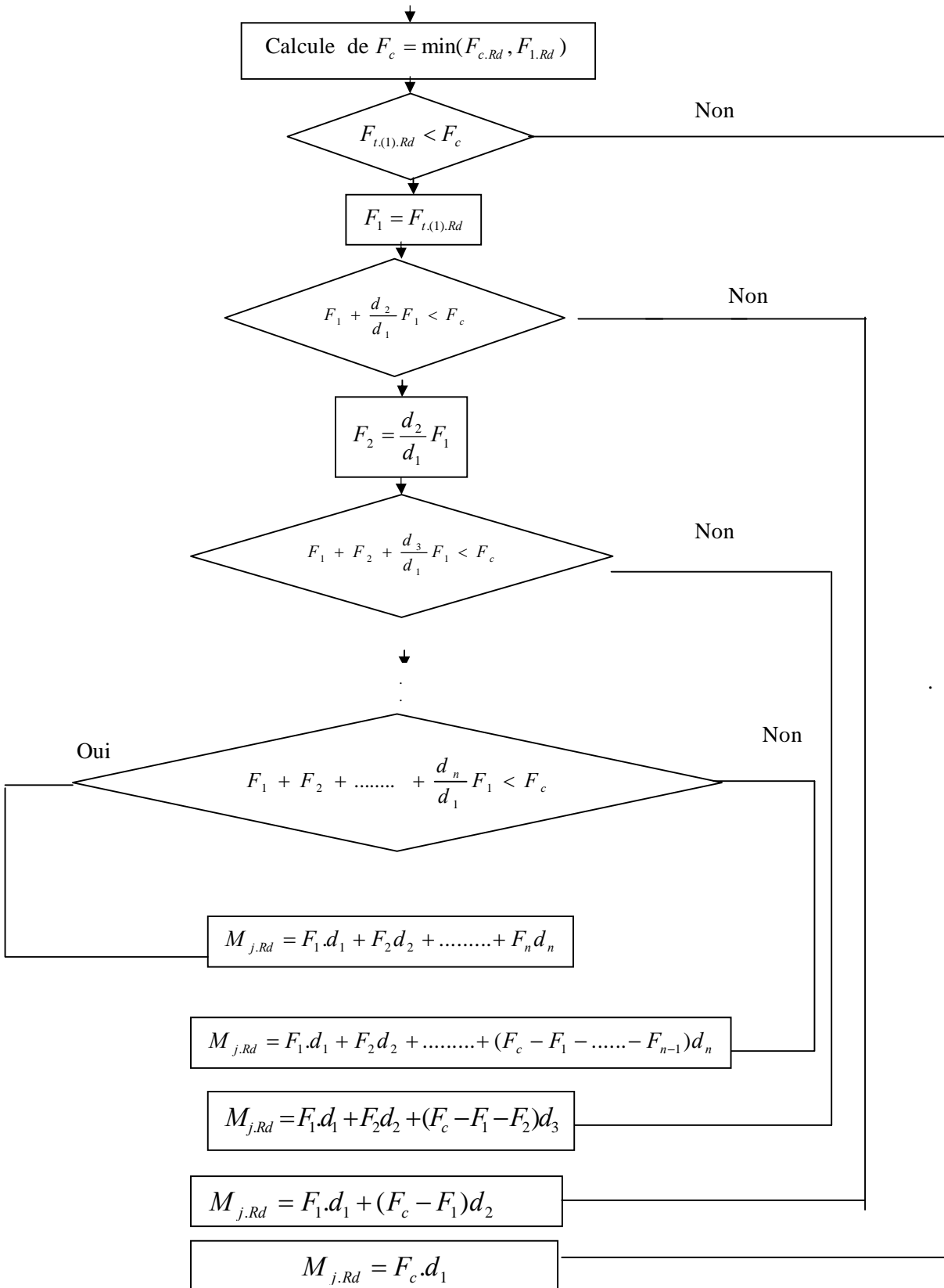


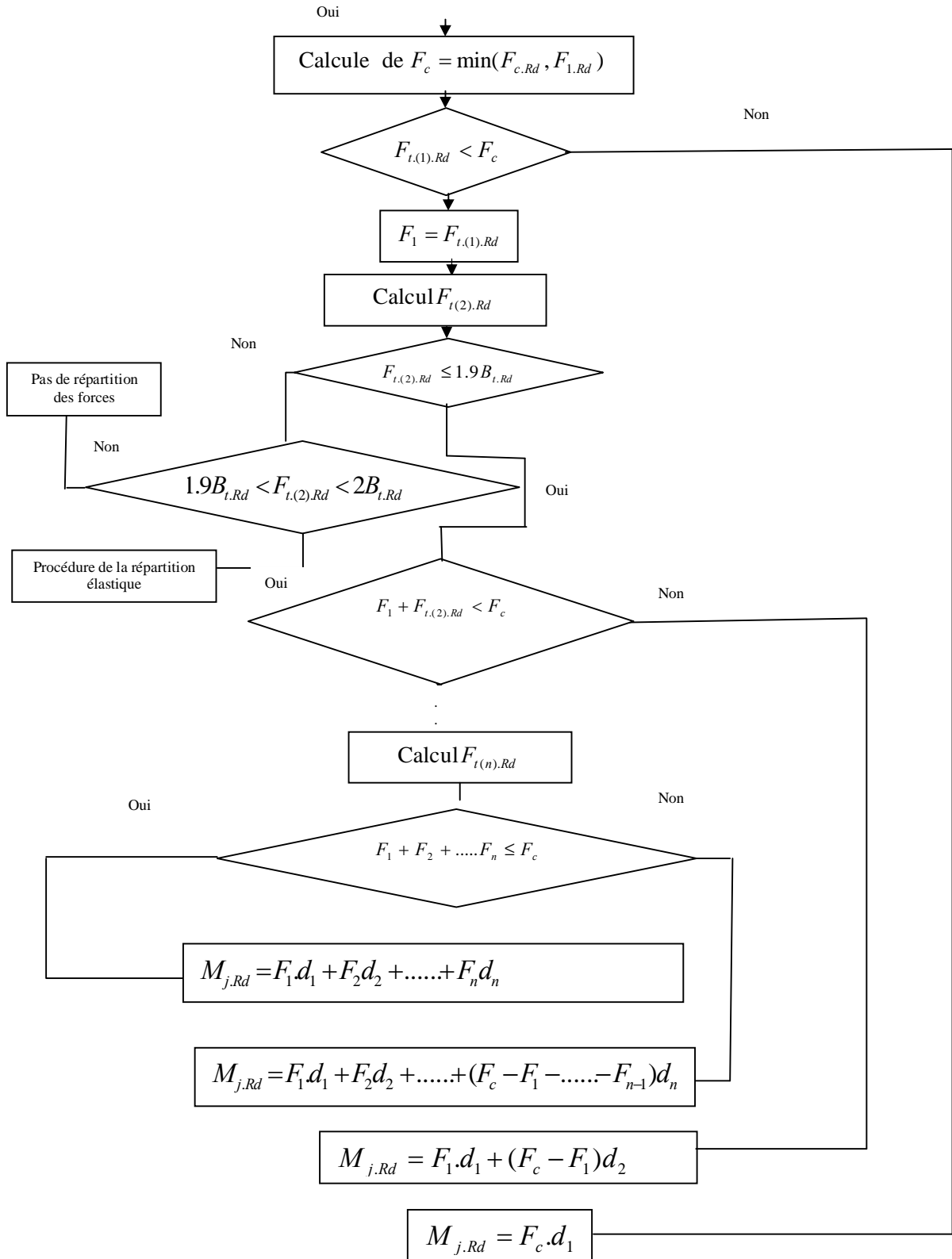
Figure IV-8- fenêtre Progarame N°03

L'Elaboration des programmes 03 et 04 et basé sur les organigrammes suivantes





Procédure de la répartition plastique





**IV 3-2 Exemple de calcul selon la l'EC-3 pour la validation du logiciel**

**Poteau : HEB 200**

$$h_c = 200mm \quad , \quad b_c = 200mm \quad , \quad t_{wc} = 9mm \quad , \quad t_{fc} = 15mm \quad , \quad r_c = 18mm \quad , \quad d_{wc} = 134mm$$

$$f_{yc} = 235MPa \quad f_{uc} = 360MPa$$

**Poutre : IPE 360**

$$h_b = 360mm \quad , \quad b_b = 170mm \quad , \quad t_{wb} = 8mm \quad , \quad t_{fb} = 12.7mm \quad , \quad r_b = 12mm \quad , \quad d_{wb} = 310.6mm$$

$$, f_{yb} = 235MPa \quad , \quad f_{ub} = 360MPa \quad , \quad M_{c.Rd} = 217716818.18N.m$$

**Platine :**

$$t_p = 8mm \quad , \quad a_f = 7mm \quad , \quad a_w = 4mm \quad , \quad f_{yp} = 235MPa \quad , \quad f_{up} = 360MPa$$

**Boulon :**

Nombre de rangés = 02

Type H.R10.9

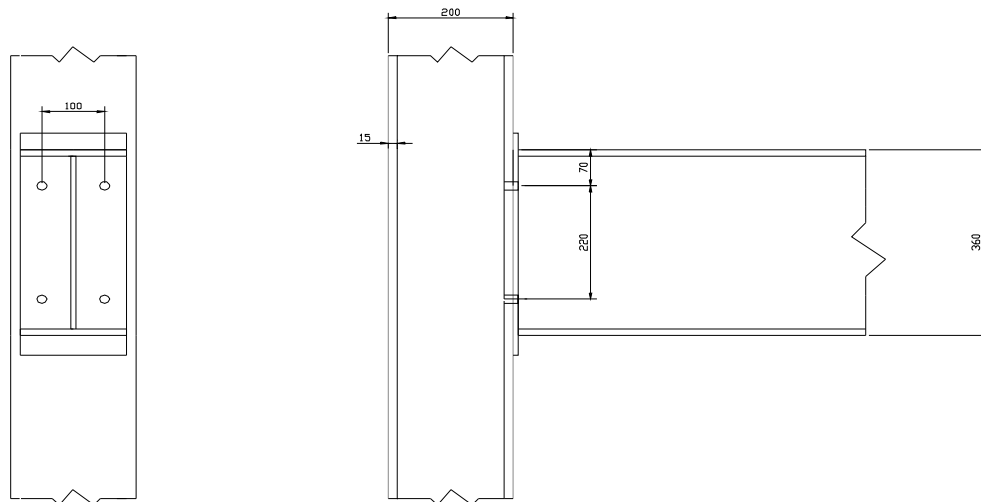
M16

W= 100 mm

P= 220 mm

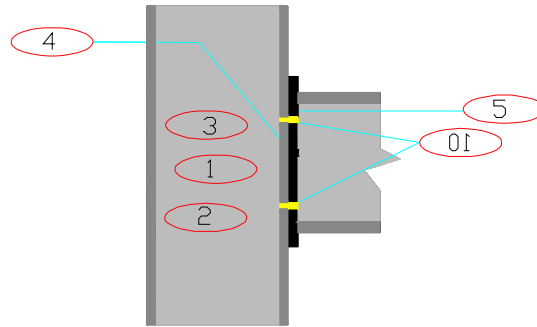
P1= 70 mm

$e_{2pl} = 35mm$



**Figure IV -9 Présentation la configuration de l'assemblage traité pour la validation des programmes N°03 et N°04**

**IDENTIFICATION DES COMPOSANTES**



**Figure IV -10** Présentation les différents composants actifs pour l'assemblage traité pour la validation des programmes N°03 et N°04

**Calcul préliminaire :**

**Poteau :**

$$d_{wc} = h_c - 2t_{fc} - 2r_c = 200 - 2 \cdot 15 - 2 \cdot 18 = 134 \text{ mm} ;$$

$$A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc} = 7810 - 2 \cdot 200 \cdot 15 + (9 + 2 \cdot 18) \cdot 15 = 2485 \text{ mm}^2$$

$$m_{fc} = \frac{w - t_{wc}}{2} - 0.8r_c = \frac{100 - 9}{2} - 0.8 \cdot 18 = 31.10 \text{ mm}$$

$$e_{fc} = \frac{b_c - w}{2} = \frac{200 - 100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$m_{pl.fc} = 0.25 t_{fc}^2 \frac{f_{y.fc}}{\gamma_{m0}} = 0.25 \cdot 15^2 \cdot \frac{235}{1.1} = 12017,045 \text{ N.mm / mm}$$

**Poutre :**

$$M_{c.Rd(class)} = \frac{W_{ply} f_{yb}}{\gamma_{m0}} = \frac{1019100 \cdot 235}{1.1} = 217716818,18 \text{ N.mm}$$

**Platine :**

$$m_{p1} = \frac{w - t_{wb}}{2} - 0.8\sqrt{2}a_w = \frac{100 - 8}{2} - 0.8\sqrt{2} \cdot 4 = 41.47 \text{ mm}$$

$$m_{p2} = P_1 - t_{fb} - 0.8\sqrt{2}a_f = 70 - 12.7 - 0.8\sqrt{2} \cdot 7 = 49.38 \text{ mm}$$

$$e_p = \frac{b_p - w}{2} = \frac{170 - 100}{2} = 35 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m_{p1}}{m_{p1} + e_p} = \frac{41.47}{41.47 + 35} = \frac{41.47}{76.47} = 0.542$$

$$\lambda_2 = \frac{m_{p2}}{m_{p1} + e_p} = \frac{49.38}{41.47 + 35} = \frac{49.38}{76.47} = 0.645$$

$$\alpha = 5.282$$

$$m_{pl.p} = 0.25 t_p^2 \frac{f_{yp}}{\gamma_{m0}} = 0.25 * 8^2 * \frac{235}{1.1} = 3418.18 \text{ N.mm / mm}$$

**Boulon:**

$$F_{t.Rd} = \frac{0.9 f_{uB} A_{sB}}{\gamma_{mb}} = \frac{0.9 * 1000 * 157}{1.25} = 113.04 * 10^3 \text{ N}$$

$$d_w = 26.75 \text{ mm}$$

$$e_w = \frac{d_w}{4} = \frac{26.75}{4} = 6.6875 \text{ mm}$$

$$L_b = t_{fc} + t_p + 0.5(h_h + h_n) = 15 + 8 + 0.5 * (10 + 13) = 34.5 \text{ mm}$$

**Composante N° 02**

**Ame de Poteau en compression:**

$$l_0 = \frac{1}{2} t_{fb} + a_f \sqrt{2} + t_p = 0.5 * 12.7 + 7\sqrt{2} + 8 = 24.249 \text{ mm}$$

$$b_{eff.c.wc} = l_0 + 5(r_c + t_{fc}) = 24.249 + 5(18 + 15) = 189.249 \text{ mm}$$

$$\beta = 1 \dots \dots \dots \text{ donc}$$

$$w_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \left( b_{eff} \frac{t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \left( 189.249 \frac{9}{2485} \right)^2}} = 0.7879$$

2

$$w_c = w_1 + 2(1 - \beta)(1 - w_1) = 0.7879$$

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff.c.wc} d_{wc} f_{y.wc}}{E.t_{wc}^2}} = 0.932 \sqrt{\frac{189.249 * 134 * 235}{210000 * 9^2}} = 0.5516 \leq 0.72$$

Donc  $\rho = 1$

$$F_{Rd.2} = \frac{w_c b_{eff.c} t_{wc} f_{y.wc} \rho}{\gamma_{m0}} = \frac{0.7879 * 189.249 * 9 * 235 * 1}{1.1} = 286696.4929 N$$

$$F_{Rd.2} = 286.696 KN$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.2} = \frac{0.7 b_{eff.c} t_{wc}}{d_{wc}} = \frac{0.7 * 189.249 * 9}{134} = 8.8975 mm$$

### **Composante N° 07**

**Ame et Semelle de Poutre en compression**

$$F_{Rd7} = \frac{M_{c.Rd}}{h_b - t_{fb}} = \frac{217716818,18}{360 - 12.7} = 626884,01 N$$

$$F_{Rd.7} = 626.884 KN$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.7} = \infty$$

### **Composante N° 03**

**Ame de Poteau en traction**

$$m_{wc} = \frac{W - t_{wc}}{2} - 0.8 r_c = \frac{100 - 9}{2} - 0.8 * 18 = 31.10 mm$$

$$e_{wc} = \min\left(\frac{b_c - W}{2}, \frac{b_p - W}{2}\right) = \min\left(\frac{170 - 100}{2}, \frac{170 - 100}{2}\right) = 35 mm$$

La rangée considérée comme une rangée intérieure

$$l_{eff.wc} = \min(4m + 1.25e, 2\pi m) = \min(4 * 31.1 + 1.25 * 35, 6.28 * 31.1) \\ = \min(168.15, 219.8) = 168.15 mm$$

$$\beta = 1 \dots w_t = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \left( b_{eff,wc} \frac{t_{wc}}{A_{vc}} \right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 1.3 \left( 168.15 \frac{9}{2485} \right)^2}} = 0.821$$

$$F_{Rd.3} = \frac{w_t b_{eff,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{m0}} = \frac{0.821 * 168.15 * 9 * 235}{1.1} = 265434,711N$$

$$F_{Rd.3} = 265.434KN$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.3} = \frac{0.7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_{wc}} = \frac{0.7 * 168.15 * 9}{134} = 7.905 mm$$

**Composante N° 04:**

**Semelle de Poteau en flexion**

$$l_{eff,wc} = b_{eff,t,fc} = 168.15mm$$

$$n = \min(e_{fc}, 1.25m_{fc}, e_p) = \min(50, 1.25 * 31.1, 35) = \min(50, 39.375, 35) = 35mm$$

$$\sigma_n = 180 N / mm^2 \dots \dots \dots k_{fc} = 1$$

$$F_{fc.Rd.1} = \frac{(8n - 2e_w) l_{eff,t,fc} m_{pl,fc} k_{fc}}{2mn - e_w(m+n)} = \frac{(8 * 35 - 2 * 6.145) * 168.15 * 12017.045}{2 * 31.10 * 35 - 6.145 * (31.10 + 35)}$$

$$= \frac{540952526,11}{1780,40} = 303837,63N$$

$$F_{fc.Rd.2} = \frac{2l_{eff,t,fc} m_{pl,fc} k_{fc} + 2B_{t,Rd} n}{(m+n)} = \frac{2 * 168.15 * 12017.045 * 1 + 2 * 113040 * 35}{(31.10 + 35)}$$

$$= \frac{11954132,23}{66.1} = 180849,19N$$

$$F_{Rd.4} = \min(F_{fc.Rd.1}, F_{fc.Rd.2}) = \min(303837,63N; 180849,19N) = 180849,19N$$

$$F_{Rd.4} = 180.849KN$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.4} = \frac{0.85 l_{eff.t.fc} t_{fc}^3}{m_{fc}^3} = \frac{0.85 * 168.15 * 15^3}{(31.10)^3} = 16.036 mm.$$

**Composante N° 05:**

**Platine d'extrémité en flexion**

$$l_{eff.p(1)} = \min(\alpha m, 2\pi m) = \min(5.282 * 41.47, 6.28 * 41.47) = \min(219.04, 260.43) = 219.04 mm$$

$$F_{eq.Rd.1} = \frac{(8n_p - 2e_w) l_{eff.p} m_{pl.p}}{2m_{p1} n_p - e_w (m_{p1} + n_p)} = \frac{(8 * 35 - 2 * 6.145) * 219.04 * 3418.18}{2 * 41.47 * 35 - 6.145 * (41.475 + 35)}$$

$$= \frac{200439335,1869}{2432.99185} = 82383,89 N$$

$$F_{eq.Rd.2} = \frac{2 * l_{eff.p} m_{pl.p} + 2B_{t.Rd} n}{(m_{p1} + n_p)} = \frac{2 * 219.04 * 3418.18 + 2 * 113040 * 35}{(41.47 + 35)}$$

$$= \frac{9410236,2944}{82.605} = 113918,48 N$$

$$F_{Rd.5} = \min(F_{eq.Rd.1}, F_{eq.Rd.2}) = \min(82383,89 N, 113918,48 N) = 82383,89 N$$

$$F_{Rd.5} = 82.383 KN$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.5} = \frac{0.85 l_{eff.t.p} t_p^3}{m_{p1}^3} = \frac{0.85 * 219.04 * 8^3}{(41.47)^3} = 1.3366 mm.$$

**Composante N° 08:**

**Ame de poutre en traction**

$$b_{eff.t.wb} = l_{eff.p} = 219.04 mm$$

$$F_{Rd.8} = b_{eff.t.wb} t_{wb} \frac{f_{y.wb}}{\gamma_{m0}} = 219.04 * 8 * \frac{235}{1.1} = 374359,272 N$$

$$F_{Rd.8} = 374.359 KN$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.8} = \infty$$

**Composante N° 10:**

**Boulon en traction**

$$F_{Rd.10} = 2 * B_{t.Rd} = 2 * 113040 = 226080N$$

$$F_{Rd.10} = 226.080KN$$

**Rigidité**

$$K_{Rd.10} = 1.6 \frac{A_{s.b}}{L_b} = 1.6 \frac{157}{34.5} = 7.281mm$$

**Composante N° 1:**

**Ame de poteau en Cisaillement en traction**

$$F_{Rd.1} = \frac{0.9 A_{vc} f_{y.wc}}{\sqrt{3} \gamma_{m0}} = \frac{0.9 * 2485 * 235}{\sqrt{3} * 1.1} = 275856.64N$$

$$F_{Rd.1} = 275.856KN$$

$$Z_{eq} = h_b - \frac{t_{fb}}{2} - p_1 = 360 - \frac{12.7}{2} - 70 = 283.65mm$$

$$K_1 = \frac{0.38 A_{vc}}{\beta Z_{eq}} = \frac{0.38 * 2485}{1 * 283.65} = 3.329mm$$

**Assemblage des composantes**

$$F_{c.Rd} = \min(F_{Rd.2}, F_{Rd.7}) = \min(286.696KN, 626.884KN) = 286.696KN$$

$$K_t = \frac{1}{\frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5} + \frac{1}{K_8} + \frac{1}{K_{10}}} = \frac{1}{\frac{1}{7.905} + \frac{1}{16.036} + \frac{1}{1.3366} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{7.281}}$$

$$= \frac{1}{0.1265 + 0.0623 + 0.7481 + 0 + 0.1372} = \frac{1}{1.0741} = 0.931mm$$

Résistance:

$$F_{t.Rd} = \min(F_{Rd.3}, F_{Rd.4}, F_{Rd.5}, F_{Rd.8}, F_{Rd.10})$$

$$= \min(265.434KN, 82.383KN, 82.383KN, 374.359KN, 226.080KN)$$

$$F_{t.Rd} = 82.383KN$$

$$F_{Rd} = \min(F_{Rd.1}, F_{c.Rd}, F_{t.Rd}) = \min(275.856KN, 286.696KN, 82.383KN) = 82.383KN$$

Moment résistant plastique de calcul

$$M_{j.Rd} = F_{Rd} * z = 82.383 * 0.28365 = 23.3679KN.m$$

Moment résistant élastique

$$M_{e.Rd} = \frac{2}{3} M_{j.Rd} = \frac{2}{3} 23.3679 = 15.5786KN.m$$

Rigidité initiale:

$$S_{j.ini} = \frac{E_a Z_{eq}^2}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_7} + \frac{1}{K_t}} = \frac{210000 * 283.65^2}{\frac{1}{3.329} + \frac{1}{8.8975} + \frac{1}{0.931}} = \frac{16896037725}{0.3009 + 0.11239 + 1.0741}$$

$$= 11359520855,323N.mm = 11359,52KN.m$$

Rigidité nominale :

$$S_j = \frac{S_{j.ini}}{2} = \frac{11359.52}{2} = 5679,76KN.m$$



**IV-4 ETUDE PARAMETRIQUE D'UN ASSEMBLAGE PAR PLATINE D'EXTRIMITE**

Cette étude paramétrique a été effectuée sur Les données représenter dans les tableaux qui regroupe les données et les caractéristiques géométriques des différents éléments d'assemblage étudiier

Identité de l'assemblage	Poteau		Poutre		Nombre de rangées	Platine				Boulons		Disposition			
	Type	Nuance	Type	Nuance		tp	$a_f$	$a_w$	Nuance	d	Nuance	$e_{2pl}$	$p$		$W$
		Mpa		Mpa		mm	mm	mm		Mpa	mm		mm	mm	mm
ABPExtrem 01	HEB200	235	IPE360	235	(4 à l'internes)	10	7	4	235	16	HR10.9	45	75	70	100
ABPExtrem 02	HEB200	235	IPE360	235	(3 à l'intereirs+1 à l'extérieurs)	10	7	4	235	16	HR10.9	45	75	70	100
ABPExtrem 03	HEB280	235	IPE360	235	(4 rangées à l'internes)	10	7	4	Variable	16	HR10.9	45	75	70	100
ABPExtrem 04	HEB200	235	IPE360	235	(3 rangées à l'internes)	10	7	4	235	16	HR10.9	35	var	70	100
ABPExtrem 05	HEB200	235	IPE360	235	(2 rangées à l'internes)	15	7	4	235	16	HR10.9	45	54	70	100
ABPExtrem 06	HEB220	235	IPE360	235	(3 à l'internes)+1 à l'extérieurs	12	7	4	235	16	HR10.9	45	54	70	100
ABPExtrem 07	HEB220	235	IPE360	235	une seule rangée tendue	10	7	4	235	16	HR10.9	45		70	100

**Tableau IV-1 Tableau des D'assemblages étudiée dans l'étude paramétrique**

**Poteau:**

N°	profilé	$h_c$	$b_c$	$t_{wc}$	$t_{fc}$	$r_c$	$A_c$	$I_c$	$d_{wc}$	$E_c$
		mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	mm	N/mm <sup>2</sup>
1	HEB200	200	200	9	15	18	78.1	5696.2	134	210000

**Tableau IV-2 Tableau des caractéristiques du poteau rencontré dans l'étude paramétrique**

**Pouters:**

N°	profilé	$h_b$	$b_b$	$t_{wb}$	$t_{fb}$	$r_b$	$A_b$	$I_b$	$d_{wb}$	$E_b$
----	---------	-------	-------	----------	----------	-------	-------	-------	----------	-------

CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES STRUCTURAUX EN CONSTRUCTION METALLIQUE SELON L'EC3

		mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	mm	N/mm <sup>2</sup>
1	IPE360	360	170	8	12,7	18	72.7	16256.6	298.6	210000
2	IPE400	400	180	8.6	13.5	21	84.5	23128.4	331	210000
3	IPE450	450	190	9.4	14.6	21	98.8	33742.9	378.8	210000

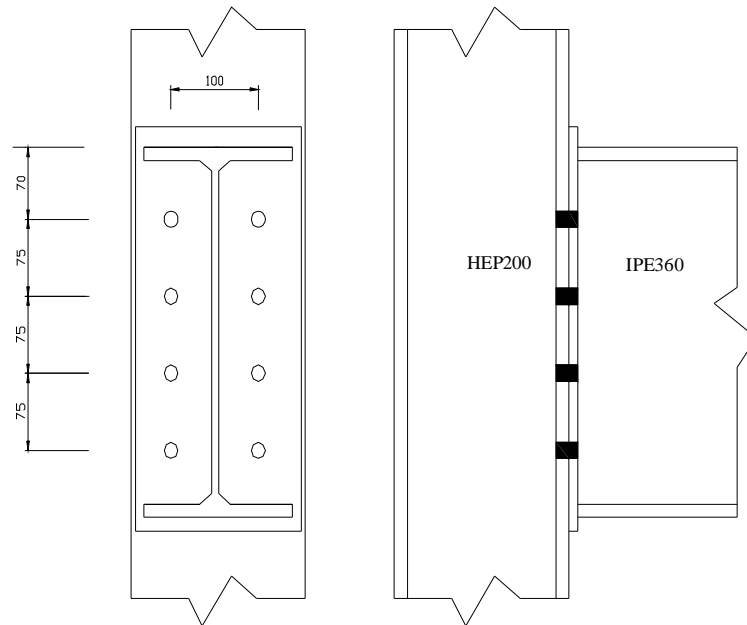
**Tableau IV-3** Tableau des caractéristiques de la poutre rencontré dans l'étude paramétrique

**IV-4 -1 ETUDE DE MOMENT RESISTANT SELON LA NORME NF P22460**

**A)- Influence de l'épaisseur de la platine**

Les Quatre rangées sont à l'intérieures (ABPExtrem 01)

Pour Class 10.9 et d = 16;



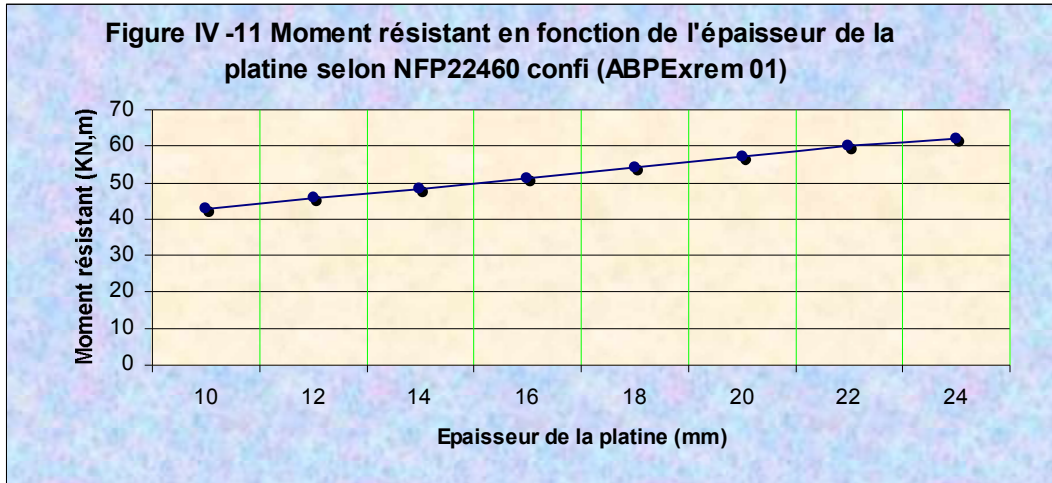
**Figure IV -11** Représente la configuration ABPExtrem 01

Tp (mm)	10	12	14	16	18	20	22	24
Mr (KN.M)	42,758	45,629	48,499	51,369	54,240	57,110	59,980	62,172

1

**Tableau IV-5** Tableau moment résistant en fonction de l'épaisseur de la platine ABPExtrem02

selon NFP 22460



On fait la même variation avec quatre rangées dont 03 à l'intérieure ABPExtrem 02.  
 • Pour Classe HR 10.9 et d = 16;

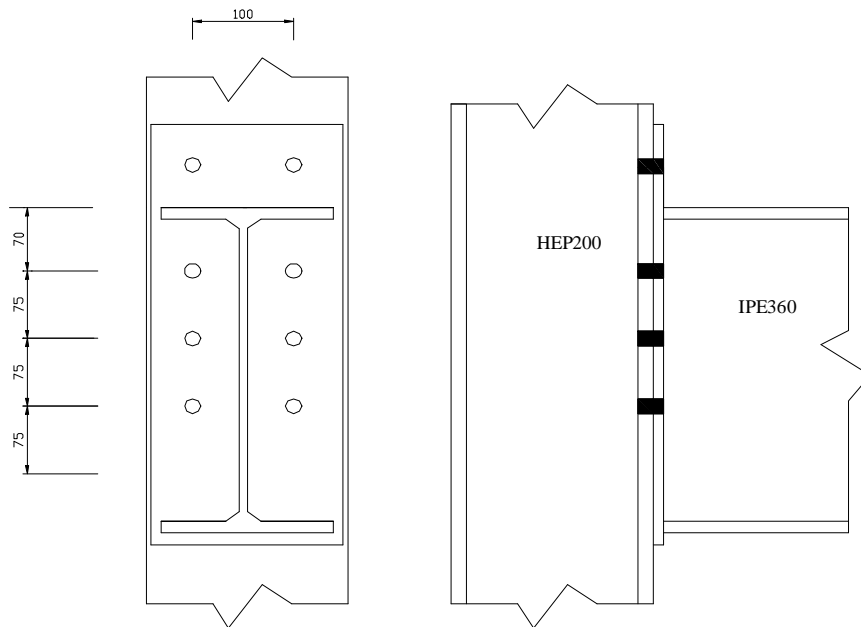
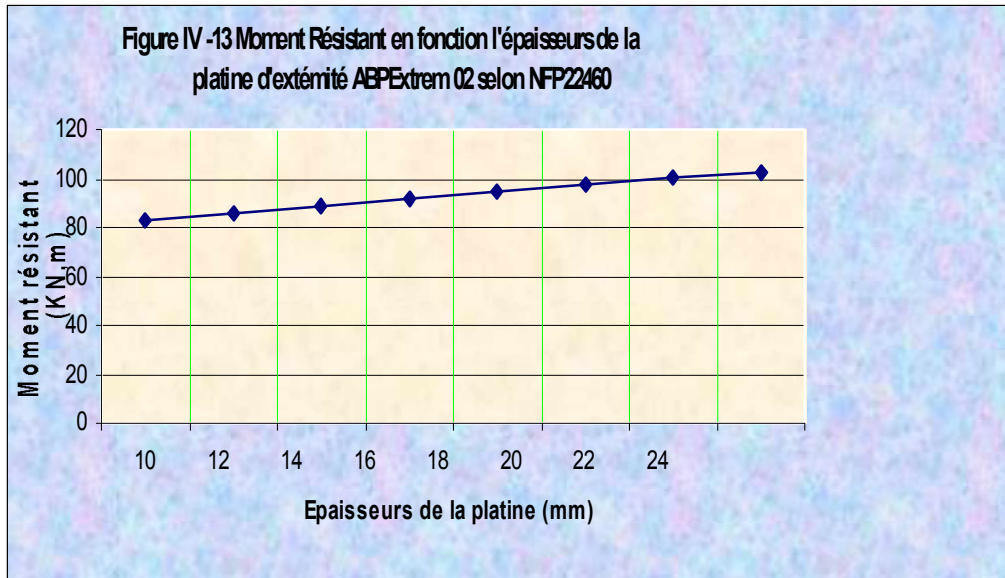


Figure IV -12 Représente la configuration ABPExtrem 02

tp (mm)	10	12	14	16	18	20	22	24
Mr (KN,m)	82,946	85,817	88,687	91,557	94,428	97,298	100,168	102,359

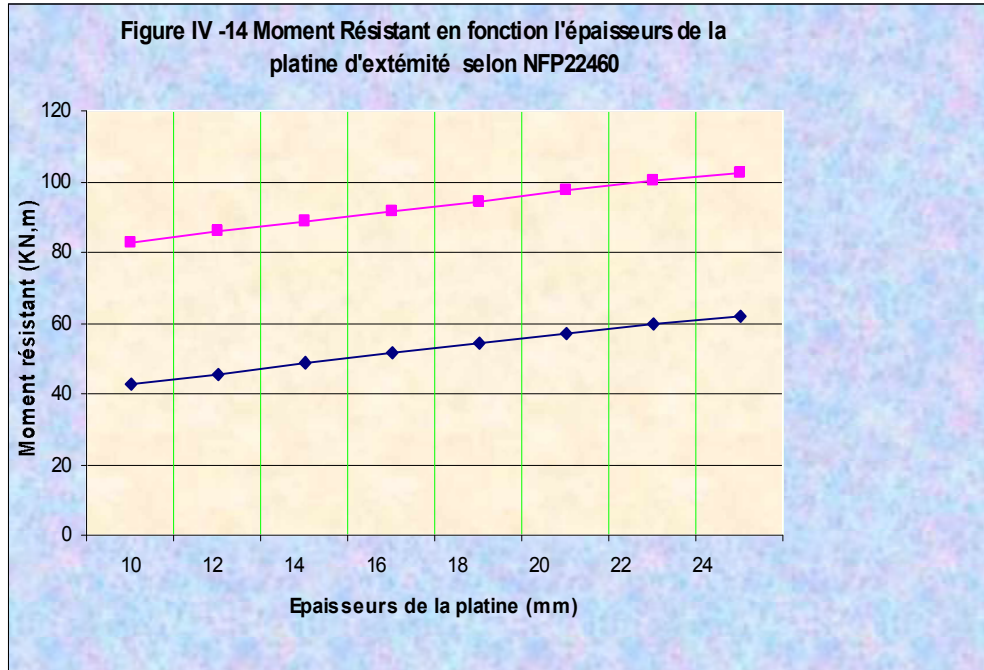
Tableau IV-5 Tableau moment résistant en fonction de l'épaisseur de la platine ABPExtrem02

selon NFP 22460



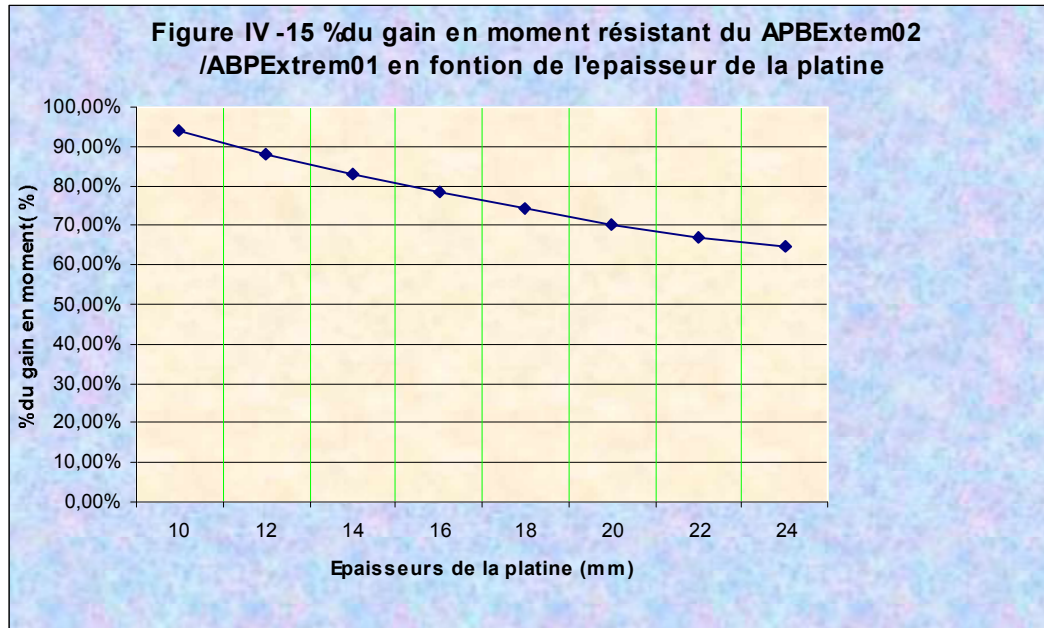
On constate pour le cas N°01 (ABPExtrem01  $t_p=24\text{mm}$ ) et N°02 (ABPExtrem02  $t_p=10\text{mm}$ ) presque D'une même Quantité de matière et nécessitant les mêmes ressources pour la réalisation, la conception N°02 est plus optimale que la conception N°01.avec un gain de résistance de 33%

L'influence du l'épaisseur de la platine est positif (le moment résistant est proportionnel à l'épaisseur de la platine jusqu'à l'épaisseur 24mm , et après le moment est constant



tp (mm)	10	12	14	16	18	20	22	24
Mr (KN,m) APBExtrem 01	42,758	45,629	48,499	51,369	54,24	57,11	59,98	62,172
Mr (KN,m) APBExtrem 02	82,946	85,817	88,687	91,557	94,428	97,298	100,168	102,359
% du gain en moment résistant de APBExtrem 02 / APBExtrem 01	93,99%	88,08%	82,86%	78,23%	74,09%	70,37%	67,00%	64,64%

**Tableau IV-6** Tableau % du gain en moment résistant de APBExtrem 02 / APBExtrem 01 en fonction de l'épaisseur de la platine selon la norme NFP22460



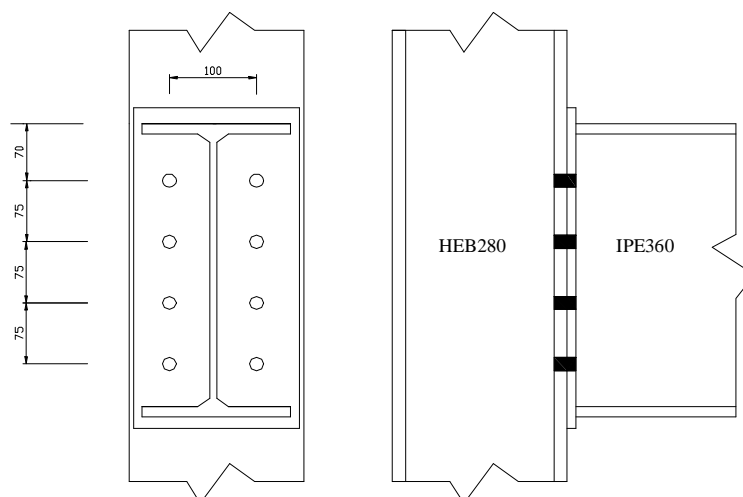
La figure IV -14 presente l'avantage capital de la 2eme conception qui présente un gain important En matière de résistance (64% à 93%).

**B)- Influence de la nuance d'acier de la platine d'extrémité**

Pour avoir l'influence de la nuance d'acier de la platine d'extrémité il faut choisir une configuration spéciale De tel sorte le joint doit être robuste (joint épaisse).

on utilisant dans la suite la configuration ABPExtrem03,

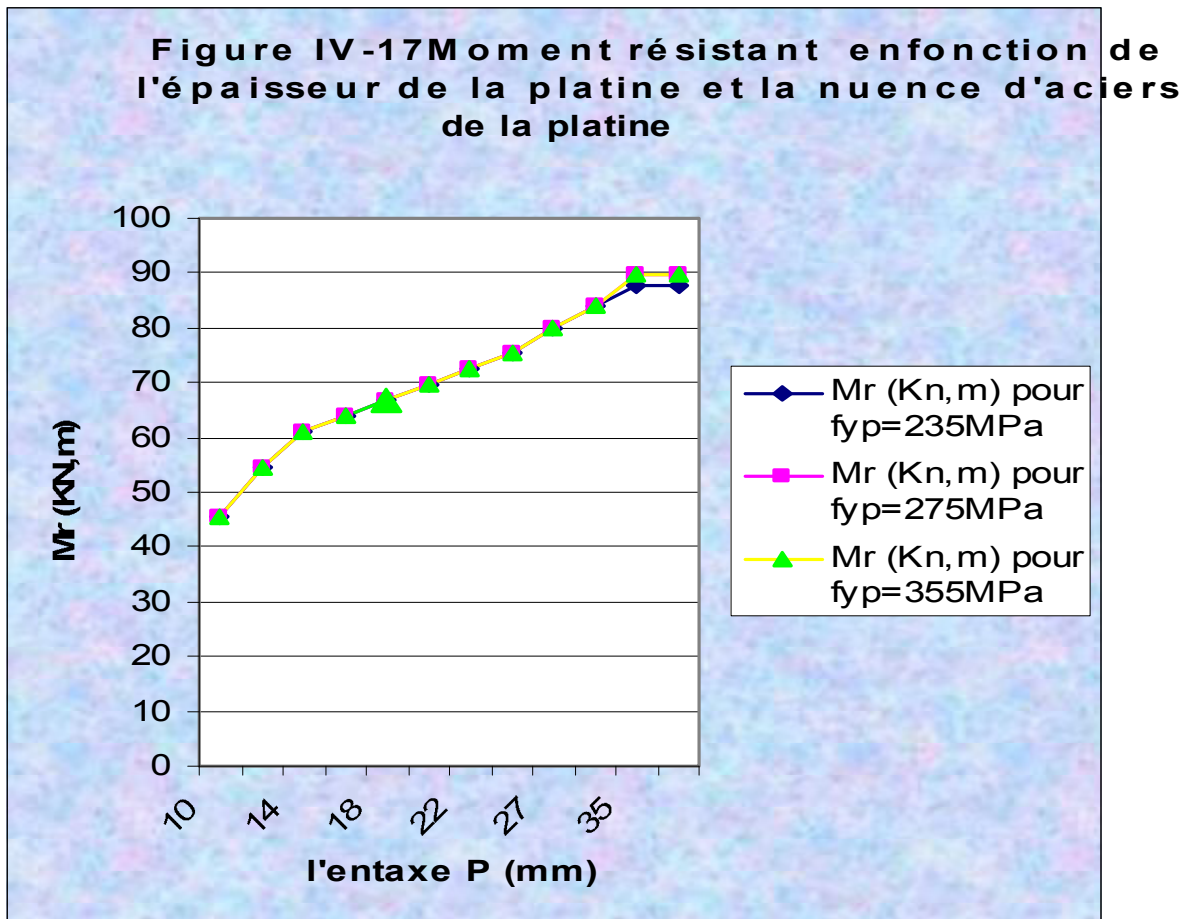
Les résultats de cette étude configurent dans le tableau suivant



**Figure IV-16 représente la configuration ABPExtrem 03**

tp (mm)	22	24	27	30	35	40
Mr (Kn,m) pour fyp=235MPa	72,638	75,508	79,81	84,119	87,54	87,538
Mr (Kn,m) pour fyp=275MPa	72,638	75,508	79,81	84,119	89,87	89,874
Mr (Kn,m) pour fyp=355MPa	72,638	75,508	79,81	84,119	89,87	89,874

**Tableau IV-7** Tableau regroupe les valeurs de étude de moment résistant en fonction de la l'épaisseur et la nuance d'acier de la platine

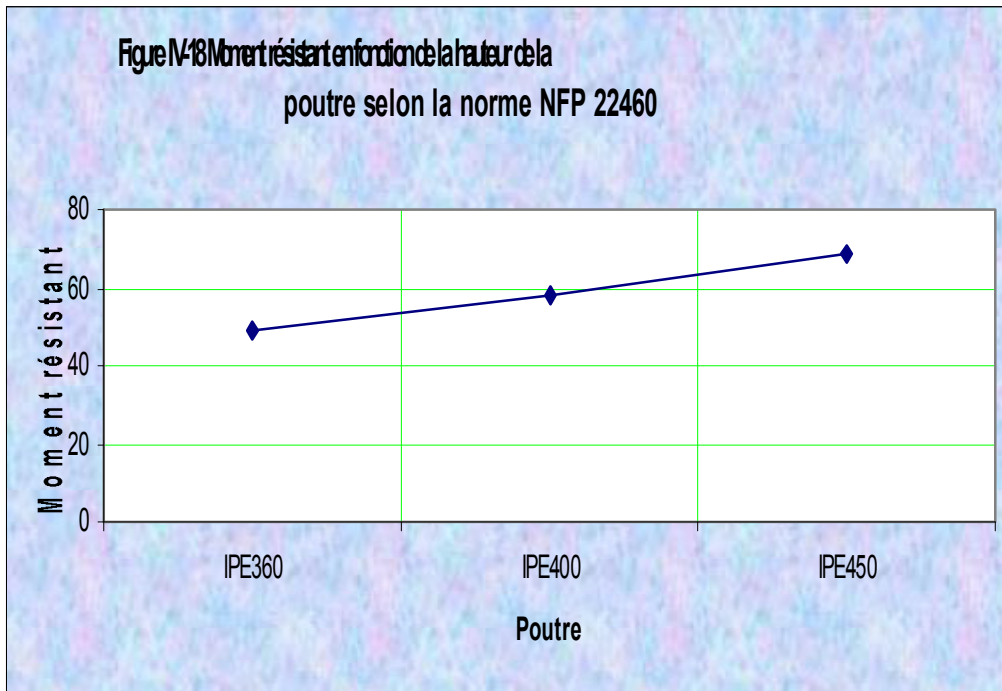


On tire que la nuance d'acier de la platine d'extrémité à une faible importance, il donne un gain de Résistance de 2.6%

**C)-Influence de la hauteur de la poutre avec  
Tp=12mm**

Poutre	IPE360	IPE400	IPE450
Mr (KN,m)	48,8	57,747	68,962

**Tableau IV-8** Tableau regroupe les valeurs de étude de moment résistant en fonction de la hauteur de poutre



Le moment résistant est proportionnel à la hauteur de la poutre qui représente un gain de moment résistant de 18% entre IPE360 et IPE 400

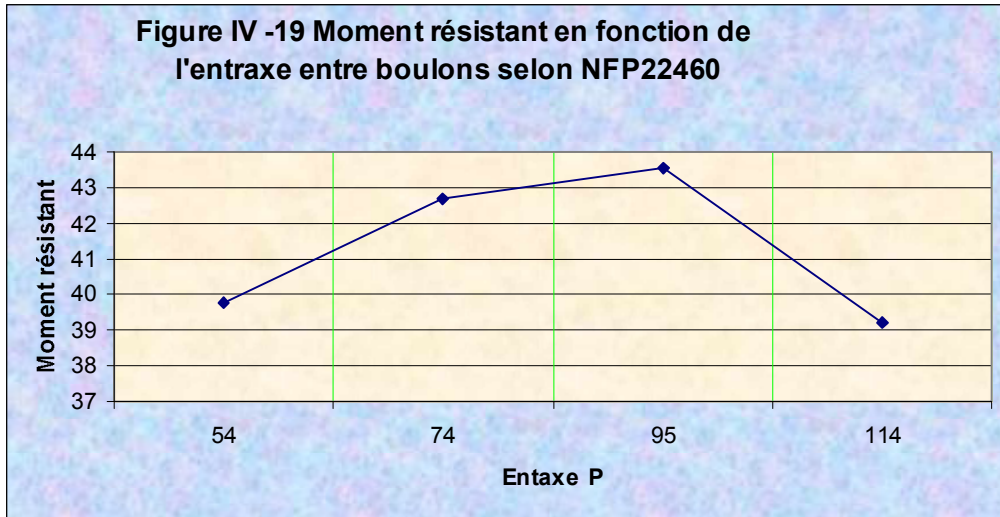
**D)- Influence de la distance verticale entre rangées**

**Assemblage avec 3 rangées (ABPExtrem 04)**

P(mm)	54	74	94	114
Mr (KN,m)	39,785	42,675	43,544	39,233

**Tableau IV-9** Tableau regroupe les valeurs de étude de moment résistant En fonction de la distance verticale entre rangées





📊 L'entraxe P représente un facteur important qui influe sur les résultats de moment résistant de l'assemblage leur augmentation augmente la résistance efficace des rangées et diminue les bras de leviers.

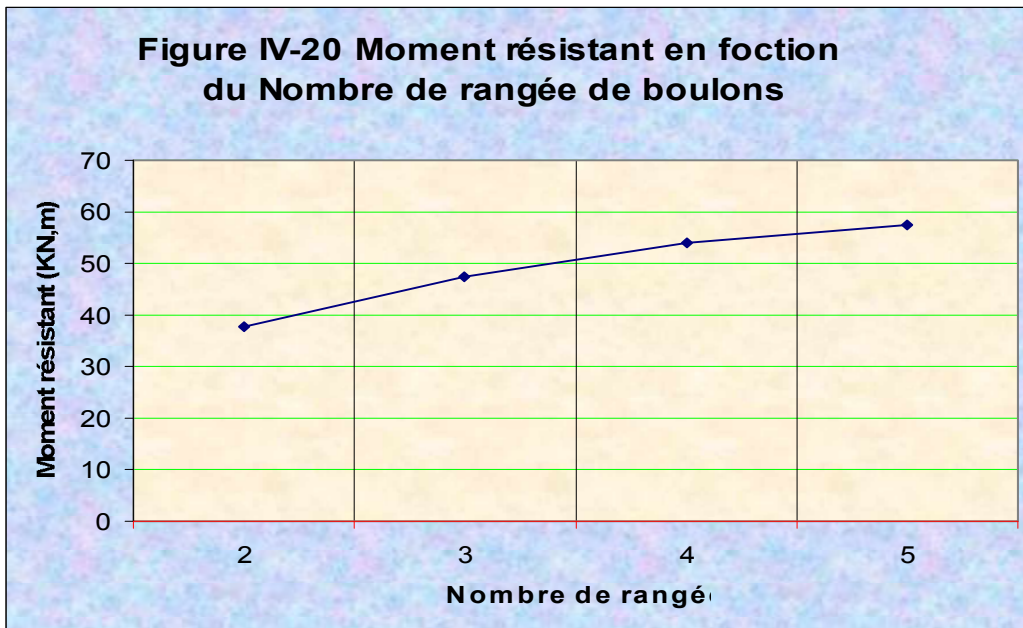
**E)- Influence nombre de rangées boulons**

**Assemblage avec 2 rangées (ABPExtrem 05)**

Nombre de rangées	2	3	4	5
Mr (KN,m)	37,580	47,293	53,907	57,424

**Tableau IV-10** Tableau regroupe les valeurs d'étude de moment résistant

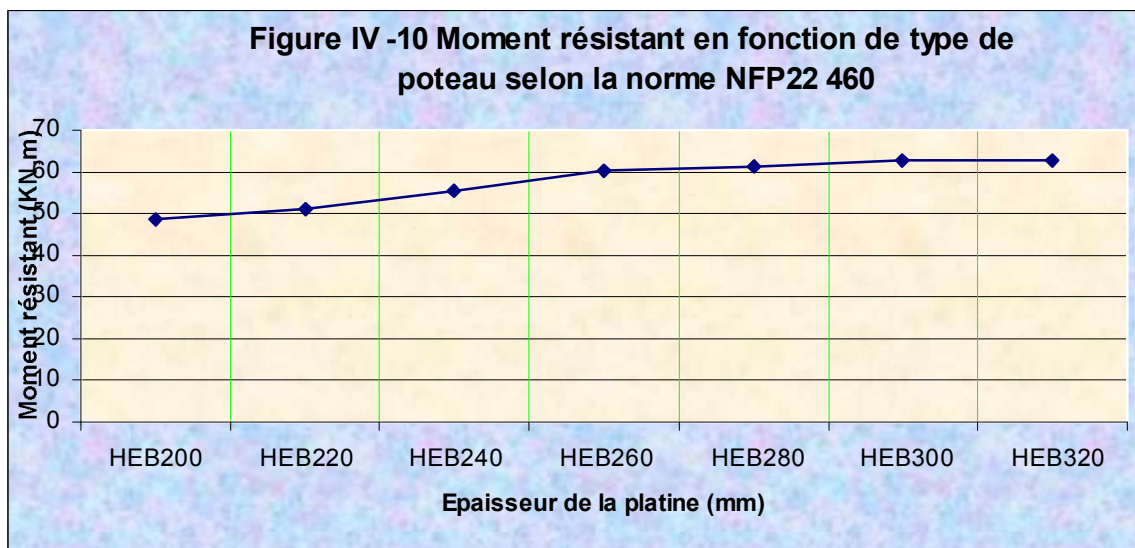
En fonction de nombre de rangées de boulons




F)- Influence de Profilée du poteau

Les Quatre rangées sont à l'intérieures (ABPExtreme01) avec  $T_p=12\text{mm}$

Poteau	HEB200	HEB220	HEB240	HEB260	HEB280	HEB300	HEB320
Mr (KN,m)	48,8	50,834	55,654	60,068	61,458	62,553	62,553



 la fonction moment résistant /hauteur de poteau est une fonction croissante convergente vers un constant donc à certain limite l'augmentation de poteau devient sans sens.

**G)- Influence de la nuance d'aciers des profilés Poteau et poutre**

Pour avoir l'influence de la nuance d'acier des profilées il choisir des configurations qui sont lion de la réalité

**IV-4 -2 - ETUDE PARAMETRIQUE SELON LA METHODE DES COMPOSANTES**

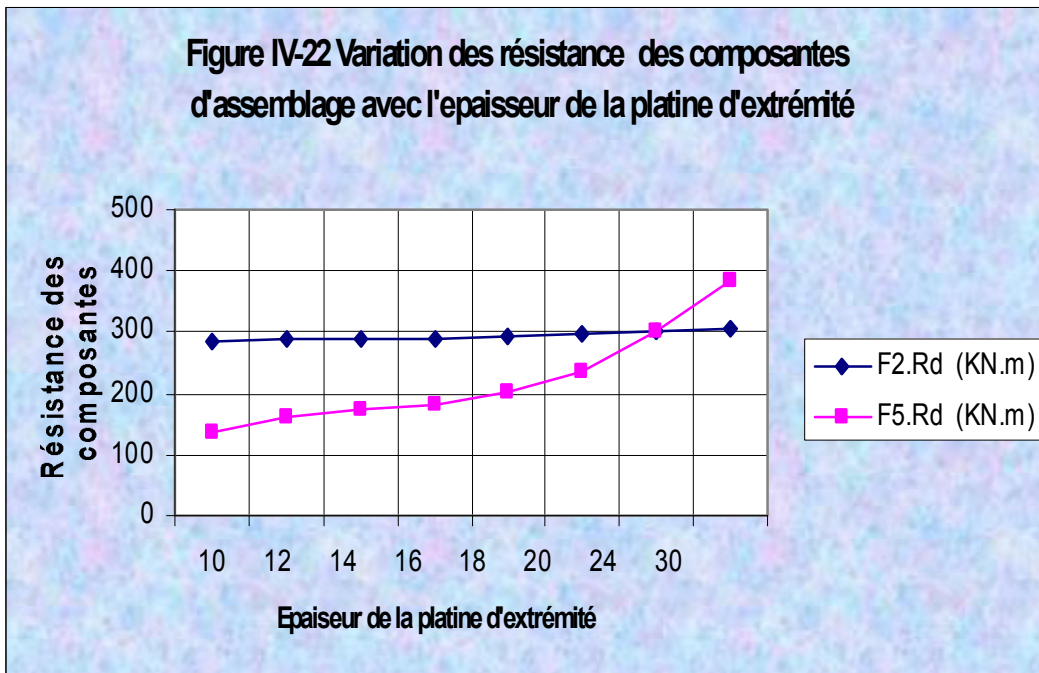
**A)- Etude des Paramètres Influant Sur Le Moment et La Résistance Des Composants**

**Influence de l'épaisseur de la platine**

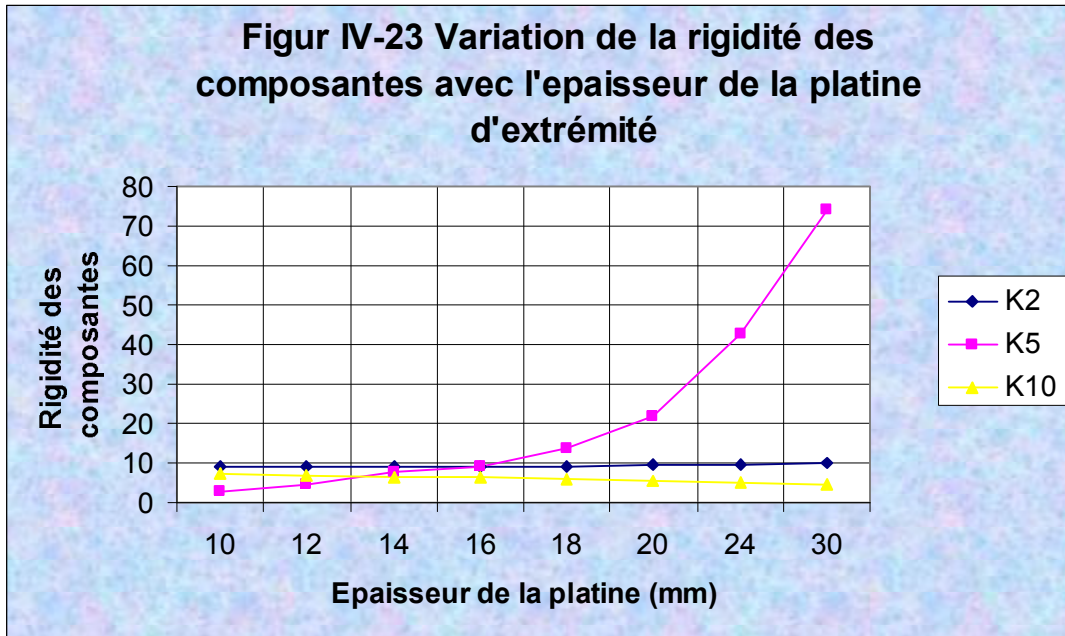
Un seul rangé de boulons tendus (ABPExtreme07)

Pour Class 10.9 et d = 16;

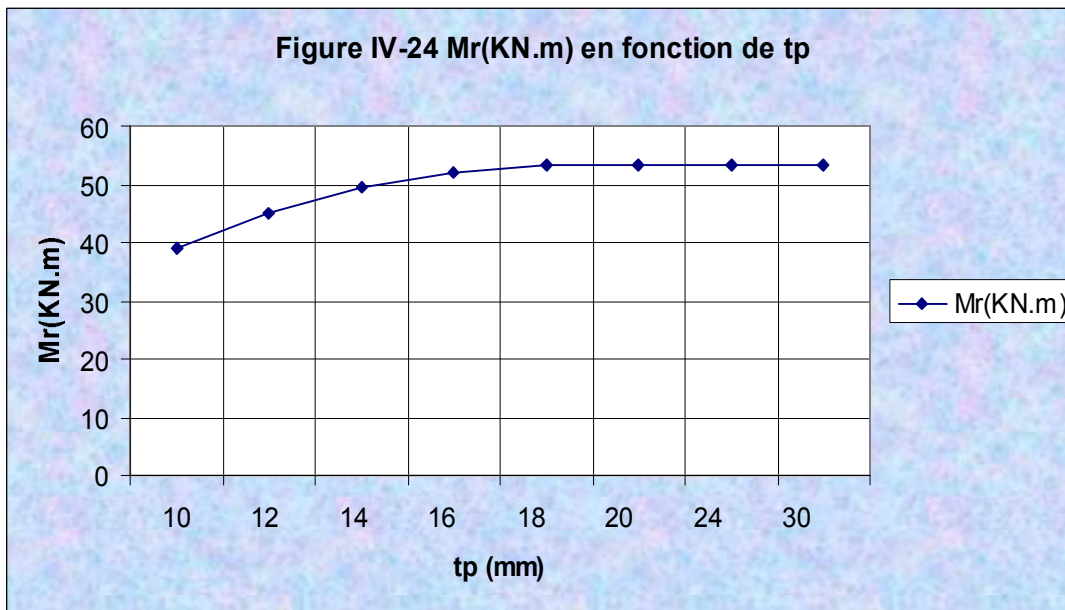
tp. (mm)	10	12	14	16	18	20	24	30
<b>Mr(KN.m)</b>	39,182	45,233	49,618	52,06	53,23	53,226	53,23	53,2
<b>F2.Rd (KN.m)</b>	286,37	288,24	290,09	291,01	292,83	295,52	299,88	304,1
<b>K2</b>	8,88	8,974	9,068	9,115	9,209	9,35	9,585	9,82
<b>F5.Rd (KN.m)</b>	138,14	159,47	174,93	183,55	202,57	235,57	302,45	384,2
<b>K5</b>	2,744	4,742	7,53	9,261	13,482	21,953	42,878	74,09
<b>K10</b>	7,239	6,844	6,49	6,327	6,023	5,619	5,054	4,592
<b>Sj.ini(KN*m)</b>	15482,4	17887,5	19347,4	19833,8	20481,9	20947	21076,3	20879



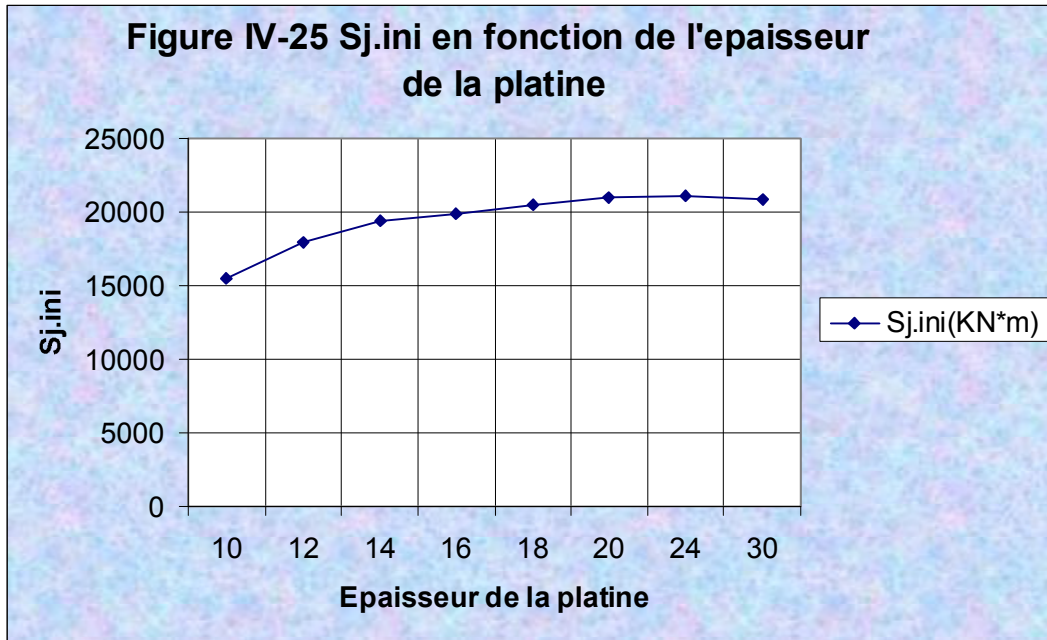
📌 L'influence de l'épaisseur de la platine sur la résistance de la composante N ° 05 est positif et important et moins pour la résistance de la composante N ° 02



L'influence de l'épaisseur de la platine est positif est important pour la rigidité de la composante N°05 et moins pour la rigidité de la composante N°02, et négatif pour la rigidité de la composante N°10.



L'influence de l'épaisseur de la platine sur le moment résistant est positif jusque à certaine limite après il devient neutre  
 On remarquant que résistant converge vers un constant l'osque l'épaisseur de la platine dépasse l'épaisseur de la semelle du poteau



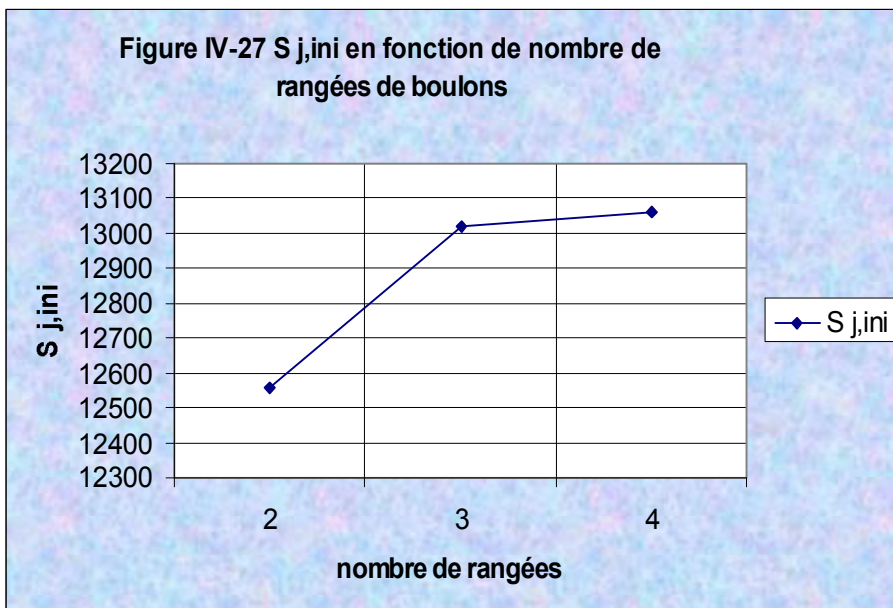
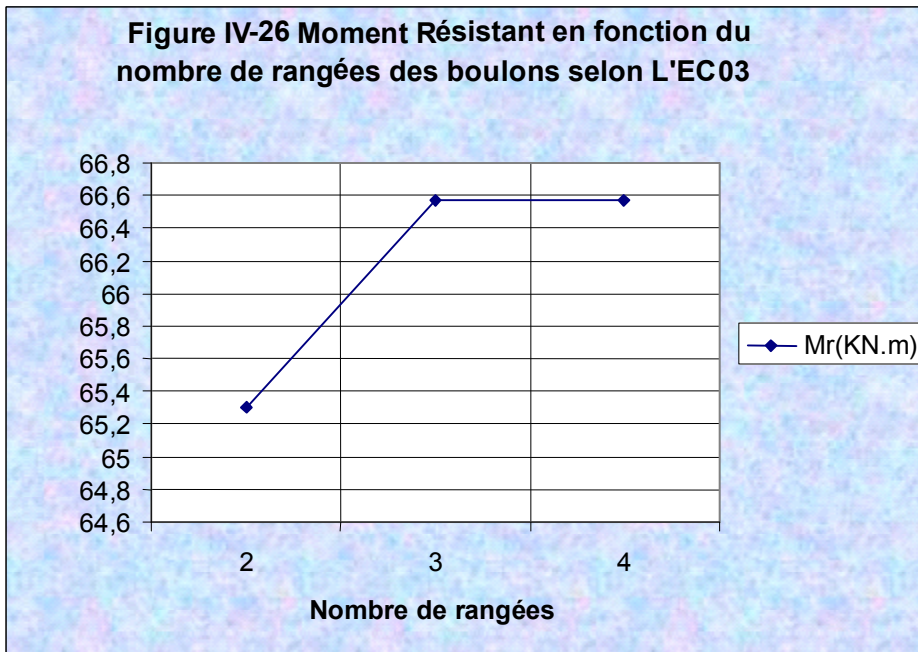
- l'épaisseur de platine influe positivement sur la rigidité initiale de l'assemblage.
- On remarquant que rigidité initiale converge vers un constant l'osque l'épaisseur de la platine dépasse l'épaisseur de la semelle du poteau



**B)- Influence de Nombre de rangées**

**Assemblage ABPExtrem 04 mais avec  $t_p=10$  mm**

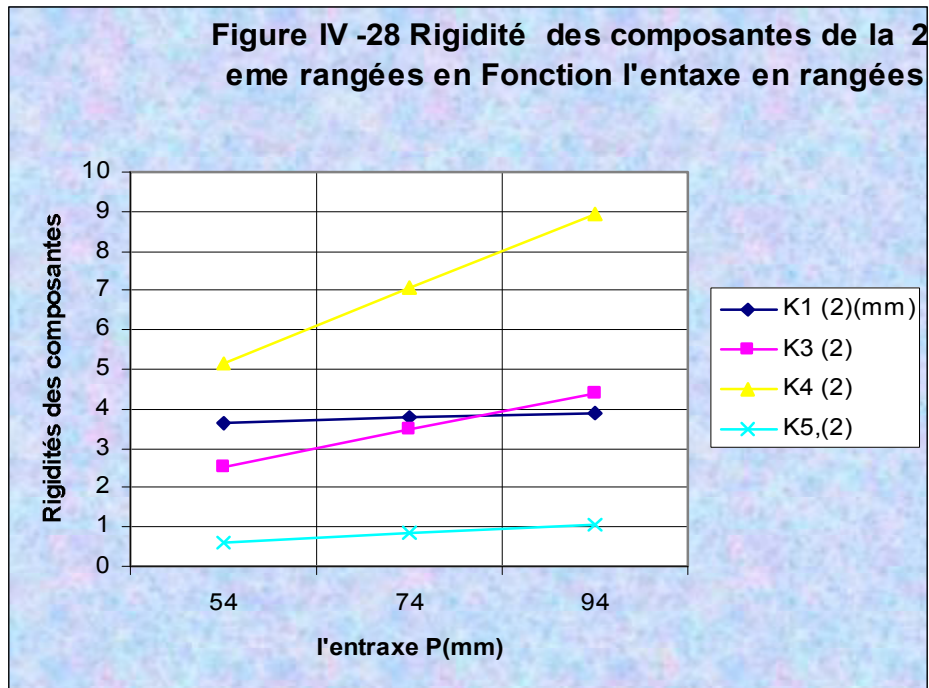
Nombre de rangées (mm)	2	3	4
Mr(KN.m)	65.309	66.574	66.574
$S_{j,ini}$	12555.18	13019.7	13062.4



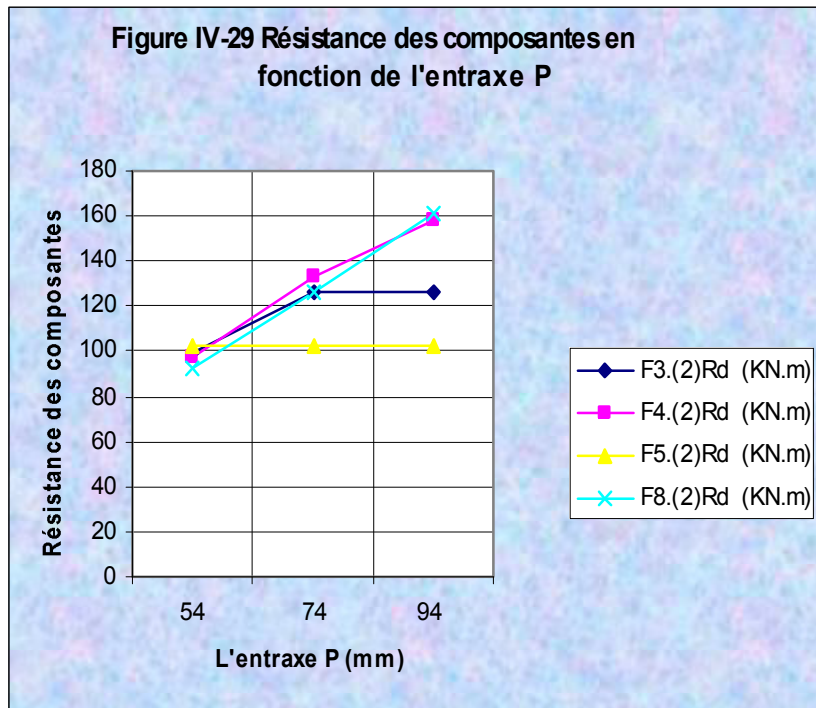
Le nombre de rangées des boulons à une influence toujours positive sur le moment résistant et la rigidité initiale de l'assemblage mais à une certain limite, pour le moment résistant il dépend directement au le nombre de rangées actif c'est-à-dire leur somme de la résistance tendue inférieur ou égale à la résistance comprimé


**C)- Influence de distance entre rangées P**  
**Assemblage ABPExtrem 04**

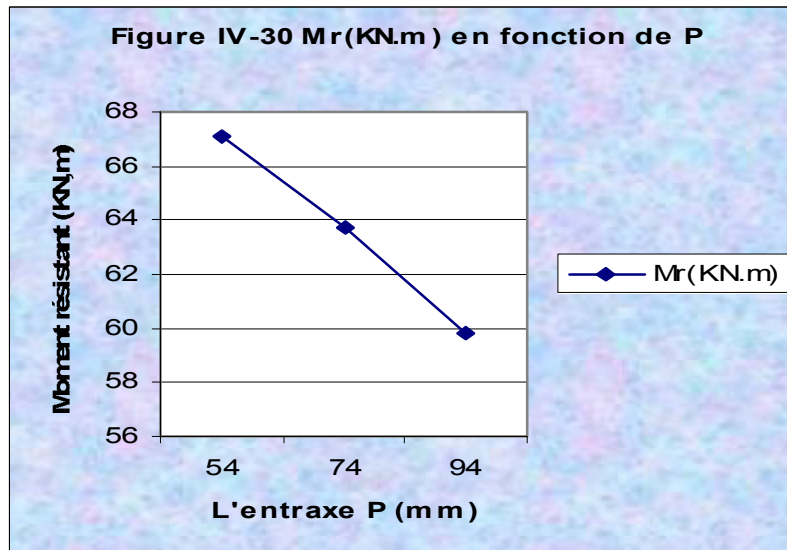
p. (mm)	54	74	94
<b>Mr(KN.m) selon la méthode de composantes</b>	67,118	63,756	59,841
<b>K1 (2)(mm)</b>	3,625	3,7794	3,906
<b>F3.(2)Rd (KN.m)</b>	99,508	126,023	126,137
<b>K3 (2)</b>	2,5388	3,479	4,419
<b>F4.(2)Rd (KN.m)</b>	97,503	133,615	157,885
<b>K4 (2)</b>	5,1499	7,057	8,964
<b>F5.(2)Rd (KN.m)</b>	102,543	102,561	102,579
<b>K5,(2)</b>	0,6106	0,836	1,063
<b>F8.(2)Rd (KN.m)</b>	92,290	126,472	160,654
<b>Sj.ini(KN*m)</b>	16903,76	16483,738	15947,79
<b>Mr(KN.m) selon la norme NFP 22460</b>	39,785	42,675	43,544

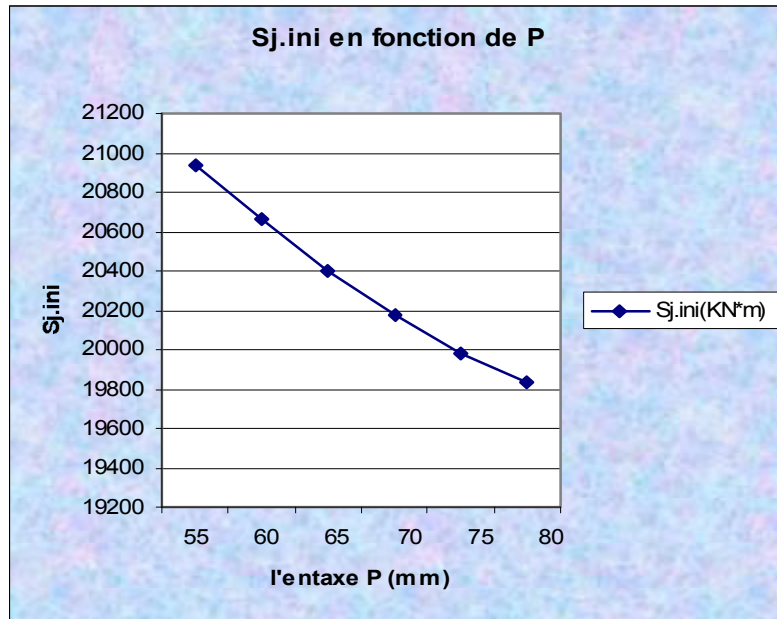






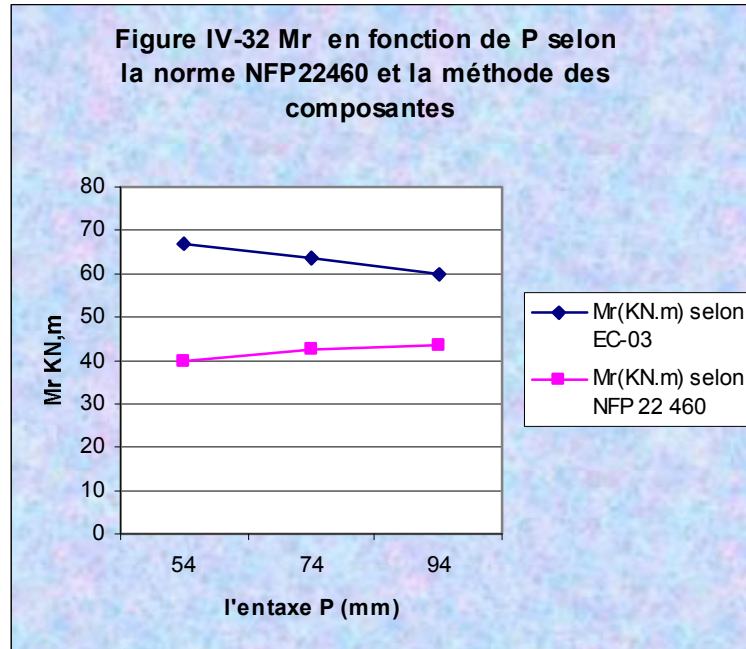
-  L'influence de l'entraxe P sur les rigidités des composantes (1,3,4,5) est positif avec des degrés différents





- Malgré l'augmentation des résistances et rigidités des composantes en fonction de l'entraxe P mais Le moment résistant et la rigidité initiale à une fonction décroissant à cause la dimension importante des bras leviers

p. (mm)	54	74	94
<b>Mr(KN.m) selon EC-03</b>	67,118	63,756	59,841
<b>Mr(KN.m) selon NFP 22 460</b>	39,785	42,675	43,544



### Constations et explications

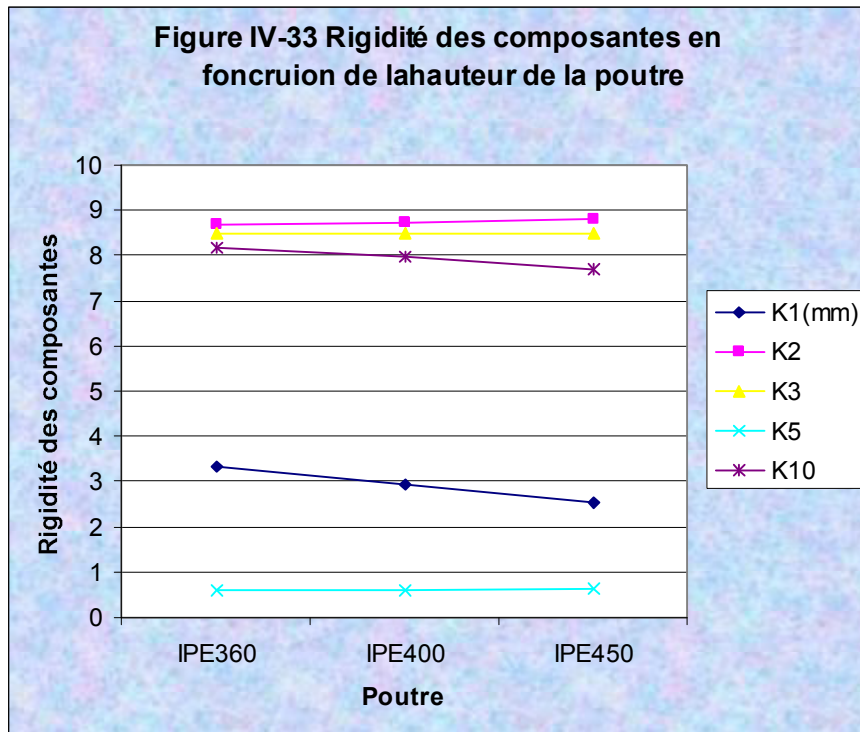
- En remarquant que la norme NFP 22 460 est plus sévère que la méthode des composantes, dans la configuration N °01 (P=54mm) la méthode des composante donne une moment résistant plus de 68% que le moment obtenue par l'application de la norme NFP 22460 .
- L'influence de l'entraxe P sur le moment résistant selon la méthode des composantes est positive

### Conclusion sur la variation de P

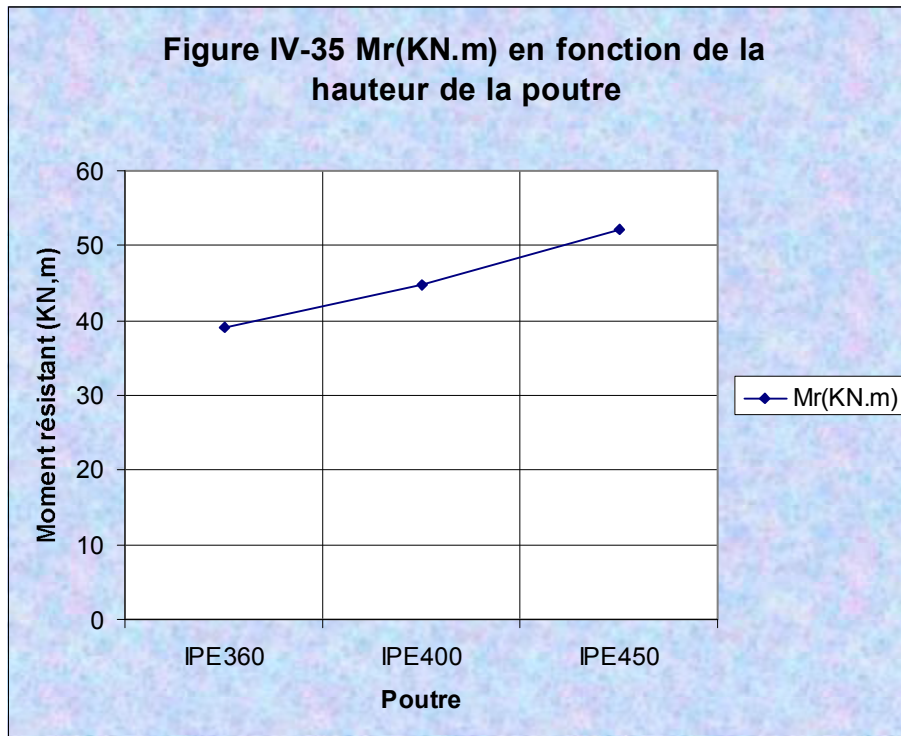
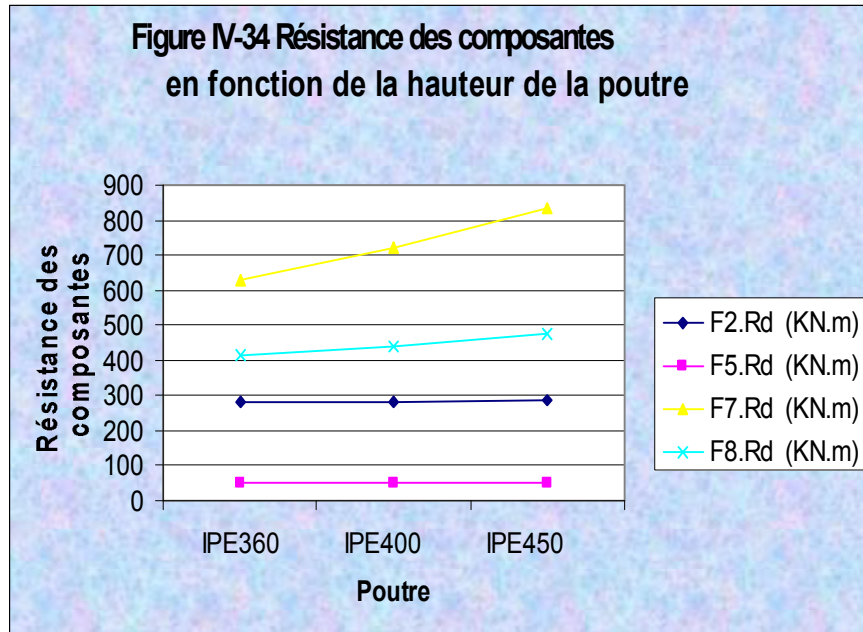
Le meilleur choix pour P selon la méthode des composantes c'est  $3x d_0$  .

**D)- Influence de la hauteur de la poutre**  
**Assemblage ABPExtrem 07**

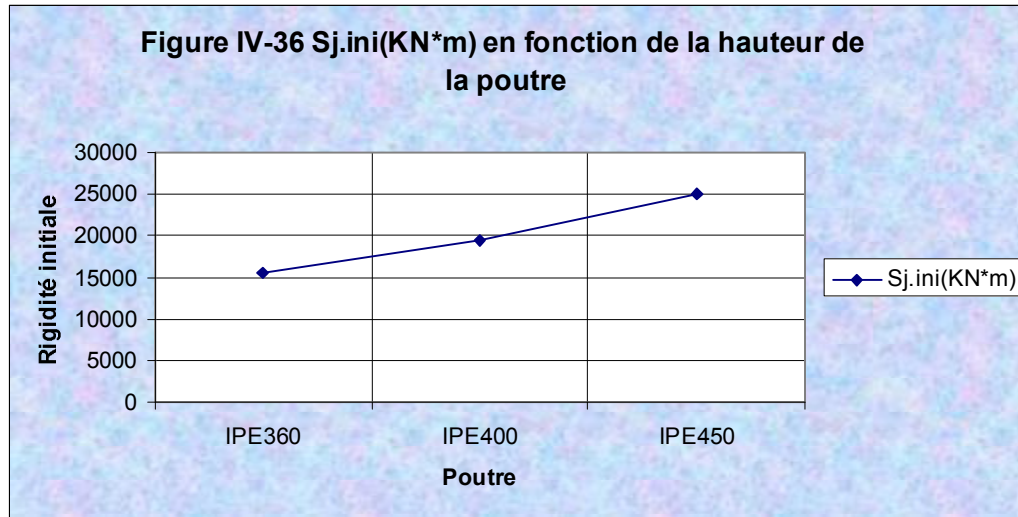
Poutre	IPE360	IPE400	IPE450
<b>Mr(KN.m) selon la méthode de composantes</b>	39,182	44,845	52,204
<b>K1(mm)</b>	3,329	2,921	2,533
<b>F2.Rd (KN.m)</b>	282,55	283,39	284,545
<b>K2</b>	8,692	8,733	8,79
<b>K3</b>	8,493	8,493	8,493
<b>F5.Rd (KN.m)</b>	49,728	49,944	50,425
<b>K5</b>	0,592	0,611	0,64
<b>F7.Rd (KN.m)</b>	626,88	722,49	835,017
<b>F8.Rd (KN.m)</b>	414,73	441,03	476,799
<b>K10</b>	8,182	7,974	7,705
<b>Sj.ini(KN*m)</b>	15482,353	19508,806	25038,527



🇫🇷 L'influence de la hauteur de la poutre est négative sur la rigidité des composantes ( N°01, et N°10) et positif pour la les rigidités des composantes ( N °02, N°03,N°05)

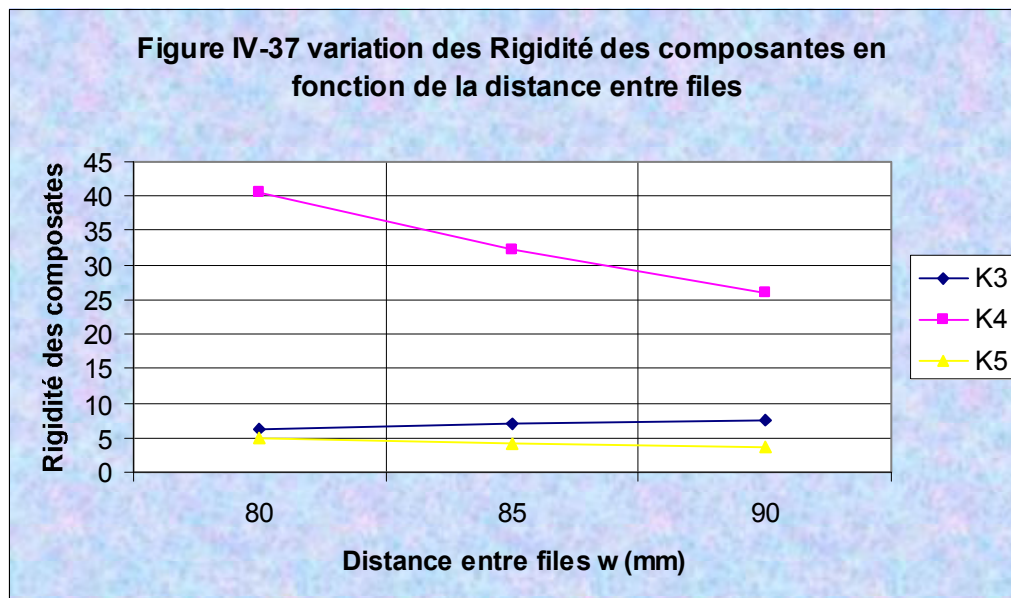


☑ L'influence de la hauteur de la poutre est positif sur la résistance des composantes et le moment résistant et la rigidité initial.



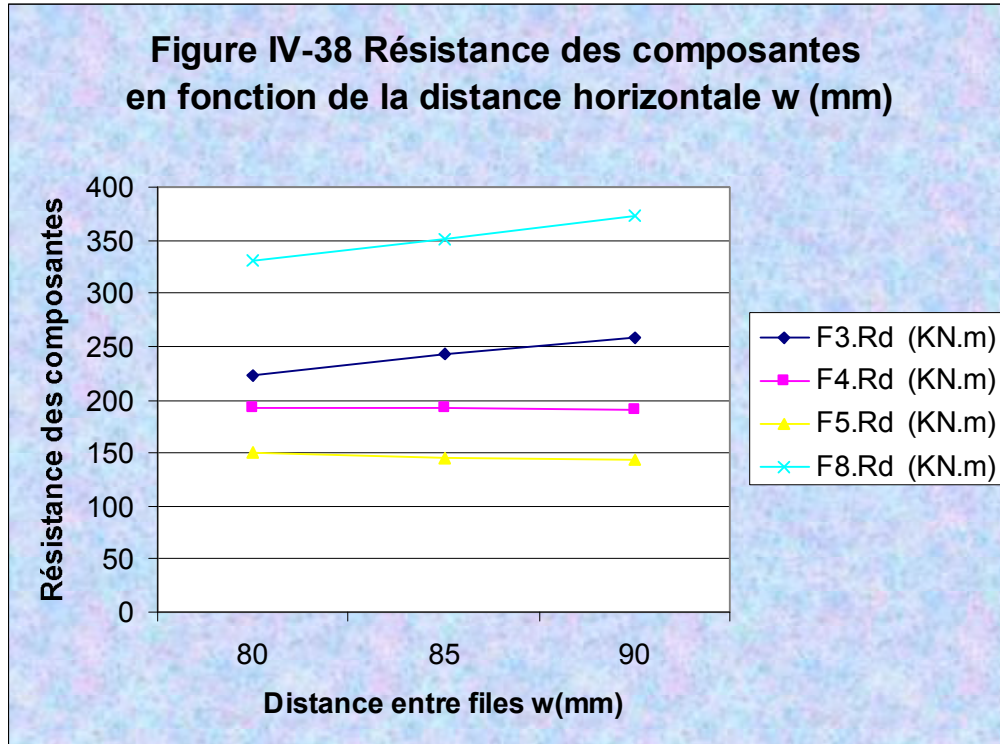
**E)- Influence de la distance horizontale entre files**  
Assemblage ABPExtrem 07

W (mm)	80	85	90
<b>Mr(KN.m)</b>	42,384	41,191	40,481
<b>F3.Rd (KN.m)</b>	223,50	243,056	257,397
<b>K3</b>	6,229	6,967	7,552
<b>F4.Rd (KN.m)</b>	192,681	192,681	191,348
<b>K4</b>	40,465	32,346	25,921
<b>F5.Rd (KN.m)</b>	149,425	145,219	142,716
<b>K5</b>	4,937	4,1814	3,606
<b>F8.Rd (KN.m)</b>	331,482	351,345	373,414
<b><math>S_j.ini(KN*m)</math></b>	17995,465	17514,182	16907,182

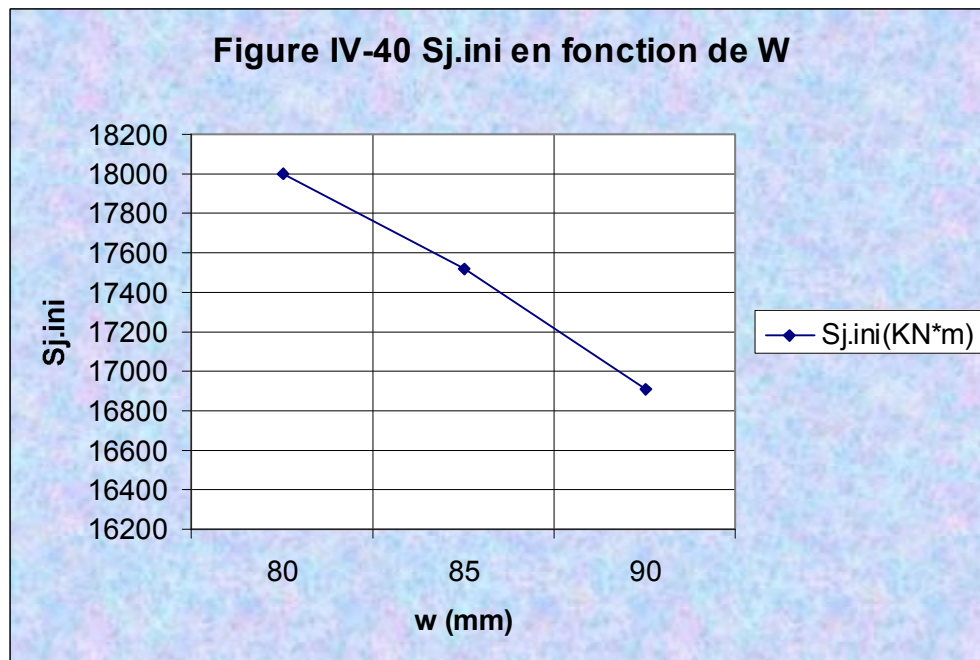
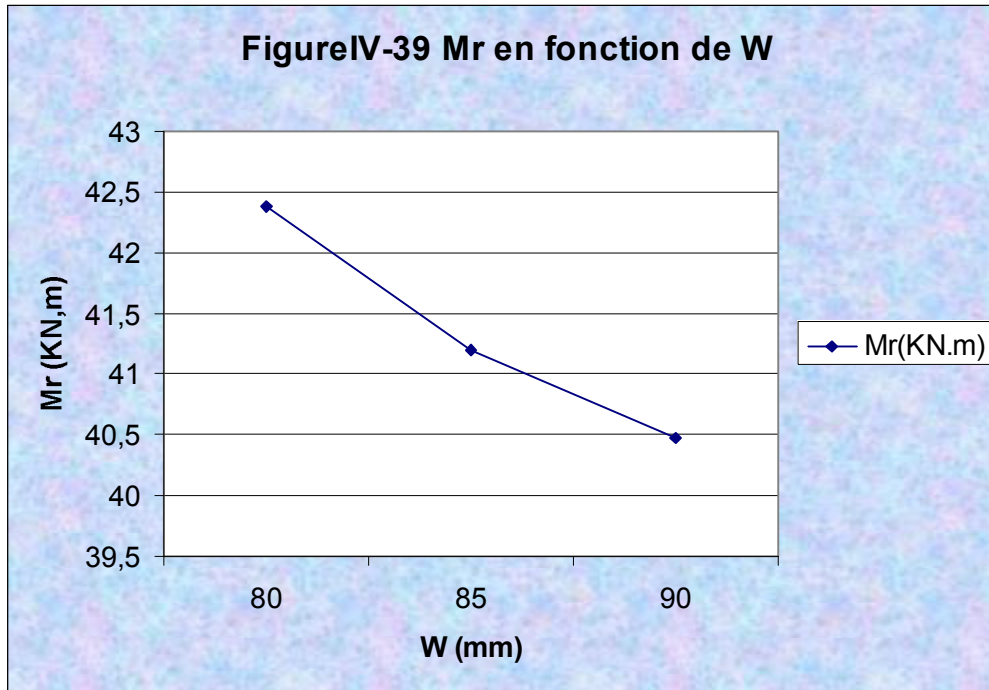




- La rigidité des composantes N°04 et N°05 à une fonction décroissante avec la distance horizontale entre files, la rigidité de la composante N°03 à une fonction croissante avec la distance horizontale entre files.



- L'influence de la distance horizontale entre files des boulons est positif sur la résistance des composantes N° 03et N°08 leur augmentation augmente  $m_{fc}$  ,  $m_{pl}$  donc augmente les longueurs efficaces qui augmente la résistance des composantes
- L'influence de la distance horizontale entre file des boulons est négatif sur la résistance des composante N° 04 et N° 05



Le moment résistant et la Rigidité initiale à une fonction décroissante avec la distance horizontale entre files parce que ce dernier influence négativement sur la composante la plus faible



**F)- CLASSIFICATION DE L'ASSEMBLAGE**

**Zone 1** : si  $S_{j.ini} \geq 8 \frac{EI_b}{L_b}$  → Assemblage rigide

**Zone 2** : si  $0,5 \frac{EI_b}{L_b} < S_{j.ini} < 8 \frac{EI_b}{L_b}$  → Assemblage semi rigide

**Zone 3** : si  $S_{j.ini} \leq 0,5 \frac{EI_b}{L_b}$  → Assemblage articulé

Avec :  $EI_b$  : rigidité flexionnelle de section de poutre.







$L_b$  : portée de la poutre (distance entre centres des poteaux).

*En constate que toute les configuration que nous avons traité sont des assemblages semi-rigide*

**IV-5 CONCLUSSIONS**

Le logiciel ABPExtrem à un intérêt très important dans le calcul au point de vue rapidité et de facilité au manipulation pour faire le calcul et la caractérisation des assemblages boulonnées par platine d'extrémité sans ou avec rangées des boulons extérieurs selon la norme NFP 22460 et la méthode des composantes adopté par l'EC03

On peut aussi utiliser se logiciel pour voir les caractéristique géométrique des profilé laminé à l'aide de sa base de donnés qui comporte ces caractéristique.

-  L'étude paramétrique montre l'influence de certain paramètre sur moment résistant de calcul  $M_{j.Rd}$  (selon la norme NFP 22460 et la méthode des composantes adopté par l'EC03) et sur la rigidité initiale  $S_{j.ini}$  (selon la méthode des composantes adopté par l'EC03)
-  La configuration avec rangé des boulons extérieure donne une gain supérieure a 64% para port a celle qui porte pas un rangée extérieure
-  la rupture des assemblages par la plastification de panneau d'âme de poteau par le cisaillement
-  On tire que l'épaisseur optimale de platine d'extrémité c'est peut supérieur a l'épaisseur de la semelle de poteau
-  l'application des recommandations pratique de L'EC03 permettant de déterminer directement le diamètre optimal.
-  On peut déterminer à l'aide logiciel par une simple variation des nombres de rangées de boulons le nombre des rangées optimales.

- L'influence négative de l'augmentation de la distance horizontale entre files sur les caractéristiques clé de l'assemblage donc la meilleure valeur de  $w = 3d_0$ .
- l'influence de la distance entre rangées des boulons P est positive dans une fourchette limitée en suite est négatif sur le moment résistant et rigidité initial et toujours positive sur la résistance des composantes donc pour les assemblages qui travaillent à la traction on recommande l'augmentation de P et déconseiller de prendre un assemblage avec une valeur de P considérable pour un assemblage qui travaille en flexion.
- la norme NF P 22460 est plus sévère que la méthode des composantes adoptée par l'EC3 d'une part et on connaît que la méthode des composantes c'est la méthode qui donne des résultats les plus proches à celle que trouvant à partir des essais expérimentaux de l'autre part donc, On le dimensionnement selon la norme NFP 22460 donne des assemblages surdimensionnés.

# **CONCLUSION GENERALE**

## ***CONCLUSION GENERALE***

Le but principale de ce mémoire est l'étude des assemblages métalliques types poteaux-poutres, boulonnée avec des boulons HR comme mode, et à l'aide des platines d'extrémité sans ou avec rangée des boulons extérieurs comme configuration, sous une sollicitation du moment fléchissant négatif selon la norme NFP 22460 et la méthode des composantes adopté par L'EC-03, avec un objectif d'élaborer un logiciel de calcul pour déterminer les caractéristiques clé des ces assemblages ( $M_{j,Rd}, S_{j,ini}$ ), le logiciel permet de mettre en évidence les différents paramètres influençant sur le comportement global de ces l'assemblages

Le travail de recherche a été mené selon 4 chapitres comme suit:

### **Le 1<sup>er</sup> chapitre :**

Est consacrer a l'étude générale sur les assemblages surtout les assemblage poteau poutre boulonné par platine d'extrémité au point de vue classification et résistance

### **-Le 2<sup>eme</sup> chapitre**

est consacrer a effectué une étude bibliographique sur les différentes modèles, qui sont qui en peut classé en trois grande familles

Etude basé sur l'expérimentation.

Etude basé sur la méthode des élément finis

Etude basé sur le modèle a ressort présenté par L'EC-03

### **Le 3<sup>eme</sup> chapitre**

Est consacrer a l'étude analytique des assemblages boulonnées par platine d'extrémité selon la proche présenté par la norme NFP 22460 et la proche présenté par L'EC-03 pour détermination les caractéristique clé de l'assemblage qui sont :

- Moment résistant
- La rigidité initiale en rotation
- ❖ Capacité de rotation

Et une analyse critique des deux approches nous permettra de soulever les limites de l'une et les avantages ainsi que la complexité de mise en œuvre de l'autre.

### **-Le 4<sup>eme</sup> chapitre**

Est consacrée à l'élaboration d'un logiciel de calcul permettant de caractériser un assemblage métallique. L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus par ce traitement numérique ont

permis de constater l'influence positive ou négative de certains paramètres sur les caractéristiques clé de l'assemblage

L'étude paramétrique montre l'influence de certain paramètre sur moment résistant de calcul  $M_{j,Rd}$  (selon la norme NFP 22460 et la méthode des composantes adopté par l'EC03) et sur la rigidité initiale  $S_{j,ini}$  (selon la méthode des composantes adopté par l'EC03)

- La comparaison entre les deux configurations sans ou avec rangées des boulons extérieurs avec les mêmes nombres de rangées présente un gain supérieur à 64% .
- la rupture des assemblages par la plastification du panneau d'âme de poteau par le cisaillement
- On tire que l'épaisseur optimale de platine d'extrémité c'est peut supérieur a l'épaisseur de la semelle de poteau
- l'application des recommandations de dimensionnement L'EC03 permettre la détermination directe du diamètre optimal.
- On peut déterminer à l'aide de logiciel par une simple variation des nombres de rangées de boulons le nombre des rangées optimales.
- L'influence négative de l'augmentation de la distance horizontale entre files sur les caractéristiques clé de l'assemblage donc la meilleur valeur de  $w$  est  $3d_0$  .
- l'influence de la distance entre rangées des boulons P est positif dans une fourchette limité en suit est négatif sur le moment résistant et rigidité initial et toujours positive sur la résistance des composantes donc pour les assemblage qui travail à la traction on recommande l'augmentation de P et déconseiller de prendre un assemblage avec une valeur de P considérable pour assemblage qui travail en flexion.
- On remarquant que la norme NF P 22460 est plus sévère que la méthode des composantes adopté par l'EC03 d'une part et on connaît que la méthode des composante c'est la méthode qui donne des résultats les plus proche à celle que trouvant à partir des essais expérimentant de l'autre part donc, On le dimensionnement selon la norme NFP 22460 donne des assemblages surdimensionnés.

Enfin, d'un point de vue purement personnel, le travail que nous avons effectué au laboratoire de mécanique des sols et des structure (**L.M.S.S**) a été l'occasion pour nous d'améliorer et d'approfondir nos connaissances, dans le domaine des structures métalliques et en particulier les assemblage , leurs modélisations et leurs caractérisations, aussi dans le domaine informatique notamment sur l'élaboration de logiciel de calcul.

Ce logiciel doit s'étendre, se développer et se généraliser à d'autres configurations d'assemblage. Par ailleurs résultats obtenus par l'utilisation de ce logiciel doivent être confrontés avec les valeurs obtenus par d'autres approche expérimentale, ou élément finis, Ce qui fera l'objet éventuellement d'un travail plus approfondi rentrant dans le cadre d'une thèse de doctorat.

# ANNEXE

CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES STRUCTURAUX EN CONSTRUCTION METALLIQUE SELON L'EC3

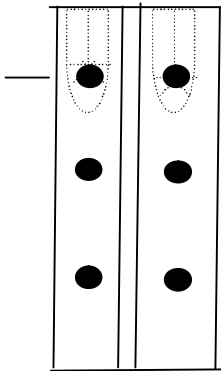
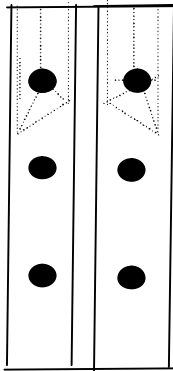
Position de la rangée de boulon	a) Rangée de boulons considérée individuellement	
	Mécanisme circulaire $l_{eff.cp}$	Mécanisme non circulaire $l_{eff.nc}$
Rangée de Boulons intérieure	$2\pi m$	$4m + 1.25e$
Rangée de Boulons extrême	Le plus petit $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Le plus petit $4m + 1.25e$ $2m + 0.625e + e_1$
		
Mode 1:	$l_{eff.1} = l_{eff.nc}$ mais $l_{eff.1} \leq l_{eff.cp}$	
Mode 2:	$l_{eff.2} = l_{eff.nc}$	

Tableau Annexe -1 tableau des longueur efficace semelle poteau en flexion



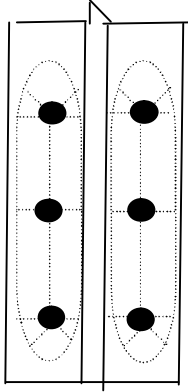
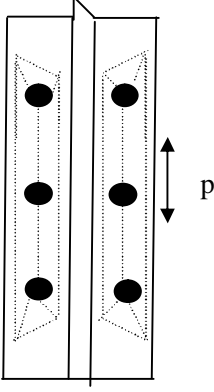
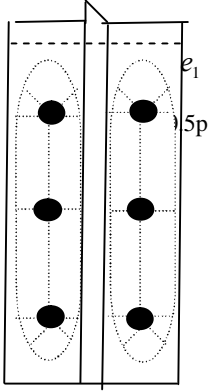
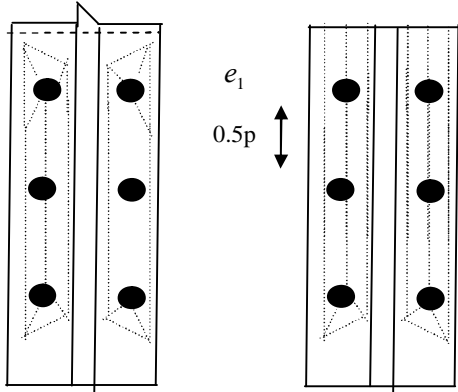
Position de la rangée de boulon	b) Rangée de boulons considérée comme partie d'un groupe	
	Mécanisme circulaire $l_{eff.cp}$	Mécanisme non circulaire $l_{eff.nc}$
Rangée de Boulons intérieure	$2p$ 	$p$ 
Rangée de Boulons extrême	Le plus petit $\pi m + p$ $2e_1 + p$ 	Le plus petit $4m + 1.25e$ $2m + 0.625e + e_1$ 
Mode 1:	$\sum l_{eff.1} = \sum l_{eff.nc}$ mais $\sum l_{eff.1} \leq \sum l_{eff.cp}$	
Mode 2:	$\sum l_{eff.2} = \sum l_{eff.nc}$	

Tableau Annexe -2 Tableau des longueur efficace semelle poteau en flexion

Position de la rangée de boulon	Rangée de boulons considérée individuellement		Rangée de boulons considérée comme faisant partie d'un groupe	
	Mécanisme circulaire $l_{eff.cp}$	Mécanisme non circulaire $l_{eff.nc}$	Mécanisme circulaire $l_{eff.cp}$	Mécanisme non circulaire $l_{eff.nc}$
Première rangée de boulons sous la semelle tendue de la poutre	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0.5p + \alpha m - (2m + 0.625e)$
Autre rangée de boulons intérieurs	$2\pi m$	$4m + 1.25e$	$2p$	$p$
Rangée de boulons à l'autre extrémité	$2\pi m$	$4m + 1.25e$	$\pi m + p$	$2m + 0.625e + 0.5p$
Mode 1	$l_{eff.1} = l_{eff.nc}$ mais $l_{eff.1} = l_{eff.cp}$		$\sum l_{eff.1} = \sum l_{eff.nc}$ mais $\sum l_{eff.1} = \sum l_{eff.cp}$	
Mode 2	$l_{eff.2} = l_{eff.nc}$		$\sum l_{eff.2} = \sum l_{eff.nc}$	
<b><math>\alpha</math></b> est obtenu à partir de l'abaque				

Tableau Annexe -3 Tableau des longueur efficace platine d'extrémité

**Caractéristique géométrique des boulons**

Le tableau Annexe -4 comporte les principales caractéristiques des boulons

Désignation	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d (mm)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
( $d_0$ ) (mm)	9	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A (mm <sup>2</sup> )	50.3	78.5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
( $A_s$ ) (mm <sup>2</sup> )	36.6	58	84.3	115	157	192	245	303	353	459	561
( $\phi$ ) rondelle (mm)	16	20	24	27	30	34	36	40	44	50	52
( $\phi$ ) clé (mm)	21	27	31	51	51	51	58	58	58	58	58
Tôle usuelle (mm)	2	3	4	5	6	7	8	10-14	>14	-	-
Cornière usuelle (mm)	30	35	40	50	60	70	80	120	>120	-	-
( $d_m$ ) (mm)	14	18.3	20.5	23.7	24.58	29.1	32.4	34.5	38.8	44.2	49.60

**Tableau Annexe -4: tableau des caractéristique géométrique des boulons**

D : **Diamètre** de la partie non filetée de boulon.

( $d_0$ ) : Diamètre normal du trou.

A : Section résistant de la partie filetée.

( $A_s$ ) : Diamètre résistance de la partie filetée.

( $d_m$ ) : Diamètre moyen entre le cercle réinscrit et le cercle inscrit à la Tête du boulon.

**caractéristique mécanique des boulons**

Classe des boulons	Limite d'élasticité $f_{yB}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Résistance à la traction $f_{u.B}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Allongement de rupture $\epsilon_r$ [%]
<b>10.9</b>	<b>900</b>	<b>1000</b>	<b>9</b>
<b>8.8</b>	<b>640</b>	<b>800</b>	<b>12</b>

**Tableau Annexe -5: Tableau des caractéristique mécanique des Boulons**

**CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES STRUCTURAUX EN CONSTRUCTION METALLIQUE SELON L'EC3**

Exemple des tableaux pour le calcul de  $\alpha$  en fonction de  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$

$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$
0.37	0.00	6.28	0.37	0.48	6.28	0.37	0.96	6.180	0.38	0.00	6.28	0.38	0.48	6.28	0.38	0.96	6.120
0.37	0.01	6.28	0.37	0.49	6.28	0.37	0.97	6.180	0.38	0.01	6.28	0.38	0.49	6.28	0.38	0.97	6.120
0.37	0.02	6.28	0.37	0.50	6.28	0.37	0.98	6.180	0.38	0.02	6.28	0.38	0.50	6.28	0.38	0.98	6.120
0.37	0.03	6.28	0.37	0.51	6.28	0.37	0.99	6.180	0.38	0.03	6.28	0.38	0.51	6.28	0.38	0.99	6.120
0.37	0.04	6.28	0.37	0.52	6.28	0.37	1.00	6.180	0.38	0.04	6.28	0.38	0.52	6.28	0.38	1.00	6.120
0.37	0.05	6.28	0.37	0.53	6.28	0.37	1.01	6.180	0.38	0.05	6.28	0.38	0.53	6.28	0.38	1.01	6.120
0.37	0.06	6.28	0.37	0.54	6.28	0.37	1.02	6.180	0.38	0.06	6.28	0.38	0.54	6.28	0.38	1.02	6.120
0.37	0.07	6.28	0.37	0.55	6.28	0.37	1.03	6.180	0.38	0.07	6.28	0.38	0.55	6.28	0.38	1.03	6.120
0.37	0.08	6.28	0.37	0.56	6.28	0.37	1.04	6.180	0.38	0.08	6.28	0.38	0.56	6.28	0.38	1.04	6.120
0.37	0.09	6.28	0.37	0.57	6.28	0.37	1.05	6.180	0.38	0.09	6.28	0.38	0.57	6.28	0.38	1.05	6.120
0.37	0.10	6.28	0.37	0.58	6.28	0.37	1.06	6.180	0.38	0.10	6.28	0.38	0.58	6.266	0.38	1.06	6.120
0.37	0.11	6.28	0.37	0.59	6.28	0.37	1.07	6.180	0.38	0.11	6.28	0.38	0.59	6.256	0.38	1.07	6.120
0.37	0.12	6.28	0.37	0.60	6.28	0.37	1.08	6.180	0.38	0.12	6.28	0.38	0.60	6.251	0.38	1.08	6.120
0.37	0.13	6.28	0.37	0.61	6.28	0.37	1.09	6.180	0.38	0.13	6.28	0.38	0.61	6.237	0.38	1.09	6.120
0.37	0.14	6.28	0.37	0.62	6.270	0.37	1.10	6.180	0.38	0.14	6.28	0.38	0.62	6.227	0.38	1.10	6.120
0.37	0.15	6.28	0.37	0.63	6.261	0.37	1.11	6.180	0.38	0.15	6.28	0.38	0.63	6.214	0.38	1.11	6.120
0.37	0.16	6.28	0.37	0.64	6.252	0.37	1.12	6.180	0.38	0.16	6.28	0.38	0.64	6.210	0.38	1.12	6.120
0.37	0.17	6.28	0.37	0.65	6.242	0.37	1.13	6.180	0.38	0.17	6.28	0.38	0.65	6.200	0.38	1.13	6.120
0.37	0.18	6.28	0.37	0.66	6.237	0.37	1.14	6.180	0.38	0.18	6.28	0.38	0.66	6.191	0.38	1.14	6.120
0.37	0.19	6.28	0.37	0.67	6.232	0.37	1.15	6.180	0.38	0.19	6.28	0.38	0.67	6.186	0.38	1.15	6.120
0.37	0.20	6.28	0.37	0.68	6.223	0.37	1.16	6.180	0.38	0.20	6.28	0.38	0.68	6.180	0.38	1.16	6.120
0.37	0.21	6.28	0.37	0.69	6.218	0.37	1.17	6.180	0.38	0.21	6.28	0.38	0.69	6.170	0.38	1.17	6.120
0.37	0.22	6.28	0.37	0.70	6.208	0.37	1.18	6.180	0.38	0.22	6.28	0.38	0.70	6.166	0.38	1.18	6.120
0.37	0.23	6.28	0.37	0.71	6.206	0.37	1.19	6.180	0.38	0.23	6.28	0.38	0.71	6.162	0.38	1.19	6.120
0.37	0.24	6.28	0.37	0.72	6.203	0.37	1.20	6.180	0.38	0.24	6.28	0.38	0.72	6.157	0.38	1.20	6.120
0.37	0.25	6.28	0.37	0.73	6.202	0.37	1.21	6.180	0.38	0.25	6.28	0.38	0.73	6.155	0.38	1.21	6.120
0.37	0.26	6.28	0.37	0.74	6.199	0.37	1.22	6.180	0.38	0.26	6.28	0.38	0.74	6.150	0.38	1.22	6.120
0.37	0.27	6.28	0.37	0.75	6.196	0.37	1.23	6.180	0.38	0.27	6.28	0.38	0.75	6.145	0.38	1.23	6.120
0.37	0.28	6.28	0.37	0.76	6.194	0.37	1.24	6.180	0.38	0.28	6.28	0.38	0.76	6.142	0.38	1.24	6.120
0.37	0.29	6.28	0.37	0.77	6.190	0.37	1.25	6.180	0.38	0.29	6.28	0.38	0.77	6.137	0.38	1.25	6.120
0.37	0.30	6.28	0.37	0.78	6.186	0.37	1.26	6.180	0.38	0.30	6.28	0.38	0.78	6.130	0.38	1.26	6.120
0.37	0.31	6.28	0.37	0.79	6.184	0.37	1.27	6.180	0.38	0.31	6.28	0.38	0.79	6.127	0.38	1.27	6.120
0.37	0.32	6.28	0.37	0.80	6.180	0.37	1.28	6.180	0.38	0.32	6.28	0.38	0.80	6.120	0.38	1.28	6.120
0.37	0.33	6.28	0.37	0.81	6.180	0.37	1.29	6.180	0.38	0.33	6.28	0.38	0.81	6.120	0.38	1.29	6.120
0.37	0.34	6.28	0.37	0.82	6.180	0.37	1.30	6.180	0.38	0.34	6.28	0.38	0.82	6.120	0.38	1.30	6.120
0.37	0.35	6.28	0.37	0.83	6.180	0.37	1.31	6.180	0.38	0.35	6.28	0.38	0.83	6.120	0.38	1.31	6.120
0.37	0.36	6.28	0.37	0.84	6.180	0.37	1.32	6.180	0.38	0.36	6.28	0.38	0.84	6.120	0.38	1.32	6.120
0.37	0.37	6.28	0.37	0.85	6.180	0.37	1.33	6.180	0.38	0.37	6.28	0.38	0.85	6.120	0.38	1.33	6.120
0.37	0.38	6.28	0.37	0.86	6.180	0.37	1.34	6.180	0.38	0.38	6.28	0.38	0.86	6.120	0.38	1.34	6.120
0.37	0.39	6.28	0.37	0.87	6.180	0.37	1.35	6.180	0.38	0.39	6.28	0.38	0.87	6.120	0.38	1.35	6.120
0.37	0.40	6.28	0.37	0.88	6.180	0.37	1.36	6.180	0.38	0.40	6.28	0.38	0.88	6.120	0.38	1.36	6.120
0.37	0.41	6.28	0.37	0.89	6.180	0.37	1.37	6.180	0.38	0.41	6.28	0.38	0.89	6.120	0.38	1.37	6.120
0.37	0.42	6.28	0.37	0.90	6.180	0.37	1.38	6.180	0.38	0.42	6.28	0.38	0.90	6.120	0.38	1.38	6.120
0.37	0.43	6.28	0.37	0.91	6.180	0.37	1.39	6.180	0.38	0.43	6.28	0.38	0.91	6.120	0.38	1.39	6.120
0.37	0.44	6.28	0.37	0.92	6.180	0.37	1.40	6.180	0.38	0.44	6.28	0.38	0.92	6.120	0.38	1.40	6.120
0.37	0.45	6.28	0.37	0.93	6.180				0.38	0.45		0.38	6.28	6.120	0.38		
0.37	0.46	6.28	0.37	0.94	6.180				0.38	0.46		0.38	6.28	6.120	0.38		
0.37	0.47	6.28	0.37	0.95	6.180				0.38	0.47		0.38	6.28	6.120	0.38		

**CARACTERISATION DES ASSEMBLAGES STRUCTURAUX EN CONSTRUCTION METALLIQUE SELON L'EC3**

$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\alpha$
0.39	0.00	6.28	0.39	0.48	6.28	0.39	0.96	6.060	0.40	0.00	6.28	0.40	0.48	6.28	0.40	0.96	6.000
0.39	0.01	6.28	0.39	0.49	6.28	0.39	0.97	6.060	0.40	0.01	6.28	0.40	0.49	6.28	0.40	0.97	6.000
0.39	0.02	6.28	0.39	0.50	6.28	0.39	0.98	6.060	0.40	0.02	6.28	0.40	0.50	6.28	0.40	0.98	6.000
0.39	0.03	6.28	0.39	0.51	6.28	0.39	0.99	6.060	0.40	0.03	6.28	0.40	0.51	6.266	0.40	0.99	6.000
0.39	0.04	6.28	0.39	0.52	6.28	0.39	1.00	6.060	0.40	0.04	6.28	0.40	0.52	6.248	0.40	1.00	6.000
0.39	0.05	6.28	0.39	0.53	6.28	0.39	1.01	6.060	0.40	0.05	6.28	0.40	0.53	6.240	0.40	1.01	6.000
0.39	0.06	6.28	0.39	0.54	6.270	0.39	1.02	6.060	0.40	0.06	6.28	0.40	0.54	6.230	0.40	1.02	6.000
0.39	0.07	6.28	0.39	0.55	6.257	0.39	1.03	6.060	0.40	0.07	6.28	0.40	0.55	6.216	0.40	1.03	6.000
0.39	0.08	6.28	0.39	0.56	6.247	0.39	1.04	6.060	0.40	0.08	6.28	0.40	0.56	6.206	0.40	1.04	6.000
0.39	0.09	6.28	0.39	0.57	6.238	0.39	1.05	6.060	0.40	0.09	6.28	0.40	0.57	6.196	0.40	1.05	6.000
0.39	0.10	6.28	0.39	0.58	6.224	0.39	1.06	6.060	0.40	0.10	6.28	0.40	0.58	6.177	0.40	1.06	6.000
0.39	0.11	6.28	0.39	0.59	6.208	0.39	1.07	6.060	0.40	0.11	6.28	0.40	0.59	6.168	0.40	1.07	6.000
0.39	0.12	6.28	0.39	0.60	6.202	0.39	1.08	6.060	0.40	0.12	6.28	0.40	0.60	6.156	0.40	1.08	6.000
0.39	0.13	6.28	0.39	0.61	6.189	0.39	1.09	6.060	0.40	0.13	6.28	0.40	0.61	6.151	0.40	1.09	6.000
0.39	0.14	6.28	0.39	0.62	6.185	0.39	1.10	6.060	0.40	0.14	6.28	0.40	0.62	6.142	0.40	1.10	6.000
0.39	0.15	6.28	0.39	0.63	6.172	0.39	1.11	6.060	0.40	0.15	6.28	0.40	0.63	6.130	0.40	1.11	6.000
0.39	0.16	6.28	0.39	0.64	6.163	0.39	1.12	6.060	0.40	0.16	6.28	0.40	0.64	6.126	0.40	1.12	6.000
0.39	0.17	6.28	0.39	0.65	6.158	0.39	1.13	6.060	0.40	0.17	6.28	0.40	0.65	6.116	0.40	1.13	6.000
0.39	0.18	6.28	0.39	0.66	6.149	0.39	1.14	6.060	0.40	0.18	6.28	0.40	0.66	6.107	0.40	1.14	6.000
0.39	0.19	6.28	0.39	0.67	6.140	0.39	1.15	6.060	0.40	0.19	6.28	0.40	0.67	6.102	0.40	1.15	6.000
0.39	0.20	6.28	0.39	0.68	6.137	0.39	1.16	6.060	0.40	0.20	6.28	0.40	0.68	6.094	0.40	1.16	6.000
0.39	0.21	6.28	0.39	0.69	6.128	0.39	1.17	6.060	0.40	0.21	6.28	0.40	0.69	6.085	0.40	1.17	6.000
0.39	0.22	6.28	0.39	0.70	6.118	0.39	1.18	6.060	0.40	0.22	6.28	0.40	0.70	6.080	0.40	1.18	6.000
0.39	0.23	6.28	0.39	0.71	6.117	0.39	1.19	6.060	0.40	0.23	6.28	0.40	0.71	6.073	0.40	1.19	6.000
0.39	0.24	6.28	0.39	0.72	6.112	0.39	1.20	6.060	0.40	0.24	6.28	0.40	0.72	6.066	0.40	1.20	6.000
0.39	0.25	6.28	0.39	0.73	6.103	0.39	1.21	6.060	0.40	0.25	6.28	0.40	0.73	6.062	0.40	1.21	6.000
0.39	0.26	6.28	0.39	0.74	6.102	0.39	1.22	6.060	0.40	0.26	6.28	0.40	0.74	6.053	0.40	1.22	6.000
0.39	0.27	6.28	0.39	0.75	6.095	0.39	1.23	6.060	0.40	0.27	6.28	0.40	0.75	6.044	0.40	1.23	6.000
0.39	0.28	6.28	0.39	0.76	6.091	0.39	1.24	6.060	0.40	0.28	6.28	0.40	0.76	6.040	0.40	1.24	6.000
0.39	0.29	6.28	0.39	0.77	6.083	0.39	1.25	6.060	0.40	0.29	6.28	0.40	0.77	6.029	0.40	1.25	6.000
0.39	0.30	6.28	0.39	0.78	6.074	0.39	1.26	6.060	0.40	0.30	6.28	0.40	0.78	6.018	0.40	1.26	6.000
0.39	0.31	6.28	0.39	0.79	6.070	0.39	1.27	6.060	0.40	0.31	6.28	0.40	0.79	6.012	0.40	1.27	6.000
0.39	0.32	6.28	0.39	0.80	6.060	0.39	1.28	6.060	0.40	0.32	6.28	0.40	0.80	6.000	0.40	1.28	6.000
0.39	0.33	6.28	0.39	0.81	6.060	0.39	1.29	6.060	0.40	0.33	6.28	0.40	0.81	6.000	0.40	1.29	6.000
0.39	0.34	6.28	0.39	0.82	6.060	0.39	1.30	6.060	0.40	0.34	6.28	0.40	0.82	6.000	0.40	1.30	6.000
0.39	0.35	6.28	0.39	0.83	6.060	0.39	1.31	6.060	0.40	0.35	6.28	0.40	0.83	6.000	0.40	1.31	6.000
0.39	0.36	6.28	0.39	0.84	6.060	0.39	1.32	6.060	0.40	0.36	6.28	0.40	0.84	6.000	0.40	1.32	6.000
0.39	0.37	6.28	0.39	0.85	6.060	0.39	1.33	6.060	0.40	0.37	6.28	0.40	0.85	6.000	0.40	1.33	6.000
0.39	0.38	6.28	0.39	0.86	6.060	0.39	1.34	6.060	0.40	0.38	6.28	0.40	0.86	6.000	0.40	1.34	6.000
0.39	0.39	6.28	0.39	0.87	6.060	0.39	1.35	6.060	0.40	0.39	6.28	0.40	0.87	6.000	0.40	1.35	6.000
0.39	0.40	6.28	0.39	0.88	6.060	0.39	1.36	6.060	0.40	0.40	6.28	0.40	0.88	6.000	0.40	1.36	6.000
0.39	0.41	6.28	0.39	0.89	6.060	0.39	1.37	6.060	0.40	0.41	6.28	0.40	0.89	6.000	0.40	1.37	6.000
0.39	0.42	6.28	0.39	0.90	6.060	0.39	1.38	6.060	0.40	0.42	6.28	0.40	0.90	6.000	0.40	1.38	6.000
0.39	0.43	6.28	0.39	0.91	6.060	0.39	1.39	6.060	0.40	0.43	6.28	0.40	0.91	6.000	0.40	1.39	6.000
0.39	0.44	6.28	0.39	0.92	6.060	0.39	1.40	6.060	0.40	0.44	6.28	0.40	0.92	6.000	0.40	1.40	6.000
0.39	0.45	6.28	0.39	0.93	6.060				0.40	0.45	6.28	0.40	0.93	6.000			
0.39	0.46	6.28	0.39	0.94	6.060				0.40	0.46	6.28	0.40	0.94	6.000			
0.39	0.47	6.28	0.39	0.95	6.060				0.40	0.47	6.28	0.40	0.95	6.000			

# RESUME

## ملخص

الهدف من هذا البحث هو إنشاء برنامج حساب يسمح بدراسة سلوك الروابط المعدنية عمود عارضة ( قائمة - كمره) بواسطة صفيه البلاطين باللوائب المسبقة الإجهاد لكي نعين الوسائط الجد مؤثرة في العزم المقاوم الحسابي عز م<sub>ق</sub> و في الصلابيه ( الصلادة) الأولية ص<sub>ا</sub> و في قدرة الروابط على الدوران  $\theta$ ، الروابط المدروسة في هذا البحث هي الروابط بواسطة البلاطين مع عدم وجود صف خارجي من اللوائب .

الروابط بواسطة البلاطين مع وجود صف خارجي من اللوائب.

العمل المقدم يحتوي على أربعة فصول (أبواب)

### الفصل الأول:

دراسة عامة لروابط بهياكل المنشآت المعدنية من حيث أهميتها مع تسليط الضوء خاصة على الروابط عمود كمره بواسطة صفيه البلاطين باللوائب المسبقة الإجهاد من حيث تصنيفها و كذا مقاومتها حسب النظام القديم و الجديد

### الفصل الثاني:

خصص لمعالجة البحوث التي تتناول دراسة الروابط المعدنية عمود كمره بواسطة صفيه البلاطين باللوائب المسبقة الإجهاد .

### الفصل الثالث :

خصص للدراسة النظرية للروابط بواسطة البلاطين مع عدم وجود صف خارجي من اللوائب و كذا

الروابط بواسطة البلاطين مع وجود صف خارجي من اللوائب حسب النظام القديم NFP22460 و الجديد الاورو كود 03

الملحق ج .

### الفصل الرابع :

خصص لإنشاء برنامج حسابي يسمح بإجراء دراسة الوسيطية للروابط السابقة الذكر لكي نقدر مدى تأثير بعض الوسائط على هذه

الروابط ونذكر على سبيل المثال : علو الكمره ، سمك صفيحة البلاطين ، نوعية معدن العمود و الكمره و الصفيحة المعدنية

واللوائب، عدد اللوائب ، وضعية اللوائب بالنسبة للصفيحة البلاطين.

نلاحظ التأثير كمية العزم المقاوم و الصلادة الأولية لتغيير علو الكمره ، سمك صفيحة البلاطين ، نوعية معدن العمود و الكمره و

الصفيحة المعدنية واللوائب، عدد اللوائب ، وضعية اللوائب بالنسبة للصفيحة البلاطين. كما نلاحظ تأثير القدرة على الدوران

للروابط المعدنية لعلو الكمره.

## **RESUME**

L'objet du présent travail de recherche est d'élaborer un logiciel de calcul qui permettra d'effectuer une étude sur le comportement des assemblages métalliques type poteau poutre par platine d'extrémité sans et avec rangées de boulons extérieurs

Afin de déterminer les paramètres les plus influents sur le moment résistant  $M_{j,Rd}$ , la rigidité initial  $S_{j,ini}$  de ces assemblage métalliques :

Le travail présenté, comprend principalement quatre chapitres:

**- Le premier chapitre** montre le rôle capital de l'assemblage dans les constructions métalliques. Et mettant l'accent sur les assemblages poteaux- poutres boulonnées par platine d'extrémité au point de vue classification et résistance selon l'approche ancienne et moderne .

**Le deuxième chapitre** Est consacrée à une étude bibliographique sur les différents modèles de calcul des assemblages boulonnés par platine d'extrémité

**Une troisième partie :**

Est consacrée à l'étude analytique, et à l'application des deux méthodes de calcul (norme) et la méthode des composantes donnée dans l'annexe J révisé de l'EC-03 pour différentes configurations.

**Une quatrième partie :**

Est consacrée à l'élaboration d'un logiciel de calcul permettant de caractériser un assemblage métallique. L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus par ce traitement numérique ont permis de constater l'influence positive ou négative de certains paramètres sur les caractéristiques clés de l'assemblage.



# REFERENCE BOBLOGRQPHIAUE

- [1] **PrEN 1993-1-8-Eurocode3**: << design of steel structure>>.Part 1-8 design of joint  
Draft N°01;29 february 2000.
- [2] **ENV 1993-1-1 –Eurocode 3**: << design of steel structure>>. Part 1-8 .design of  
joint ; Draft N°01;29 february 2000.
- [3] **STRUCTURAL STEEL WORK EUROCODES DEVELOPMENT OF A TRES-  
NATIONAL APPROACH (S.S.E.D.T.A)**  
S.S.E.D.T.A -2 Final version 2000.
- [4] **Publication de la C.T.I.C.E.M** :construction métallique N°04 1972<< recherche sur  
l'assemblage par boulonnage d'un plaque d'extrémité >> D.KHALILI
- [5] **Publication de la C.T.I.C.E.M** :construction métallique N°04 1972<< le calcul des  
assemblages boulonnés par platine d'extrémités >> R.DELEQUES
- [6] **Publication de la C.T.I.C.E.M** :construction métallique N°03 2005<< Traitement simple de  
l'interaction moment –effort normal dans les assemblages par platines d'extrémités boulonnées >>  
I. Ryan.
- [7] **Programme De Calcul des Structures En Zone Sismique** :EZZEDDINE.  
MIVILA OPE 2000.
- [8] **Calcul Des Structures Métallique Selon l'Eurocode 3** : JEAN-MOREL 1994.
- [9] **Traite De Génie Civil De L'école polytechnique Fédérale De Lausanne Volume 10** :  
MANFRED.A , HIRT ROFT BEZ 1994
- [10] **Mémoire magister thème Etude et caractérisation des assemblages mixte de type poteau  
poutre selon l'Eurocode -04** : R.SLIMANI 2008.