

ANALYSE DE LA ZONE TENDUE D'UN ASSEMBLAGE DE CROISEMENT POTEAU POUTRE TYPE BOULONNE

M. MIMOUNE¹, N. MEHIDI², F.Z. MIMOUNE¹

¹Département de Génie Civil – Faculté des Sciences de l'Ingénieur – Université Mentouri Constantine

²Département de Génie Civil – Faculté des Sciences de l'Ingénieur – Université de Jijel

Reçu le 13 Juillet 2010 – Accepté le 15 Mai 2011

Résumé

Cet article présente une étude expérimentale sur des assemblages boulonnés par platine d'extrémité en forme de T, soumis à un chargement statique. Les maquettes d'essais comportent ou non des raidisseurs de la semelle du T.

Ces assemblages sont testés en vue d'une modélisation de la partie tendue d'un assemblage de type poteau – poutre boulonné par platine d'extrémité débordante. L'épaisseur de la platine (semelle du T) constitue le principal paramètre dans cette étude.

Ce travail présente une méthodologie d'essais faisant intervenir des moyens d'acquisition de données.

L'analyse des résultats d'essais a permis de mettre en évidence le rôle de la platine d'extrémité sur la charge de ruine et sur les différents modes de ruine observés expérimentalement.

Mots clés : Assemblage de croisement, acquisition de données, boulon, essais, mode de ruine ; platine, raidissage.

Abstract

This paper presents an experimental study on bolted end plate connections in the shape of T-square, subjected to a static loading, models of tests include or no of stiffeners of the T-square flange.

These assemblies are tested in view of a modeling of the part tended of a type column - beam bolted by overflowing end plate.

The thickness of the end plate (flange of the T-square) constitutes the main parameter in this study.

The analysis of test results permits to put in evidence the role the end plate on the different failure modes that can occur.

Key words: Piping erosion, suffusion, Darcy law, Navier Stokes equations, finite difference, concentration, eroded particle.

ملخص

نعرض في هذا المقال دراسة تجريبية حول الروابط باللواكب مجهزة بصفيحة حديدية من الشكل T، تحت تأثير حمولة ساكنة. مجسمات التجريب يمكن أن تحتوي أو لا على دعائم لقاعدة T.

هذه الروابط أجريت عليها التجارب من أجل نمذجة منطقة الشد في الرابط من نوع (عمود- عارضة) مشكل باللواكب ويحتوي على صفيحة حديدية فائضة.

سمك الصفيحة (قاعدة T) تشكل الوسيط الأساسي في هذه الدراسة. تحليل نتائج التجربة سمحت بتفسير حقيقي لدور الصفيحة على مختلف أنماط الهلاك التي يمكن أن تحدث.

حساب عددي، مطبق على نموذج مستخرج من مراجع علمية، سمح بإجراء مقارنة. النتائج المستخرجة تظهر حدود النموذج المستعمل. إضافات مقترحة.

الكلمات المفتاحية : رابط باللواكب – التجريب – التدعيم – النمذج

Les constructions métalliques ont connu un développement considérable du fait des recherches entreprises sur plusieurs plans, notamment celui de la préfabrication des éléments d'assemblages de structures métalliques et celui du dimensionnement et de la vérification. de sécurité, l'assemblage doit répondre à des considérations mécaniques et techniques.

Plusieurs études [1]

Pour des raisons [2] [3] menées sur les assemblages métalliques, ont abouti à des résultats concrets qui ont permis d'établir des codes de calcul [4] [5] [6].

Les structures métalliques et les assemblages en particulier, constituent la thématique principale de recherche que développe notre équipe, au sein du laboratoire de Mécanique des Sols et des Structures.

Dans cet article, on s'intéresse principalement à l'étude des assemblages boulonnés par platine d'extrémité débordante ou non et en particulier à la zone tendue d'un assemblage de croisement de type poteau - poutre.

La zone tendue sera modélisée par un tronçon en T élémentaire, qui fera l'objet d'une série d'essais de sept assemblages (cinq assemblages sans raidisseurs de platine et deux assemblages avec raidisseur de platine).

La flexion de la platine (semelle du T) sous l'effort transmis par la semelle de poutre (âme du T dans l'assemblage équivalent) est un paramètre déterminant.

D'autres paramètres peuvent également influencer le comportement de ces assemblages sous chargement statique.

La présence ou non de raidisseurs dans cette zone peut modifier la distribution des efforts et par conséquent le mode de déformation et de ruine de l'assemblage.

L'épaisseur de la platine d'extrémité, par son comportement à différentes étapes de chargement, montre l'intérêt à la prendre en compte comme paramètre essentiel dans la modélisation.

Il s'est avéré, suite aux observations en cours d'essais et à l'analyse des résultats, que des déformations très caractéristiques apportaient une contribution non négligeable à la résistance de l'assemblage.

1. PROGRAMME EXPERIMENTAL

L'étude présentée dans cet article rentre dans le cadre d'un programme de recherche sur les assemblages métalliques que développe l'équipe de recherche « conception des structures métalliques et mixte acier-béton », qui traite les assemblages boulonnés par platine d'extrémité sollicitée principalement en traction.

Le premier objectif était de faire monter les différentes manipulations, avec tous les accessoires électroniques et informatiques utiles et spécifiques à ces essais. Puis de réaliser les essais en précisant les différents modes de ruine des maquettes testées qui se subdivisent en deux catégories :

- Les assemblages équivalents sollicités en traction ne comportant pas de raidisseurs ;
- Les assemblages équivalents sollicités en traction comportant des raidisseurs.

Pour la réalisation de la forme en T, une platine a été soudée à une semelle par un cordon de soudure d'épaisseur 4mm, les boulons utilisés sont des boulons à haut résistance de classe 10.9 avec un diamètre de 16mm (HR 10.9, Φ16), qui ont été serrés manuellement permettant ainsi la liaison des deux platines qui forment l'assemblage.

Afin d'étudier le comportement des assemblages raidis, de type boulonné, nous avons conçu des éprouvettes B0 et B1, identiques à A0 et A1, mais comportant des raidisseurs d'épaisseurs égales à l'épaisseur de la platine d'extrémité (semelle du T). Nous nous sommes contentés d'étudier l'influence du raidissage des platines minces uniquement, car le raidissage des platines plus épaisses, tel que les éprouvettes A2, A3, A4 n'a aucun intérêt.

Les assemblages seront plus rigides, la ruine interviendra de toute façon par rupture brutale des boulons, aucune information sur la flexion de la platine ne sera tirée de ces essais. Il faut préciser au passage que, l'emploi de raidisseurs dans les assemblages n'arrange pas le coût global dans les constructions, [7] [8], et ne permettra pas d'obtenir un assemblage « semi-rigide », notion souvent recherchée dans l'analyse des structures.

2. CARACTERISITQUES DES ASSEMBLAGES TESTES

Les caractéristiques géométriques des assemblages en T équivalents, testés en laboratoire, sont présentées dans le **tableau 1** pour les assemblages sans raidisseurs et dans le **tableau 2** pour les assemblages avec raidisseurs. L'épaisseur de ces derniers est égale à l'épaisseur de la platine (semelle du T).

Tableau 1 : Caractéristiques des éprouvettes non raidis

N° d'essai	Schéma	Boulon M	t _p (mm)	t _{fc} (mm)	a (mm)
A0		16	08	08	04
A1		16	10	10	04
A2		16	12	12	04
A3		16	15	15	04
A4		16	20	20	04

3. DISPOSITIF D'ESSAI ET MOYENS DE MESURE

Les essais ont été réalisés dans le laboratoire de Mécanique des Sols et des Structures du Département de Génie Civil [9], sur une machine d'essai universelle de Type UPM 600 avec une force d'essai maximum égal à 600 KN, équipée de têtes de traction, l'effort nécessaire pour atteindre la ruine des éprouvettes est appliqué graduellement par palier de 10 KN.

Le montage des éprouvettes dans la machine se fait au niveau des tiroirs d'amarrage, en utilisant des mors pour éprouvettes à section rectangulaire. Le dispositif d'essais adopté est employé pour les sept assemblages testés est présenté sur la figure 1.

Tableau 2 : Caractéristiques des éprouvettes non raidis (suite)

e_1 (mm)	P_1 (mm)	e_2 (mm)	p_2 (mm)	b_p (mm)	l_1 (mm)	l_2 (mm)	d_0 (mm)	W (mm)	nbr de rangée
37.5	75	40	46	150	180	400	18	100	02
37.5	75	40	45	150	180	400	18	100	02
37.5	75	40	44	150	180	400	18	100	02
37.5	75	40	42.5	150	180	400	18	100	02
37.5	75	40	40	150	180	400	18	100	02

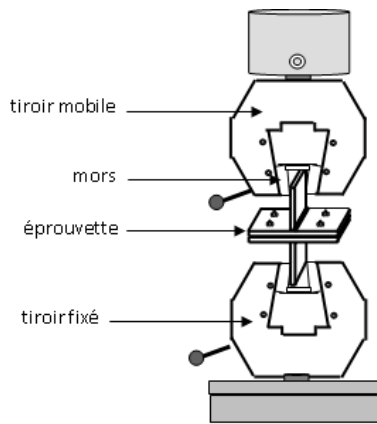


Figure 1 : Dispositif d'essai

La photo 1 montre le système de fixation des capteurs de déplacement au droit de la semelle tendue et au droit des boulons. Ce système de fixation a demandé énormément de temps et de réflexion pour l'adopter. Différentes colles, trouvées dans le commerce, ont été essayées afin de choisir celle qui donne le meilleur résultat pour fixer les capteurs. On a dû faire appel également au soudage pour réaliser des butées pour les capteurs.



Photo 1 : Positionnement des capteurs de déplacement au droit de l'axe du boulon et au droit de la semelle tendue

Après avoir terminé le montage de l'éprouvette et des capteurs de mesure, un chargement a été appliqué par

paliers, les mesures ont été enregistrées à chaque palier sur un PC qui est connecté par des fils de sorties au niveau des capteurs et à l'aide d'une carte d'acquisition qui permet de convertir les signaux analogiques en signaux numériques (figure 2).

Cette carte est référencée sur la marque « Advantech » et de Type PCLD-8710 et PCI-1711/1731. L'évaluation des résultats est obtenue par l'emploi d'un Logiciel de traitement de résultats dénommé Advantech GeniDAQ Demo.

4. OBSERVATIONS EXPERIMENTALES

L'analyse des modes de ruine obtenus a permis de les situer par rapport à ceux présentés dans la littérature. En effet, on peut classer les

modes de ruine observés en trois catégories :

- Première catégorie : Plastification totale de la platine d'extrémité ;
- Deuxième catégorie : Plastification de la platine et rupture des boulons ;
- Troisième catégorie : rupture des boulons.

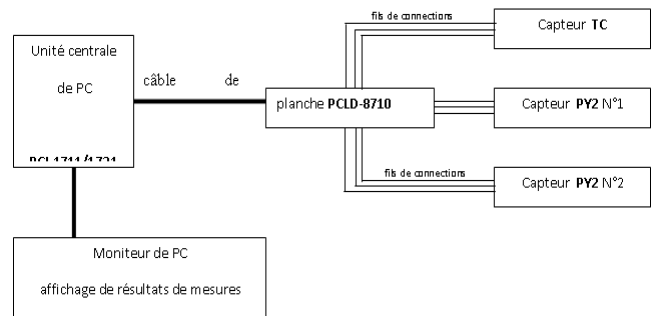


Figure 2 : Montage réalisé pour l'obtention des mesures par les mesures par le logiciel « Advantech GeniDAQ Demo »

Cette classification s'identifie à celles de l'Annexe J de l'Eurocode 3 [6] et à ceux présentés dans la littérature [1] [5] [10] [11]. En ce qui concerne la première catégorie, qui correspond en fait à des platines minces, dans notre cas 8mm et 10mm, l'assemblage continue à résister même avec de grandes déformations (photo 2), la rupture des boulons n'est pas à envisager dans ce cas.

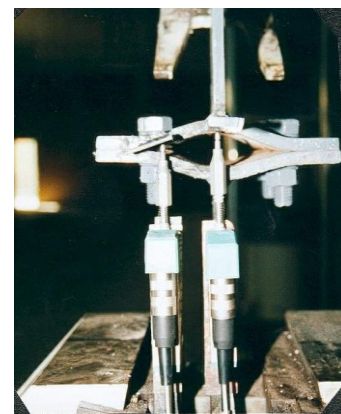


Photo 2 : Déformation importante de la platine d'extrémité avant rupture totale- tpl=8mm

On a constaté que la ruine totale de l'éprouvette intervient par rupture de la platine juste à côté du cordon de soudure (photo 3), ces derniers ont bien résistés.

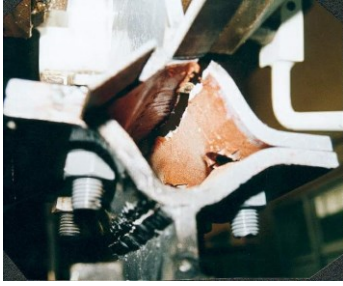


Photo 3 : Platine ruiné au droit de semelle tendue et traversée par les Boulons- tp=8mm

Des déformations très importantes ont été enregistrées, au niveau des perçages également, se traduisant par une ovalisation des trous sans que la platine ne soit traversée par l'écrou et le boulon [12].

La deuxième catégorie de mode de ruine, qui correspond à l'atteinte de la résistance de calcul des boulons, alors que des lignes de plastification se sont déjà développées à côté du cordon de soudure, a été constatée pour des assemblages d'épaisseur moyenne, dans notre cas la platine d'épaisseur 12mm et 15 mm (photo 4).



Photo 4 : Rupture du filetage de l'écrou du boulon a empêché la déformation de la platine de continuer- tp=12mm



Photo 5 : Ruine de l'assemblage par rupture des boulons- tp=15mm

Une augmentation de l'épaisseur de la platine, au-delà de 15mm, se traduit par une transmission directe de l'effort appliqué aux boulons qui cassent brutalement. Ce mode correspond à la troisième catégorie de ruine qui est généralement écarté lors du dimensionnement des assemblages (photo 5).

La présence des raidisseurs, pour les platines minces (8 mm et 10mm), n'influe pas sur la nature du mode de ruine, il est atteint de la même manière que celui des assemblages sans raidisseurs.

Il est à signaler qu'au début du chargement, une amorce de rupture du cordon de soudure semelle-raisseur (photo 6) s'est produite brutalement ce qui laisse penser que le cordon de soudure a été mal réalisé.

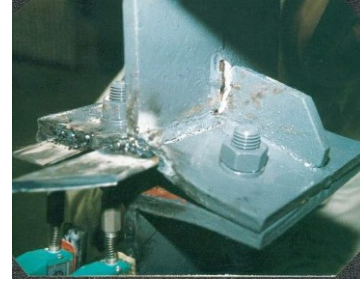


Photo 6 : Rupture du cordon de soudure-tp=10mm

5. RESULTATS DE L'ETUDE EXPERIMENTALE

Les résultats obtenus sur les assemblages ne comportant pas de raidisseurs sont donnés au tableau 3, et les résultats obtenus sur les assemblages avec raidisseurs sont donnés au tableau 4. Sur lesquels on précise les modes de ruine correspondant à chaque maquette d'essais.

L'analyse globale des résultats montre que :

- La résistance de l'assemblage augmente avec l'épaisseur de la platine d'extrémité (semelle du Té) ; en revanche, la capacité de déformation tend à diminuer.
- Pour les essais B0 et B1, la présence des raidisseurs en présence d'une épaisseur de platine relativement faible conduit à un mode de ruine par mécanisme de la platine d'extrémité (semelle du Té), et non d'une rupture des boulons.
- La variation de l'épaisseur de la platine d'extrémité semble avoir une répercussion très importante sur la capacité de déformation.

Les figures 3 et 4 sont révélatrices quant à la formation des modes de ruine. En effet, on constate que, les trois assemblages A0, A1 et A2 présentent la même allure de variation avec de faibles écartements au départ jusqu'à une certaine valeur de la charge appliquée, puis une augmentation rapide des écartements annonce la formation de lignes d'articulation plastiques, au droit de l'âme du Té et au droit des boulons, produisant le mode 1 de ruine.

En revanche, l'assemblage A2 présente une allure de variation différente avec décollement des platines dès le début du chargement.

Ceci montre que la platine d'extrémité, dans ce cas, est plus rigide que les précédentes (assemblages A0, A1 et A2), la ruine intervient par formation de charnières plastique au droit de l'âme du Té suivie de la rupture des boulons, on est en présence du mode 2 de ruine [13].

Tableau 3 : Résultat des essais non raidis

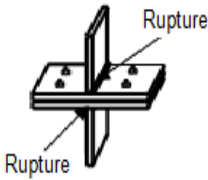
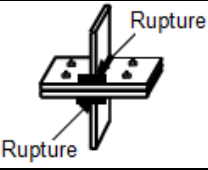
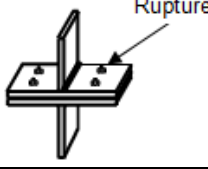
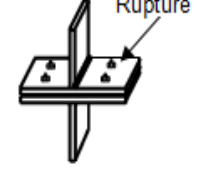
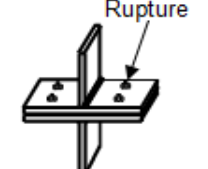
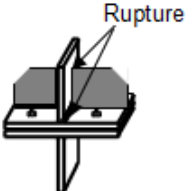
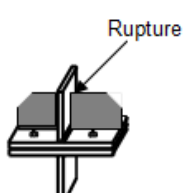
N° d'essai	Effort maximal appliqué $F_{pl}(N)$	L'écartement maximal des platines δ_{pl} (mm)	L'écartement maximal au droit des boulons δ_{B0} (mm)	Mode de ruine d'assemblages	Observations
A0 tp=8mm	99000	66	0.18	Bruit à 98000 N de la platine et rupture de la platine	
A1 tp=10mm	143000	21.5	0.468	Flexion des boulons et rupture du cordon de soudure	
A2 tp=12mm	130000	12	0.396	Rupture de filetage de l'écrou du boulon	
A3 tp=15mm	139000	9.9	1.206	Bruit, début de rupture des boulons Rupture de filetage de l'écrou du boulon	
A4 tp=20mm				Rupture de filetage de l'écrou du boulon	
Remarque : la charge totale appliqué sera dévisé sur deux pour effectué une comparaison avec le modèle théorique					

Tableau 4 : Résultat des essais raidis

N° d'essai	Effort maximal appliqué $F_{pl}(N)$	L'écartement maximal des platines δ_{pl} (mm)	L'écartement maximal au droit des boulons δ_{B0} (mm)	Mode de ruine d'assemblages	Observations
B0 tp=8mm	105000	28.4	0.81	Bruit à 130000 N. Rupture du cordon de soudure des raidisseurs. Rupture du cordon de soudure semelle-platine.	
B1 tp=10mm	123000	22.60	0.666	Rupture du cordon de soudure de premier raidisseur. Ouverture nette soudure-raisseur. Rupture du cordon de deuxième raidisseur. Rupture de la platine	

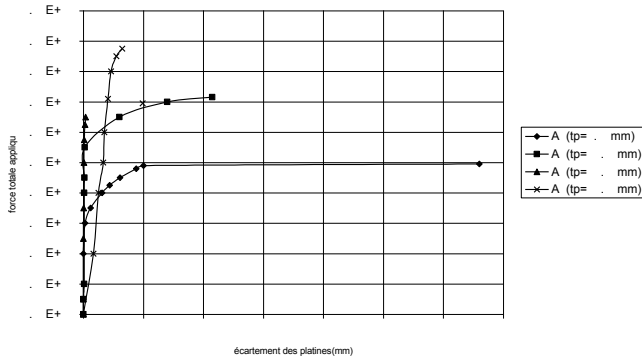


Figure 3 : Force totale appliquée en fonction de l'écartement de la platine-influence de l'épaisseur de la platine pour les assemblages non raidis

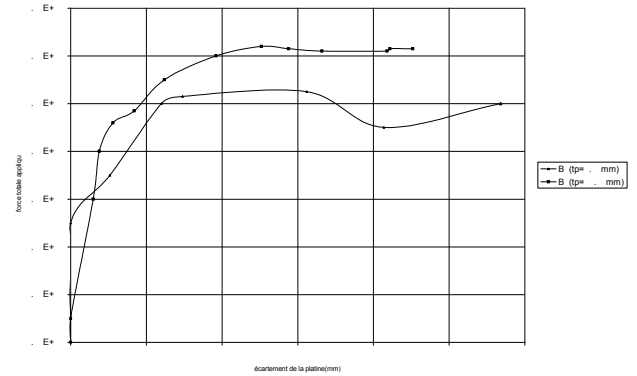


Figure 4 : Force totale appliquée en fonction de l'écartement de la platine-influence de l'épaisseur de la platine pour les assemblage raidis

6. INFLUENCE DE LA PRESENCE DES RAIDISSEURS

La comparaison entre les résultats des assemblages avec raidisseurs montre la supériorité dans le cas de l'épaisseur de la platine égale à 10mm. La figure 4 indique que, au début du chargement, les déformations sont plus importante pour la maquette B1 ($t_p=10\text{mm}$) que pour la maquette B0 ($t_p=8\text{mm}$), ceci peut paraître paradoxal car la platine est plus épaisse et même le raidisseur est plus épais que celui de B0. Ceci peut être attribué, à notre avis, à la qualité du cordon de soudure des raidisseurs avec l'âme tendue du tronçon équivalent en T \acute{e} .

En effet, au cours du chargement, on a constaté la défection de la soudure ce qui n'a pas permis d'atteindre des charges plus élevées. En revanche, pour l'écartement des platines au droit des boulons, on obtient des pentes quasiment identiques sauf à la fin de la première branche où l'on enregistre le même effort. Ceci confirme notre observation sur la défection de la liaison du raidisseur avec l'âme tendue du T \acute{e} , ce qui n'a pas permis au raidisseur de remplir sa fonction dans l'amélioration de la rigidité flexionnelle de la platine.

CONCLUSION

L'étude a permis de mettre en évidence le rôle joué par l'épaisseur de la platine d'extrémité (semelle du T \acute{e}) sur le mode de déformation de celle-ci. L'effet positif du raidissage sur la rigidité flexionnelle de la platine a été démontré par les essais. L'analyse expérimentale nous a permis de préciser les différents modes de ruine qui peuvent survenir à la suite du chargement. La comparaison des essais avec le calcul numérique a donné une bonne corrélation, elle constituera une base pour la modélisation de ce type d'assemblages qui fera l'objet d'un prochain article.

REFERENCES

[1] Augustyn, J. Laguna, J. et Sliwka, W. 1982. Charge limite des assemblages par boulons HR et plaque d'extrémité

sollicité en traction ou en flexion. Construction Métallique n°2, 1982, pp 35-59.

- [2] Braham, M. Cerfontaine, F. et Jaspard, J.P. 1999. Calcul et Conception économique des assemblages de profilés reconstitués soudés. Construction Métallique n°1, 1999, pp 5-24.
- [3] Hirt, A.M. et Bez, R. 1996. Traité de Génie Civil - Construction Métallique - Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement. Volume 10. Presse Polytechnique et Universitaire Romandes.
- [4] Règles de Conception et de Calcul des Structures Métalliques « CCM 97 ». 1998. D.T.R.-B.C.-2.44, Ministère de l'habitat Algérie. ISBN 9961-923-04-09.
- [5] ENV 1993-1-1 - 1992/A2 : 1998 Amendement 2 : Eurocode 3 Part 1.1 Revised Annex J. Joint in building Frames. Published version, CEN/TC250/SC3.
- [6] Eurocode3. 1992 « Calcul des structures en acier, partie 1.1 : Règles générales et règles pour les bâtiments » ENV 1993-1-1, février 1992.
- [7] Colson, A. et Bjorhovde, R. 1992. Intérêt économique des assemblages semi-rigides. Construction Métallique n°2, 1992, pp 37 - 41.
- [8] Guisse, S. 1993. Quelle économie attendre de la mise en œuvre de nœuds semi-rigides ? Construction Métallique n°3, 1993, pp 19 à 27.
- [9] Mehidi N. Etude du comportement d'assemblages boulonnés par platine d'extrémité - Approche théorique et expérimentale. Magistère 2002, Université de Constantine.
- [10] APK. 1996. Construction Métallique et Mixte Acier - Béton. Calcul et dimensionnement selon les Eurocodes 3 et 4. Eyrolles.
- [11] Owen, G.W and Moore, D.B. 1992. Steelwork connections. The robustness of simple connections. The structural Engineer. 70 - 3/4. pp 37-46
- [12] Mimoune F.Z, Mimoune M. and Mehidi N. Analysis of the behavior of bolted end plate connections subjected to tension. 1st international Conference of Civil Engineering Science (ICCES1). 7-8 October 2003 Assiut, Egypt. pp. 438-447. ISSN: 1687-1790
- [13] Mimoune F.Z and Mimoune M. Effect of the end plate thickness on the capacity resistance in beam-column bolted connections. 13th International conference and exhibitions. Cairo-Egypt 15-19 June 2006.