

Effet des Déformations Différées du Béton sur la Réponse Sismique des Murs de Contreventement Renforcés par des Composites ayant une Répartition Sinusoïdale des Fibres

R. Yeghnem^{1,2}, S.A. Meftah², A.Toussi² and E.A. Adda Bedia²

1. Université Dr. Tahar Moulay, Département de Génie Civil et Hydraulique, Saida, Algérie
2. Université Djillali Liabés, Laboratoire des matériaux et Hydrologie (LM&H), Sidi Bel Abbés, Algérie

ABSTRACT — Le présent article traite l'effet des déformations différées fluage-retrait du béton sur la réponse sismique des murs de contreventement en béton armé renforcés par des matériaux composites ayant une répartition sinusoïdale des fibres. La rigidité latérale de l'assemblage collé : mur en B.A., adhésif et matériau composite, tenant compte du phénomène du fluage et retrait du béton décrit par l'Eurocode 2 et de la variation de la fraction volumique des fibres selon la largeur de la plaque composite, a été déterminée par un modèle en éléments finis. Des séismes importants enregistrés en Algérie (El-Asnam et Boumerdés) ont été testés afin de démontrer l'efficacité de la méthode proposée. Des matériaux composites à base de fibres de carbone associées à une matrice d'époxyde ont été utilisés.

Les résultats numériques obtenus sont discutés et les facteurs essentiels influençant la réponse sismique des murs de contreventement en béton armé renforcés, tenant compte des effets du mécanisme différé fluage-retrait du béton, sont mis en relief. Des perspectives sont en cours d'étude.

Keywords: Murs en B.A. renforcés, matériau composite, fibres, répartition sinusoïdale, éléments finis.

I.Introduction

Dans les édifices élancés en béton armé, les murs de contreventement en béton armé peuvent être une forme de construction recherchée compte tenu de leur comportement satisfaisant face aux forces de séisme et/ou de vent. Leur grande rigidité en plan contribue à contrôler les déflexions et à minimiser les déplacements inter étages excessifs. Cependant, ces systèmes structuraux sont nécessaires pour résister sans s'effondrer et sans subir de gros dégâts. Pour atteindre ces objectifs, la structure a besoin d'une ductilité élevée, d'une rigidité suffisante en cisaillement pour une meilleure dissipation

Corresponding author: Yeghnem Redha

Research field: Civil engineering

Adress: LM&H, SBA

E-mail:yeghnemreda2000@yahoo.fr

de l'énergie. Ces exigences sont souvent incapables de satisfaire les concepteurs en génie civil. Cela ressort clairement de ce qui s'est passé durant les récents séismes en Iran, Turquie, Espagne, Japon, USA et Algérie.

Cependant, plusieurs techniques ont été développées afin d'obtenir une rigidité suffisante des murs de contreventement en béton armé, parmi elles citons les matériaux composites à base de fibres présentant plusieurs avantages : résistances mécaniques élevées, légèreté et facilité de mise en œuvre.

L'utilisation de ces polymères à base de fibres collés en surface pour le renforcement des murs en béton armé est aujourd'hui une technique éprouvée. Leurs applications à travers le monde, à la fois nombreuses et diversifiées, connaissent, depuis leur introduction dans le

monde de la construction, un succès remarquable.

Par conséquent, peu de recherches ont été menées sur l'étude du comportement des murs de contreventement renforcés [1...3]. Des études approfondies [4,5] ont montré que les stratifiés de PRFC (polymère renforcé à base de fibres de carbone) collées à l'extérieur sont particulièrement adaptés pour améliorer le comportement à court terme des poutres et dalles en béton armé.

Dans ce papier, une attention est accordée à l'influence des effets rhéologiques du béton, fluage et retrait, sur la rigidité latérale des murs de contreventement renforcés par des plaques en PRFC, ayant une distribution sinusoïdale des fibres, sous deux séismes importants enregistrés en Algérie (El-Asnam et Boumerdés).

II. Analyse des murs de contreventement par éléments finis

De nos jours, la méthode des éléments finis est devenue un outil efficace pour l'analyse des structures en béton armé. Dans cet article, deux éléments existants, nommés respectivement : l'élément CHEUNG et l'élément KWAN [6, 7] ont été utilisés. La combinaison de ces deux éléments a mené à un modèle satisfaisant certains critères: l'élément de KWAN simplifié (8 degrés de liberté).

III. Théories et solutions

III.1. Effet du fluage et du retrait sur la déformation élastique des murs en B.A.

En supposant que le fluage et retrait sont indépendants, la déformation du retrait $\varepsilon_b^F(y)$ est donnée par [8] :

$$\varepsilon_b^F(y) = \varepsilon_{sb}(t - t_{bc}) = \alpha T_b \quad (1)$$

Où : α , T_b et $\varepsilon_{sb}(t - t_{bc})$ sont respectivement : le coefficient linéaire de dilatation thermique, distribution de température et la déformation du retrait. A partir de (1), il est clair que la

déformation du retrait $\varepsilon_b^F(y)$ est liée à la dilatation thermique.

La déformation $\varepsilon_b(y)$ du mur voile en B.A. peut être écrite sous la forme :

$$\varepsilon_b(y) = \varepsilon(y) + \alpha T_b \quad (2)$$

Où $\varepsilon(y)$ est la déformation verticale du mur voile en B.A. définie par :

$$\varepsilon(y) = \frac{dv}{dy} \quad (3)$$

Remarquons dans les équations suivantes que : $E_b = E_b(t)$ et $G_b = G_b(t)$ sont respectivement les modules d'élasticité et de cisaillement dépendant du temps, définis par [9]:

$$E_b(t) = \frac{E_{b1}}{1 + \chi \varphi(t, t_b)} \quad (4)$$

$$G_b(t) = \frac{E_b(t)}{2(1 + \nu)}$$

III.2. Fraction volumique des fibres V_f

L'expression de la fraction volumique des fibres de matériaux composites prenant compte la variation des propriétés matérielles le long de la largeur de la plaque composite utilisée s'écrit de la façon [10] :

$$V_f = V_{fav} + A \cdot \cos\left(\frac{2\pi x}{b}\right) \quad (5)$$

Où : $V_{fav} = 0.5$ est la valeur moyenne de la fraction volumique des fibres, A l'amplitude sinusoïdale allant de -0.4 à 0.4 avec un pas de 0.1.

III.3. Modules élastiques du composite

Les modules d'élasticité : longitudinale E_y , transversale G_{xy} et le coefficient de poisson ν_{xy} du matériau composite peuvent être donnés, en

fonction des propriétés des fibres et de la matrice, en respectant la loi de mélange :

$$E_y = E_m \frac{E_m(1-\sqrt{V_f}) + E_f\sqrt{V_f}}{E_m[1-\sqrt{V_f} \cdot (1-\sqrt{V_f})] + E_f\sqrt{V_f}(1-\sqrt{V_f})}$$

$$G_{xy} = G_m \frac{G_m\sqrt{V_f}(1-\sqrt{V_f}) + G_f[1-\sqrt{V_f}(1-\sqrt{V_f})]}{G_m\sqrt{V_f} + G_f(1-\sqrt{V_f})}$$

$$v_{xy} = v_m(1-\sqrt{V_f}) + v_f\sqrt{V_f} \quad (6)$$

III.4. Matrice de rigidité du mur de contreventement renforcé

Le calcul de la matrice de rigidité du mur en béton armé renforcé par des plaques en matériau composite (voir fig.1), nécessite la détermination de l'énergie de déformation de l'élément, due aux effets de flexion et de cisaillement, définie par:

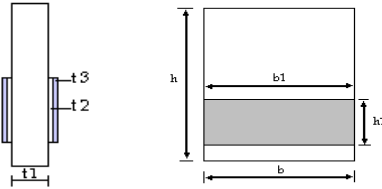
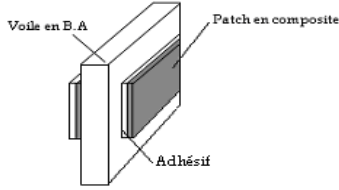


Fig. 1 Perspective d'emplacement des plaques composites
(1) Emplacement des plaques, (2) Vue de face et (3) Vue latérale

$$U^e = U_f^e + U_c^e \quad (7)$$

Où U_f^e et U_c^e sont respectivement les énergies de déformation dues à la flexion et au cisaillement, écrites en fonction des déformations du mur de contreventement.

Considérons l'énergie de déformation due à l'effet de flexion, notée U_f^e :

$$U_f^e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \int_{vol} E_y^{(i)} (\epsilon_y)^2 dvol_{(i)} \quad (8)$$

L'expression de l'énergie de déformation due au cisaillement peut être écrite comme suit :

$$U_c^e = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^3 \int_{vol} G_{xy} (\gamma_y)^2 dvol_{(i)} \quad (9)$$

Pour l'élément mur, l'énergie de déformation s'écrit de la façon:

$$U^e = \frac{1}{2} d_e^t K_w d_e \quad (10)$$

Où le vecteur de déplacement nodal d_e est donné par:

$$d_e = \left\{ u_1, \omega, v_1, v_2, u_2, \omega, v_3, v_4 \right\} \quad (11)$$

La matrice de rigidité K_w est déterminée par une formulation en éléments finis standards.

III.5. Résolution de l'équation du mouvement

L'équation générale de mouvement peut être écrite sous la forme :

$$[M] \cdot \{\ddot{U}(t)\} + [C] \cdot \{\dot{U}(t)\} + [K] \cdot \{U(t)\} = \{P(t)\} \quad (12)$$

Où: [M], [C] et [K] désignent respectivement les matrices masse, d'amortissement et de rigidité.

$\{\ddot{U}(t)\}$, $\{\dot{U}(t)\}$ et $\{U(t)\}$: respectivement les vecteurs d'accélération, de vitesse et de déplacement.

$\{P(t)\}$: Vecteur des forces extérieures.

La matrice d'amortissement est calculée par la méthode de Rayleigh par:

$$[C] = \alpha_1 [M] + \alpha_2 [K] \quad (13)$$

Avec:

$$\alpha_1 = \xi \frac{2\lambda_j \lambda_p}{\lambda_j + \lambda_p} \text{ et } \alpha_2 = \xi \frac{2}{\lambda_j + \lambda_p} \quad (14)$$

ξ : facteur d'amortissement du système (5%)

λ_j et λ_p : fréquences propres déterminées par la résolution de l'équation du système non amorti :

$$|[K] - \lambda^2 [M]| = 0 \quad (15)$$

Par l'utilisation de la méthode d'intégration pas à pas de Newmark [11], on a résolu l'équation du mouvement. Les paramètres β et γ de la méthode d'intégration ont été pris respectivement égaux à $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$.

IV. Étude numérique

De nombreux exemples sont présentés pour valider les résultats de la présente méthode. Ces résultats seront comparés à ceux du modèle de référence (modèle non renforcé). Les paramètres géométriques de la structure contreventée et mécaniques des matériaux utilisés sont donnés dans les tableaux 1 et 2. Les épaisseurs, de l'adhésif et de la plaque, sont respectivement 0.002 et 0.006 m.

Tableau 1. Dimensions de la structure étudiée

Structur e	Dimensions			
	Hauteur totale H	Hauteur d'étage	Largeur du mur	Epaisseur du mur
25 étages	75 m	3 m	12 m	0.25 m

Tableau 2. Paramètres mécaniques des matériaux utilisés

Matériaux	Module de Young E (GPa)	Coefficient de Poisson ν
Béton	30	0.18
Adhésif	3	0.35
Epoxyde	3,445	0.35
Carbone	140	0.22

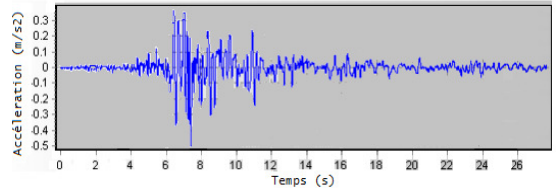
IV.1. Accélérogrammes sismiques

Pour mener l'analyse dynamique, deux séismes ont été choisis : El-Asnam et Boumerdés. Leurs accélérogrammes et caractéristiques sont données dans le tableau 3 et la figure 2.

Tableau 3. Caractéristiques des séismes choisis

Séisme	Localisation	Date	Accélération max du sol.PGA	Magnitude
El-Asnam	El-Asnam (Chlef)	10-10-1980	0.049g	7.3
Boumerdés	Région d'Alger Boumerdés : Keddara	21-05-2003	0.35g	6.8

(a)



(b)

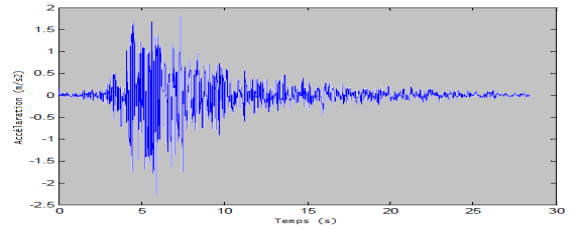


Fig. 2 Accélérogrammes des séismes

(a) El-Asnam et (b) Boumerdés

IV.2. Présentation des résultats

D'une part, les déplacements latéraux des murs de contreventement renforcés par des PRFC sont comparés à ceux du modèle de référence (non renforcé), sous les deux séismes choisis (El-Asnam et Boumerdés), en tenant compte de la distribution sinusoïdale des fibres

de la plaque et l'effet du fluage et retrait du béton (âge du béton $t = 120$ jours).. Les résultats sont portés sur la figure 3.

D'autre part, les déplacements latéraux des murs de contreventement, renforcés par des plaques en composites à base de fibres de carbone sont étudiés sous le séisme de Boumerdés, en tenant compte de l'effet du fluage et retrait du béton (âge du béton $t = 120...5000$ jours). Cet effet est reporté sur la figure 4.

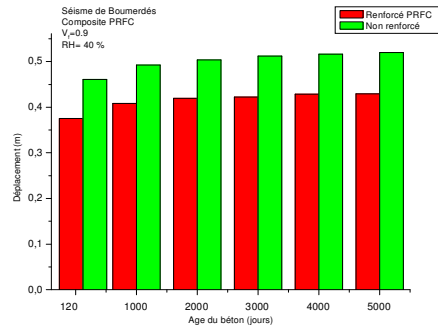
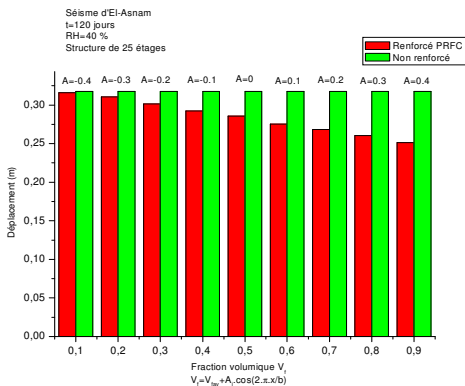


Fig. 4 Effet du fluage et retrait sur les déplacements: Séisme de Boumerdés

(a)



(b)

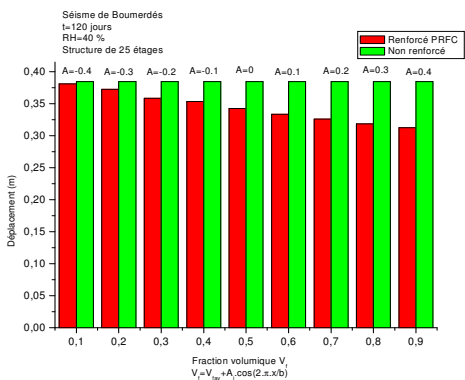


Fig. 3 Effet de la distribution des fibres du composite sur les déplacements sous les deux séismes

(a) El Asnam et (b) Boumerdés

IV.3. Discussion des résultats

Analysons l'effet de la distribution sinusoïdale des fibres des plaques composites utilisées dans la présente étude pour le renforcement des murs de contreventement sous les séismes testés et d'après les résultats obtenus, nous pouvons constater que si la fraction volumique des fibres avoisine les 0.9, les déplacements latéraux des murs diminuent de 20% sous le séisme d'El-Asnam et de 18% pour le séisme de Boumerdés.

La réduction des déplacements est donc proportionnelle à la variation de la fraction des fibres le long de la largeur de la plaque composite. De ce fait, les fibres doivent être concentrées aux bords de la plaque composite où les contraintes sont les plus élevées.

Par l'analyse de l'effet du fluage et retrait du béton sur les déplacements des murs, la réduction des déplacements est notamment proportionnelle à l'âge du béton. De ce fait, pour un jeune âge, les déplacements des murs sont tolérables. Ils deviennent élevés au cours du temps et se stabilisent à long terme (généralement au delà de 7000 jours).

V. Conclusion

Le but de cette contribution est d'analyser l'effet des déformations différées fluage et retrait sur le comportement sismique des murs

de contreventement en béton armé renforcés par des plaques en composite ayant une répartition sinusoidale des fibres. Un modèle en éléments finis a été établi afin de déterminer les déplacements latéraux des murs renforcés sous des séismes locaux enregistrés en Algérie (El-Asnam et Boumerdés). Les principales conclusions à retenir sont :

- Les déplacements augmentent au cours du temps sous l'effet du fluage du béton ;
- Le renforcement dépend des caractéristiques mécaniques et géométriques des plaques composites utilisées ;
- L'influence du fluage est constatée au bout des premiers mois de durcissement du béton.

References

- [1] A. Balsamoa, A. Colombob, G. Manfredic, P. Negrod and A. Protac, "Seismic behavior of a full-scale RC frame repaired using CFRP laminates", *Engineering Structures*, Vol. 27 (2005), 769-780.
- [2] S.A. Meftah, A. Tounsi, A. Megueni And E. A. Adda Bedia, "Lateral stiffness and vibration characteristics of RC shear walls with variable fibres spacing", *Materials & Design*, Vol. 29(2008), 1955-1964.
- [3] R. Yeghnem, S.A. Meftah, A. Tounsi and E.A. Adda Bedia, "Earthquake response of RC coupled shear walls strengthened with thin composite plates", *Journal of vibration and control*, Vol. 1(2009), 963-985.
- [4] S. Benyoucef, A. Tounsi, S.A. Meftah and E.A. Adda Bedia, "Approximate analysis of the interfacial stress concentrations in FRP – RC hybrid beams", *Composite interfaces*, Vol. 13 (2006), 561-571.
- [5] H.S. Shen, Y. Chen and J. Yang, "Bending and vibration characteristics of a strengthened plate under various boundary conditions", *Engineering Structures*, Vol. 25(2003), 1157-1168.
- [6] Y. K. Cheung and S. Swaddiwudhipong, "Analysis of frame shear wall structures using finite strip elements", *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Part 2*, 65, September 517-535. (1978).
- [7] A.K.H. Kwan, "Local deformations and rotational degrees of freedom at beam-wall joints", *Computer & Structures*, Vol. 48 (1993), 615-625.
- [8] EUROCODE 2, *Design of concrete structures. Pt 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. Editorial Group, Brussels (1991).
- [9] H. Trost and J. Wolff, "Zur wirklichkeitsnahen ermittlung der beanspruch-ungen in abschnittsweise hergestellten spannbetontragwerken", *Der Bauingenieur*, 45, 155-169, (1970). (In German)
- [10] T. Kubiak, "Dynamic buckling of thin-walled composite plates with varying widthwise material properties", *Solids & Structures*, Vol. 42(2005), 5555-5566.
- [11] K.J. Bathe and E.L. Wilson, "*Numerical Methods in finite element analysis*", Prentice – Hall ISBN 0136271901, 9780136271901, (1976).