
Etude numérique du comportement des assemblages Voiles-Linteaux renforcés par un matériau composite

L. Madouni¹, M. Ould Ouali², H. Degée³, N.E Hannachi⁴

¹ Doctorante, université de Liège Belgique – Tizi-Ouzou Algérie. lylia.madouni@doct.ulg.ac.be

² Professeur, université de Tizi-Ouzou, Algérie. m-ouldouali@hotmail.com

³ Professeur, université de Hasselt, Belgique. Herve.degee@uhasselt.be

⁴ Professeur, université de Tizi-Ouzou, Algérie. hannachina@yahoo.fr

RÉSUMÉ. Le renforcement des structures en béton armé est souvent nécessaire en raison de charges extrêmes et excessives, de l'évolution des règlements de conception, d'un mauvais entretien ou de l'exposition aux effets environnementaux. La technique de renforcement par collage de polymères renforcés de fibres offre une réponse pertinente. Cette étude s'intéresse aux cas du système structural constitué de voiles couplés hybrides, ou La jonction entre les deux éléments voile-linteau constitue souvent une zone critique. L'objectif de ce travail est de proposer une modélisation fiable pour la détermination de la réponse quasi-statique de ces éléments de structure et d'identifier les apports possibles du renforcement par collage en matériau à base de fibres de carbone. L'évaluation des gains de performance s'appuie sur les modifications des gains de ductilités, de résistance et d'une évaluation du niveau d'endommagement des voiles en fonction des modes de renforcement retenus.

ABSTRACT. The strengthening of reinforced concrete structures is often required due to extreme and excessive loads, changes in design codes, poor maintenance or environmental effects. The reinforcement technique by FRP (Fiber Reinforced Polymers) bonding provides a relevant solution. This study focuses on case of structural system composed about hybrid coupled shear walls, where the steel beam – reinforced concrete wall connection elements often constituted a critical zone. The objective of this work is to propose a reliable modeling for the determination of the quasi-static response of these structural elements and to identify the possible contributions of reinforcement by bonding FRP used carbon fiber materials. The assessment of the contribution of the FRP is based on changes in ductility gains and resistance as a function of the strengthening modes selected.

MOTS-CLÉS : simulation des structures en béton armé, renforcement par matériaux composites, structures mixtes, voiles couplés hybrides, linteaux de couplage.

KEY WORDS: numerical simulation of reinforced concrete structures, Reinforcement by composite materials, composite structures, hybrid coupled shear walls, Coupling beam.

1. Introduction

Dans certains édifices en béton armé, le système structural est constitué de voiles couplés par des poutres ou linteaux en acier. Ces structures sont nommées voiles couplés hybrides. Cette forme de construction est reconnue comme ayant un comportement satisfaisant face aux forces de séisme et de vent. Les poutres ou linteaux de couplage en acier transfèrent des forces verticales vers les voiles adjacents, ce qui crée une action de couplage qui résiste à une partie du moment de renversement total induit par l'action sismique. Cependant la jonction entre les deux éléments voile-linteau constitue souvent une zone critique. L'évolution des réglementations parasismiques dans le domaine du bâtiment requièrent non seulement une résistance adéquate des assemblages voiles-linteaux, mais aussi une ductilité suffisante pour éviter une rupture fragile sous des charges latérales fortes [ANT 2005] [BRU 2002]. Dans le cas des structures existantes, de nombreux éléments ne sont plus conformes aux exigences actuelles. Particulièrement des structures en béton armé ayant subi des dommages suite à un séisme, leur réhabilitation vise, entre autres, à améliorer la ductilité des assemblages mur-linteau afin de répondre aux exigences des codes et normes en vigueur. Le renforcement d'éléments structuraux par matériaux composites collés offre une solution intéressante, mais les règles de dimensionnement concernant l'application de tels matériaux pour le renforcement parasismique n'ont pas encore toutes été clairement établies. Le présent article propose une première étude préliminaire pour le renforcement des assemblages voiles-linteaux, par matériaux composites. Une étude numérique a donc été menée. Le programme expérimental de Park et al [PAR 2005] a été choisi pour l'investigation numérique. L'exploitation des résultats permet d'obtenir des conclusions intéressantes concernant les configurations de collage et la largeur de bande enrobant la jonction.

2. Investigation numérique

2.1 Stratégie de renforcement et configuration adopté

Le spécimen du programme expérimental de Park et al. [PAR 2005] a été choisie dans cette étude. La géométrie de l'échantillon est représentée sur la Fig. 1. Dans ce spécimen, le linteau de couplage en acier a été utilisé dans l'essai de façon à forcer la rupture dans la connexion, mais dans la conception, les éléments seraient proportionnels de sorte qu'une rupture se produise dans les poutres avant que la connexion ou la résistance du voile soit atteinte. La mise en place des spécimens est décrite dans Park et al., où une charge verticale est appliquée au sommet de la partie non incorporée du linteau. Un béton de classe C30 a été utilisé et les détails des propriétés mécaniques de l'acier sont résumés dans la référence [PAR 2005]. Les stratégies de renforcement ont été considérées à l'aide de fibres de carbone unidirectionnelles. Diverses configurations de renforcement ont été testées. Ces différents essais nous ont permis d'analyser le comportement du voile selon la présence ou non du confinement par le tissu de fibres de carbone. Ce qui nous a conduits à retenir une configuration basée sur l'enrobage avec deux bandes des zones d'ancrages en dessus et en dessous de la poutre Fig. 2. Ceci permet de créer un effet de confinement et ainsi une augmentation de la capacité d'ancrage et du degré de fixation du profilé. Afin d'optimiser la largeur de l'enrobage en fonction de la hauteur du profilé métallique, une étude paramétrique sur la largeur de bandes utilisées a été entreprise.

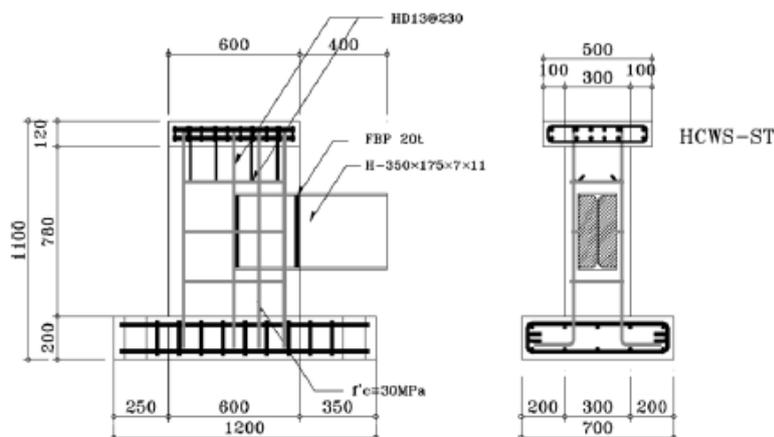


Figure 1. Détails géométriques du voile témoin (unité: mm) (Park et al. 2005).

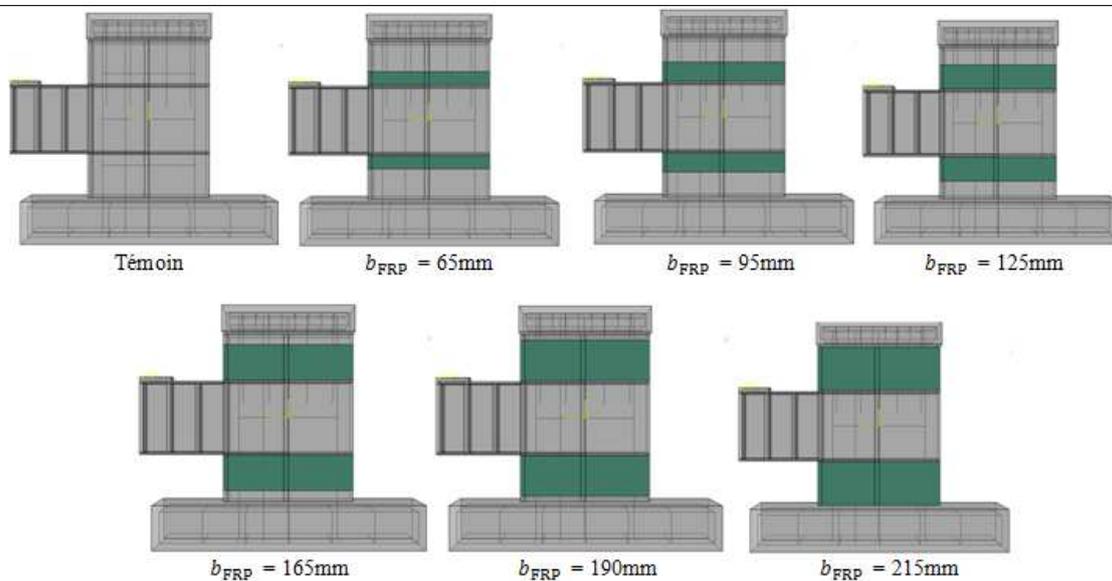


Figure 2. Configurations adoptées avec diverses largeurs de bandes.

2.2 Stratégie de modélisation numérique

Dans la présente étude une analyse non linéaire 3D est retenue, en utilisant le code EF Abaqus [ABQ 2014]. Le voiles en béton ainsi que le profilé métallique sont modélisés avec des éléments solides à huit noeuds (C3D8R) qui ont chacun 6 degrés de liberté. Les armatures sont modélisées d'une manière discrète en adoptant des éléments barres 3D (T2D3) qui seront intégrés dans les éléments béton. Le matériau composite est modélisé avec des éléments bidimensionnels 2D à 4 noeuds (R4S). Concernant le contact entre les éléments de béton et ceux du composite, l'utilisation d'éléments d'interface est évitée, et le décollement est directement simulé par la modélisation de la fissuration du béton adjacent à la couche d'adhésif tel proposé par *Lu et al.* [LU 2001]. Le matériau acier est modélisé à l'aide d'une loi de comportement élasto-plastique avec écrouissage isotrope basé sur le critère tridimensionnel des contraintes de Von Mises. Le matériau composite utilisé dans cette modélisation est constitué d'un tissu à base de fibres du carbone unidirectionnelles. Un tel matériau est orthotrope et peut être considéré comme isotrope transverse dans le plans perpendiculaire aux fibres [KEZ 2013]. Un couplage entre la plasticité et l'endommagement est utilisé afin de décrire le comportement mécanique du béton, ce modèle est intégré dans le code éléments finis ABAQUS (Concrete Damaged Plasticity) [ABQ 2014].

3. Résultats

3.1 Validation

Les courbes force-déplacement obtenues à partir des analyses par éléments finis sont comparées avec le résultat du test de la Fig. 3. On peut voir que la courbe est en bon accord avec le résultat du park. Les résultats expérimentaux et numériques ont montré un déplacement maximal similaire à la rupture avec erreur de 2,2%. En conséquence, le modèle à éléments finis a prédit avec succès le comportement du Voile.

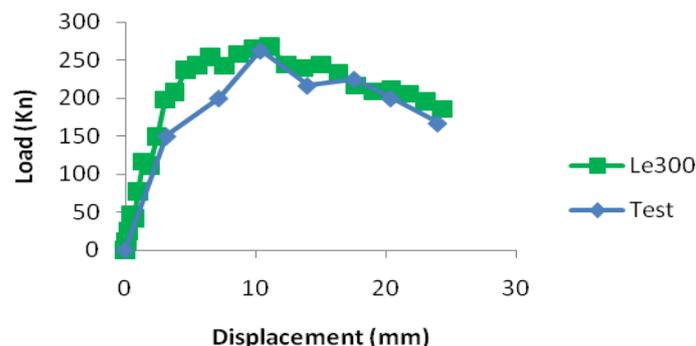


Figure 3. Comparaison du résultat de l'analyse FE avec les résultats du test Park

3.2 Evaluation des gains de charges et ductilité

La figure 4. Représente l'évolution des ductilités et des résistances en fonction de différente largeur de bandes. On constate que l'apport du composite sur le comportement du voile, n'est pas visible initialement. Il devient significatif à partir d'une largeur de bande de supérieur 50% de la hauteur du profilé. Les bandes de carbone collées sur le voile, permettent un gain de charge (maximale) de 20 %. Les gains de ductilités est d'un déplacement voisins de 55 % par rapport au voile initial.

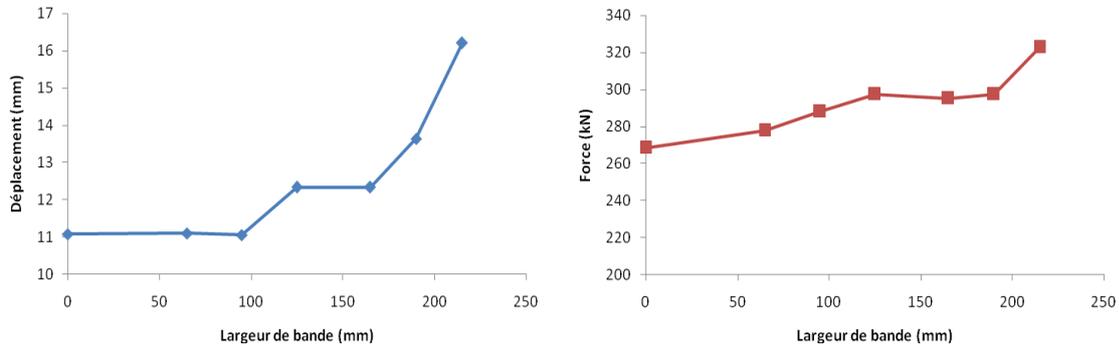


Figure 4. L'évolution des ductilités et des résistances en fonction de différente largeur de bandes.

4. Conclusion

Un modèle numérique précis décrivant le comportement des voiles couplés hybrides a été élaboré dans cet article. Les différentes simulations conduites avec ajout de bandes de composites en carbone ont démontré leur viabilité pour leur utilisation dans l'amélioration de la ductilité et de la capacité des joints. La capacité de résistance du joint a été augmentée de 20%. Cependant, la performance de la connexion du point de vue de la ductilité a été nettement améliorée pour un gain de 55% à partir d'une largeur de bande supérieur à 50% de la hauteur de profilé. Ce qui se traduit par effet de confinement des bandes enrobant les zones d'ancrage, avec une orientation des fibres dans le sens transversales exerçant des forces latérales sur le béton sollicité pour la résistance de la connexion. Cette technique a réussi à retarder le mode de rupture. En plus de ses performances mécaniques, la technique de renforcement par matériaux composites présente beaucoup d'avantage en terme de leur grande résistance à la corrosion, leur poids léger et une faible augmentation de la section, leur mise en œuvre facile et courte durée de réalisation.

5. Bibliographie

- [ABQ 2014] Abaqus. Version 6.14.1 HKS, Inc, Providence, RI, 2014
- [ANT 2005] Antoniadis K.K., Salonikios T.N., Kappos A.J., Test on seismically damaged reinforced concrete walls repaired and strengthened using fiber reinforced polymers, *Journal of composites for construction* © ASCE, 2005, p.236-246.
- [BRU 2002] Brun M., Contribution a l'étude des effets endommageant des séismes proches et lointains sur des voiles en béton armé : Approche simplifiée couplant la dégradation des caractéristiques dynamiques avec un indicateurs de dommage, Thèse INSA de Lyon, 2002, 223 pages.
- [KEZ 2013] Kezmane, A., Boukais, S., Madouni, L., and Hamizi, M. (2013). "Simulation numérique des voiles en béton armé renforcés par un matériau composite." *31èmes Rencontres de l'AUGC*, E.N.S. Cachan, France.
- [LU 2001] Lu, Y., Hao, H., Carydis, P. G., and Mouzakis, H. (2001). "Seismic performance of RC frames designed for three different ductility levels." *Engineering Structures*, 23(5), 537-547.
- [PAR 2005] Park, W.S., Yun, H.D., Hwang, S.K., Han, B.C., Yang, I.L., 2005. The bearing strength of steel coupling beam-reinforced concrete shear wall connections. *J. Nuclear Engineering and Design*. 236, 77-93.