

Renforcement des poteaux rectangulaires en béton armé par PRF

Madi Rafik^(a), Guenfoud Mohamed^(a)

a. Laboratoire LGCH, Université 8 mai 45, B.P. 401, Guelma, Algérie.

Résumé :

Durant ces dernières années, la réhabilitation a fait l'objet d'une recherche extensive en raison de l'augmentation des dépenses de travaux 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. Cette recherche traite le comportement des poteaux rectangulaires en béton armé, confinés par tissu en PRF. Elle permet de comparer entre l'apport du procédé utilisé de point de vue capacité en résistance et en déformation des sections des éléments réhabilités par rapport aux sections initiales. Les différents résultats obtenus permis de constater un gain considérable de la capacité en résistance et en déformation des sections renforcées sans augmentation considérable du poids des éléments réhabilités.

Abstract :

In recent years, rehabilitation has been the subject of extensive research due to increased spending on building work and repair of built works. In all cases, it is absolutely essential to carry out methods of strengthening or repair of structural elements, and that following an inspection analysis and methodology of a correct diagnosis. The reinforced concrete columns are important elements in building structures. They support the vertical loads and provide bracing against the horizontal loads. This research about the behavior of reinforced concrete rectangular columns, rehabilitated by confinement with FRP fabric. It allows comparing the contributions of the processes used perspective section resistance elements rehabilitated compared to that is not reinforced or repaired. The different results obtained revealed a considerable gain in resistance and deformation capacity of reinforced sections without significant increase in the weight of the rehabilitated elements.

Mots clés: Réhabilitation, poteaux en béton armé, confinement, matériaux composites.

1 Introduction

Le suivi et le contrôle des ouvrages mis en évidence soit des erreurs de conceptions initiales, soit des erreurs de réalisation, soit des vieillissements et endommagements évolutifs qui donnent des structures incapables de répondre aux exigences voulues en terme de résistance, rigidité et ductilité, ces anomalies nécessitent des méthodes de réparation ou de renforcement qui constituent assurément l'un des sérieux problèmes que rencontre actuellement le domaine de la construction. Avant de s'engager dans la réhabilitation des structures présentant des dégradations, il est indispensable de procéder à un diagnostic pour déterminer les causes [1]. Le choix de la méthode de réparation ou de renforcement et des matériaux à mettre en œuvre est défini en fonction de la nature et de l'importance des désordres constatés en tenant compte des critères économiques de matériaux de construction et des techniques choisies. L'avantage de la réhabilitation par rapport à la démolition puis la reconstruction est de limiter, voire supprimer les pertes d'exploitation. Les principales raisons de réhabilitation sont : la mise en conformité vis-à-vis des règlements en vigueur, les dégradations et les désordres que subissent les matériaux, les changements de fonctionnalité et l'esthétique. Dans la

réhabilitation [2] on peut être amené à procéder à des reprises en état d'éléments structurels présentant des défauts que l'on cherche à atténuer, pour obtenir un aspect satisfaisant ou un renforcement ou à la réparation d'éléments insuffisamment résistants

2 Modèle pour béton confiné par PRF

Le modèle proposé de contrainte-déformation pour un béton confiné par **PRF** en fonction des caractéristiques du béton : module d'élasticité E_c , la déformation ε_c et la résistance caractéristique $f'_{c0} = f_{c28}$ est donné par les expressions suivantes [3] (Figure 1) :

Pour la première partie parabolique ($0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_t$) :

$$f_c = E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4 f'_{c0}} \varepsilon_c^2 \quad (1)$$

Pour la deuxième partie linéaire ($\varepsilon_t \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cc}$) :

$$f_c = f'_{c0} + E_2 \varepsilon_c \quad (2)$$

La première partie parabolique rencontre la deuxième partie linéaire dans un point de transition dont la déformation ε_t est donnée par :

$$\varepsilon_t = \frac{2 f'_{c0}}{E_c - E_2} \quad (3)$$

Le module E_2 représente la pente de la seconde partie linéaire. Il est donné par :

$$E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_{c0}}{\varepsilon_{cc}} \quad (4)$$

La déformation axiale ultime ε_{cc} est donnée par la relation suivante :

$$\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{c0}} = 1,92 + 24,45 \frac{f_t}{f'_{c0}} \quad (5)$$

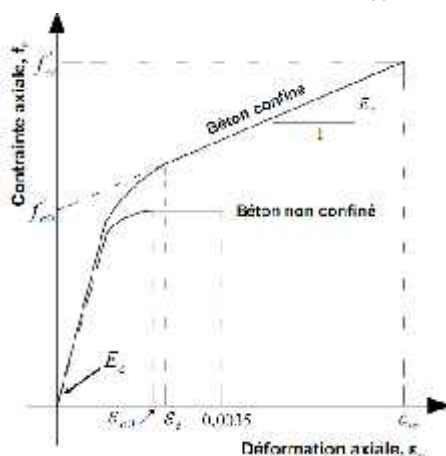


FIG. 1 - Relation contrainte-déformation pour un béton confiné par PRF

3 Confinement des poteaux rectangulaire par tissu en TFC

Avec le progrès dans le domaine des matériaux composites, plusieurs études ont été effectuées sur le confinement des colonnes de béton avec des PRF [4, 5, 6]. On constate que les colonnes confinées montrent une augmentation considérable de la résistance à la compression par rapport aux méthodes de confinement conventionnelles. Lorsque le béton est soumis à une compression axiale, celui-ci se

déforme latéralement. Cette déformation produit une fissuration qui augmente avec l'accroissement de la charge et qui conduit finalement à la rupture du béton. Si le béton est retenu latéralement de façon à réduire cette déformation, la résistance du béton et sa ductilité seront augmentées. Ce phénomène est communément appelé confinement du béton [7]. Le confinement peut être réalisé soit par une enveloppe externe, soit par un faible espacement entre les étriers. L'effet du renforcement sur la résistance limite à la rupture est d'autant plus important que le béton initial est résistant. L'épaisseur du renforcement conditionne le confinement de l'élément et donc améliore sa résistance à contrainte axiale. Plus l'épaisseur du renforcement augmente, plus la résistance à la compression de l'élément chemisé s'améliore. L'épaisseur du renfort est pourtant limitée car au-delà de certain nombre de couches la ductilité du renfort se trouve affectée et donc il sera moins performant car moins apte à se déformer pour confiner le béton. Considérons un poteau rectangulaire de largeur b et de hauteur h (figure 2). La contrainte latérale de confinement f_l en fonction de la limite élastique f_{prf} et l'épaisseur t_{prf} du tissu (figure 3) est définie par :

$$f_l = \frac{2 f_{prf} t_{prf}}{\sqrt{h^2 + b^2}} \quad (6)$$

La résistance du béton confiné f'_{cc} en fonction de la résistance du béton de la section initiale f'_{c0} et les facteurs de forme k_1 et k_2 est donnée par :

$$f'_{cc} = f'_{c0} + k_1 k_s f_l \quad (7)$$

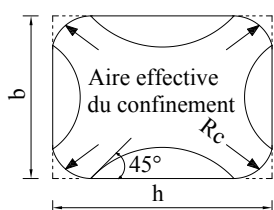


FIG. 2 - Action du confinement pour poteau rectangulaire

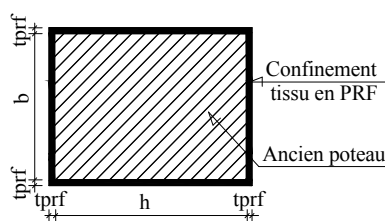


FIG. 3 - Confinement par TFC

Pour un poteau rectangulaire $k_1 = 2$. K_s est donné par :

$$k_s = \frac{b A_e}{h A_c} \quad (8)$$

Avec :

$$\frac{A_e}{A_c} = \frac{1 - [(b/h)(b - 2R_c)^2 + (h/b)(h - 2R_c)^2] / (3A_g) - \rho_{sc}}{1 - \rho_{sc}} \quad (9)$$

$$\rho_{sc} = \frac{A_l}{bh}, \quad A_g = bh - (4 - \pi)R_c^2 \quad \text{et} \quad A_s = bh - (4 - \pi)R_c^2 \quad (10)$$

Où A_g : Aire de l'ensemble des surfaces délimitées par le confinement en PRF, A_e : La surface de la zone de béton qui est influencée par le renforcement externe en composite PRF, A_l : Section totale des armatures longitudinales, R_c : rayon de congé et ρ_{sc} : pourcentage des armatures longitudinales.

4 Détermination de la résistance d'une colonne confinée par PRF

La résistance à la rupture d'une colonne renforcée uniquement par des armatures N_u est définie par :

$$N_u = N_{cu} + N_{su} = N_{cu} + f'_s A_s = N_{cu} + f_{y,s} A_s \quad (11)$$

Avec N_{cu} : charge reprise par la section du béton, N_{su} : charge reprise par l'armature verticale, $f_{y,s}$: limite d'élasticité de l'armature verticale, f'_s : résistance à la compression de l'armature verticale ($f'_s \leq f_{y,s}$), A_s : section totale des armatures longitudinales et A_c : section brute du béton.

Pour un béton non confiné par tissu en PRF, la charge reprise par la section du béton est (Règles BAEL) :

$$N_{cu} = (0,85 f'_{c0}) A_c = (0,85 f'_{c0}) b h \quad (12)$$

La capacité portante de la colonne non confinée N_u est :

$$N_u = 0,85 f'_{c0} A_c + f_{y,s} A_s \quad (13)$$

5 Etude du renforcement d'un poteau rectangulaire en béton armé

Pour cette étude nous considérons un poteau rectangulaire de dimensions (30x40) cm armé initialement de 8HA16 (figure 4) et nous étudions l'influence du renforcement par confinement à travers l'utilisation de tissus en fibres de carbone Type Sika Wrap-230C ayant une épaisseur nette de fibres de 0.13mm, une résistance nominale à la traction de $f_{fpr} = 4300 \text{ MPa}$ et un allongement nominale $\varepsilon_{fpr} = 1,8\%$ (figure 5). La résistance du béton $f'_{c0} = 25 \text{ MPa}$ [8]. Les valeurs des différents paramètres sont : $K_1 = 2$, $b = 30 \text{ cm}$, $h = 40 \text{ cm}$, $R_c = 5 \text{ cm}$, $A_g = 1178,50 \text{ cm}^2$, $\rho_{sc} = 1,33\%$, $(A_c/A_s) = 0,57$, $K_s = 0,43$.

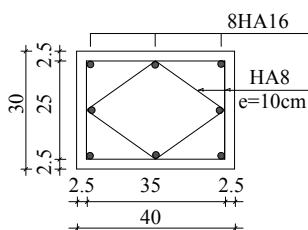


FIG. 4 - Section de référence

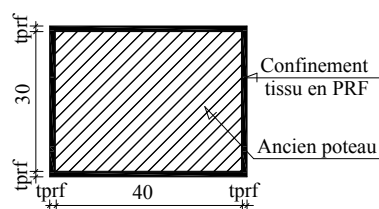


FIG. 5 - Confinement par PRF

5.1 Calcul de la capacité du poteau confiné par PRF

La capacité du poteau $N_{u,prf}$ en fonction de l'épaisseur des couches du PRF est mentionnée sur le tableau 1.

Epaisseur t_{prf} (mm)	f'_{c0} (MPa)	f'_l (MPa)	f'_{cc} (MPa)	ε_{cc}	$N_{u,prf}$ (tf)	$\frac{N_{u,prf}}{N_{u,prd}}$ 319
0	25,00	0	25	0,0035	319,00	1,00
0,13 (1 couche)	25,00	3,66	28,15	0,011	356,77	1,12
0,26 (2 couches)	25,00	7,32	31,29	0,018	394,54	1,24
0,39 (3 couches)	25,00	10,98	34,44	0,025	432,31	1,35
0,52 (4 couches)	25,00	14,63	37,58	0,032	469,98	1,47
0,65 (5 couches)	25,00	18,29	40,73	0,037	507,75	1,59
0,78 (6 couches)	25,00	21,95	43,88	0,047	545,52	1,71

Tableau 1 : Résistance du béton confiné par PRF

L'épaisseur du renforcement conditionne le confinement de l'élément et donc améliore sa résistance à contrainte axiale. Plus l'épaisseur du renforcement augmente, plus la résistance à la compression de l'élément confiné s'améliore (figure 6). Le rapport entre déformations maximales ε_{cc} du béton confiné par PRF et $\varepsilon_c = 0,0035$ pour un béton non confiné est mentionné sur le tableau 2. D'après le tableau 2, la capacité en déformation augmente avec l'augmentation de l'épaisseur des couches du PRF.

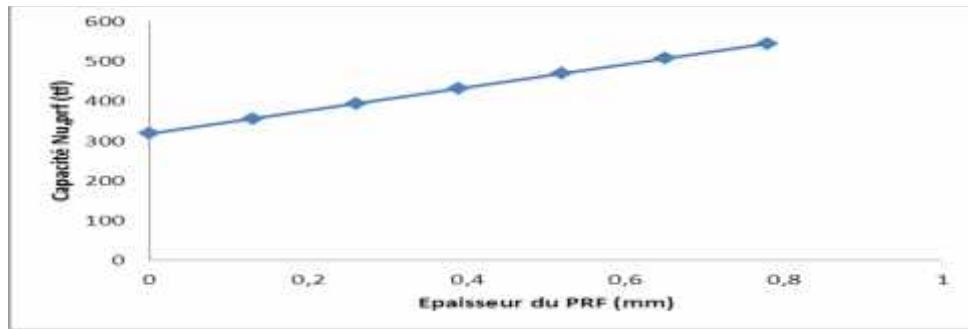


FIG. 6 - Relation entre la capacité du poteau et l'épaisseur du PRF

Epaisseur t_{prf} (mm)	f'_{c0} (MPa)	f'_{cc} (MPa)	ϵ_{cc}	ϵ_c	$\epsilon_{cc} / \epsilon_c$
0	25,00	25	0,0035	0,0035	1
0,13 (1 couche)	25,00	28,15	0,011	0,0035	3,14
0,26 (2 couches)	25,00	31,29	0,018	0,0035	5,14
0,39 (3 couches)	25,00	34,44	0,025	0,0035	7,14
0,52 (4 couches)	25,00	37,58	0,032	0,0035	9,14
0,65 (5 couches)	25,00	40,73	0,037	0,0035	10,57
0,78(6 couches)	25,00	43,88	0,047	0,0035	13,43

Tableau 2 : Comparaison des déformations

5.2 Influence du poids du PRF

Le poids P pour 1 mètre linéaire du poteau confiné, et le rapport R entre le poids de l'élément confiné et l'élément initial sont mentionnés sur le tableau 3. On remarque que l'influence du poids supplémentaire du confinement est négligeable.

Epaisseur t_{prf} (mm)	A_c (m ²)	$A_{prf} \cdot 10^3$ (m ²)	P (kg/m)	$R = \frac{P}{300}$
0	0,12	0	300	1,00
0,13 (1 couche)	0,12	0,18	300,36	1,00
0,26 (2 couches)	0,12	0,36	300,72	1,00
0,39 (3 couches)	0,12	0,55	301,10	1,00
0,52 (4 couches)	0,12	0,73	301,46	1,01
0,65 (5 couches)	0,12	0,91	301,82	1,01
0,78(6 couches)	0,12	1,1	302,2	1,01

Tableau 3 : Influence du poids du PRF

5.3 influence du nombre de couches du PRF sur la ductilité

Les valeurs des courbures et des moments (courbe moment-courbure idéalisée) : φ_y à la phase élastique, φ_u à la phase ultime et le moment plastique M_p [9] ainsi que la ductilité en courbure μ_φ en fonction de l'épaisseur du TFC sont mentionnées sur les tableaux 4.

Section	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
	t_{prf} (mm)						
M, φ	0	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78
φ_y (m ⁻¹)	0,0075	0,0077	0,0077	0,0077	0,0077	0,0078	0,0084
φ_u (m ⁻¹)	0,2460	0,2953	0,2866	0,2849	0,2839	0,2831	0,2999
M_p (tf.m)	8,6350	9,2963	9,5317	9,5699	9,6453	9,6854	8,9961
$\mu_\varphi = \varphi_u / \varphi_y$	32,80	38,35	37,22	37,00	36,87	36,29	35,70
$\mu_\varphi / 32,80$	1.00	1,17	1,13	1,13	1,12	1,11	1,10

Tableau 4 : Moments et courbures des sections renforcées

Créé avec

La ductilité en courbure des sections confinées par tissu PRF est supérieure à celle de la section initiale. Elle est presque constante à partir de $t_{prf}=0,52 \text{ mm}$. Elle diminue avec l'augmentation du nombre de couches. Au-delà de 3 couches le moment ultime est presque constant ainsi que la ductilité en courbure. La relation moment-courbure en utilisant le logiciel SAP2000, section Designer [9] est représentée sur la figure 7.

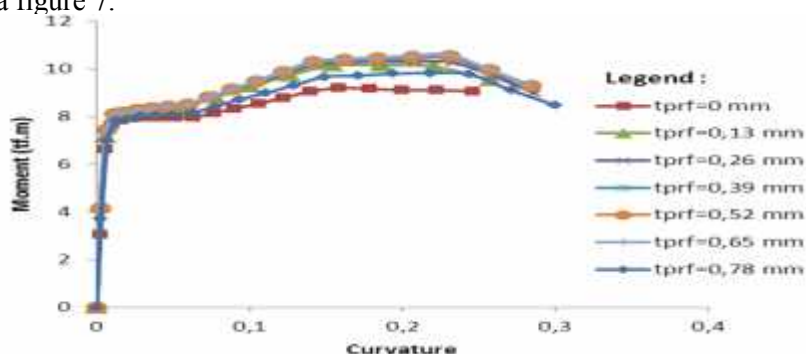


FIG. 7 - Relation moment-courbure des sections renforcées par TFC

6 Conclusion

Le chemisage en béton des poteaux en béton armé améliore la capacité en résistance et diminue la ductilité. Il augmente considérablement le poids des éléments chemisés ce qui nécessite généralement le redimensionnement des fondations. L'épaisseur recommandée est de 7 cm, dans le but de ne pas modifier beaucoup les caractéristiques initiales de la structure ainsi que l'aspect architectural.

La capacité en résistance et en déformation des poteaux confinés par tissu en PRF s'améliore avec l'augmentation du nombre des couches du tissu. Au-delà de trois couches le moment plastique reste constant mais la ductilité en courbure diminue. L'influence du poids supplémentaire de la chemise est négligeable par rapport au poids de l'élément initial, ce qui évite le redimensionnement des fondations. Les matériaux composites ont une grande flexibilité en s'adaptant aux formes géométriques les plus complexes des éléments renforcés, facilités de manutention, de transport et de mise en œuvre sur site ainsi que leurs résistances assez importantes que les autres moyens de renforcement. Ces avantages, permet l'utilisation des matériaux composites comme méthode de renforcement et de réparation des structures en béton armé. L'application des matériaux composites est une alternative intéressante par rapport aux méthodes traditionnelles de réhabilitation, C'est pour cette raison que le choix de réhabilitation par matériaux composites est jugé favorable.

Bibliographie

- [1] Madi R., Guenfoud M., Etude de la vulnérabilité des constructions vis-à-vis du séisme. *Revue Technologie et développement, ANDRU*, Vol. 8, 2011.
- [2] Madi R., Guenfoud M., Renforcement des poteaux en béton armé, Congrès Algérien de mécanique CAM2011, 14-17 Novembre 2011, Université 08 mai 45, Guelma, Algérie, 2011.
- [3] Lam, L., Teng, G., J., *Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined concrete*, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 17, pp. 471-489, 2003.
- [4] Wu G., Lu Z. T. et Wu Z. S., Strength and ductility of concrete cylinders confined with FRP composites. *Construction and building materials* Vol. 20, 134-148, 2006.
- [5] Promis G., Ferrier E, Hamelin P., Effect of external FRP retrofitting on reinforced concrete short columns for seismic strengthening. *Composite Structures*, Vol. 88, 367-379, 2009.
- [6] Tastani S. P., Pantazopoulou S. J., Detailing procedures for seismic rehilitation on reinforced concrete members with fiber reinforced polymers. *Engineering Structure*, Vol. 30, 450-461, 2008.
- [7] Nawy E. G., *Prestressed concrete, a fundamental approach*. 4th Edition, Prentice Hall, 2003.
- [8] COMITE EUROPEEN DE NORMALISATION, Eurocode 2: Calcul des structures en béton- Partie 1: Règles générales et règles pour les bâtiments, Afnor, 1992.
- [9] CSI. SAP2000 V-11, Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual. Berkeley (CA, USA): Computers and Structures Inc, section designer, 2007.