

# Contribution à l'étude du comportement des bétons confinés par CFRP

Mohammed El Youbi<sup>1</sup>, Imad Kadiri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Laboratoire d'Etude des Matériaux Avancés et Applications (LEM2A), Ecole Supérieure de Technologie de Meknès, Université Moulay Ismail (UMI), Meknès, Morocco*

Les techniques de confinement du béton par des tissus en polymère renforcé de fibres de carbone (CFRP) ont connu un essor important, ces matériaux de nouvelle génération offrant un rapport performances mécaniques/poids très élevé, une forte résistance aux environnements corrosifs, ainsi qu'une grande facilité de mise en œuvre.

Le présent travail de recherche se propose de contribuer à l'étude du comportement des poteaux en béton armé confinés par des matériaux composites à fibres de carbone CFRP. Une étude numérique a donc été menée sur plusieurs poteaux en béton armé, d'échelle représentative ; diverses configurations de renforcement ont été appliquées sur ces corps d'épreuve, qui ont ensuite été testés en chargement composée de compression-flexion. Ces différents essais nous ont permis d'analyser le comportement des poteaux en fonction des propriétés mécaniques des matériaux, du degré de confinement et de l'excentricité du chargement. Les modèles numériques obtenus sont discutés et comparés aux différents travaux de la littérature.

**Mots-clefs** : Renforcement, Béton confiné, CFRP, Modélisation Eléments finis

## I. INTRODUCTION

Au cours des vingt dernières années, des séismes de grande ampleur ont mis en lumière la question de la mise à niveau des structures sous sollicitation sismique, Cependant plusieurs structures en béton armé (ponts, viaducs et bâtiments) sont construites selon les codes de conception anciens avant la mise en place des règlements parasismiques [1], ces structures sont susceptibles à subir d'importants dommages lors d'un séisme et même à poser un risque pour la sécurité des utilisateurs. Depuis, les normes parasismiques ont été grandement améliorées et avec le vieillissement des infrastructures, des dilemmes importants forcent les décideurs à choisir entre la réhabilitation et la reconstruction.

Dans ce contexte, les efforts de recherche dans le secteur de la construction se sont concentrés sur l'évaluation et la mise à niveau des structures pour garantir un niveau acceptable de service et de sécurité des ouvrages. Ces efforts se déclinent autour des problématiques de surveillance, de contrôle non destructive CND, d'évaluation structurale, de réparation et renforcement. Ces dernières années, la technique de confinement par des tissus en Polymère Renforcé de Fibres de Carbone (CFRP) a connu un essor important, ces matériaux de nouvelle génération offrant un rapport performances mécaniques/poids très élevé, une forte résistance aux environnements corrosifs, ainsi qu'une grande facilité de mise en œuvre [2]. L'objectif du présent travail de recherche est donc de contribuer à l'étude du comportement non linéaire du béton confiné par CFRP, la complexité de la tâche réside en partie sur les paramètres des modèles qui dépendent de

la géométrie de la structure et des propriétés des matériaux, ce model doit prendre en compte le comportement élasto-plastique endommageable du béton ,pour cela un programme numérique est implémenter dans un code de calcul par éléments finis , ce code est validé et apprécié en le confrontant à des résultats expérimentaux et numériques de la littérature .

**II. Model élasto-plastique endommageable du béton confiné**

Une compréhension des modèles contrainte-déformation du béton confiné par CFRP est nécessaire pour pouvoir dimensionner un poteau en béton armé renforcé en CFRP, particulièrement lorsque ce dernier est soumis à un chargement combiné de compression / flexion, et que sa ductilité sismique est défailante. Lam et Teng [3,4] ont établi un modèle pour les bétons confinés avec des matériaux composites PRF, ils ont relié la déformation axiale ultime à la pression de confinement comme suit :

$$\frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_{co}} = 2k_2 \frac{f_l}{f'_{co}} \tag{1}$$

$k_2$  : le coefficient d'augmentation de la déformation axiale du béton (dépend du type de FRP)

$$\sigma_c = E_c \epsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2}{4f'_{co}} \epsilon_c^2 \quad ; \quad \text{pour } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_t \tag{2}$$

$$\text{Et } \sigma_c = f'_{co} + E_2 \epsilon_c \quad ; \quad \text{pour } \epsilon_t \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cc} \tag{3}$$

La courbe contrainte-déformation est bilinéaire ascendante (voir Figure 1) la transition entre les deux branches parabolique et linéaire est progressive au point  $\epsilon_t$  tel que :

$$\epsilon_t = \frac{2f'_{co}}{E_c - E_2} \quad , \quad E_2 = \frac{f'_{cc} - f'_{co}}{\epsilon_{cc}} \quad , \quad (\text{la pente de 2}^{\text{ème}} \text{ branche linéaire}) \quad , \quad E_2 = \frac{2f_l}{\epsilon_{cc}} \tag{4}$$

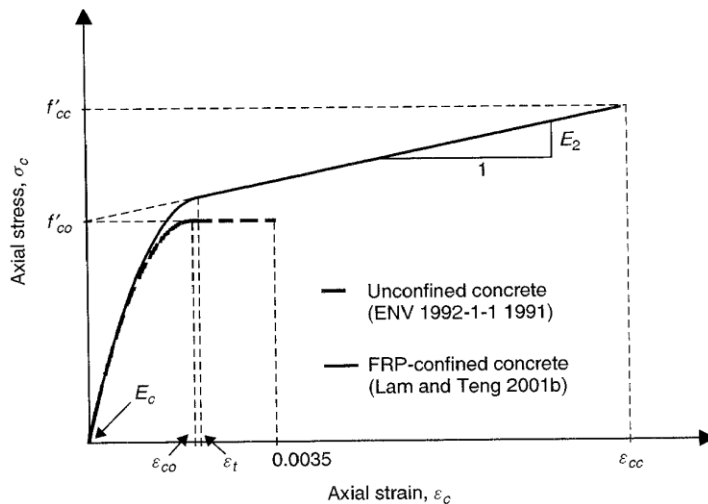


FIGURE 1. : Modèle de Lam et Teng pour le béton confiné avec des matériaux FRP

Le modèle de Lam et Teng [3,4] est le premier modèle le béton confiné avec des matériaux composites qui tient compte du type des fibres du composite utilisé pour le confinement., à cet effet les auteurs proposent une équation pour calculer la déformation axiale ultime du béton

confiné comme suit :

$$\frac{\epsilon_{cc}}{\epsilon_{co}} = 2 + 15 \frac{f_l}{f'_{co}} \tag{5}$$

### III. CARACTERISATION NUMERIQUE ET VALIDATION.

Des séries de calculs sur divers types de poteaux en béton armé ont été menées pour vérifier la capacité du model numérique à reproduire les résultats expérimentaux obtenus par Ilki et al. [5]. Les détails des colonnes testées sont présentés sur le Tableau 1. Les analyses ont été effectuées sur des poteaux de section rectangulaire ( $250 \times 250 \times 500$ ) en béton armé renforcées avec des chemises en CFRP. L'analyse numérique non linéaire a été réalisée en utilisant la méthode d'éléments finis. Des paramètres tel que l'épaisseur du renfort CFRP, la géométrie des poteaux, la disposition du ferrailage et l'orientation des fibres ont été pris en compte.

**TABLEAU 1.** Géométrie et détail du poteau

Test spécimen	Ferrailage / Espacement des cadres	Nombre de plis	Détail du poteau
P1	4T14 et T8 @ 200 mm	0	
P2	4T14 et T8 @ 100 mm		
P3	4T14 et T8 @ 50 mm		
P4	4T14 et T8 @ 200 mm	3	
P5	4T14 et T8 @ 100 mm		
P6	4T14 et T8 @ 50 mm		
P7	4T14 et T8 @ 200 mm	5	
P8	4T14 et T8 @ 100 mm		
P9	4T14 et T8 @ 50 mm		

Les propriétés mécaniques des matériaux utilisés sont présentées sur le Tableau 2, dans cette modélisation, une liaison entre le béton et les armatures est supposée parfaite, les éléments de liaison pour les barres d'armature étaient connectés entre les nœuds de chaque élément solide en béton adjacent de sorte que les deux matériaux partageant les mêmes nœuds.

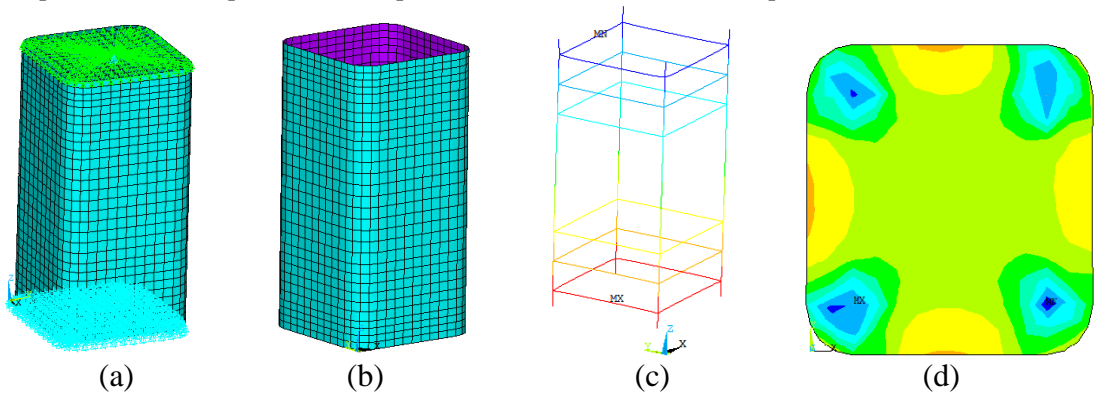
**TABLEAU 2.** Propriétés mécaniques des matériaux

Matériaux	Résistance (MPa)	Module (MPa)	Coefficient de Poisson
<b>Béton</b>	$f_c=26.40$	24500	0.20
<b>Barres</b>	$f_y=476$	200000	0.3
<b>Cadres</b>	$f_y=345$	200000	0.3
<b>CFRP</b>	$f_t=3430$	$E_x=230000 ; G_{xy}=7000$ $E_y=12000 ; G_{yz}=7000$ $E_z=12000 ; G_{xz}=7000$	$\nu_{xy}=0.3$ $\nu_{yz}=0.45$ $\nu_{xz}=0.3$

### IV Résultats et discussion

Dans cette section, on reporte les résultats obtenus par modélisation éléments finis du comportement de poteaux à section rectangulaires sollicités en compression et confinés ou non par PRFC. Une représentation du model numérique du poteau, du maillage utilisé pour le béton et ses armatures internes et de la chemise de confinement CFRP est reportée en figures 2(a) ,2(b) et 2(c). Sur la figure 2(d) une confrontation est menée par superposition des résultats obtenus par simulation avec les résultats collectés de la bibliographie (travaux de : Lam et al [3,4], Ilki et al [5], Matthys et al [6] et Jiang et Teng [7]) qui montrent que la section effectivement confinée est comprise entre quatre paraboles comme illustrées sur la Figure 2(d), avec une pente initiale des

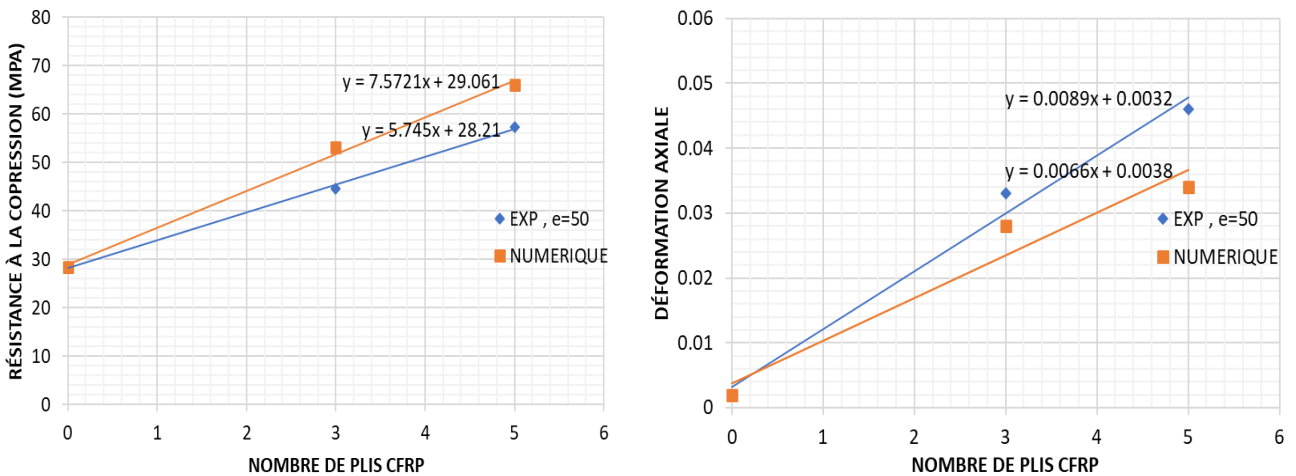
paraboles égalent à celle des diagonales adjacentes. On remarque que la modélisation est bien apte à reproduire le comportement du poteau confiné avec une bonne précision.



**FIGURE 2.** : Model numérique des différents éléments du poteau (a) Maillage et conditions aux limites. (b) Maillage de la chemise CFRP. (c) Armatures métalliques. (d) Isovaleurs du champ déformation du poteau P1 confiné avec 3 couches CFRP

Les figures 3(a) et 3(b) montrent l’effet de la variation de la rigidité du confinement sur le comportement mécanique des poteaux, l’augmentation de la rigidité du confinement entraîne à la fois, une augmentation de la résistance à la compression 3(a) et de la ductilité 3(b).

Le confinement augmente considérablement la résistance ultime à la compression et les déformations ultimes, un gain de résistance en compression de 73 % et 114 % est remarqué pour les poteaux confiné avec 3 et 5 couches CFRP respectivement. Ces figures montrent clairement qu’il existe une bonne corrélation entre les résultats expérimentaux et les résultats prédits par le modèle numérique proposé.



**FIGURE 3.** : Comparaison des résultats numériques et expérimentaux en fonction du nombre de couches PRFC (Poteaux P3, P6 et P9) (a) Résistance en compression (b) déformation axiale.

## CONCLUSION :

Ce travail de recherche porte sur l'évaluation du comportement mécanique sous chargement axiale des poteaux en béton armé confiné par des enveloppes en matériaux composites CFRP. Sur la base des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Le comportement des bétons confinés par chemisage composite est quasi-bilinéaire, il dépend de la nature des fibres du composite utilisé au travers de leur rigidité et de façon très influente du nombre de plis mis en œuvre
- L'utilisation des composites CFRP donne une résistance aux déformations dues aux charges axiales, qui résulte d'un confinement des contraintes développées dans le béton, ce qui améliore à la fois la contrainte de compression ultime et la ductilité du béton.
- Le modèle proposé offre des prédictions satisfaisantes en ce qui concernent la contrainte et la déformation du béton confiné et nous encourage à exploiter la modélisation dans le cadre d'une démarche plus applicative.

## REFERENCES

- [1] Farahmandpour, C. (2017). Modélisation et simulation du comportement des bétons confinés (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).
- [2] Benzaid, R. (2010). Contribution à l'étude des matériaux composites dans le renforcement et la réparation des éléments structuraux linéaires en béton.
- [3] Lam, L., & Teng, J. G. (2004). Ultimate condition of fiber reinforced polymer-confined concrete. *Journal of Composites for Construction*, 8(6), 539-548
- [4] Lam, L., & Teng, J. G. (2003). Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete. *Construction and building materials*, 17(6-7), 471-489.
- [5] Ilki, A., Peker, O., Karamuk, E., Demir, C., & Kumbasar, N. (2008). FRP retrofit of low and medium strength circular and rectangular reinforced concrete columns. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(2), 169-188.
- [6] Matthys, S., Toutanji, H., & Taerwe, L. (2006). Stress-strain behavior of large-scale circular columns confined with FRP composites. *Journal of Structural Engineering*, 132(1), 123-133.
- [7] Jiang, T., & Teng, J. G. (2007). Analysis-oriented stress-strain models for FRP-confined concrete. *Engineering Structures*, 29(11), 2968-2986.