
Resistances Des Profiles Renfors En Acier Lamine A Froid Partiellement Enrobées.

HANDEL Naoual¹, Chikh Nasr-Eddine², ACHOURA Djamel³

¹LGMRIU , Département de génie civil, Universitaire de Souk-Ahras.

²LMDC , Département de génie civil, Université de Constantine.

³LGC, Département de génie civil de génie civil, Université de Annaba.

naoualhandel@yahoo.fr

RESUME. Dans cette étude, on présente les résultats expérimentaux obtenus sur des colonnes mixtes béton-acier mince réalisées par soudures. La section transversale en forme de I est de dimensions 100mmx70mmx 2mm. Un total de 24 profilés a été testé sous charge de compression uni-axiale à l'âge de 28 jours. Les colonnes sont partagées en deux groupes. Dans le premier groupe, 8 colonnes ont été réparties comme suit: 4 à vides, 4 partiellement remplies avec un béton ordinaire sans l'addition des connecteurs, dans le second groupe, un total de 16 colonnes partiellement enrobées, a été testé. Les spécimens testés comportent: 4 renforcés par des connecteurs de cisaillements de type cornière en U, 4 autres l'ont été avec des connecteurs de cisaillements type goujons et 8 restants ont été renforcés avec des liens transversaux d'espacement 100mm, 50mm, soudés aux bouts des ailes opposées pour pouvoir augmenter le confinement du béton. Les principaux paramètres étudiés sont: l'élançement du profilé, le type de connecteur de renforcement. A partir des résultats d'essais obtenus, il est confirmé que les parois minces sont plus sensibles de l'apparition au voilement et la longueur des profilés à un effet considérable sur la capacité portante et le mode de rupture. L'addition des connecteurs de renforcement a confirmé l'augmentation de la charge ultime par rapport aux profilés sans connecteurs. Les résultats ont montré que le petit espacement des liens fournit des réponses plus ductiles. De même que l'espacement réduit entre les liens horizontaux ou l'addition des connecteurs de cisaillements améliore nettement le mode de rupture des profilés partiellement enrobés. Par ailleurs, les prédictions de l'EC4 sont conservatrices pour les colonnes composées renforcées par des liens horizontaux.

ABSTRAT. In the present work, results of tests conducted on thin welded steel-concrete stubs are presented. The studied section was made of two cold formed steel plates with U shape and welded to form an I steel section. The cross section dimensions were: 100x70x2 mm. A total of 24 stubs were tested under axial compression. The columns are divided in two groups. In the first group, A total of 8 stubs were tested, 4 were empty, 4 filled with normal concrete. In the second group, a total of 16 columns partially filled by the ordinary concrete, and were tested at 28 days after the date of casting, eight columns had shear connectors welded along the centreline of the web, and 8 had steel rods welded between the tips of opposing flanges on both sides. According to these results, we concluded that the bearing capacity was increased with the addition of shear connectors and local-buckling resistance of the flanges was increased with the addition of the transverse link. More experiment is needed to investigate the effect of the spacing of the transverse link on increased confinement for concrete and the mode steel local-buckling, of partially concrete filled thin welded steel stubs.

MOTS-CLEFS: Charge axiale, mode de rupture, poteaux mixtes, comportement acier, charge ultime.

KEUWORDS: Axial loads, buckling, composite column, steel behavior, ultimate strength.

1. Introduction

Il est connu que les poteaux mixtes partiellement ou totalement enrobé de béton, ou les profilés creux remplis de béton, combinent les avantages du béton et de l'acier de construction, à savoir : la vitesse de construction, la capacité portante élevée, la résistance au feu et le poids de l'acier léger. Actuellement, il y a un grand nombre d'études sur les colonnes tubulaires en acier remplies de béton ; cependant, peu de recherche a été conduite sur des profilés remplis partiellement du béton. Tremblay et al. [1998] Chicoine.T et al. [2002,2003] ; Bouchereau et Toupin [2003]; Begum et al. (2005), Brent. S. P et Robert G. D [2006], Handel. N et al.[2009], ont étudié le comportement et la capacité portante d'un nouveau type de colonne composée partiellement remplie avec un béton ordinaire faite avec section en I à parois minces et soudée, forcée avec des liens transversaux. Le mode de rupture des spécimens était le voilement local avec déformation de l'acier au niveau des ailes et l'écrasement du béton, les études ont montré que l'utilisation des renforts additionnels peut améliorer le comportement du profilé et peut augmenter la charge ultime du poteau.

Une série d'essais a été effectuée sur 24 profilés, partagés en deux groupes. Dans le premier groupe, 8 colonnes ont été réparties comme suit: 4 à vides, 4 partiellement remplies avec un béton ordinaire sans l'addition des connecteurs. Dans le second groupe, un total de 16 colonnes partiellement enrobées, ont été testées. Les spécimens testés comportent: 4 renforcés par des connecteurs de cisaillements de type cornière en U soudées le long de la ligne centrale de l'âme, 4 autres l'ont été avec des connecteurs de cisaillements type goujons, soudées le long de la ligne centrale de l'âme et 8 restant ont été renforcés avec des liens transversaux d'espacement 100mm, 50mm, soudés aux bouts des ailes opposées pour pouvoir augmenter le confinement du béton.

Les paramètres étudiés sont l'influence de la hauteur du profilé (200 à 500 mm) et l'effet du type de connecteur de renforcement. Les résultats expérimentaux enregistrés ont été comparés avec ceux données par la prescription du règlement EC4 pour les profilés composés.

2. Programme expérimental

2.1. Descriptions des spécimens

Un total de 24 colonnes, de section transversale (100x70x2) mm a été étudié. L'acier utilisé pour la confection de la section transversal en I est une tôle mince galvanisé laminée à froid d'épaisseur de 2 mm et obtenue par

façonnage et pliage à froid pour former des U. La section étudiée est fabriquée par 2 aciers laminés à froid initialement en forme de U et soudés dos à dos avec une soudure continue sur toute la hauteur de la colonne pour former une section d'acier reconstituée en forme de I (figure 1). Le rapport de largeur de l'aile sur l'épaisseur (b/t) pour tous les spécimens est de 17.50; les élancements des éprouvettes sont : 200-300-400-500.

Le premier connecteur de cisaillement est de type cornière en forme de U de section 25x 25mm et d'épaisseur 8mm, Le deuxième connecteur est de type goujon de diamètre \varnothing 8mm et de longueur 32mm. Ces deux connecteurs de cisaillement sont soudés au centre de l'âme horizontalement, et sont verticalement espacés

de 100 mm le long de la hauteur du profilé. La troisième solution utilisée pour le renforcement des profilés en acier partiellement enrobés, consiste à des liens horizontaux en acier rond de forme U de diamètre 3,3mm, soudé sur les bouts des semelles. L'espacement des liens horizontaux est de 100mm et 50 mm.



Figure 1. Section reconstituée transversale en I

2.2. Caractéristique de l'acier utilisé

Les caractéristiques mécaniques de l'acier utilisé pour la confection des profilés sont : le module de Young ($E_a = 205\,000$ MPa) et la contrainte d'écoulement ($\sigma_e = 300$ MPa).

2.3. Composition du béton utilisé

La méthode utilisée pour déterminer la composition du béton de remplissage est celle de Gorisse-Dreux. Elle a été calculée pour un diamètre maximum des granulats égal à 10 mm et un affaissement de 6 cm correspondant à un béton plastique. La composition du béton est comme suite :

- Dosage du ciment CPJ 42,5 = 350Kg/m³
- Rapport eau sur ciment = 0.6
- Sable 0/2,5 = 811,32Kg/ m³

- Gravier de calcaire 5/10 = 1095,77 Kg/ m³
- Masse volumique = 2,47 Kg/ m³
- La résistance moyenne des cubes de béton à l'âge de 28 jours est $f_{c28}=26\text{MPa}$

2.4. Coulage

Les 24 colonnes en acier remplies partiellement du béton ordinaire, ont été coulées en position verticale et par 3 couches, chacune compactée sur une table vibrante pendant 2 à 3 minutes pour réaliser une meilleure uniformité du béton le long de la longueur du spécimen. Les colonnes composés sont remplies à partir de la même gâché; 6 cubes de 100x100x100 mm ont été également coulés pendant le remplissage des profilés.

Après 24 heures on a décoffré les spécimens préparés. Ils sont posés à l'environnement de laboratoire à une température ambiante ($T = 20-25^{\circ}\text{c}$ et HR= 60 à 70 %) pendant 28 jours.

2.5. Matériel d'essai et procédure

Tous les spécimens ont été testés sur une machine de compression de capacité 500KN, sous compression uni axiale à une vitesse de chargement d'ordre de 0.6 Tf/s. Une attention particulière a été observée pour vérifier la position correcte des spécimens avant n'importe quel chargement. Les faces supérieures et inférieures des colonnes composées sont traitées mécaniquement pour éliminer les irrégularités de surfaçage, et pour s'assurer que la charge appliquée est répartie simultanément à travers la section transversale sur ses composants acier et béton.

3. Résultats des essais

Un total de 24 profilés en acier remplis par le béton ordinaire, sont testés sous compression axiale. La charge de rupture est atteinte lorsqu'il n'y a plus possibilité de toute augmentation du chargement et que le mécanisme de rupture commence à prendre place.

Toutes les données et les dimensions des colonnes testées ont été récapitulées dans le tableau1.

La capacité portante des profilés composés renforcés par les différents connecteurs est supérieure à la capacité portante des profilés composés sans connecteurs. On remarque que les colonnes composées avec des connecteurs horizontaux ont une capacité plus élevée que les colonnes composés avec

connecteurs type goujon et cornière et sans connecteurs, comme l'illustre la figure 1. On remarque aussi que plus l'élançement augmente plus la charge de rupture diminue.

Le gain de résistance est plus élevé pour les profilés composés renforcés avec des liens horizontaux qu'aux profilés composés sans connecteur et avec connecteurs de cisaillement types cornières et goujons comme le montre la figure 2. La capacité portante des profilés sans connecteurs, avec connecteurs cornières et goujon et des liens horizontaux d'espacement 100 mm et 50 mm a augmenté respectivement de 51%, 56%, 62%, 125%, 160 % par rapport aux profilés en acier vide.

Le rapport des charges des colonnes composées avec connecteurs à celles sans connecteurs varie linéairement est augmente avec l'élançement des colonnes composées, comme le montre la figure 3. Le gain de résistance des colonnes composées renforcées respectivement par des connecteurs de cisaillement cornières, goujons et des liens horizontaux d'espacement 100mm et 50mm est de l'ordre de 4%,7%,50% et 73% par rapport au colonnes composées sans connecteurs. Ceci illustre bien la contribution de l'utilisation des connecteurs et des liens horizontaux dans l'amélioration de la capacité portante des profilés en acier partiellement enrobés.

La variation du rapport de contrainte pour l'acier et le béton à 28 jours des colonnes composés sans connecteurs et avec connecteurs est montrée sur la figure 4. Le rapport de contrainte (f_c/f_{c28}) varie de 1.00 à 0.49, de 0.91 à 0.56, de 0.95 à 0.65, de 1.43 à 1.21 et de 1.87 à 1.52 respectivement pour les spécimens composés sans connecteurs, les spécimens renforcés avec connecteurs cornières et goujons et les spécimens renforcés par des liens horizontaux d'espacement 100m et 50mm.

On constate que la contribution du béton à la résistance ultime des profilés en acier composés renforcés par des liens horizontaux est meilleure que celle des profilés en acier composés renforcés par des connecteurs de cisaillement de types cornières et goujon et des profilés sans connecteurs.

Tableau 1. Dimensions des colonnes testées

Test séries	Spécimen	bf (mm)	d (mm)	t (mm)	l (mm)
Série 0 (profilé vide)	PV 200	69,00	101,60	1,91	196,00
	PV 300	69,50	99,55	1,99	298,38
	PV 400	68,63	100,50	2,00	397,50
	PV 500	68,75	100,63	1,99	495,25
Série 1 (sans connecteur)	P1/200	69,20	104,30	2,03	195,50
	P1/300	68,55	100,50	2,04	298,25
	P1/400	69,50	99,62	1,99	396,37
	P1/500	68,50	101,37	2,01	449,50
Série 2 (avec connecteur cornière)	P2/200	68.60	100.03	1.93	198.20
	P2/300	69.03	100.18	1.98	287.50
	P2/400	68.83	101.08	1.93	378.75
	P2/500	68.43	101.50	2.00	477.50
Série 3 (avec connecteurs goujon)	P3/200	67.98	99.85	1.95	198.10
	P3/300	68.55	101.26	1.90	296.88
	P3/400	68.80	100.15	2.00	397.75
	P3/500	68.73	100.25	1.93	480.00
Série 4 (avec lien horizontal 100 mm)	P4/200	68.62	99.22	1.90	200.00
	P4/300	68.58	101.70	1.95	300.75
	P4/400	69.73	102.44	2.00	401.13
	P4/500	68.12	102.50	1.95	490.00
Série 5 (avec lien horizontal 50 mm)	P5/200	70.13	99.13	2.05	201.13
	P5/300	67.87	102.85	1.95	301.25
	P5/400	69.43	101.00	2.05	399.50
	P5/500	69.88	101.83	2.05	498.17

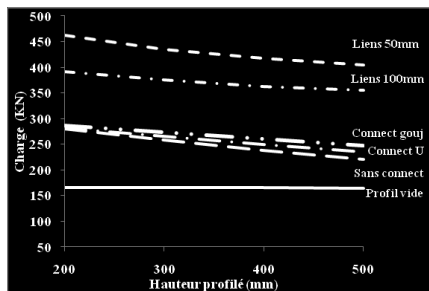


Figure 1. Charges de rupture expérimentale (N_{ue}) des colonnes composées et vides à l'âge de 28 jours

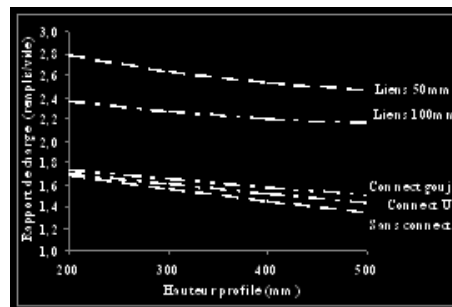


Figure 2. Gain de résistance en fonction de l'élançement

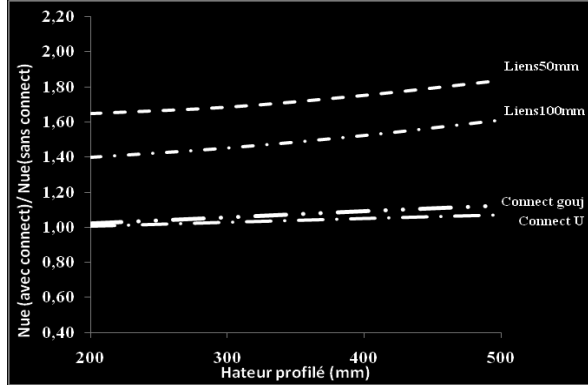


Figure 3. Rapport de charge des colonnes en acier composées avec connecteurs et sans connecteurs

La figure 5 illustre le rapport des charges des colonnes composées à celles calculées selon l'EC4. On remarque que ce dernier donne des valeurs conservatrices pour les profilés renforcés par des liens horizontaux par contre il donne une prévision excessive pour les profilés composés sans connecteurs et renforcés par des connecteurs de caillement de type cornières et goujons.

L'Eurocode 4 prévoit une capacité inférieure de 9% à 21% et 17% à 29% par rapport aux résultats d'essais respectivement pour les colonnes en acier partiellement remplies renforcées par des liens horizontaux d'espacement 100 mm et 50 mm. Par ailleurs, il prévoit une capacité supérieure de 8% à 33%, 6% à 31% et de 4% à 22% comparativement aux résultats d'essais respectivement pour les colonnes en acier partiellement remplies sans connecteur et renforcées par des connecteurs cornières et goujons.

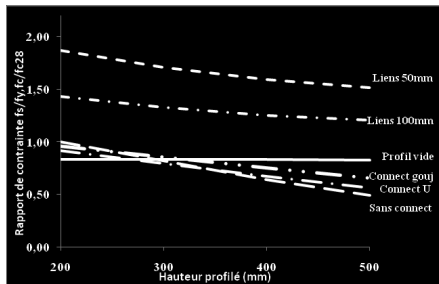


Figure 4. Rapport de contrainte de l'acier et du béton à 28 jours en fonction de l'élançement

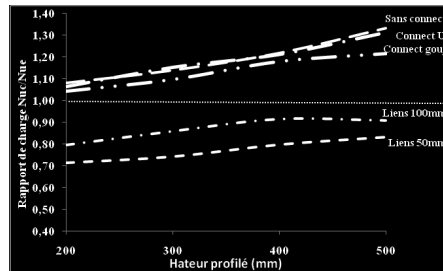


Figure 5. Rapport de charge (N_{uc}/N_{ue}) des profilés composés à l'âge de 28 jours

4. Conclusion

Les essais effectués sur des colonnes à une section en I reconstituée en acier laminé à froid et soudée remplies partiellement de béton ordinaire nous ont permis de faire les conclusions suivantes :

- Une augmentation de la capacité portante de 51%, 56%, 62, 125% et 160 % a été observée respectivement pour les profilés composés sans connecteurs, renforcés par des connecteurs de caillage de type cornières et goujons et les profilés composés renforcés par des liens horizontaux d'espacement 100mm et 50mm par rapport aux profils vides. Dans le même ordre de comparaison, il y a eu également une augmentation de l'ordre de 4%,7%,50% et 73% par rapport aux colonnes composées sans connecteurs.
- La capacité portante diminue avec l'augmentation de l'élanement pour les profilés vides et composés.
- Les liens en acier horizontaux soudés au niveau des ailes des profilés en acier partiellement enrobés, ont diminué le voilement local de ces derniers. Plus la distance entre les liens est petite plus les semelles résistent au voilement local. Le mode de rupture de ce type de profilés composés est l'écrasement partiel ou total du béton entre les liens horizontaux avec voilement symétrique et dissymétrique des ailes en acier et cassure de la soudure des liens horizontaux.
- L'EC4 prévoit une capacité moyenne supérieure de 19%, 18% et 13% respectivement pour les profilés composés sans connecteurs et avec connecteurs de cisaillements cornières, goujons à celle trouvée expérimentalement. Par contre l'EC 4 est conservateur et donne une capacité moyenne inférieure de 13% et 23% pour le cas des profilés en acier composés renforcés par des liens horizontaux d'espacement 100 mm et 50mm.

Bibliographie

- Bourrie Pierre et Brozzetti Jacques, *Construction métallique et mixte acier-béton, partie 1 : calcul et dimensionnement selon les Eurocode 3 et 4*.
- Thierry Chicoine et al, « Behavior and Strength of Partially Encased Composite Columns with Built-up Shapes », *Journal of Structural Engineering*, March 2002, pp 279-288.
- Thierry Chicoine et al, « Long-Term Behavior and Strength of Partially Encased Composite Columns Made with Built-Up Steel Shape », *Journal of Structural Engineering*, February 2003, pp 141-150.

XXIXème Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 Mai 2011.

- Tremblay, R et al, « Experimental study on the behaviour of partially encased composite columns made with light welded H steel shapes under compressive axial loads », *Proc., Structural Stability Research Council Annual Technical Session and Meeting*, Atlanta, 1998, pp 195–204.
- Tremblay, R., Chicoine, T., and Massicotte, B, Design equation for the axial capacity of partially encased non-compact columns, *Composite Construction in Steel and Concrete IV*, American Society of Civil Engineers, 2002, pp. 506-517.
- Jahid Zeghiche, Naoual Handel, « Experimental Behaviour of Concrete-filled thin Welded Steel Stubs Axially Loaded Case », *8th International Conference on Concrete Technology in Developing Countries - The African concrete code symposium*, Tunisia, 8th November, 2007.
- Mahbuba Begum et al, « Finite-Element Modeling of Partially Encased Composite Columns Using the Dynamic Explicit Method, Using the Dynamic Explicit Method », *Journal of Structural Engineering*, 2007, Vol.133, n. 3, pp 326-334.
- Mahbuba Begum et al, « Strength and stability simulations of partially encased composite columns under axial load », *Proc., SSRC/NASCC Joint Annual Stability Conf.*, Montréal, 2005, pp. 241–255.
- Naoual Handel et al, « Etude expérimentale du comportement des poteaux mixtes », *19ème Congrès Français de Mécanique*, France (Marseille), 24 au 28 Août 2009.
- Naoual Handel, Jahid zeghiche, « Résistance à la compression des tubes laminés à froid et soudés remplis partiellement de béton », *Colloque International sur la Caractérisation et Modélisation des matériaux et structures (CMMS08)*, Tizi Ouzou, 16-18 Nov. 2008.
- Naoual Handel, Achoura Djamel, « Contribution à la valorisation de laitier cristallisé de haut fourneau d'El Hadjar dans la confection du béton de remplissage des profils métalliques » *les 2ème Journées d'Etudes sur la Recherche en Environnement et Développement Durable*, ENSET Oran, 3-4 juin 2009.
- Naoual Handel, Jahid Zeghiche, « Comportement d'une section reconstituée en acier laminé à froid et soudé remplis partiellement de béton de laitier (cas de la section en I) », *6ème Journée de Mécanique (Ecole Militaire Polytechnique Alger)*, Borj El Bahri, Alger, 15-16 Avril 2008.
- Prickett B. S and Driver R. G, « Behaviour of partially encased composite columns made with high performance concrete », *University of Alberta Department of Civil and Environmental Engineering*.