

COMPORTENT STRUCTUREL DES POTEAUX EN BETON ARME RENFORCES PAR PRF SOUS CHARGEMENT EXCENTRE.

A. BENREDJEM, N. CHIKH

Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie.

Reçu le 30/04/2018 – Accepté le 12/07/2018

Résumé

Le confinement externe par des Polymères Renforcés de Fibres (PRF) est maintenant une technique largement mise en œuvre pour renforcer et réparer les poteaux en béton armé (BA). La grande majorité des résultats des essais réalisés concernent des cylindres de béton sous chargement axial concentrique. En pratique, les colonnes en BA ont souvent une section transversale de forme carrée ou rectangulaire et soumises à des charges excentriques. Plusieurs paramètres influent sur le comportement structurel de tels éléments. Une nouvelle technique de renforcement nommée NSM (Near Surface Mounted) a été utilisée ces dernières années pour renforcer les éléments structuraux en flexion. On présente dans cet article certains principaux résultats émanant de l'effet des paramètres tels que le degré d'excentricité, le nombre des couches du renfort, l'élancement des poteaux, la forme de la section et la présence de bandes verticales. On s'intéresse particulièrement aux gains de résistance et de ductilité.

Mots clés: poteaux, PRF, NSM, charge, excentricité, confinement, résistance, déformation.

Abstract

External containment by Fiber Reinforced Polymers (FRP) is now a widely implemented technique for reinforcing and repairing reinforced concrete (BA) poles. The vast majority of the results of the tests carried out concern concrete cylinders under concentric axial loading. In practice, BA columns often have a cross section of square or rectangular shape and subjected to eccentric loads. Several parameters affect the structural behavior of such elements. A new reinforcing technique called NSM (Near Surface Mounted) has been used in recent years to reinforce structural flexural elements. This paper presents some of the main results of the effect of parameters such as the degree of eccentricity, the number of reinforcement layers, the slenderness of the columns, the shape of the section and the presence of vertical bands. Particular attention is paid to strength and ductility gains.

Keywords : poles, FRP, NSM, load, eccentricity, containment, resistance, deformation.

ملخص

أصبح الاحتواء الخارجي بواسطة البوليمرات المقواة بالألياف (FRP) الآن تقنية مطبقة على نطاق واسع لتعزيز وإصلاح أعمدة الخرسانة المسلحة (BA). الغالبية العظمى من نتائج الاختبارات التي أجريت تتعلق أسطوانات خرسانية تحت تحميل محوري متحدة المركز. في الممارسة العملية، غالبًا ما تحتوي أعمدة مكتبة الإسكندرية على مقطع عرضي ذي شكل مربع أو مستطيل ويخضع لأحمال غريبة الأطوار. العديد من المعلمات تؤثر على السلوك الهيكلي لهذه العناصر. تم استخدام تقنية تسليح جديدة تسمى NSM (بالقرب من السطح) في السنوات الأخيرة لتعزيز العناصر الانحنائية الهيكلية. تعرض هذه الورقة بعض النتائج الرئيسية لتأثير المعلمات مثل درجة الغرابة، عدد طبقات التعزيز، رقة الأعمدة، شكل القسم ووجود نطاقات رأسية. ويولى اهتمام خاص لمكاسب القوة والليونة.

الكلمات المفتاحية: أقطاب، فرب، NSM، الحمل، غريب الأطوار، الاحتواء، المقاومة، تشوه.

NOMENCLATURE

Symboles :

- e: excentricité
- r: rayon de courbure
- D: diamètre
- h: largeur
- N: charge axiale

INTRODUCTION

Durant ces dernières années la réhabilitation à fait l'objet d'une recherche extensive en raison de l'augmentation des dépenses des Ltravaux de renforcement et de réparation des ouvrages bâtis. Dans tous les cas il est impérativement indispensable de procéder à des méthodes de renforcement ou de réparation des éléments structuraux et cela suite à une inspection d'analyses et de méthodologie d'un bon diagnostic. Les poteaux en béton armé sont des éléments importants dans les structures des bâtiments. Ils supportent les charges verticales et assurent le contreventement vis-à-vis des charges horizontales. L'utilisation des matériaux composites sous forme de Polymères Renforcés des Fibres (PRF) ont acquis une popularité significative pour le renforcement et la réparation des structures en béton en raison de nombre important d'avantages, tels que poids léger, haute résistance à la traction, absence de corrosion et la facilité d'application. Plusieurs études sur des poteaux en béton renforcé avec PRF ont été réalisées. La plupart de ces études ont examiner le comportement des colonnes sous des charges concentriques, en considérant particulièrement des sections transversales de forme circulaire [1-7]. Cependant la plupart des colonnes de béton ont dans la pratique des sections transversales carrées ou rectangulaires et résistent à des charges excentriques. Il a été déterminé expérimentalement que l'influence du confinement du béton diminue lorsque l'excentricité de chargement augmente [8-10]. Il est nécessaire de prendre en compte la diminution de la résistance du béton confiné lorsque la capacité de charge de l'élément excentré est évaluée. Sous des excentricités de charge relativement faibles, e/D de 0,05 à 0,10, le comportement des colonnes à confinement PRF excentré montre un comportement complètement différent, en particulier la capacité de charge [5]. Pour les colonnes carrées en béton sous charge excentrée, la rigidité du tissu composite PRF est le paramètre clé dans la conception de la gaine de colonne. La chemise doit être assez rigide pour développer des forces de confinement appropriées à un niveau de déformation axiale de la colonne relativement faible. L'efficacité de renforcement est proportionnelle à la rigidité de la gaine en PRF [9].

Une nouvelle technique de renforcement nommée NSM (Near Surface Mounted) a été utilisée ces dernières années. Elle consiste à l'insertion des bandes de polymères renforcées en fibres de carbone (PRFC) dans des engravures effectuées préalablement dans le béton d'enrobage des

surfaces tendues, remplies de résine époxydique pour fixation.

La technique NSM offre plusieurs avantages par rapport à la technique EBR (External Bonded Reinforcement) : (i) temps d'installation minimum, (ii) pas de préparation de la surface à l'exception de la coupe d'engravures, (iii) moindre probabilité de rupture, (iv) moindre exposition aux dommages mécaniques, le feu et le vandalisme, le renfort en PRF étant protégé par le revêtement en béton[15].

2. PROCESSUS DE CONFINEMENT

Lorsqu'un poteau en béton est soumis à une contrainte de compression axiale, il se dilate latéralement. S'il est confiné cette dilatation latérale est résistée par la pression latérale induite par l'enveloppe qui est chargée en traction dans la direction circonférentielle. La pression de confinement fournie par l'enveloppe PRF augmente avec la déformation latérale du béton à cause de la contrainte linéaire élastique du PRF, contrairement au béton confiné en acier dans lequel la pression de confinement reste constante lorsque l'acier est en écoulement plastique. Le processus de confinement par PRF permet de limiter les déformations latérales, d'augmenter les déformations longitudinales ultimes et la résistance à la compression du béton [1]. Par ailleurs, la section effectivement confinée est plus importante pour un poteau de forme circulaire que de forme carré ou rectangulaire (Figure 1).

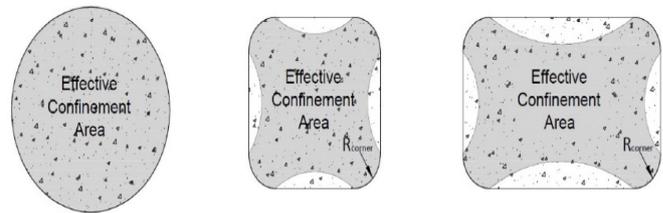


Figure 1 : Zone de confinement effective dans les colonnes circulaires, carrées et rectangulaires.

La contrainte de confinement avec PRF des colonnes chargées excentriquement peut être plus inégalement (non uniformément) répartie en raison de la complexité de la dilatation du béton (Figure 2). Par conséquent, la zone de béton effectivement confinée peut varier considérablement et dépend de l'excentricité de la charge [2]. L'excentricité de la charge affecte la relation contrainte-déformation et provoque une variation de la pression transversale de confinement sur la section, conduisant ainsi à une contrainte longitudinale différente de la contrainte sous chargement concentrique. L'erreur causée par un modèle dérivé de colonnes chargées concentriquement est supérieure à 10% lorsque le rapport d'excentricité e/r est supérieur à 0,18. L'erreur augmente à mesure que ce rapport d'excentricité augmente [3].

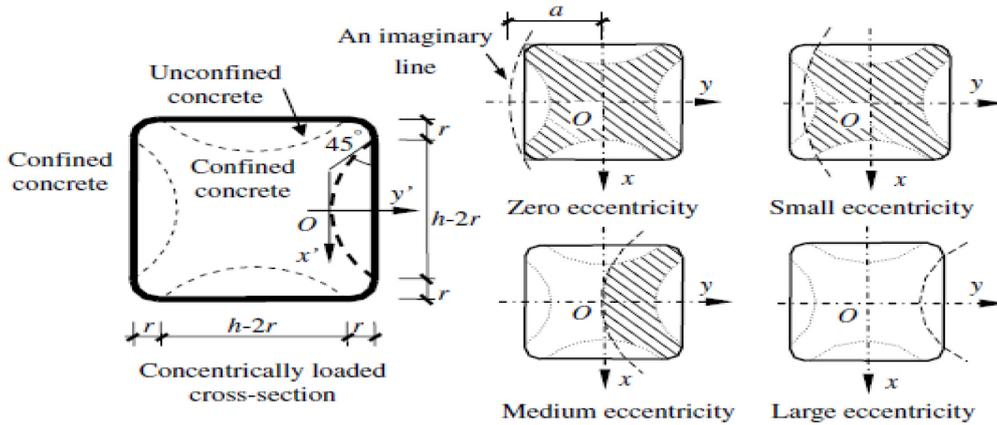


Figure 2 : Zone de confinement effective et la relation avec l'excentricité de charge.

Le renforcement NSM fonctionne bien sous une charge de flexion dominante. Ses performances peuvent être encore améliorées lorsque leur mode de rupture est empêché par un confinement latéral Figure 3.

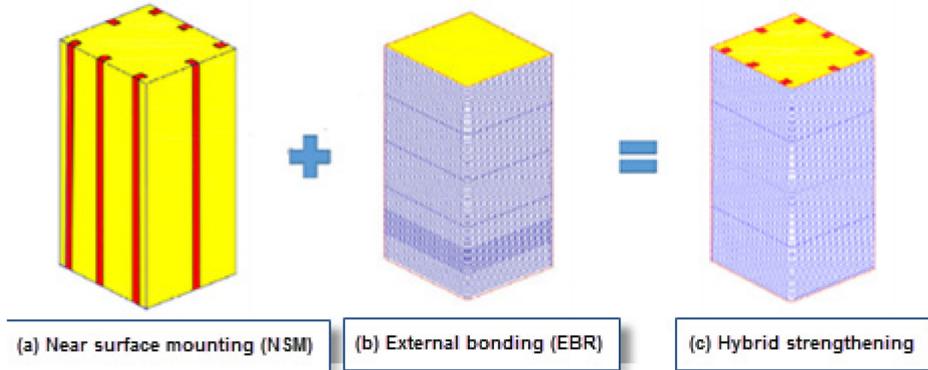


Figure 3 : Représentation schématique de la technique de renforcement hybride.

3. RESULTAS EXPERIMENTAUX

Des essais ont été effectués sur des spécimens de poteaux de différentes sections transversales en appliquant des charges excentriques. Plusieurs paramètres influent sur le comportement structurel de tels éléments. On présente certains principaux résultats émanant de l'effet des paramètres tels que le degré d'excentricité, le nombre des couches du renfort, l'élancement des poteaux, la forme de la section et la présence de bandes verticales. Les aspects de gain de résistance et de ductilité sont les plus recherchés.

Effet de l'excentricité

Une étude expérimentale a été réalisée sur des colonnes carrées en BA enveloppées par PRF et soumises à des charges concentriques et excentriques [2]. Les colonnes renforcées ont montré une amélioration de 30,2%, 10,6%, 2,0% et 1,6% de leur capacité de charge pour les valeurs d'excentricité de 20, 60, 100 et 150 mm, respectivement, par rapport à leurs contreparties de contrôle. Ainsi, on a observé que lorsque l'amplitude de l'excentricité augmente la capacité de charge de compression maximale diminue et le déplacement latéral à mi-hauteur des colonnes augmente. Les colonnes en béton à

faible résistance ont enregistré un gain de capacité de charge plus important à travers le confinement par PRF [2].

Dans une autre étude, plusieurs poteaux en béton enveloppés par des feuilles de PRF ont été testés à des charges de différentes excentricités de 0, 25 et 50 mm respectivement [3]. Le confinement a été réalisé respectivement au moyen de 1 (1H), 2 (2H) et 3 (3H) couches de PRF. Les courbes charge-déformation axiale de la Figure 4 montrent clairement que l'excentricité de charge réduit la capacité de charge et la performance des colonnes [3].

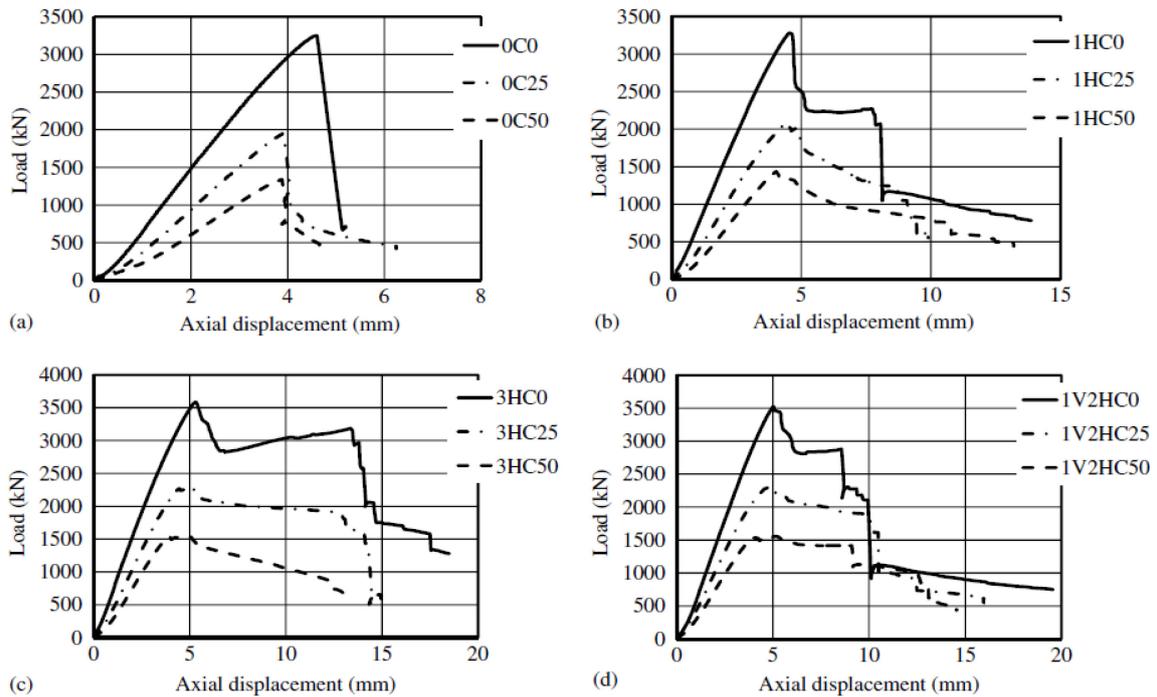


Figure 4 : Courbes charge – déplacement des colonnes avec différents excentricité.

Des colonnes renforcées avec respectivement des armatures en acier, des PRFC (Carbone) et des PRFV (Verre) ont été testées à différentes charges excentriques (0, 25 et 50 mm) [4]. Les résultats expérimentaux ont montré que pour une charge centrée la colonne confinée au PRFC atteint la plus grande charge maximale et a enregistré la plus grande ductilité. Pour une charge excentrée de 25 mm, la colonne renforcée de PRFC a résisté à la charge la plus élevée (1778 kN), tandis que celle confinée par armatures transversales elle a atteint une charge de 1150 kN (Tableau 1).

Specimen	C25	C50	V25	V50	A25	A50
Renforcement	Confinement avec PRFC		Confinement avec PRFV		Confinement avec armature en acier	
Exentricité (mm)	25	50	25	50	25	50
Charge maximale (KN)	1778	859.6	1173	894.4	1150	692.5
Déplacement axiale maximale au charge maximale (mm)	12.06	5.19	3.87	3.81	3.23	3.97
Déplacement latérale maximale au charge maximale (mm)	9.01	4.35	2.096	3.31	2.691	2.7

Tableau 1 : Résumé des résultats pour les colonnes testées sous chargement excentrique.

Les colonnes confinées au PRF affichent une capacité de charge et une ductilité plus élevées lors d'un essai concentrique qu'excentré (Figure 5).

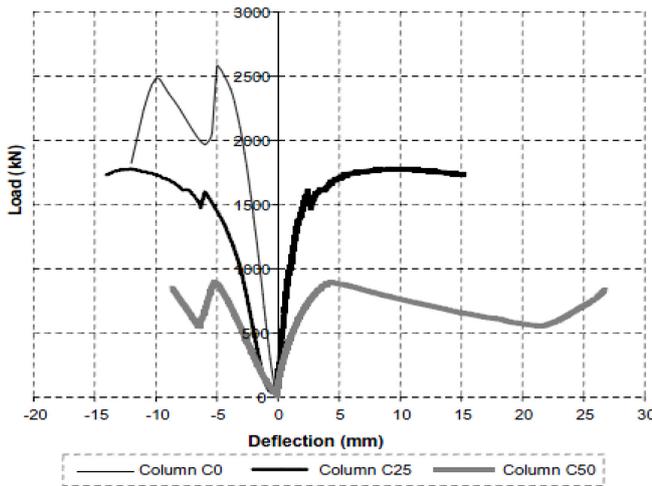


Figure 5 : Courbe charge – déplacement pour les colonnes confinées avec PRFC sous chargement centré et excentré.

Effet de l'élançement

Les longues colonnes renforcées de PRF présentent généralement une rupture par flambement avec de grandes déformations latérales et que l'enveloppe en PRF reste intacte [8]. Des améliorations importantes de la résistance et de la ductilité peuvent encore être obtenus, mais elles diminuent de manière significative avec l'augmentation soit du rapport d'élançement, soit de l'excentricité de la charge. Les courbes charge axiale - déplacement latéral moyen (($N-u_m$) illustrées par la Figure 6 concernent des poteaux confinés par PRF considérant différents élançement et excentricité de charge. Comme prévu, une augmentation de l'excentricité ou de l'élançement entraîne une diminution de la charge de rupture ainsi qu'une augmentation de la déformation à mi-hauteur. On observe également que l'éprouvette renforcée présentait une rigidité en flexion plus élevée par rapport à sa contrepartie non renforcée. Cette différence de rigidité est attribuée à la haute résistance à la traction de l'époxy par rapport au béton et par conséquent, à la fissuration de traction moins sévère dans l'échantillon renforcé, et à l'effet du confinement de PRF sur le béton comprimé. On voit également que les colonnes enveloppées montrent plus de ductilité que leurs contreparties non enveloppées, et cet effet est plus prononcé dans les colonnes plus courtes [8].

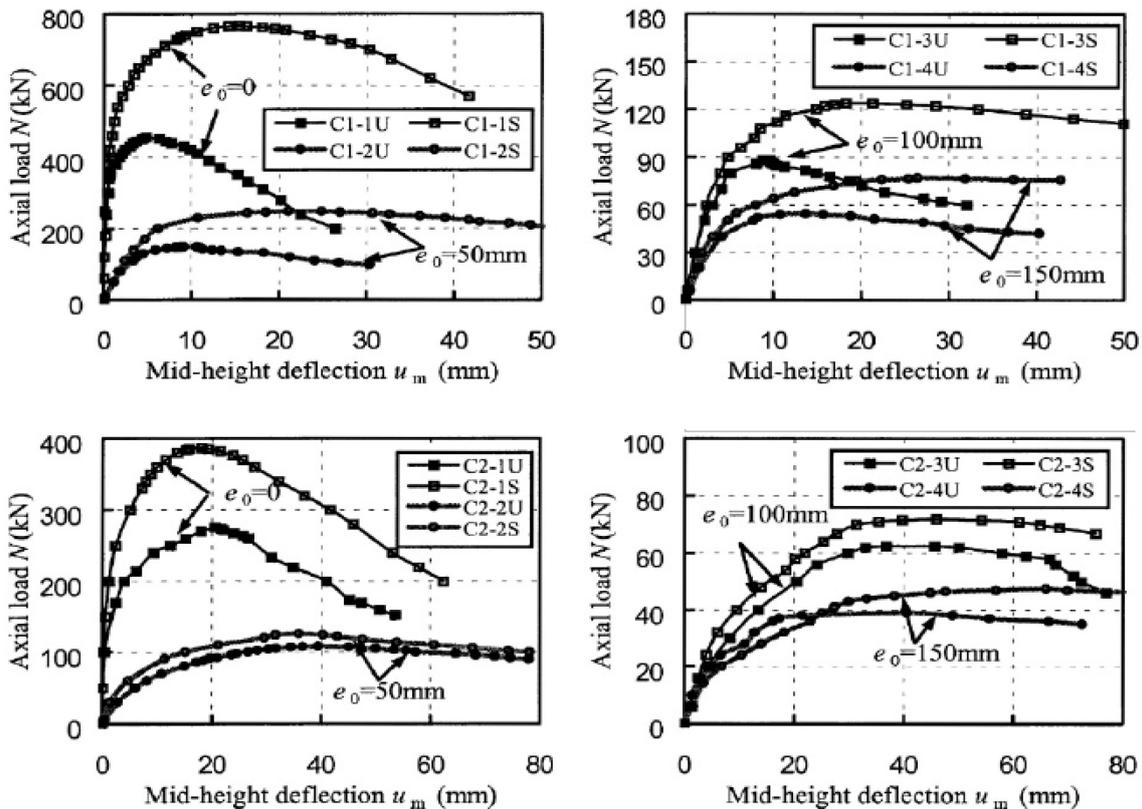


Figure 6 : Courbe charge - déplacement latéral

Effet du taux de renforcement

La Figure 7 montre les courbes charge - déplacements axial et latéral pour des colonnes testées sous une charge excentrique de 25 mm. Toutes les colonnes ont rompu en compression. Une rupture de PRF s'est produite dans toutes les colonnes enveloppées avant la rupture. Une augmentation de 17,8% et de 16,4% de la charge maximale a été atteinte pour les colonnes 1V2HC25 et 3HC25, respectivement. Cependant, la colonne 3HC25 a montré une meilleure performance que la colonne 1V2HC25. La colonne 1HC25 a également eu une meilleure performance que la colonne non renforcée, bien qu'une légère augmentation de la charge maximale ait été atteinte. Les colonnes 1HC25 ont une charge maximale supérieure de seulement 6,5% à celle de la colonne non confinée [6].

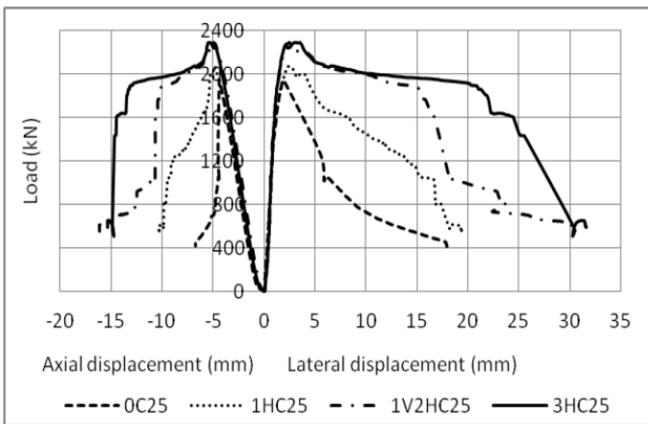


Figure 7 : Courbes charge - déplacements axial et latéral pour charge excentrique de 25 mm.

On a également constaté que la charge de compression maximale des colonnes en béton renforcé par PRF par rapport aux mêmes colonnes mais non renforcées, augmente linéairement avec le taux de renforcement utilisé et diminue linéairement avec l'excentricité de charge et exponentiellement avec la résistance à la compression du béton [2].

Effet du type de section (modification de section)

La forme de la section transversale de la colonne est également un facteur important qui influe sur le confinement des colonnes en béton par PRF [6]. La modification de la forme des colonnes carrées à circulaires et rectangulaires à elliptiques permet d'éliminer la concentration des contraintes angulaires dans les prismes et améliorera l'efficacité du confinement Figure 8. Ainsi, les contraintes et les déformations sont réparties plus uniformément dans toute la section et les performances structurelles sont améliorées. Cependant, ce paramètre a été peu exploré dans la littérature technique [9, 10]. L'enveloppement avec PRF des colonnes de forme modifiée améliore sensiblement la charge axiale et la ductilité.

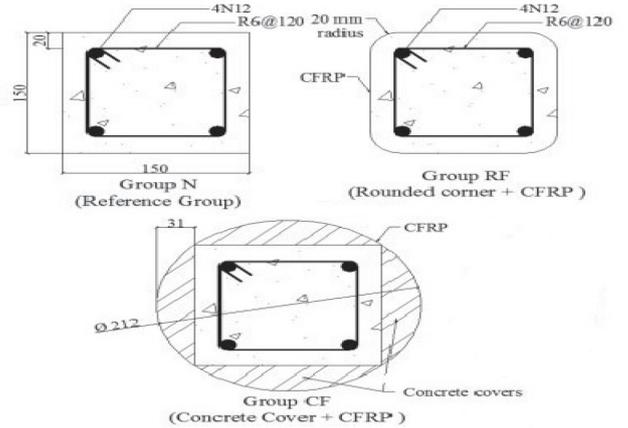


Figure 8 : Coupe transversale des spécimens.

La charge axiale maximale atteinte par les spécimens à coin arrondi (RF) est de valeur 1542, 686 et 562 kN, respectivement pour des excentricités de 0, 15 et 25 mm comme le montre la Figure 9. Concernant les spécimens de forme modifiée (CF), la charge axiale maximale atteinte est dans ce cas beaucoup plus importante puisqu'on obtient des valeurs de 2907, 1490 et 1171 kN respectivement pour des

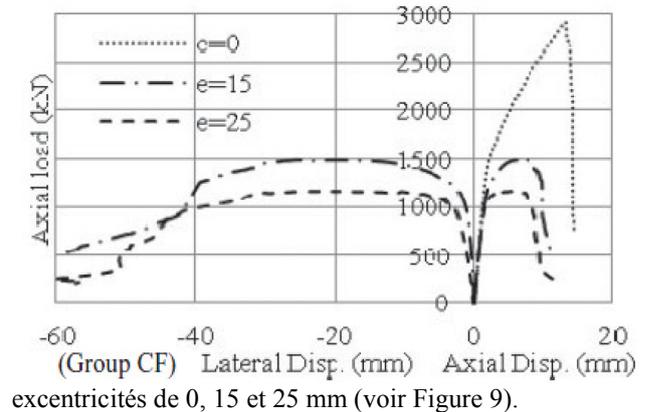
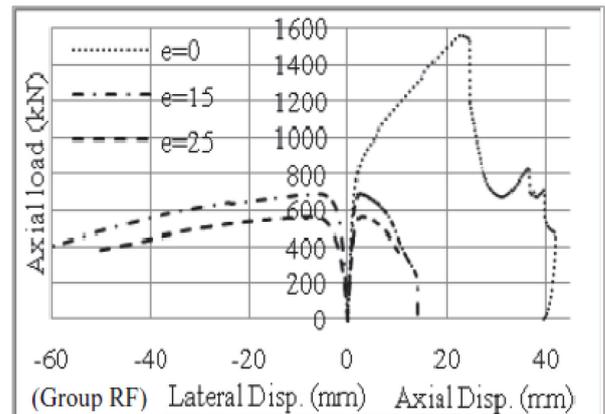


Figure 9 : Courbes charge – déplacement.

Effet de la présence de bande verticale

Le renforcement uniquement avec des bandes de PRFC est désavantageux étant donné que les fibres sont dirigées parallèlement à l'axe de la colonne, ce qui conduit au

décollement du composite. Le renforcement externe longitudinal doit être supporté avec un renforcement transversal pour éviter la délamination du composite [11, 6, 12]. Les résultats d'essais sur des colonnes avec charges de grande excentricité (moment de flexion important) ont montré que la présence de bandes PRFC vertical (longitudinal) produit une charge et une ductilité plus élevées que dans les colonnes enveloppées horizontalement seulement avec un nombre similaire de couches de PRF [6]. L'efficacité des bandes longitudinales augmente avec l'augmentation de l'excentricité de la charge [13]. Les couches longitudinales améliorent la rigidité à la flexion et la capacité de moment des éprouvettes [14]

Renforcement avec la technique hybride NSM - EBR

Une étude expérimentale a été réalisée sur six colonnes en BA sous compression excentrique uniaxiale avec un rapport d'excentricité ($e / d = 0,63$). Les colonnes endommagées présentaient un flambement longitudinal et un écrasement du béton. Suite à ces dommages importants, elles sont réparées selon trois techniques différentes: (i) coulis d'un mortier de ciment à prise rapide (spécimen RCC-R-QS), (ii) technique NSM (spécimen RCC-R-NSM), et (iii) renforcement par combinaison hybride NSM-EBR (spécimen RCC-R-HYB) [16].

Les résultats des tests de cette étude ont montré que la technique de réparation hybride est efficace pour améliorer la performance globale des colonnes endommagées sous différentes combinaisons de charges de compression et de flexion. Ainsi elle a complètement restauré la résistance axiale et le déplacement des colonnes sous une compression à la fois concentrique et excentrique comme l'illustre la Figure 10 [16].

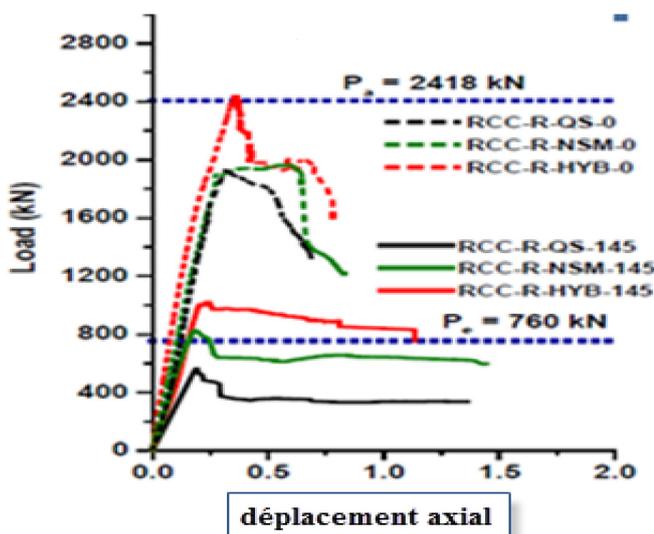
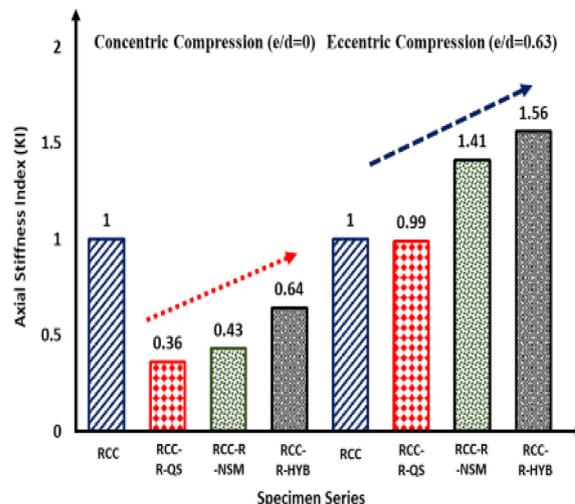


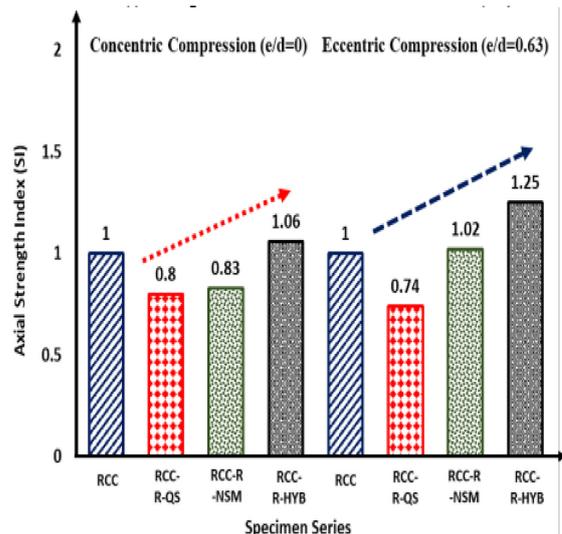
Figure 10 : Comparaison globale charge-déplacement de la colonne BA réparée.

La tendance à l'amélioration de la rigidité, de la résistance et du déplacement pour différentes techniques de réparation est illustrée à la Figure 11. Il ressort clairement que la réparation des colonnes gravement endommagées à l'aide de la technique hybride s'avère la plus efficace pour améliorer

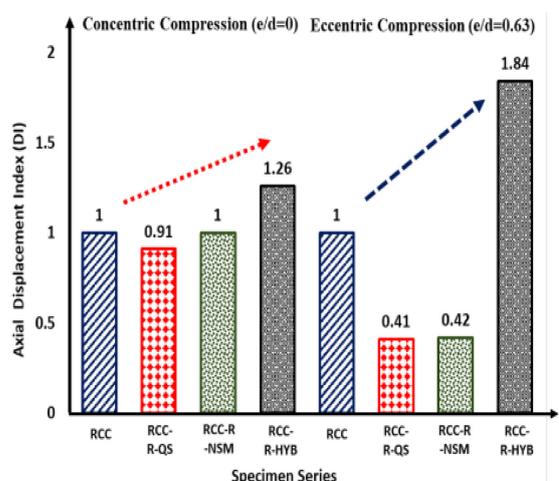
les indices de résistance, la rigidité et le déplacement axial d'origine pour les deux cas de chargement concentriques et excentriques [16].



(i) Comparison of Axial Stiffness Index (KI)



(ii) Comparison of Axial Strength Index (SI)



(iii) Comparison of Axial Displacement Index (DI)

Figure 11 : Comparaison globale des éléments BA avec différentes techniques de réparation.

L'efficacité des barres longitudinale NSM-PRFV associée au confinement du PRFC pour réparer et renforcer les colonnes en BA soumises à une charge excentrique a été étudié, neuf colonnes ont ete concue et renforcé Tableau 2, Les paramètres de test comprenaient la qualité du béton, le taux de confinement PRFC utilisé en combinaison avec le renforcement NSM-PRFV et l'excentricité de la charge[17].

Group	Concrete grade (MPa)	Eccentricity ratio	Strengthening regime		Specimen ^a
			Longitudinal reinforcement	CFRP confinement	
[A]	$f'_c = 30$	$e_x/b_x = e_y/b_y = 0.75$	No	No	N-E1-G1
			NSM-GFRP	1 layer	SF1-E1-G1
			NSM-GFRP	2 layers	SF2-E1-G1
[B]	$f'_c = 40$	$e_x/b_x = e_y/b_y = 0.75$	No	No	N-E1-G2
			NSM-GFRP	1 layer	SF1-E1-G2
			NSM-GFRP	2 layers	SF2-E1-G2
[C]	$f'_c = 30$	$e_x/b_x = e_y/b_y = 1.0$	No	No	N-E2-G1
			NSM-GFRP	1 layer	SF1-E2-G1
			NSM-GFRP	2 layers	SF2-E2-G1

Tableau 2 N = pas de renforcement ; SF1 et SF2 = barres longitudinales NSM-PRFV à 1 et 2 couches de confinement du PRFC respectivement ; E1 et E2 = rapports d'excentricité de 0,75 et 1,0, respectivement ; G1 et G2 = résistance de béton de 30 et 40 MPa, respectivement. [17]

Les résultats expérimentaux ont montré que pour la même résistance de béton, les barres NSM-PRFV associée à une couche de confinement PRFC était plus efficace pour augmenter la capacité de charge à l'excentricité supérieure. Au contraire le renforcement NSM-PRFV associé à deux couches de confinement de PRFC est plus efficace pour augmenter la capacité de charge à l'excentricité inférieure Figure.11, L'augmentation du nombre de couche PRFC utilisé en combinaison avec le renforcement NSM-PRFV a augmenté de manière significative le gain de capacité de charge à l'excentricité inférieure. Dans le cas d'une excentricité supérieure, l'augmentation du niveau de confinement du PRFC a eu un effet négligeable sur le gain de capacité de charge comme indiqué dans le premier et la dernière barre graphique de la Figure 12. [17]

Pour les colonnes BA renforcées avec le renforcement NSM-PRFV en combinaison avec deux couches de PRFC, un gain plus important de la capacité de charge a été enregistré à la résistance inférieure en béton. La teneur en béton a eu un effet négligeable sur le gain de capacité de charge lorsqu'une couche de PRFC a été utilisée en combinaison avec le renforcement NSM-PRFV [17].

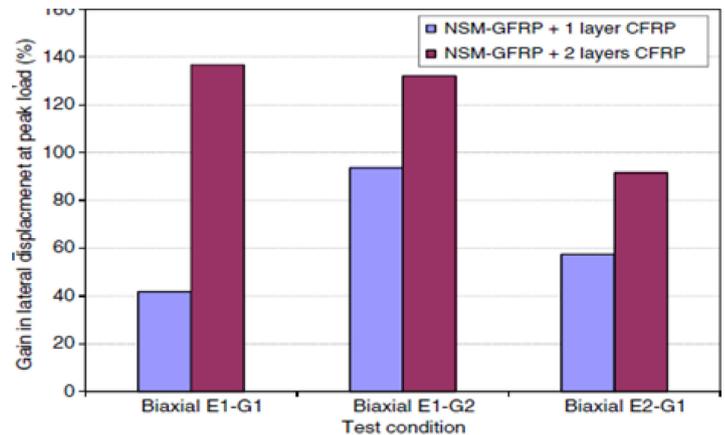


Figure 12. Effet des paramètres d'essai sur le gain en déplacement latéral à la charge maximale

4. CONCLUSIONS

On a examiner dans cet article le comportement structurel des poteaux en béton confinés par PRF en considérant l'effet de certains important parametres tels que que le degré d'excentricité, le nombre des couches du renfort, l'élanement des poteaux,la forme de la section et la présence de bandes verticales. Les principales conclusions qu'on peut établir sont:

- L'enveloppement par PRF est recommandé pour les colonnes soumises à une charge concentrique ainsi que la charge excentrique.
- L'augmentation du nombre de couches de PRFC a entraîné une augmentation de la charge et de la performance des colonnes.
- Les colonnes en béton à faible résistance sont les plus avantageuses en termes d'augmentation de la capacité de charge de compression une fois confinées avec des feuilles de PRF (quelque soit l'excentricité de charge).

- La capacité de charge maximale d'une colonne confinée sous une charge excentrée est directement liée à la grandeur de l'excentricité.
- Dans les colonnes à grande excentricité (Ce qui signifie avec un grand moment de flexion) La présence des bandes PRFC verticale a produit une charge et une ductilité plus élevées que celle des colonnes enveloppées horizontalement avec un nombre similaire de couches PRFC.
- La forme de la section transversale a une influence significative sur l'efficacité du confinement PRFC sous charge concentrique et excentrique.
- Il est clair que l'effet du rapport d'élanement sur la charge ultime des colonnes confinées est supérieur à celui des colonnes non confinées, et cet effet est très sensible surtout avec l'augmentation des rapports d'excentricité e/D .
- Les résultats des essais ont révélé que le renforcement hybride des PRF est très efficace pour rétablir complètement la résistance initiale et le déplacement de rupture sous des charges de compression et de flexion combinées. Seul le renforcement par NSM se révèle très efficace en compression excentrique qu'en compression concentrique.

REFERECES

- [1] M . Daugevičius, J. Valivonis, A . Beinaravičius, T . Skuturna and M . Budvytis, Experimental Investigation of the Load Carrying Capacity of Eccentrically Loaded Reinforced Concrete Elements Strengthened with CFRP, *International Procedia Engineering* 57 (2013) 232 – 237.
- [2] X . Song, X. Gu, Y. Li, T. Chen and W. Zhang, Mechanical behavior of FRP-strengthened concrete columns subjected to concentric and eccentric compression loading. *J. Compos. Constr.* 2013, 17, 336–346.
- [3] Y-F. Wu and J. Cheng, Effect of load eccentricity on the stress–strain relationship of FRP-confined concrete columns, *Composite Structures*, 98 (2013) 228–241.
- [4] L . Bisby and M . Ranger, Axial–flexural interaction in circular FRP-confined reinforced concrete columns, *Construction and Building Materials*, 24 (2010) 1672–1681.
- [5] KN . Ghali, SH . Rizkalla, MA . Kassem, TM . Fawzy and MH . Mahmoud, FRP-confined circular columns under small eccentric loading. *In: 5th Alexandria International Conference on Structural and Geotechnical Engineering*, 20–22 December 2003.
- [6] M . NS. Hadi and I . BR Widiarsa, Behaviour of FRP wrapped square RC columns under different loading conditions, *Procedia Engineering Volume 51*, 2013, Pages 240-249.
- [7] Y . Si Youcef, S . Amziane and M . Chemrouk, CFRP confinement effectiveness on the behavior of reinforced concrete columns with respect to buckling instability, *Construction and Building Materials* 81 (2015) 81–92.
- [8] N . Zhong Tao, J.G. Teng, Lin-Rai Ran and L. Lam, Experimental behaviour of FRP-confined slender RC columns under eccentric loading, *A volume in Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering* 2004, Pages 203–212.
- [9] A . Parvin and W. Wang, Behavior of FRP jacketed concrete columns under eccentric loading. *J. Compos. Constr.* 2001, 5, 146–152.
- [10] T. M . Pham, X. Lei and M. N. S Hadi, Effect of eccentric load on retrofitted reinforced concrete columns confined with FRP. *In B. Samali, D. J. Attard & J. Song (Eds.), 22nd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials (ACMSM22) (pp. 139-144). (2013).*
- [11] T. Trapko and M . Musia, The effectiveness of CFRP materials strengthening of eccentrically compressed reinforced concrete columns, *Archives of Civil and Mechanical Engineering Volume 11, Issue 1, 2011, Pages 249-262.*
- [12] A . Parvin and D . Brighton, FRP Composites Strengthening of Concrete Columns under Various Loading Conditions. *Polymers* 2014, 6, 1040-1056.
- [13] D . Mostofinejad and A . Torabian, Experimental Study of Circular RC Columns Strengthened with Longitudinal CFRP Composites under Eccentric Loading: Comparative Evaluation of EBR and EBROG Methods, *Journal of Composites for Construction* 20(2):04015055 · September 2015.
- [14] P . Sadeghian, Ali R. Rahai; and Mohammad R . Ehsani, Experimental Study of Rectangular RC Columns Strengthened with CFRP Composites under Eccentric Loading, *J. Compos. Constr.* 2010.14:443-450.
- [15] Mohamed Reda Ali Elewa Emara. Bond Behavior of NSM FRP Strips in Concrete under Sustained Loading. Doctoral Thesis, University of Girona 2018.
- [16] Chellapandian Maheswaran. Rapid Repair of Severely Damaged Reinforced Concrete Columns under Combined Axial Compression and Flexure: An Experimental Study. *Construction and Building Materials* · April 2018.
- [17] Tamer El-Maaddawy and Amr S. El-Near-Surface-Mounted Composite System for Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Columns Subjected to Axial Load and Biaxial Bending. *J. Compos. Constr.* 2011.15:602-614.