

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA, - Bejaïa –
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil

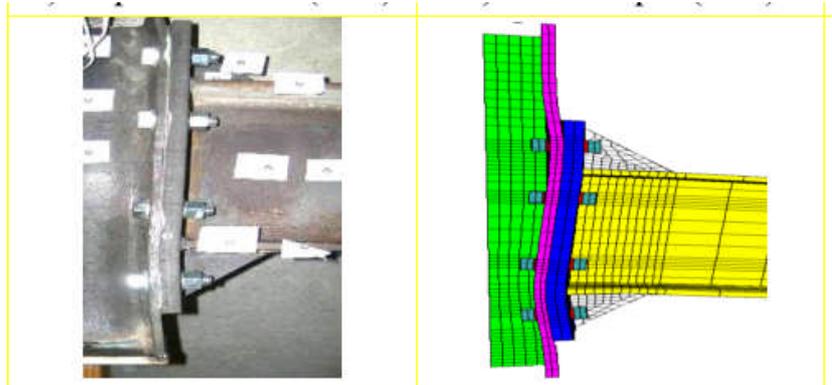
Mémoire

Pour obtenir le titre de master en Génie Civil

Option : Matériaux et structure

Thème

MODELISATION DES ASSEMBLAGES METALLIQUES PAR ELEMENTS FINIS



Présenté par

M^{ME}. SEBBANE WASSILA

ENCADRE PAR :

MR. RAMDANI LYES

SOUTENU LE 02-07-2012 DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

MR. BECHER A.HAMID

MR. BANOUNE BRAHIM

Remerciements

*A*vant tout, je tiens à remercier le seigneur tout puissant de m'avoir permis de mener au bien ce travail, de m'avoir donné la force et le courage.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude à mon encadreur Monsieur RAMDANI LYES, pour le savoir qui ma transmis durant cette année, sa générosité, sa patience et sa disponibilité.

Je tiens aussi à remercier tous les enseignants de département GENIE CIVIL.

Mes sincères gratitudes vont vers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de se travail.

Résumé

Dans cette étude, un outil numérique de dimensionnement d'une fixation par boulon d'une structure avec un chargement constant est présenté.

Les modèles proposés sont construits à partir d'éléments finis tridimensionnelles représentant les pièces assemblées et les boulons modélisant le contact élastique dans les assemblages.

La particularité des modèles est la prise en compte de l'évolution de la zone de contact en fonction du chargement extérieur. La répartition des contraintes dans les boulons d'un assemblage de deux plaques ainsi que l'influence de la présence des raidisseurs de platine d'extrémité sur le comportement des assemblages métalliques boulonnés furent notre point de vue principal.

Mots-clés : Assemblages boulonnés, Modélisation de structures, Raidisseur de platine, Analyse linéaire, Eléments Finis,

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 GENERALISES SUR LES ASSEMBLAGES.....	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Quelques types d'assemblages rencontrés dans la construction métallique	4
1.2.1 Articulation par platine, avec ou sans bêche.....	4
1.2.2 Articulation par platine pré-scannée.....	5
1.2.3 Articulation avec axe.....	5
1.2.4 Articulation avec grain.....	6
1.2.5 Encastrement par platine.....	6
1.2.6 Articulation par éclissage d'âme.....	7
1.2.7 Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'ailles.....	7
1.2.8 Encastrement par rabotement.....	8
1.2.9 Encastrement par platine d'extrémité.....	8
1.2.10 Articulation par doubles cornières.....	9
1.2.12 Encastrement par double cornières en joint d'ailles.....	10
1.2.13 Encastrement par soudure.....	10
1.2.14 Encastrement par platine d'extrémité.....	10
1.2.15 Encastrement sur l'âme de poteau.....	11
1.2.16 Articulation par gousset.....	11
1.2.17 Appui simple avec plat plié.....	12
1.2.18 Articulation par éclissage d'âme.....	12
1.2.19 Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'ailles.....	12
1.2.20 Encastrement par platine d'extrémité.....	13
1.2.21 Articulation de poutres reposant sur une autre poutre perpendiculairement.....	13
1.2.22 Articulation de poutres perpendiculaire situées au même niveau.....	14
1.2.23 Liaison entre deux diagonales continues de grande longueur.....	14
1.2.24 Articulation de diagonale par gousset.....	15
1.2.25 Encastrement par bride plein.....	15
1.2.26 Articulation par aplatissement de tube.....	16
1.2.27 Articulation par chape soudée.....	16
1.3 Fonctionnement des assemblages.....	17
1.4 Assemblages boulonnés.....	17
1.4.1 Les boulons.....	17
1.4.2 Fonctionnement des assemblages boulonnés.....	18
1.4.2.1 Fonctionnement par butée.....	18
1.4.2.2 Fonctionnement par frottement.....	19
1.5 Assemblages soudés.....	20
1.5.1 Terminologie de la soudure.....	20
1.5.2 Types de soudures.....	22
1.6 Remarque.....	24

CHAPITRE 2	MODELISATION DES ASSEMBLAGES PAR ELEMENTS	
FINIS		25
2.1	Introduction.....	25
2.2	But de la modélisation des assemblages par MEF.....	26
2.3	Modélisation des assemblages métallique par éléments finis 3D	27
2.3.1	Maillage.....	27
2.3.2	Conditions aux limites.....	28
2.4	Modélisation des assemblages métalliques par éléments finis 1D	29
CHAPITRE 3	APPLICATION POUR LE CAS DES ASSEMBLAGES PAR	
BUTEE		30
3.1	Introduction.....	30
3.2	Application pour le cas d'un assemblage de deux plaques.....	31
3.2.1	Description de modèle numérique.....	31
3.2.2	Modélisation et maillage pour les différents éléments de l'assemblage 32	
3.2.3	Chargement et conditions aux limites	35
3.2.4	Prise en compte du contact.....	36
3.2.5	Résultats de calcul	37
3.3	Application pour le cas d'un assemblage d'une cornière sur la semelle d'un poteau.....	42
3.3.1	Description du modèle numérique	43
3.3.2	Etude éléments finis.....	43
3.3.3	Calcul de l'effort de cisaillement dans les boulons selon la RDM.....	48
3.3.4	Comparaison entre les résultats obtenus par MEF et RDM.....	49
CHAPITRE 4	APPLICATION POUR LE CAS DES ASSEMBLAGES PAR	
FROTTEMENT		50
4.1	Introduction.....	50
4.2	Description du modèle numérique	51
4.2.1	Force de précontrainte	51
4.2.2	Maillage	52
4.2.3	Chargements et condition aux limites	53
4.2.4	Contacte	53
4.3	Analyse des résultats	53
4.3.1	Comportement de l'assemblage sans raidisseur	53
4.3.2	Comportement de l'assemblage avec raidisseur	55
4.3.3	Cas d'un assemblage poteau poutre par platine d'extrémité débordante	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Articulation par platine, avec ou sans bêche.....	4
Figure 1.2. Articulation par platine pré-scellée.....	5
Figure 1.3. Articulation avec axe.....	5
Figure 1.4. Articulation avec grain.....	6
Figure 1.5. Encastrement par platine.....	7
Figure 1.6. Articulation par éclissage d'âme.....	7
Figure 1.7. Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'ailles.....	7
Figure 1.8. Encastrement par rabotement.....	8
Figure 1.9. Encastrement par platine d'extrémité.....	8
Figure 1.10. Articulation par doubles cornières.....	9
Figure 1.11. Articulation par doubles cornières.....	9
Figure 1.12. Encastrement par double cornière en joint d'ailles.....	10
Figure 1.13. Encastrement par soudure.....	10
Figure 1.14. Encastrement sur l'âme du poteau.....	11
Figure 1.15. Encastrement sur l'âme du poteau.....	11
Figure 1.16. Articulation par gousset.....	12
Figure 1.17. Appui simple avec plat plié.....	12
Figure 1.18. Articulation par éclissage d'âme.....	12
Figure 1.19. Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'ailles.....	13
Figure 1.20. Encastrement par platine d'extrémité.....	13
Figure 1.21. Articulation de poutre reposant sur une autre poutre perpendiculairement.....	14
Figure 1.22. Articulation de poutres perpendiculaire situées au même niveau.....	14
Figure 1.23. Liaison entre deux diagonales continues de grande longueur.....	15
Figure 1.24. Articulation de diagonale par gousset.....	15
Figure 1.25. Encastrement par bride plein.....	16
Figure 1.26. Articulation par aplatissage de tube.....	16
Figure 1.27. Articulation par chape soudée.....	16
Figure 1.28. Constituants d'un boulon.....	17
Figure 1.29. Mode de transmission des efforts en cisaillement.....	19
Figure 1.30. Pression diamétrale.....	19
Figure 1.31. Assemblage par boulon précontraint.....	20
Figure 1.32. Terminologie employée pour les soudures.....	21
Figure 1.33. Terminologie des cordons selon la position de soudage.....	21

Figure 1.34. Préparation des plats pour soudures bout à bout à pleine pénétration.	22
Figure 1.35. Soudures d'angle.	23
Figure 1.36. Soudure en bouchon et soudures en entaille.	23
Figure 2.1. Exemple de modélisation par MEF d'un assemblage par platine d'extrémité.....	26
Figure 2.2. Maillage d'un assemblage.	27
Figure 2.3. Contraintes dans l'assemblage.....	28
Figure 2.4. Exemple de conditions aux limites prise sur un assemblage.....	28
Figure 2.5. Modèles numériques simplifiés.....	29
Figure 3.1. Positionnement des boulons.	32
Figure 3.2. Modélisation et maillage de différentes plaques.	33
Figure 3.3. Modélisation et maillage d'un boulon.....	34
Figure 3.4. Modélisation et maillage des différents assemblages étudié (Vue en3D).....	35
Figure 3.5. Représentation du chargement et de l'encastrement (cas d'un assemblage A1).	35
Figure 3.6. Contact entre la rondelle de la vis et la plaque.....	36
Figure 3.7. Contact entre le boulon et les plaques,	37
Figure 3.8. Magnitude des déplacements pour les différents types d'assemblage.....	37
Figure 3.9. Représentation du glissement des plaques et la buté dans les boulons pour le cas d'un assemblage A1.....	38
Figure 3.10. Distribution des contraintes de Von Mises sur les trois types de plaque.	39
Figure 3.11. Destributions des contraintes de Von Mises dans les boulons pour chaque type d'assemblage.	40
Figure 3.12. Histogrammes des contraintes en KN/m ² pour les différents cas d'assemblage.....	41
Figure 3.13. Assemblage long.....	42
Figure 3.14. Schéma de l'assemblage boulonné (vue 3D par ABAQUS).....	43
Figure 3.15. Modélisation et maillage du poteau.....	44
Figure 3.16. Modélisation et maillage de la cornière.....	44
Figure 3.17. Modélisation et maillage du boulon.....	45
Figure 3.18. Modélisation et maillage de l'assemblage boulonné, vue 3D.....	45
Figure 3.19. Chargements et conditions aux limites.....	46
Figure 3.20. Déférénts contactes dans l'assemblage boulonné.....	46
Figure 3.21. Etat de contrainte pour l'assemblage boulonné.....	47
Figure 3.22. Répartition des contraintes dans les boulons.....	47
Figure 3.23. Schéma de l'assemblage.....	48
Figure 3.24. Contraintes dans les vis.	49

Figure 41. Configuration de la platine d'extrémité.....	51
Figure 42. Pression de précontrainte.....	52
Figure 43. Modélisation et maillage de l'assemblage métallique.....	52
Figure 44. Conditions aux limites.....	53
Figure 45. Comportement de l'assemblage sans raidisseur.....	54
Figure 46. Configuration des différents raidisseurs.....	55
Figure 47. Comportement de l'assemblage avec raidisseur transversal	55
Figure 48. Comportement de l'assemblage avec doublure d'âme.....	56
Figure 49. Comportement de l'assemblage avec raidisseur transversal et doublure d'âme.....	56
Figure 410. Flèche maximale dans la poutre.....	57
Figure 411. Contrainte maximale dans le poteau.....	57
Figure 412. Modélisation et maillage de l'assemblage avec platine d'extrémité débordante sans raidisseur.....	58
Figure 413. Modélisation et maillage de l'assemblage avec platine d'extrémité débordante avec raidisseur.....	59
Figure 414. état de contrainte pour l'assemblage poteau-poutre	59
Figure 415. État de contrainte pour l'assemblage poteau-poutre	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1. Les dimensions de l'assemblage.....	32
Tableau 3.2. L'intensité de la pression F pour chaque type d'assemblage	35
Tableau 4.1. Dimension de la platine non débordante.....	51
Tableau 4.2. Dimension de la position des boulons.....	58
Tableau 4.3. Dimension de la platine non débordante.....	61
Tableau 4.4. Positionnement des boulons.....	68
Tableau 4.5. Dimension de la position des boulons.....	68

NOTATIONS

L_j : Distance entre le premier et le dernier boulon de l'assemblage ;

d : Diamètre de la partie non filetée de la vis ;

e_1 : Distance entre l'axe de la vis et l'extrémité de la plaque assemblée (pince longitudinale) ;

e_2 : Distance entre le coin d'angle de la plaque et l'axe de la vis assemblée (pince transversale) ;

P, p_1 : Entraxe des deux vis (pas transversale) ;

p_2 : pas longitudinale ;

S : Surface de la semelle supérieur de la cornière ;

A_s : Surface résistant de la partie fileté.

INTRODUCTION GENERALE

La construction métallique est très utilisée dans les bâtiments et ouvrages les plus divers. La forme constructive d'un ouvrage est déterminée par l'ensemble de ses principaux éléments : poutres, fermes, poteaux, coques.

Pour ériger des constructions, il est nécessaire de lier des éléments entre eux, quelque soit le matériau mis en œuvre. Cette phase de la construction s'appelle la phase d'assemblage. La conception et le calcul des assemblages revêtent, en construction métallique une importance équivalente à celle du dimensionnement des pièces pour la sécurité finale de la construction

Les ossatures ne présentent généralement pas de redondance importantes et les assemblages constituent donc des points de passage obligés pour les sollicitations régnants dans les différents composants structurel ; en cas de défaillance d'un assemblage , c'est bien le fonctionnement global de la structure qui est remis en cause.

Les moyens d'assemblage tels que les soudures ou les boulons permettent de relier entre elles les pièces élémentaires, de formes diverses, constituant une charpente métallique. L'utilisation de ces deux types de connecteurs est largement répandue et il arrive même qu'ils soient utilisés dans un même assemblage. Dans de nombreux cas, il n'est pas rare d'utiliser la soudure pour la fabrication en atelier et les boulons sur le terrain. La soudure demande un équipement relativement important, des opérateurs chevronnés et des méthodes d'inspection assez compliquées. Par contre, les boulons sont des éléments préfabriqués dont la pose se fait au moyen d'un équipement simple et dont l'inspection ne requiert pas une formation poussée. L'exigence c'est de connaître parfaitement le comportement des boulons et des soudures et de savoir concevoir des assemblages basés sur ces deux. En général, la

conception et la spécification des soudures, ainsi que leurs méthodes d'inspection, exigent la sélection de techniques standardisées et de critères d'acceptation ou l'intervention d'un spécialiste. Par contre, la conception et la spécification d'un assemblage boulonné exigent de choisir le type de connecteur, comprendre son mode d'utilisation et établir des méthodes acceptables de pose et d'inspection.

Dans notre étude on va s'intéressé au cas d'un assemblage boulonné qui correspondent à deux types de fonctionnement distincts: butée et/ou frottement.

Le chapitre I et II sont des études bibliographiques. On a cité et définit quelque type d'assemblage avec leur mode de fonctionnement pour le chapitre I et on a montré quelque exemple d'assemblages modéliser par élément finit ABAQUS dans le second chapitre.

Dans le chapitre III, on a modélisé des assemblages boulonnées qui fonctionnent par butée a l' aide du logicielle éléments finis ABAQUS, dont le but de voir la répartition des contraintes dans les boulons pour le cas d' un assemblage de deux plaques et de comparer les résultats issus du calcul par la RDM et celle obtenu par le calcul élément finie pour l' assemblage d' une cornière sur la semelle d' un poteau.

Le dernier chapitre présente l' étude du comportement et la modélisation par éléments finis d' un assemblage boulonnée poteau- poutre par platine d' extrémité qui fonctionne par frottement et voir l'influence de la présence des raidisseurs sur le comportement de ce type d'assemblage.

CHAPITRE 1

GENERALISES SUR LES ASSEMBLAGES

1.1 Introduction

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

Pour réaliser une structure métallique, on dispose de pièces individuelles, qu'il convient d'assembler :

- soit bout à bout (éclissages, raboutages),
- soit concourantes (attaches poutre/poteau, treillis et systèmes réticulés).

Pour conduire les calculs selon les schémas classiques de la résistance des matériaux, il y a lieu de distinguer, parmi les assemblages :

- les assemblages articulés, qui transmettent uniquement les efforts normaux et tranchants,
- les assemblages rigides, qui transmettent en outre les divers moments.

Cette division est en fait une simplification pour mener les calculs, car, en réalité, les assemblages ont un comportement intermédiaire (semi-articulés, semi-encastés, semi-rigides) [EC3, cours L RAMDANI].

1.2 Quelques types d'assemblages rencontrés dans la construction métallique

La nécessité d'avoir des assemblages dans les constructions métalliques a pour but la transmission d'effort, de manière à assurer la rigidité voulue d'une construction, tout en permettant une certaine flexibilité. De plus, la connaissance des caractéristiques des moyens d'assemblage est indispensable pour choisir le type le mieux adapté à une structure, ainsi que pour imaginer des liaisons simples, facilement réalisables, et par conséquent économiques. La figure suivante, montre quelques types d'assemblages rencontrée généralement dans les constructions métalliques [1] :

1.2.1 Articulation par platine, avec ou sans bêche

Utilisée dans la majorité des bâtiments industriels, agricoles l'effort vertical vers le bas est transmis au massif par une surface de platine suffisante. L'effort vertical vers le haut est transmis au massif par les tiges d'ancrage. L'effort horizontal est transmis au massif par l'adhérence entre la platine et le massif. Dans le cas où l'adhérence est insuffisante on place une bêche qui reprend les efforts horizontaux. La réservation est remplie de béton après réglage de l'ossature.

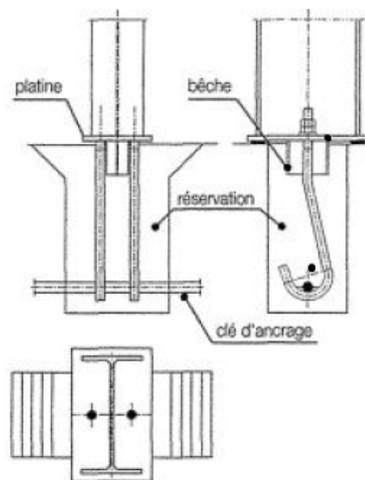


Figure 1.1. Articulation par platine, avec ou sans bêche.

1.2.2 Articulation par platine pré-scannée

Plus facile à mettre en œuvre que les cas précédents car ne nécessite pas un coulage de béton après le montage de l'ossature, mais il n'y a pas de possibilité de réglage des appuis.

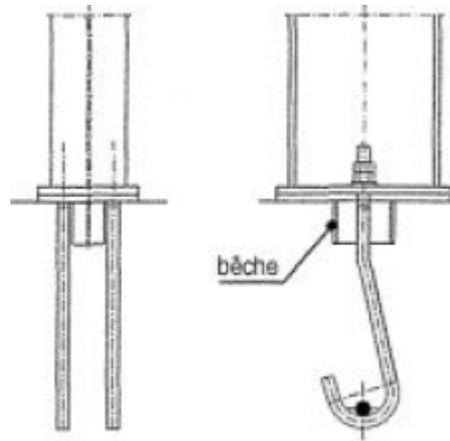


Figure 1.2. Articulation par platine pré-scannée.

1.2.3 Articulation avec axe

Utilisé pour des charges verticales plus importantes que les cas ci-dessus. Les charges verticales plus importantes imposent une surface de platine >300 mm pour limiter la contrainte sur le béton. Les solutions avec platines ne sont plus possibles pour admettre l'articulation.

On peut également utiliser un tube (qui a une bonne tenue au flambement) pour le poteau.

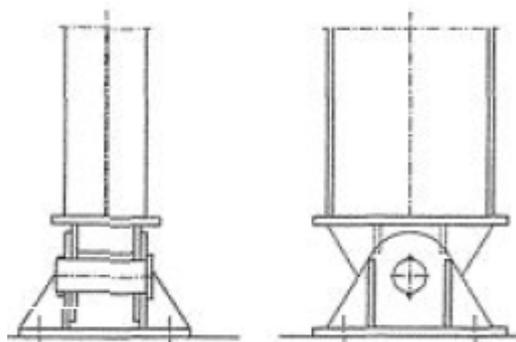


Figure 1.3. Articulation avec axe.

1.2.4 Articulation avec grain

Pour des charges verticales importantes lorsque la solution avec platine ne peut être retenue (surface de platine >300 mm pour limiter la contrainte sur le béton). Le grain peut être un plat d'épaisseur compris entre 30 et 60 mm dont les bords sont chanfreinés nommées boîtes à grain. Les tiges d'ancrage peuvent ou non traverser le grain.

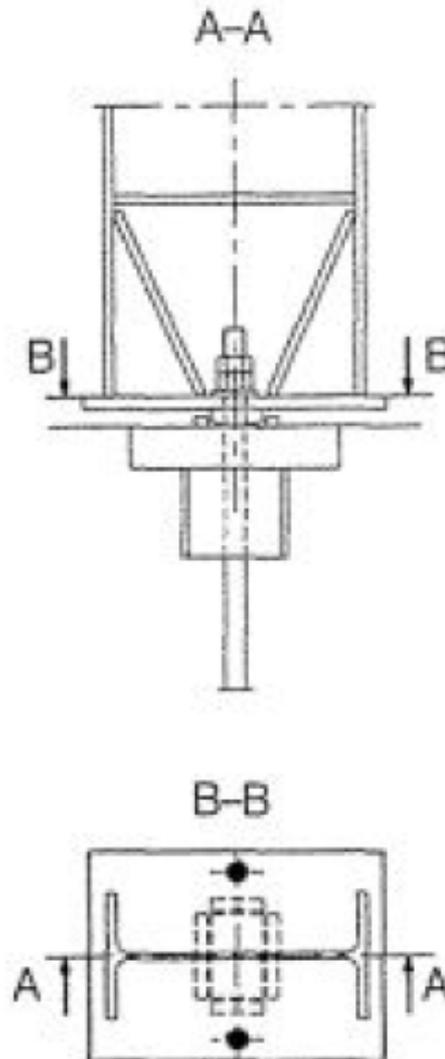


Figure 1.4. Articulation avec grain.

1.2.5 Encastrement par platine

On peut utiliser ou non une platine pré scellée comme pour les pieds de plateaux articulés par platine. Pour limiter les déformations de cette platine, il faut que son épaisseur soit suffisante, sinon il faut placer des raidisseurs. Le poteau peut être en profilé de type I ou H ou en tube.

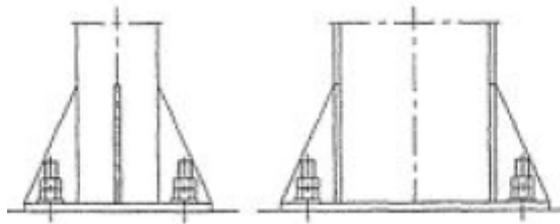


Figure 1.5. Encastrement par platine.

1.2.6 Articulation par éclissage d'âme

Exemple : Discontinuité de poteau.

On attache deux éclisses de part et d'autre de l'âme des deux poteaux par boulonnage. Les deux éclisses et le boulonnage sont dimensionnés pour pouvoir transmettre un effort normal et un effort tranchant.

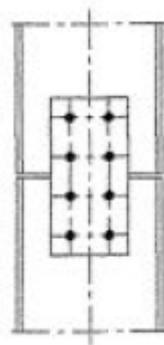


Figure 1.6. Articulation par éclissage d'âme.

1.2.7 Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'ailles

Exemple : Continuité de poteau.

Même principe que l'articulation par éclissage d'âme ci-dessus, mais avec en plus des couvre-joints d'ailles pour transmettre le moment fléchissant. Ces couvre-joints d'ailles transmettent également une partie de l'effort normal.

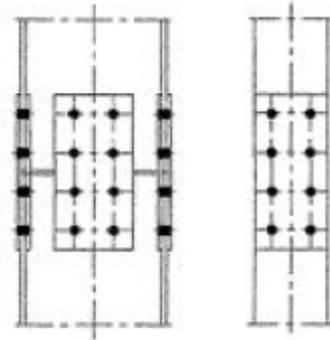


Figure 1.7. Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'ailles.

1.2.8 Encastrement par rabotement

Exemple : Continuité de poteau.

La solution consiste à rabouter les deux poteaux par une soudure bout à bout qui doit transmettre un effort normal, un effort tranchant et un moment fléchissant.



Figure 1.8. Encastrement par rabotement.

1.2.9 Encastrement par platine d'extrémité

Exemple : Continuité de poteau.

On soude une platine à l'extrémité de chaque poteau. Les deux platines sont assemblées par boulons. Pour limiter les déformations des platines il faut que leur épaisseur soit suffisante, sinon il faut placer des raidisseurs.

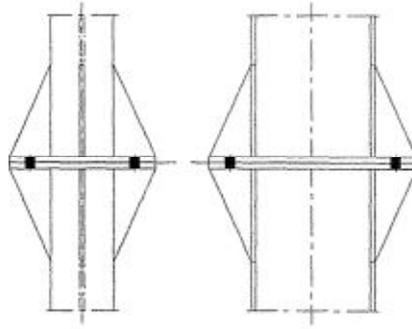


Figure 1.9. Encastrement par platine d'extrémité.

1.2.10 Articulation par doubles cornières

Exemple : Solive de plancher sur poteau solution très courante pour réaliser une articulation. On relie l'âme de la poutre à l'âme du poteau avec deux cornières fixées par des boulons.

Laisser un jeu entre l'extrémité de la poutre et le poteau de l'ordre de 10 mm.

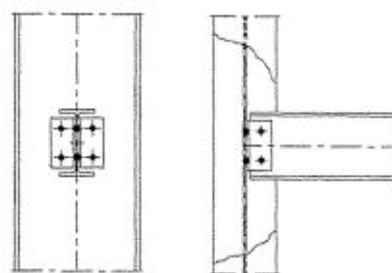


Figure 1.10. Articulation par doubles cornières.

Exemple : Poutre de plancher sur poteau.

Même principe que l'articulation ci-dessus. L'âme de la poutre est reliée à l'âme du poteau mais par l'intermédiaire d'une aile du poteau.

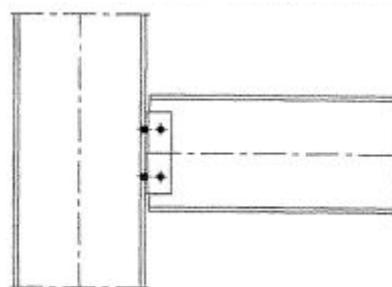


Figure 1.11. Articulation par doubles cornières.

1.2.11 Encastrement par double cornières en joint d'ailes

Exemple :

Traverse de portique sur poteau. Même principe que l'articulation ci-dessus, mais en plus des plats soudés (qui peuvent être remplacés par des plats pliés boulonnés) sur une aile du poteau et avec 2 raidisseurs horizontaux entre les ailes du poteau pour relier la deuxième aile du poteau.

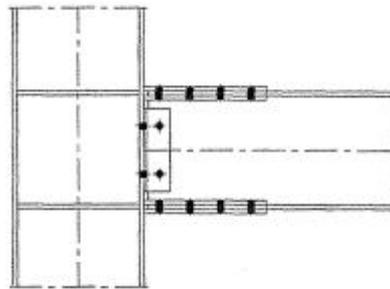


Figure 1.12. Encastrement par double cornière en joint d'ailes.

1.2.12 Encastrement par soudure

Exemple : Traverse de portique sur poteau. La poutre est soudée sur une aile du poteau.

On place des raidisseurs horizontaux à l'intérieur des ailes du poteau pour relier la deuxième du poteau.

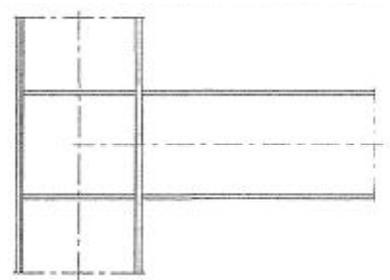


Figure 1.13. Encastrement par soudure.

1.2.13 Encastrement par platine d'extrémité

Exemple : Traverse de portique sur poteau.

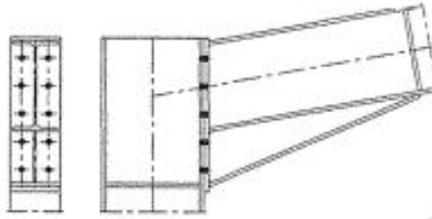


Figure 1.14. Encastrement par platine d'extrémité.

1.2.14 Encastrement sur l'âme de poteau

Exemple : Tête de portique de stabilité dans le long-plan.

Il n'est pas possible de réaliser correctement un encastrement par platine d'extrémité sur l'âme du poteau à cause de déformations trop importantes que cela occasionnerait dans celle-ci. Il faut rigidifier l'âme avec la possibilité de monter les boulons.

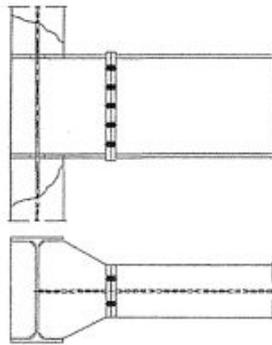


Figure 1.15. Encastrement sur l'âme du poteau.

1.2.15 Articulation par gousset

Exemple : Diagonale de palée de stabilité sur poteau.

Gousset soudé sur le poteau, ou boulonné directement sur une aile du poteau, ou boulonné sur le gousset.

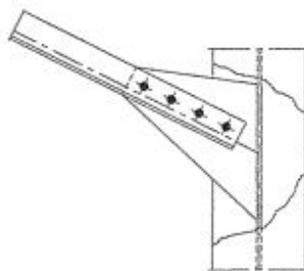


Figure 1.16. Articulation par gousset.

1.2.16 Appui simple avec plat plié

Exemple : Tête de potelet sur traverse de portique.

La plat plie est fixé sur le poutre par boulons.

Le potelet est fixé sur plat plie l'intermédiaire d'un boulon dans un trou oblong pour permettre une translation dans la direction souhaitée.

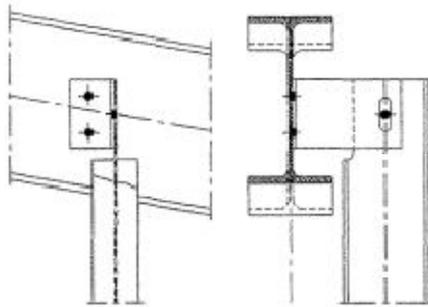


Figure 1.17. Appui simple avec plat plié.

1.2.17 Articulation par éclissage d'âme

Exemple : Discontinuité de poutre.

On attache deux éclisses de part et d'autre de l'âme des deux poutres par boulonnage.

Les deux éclisses et le boulonnage sont dimensionnés pour pouvoir transmettre un effort normal et un effort tranchant.

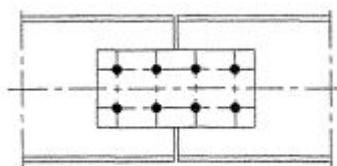


Figure 1.18. Articulation par éclissage d'âme.

1.2.18 Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'aires

Exemple : Continuité de poutre.

Même principe que l'articulation par éclissage d'âme ci-dessus, mais avec en plus des couvre-joints d'aires pour transmettre également une partie de l'effort normal.

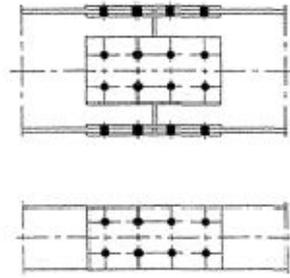


Figure 1.19. Encastrement par éclissage d'âme et couvre-joint d'ailles.

1.2.19 Encastrement par platine d'extrémité

Exemple : Faitage de portique.

On soude une platine à l'extrémité de chaque poutre. Les platines sont assemblés par 2 files de boulons.

Pour limiter les déformations et pour augmenter la capacité de cet assemblage à reprendre les efforts, il est possible de placer des raidisseurs « extérieurs » et de boulons « extérieurs » dans la zone tendue. Pour des raisons de disposition constructives (positions des boulons) ou de résistance on peut être amené à utiliser des jarrets (inerties variables) au droit de l'assemblage.

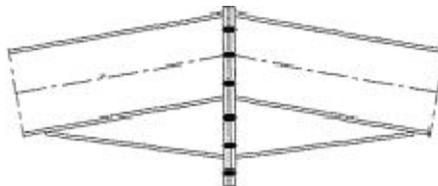


Figure 1.20. Encastrement par platine d'extrémité.

1.2.20 Articulation de poutres reposant sur une autre poutre perpendiculairement

Exemple 1 : Panne reposant sur une traverse.

Fixation par l'intermédiaire d'une échantignole.

Exemple 2 : Solive de plancher reposant sur une poutre.

Fixation directement par boulons entre l'aile supérieure de la poutre et l'aile inférieure de la poutre portante et l'aile inférieure de l'autre poutre.

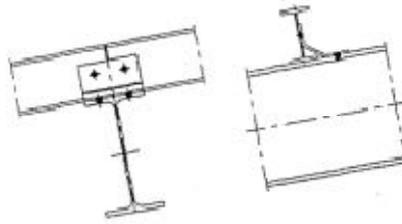


Figure 1.21. Articulation de poutre reposant sur une autre poutre perpendiculairement.

1.2.21 Articulation de poutres perpendiculaire situées au même niveau

Exemple : Solives de plancher sur poutre.

Attachées par doubles cornières(ou plat plié) et boulons.

Pour avoir le même niveau supérieur on réalise un grugeage dans les solives.

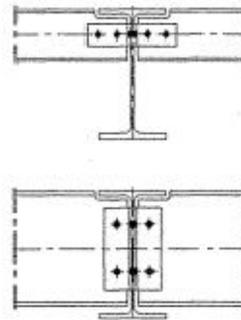


Figure 1.22. Articulation de poutres perpendiculaire situées au même niveau.

1.2.22 Liaison entre deux diagonales continues de grande longueur

Exemple : Croisement de 2 diagonale en simple cornière dans une stabilité en Croix de Saint -André. Les 2 diagonale continues sont attachées par un boulon pour limiter leur déplacement du à flexibilité de ces deux diagonales.

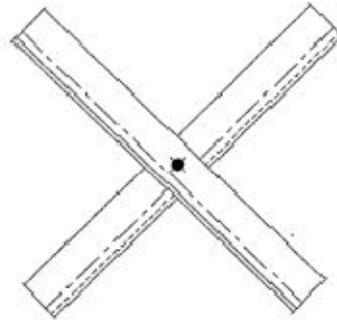


Figure 1.23. Liaison entre deux diagonales continues de grande longueur.

1.2.23 Articulation de diagonale par gousset

Exemple : Croisement de diagonales en doubles cornières une stabilité en croix de Saint-André.

Le gousset est fixé sur la diagonale continue par boulons.

La diagonale discontinue est articulée sur le gousset par boulons.

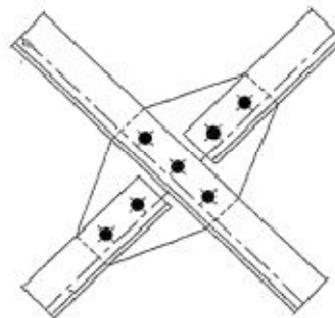


Figure 1.24. Articulation de diagonale par gousset.

1.2.24 Encastrement par bride plein

Exemple : Interruption de poteau

Traverse de portique en tête de poteau

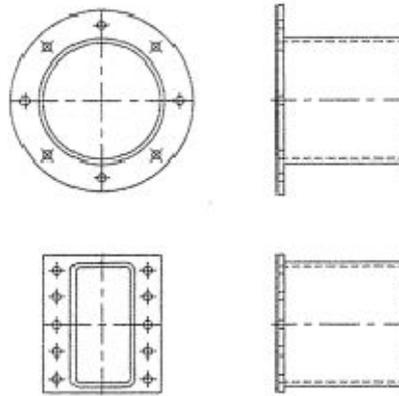


Figure 1.25. Encastrement par bride plein.

1.2.25 Articulation par aplatissement de tu tube

Exemple : Diagonale aux montants de poutre en treillis sur membrure.

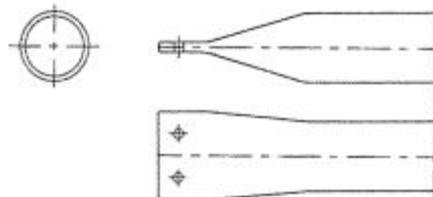


Figure 1.26. Articulation par aplatissement de tube.

1.2.26 Articulation par chape soudée

Exemple : Diagonale de stabilité sur gousset.

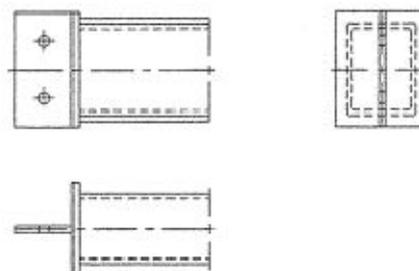


Figure 1.27. Articulation par chape soudée.

1.3 Fonctionnement des assemblages

Les principaux modes d'assemblage sont :

- Le rivetage,
- le boulonnage,
- le soudage,
- le collage,

Qui correspondent à deux types de fonctionnement distincts : butée et/ou frottement.

1.4 Assemblages boulonnés

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

1.4.1 Les boulons

Un boulon est un ensemble constitué d'une vis, d'un écrou et, le cas échéant, d'une ou deux rondelles.

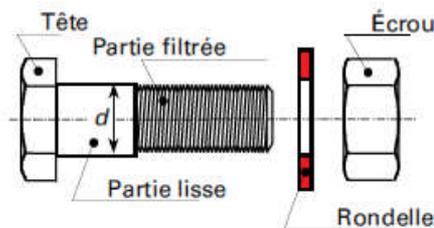


Figure 1.28. Constituants d'un boulon.

Il convient de distinguer deux familles de boulons, en fonction du mode de mise en œuvre qu'on leur assigne.

- Les boulons normaux, dits aussi ordinaires, sont mis en œuvre avec un serrage simple, non contrôlé; ils ne sont pas prévus pour subir une précontrainte, leur aptitude au serrage ne faisant l'objet d'aucun contrôle en fabrication. L'utilisation de rondelles n'est généralement pas nécessaire. La reprise des efforts perpendiculaires à l'axe des vis s'effectue par cisaillement direct de celles-ci et pression diamétrale sur l'épaisseur des pièces. L'existence d'un jeu, indispensable au

montage, entre le diamètre du trou et celui du boulon autorise un glissement de l'assemblage au cours de sa mise en charge en cisaillement.

- Les boulons à serrage contrôlé, dits aussi boulons précontraints, sont fabriqués spécifiquement pour garantir une aptitude au serrage. Ils sont en principe mis en œuvre avec introduction d'un effort de précontrainte obtenu généralement par contrôle du couple de serrage appliqué ou de la rotation imposée. Une rondelle au moins est indispensable sous l'élément en rotation (tête de vis ou écrou). La précontrainte permet notamment de mobiliser des forces de frottement à l'interface des pièces assemblées et d'obtenir un fonctionnement sans glissement des assemblages, sous des efforts perpendiculaires à l'axe des vis.

La désignation d'un boulon se fait par la lettre **M** suivie de la valeur du diamètre nominal **d** en mm. La mention **HR** indique qu'il s'agit d'un boulon à haute résistance.

À titre d'exemple, un boulon **M27 - 6.8** représente un boulon ordinaire de diamètre nominal **27** mm et de classe de qualité **6.8**. Un boulon **M24 - HR 10.9** représente un boulon **HR** à serrage contrôlé de diamètre nominal **24** mm et de qualité **10.9**.

1.4.2 Fonctionnement des assemblages boulonnés

1.4.2.1 Fonctionnement par butée

C'est le cas des boulons ordinaires, non précontraints, dont les tiges reprennent les efforts et fonctionnent en cisaillement. Dans ce cas, il convient de vérifier :

- La résistance au cisaillement des boulons,
- D'autre part, la résistance à la pression diamétrale des pièces.

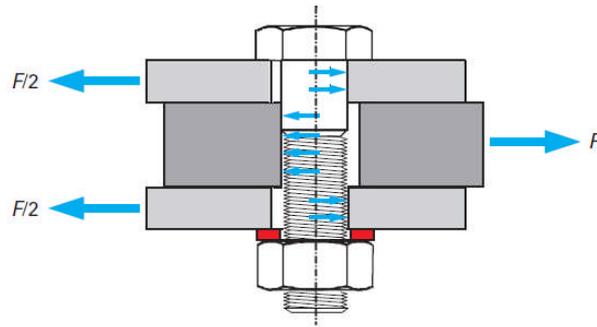


Figure 1.29. Mode de transmission des efforts en cisaillement.

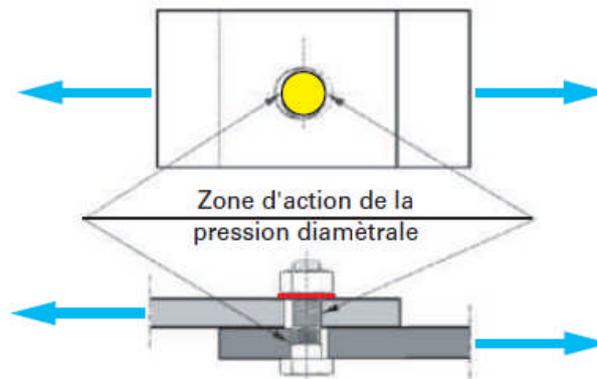


Figure 1.30. Pression diamétrale.

1.4.2.2 Fonctionnement par frottement

Dans ce cas, la transmission des efforts s'opère par adhérence des surfaces des pièces en contact. Un assemblage par boulons précontraint est destiné à mobiliser le frottement entre les pièces assemblées. En conséquence, les boulons à haute résistance et à serrage contrôlé sont soumis à une précontrainte mise en place lors du serrage qui représente environ 70% de la résistance en traction du boulon.

La précontrainte $F_{p,cd}$ est calculée selon la relation :

$$F_{p,cd} = 0.7 f_{ub} A_s$$

f_{ub} : Résistance à la traction du boulon.
 A_s : Aire de la section fileté du boulon.

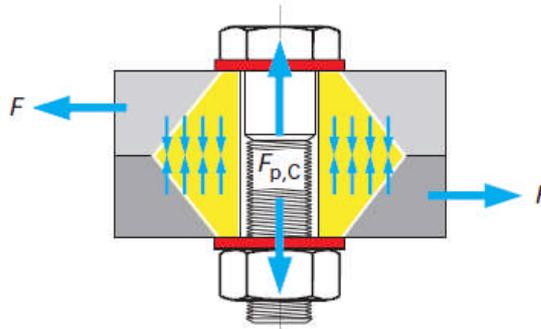


Figure 1.31. Assemblage par boulon précontraint.

Une fois installée, cette précontrainte assure une forte pression entre les pièces assemblées. Cette pression autorise alors la mobilisation d'un frottement qui est fonction de l'état de surface à l'interface entre les pièces.

1.5 Assemblages soudés

L'opération de soudage par fusion avec fil-électrode fusible consiste à faire fondre un métal d'apport en même temps que les plats ou les profilés à assembler. Le métal fondu provenant de chaque élément est réuni au niveau du joint dans un bain de métal qui comble l'interface. Au fur et à mesure que le bain de fusion se refroidit, le métal fondu qui se trouve à la limite de fusion se solidifie, formant un lien solide avec le métal de base. Quand la solidification est totale, il y a continuité du métal à travers le joint.

1.5.1 Terminologie de la soudure

1.5.1.1 Terminologie des différentes zones des soudures

Les termes utilisés pour caractériser un cordon de soudure sont les suivants:

- le **métal de base** est le matériau constitutif des éléments à souder ;
- le **métal d'apport** est la matière dont est constituée l'électrode utilisée dans le processus de soudage ;
- la **racine** désigne l'endroit de l'assemblage jusqu'où le métal d'apport a pénétré ;
- la **face** représente la surface extérieure de la soudure ;
- le **ped** correspond à la ligne de séparation, sur la face de la soudure, entre le métal de base et le métal d'apport ;

- la **zone affectée thermiquement** (ou **ZAT**) est la partie du matériau de base qui n'est pas rentrée en fusion avec le métal d'apport mais qui, par contre, a subi un échauffement et un refroidissement très rapides au passage de l'arc de soudage. Dans cette zone, le matériau de base est soumis à un durcissement et peut dès lors acquérir un comportement fragile.

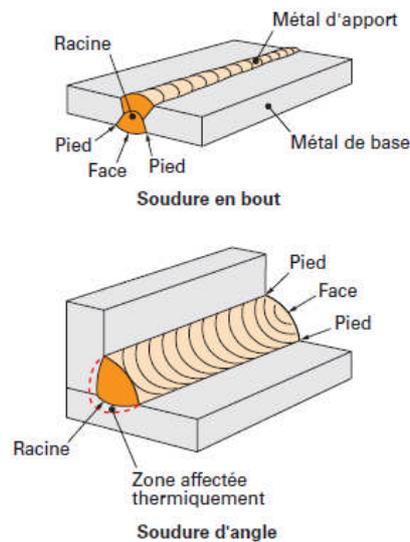


Figure 1.32. Terminologie employée pour les soudures.

1.5.1.2 Terminologie suivant la position du cordon pendant le soudage

Suivant la position du cordon pendant le soudage, les différents cordons prennent des noms différents.

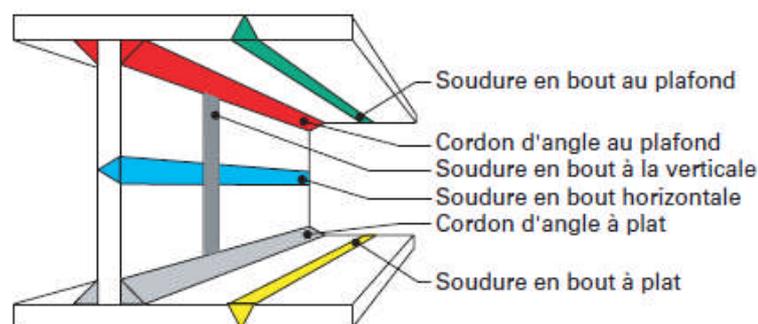


Figure 1.33. Terminologie des cordons selon la position de soudage.

1.5.2 Types de soudures

Dans la construction soudée de bâtiments, 80 % environ des soudures sont des soudures d'angle et 15 % des soudures bout à bout. Les 5 % restants sont des soudures en bouchon, en entaille et par points.

1.5.2.1 Soudures bout à bout

Une soudure bout à bout est réalisée sur l'épaisseur des plats aboutés dans un assemblage bout-à-bout. En règle générale, les bords des plats doivent être préparés avant soudage. Dans certains cas, lorsque l'épaisseur des plats est inférieure à 5 mm, on peut se dispenser de cette préparation.

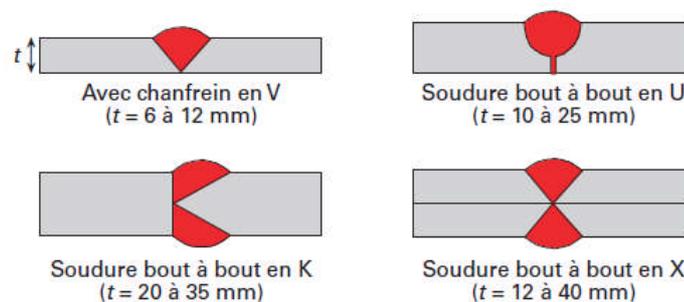


Figure 1.34. Préparation des plats pour soudures bout à bout à pleine pénétration.

1.5.2.2 Soudures d'angle

Une soudure d'angle est une soudure dont la section transversale est approximativement triangulaire et qui est déposée à la surface des plats assemblés. Aucune préparation des bords n'est requise. Les soudures d'angle sont donc généralement moins onéreuses que les soudures bout à bout.

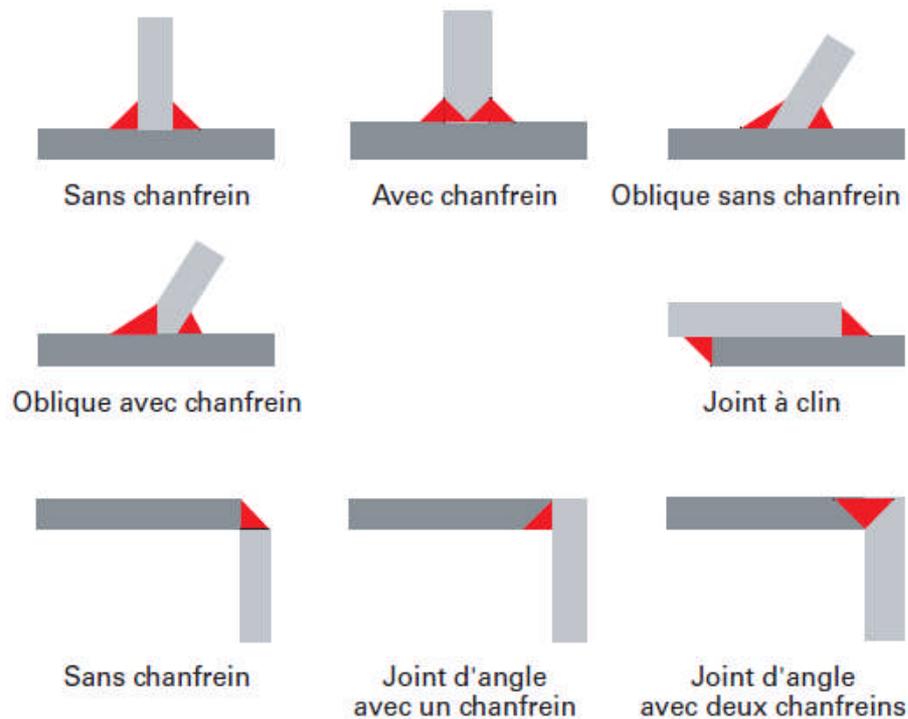


Figure 1.35. Soudures d'angle.

1.5.2.3 Soudures en bouchon et en entaille

Les soudures en entaille et en bouchon (figure 21) sont rarement utilisées dans les structures de bâtiment. Elles ont pour fonction principale d'empêcher le voilement ou la séparation des plats qui se recouvrent.



Figure 1.36. Soudure en bouchon et soudures en entaille.

1.5.2.4 Soudures par points

Les soudures par points sont rarement utilisées dans les structures de bâtiment sauf pour assembler des éléments minces.

Les pièces à assembler sont mises en contact par l'intermédiaire de deux électrodes. Un courant qui passe au travers des électrodes fait fondre localement les pièces ce qui, grâce à la pression de contact entre les plats,

créé un point de fusion commun aux pièces assemblées. Un ensemble aligné de points de fusion finit par constituer un assemblage.

1.6 Remarque

Les différentes formules de vérifications concernant les assemblages boulonnés et soudés sont données en détails dans l'EC3.

CHAPITRE 2

MODELISATION DES ASSEMBLAGES PAR ELEMENTS FINIS

2.1 Introduction

Les techniques de calcul des structures ont connu ces dernières années un développement considérable. Elles sont motivées par les besoins des industries de pointe et soutenues par les progrès effectués en informatique. La méthode des éléments finis (M.E.F) est communément utilisée aujourd'hui pour l'analyse des structures dans de nombreux secteurs de l'industrie : aérospatial, nucléaire, génie civil, construction navale, génie mécanique...

Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que la M.E.F appliquée au calcul des structures est une technique récente, à caractère pluridisciplinaire, car elle met en œuvre les connaissances de trois disciplines de base : La mécanique des structures, l'analyse numérique et l'informatique appliquée.

La méthode de calcul par cette technique comprend quatre phases:

- Calculs matriciels élémentaires (matrices de rigidité, matrice masse, forces équivalentes, ...)
- Calculs au niveau global : Assemblage des caractéristiques élémentaires ;

- Résolution numérique du problème global (Système linéaire ou non linéaire, ...);
- Calcul de restitution au niveau élémentaire (Calcul des contraintes par élément, ...).

Le processus de modélisation consiste dans un premier temps à simplifier la géométrie, les matériaux, les conditions d'appuis et les sollicitations dans un assemblage donné en se rapprochant le plus possible de la réalité et sur lesquels on peut facilement raisonner.

2.2 But de la modélisation des assemblages par MEF

Comprendre tout les phénomènes apparaissant lors de la mise en charge d'un type d'assemblage afin de :

- Améliorer son dimensionnement.
- Etudier la faisabilité du procédé d'assemblage utilisée.
- Développer des nouvelles gammes d'assemblages.
- Réduire les couts de mise au point des gammes d'assemblages.
- Augmenter sa durée de vie (rupture), grâce à la réduction des efforts ou des contraintes.

La figure suivante nous donne un exemple de la modélisation es assemblages par MEF [2] :

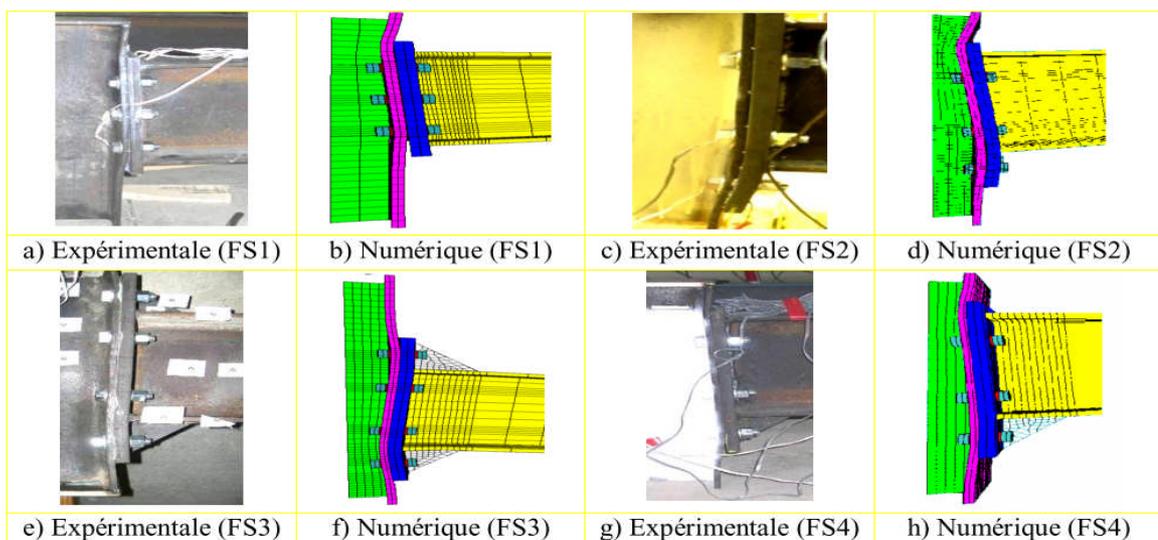


Figure 2.1. Exemple de modélisation par MEF d'un assemblage par platine d'extrémité [2].

2.3 Modélisation des assemblages métallique par éléments finis 3D

La difficulté de la modélisation des assemblages métallique par éléments finis réside dans le traitement des conditions de contact entre les différents éléments constituant l'assemblage (profilés, platines, boulons,...). Pour cela, l'utilisation d'un code de calcul par éléments finis puissant est primordiale, actuellement plusieurs logiciels de calcul par MEF peuvent être utilisés (ABAQUS, ANSYS, CASTM, ALGOR,...).

Pour notre sujet de fin d'étude qui porte sur la modélisation par éléments finis des assemblages métallique, on va opter pour le code de calcul ABAQUS qui présente l'avantage d'être très approprié pour le traitement des conditions de contact et qui possède une interface graphique très puissante permettant la modélisation des géométries à deux et à trois dimension très complexes tel que les assemblages métalliques.

2.3.1 Maillage

Plusieurs stratégies de maillage peuvent être utilisées. Il est possible de mailler toute la pièce de la même façon ou alors de raffiner le maillage dans les zones de fortes concentrations de contraintes. La figure 2.2 donne un aperçu d'un maillage 3D d'assemblages métalliques composé de deux plaques réalisé avec le logiciel ABAQUS [3]. Dans ce modèle, le boulon est constitué d'une vis à tête et d'un écrou. La vis à tête est modélisée par une tige de forme cylindrique de diamètre constant égal à celui de la partie non filetée. La tête du boulon est modélisée par un cylindre plein ayant une épaisseur égale à l'épaisseur de la tête du boulon. L'écrou et la rondelle sont modélisés par des anneaux. La longueur de la partie lisse de la tige du boulon est égale à la somme des épaisseurs de la platine d'about, de la semelle du poteau et des deux rondelles ainsi que de celle de l'écrou.

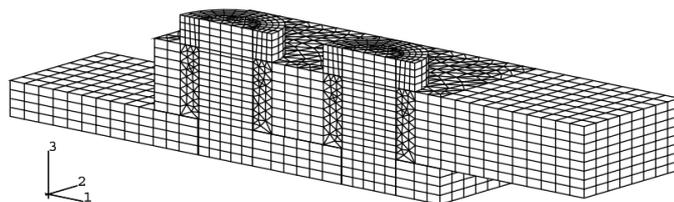


Figure 2.2. Maillage d'un assemblage [3].

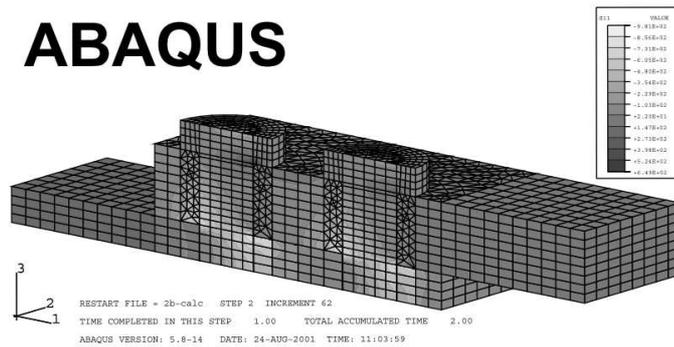


Figure 2.3. Contraintes σ_{11} dans l'assemblage [3].

2.3.2 Conditions aux limites

Les conditions aux limites à prendre en considération dépendent généralement du mode de fonctionnement de l'assemblage (par frottement ou bien par butée), de la géométrie de l'assemblage ainsi que le chargement appliqué. La figure suivante montre un exemple de conditions aux limites prise sur la modélisation de deux plaques par un boulon ordinaire (cas d'un assemblage par frottement).

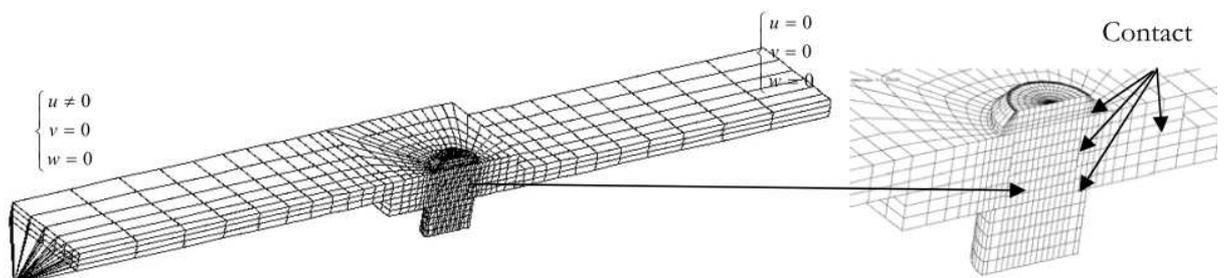


Figure 2.4. Exemple de conditions aux limites prise sur un assemblage [3].

Les conditions limites aux frontières de l'éprouvette sont reproduites de la manière suivante :

- Encastrement de la plaque inférieure à une extrémité,
- Liaison glissière et chargement en traction à l'autre extrémité.

Ce type d'assemblage requière de générer des contacts entre les différents éléments. Quatre surfaces de contact peuvent être définies :

- le plan de contact entre les deux plaque,
- la face interne de la tête de vis,

- la face interne de l'écrou,
- le contact entre la tige du boulon et les deux plaques.

La prise en compte des conditions de contacts dans ABAQUS peut être réalisé en utilisant la méthode des multiplicateurs de Lagrange.

2.4 Modélisation des assemblages métallique par éléments finis 1D

Quelques types d'assemblages métalliques peuvent être modélisés par des éléments finis unidimensionnels généralement par des éléments poutres. Les figures suivantes montrent des assemblages modélisés par des éléments finis 3D et 2D par des éléments poutres et des ressorts [3].

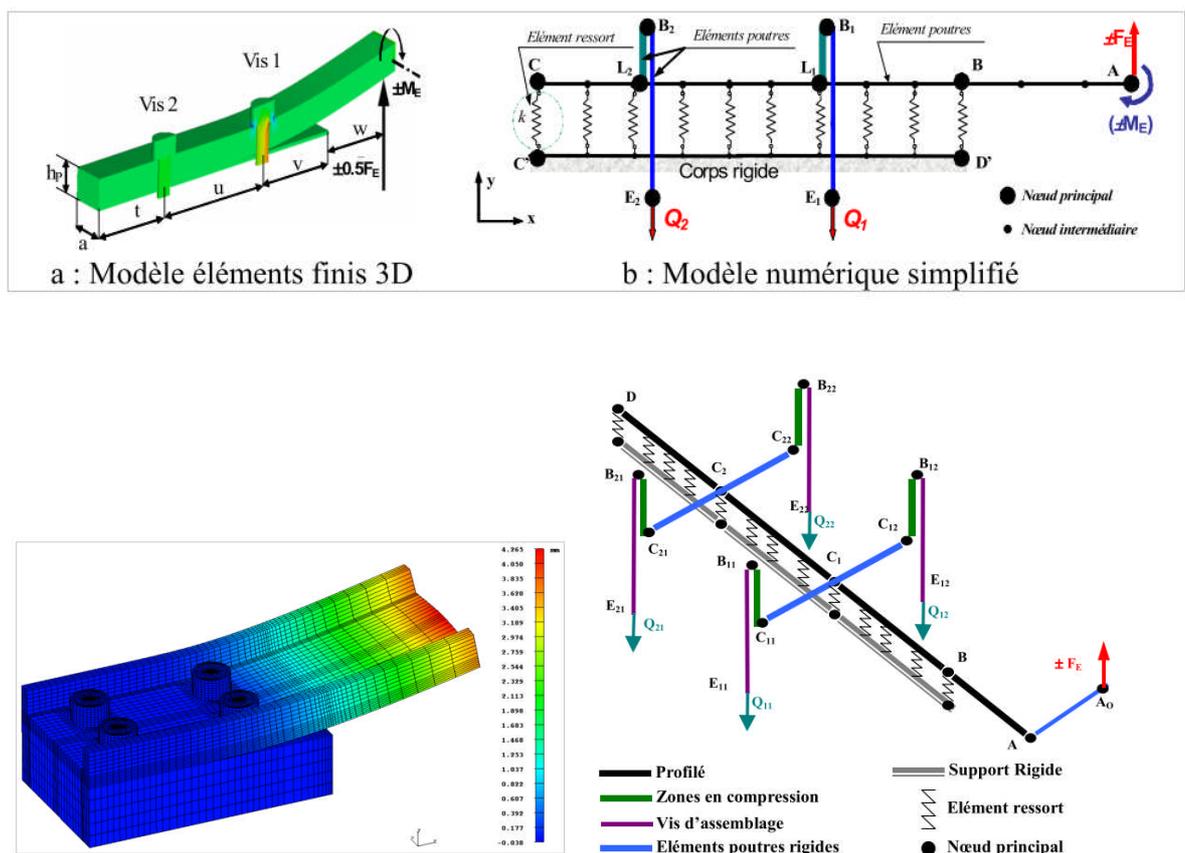


Figure 2.5. Modèles numériques simplifiés [3].

CHAPITRE 3

APPLICATION DES ASSEMBLAGES PAR

BUTEE

3.1 Introduction

Les boulons normaux non précontraints (boulons ordinaires), sont prévus pour être mis en œuvre avec un serrage simple, non contrôlé, leur comportement au serrage ne fait l'objet d'aucune investigation particulière lors de leur fabrication.

Les assemblages par boulons ordinaires permettent de reprendre des efforts d'orientation quelconque par rapport à l'axe des vis. Il est d'usage d'envisager séparément les efforts parallèles et les efforts perpendiculaires à l'axe des vis, qui correspondent à des modes de fonctionnement différents et requièrent donc des vérifications propres.

Dans ce présent chapitre, nous allons nous intéresser à deux cas d'assemblages qui fonctionnent par obstacle, à savoir ; le premier concerne l'assemblage de deux plaque l'une sur l'autre et le deuxième c'est le cas d'une cornière sur la semelle d'un poteau.

3.2 Application pour le cas d'un assemblage de deux plaques

Selon l'EC3 tout les boulons d'un assemblage sollicité au cisaillement ne transmettent pas la même charge, lors de la vérification d'un assemblage dont la distance entre le premier et le dernier boulon d'une tôle dépasse 15 fois le diamètre du boulon, on tiendra compte de ce phénomène en multipliant la résistance ultime théorique par un facteur de réduction β_{Lf} donné par :

$$\beta_{Lf} = 1 - (L_j - 15)/(200d) \quad \text{avec } 0.75 \leq \beta_{Lf} \leq 1$$

A travers cette présente application nous allons essayer de confirmer ce phénomène et de voir l'influence de la longueur de l'assemblage sur la charge de ruine et de démontrer qu'effectivement pour le cas des assemblages longs sollicités en cisaillement, les boulons des extrémités sont plus sollicités que les boulons centraux. Pour ce faire, nous allons choisir l'exemple d'un assemblage composé de deux plaques qui est sollicité en cisaillement afin de voir l'influence de la longueur de l'assemblage en prenant trois cas :

assemblage A1 : avec 3 boulons (assemblage court) ;

assemblage A2 : avec 5 boulons (assemblage moyen) ;

assemblage A3 : avec 7 boulons (assemblage long).

3.2.1 Description de modèle numérique

Pour les trois types d'assemblage A1, A2 et A3 on a utilisé pour la plaque une section rectangulaire (B×H) de longueur L en acier S235. Les boulons utilisés sont de type M12 de classe 8.8 qui ont un module de Young de 210000 MPA et un coefficient de poisson $\nu=0.3$.

La plaque est considérée comme étant un solide déformable. Son module de Young est équivalent à celui des boulons, La Figure suivante montre la disposition des boulons sur les plaques de l'assemblage.

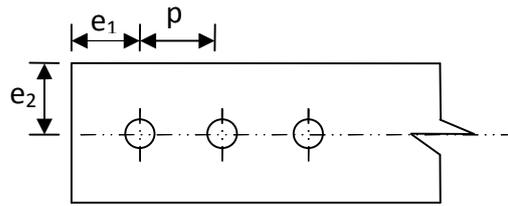


Figure 3.1. Positionnement des boulons.

Pour les trois exemples on a utilisé une plaque avec une seule rangé de boulon, les dimensions de l'assemblage sont données dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1. Les dimensions de l'assemblage.

B (mm)	H (mm)	L (mm)	e_1 (mm)	e_2 (mm)	P (mm)
100	15	400	30	50	50

Avec :

e_1 : distance entre l'axe de la vis et l'extrémité de la plaque assemblée (pince longitudinale) ;

e_2 : distance entre le coin d'angle de la plaque et l'axe de la vis assemblée (pince transversale) ;

P : entraxe des deux vis (pas).

3.2.2 Modélisation et maillage pour les différents éléments de l'assemblage

3.2.2.1 Les plaques

La figure ci-dessous représente la modélisation et le maillage des différentes plaques utilisées dans notre étude respectivement pour les cas d'une plaque à 3,5 et 7 boulons :

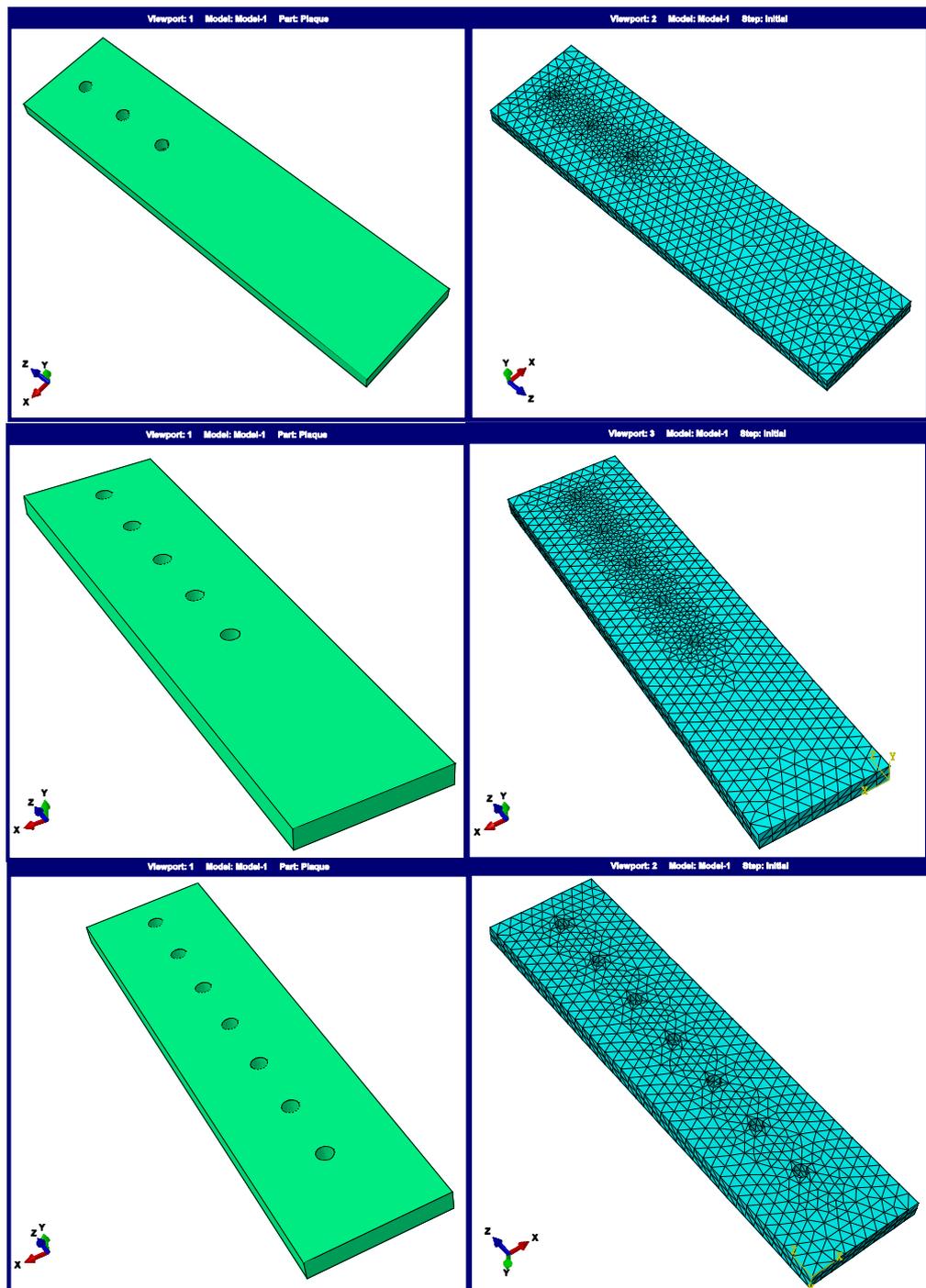


Figure 3.2. Modélisation et maillage de différentes plaques.

3.2.2.2 Les boulons

La figure qui suit montre la modélisation et le maillage de la vis et de l'écrou du boulon :

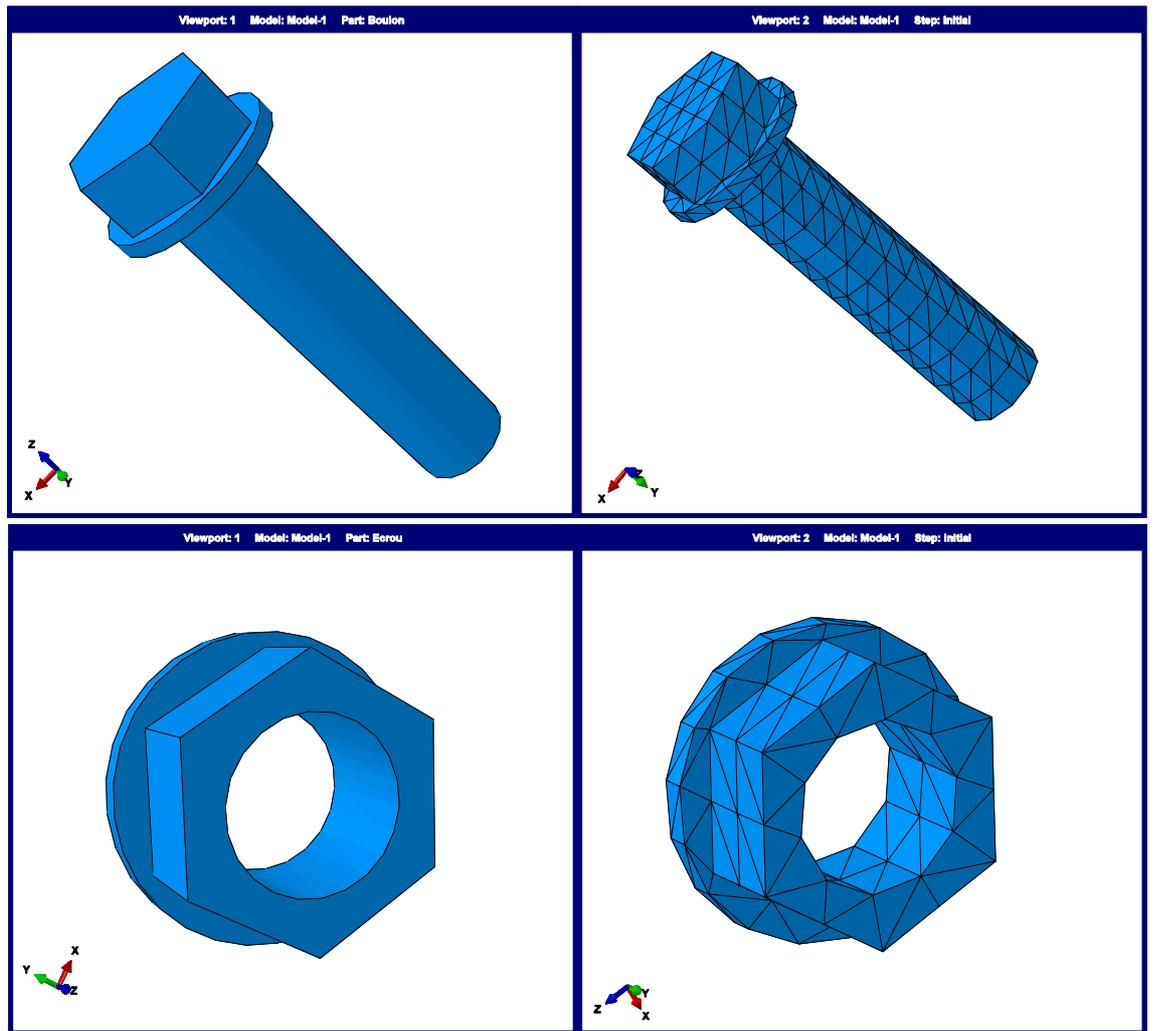
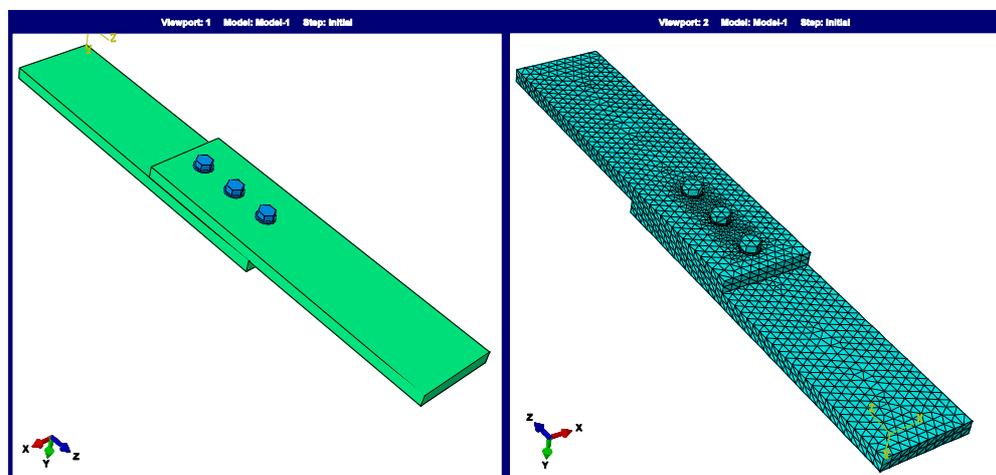


Figure 3.3. Modélisation et maillage d'un boulon.

3.2.2.3 Assemblage entre les différents éléments

La figure suivante montre les différents assemblages utilisés.



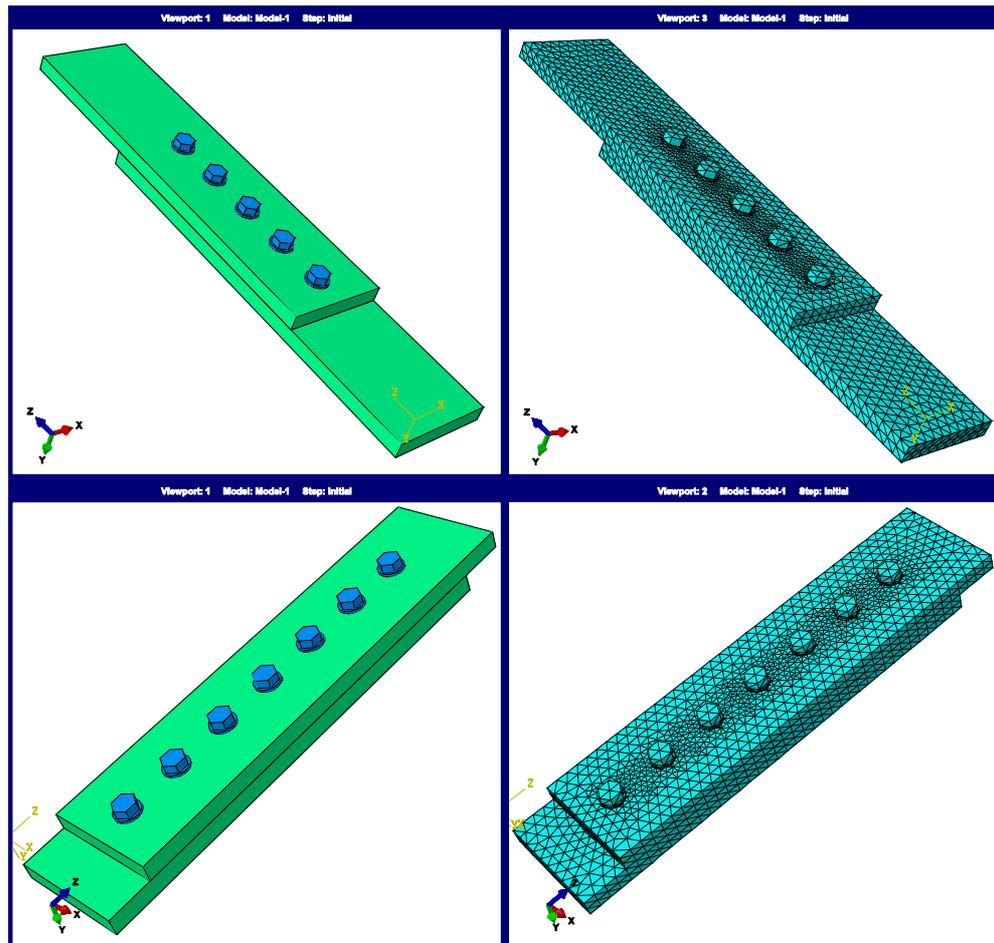


Figure 3.4. Modélisation et maillage des différents assemblages étudiés (Vue en 3D).

3.2.3 Chargement et conditions aux limites

Pour notre étude, on considère un encastrement d'une plaque sur l'une de ces extrémités et on applique une pression F sur l'extrémité de l'autre plaque.

La valeur de la pression appliquée pour les trois modèles (3, 5 et 7 boulons) est donnée par le tableau suivant :

Tableau 3.2. L'intensité de la pression F pour chaque type d'assemblage

Assemblage	A1	A2	A3
F (KN/m ²)	150	250	350

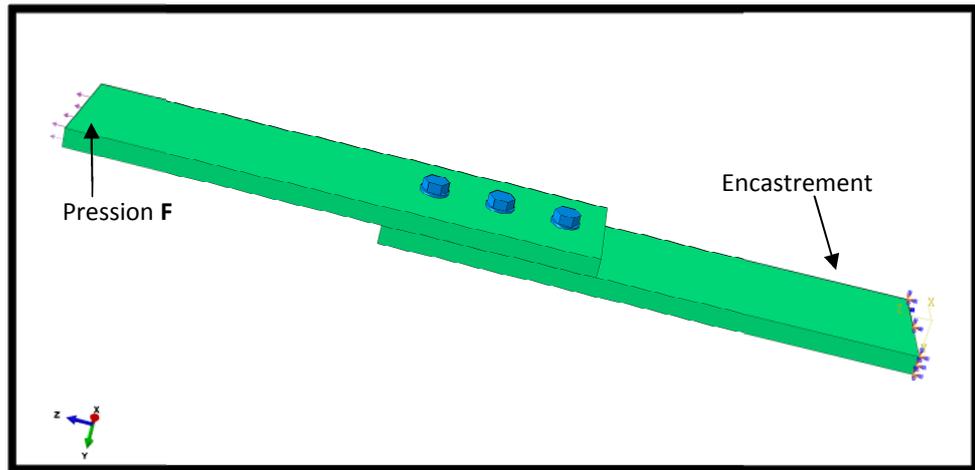


Figure 3.5. Représentation du chargement et de l'encastrement (cas d'un assemblage A1).

Remarque

Pour faire apparaître uniquement le glissement des deux plaques et négliger les effets de la flexion des plaques due à l'excentricité de la charge par rapport à l'encastrement, on va autoriser uniquement les déplacements des deux plaques par rapport à l'axe z.

3.2.4 Prise en compte du contact

Les différents contacts considérés dans notre modèle sont :

- Le contact entre la face interne de la tête de la vis et l'une des plaques ;
- Le contact entre la face interne de l'écrou et l'autre plaque;
- Le contact entre la tige de vis et les trous des deux plaques;
- Les deux plans de contact entre les deux plaques (contacte sans frottement).

Les figures suivantes représentent les différents contacts entre les éléments assemblés;

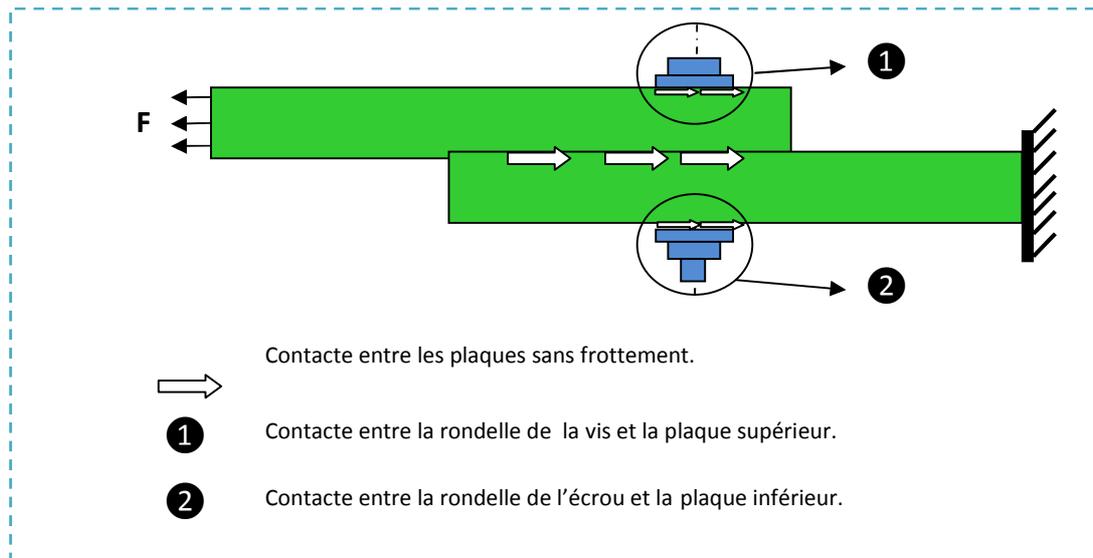


Figure 3.6. Contact entre la rondelle de la vis et la plaque.

Contact entre la rondelle de l'écrou et la plaque.

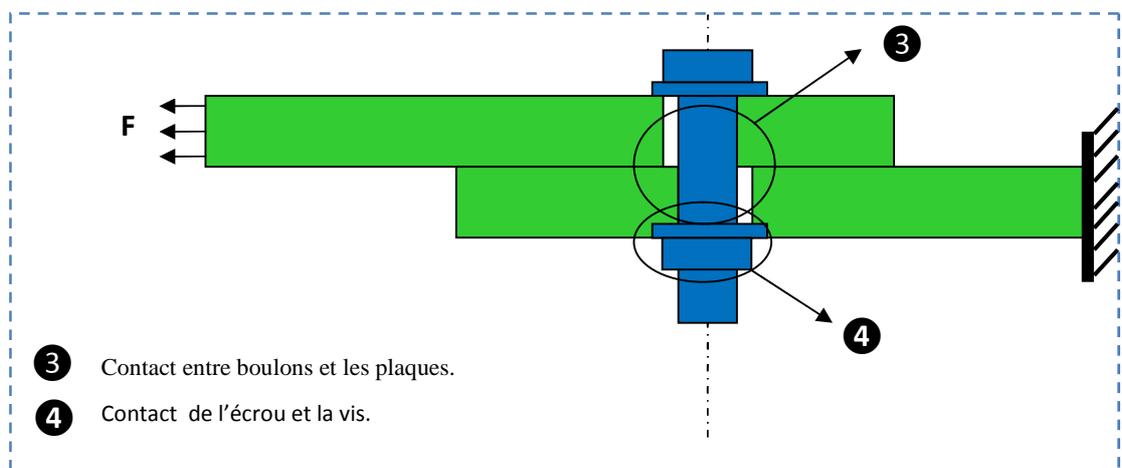


Figure 3.7. Contact entre le boulon et les plaques,

Contact de l'écrou et la vis.

3.2.5 Résultats de calcul

a) Magnitude des déplacements dans les différents assemblages

La figure suivante montre la magnitude des déplacements enregistrés au niveau des assemblages A1, A2 et A3 respectivement.

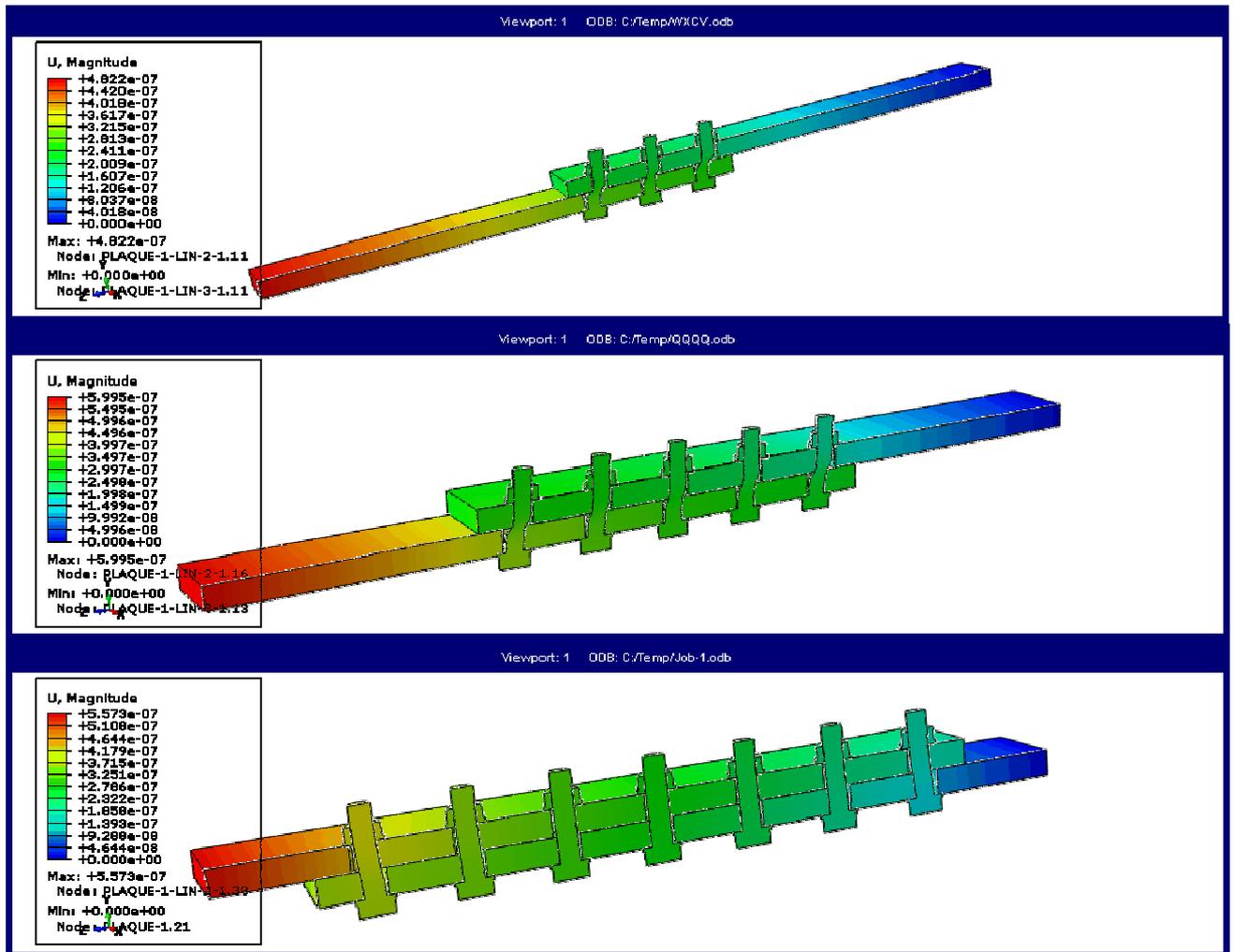


Figure 3.8. Magnitude des déplacements pour les différents types d'assemblage.

Interprétation

On remarque bien que les déplacements pour chaque type d'assemblage sur la plaque supérieure au niveau de l'encastrement est nulle et que à l'autre extrémité de la plaque on a obtenu un déplacement maximale correspond respectivement a $4.822 \text{ E-}04 \text{ mm}$, $5.995 \text{ E-}04 \text{ mm}$ et $5.573 \text{ E-}04 \text{ mm}$ pour l'assemblage A1, A2 et A3. On voit aussi le glissement d'une plaque par rapport à l'autre et la butée entre les boulons et les plaques, la figure suivante montre bien ce glissement en prenant le cas A1.

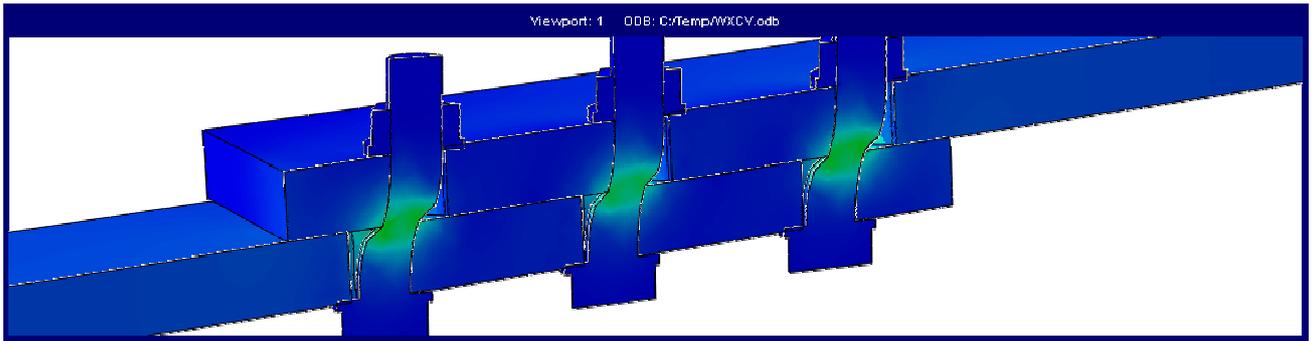


Figure 3.9. Représentation du glissement des plaques et la buté dans les boulons pour le cas d'un assemblage A1.

b) Distribution des contraintes de Von Mises sur les trois types de plaque

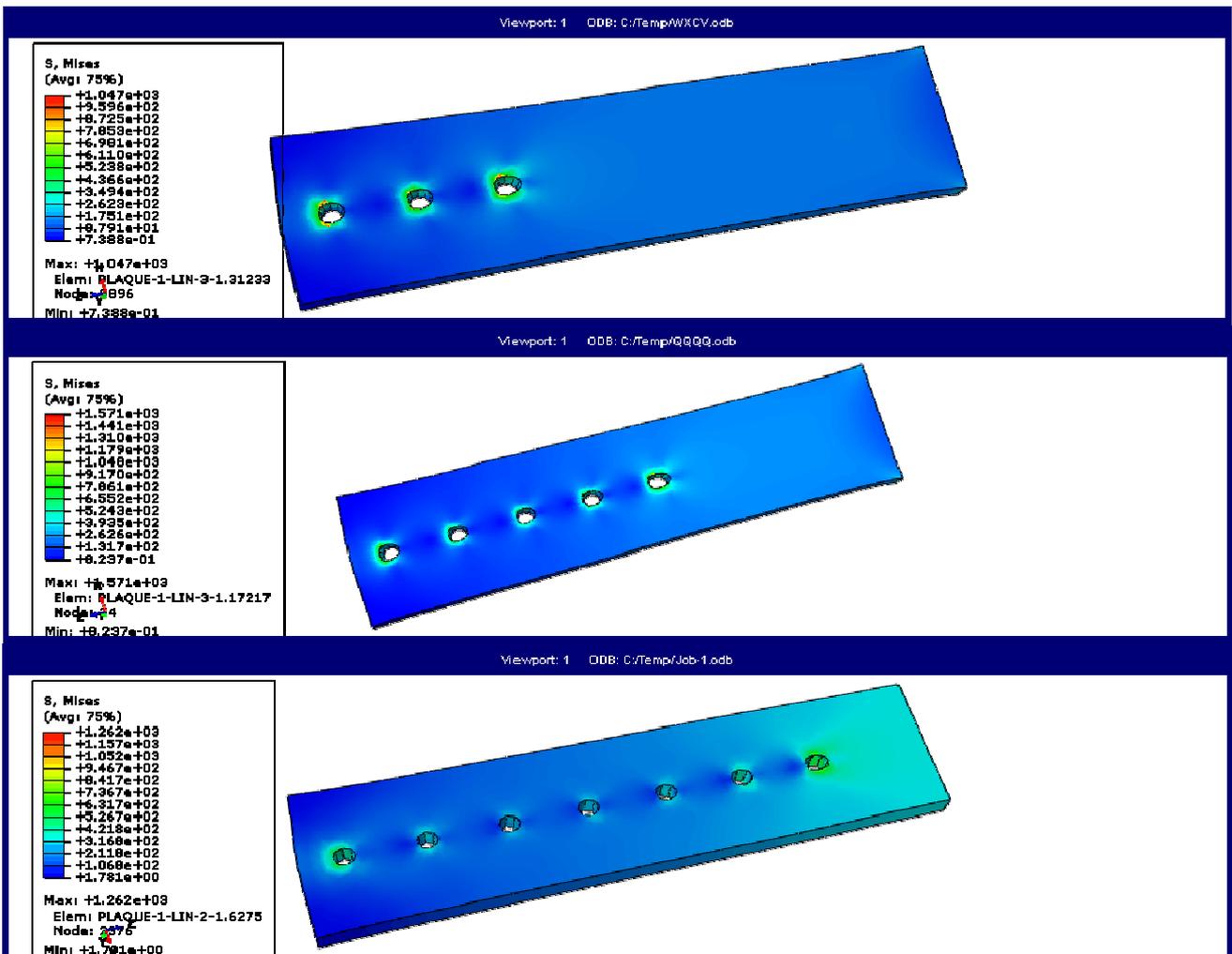


Figure 3.10. Distribution des contraintes de Von Mises sur les trois types de plaque.

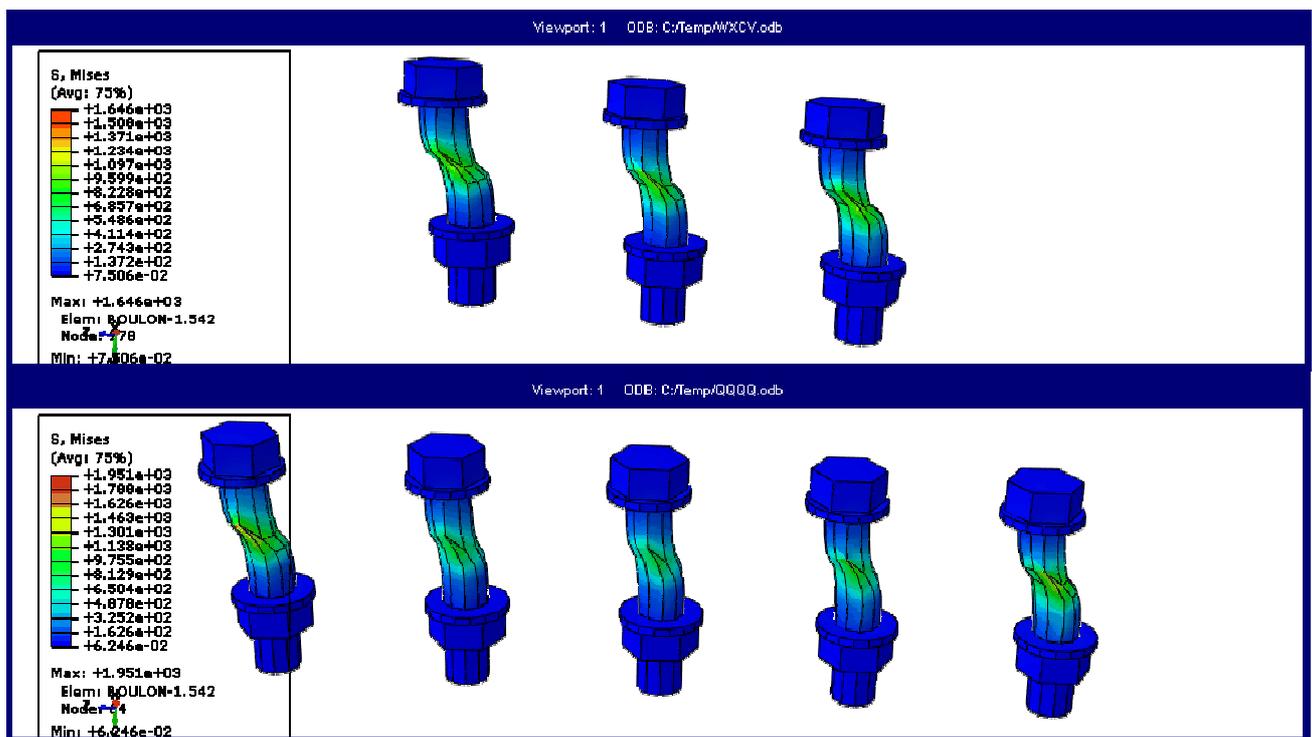
On voit bien que la distribution des contraintes maximales est enregistrée au voisinage des trous avec une valeur de 1.047 MPA pour l'assemblage A1, 1.751 MPA pour l'assemblage A2 et 1.262 MPA pour le dernier assemblage, ces valeurs de contraintes sont inférieures à la contrainte limite qui est de 235 MPA.

Donc d'après les résultats de calcul des contraintes, on remarque que si on augmente le chargement extérieur appliqué sur les plaques et si le corps de la vis est suffisamment résistant on va avoir une rupture par pression diamétrale qui peut se manifester par une ovalisation du trou de perçage ou par l'arrachement de la pince e_1 , la résistance ultime à la pression diamétrale est influencée par la distance e_1 séparant les boulons du bord de la pièce dans la direction de l'effort. Il faut donc prévoir des pinces et des pas suffisamment grands pour que la pression diamétrale puisse être équilibrée.

c) Distributions des contraintes de Von Mises sur les boulons

Finalement, on est arrivé au but de cette présente application, c'est-à-dire voir la distribution des contraintes dans les différents boulons et cela pour les trois types d'assemblage (court, moyen et long).

Cette distributions de contrainte de Von Mises est représenté par la figure suivante.



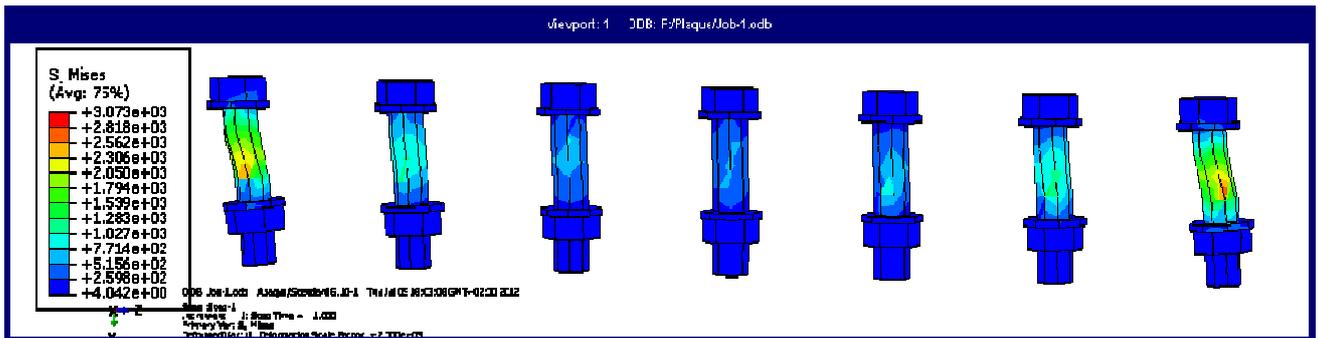
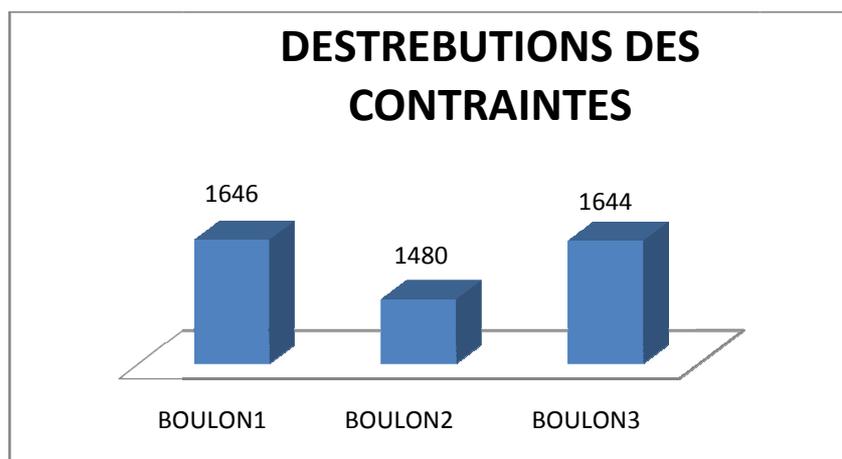


Figure 3.11. Distributions des contraintes de Von Mises dans les boulons pour chaque type d'assemblage.

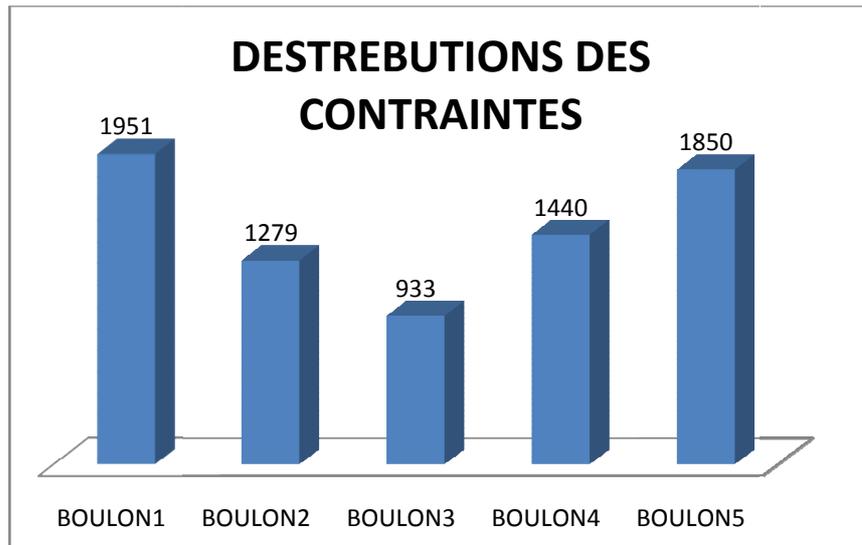
On rappelle que la pression F qui est appliqué sur l'extrémité des plaques vaut respectivement 150, 250 et 350 KPA pour les assemblages A1, A2 et A3, donc environ 50 KPA par boulon si on divise directement sur le nombre de boulon.

D'après les résultats obtenus, on remarque bien que la distribution des contraintes n'est pas le même sur les boulons de même assemblage (A1, A2 et A3). Les résultats montrent aussi que les boulons extrême reprennent plus de contrainte par rapport aux boulons centraux, cette constatation est valable pour les trois types d'assemblages.

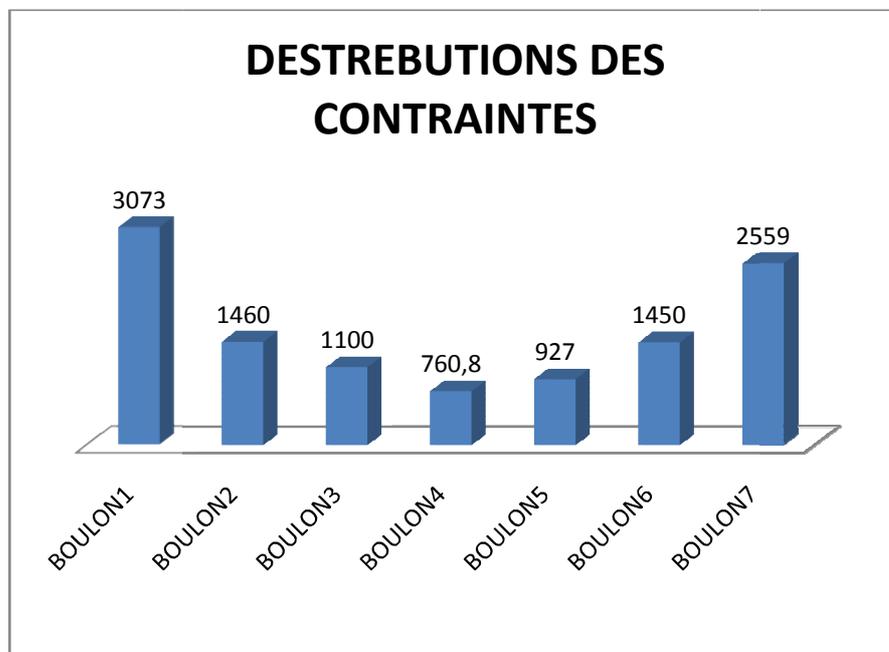
Les histogrammes des trois figures suivantes montrent la distribution des contraintes de Von Mises sur chaque boulon pour les trois types d'assemblages.



a) Cas pour l'assemblage A1.



b) Cas pour l'assemblage A2.



c) Cas pour l'assemblage A3.

Figure 3.12. Histogrammes des contraintes en KN/m² pour les différents cas d'assemblage.

Interprétation des résultats

D'après les trois histogrammes, on constate que l'écart de contrainte entre le boulon le plus éloigné et le boulon central augmente avec l'augmentation de la longueur de l'assemblage (L_j). Pour cela on a calculé pour les trois types d'assemblage l'écart de contrainte en pourcentage comme suit :

$$\Delta\sigma = \frac{\text{Contrainte maximale} - \text{Contrainte minimale}}{\text{Contrainte maximale}} \times 100$$

Donc pour le cas A1

$$\Delta\sigma = \frac{1646-1480}{1646} \times 100 \Rightarrow \Delta\sigma = 10.085\%.$$

Pour le cas A2

$$\Delta\sigma = \frac{1951-933}{1951} \times 100 \Rightarrow \Delta\sigma = 52.178\%.$$

Pour le cas A3

$$\Delta\sigma = \frac{3073-760.8}{3073} \times 100 \Rightarrow \Delta\sigma_3 = 75.242\%.$$

Les résultats expliquent bien que pour les cas des assemblages long (assemblage A3 : $L_j = 250 \text{ mm} > 15d = 180 \text{ mm}$), le calcul de l'effort tranchant repris par les différents boulons en utilisant la formule $F_{v,sd} = \frac{F_{sd}}{n}$ conduit à une sous-estimation de l'effort de cisaillement repris par les boulons d'extrémité.

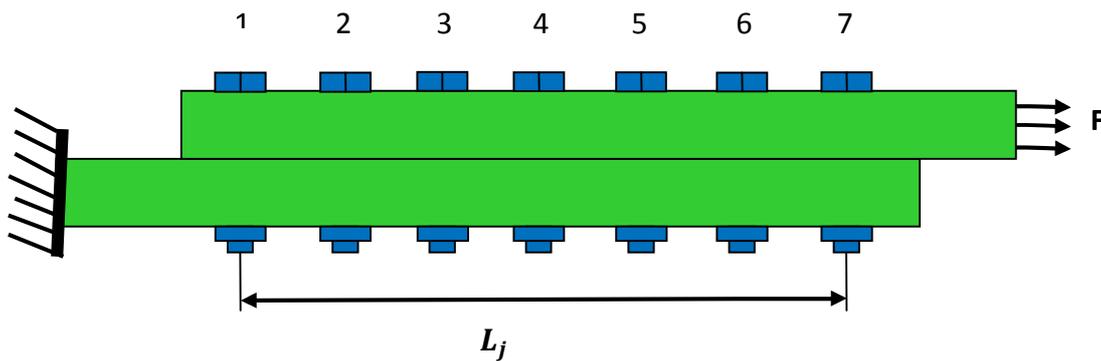


Figure 3.13. Assemblage long.

La vérification réglementaire de la résistance d'un boulon ordinaire doit alors porter non seulement sur la résistance au cisaillement du boulon lui-même, mais aussi sur la capacité des plaques de l'assemblage à équilibrer la pression diamétrale (6.5.5(2) EC3).

3.3 Application pour le cas d'un assemblage d'une cornière sur la semelle d'un poteau

Nous nous proposons d'étudier le comportement de l'assemblage poteau-cornière soumis à un effort extérieur et de comparer les résultats issus de la RDM aux résultats donnés par la modélisation en éléments finis (ABAQUS).

3.3.1 Description du modèle numérique

L'assemblage testé (figure 3.14), est constitué d'un poteau HEB200 de longueur $L=0.5\text{m}$ en acier S235, son module de Young $E=2.1 \cdot 10^5$ MPA avec un coefficient de poisson $\nu=0.2$. La cornière assemblée sur le poteau est une cornière à aile égale CAE100 (mm) de longueur $L'=0.2\text{m}$ en acier S235, son module de Young et son coefficient de poisson sont égale respectivement a celui du poteau.

On a utilisés deux boulons de type M12 de classe 6.8, leurs modules de Young E est de $2.1 \cdot 10^5$ MPA et leurs coefficients de poisson ν est de 0.2.

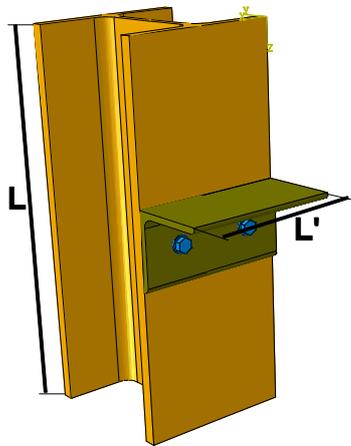


Figure 3.14. Schéma de l'assemblage boulonné (vue 3D par ABAQUS).

3.3.2 Etude éléments finis.

3.3.2.1 Le maillage

Les figures suivantes représentent le maillage et la modélisation de l'assemblage boulonné.

- a) Le poteau

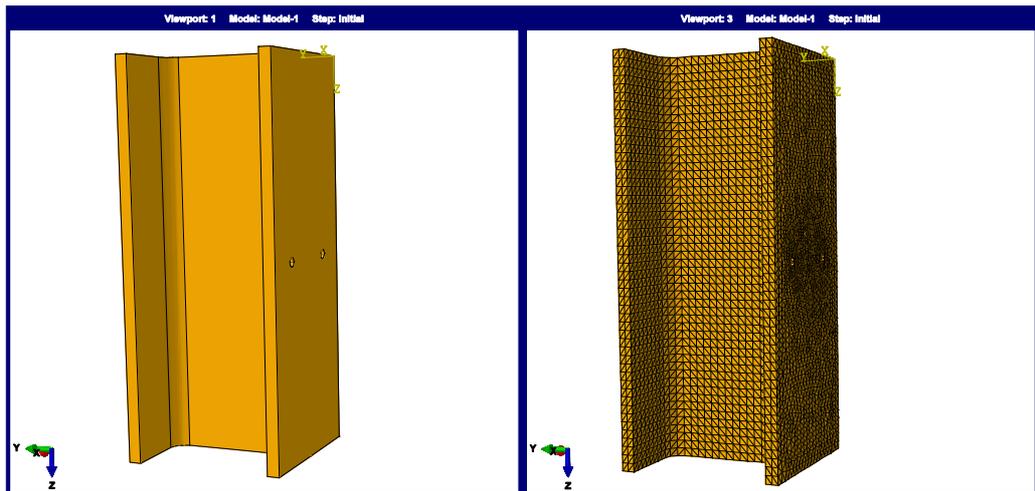


Figure 3.15. Modélisation et maillage du poteau.

b) La cornière

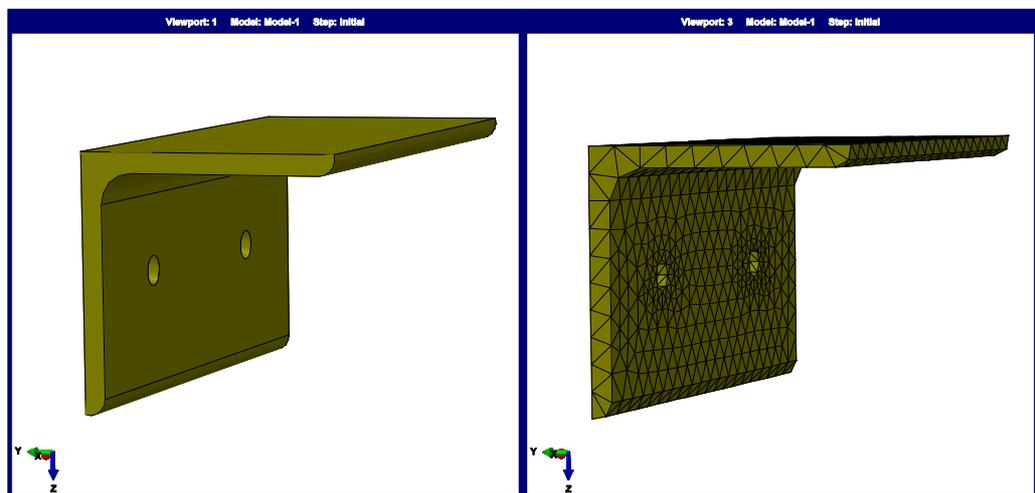


Figure 3.16. Modélisation et maillage de la cornière.

c) Le boulon

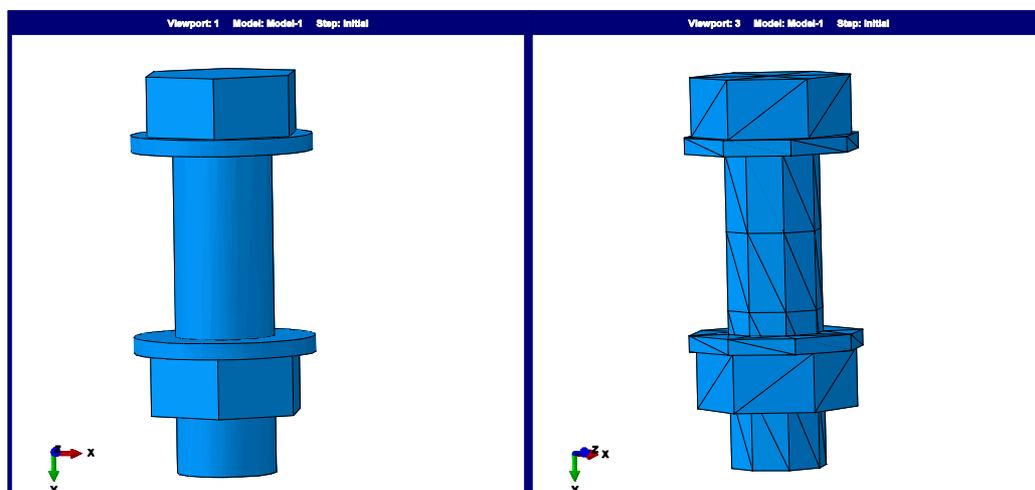


Figure 3.17. Modélisation et maillage du boulon.

d) Assemblage entre les différentes composantes

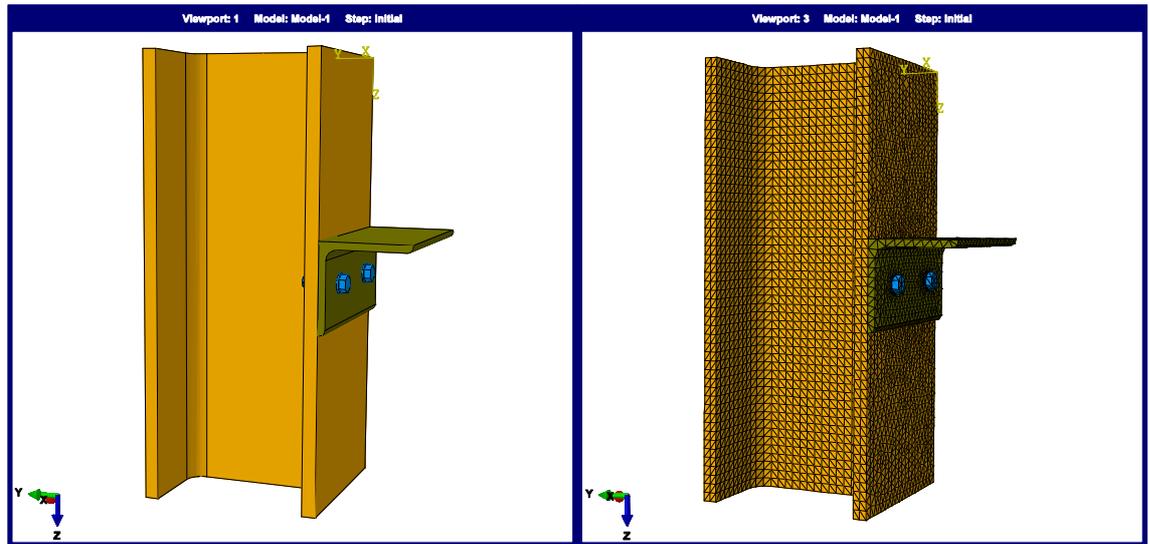


Figure 3.18. Modélisation et maillage de l'assemblage boulonné, vue 3D.

3.3.2.2 Chargement et condition aux limites

Le chargement est réalisé par une pression $F=100\text{KN/m}^2$ appliqué sur la semelle supérieur la cornière.

Le calcul numérique par la méthode des éléments finis du modèle est défini par les conditions aux limites qui lui sont appliquées. Pour cela, un encastrement est imposé sur les deux extrémités du poteau. La figure 3.19 représente le chargement et les conditions aux limites du modèle étudié.

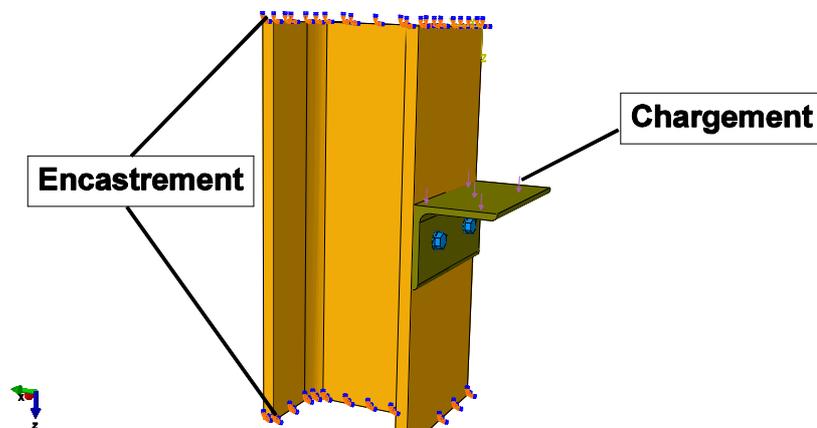
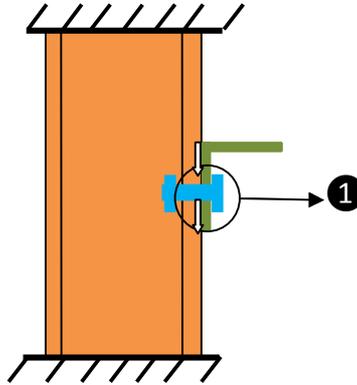


Figure 3.19. Chargements et conditions aux limites.

3.3.2.3 Prise en compte du contact

La figure suivante représente les différents contacts dans l'assemblage étudié.



∥ Contacte sans frottement entre le poteau et la cornière.

① Contacte du boulon avec la surface du poteau et la surface de la cornière

Figure 3.20. Différents contacts dans l'assemblage boulonné.

3.3.2.4 Résultats

A travers un calcul en éléments finis tridimensionnel nous montrons, par l'assemblage (Figure 3.21), l'effet du chargement sur l'état de contrainte des pièces assemblées.

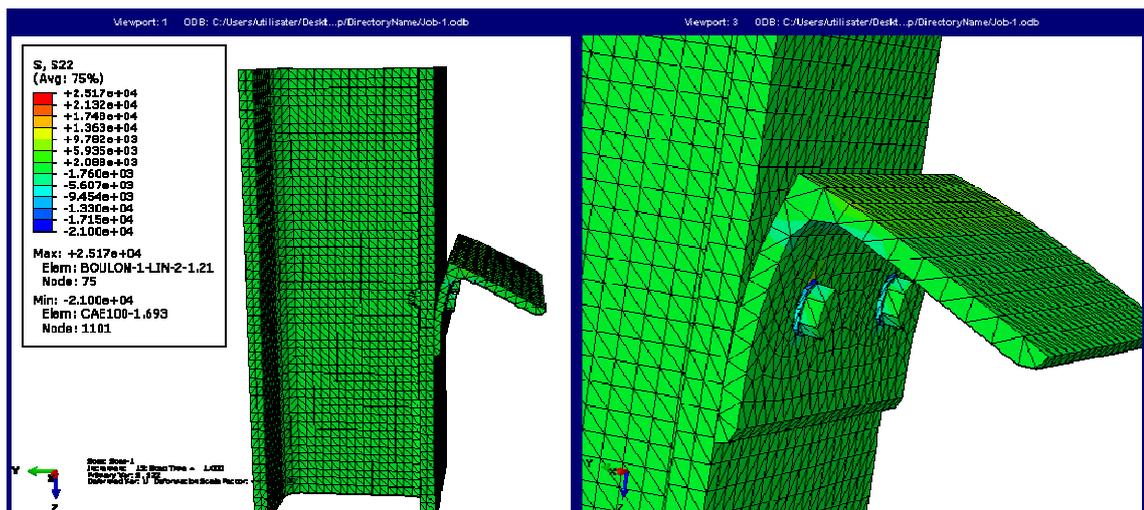


Figure 3.21. Etat de contrainte pour l'assemblage boulonné.

Les résultats montrent un décollement de la partie supérieure de la cornière par rapport à la semelle du poteau, la flexion de cette dernière engendre une concentration de contrainte au niveau de l'axe horizontal entre les deux boulons.

La figure suivante montre une visualisation des contraintes dans les boulons.

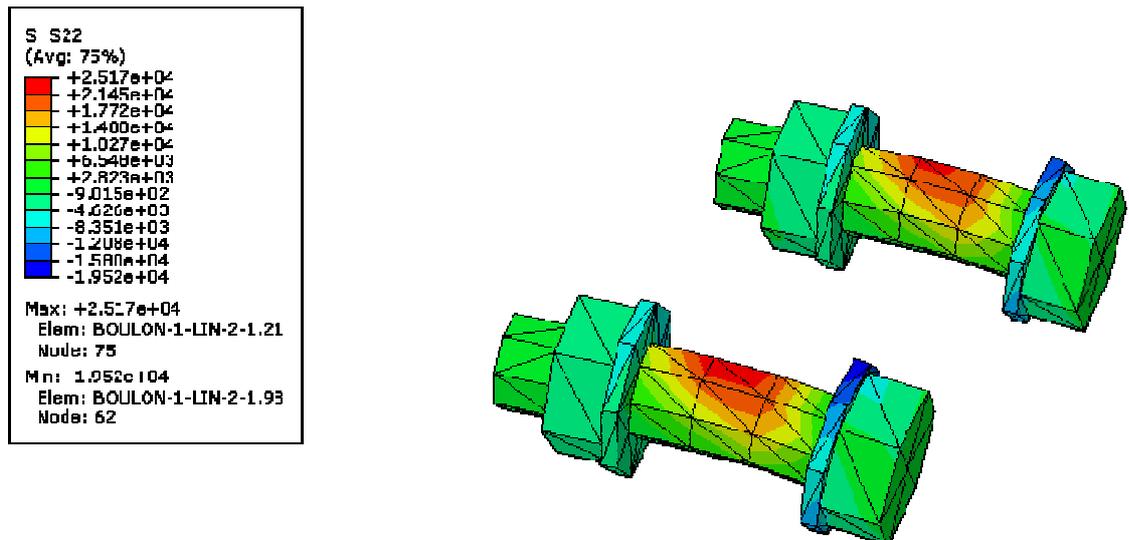


Figure 3.22. Répartition des contraintes dans les boulons.

Il s'avère d'après les résultats des simulations du comportement de l'assemblage, sous le chargement appliqué, que les deux boulons sont sollicités de la même manière, c'est-à-dire une même répartition de contrainte dans les boulons.

La valeur de contrainte maximale dans les boulons obtenue par méthode des éléments finis vaut : $\sigma = 25.170$ MPA. Cette valeur sera comparée avec celle obtenue avec le calcul par la RDM.

3.3.3 Calcul de l'effort de cisaillement dans les boulons selon la RDM

A partir du chargement extérieur appliqué sur la semelle supérieure de la cornière $F = 100$ KPA, on détermine l'effort R repris pour chaque boulon.

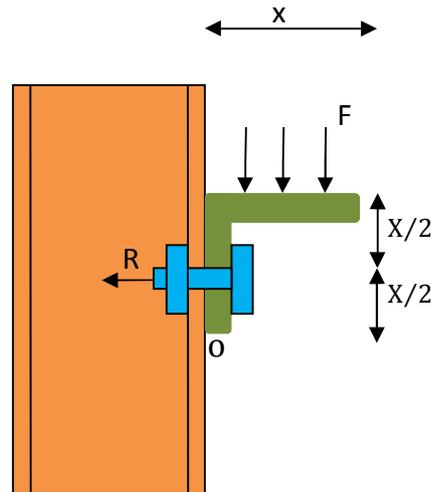


Figure 3.23. Schéma de l'assemblage.

a) Calcul de la réaction R dans les boulons :

Equations d'équilibre statique:

$$\sum M_{/O} = 0 \Rightarrow F * S * x/2 = 2 * R * x/2;$$

$$\Rightarrow R = \frac{F * S}{2}. \quad \text{avec}$$

S : surface de la semelle supérieur de la cornière.

$$\text{Ainsi } S = 0.1 * 0.2 = 0.02 \text{ m}^2.$$

$$\text{Donc } R = \frac{100 * 0.02}{2} = 1 \text{ KN.}$$

b) Calcul de la contrainte normal σ_n dans un boulon :

On a :

$$\sigma_n = \frac{R}{A_s};$$

avec A_s : section résistante de la partie fileté.

D'après le tableau des caractéristique dimensionnelles des boulons, on a

$$A_s = 83.4 \text{ mm}^2;$$

$$\text{Donc } \sigma_n = \frac{1}{84.3 * 10^{-6}} \text{ KPA};$$

$$\sigma_n = 11.8623 \text{ MPA.}$$

3.3.4 Comparaison entre les résultats obtenus par MEF et RDM

Les résultats obtenus par MEF $\sigma = 25.170$ MPA sont beaucoup plus importante que celle obtenus par la RDM $\sigma_n = 11.8623$ MPA.

En effet, nous constatons que sous le chargement extérieur le calcul par la RDM tient compte uniquement de la contrainte de traction dans les boulons or que ces derniers seront soumis à des contraintes de traction et de flexion sur l'axe de leurs vis comme le montre la figure 3.24. Cette répartition de contrainte peut se décomposer en une contrainte de traction et une contrainte de flexion pure. En effet le principe de superposition donne :

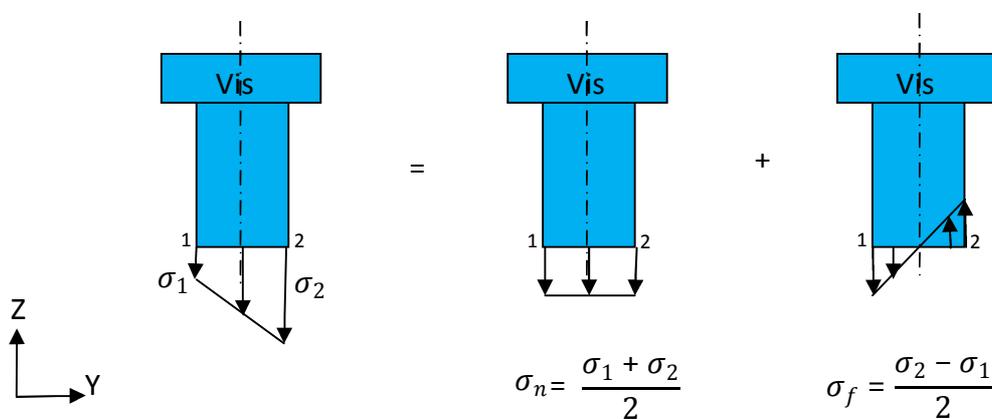


Figure 3.24. Contraintes dans les vis.

Ainsi, on conclut que dans ce type d'assemblage on doit tenir compte de la flexion des boulons sous l'effet du chargement extérieur notamment dans le calcul de la RDM.

CHAPITRE 4

APPLICATION POUR LE CAS DES ASSEMBLAGES PAR FROTTEMENT

4.1 Introduction

En pratique, pour réaliser un assemblage boulonné ou vissé, on applique à l'écrou ou à la tête de vis un couple de serrage à l'aide d'une clé, provoquant ainsi un effort de tension dans le boulon, et par réciprocity un effort de compression de la même valeur dans les pièces assemblées. Cet effort de tension est appelé précontrainte de serrage noté $F_{p,cd}$.

Les assemblages boulonnés par platine d'extrémité sont largement utilisés dans les structures métalliques en raison de la simplicité de leur réalisation, de leur fabrication économique ainsi que de la facilité de leur mise en œuvre.

Dans ce présent chapitre on va consacrer notre étude pour la modélisation par éléments finis d'un assemblage poteau-poutre qui fonctionne par frottement, et de voir l'influence de la présence des raidisseurs sur le comportement de ce type d'assemblage.

4.2 Description du modèle numérique

Pour l'assemblage, on a utilisé un poteau HEB200 de longueur $L=1\text{m}$, une poutre IPE300 de longueur $L'=0.5\text{m}$ et pour la platine une section rectangulaire ($b \times h$) m^2 de longueur L'' . On a utilisé deux rangées de boulon, chaque rangée contient quatre boulons M12. La figure suivante donne la vue de la platine d'extrémité. On précise que l'épaisseur de la platine est de 15 mm et que l'acier utilisé pour les différents éléments est un acier S235.

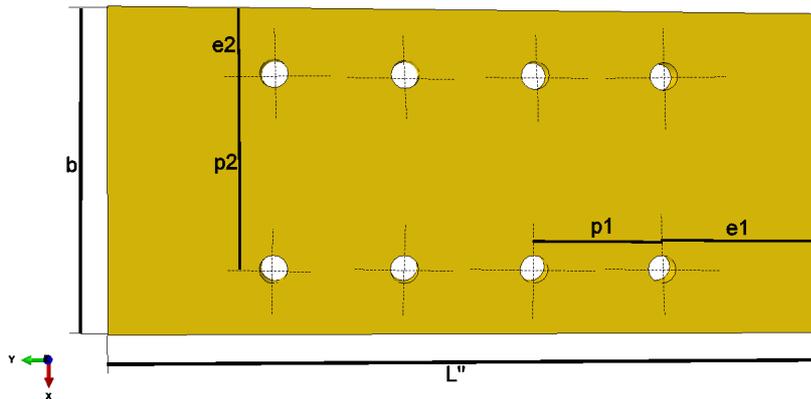


Figure 4.1. Configuration de la platine d'extrémité.

Le tableau suivant donne les dimensions de la platine d'extrémité.

Tableau 4.1. Dimension de la platine non débordante.

e_1 (m)	e_2 (m)	p_1 (m)	p_2 (m)	B (m)	H (m)	L'' (m)
0.08	0.03	0.06	0.08	0.14	0.015	0.33

4.2.1 Force de précontrainte

Pour la réalisation de l'assemblage précontraint, on introduit lors de la mise en place des boulons une force de précontrainte $F_{p,cd}$ dont la valeur à considérer dans les calculs vaut :

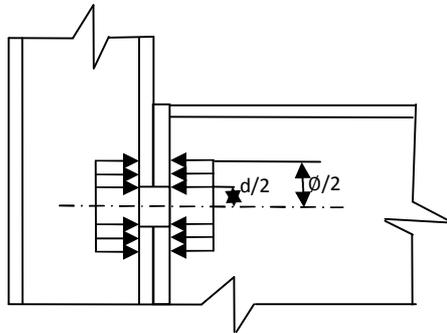
$$F_{p,cd} = 0.7 f_{ub} A_s$$

f_{ub} : Résistance ultime de l'acier du boulon.

A_s : Section résistante des boulons.

C'est cette précontrainte qui crée autour des boulons la pression sur les pièces assemblées nécessaire à la résistance de l'assemblage par frottement.

Dans notre cas on va représenter de manière aussi fidèle que possible le comportement réel du boulon en appliquant sur chaque trou de l'assemblage une pression P de part et d'autre sur une surface S qui représente la surface de contacts entre les rendables utilisées pour les boulons et les deux pièces à assemblées comme le montre la figure suivante :



\emptyset : Le diamètre de la rondelle du boulon.

d : Diamètre de la vis.

Figure 4.2. Modèle équivalent.

Pour notre étude on va appliquer une pression de précontrainte $P = 80000$ KN/m².

4.2.2 Maillage

La figure 4.3 donne un aperçu du maillage 3D de l'assemblage métallique, en utilisant le logiciel ABAQUS avec un maillage tétraédrique à trois degrés de liberté par nœud pour le cas d'un assemblage sans raidisseurs.

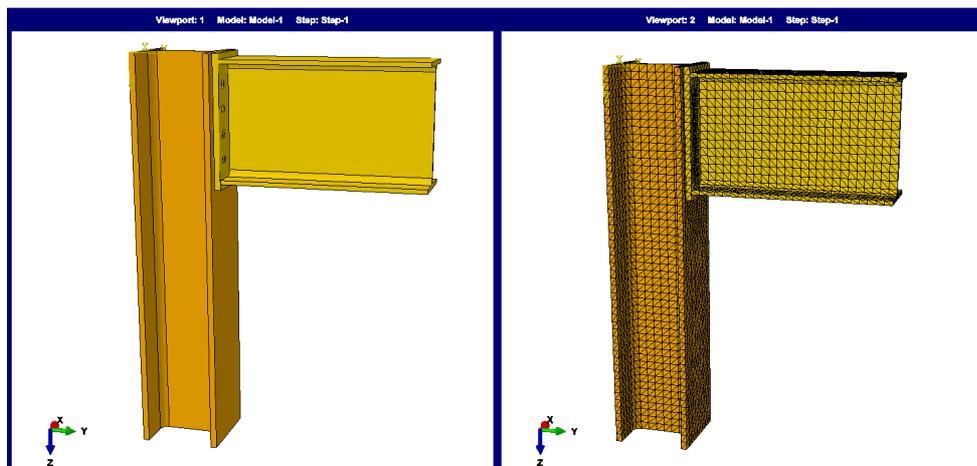


Figure 4.3. Modélisation et maillage de l'assemblage métallique.

4.2.3 Chargement et condition aux limites

Pour le chargement on applique une pression F vers le bas sur la surface supérieur de la poutre avec $F= 500 \text{ KN/m}^2$.

Les conditions aux limites considérées dans notre modèle représentent un encastrement de la base du poteau.

La figure suivante représente les conditions aux limites et le chargement appliqué sue l'assemblage métallique.

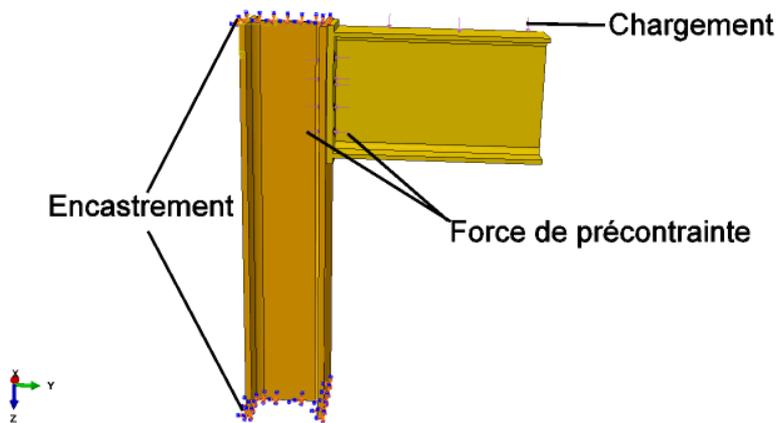


Figure 4.4. Conditions aux limites.

4.2.4 Contacte

Dans notre modèle on a considéré la platine d'extrémité et la poutre comme étant un seul élément, le contacte entre la platine d'extrémité et le poteau se fait par un frottement avec un coefficient de friction égalé à 0.3, ce frottement est basée sur la méthode des multiplicateurs de Lagrange.

4.3 Analyse des résultats

4.3.1 Comportement de l'assemblage sans raidisseur

La figure suivante donne le résultat de l'exécution pour le cas d'un assemblage sans raidisseur. Elle illustre respectivement la magnitude des déplacements, la distribution des contraintes de Von Mises dans le modèle complet (poteau, poutre et platine) et la distribution des contraintes dans le poteau et dans la poutre.

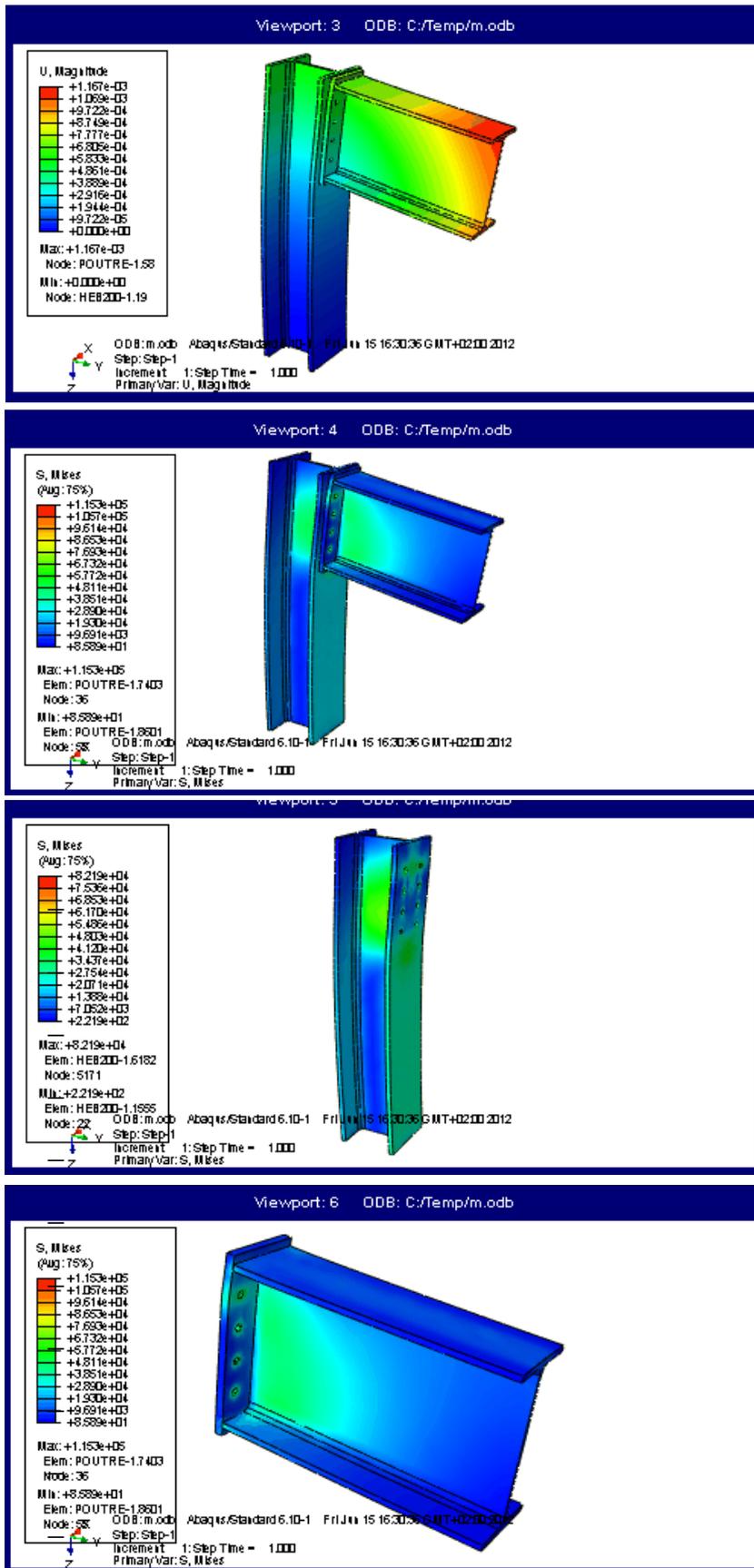


Figure 4.5. Comportement de l'assemblage sans raidisseur.

- Concernant les déplacements du système poteau-poutre, les résultats montrent que les déplacements max sont enregistrés au niveau de l'extrémité libre de la poutre, une flexion du poteau et un découlement de la platine par rapport au poteau sur la partie supérieur de la poutre.
- Les résultats montrent aussi que sur la platine d'extrémité il y'a une concentration de contrainte au niveau des trous, et on voit bien que cette concentration de contrainte est plus importante au niveau des boulons de la partie supérieur de la poutre.
- Au niveau du l'âme du poteau on peut distinguer trois zones de concentration de contrainte
 - Une zone tendue.
 - Une zone cisailée.
 - Une zone comprimée.

En construction métallique, Afin d'atténuer cette concentration de contrainte au niveau de l'âme du poteau, on utilise généralement des raidisseurs. La figure suivante montre deux types de raidisseurs utilisés respectivement au niveau de la zone tendue (raidisseur transversal) et la zone cisailée (doublure d'âme).

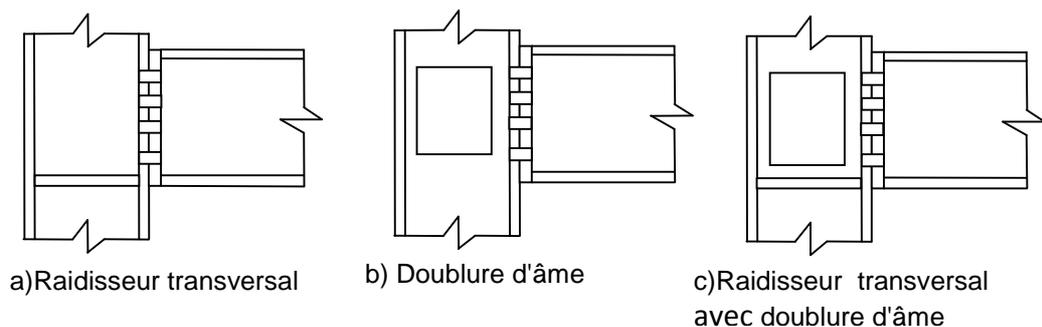


Figure 4.6. Configuration des différents spécimens.

Pour mieux voir l'influence de la mise en place de ce type de raidisseur sur l'assemblage de la figure 4.3, les résultats suivants montrent la magnitude des déplacements ainsi que la distribution des contraintes dans le système poteau-poutre avec la mise en place des raidisseurs.

4.3.2 Comportement de l'assemblage avec raidisseur

Les figures suivantes montrent les résultats de calcul par éléments finis de l'assemblage poteau-poutre respectivement avec la mise en place des raidisseurs transversaux, doublure d'âme et les deux types au même temps.

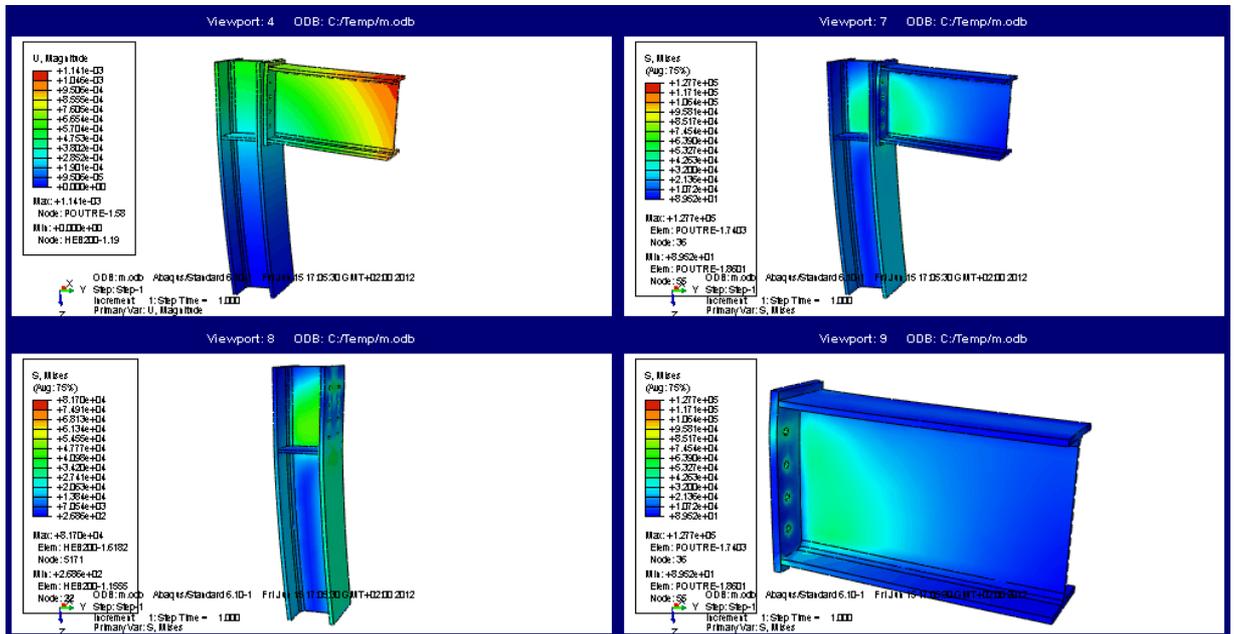


Figure 4.7. Comportement de l'assemblage avec raidisseur transversal

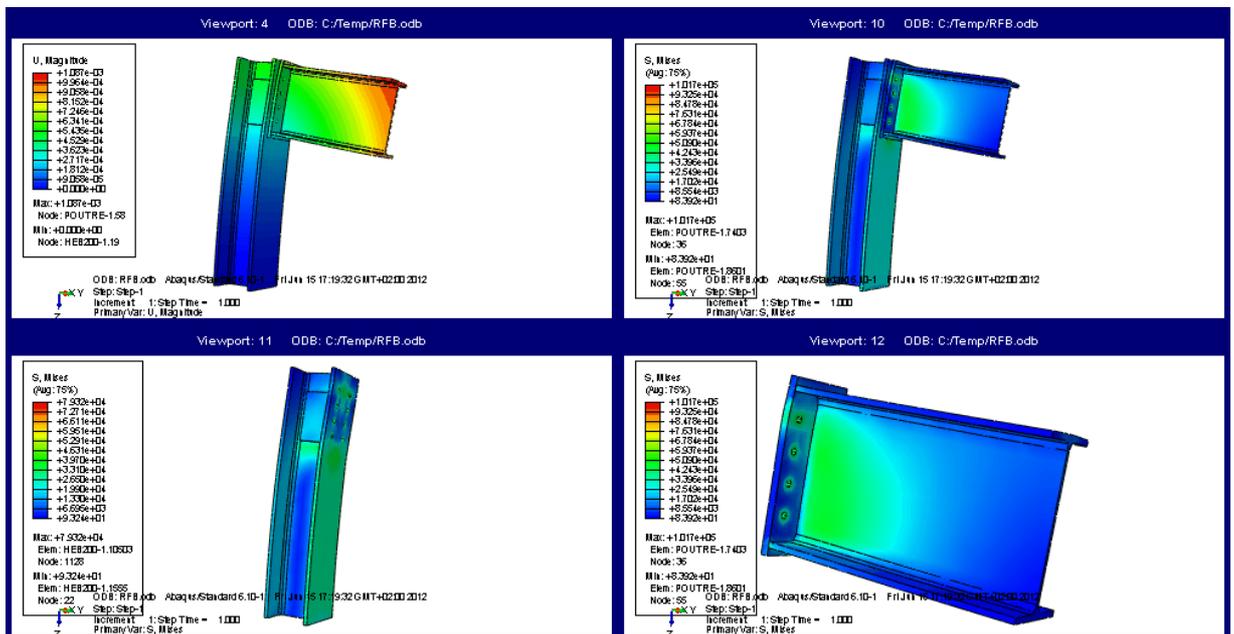


Figure 4.8. Comportement de l'assemblage avec doublure d'âme.

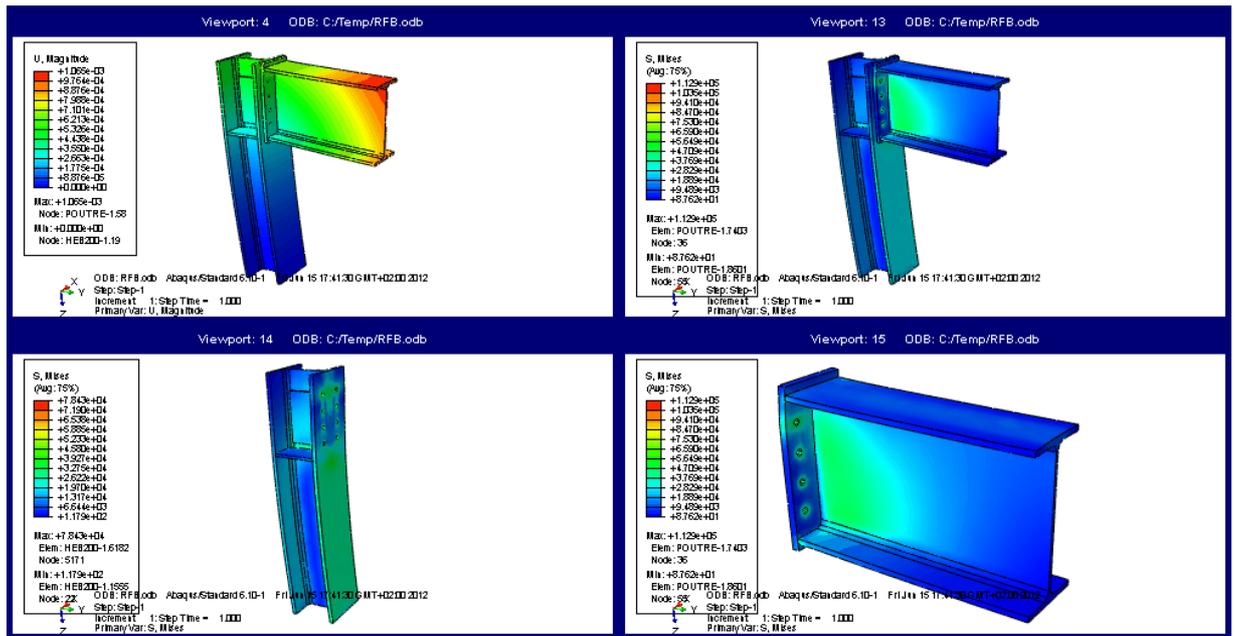


Figure 4.9. Comportement de l'assemblage avec raidisseur transversal et doublure d'âme.

D'après les résultats illustrés dans les figures précédentes, on remarque que la flèche maximale dans la poutre ainsi que les valeurs des contraintes de Von Mises dans le poteau diminuent avec la présence des raidisseurs. Les histogrammes suivent montrent la variation de la flèche de la poutre ainsi que les contraintes maximales enregistrées dans le poteau d'un assemblage à un autre.

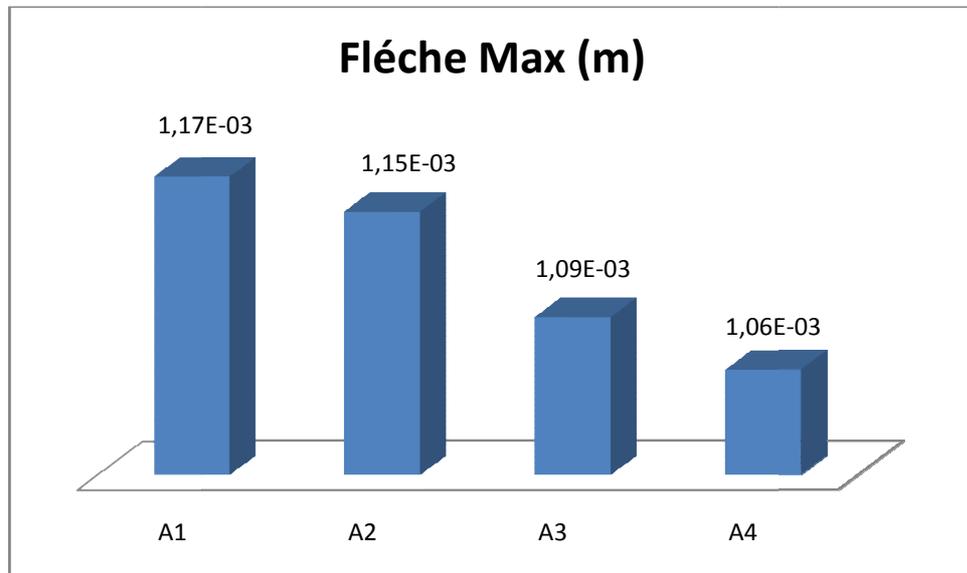


Figure 4.10. Flèche maximale dans la poutre.

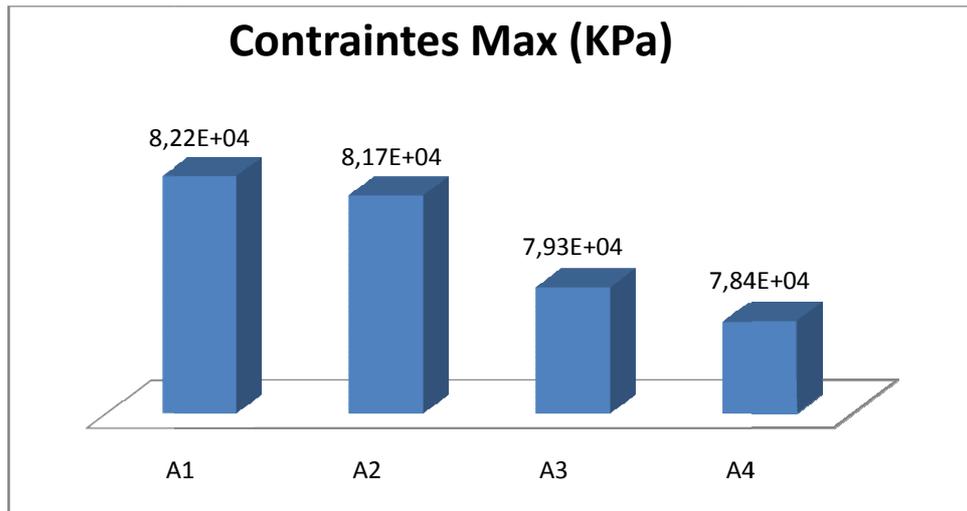


Figure 4.11. Contrainte maximale dans le poteau.

On note que les assemblages A1, A2, A3 et A4 représentent respectivement les assemblages sans raidisseurs, avec raidisseurs transversaux, avec doublure d'âme et les deux types au même temps.

Dans cette étude, L'analyse du comportement des assemblages a permis de dire que les assemblages avec platine d'extrémité raidie présentent un meilleur comportement par rapport aux assemblages non raidis.

4.3.3 Cas d'un assemblage poteau poutre par platine d'extrémité débordante

Dans ce cas on va modéliser des assemblages poteaux poutres par platine d'extrémité débordant d'un seul côté dans sa zone tendue en utilisant les mêmes démentions et caractéristiques que le modèle précédent. Pour les boulons on a utilisé deux rangées, chaque rangée contient cinq boulons.

La disposition des trous sont données dans la figure suivante.

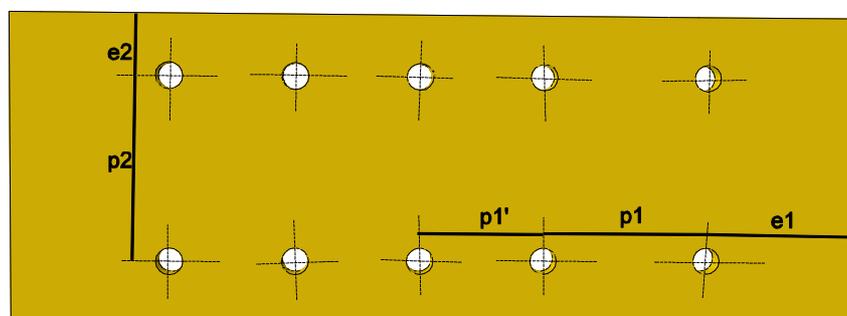
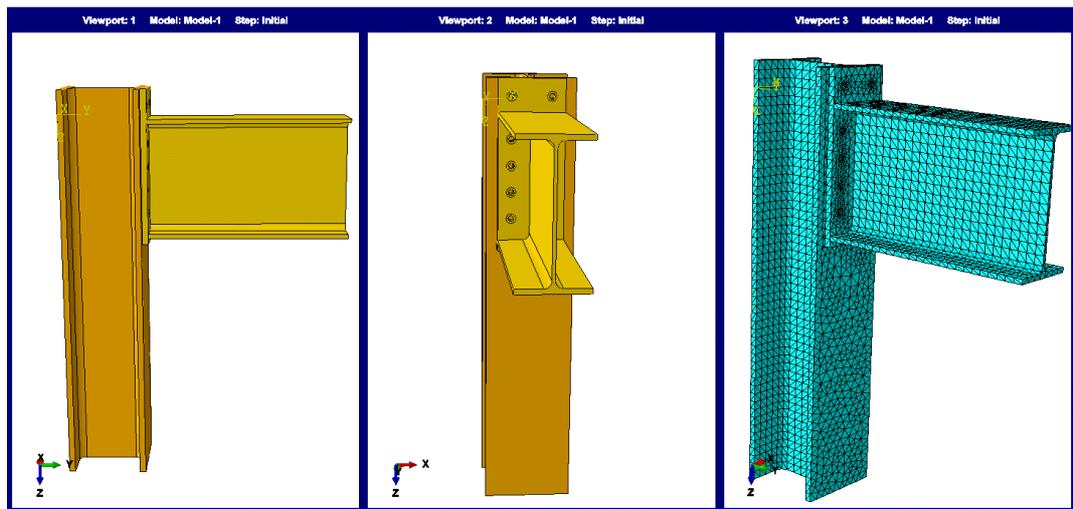
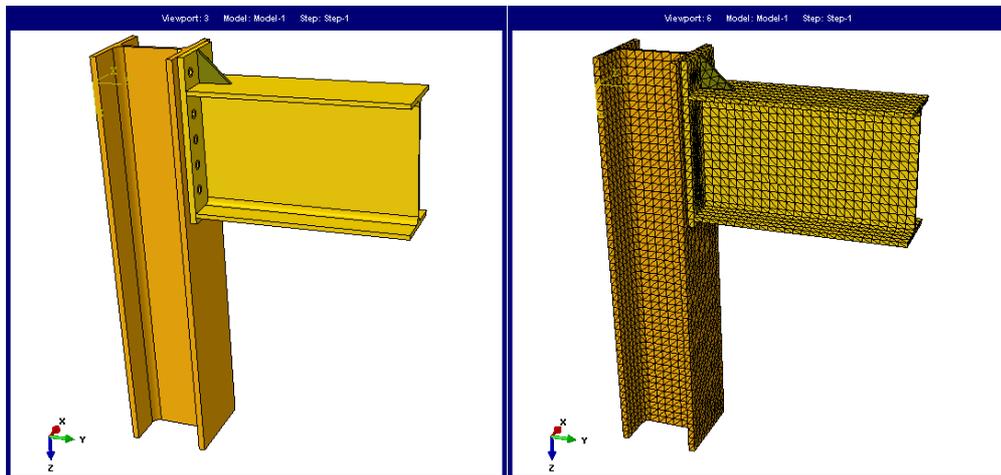


Figure 4.12. Positionnement des boulons.

Tableau 4.2. Dimension de la position des boulons.

e_1 (m)	e_2 (m)	p_1 (m)	p_2 (m)	p_1' (m)
0.08	0.03	0.08	0.08	0.06

On représente ainsi sur les figures suivantes la modélisation et le maillage de système poteau-poutre réalisé pour le cas d'un assemblage par platine débordante sans et avec raidissage.

**Figure 4.13.** Modélisation et maillage de l'assemblage avec platine d'extrémité débordante sans raidisseur.**Figure 4.14.** Modélisation et maillage de l'assemblage avec platine d'extrémité débordante avec raidisseur.

L'analyse de l'assemblage cité précédemment en utilisant ABAQUS nous donne les résultats tels que montre les deux figures suivantes.

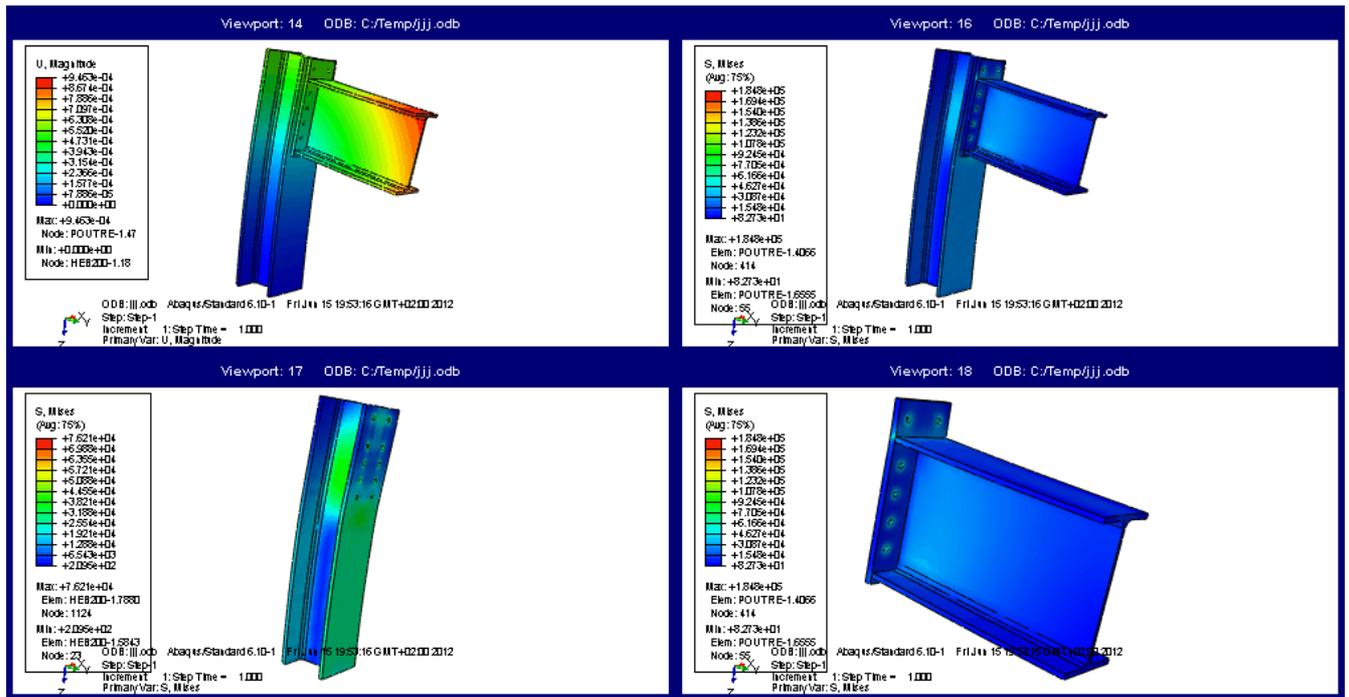


Figure 4.15. État de contrainte pour l'assemblage poteau-poutre par platine d'extrémité débordante (sans raidisseur).

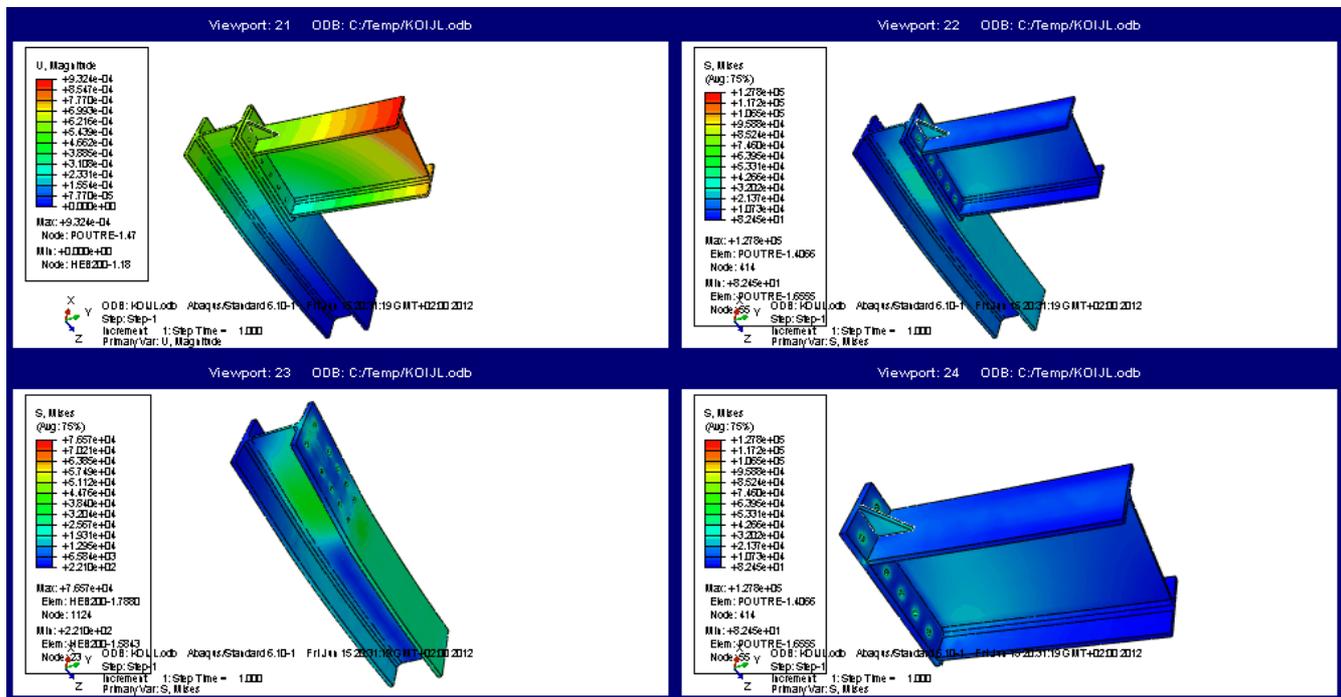


Figure 4.16. État de contrainte pour l'assemblage poteau-poutre par platine d'extrémité débordante (avec raidisseur).

D'après les résultats, on voit bien que l'utilisation d'une platine débordante sur la partie supérieure de la poutre réduit la valeur de sa flèche. Le déplacement de l'extrémité de la poutre pour le cas de l'assemblage avec platine non débordante et sans raidisseur donne une valeur de 1.167 mm qui passe à 0.945 mm dans le cas d'une platine débordante sans raidisseur.

L'utilisation d'une platine d'extrémité débordante engendre des contraintes de flexion au niveau de cette dernière, ce qui nécessite l'utilisation d'un raidisseur, en effet, les résultats obtenus avec la présence du raidisseur montrent la diminution des valeurs des contraintes dans la platine.

CONCLUSION GENERALE

Dans notre projet de fin d'étude on a modélisé et étudié le comportement des assemblages par obstacle et par adhérence en 3D à l'aide du logiciel élément fini ABAQUS.

La modélisation par éléments finis des assemblages métalliques est une opération très complexe, cette difficulté réside dans le traitement des conditions de contact entre les différents éléments de l'assemblage, ainsi que la modélisation de l'assemblage lui-même.

L'analyse du comportement des assemblages a permis de faire ressortir les conclusions suivantes :

- Pour le cas des assemblages par butée

Pour les plaques ;

- La ruine de l'assemblage peut se manifester par la pression diamétrale qui est influencée par la distance e_1 dans la direction de l'effort.
- La vérification réglementaire de la résistance d'un boulon ordinaire doit porter sur la résistance au cisaillement du boulon lui-même et sur la capacité des plaques de l'assemblage à équilibrer la pression diamétrale.
- La répartition des contraintes n'est pas uniforme pour l'assemblage long en partant des boulons extrême jusqu'aux boulons centraux qui est muni d'un coefficient de réduction β_{Lf} pour la résistance au cisaillement, et le cas contraire relatif à l'assemblage court.

Pour l'assemblage avec cornière

- Pour ce cas d'assemblage, dans le calcul des contraintes dans les boulons selon la RDM, on doit tenir compte de la flexion du boulon.

- Pour le cas des assemblages par frottement
 - Les assemblages poteaux poutres par platine d'extrémité débordante d'un seul côté peuvent représenter un meilleur comportement par rapport aux assemblages poteaux poutre par platine d'extrémité non débordante.
 - La présence du raidisseur de platine d'extrémité permet une augmentation de la résistance de l'assemblage.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. HAZARD, F. LELONG et B. QUINZAIN : «MIMOTECH Structure Métalliques». Editions CASTEILLA-25 rus Monge 75005 PARIS-1997, mise à jour 2004.
- [2] A. ABIDELAH, A. BOUCHAIR, D. KERDAL, N. KAID et K. AYED : « Etude numérique du comportement des assemblages boulonnées avec platine d'about », Faculté d'Architecture et de Génie Civil, université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf d'ORAN, Algérie.
- [3] J. CHAKARI thèse doctorat « Modélisation d'une fixation par élément filetés d'une structure à forte excentration de chargement et soumise a des sollicitations en fatigue ». Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse, INSA Toulouse. France 2007.
- [4] Annexe J révisée de l'Eurocode 3.
- [5] P. MAITRE : « FORMULAIRE DE LA CONSTRUCTION METALIQUE ». Groupe Moniteur Paris, 1997.
- [6] La norme de NFP 22460.
- [7] J. MOREL : « Conception et calcul des structure métallique ». Edition Eyrolles, 2005.
- [8] J-Charles GAVEUR : « Modélisation par élément finis ».
- [9] A. LEBED : « Méthode des éléments finis approche pratique en mécanique des structure ».
- [10] M. PRAT : « La modélisation des ouvrages ».
- [11] J-Louis. BATOZ : « Modélisation des structures par élément finis ».

[12] Manfred A. HIRT et R. BEZ : « Construction métallique notion fondamentales et méthodes de dimensionnement ». De l'école polytechnique fédérale de LAUSANNE
Volume 10, 1994.

[13] J.M. ARIBERT, A. LACHAT et O. N. DINGA : « Modélisation du comportement d'assemblage métallique semi-rigide de type poteau-poutre avec platine d'extrémité ». 2011.