HAL
open science

COMPORTEMENT MECANIQUE D'ASSEMBLAGES POTEAU-POUTRE BOULONNES RAIDIS

Sofiane Boumedyen Merad Boudia, Nadir Boumechra, Abdelghani Missoum, Abdelhamid Bouchaïr

▶ **To cite this version:**

Sofiane Boumedyen Merad Boudia, Nadir Boumechra, Abdelghani Missoum, Abdelhamid Bouchaïr. COMPORTEMENT MECANIQUE D'ASSEMBLAGES POTEAU-POUTRE BOULONNES RAIDIS. Algérie Equipement, 2018, 58, pp.12-20. 10.6084/m9.figshare.21804123 . hal-04090947

HAL Id: hal-04090947

https://hal.science/hal-04090947v1

Submitted on 6 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COMPORTEMENT MECANIQUE D'ASSEMBLAGES POTEAU-POUTRE BOULONNES RAIDIS

MECHANICAL BEHAVIOUR OF STIFFENED COLUMN-BEAM

Reception : 28/09/2017 Acceptation : 25/12/2017 Publication : 31/01/2018

S. B. MERAD BOUDIA[1], N. BOUMECHRA[1], A. MISSOUM[1], A. BOUCHAIR[2,3]

[1]EOLE, Laboratoire Eau et Ouvrages dans Leur Environnement, Département de Génie civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie meradsofiane@yahoo.fr
n_boumechra@yahoo.fr
a.missoum@gmail.com

[2]Université Blaise Pascal, Institut Pascal, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France. abdelhamid.bouchair@univ-bpclermont.fr

[3]CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 Aubière, France.

Résumé- Le présent article décrit le comportement mécanique et l'évaluation des efforts d'assemblages boulonnés poteau-poutre en présence de la platine d'about avec ou sans raidisseurs. Les raidisseurs sont utilisés dans les assemblages pour les renforcer localement. Les positions et les dimensions des raidisseurs modifient la rigidité locale et globale des assemblages ainsi que leurs résistances et leurs capacités de rotation. Un bilan des approches d'études d'assemblages métalliques boulonnés disponibles dans la littérature est présenté. Il concerne les approches analytiques, numériques et expérimentale. Ensuite, un modèle numérique est proposé pour évaluer la performance mécanique des assemblages boulonnés en considérant quelques configurations géométriques et différents modes de raidissage. Un regard particulier est porté sur la rigidité initiale de l'assemblage et sa résistance élasto-plastique. Les résultats numériques sont comparés à ceux donnés par des études expérimentales existantes.

Mots - clés : Assemblages, Raidisseurs, Résistance, Rotation, Comportement.

Abstract- The present article describes the mechanical behavior and the strength assessment of a bolted beam-column in the presence of the end plate with or without stiffeners. The stiffeners are used in joints to strengthen locally. Their positions and dimensions modify the local and the overall stiffness of the connections, as their resistances and rotation capacity. A review of the bolted steel connections studies is available in the literature and so presented. It concerns the analytical approaches, numerical and experimental. Then, a numerical model is proposed to evaluate the mechanical performance of the bolted joints considering several geometric configurations and different modes of stiffening. A special attention is focused on the initial rigidity of the assembly and its elastoplastic resistance. The numerical results are compared with those given by the existing studies.

Keywords: Connections, Stiffeners, Resistance, Rotation, Behaviour.

1-Introduction

Les liaisons poteau-poutre boulonnés par platine d'about sont souvent utilisés dans les structures métalliques pour leur bonne résistance vis à vis des efforts extérieurs (moments, efforts tranchants ...), leurs performances ainsi que leur facilité de montage sur site en comparaison avec les assemblages soudés. Leur comportement a un effet direct sur le comportement global de la structure.

En réalité, les assemblages boulonnés par platine d'about peuvent être généralement classés comme semi-rigides. Les approches analytiques des codes de calculs notamment

l'Eurocode 3, Réf. [2] permettent de classer les assemblages par leur résistance ou par leur rigidité.

Pour mieux optimiser ces assemblages, des techniques de renforcement existantes par des plats soudés ou des jarrets peuvent entraîner une augmentation de résistance remarquable. Le manque d'informations sur l'effet de ces renforts au niveau des assemblages dans la littérature offre un domaine d'intérêts pour les ingénieurs et les chercheurs.

Beaucoup de recherches ont porté sur le comportement moment-rotation des assemblages poteau-poutre boulonnés par platine d'about. Shi Y. et al., (2006) Réf. [5], présentent un modèle théorique pour l'évaluation de la loi moment-rotation dans les assemblages boulonnés avec platine d'about débordante. Abidelah A. et al., (2012) Réf. [1], présentent une étude numérique et expérimentale sur les assemblages boulonnés raidis au niveau de la platine d'about. Rafaat E. et al., (2013) Réf. [3], présentent une étude numérique suivie par une étude paramétrique dans un assemblage cruciforme raidi.

Le premier objectif de notre travail est de développer un modèle élément fini 3D d'un assemblage poteau-poutre boulonné par platine d'about en tenant compte de la précontrainte des boulons et du contact entre les éléments assemblés et le comparer avec les résultats expérimentaux Réf. [4]. Le second objectif est d'utiliser ce modèle pour mener une étude paramétrique en vue d'évaluer l'effet de différents paramètres dans un assemblage boulonné avec platine d'about.

2- Géométrie des assemblages étudiés

Afin d'illustrer le comportement mécanique des assemblages boulonnés par platine d'about sous chargement monotone, quatre assemblages unilatéraux testés expérimentalement Réfs. [4 & 5] sont choisis. Le premier spécimen possédant une platine d'about non débordante est considéré comme assemblage de référence. Les trois autres spécimens comportent une platine d'about débordante, la différence se traduisant dans le mode de raidissage. La Fig. 1 et le tableau 1 décrivent les caractéristiques géométriques et la configuration des quatre spécimens étudiés respectivement.

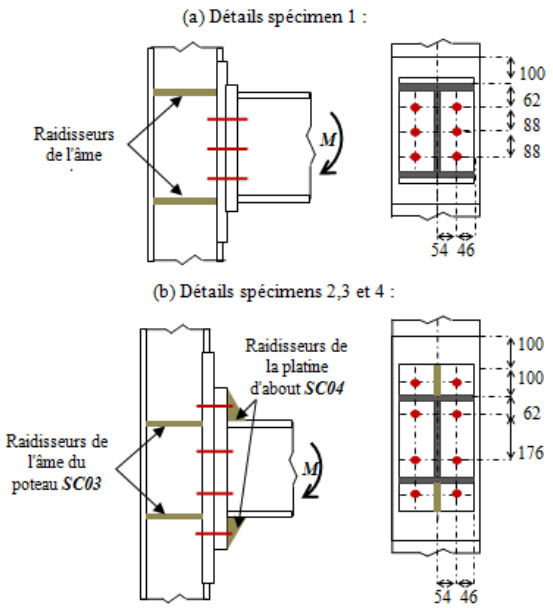

Figure 1 : Détails géométriques des spécimens étudiés

Figure 1 : Geometric details of the studied joints

Tableau 1 : Configuration des différents spécimens

Table 1: Configuration of differents specimens

Spécimens	Type de platine d'about	Nombre de boulons	Raidisseurs Poteau
SC01	Non débordante	6	oui
SC02	Débordante	8	oui
SC03	Débordante	8	oui
SC04	Débordante	8	non

3- Simulation numérique

3.1- Modèle élément fini

Le logiciel Cast3m 2015 a été utilisé pour simuler le comportement d'un assemblage poteau-poutre boulonné soumis à un chargement monotone.

Tous les éléments assemblés poteau, poutre, plats et boulons sont modélisés avec des éléments cubiques hexaédriques à 8 nœuds (CUB8) ayant trois degrés de liberté par nœud (3 déplacements).

La modélisation numérique et le maillage sont gérés en vue de tenir compte des conditions de liaison et de contact entre les différents éléments : semelles du poteau, platine d'about, poutre et boulons. La précontrainte des boulons est modélisée par une pression sur la surface de la tête de boulon et de l'écrou. Le contact entre les surfaces internes des trous et les boulons est considéré glissant sans frottement. La Fig. 2 illustre un aperçu du maillage développé pour les quatre assemblages modélisés.

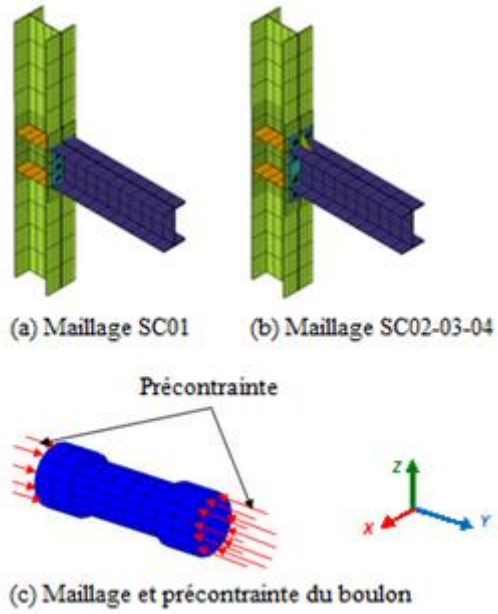

Figure 2 : Modèle élément fini 3D

Figure 2 : 3D finite element model

3.2- Données matérielles

Dans la présente étude, le modèle expérimental ainsi que les résultats des essais de Gang Shi et al., (2010) ont été repris et ont servi aussi pour une étude comparative Réf. [4]. Pour les différents éléments constituant les assemblages étudiés, la limite élastique, la limite ultime, le module d'élasticité, le coefficient de Poisson et la précontrainte des boulons sont définis dans le tableau 2.

Les données matérielles ainsi que la précontrainte des boulons utilisées dans la modélisation sont celles obtenues à partir des essais expérimentaux de Yongjiu Shi et al., (2006) Réf. [5]. Pour les différents éléments constituant chaque assemblage, la limite élastique, la limite ultime, le module d'élasticité, le coefficient de Poisson et la précontrainte des boulons sont définis dans le tableau 2.

Tableau 2 : Données matérielles

Table 2 : Materials data

Matériau	Limite élastique fy (N/mm²)	Limite ultime fu (N/mm²)	Module de Young E (N/mm²)	Précontrainte kN
Acier t ≤ 16 mm	391	559	190707	-
Acier t > 16 mm	363	573	204228	-
Boulon M20	995	1160	204228	185

3.3 Condition aux limites et chargement

Le chargement est représenté par un déplacement imposé à l'extrémité droite de la poutre pour générer un moment de flexion sur l'assemblage (Fig. 3). Les blocages sont définis comme suit :

-Blocage de l'extrémité inférieure du poteau dans les 3 directions ;

-Blocage de l'extrémité supérieure du poteau dans les directions Ux et Uy;

-Blocage de l'extrémité éloignée de la poutre dans la direction x pour éviter les problèmes de torsion et déversement causés par le chargement.

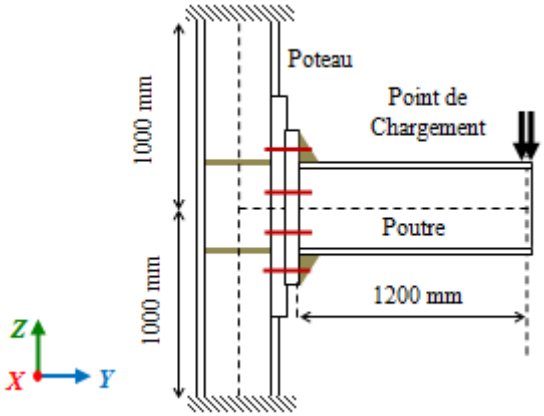

Figure 3 : Conditions aux limites et de chargement

Figure 3 : Boundary conditions and loading

4- Résultats

4.1- Validation du modèle

Le modèle numérique a été validé avec ceux des essais expérimentaux Réf. [4] en termes de force-déplacement, moment-rotation et déformées des assemblages. Les résultats numériques obtenus sont comparés avec ceux de essais (Fig. 4). Les essais expérimentaux ont atteint un déplacement supérieur à celui de la modélisation du fait que les assemblages ont été chargés jusqu'à la rupture contrairement au modèle éléments finis proposé, l'analyse est portée uniquement sur un comportement élasto-plastique.

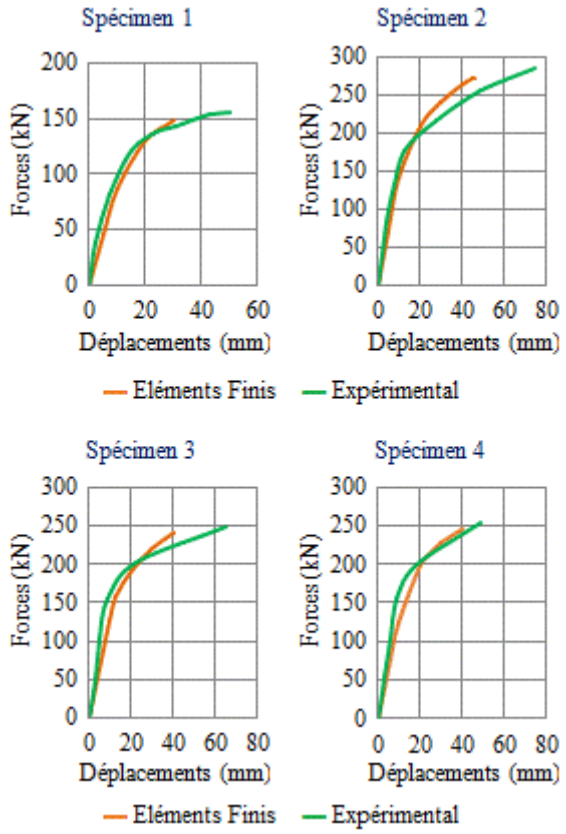

Figure 4 : Courbes forces - déplacements

Figure 4 : Force - displacement curves

4.2- Relation moment-rotation

Le moment de l'assemblage est celui de l'effort appliqué multiplié par le bras de levier égal à 1200 mm. Les moments obtenus sont listés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Moments maximum obtenus par essais et modèle numérique

Table 3 : Maximum moments obtained by tests and numerical model

Spécimen	Moment (kN.m)		
	Modélisation	Expérimentale	Modélisation / Expérimentale
SC01	178,77	186,02	0,96
SC02	328,03	345,12	0,95
SC03	289,89	307,34	0,97
SC04	295,51	301,95	0,97

La rotation Φ est définie à partir des déplacements relatifs entre les deux lignes médianes des semelles supérieure et inférieure de la poutre. Elle se divise en deux parties : rotation (Φ_s) due au cisaillement du panneau d'âme du poteau et rotation (Φ_{ep}) causée par la déformation flexionnelle entre la platine d'about et la semelle du poteau incluant l'allongement des boulons (Fig. 5).

La rotation par cisaillement Φ_s est calculée par : Δ / ht et la rotation de la déformation Φ_{ep} par δ / ht donnant $\Phi = \Phi_s + \Phi_{ep}$ où Δ est la différence de déplacements du panneau d'âme du poteau au niveau des lignes médianes des semelles de la poutre , δ est le jeu entre la platine d'about et la semelle tendue du poteau et h_t est la distance entre les lignes médianes des semelles de la poutre et qui est égale à 288 mm.

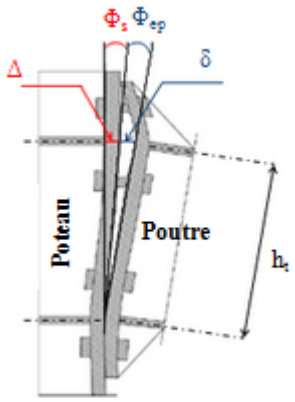

Figure 5 : Rotation dans un assemblage boulonné

Figure 5 : Rotation in bolted joint

La relation moment-rotation présentée dans l'Eurocode 3 Réf. [2] est une courbe multilinéaire simplifiée définie à partir des trois caractéristiques suivantes : moment résistant, capacité de rotation et rigidité initiale. Ces trois caractéristiques sont retrouvées dans le tableau 4 pour le modèle proposé.

Tableau 4 : Résultats MEF : moment, rotation et rigidité initiale

Table 4 : FEM results : moment, rotation and intial stiffness

Spécimens	Moment (kN.m)	Rotation Φ (mrd)	Rigidité initiale Sj,ini (kN.m/Rad)
SC01	178,77	19,7	19204
SC02	328,03	30,4	36819
SC03	289,89	25,8	33135
SC04	295,51	26,4	31775

La géométrie de la platine d'about donne un effet remarquable en termes de résistance. Elle est augmentée de +33% quand elle est débordante mais non raidie (SC03) et de +45% quand elle est débordante et raidie (SC02).

Il est clair (Fig. 6) que le spécimen 2 qui correspond à la platine débordante avec les deux modes de raidissage (raidisseurs d'âme du poteau et de platine d'about), offre la meilleure performance en termes de résistance et de rotation. Cela se traduit par l'effet du raidissage combiné.

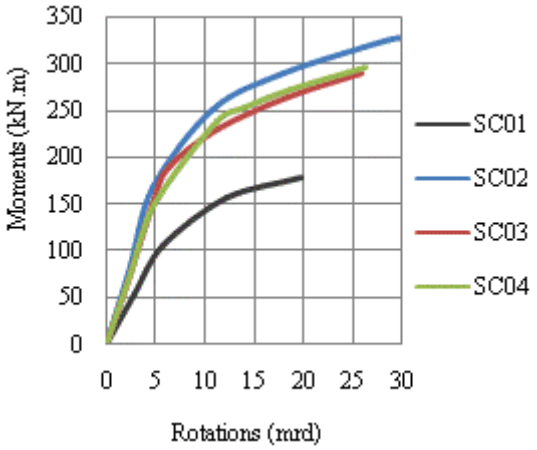

Figure 6 : Courbes moments-rotations

Figure 6 : Moments-rotations curves

4.3- Déformées des assemblages

Dans cette partie, une comparaison des déformées du modèle MEF avec celles des essais expérimentaux Réfs. [4 & 5]est réalisée (Fig. 7). La comparaison montre que les simulations numériques concordent bien avec celles expérimentales.

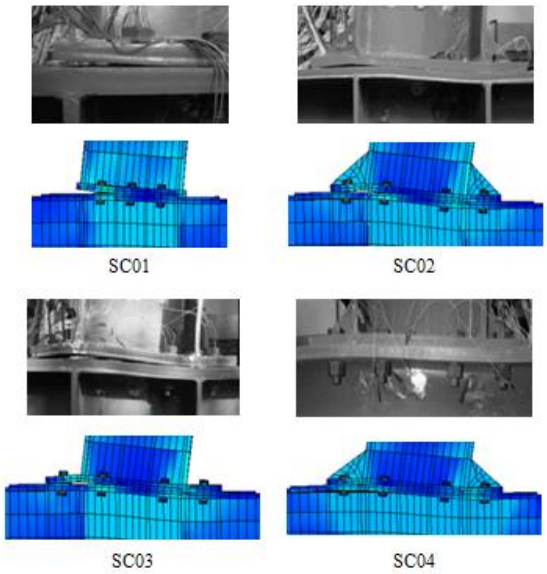

Figure 7 : Déformées des assemblages

Figure 7 : Joints deformed shapes

5- Etude paramétrique

Un assemblage peut être décomposé de trois zones : zone tendue, comprimée et cisaillée (Fig. 8). Pour mieux comprendre son comportement, plusieurs paramètres vont être étudiés dans les différentes zones citées et voir leur influence en termes de résistance, rigidité et capacité de rotation. Ces paramètres concernent les éléments listés dans le tableau 5.

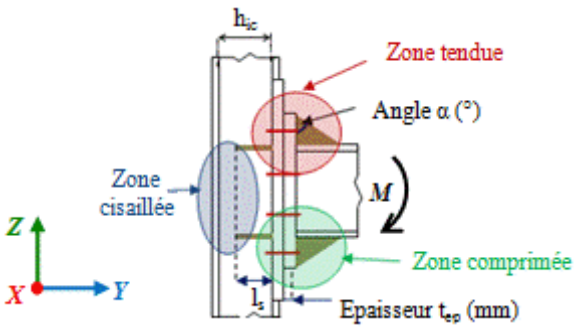

Figure 8 : Détails des paramètres à varier

Figure 8 : Details of the parameters to vary

Tableau 5 : Liste des paramètres étudiés

Table 5 : List of studied parameters

Composants	Paramètres	Variables
Platine d'about	Epaisseur t_{ep} (mm)	- 16 mm - 20 mm - 24 mm
Raidisseur de la platine d'about	Disposition	- Sans raidisseurs - Raidisseur en zone tendue - Raidisseur en zone comprimée - Raidisseurs combinés
	Angle α (°)	- Sans raidisseurs - α = 30° - α = 45° - α = 60°
Raidisseur de l'âme du poteau	Disposition	- Sans raidisseurs - Raidisseur en zone tendue - Raidisseur en zone comprimée - Raidisseurs combinés
	Longueur l_s (mm)	- Sans raidisseurs - $l_s = 1/3\ h_{ic}$ - $l_s = 2/3\ h_{ic}$ - $l_s = h_{ic}$

Où h_{ic} : hauteur du poteau moins la hauteur des deux semelles $h_{ic} = h_c - (2.t_{fc})$;

h_c : hauteur du poteau égale à 300 mm ;

t_{fc} : épaisseur de la semelle du poteau égale à 12 mm.

Deux modèles ASS01 et ASS02 feront l'objet d'assemblages de référence afin de pouvoir comparer l'influence de chaque paramètre. Ces modèles sont présentés par la suite dans les sections suivantes.

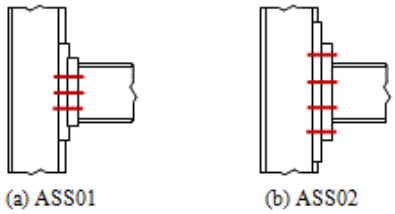

Figure 9 : Assemblages de référence

Figure 9 : Reference joints

5.1- Effet de l'épaisseur de la platine d'about

En considérant l'assemblage SC02 (platine d'about débordante avec raidisseurs), trois épaisseurs de la platine d'about de 16, 20 et 24 mm ont été modélisées respectivement. Les résultats de l'analyse sont montrés dans la Fig. 10. Il a été remarqué que la capacité de rotation diminue quand l'épaisseur de la platine d'about augmente contrairement au moment au niveau de l'assemblage qui augmente de +12% (16 mm à 20 mm) et seulement de +3% (20 mm à 24 mm). Il est conseillé de choisir une épaisseur moyenne de la platine d'about pour ne pas avoir un élément surdimensionné qui peut causer la rupture ou la plastification avancée des autres éléments tendus notamment les boulons ou la semelle du poteau.

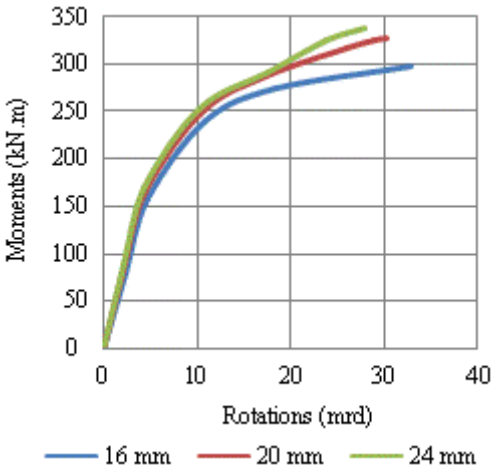

Figure 10 : Etude paramétrique - épaisseur de la platine

Figure 10 : Parametric study - thickness of the end plate

5.2- Etude des paramètres relatifs au raidisseur de l'âme du poteau

Six configurations d'assemblages ont été analysées et comparées. Les résultats comparatifs se résument dans la Fig. 12.

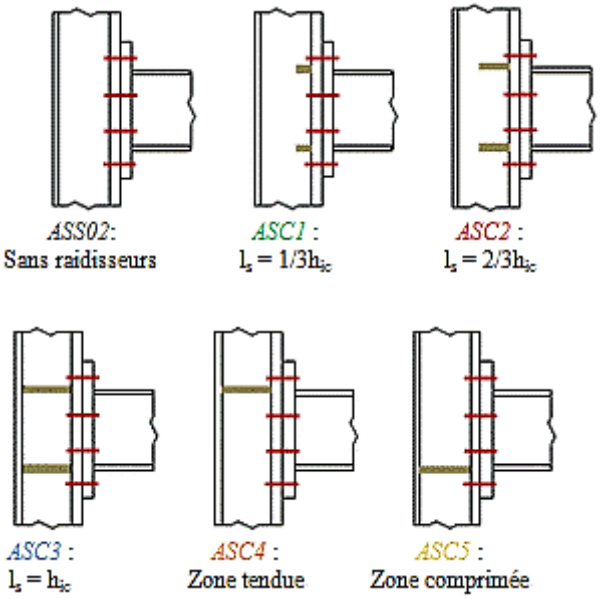

Figure 12 : Détails des paramètres à varier relatifs à l'âme du poteau

Figure 12 : Details of the parameters to vary relative to the column web

Dans cette partie, l'assemblage ASS02 non raidi possédant une platine d'about débordante est utilisé comme référence. La première comparaison traite de l'effet de la longueur l_s des raidisseurs transversaux de l'âme de poteau. D'après les résultats (Fig. 13), pour des raidisseurs ayant une épaisseur identique à celle de la semelle de la poutre (12 mm) et une longueur totale (276 mm), le moment peut croitre jusqu'à +6,6% et la rigidité initiale jusqu'à +19,8%. Des raidisseurs de longueur partielle apportent pratiquement la même chose que ceux de ASC3 en terme de résistance et un peu moins en terme de rigidité. Cet apport se résume dans le tableau 6.

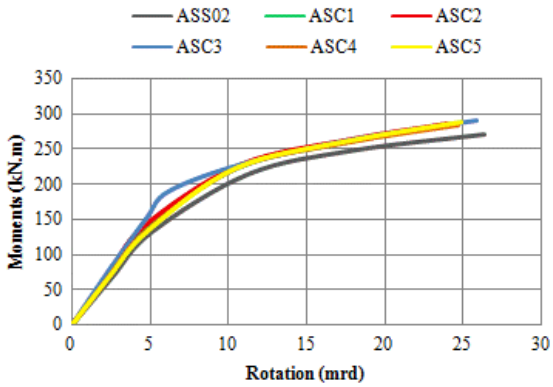

Figure 13 : Etude paramétrique de l'effet de la longueur et de la position de raidisseur de l'âme du poteau

Figure 13 : Parametric Study of the effect of the length of the stiffener and position of the column web

Tableau 6 : Influence de la longueur l_s

Table 6 : Influence of l_s length

Variation de la longueur du raidisseur transversal	Moment	Rigidité
(1/3). hic à (2/3). hic	+0.89%	+1.83%
(2/3). hic à hic	+0.91%	+6.96%
(1/3). hic à hic	+1.80%	+8.79%

La deuxième comparaison conduit à voir l'effet de la disposition des raidisseurs transversaux. Une âme raidie en zone comprimée résiste mieux qu'une âme raidie en zone tendue. Le moment de ASC4 est inférieur à celui de ASC5 pour la simple raison qu'il est limité par la résistance au cisaillement du panneau d'âme. La rigidité reste la même pour les deux configurations. La semelle de poteau dans la zone tendue d'un assemblage non raidi fléchit facilement. Cependant, les raidisseurs transversaux réduisent le déplacement Uy de -10% dans le point qui se trouve au même niveau de la ligne médiane de la semelle supérieure de la poutre (Fig. 14). La présence de deux raidisseurs permet d'avoir un cadre entourant le panneau d'âme (les 2 raidisseurs et les deux semelles du poteau) et d'augmenter ainsi la résistance et la rigidité en cisaillement du panneau d'âme (Fig. 15).

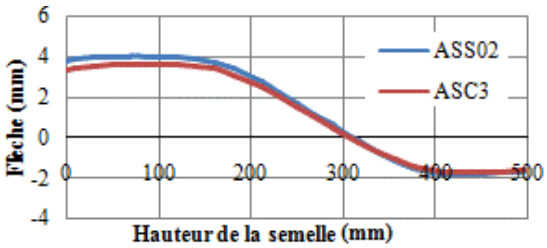

Figure 14 : Flèche semelle de poteau raidie et non raidie

Figure 14 : Deflection of stiffened and unstiffened column flange

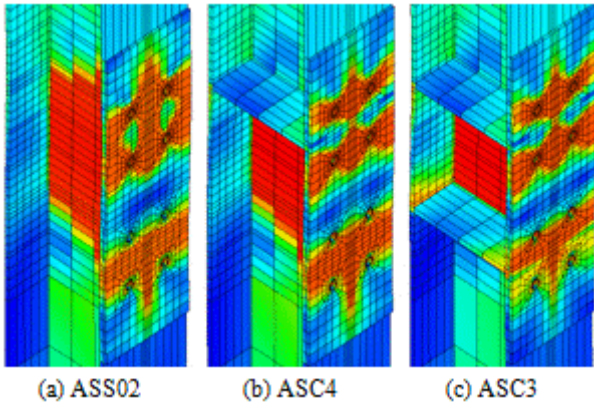

Figure 15 : Influence des raidisseurs sur la distribution de contraintes de von Mises

Figure 15 : Influence of transverse stiffeners on the distribution of von Mises stresses

5.3- Paramètres relatifs au raidisseur de la platine d'about

Six configurations d'assemblages différentes ont été analysées et comparées. Ces configurations concernent des platines d'about débordantes ou non. Pour les platines débordantes, les raidisseurs sont positionnés selon différentes configurations (Fig. 16). Les résultats sont présentés dans la Fig. 17.

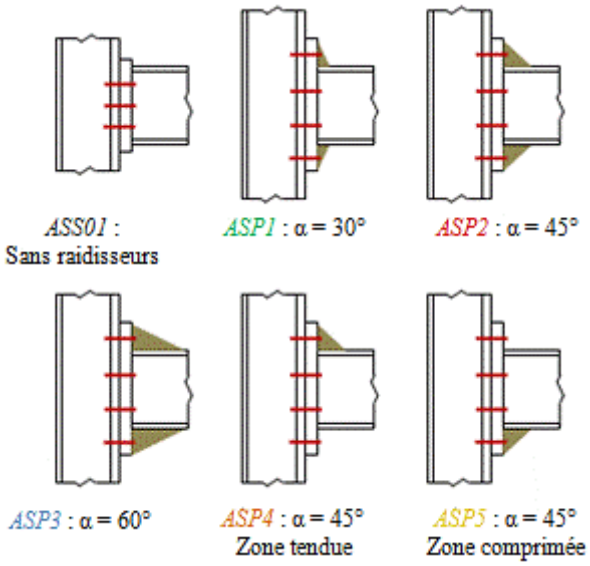

Figure 16 : Détails des paramètres à varier relatifs aux raidisseurs de la platine d'about

Figure 16 : Details of the parameters to vary relative to stiffeners of the end plate

Pour ce cas d'étude, l'assemblage ASS01 non raidi possédant une platine non débordante est pris comme référence. La comparaison va porter en premier lieu sur l'analyse de l'effet de la géométrie de la platine d'about (débordante ou non débordante). En comparant avec celle débordante (ASP2 45°), le moment et la rigidité initiale sont largement supérieurs et peuvent avoir une augmentation de +39% et +47% respectivement. De plus, la rotation augmente du fait d'avoir une platine d'about débordante.

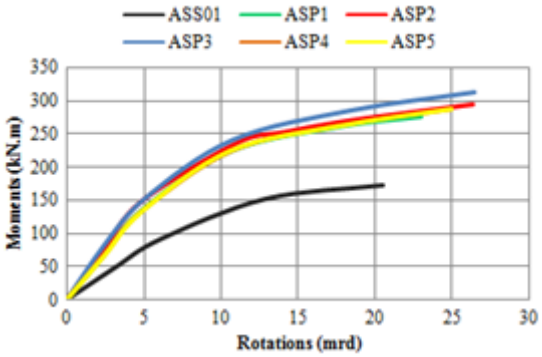

Figure 17 : Etude paramétrique de l'effet du raidisseur de la platine d'about (angles et positions)

Figure 17 : Parametric study of the stiffening effect of the end plate (angles and positions).

Par ailleurs, on remarque l'influence de l'angle d'un raidisseur de platine d'about. La croissance de l'angle cause une déformation de la platine d'about, cela engendre des rotations plus importantes. Au-delà de 45°, ces rotations se stabilisent à un certain seuil. Concernant le moment et la rigidité initiale, l'augmentation de ces paramètres est résumée dans le tableau 7.

Tableau 7 : Influence de l'angle du raidisseur

Table 7 : Influence of the angle of stiffener

	Moment	Rigidité
30° - 45°	+6%	+10%
45° - 60°	+5%	+8%

Pour le cas de l'effet de la disposition des raidisseurs de platine d'about, les résultats montrent que la position du raidisseur n'a pas une grande influence. Quelle que soit sa position en zone tendue ou comprimée, une diminution du moment et de la rigidité initiale de -3% et -13% respectivement en la comparant avec ASP2.

Conclusions

Dans cette étude, dans un premier temps, quatre assemblages poteau-poutre boulonnés avec platine d'about sous un chargement monotone sont modélisés et comparés à des travaux expérimentaux en vue de valider le modèle. Dans un deuxième temps, douze autres configurations géométriques ont fait l'objet d'une étude paramétrique pour analyser l'effet des différents composants (platine d'about et raidisseurs).

L'étude paramétrique a permis de monter que la simulation numérique peut représenter de façon satisfaisante le comportement réel d'un assemblage métallique, y compris la charge limite, les relations force-déplacement et moment-rotation ainsi que les déformations. Elle a montré aussi que la contribution des différentes parties de l'assemblage à son comportement mécanique en comparant notamment les platine débordante et non débordante. L'effet des raidisseurs de poteaux et de platines d'about a été évalué, ce qui permet d'ouvrir des perspectives pour une étude plus étendue en vue de mieux maîtriser le rôle des raidisseurs dans les assemblages.

Ces travaux vont se poursuivre en enrichissant les familles d'assemblages raidis et en comparant les résultats de la modélisation à des approches analytiques existantes ou à développer.

Références bibliographiques

[1] A. Abidelah, A. Bouchaïr, D. Kerdal, N. Kaid, K. Ayed., 2012. *Experimental and analytical behavior of bolted end-plate connections with or without stiffeners*. Journal of Constructional Steel Research 63 (2012)), pp 13–27.

[2] Eurocode 3., 2005. *Calcul des structures en acier Partie 1-8* : Calcul des assemblages. EN 1993-1-8:2005.

[3] Rafaat E. S. Ismail, A. Shamel Fahmy, A. M. Khalifa and Yosra M. Mohamed., 2013. *Behavior of End-Plate Steel Connections Stiffened with Stiffeners of Different Geometrical Dimensions*. Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation (ISSN: 2315-5124) Vol. 3(3) pp. 055-069, April, 2014.

[4] Shi, G., Shi, Y., Wang, Y. and Bijlaard. F.S.K., 2010. *Monotonic Loading Tests on Semi-Rigid End-Plate Connections with Welded I-Shaped Columns and Beams*. Advances in Structural Engineering, 2010-1, 13(2), pp. 215-230.

[5] Yongjiu Shi, Gang Shi, Yuanqing Wang., 2006. *Experimental and theoretical analysis of the moment–rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections*. Journal of Constructional Steel Research 63 (2007), pp 1279–1293.