**Étude comparative entre le comportement d’adhérence des PRFC-EBR et PRFC-NSM**

Essai d’adhérence par flexion (beam test)

**Abdelghani Merdas1,2, Bruno Fiorio3, Nasr-Eddine Chikh4,**

## *1URMES, Université Ferhat Abbas de Sétif, Cité Mabouda 19000, Algérie*

*Abdelghani.merdas@yahoo.com*

*2Département de génie civil, Université Ferhat Abbas de Sétif 19000, Algérie*

*3 L2MGC, Université de Cergy-Pontoise,*

*Site de Neuville, Rue d'Eragny- Neuville sur Oise, 95 031 Cedex France.*

Bruno.fiorio@u-cergy.fr

*4 LMDC, Dépt de génie civil, Université M Mentouri Constantine, ALGERIE.*

Chikh\_ne@yahoo.fr

RÉSUMÉ. *La technique Near Surface Mounted (NSM) a été utilisée ces dernières années pour le renforcement des poutres en béton armé. Elle consiste à l’insertion de plats ou des joncs de polymères renforcées de fibres de carbone (CFRP) dans des gravures effectuées préalablement dans le béton d'enrobage des surfaces correspondantes, remplies de résines époxydiques pour fixation.*

*L’objectif du travail expérimentale développé dans cet article est de caractériser et comparer le comportement d’adhérence des plats de carbone avec le béton selon deux techniques* ***PRFC-EBR*** *(Polymères Renforcés En Fibres De Carbone-Renforcées à l’Extérieur « External Bonded Reinforcement ») et* ***PRFC-NSM*** *(Polymères Renforcés En Fibres De Carbone-Renforcées à l’intérieure «  Near Surface Mounted»).*

*Pour atteindre cet objectif, 24 essais d’adhérence par flexion ont été effectués. La force d’arrachement dans les plats, le glissement aux extrémités libres et chargées ont été mesurés. Les influences de la résistance du béton, la longueur ancrée sur le comportement d’adhérence entre ces trois matériaux (béton, résine, composite) ont été analysées.*

ABSTRACT. The Near Surface Mounted technique (NSM) has been used in recent years for strengthening reinforced concrete beams. It involves the insertion of plates or rods of carbon fibers reinforced polymer (CFRP) in the grooves previously performed in the concrete cover of the soffit surfaces, filled with epoxy resin for fixation.The objective of the experimental work developed in this paper is to characterize and compare the behavior of adhesion of carbon plat with concrete in two CFRP-EBR techniques "External Bonded Reinforcement " and CFRP-NSM " Near Surface Mounted” ").
To achieve this aim, 24 flexural adhesion tests were performed. The pull-out forces in the plat, the slip of the free and loaded ends were measured. The influences of the resistance of the concrete, the anchored length on the adhesion behavior between these three materials (concrete, epoxy and composite) were analyzed.

MOTS-CLÉS : EBR, NSM, CFRP, Beam test, plat de carbone, glissement.

KEY WORDS: EBR, NSM, CFRP, Beam test, carbon plat, slip.

1. Introduction

La maintenance des ouvrages de génie civil est nécessaire pour assurer la sécurité des usagers, cette maintenance consiste à assurer une meilleure étanchéité, ou en limitant la corrosion, à les réparer en cherchant à compenser les pertes de rigidité ou de résistance dues à la fissuration, à les renforcer en améliorant les performances et la durabilité des ouvrages. Le renforcement des structures en béton armée par matériaux composite remembre plusieurs techniques, parmi les techniques les plus efficaces, on peut citer la technique de renforcement par insertion des PRF appelée NSM (Near surface mounted) et celle du renforcement par collement des renforts sur la surface extérieur du béton nommée EBR (External Bonded Reinforcement). Cette dernière (la technique de renforcement EBR) est basée sur le collage extérieur des renforcements à base de fibre de carbone(CFRP), de verre (GFRP) ou d’aramide (AFRP). Cette technique offre divers avantages : faible densité, pas de corrosion, bonnes propriétés mécaniques, très bonne tenue à la fatigue et facilité de manipulation (Rahimi, 2001). Le processus de l’introduction de ces matériaux a été accéléré par la mise au point de méthodes techniquement fiables et compétitives comparativement aux anciens procédés de renforcement à base d’acier. Une nouvelle technique de renforcement nommée (NSM pour Near Surface Mounted) a été utilisée ces dernières années pour le cas des poutres fléchies. Elle consiste à l’insertion de bandes de polymères renforcées en fibres de carbone (CFRP) dans des engravures effectuées préalablement dans le béton d'enrobage des surfaces tendues, remplies de résine époxydique pour fixation (Barros, 2002 ; Yun, 2008). Cette technique est particulièrement attrayante pour renforcer les éléments structuraux en flexion tels que poutres, dalles, murs et même des poteaux où la structure est soumise aux endommagements mécaniques et environnementaux.

1. Objectif

Plusieurs laboratoire de recherche à travers le monde ont intéressé par l’étude du comportement des éléments structuraux réhabilités par matériaux composites et aux différents paramètres influant ce comportement tels que : la technique de renforcement, le type de matériaux composite (renfort), type de résine utilisée, la qualité du béton, le taux de ferraillage, la taille des éléments à renforcés, et notamment le comportement d’adhérence de ces renforts composite avec le béton. L’objectif du travail expérimentale développé dans cet article est de caractériser et comparer le comportement d’adhérence des plats de carbone avec le béton selon deux techniques c.à.d. PRFC-EBR (Polymères Renforcés en Fibres de Carbone-Renforcées à l’Extérieur) et PRFC-NSM (Polymères Renforcés en Fibres de Carbone-Renforcées à l’intérieure). Et déduire la méthode la plus efficace en termes d’adhérence et de résistance. Pour atteindre cet objectif, 24 (poutres) essais d’adhérence par flexion ont été effectués. La force d’arrachement dans les plats, le glissement aux extrémités libres et chargées ont été mesurés. Les influences de la résistance du béton, la longueur ancrée sur le comportement d’adhérence entre ces trois matériaux (béton, résine, composite) ont été analysées. Pour le renforcement à la flexion, des plats de PRF sont collées sur les faces tendues des éléments structuraux, les renforts étant disposées dans l’axe longitudinal. La Figure 1présente le dispositif adopté pour l’essai d’adhérence par flexion utilisé dans notre travail expérimental.

**Figure 1**. Dispositif adopté pour l’essai d’adhérence par flexion utilisé

Le dispositif adopté dans notre travail est similaire à celui proposé par la RILEM qui consiste à appliquer une force d’arrachement par un essai de flexion. Les essais d’adhérence par flexion ont été réalisés en faisant varier les paramètres suivants :

Deux types de béton (un béton ordinaire BO30, et un béton de haute performance BHP75) ;

Trois longueur ancrée (la=120mm, 80mm, et 40 mm) ;

Deux types de montage (PL EBR, PL NSM)

Un seul type de résine (E371)

Un seul type de renfort plat lisse (PL) ;

Le tableau 1 reprend la dénomination des différentes séries d’essais réalisées.

 **Tableau 1**. *Dénomination des différentes séries d’essais.*  **Tableau 2.** *Proportions des bétons utilisés*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Séries | Renfort | Béton | Résine | La (mm) | Nombres de poutres  |
| 1 | PL NSM | BO30 | E 371 | 40 | 3 |
| 80 | 3 |
| 120 | 3 |
|  |  |  |  |
| 2 | PL EBR | 40 | 3 |
| 80 | 3 |
| 120 | 3 |
|  |  |  |  |
| 3 | PL NSM | BHP75 | 80 | 3 |
| PL EBR | 80 | 3 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Constituants | BO30 (kg/m3) | BHP75 (kg/m3) |
| Eau totale | 209 | 150 |
| Ciment CEM I 52.5 N  | 336 | 500 |
| Sable 0/4 SC NF | 419 | 715 |
| Sable 4/10 SC NF | 471 | / |
| Gravillon 6.3/20 | 834 | 987 |
| Super plastifiant |  | 4.71 |
| E/C | 0.62 | 0,3 |
| G/C | 2.48 | 1,97 |
| fc28 (MPa) | 37,5 | 73,5 |
| ft28 (MPa) | 2,97 | 6,01 |
| Eb (GPa) | 33,55 | 47,88 |

1. Méthodologie expérimentale
2. 1. Détermination caractéristiques des matériaux utilisée
		1. Béton

Deux bétons ont été utilisés dans nos travaux : un béton ordinaire (BO30) et un de haute performance (BHP75). Les proportions du béton utilisé et les résistances en compression et traction obtenues sont présentés dans le Tableau 2. L’ensemble des résultats est obtenu à partir d’une moyenne effectuée sur trois éprouvettes testées le jour de l’essai des poutres.

* + 1. Renforts carbone

Les renforts de carbone utilisés dans notre travail sont des plats de 20x2.5 mm² de section. Ces renforts sont composés de fibres de carbone agglomérées dans une matrice de résine époxy. Le module d'élasticité et la résistance en traction sont déterminés à partir des essais en laboratoire. Les résultats obtenus sont montrés dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3*. Contrainte maximales de traction et module d’élasticité des renforts carbones utilisés.*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Éprouvettes | Module d’élasticité (GPa) | Moyenne (GPa) | Force appliqué (kN) | Résistance en traction (MPa) | Moyenne (MPa) | Écart type(MPa) |
| 1 | 179.91 | 179.855 | 125.98 | 2507.56 | 2538.15 | 157.79 |
| 2 | 179.856 | 120.47 | 2397.89 |
| 3 | 179.799 | 136.1 | 2708.99 |

* + 1. La résine (matériaux de scellement)

Un matériau de scellement a été utilisé pour le remplissage des engravures. Il s’agit d’un adhésif époxy fabriqués par l’entreprise (BOSTIK France®) et référencés EPONAL 371. Le tableau 4 indique les propriétés mécaniques en traction et en compression obtenues.

Tableau 4*. Propriétés des colles époxy E 371.*

|  |  |
| --- | --- |
| Type d’époxy-adhésif | E 371 |
| Traction | Resistance à la rupture (MPa)Allongement à la rupture (%)Module d’Young E (MPa) | 29.28 ±2.50.94 ± 0.253738.27 ±901 |
| Compression  | Resistance à la rupture (MPa)Raccourcissement en Compression (%)Module d’Young E (MPa) | 81.05 ± 8.93.12 ± 0.473400 ± 250 |

1.3bb=26 mm

4.5 mm

3.5mm\*

20 mm

PL NSM

PL EBR

**Figure 2***. Détails coupes de poutre (Pullout-bending test)*

* 1. Mode opératoire

La Figure 2 montre une schématisation de l’épreuve d’essai, une poutre avec les deux blocs équipée de la rotule en acier. Et deux coupes transversales des deux configurations EBR et NSM utilisées.

La zone d'adhérence testée est localisée dans le bloc A. Différentes longueurs ancrées Lb ont été utilisées, 40mm, 80 mm et 120 mm. La fixation du renfort dans le bloc B a été réalisée en utilisant la même résine que celle utilisée pour le bloc A, en utilisant la totalité de la longueur disponible pour la longueur d’adhérence. Cela garantie que la rupture d’adhérence se produit dans le bloc A. Pour mesurer le glissement, deux capteurs de déplacement (LVDT1 et LVDT2) de 10 mm de course nominale ont été utilisés .LVDT2 mesure le glissement du renfort par rapport au béton à l’extrémité chargée (Sl), LVDT1 enregistre le glissement à l'extrémité libre (Sf).

Après 45 jours de la réalisation des spécimens nous avons entamé les essais en respectant les étapes suivantes :

Approvisionnement des poutres, de la salle de conservation au labo de l’essai (précaution particulière pendant le transport des blocs avec la mise en place de la rotule en acier pour éviter tous mouvements indésirables)

Traçage des poutres au niveau des points de positionnement des appuis et aux points d’application de charges pour assurer la symétrie du système dans les deux sens, longitudinal et transversal.

Montage des LVDT dans les deux extrémités, chargée et libre.

La mise en contact de la charge avec la poutre à tester.

Tarage de tous les variables, tel que la charge, le déplacement et les déformations des deux LVDT Sl et Sf. Puis la mise en route de l’essai. L’essai s’arrête automatiquement lorsqu’il y a une diminution de charge de 40% de la charge maximale appliquée.

1. Résultats expérimentaux
2. 1. Comportement qualitatif

Le dispositif utilisé permet le calcul précis de l’effort de traction (Fl) et des contraintes induites (τ) à l’interface renfort / colle / béton (3 et 4), à partir de la connaissance de l’effort appliqué (P) et du bras de levier du moment interne (la : Distance du centre de la rotule au centre de gravité de la section transversale du CFRP) qui ne dépend pas du niveau de charge appliquée. La force d’arrachement sur le CFRP (coté extrémité chargée), Fl, est déterminée à partir de l’équation suivante :

Fl

Fl

la

a2

a1

p/2

P /2

Lb

Fl

la

a2

a1

p/2

P /2

Lb

Fl

 [ 1 ]

Figure 3. *Schématisation de demi-poutre étudiée*

*selon la technique NSM*

**Figure 4***. Schématisation de demi-poutre étudiée*

*selon la technique EBR*

En fonction des dimensions du renfort, on obtient :

Pour le plat lisse NSM : F*lPL* NSM = 1.40 P (kN) [ 2 ]

Pour le plat lisse EBR : F*lPL* EBR = 1.31P (kN) [ 3 ]

Le suivant reprend les résultats des différentes séries d’essais (Au moins 3 éprouvettes ont été testées pour chacune des séries présentées). Il donne l’effort à la rupture par arrachement *Flmax*, et la contrainte de cisaillement moyenne $τ\_{u} $au niveau de l’interface renfort / colle époxy.

$τ\_{u} $est déterminé en fonction du type de renfort par les relations suivantes :

 *Pour les PL NSM* [ 4 ]

 *Pour les PL EBR* [ 5 ]

Étant la force maximale appliquée **(kN); ** la largeur du plat (mm) et **** la longueur ancrée (mm).

Tableau 7. Discussion des résultats expérimentaux

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Renfort | Béton | Résine | Lb(mm) | Flmax (kN) | ET\*(kN) | CV\*(%) | τu(MPa) |
| PL NSM | BO30 | E 371 | 40 | 21.35 | 0.002 | 0.01 | 11.86 |
| 80 | 31.55 | 2.179 | 6.91 | 8.76 |
| 120 | 41.7 | 0.023 | 0.05 | 7.72 |
|  |  |  |  |  |  |
| PL EBR | 40 | 8.87 | 0.556 | 0.08 | 11.09 |
| 80 | 10.01 | 0.865 | 0.11 | 6.26 |
| 120 | 11.43 | 0.742 | 0.08 | 4.76 |
|  |  |  |  |  |  |
| PL NSM | BHP75 | 80 | 37.22 | 2.879 | 7.74 | 10.34 |
| PL EBR | 80 | 11.94 | 0.146 | 0.16 | 3.32 |

Les résultats des différentes séries d’essais (Au moins 3 éprouvettes ont été testées pour chacune des séries présentées)

Pour des niveaux de charge inférieurs à approximativement 40% de la charge maximale Flmax, le glissement mesuré à l’extrémité chargée (LVDT2) évolue linéairement avec l’effort appliqué tandis que le glissement mesuré à l’extrémité libre (LVDT1) est négligeable. On n’observe aucune fissuration de la résine ou du béton.

Au de la de 40% de Flmax, le glissement coté chargé devient de plus en plus non linéaire. Cela peut s’expliquer par le comportement non linéaire dû à la plastification de la résine époxy qui se traduit par un processus de décollement à l’interface composite – résine et béton – résine.

Au pic, la force d’arrachement ultime est atteinte et le glissement se produit brutalement aux extrémités libre et chargée. Cette transition est due à la dégradation rapide de l’adhérence à l’interface composite – résine – béton. la brutalité du glissement est due au fait que l’essai n’est pas directement piloté par le glissement Sl mais par la flèche de l’éprouvette



C

D

B

O

Figure 5. *Courbe type : force d’arrachement en fonction de glissement.*

* 1. Comparaison de comportement d’adhérence entre PL EBR et PL NSM

Les figures 6 et 7 présentent les courbes obtenues des deux méthodes EBR et NSM respectivement, même type de béton BO30, même résine E371, même plat et même longueur ancrée 40 mm, qui présentent la force d’arrachement en fonction des glissements relatif aux extrémités libre et chargée. On constate que la force d’arrachement FNSM à un gain en termes de charge très important par rapport à F EBR qui vaut a peu près 400%. On observe aussi que le comportement non linéaire du PL NSM par rapport PL EBR (Ce dernier qui à presque un comportement linéaire du F-glissement) ce qui indique la présence d’une ductilité apparente. Peut être expliqué par la présence d’une forte contrainte d’adhérence au niveau des surfaces de contactes béton-résine-renfort.

*PL (EBR) BO30.40.E371*

*PL (NSM) BO30.40.E371*

Figure 7.*Comportement type de renfort selon l’NSM*

Figure 6. *Comportement type de renfort selon l’EBR*

Les 8, 9 présentent les résistances maximales obtenues pour les différents types de renforts testés tels que PL EBR et PL NSM avec les éprouvettes fabriquées en BO30 et BHP75, les résistances obtenues pour les éprouvettes fabriquées en BHP75 respectivement. L’ensemble des comportements d’adhérence des différentes configurations (contrainte d’adhérence –glissement) est disponible en annexe.

Figure 9. *Comparaison de la contrainte d’adhérence max entre les deux configurations PL EBR et PL NSM.*

Figure 8. *Comparaison entre la force d’arrachement max*

*des deux configurations PL EBR et PL NSM.*

On constate une meilleure performance des renforts plats lisses (PL NSM) par rapport aux (PL EBR). Bien que présentant des sections similaires, les renforts plats (PL NSM) offrent une surface de contact plus grande permettant d’atteindre une force d’arrachement plus élevée. Les Figure 8, 9, montrent l’évolution de la force d’arrachement maximale en fonction de la longueur ancrée Lb (Trois éprouvettes au moins ont été testées pour chaque configuration). On constate que la force d’arrachement augmente quasi-linéairement avec l’augmentation de la longueur ancrée pour les trois longueurs testées pour les deux configurations, la force d’arrachement obtenue par le renforcement par la technique NSM élevée par apport à celle de EBR, on constate que le renforcement par NSM à une bonne adhérence que EBR. Dans tous les cas, la résistance à l’arrachement augmente avec l’augmentation de la résistance du béton. L’influence de la résistance du béton sur la résistance à l’arrachement est plus prononcée pour les longueurs ancrées réduites (40mm) que pour les longueurs d’ancrage plus importantes. A partir de Lb=120mm, l’optimum semble atteint et l’effet de la résistance du béton devient réduite. C’est la contrainte d’adhérence plus forte du coté chargé que du coté libre qui explique ce comportement. A partir des graphes présentés ci-dessus les résultats suivants peuvent être cités : La force d’arrachement augmente régulièrement avec l’augmentation de la longueur ancrée ; La force d’arrachement augmente avec l’augmentation de la résistance du béton. Si on travaille sur les petites longueurs ancrées, on sollicite la résine, dans le cas contraire, c’est le béton qui est sollicité. Dans tous les cas, la contrainte d’adhérence diminuée toujours avec l’augmentation de la longueur ancrée.

* 1. Modes de ruptures

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **PE-I: Plat –époxy interface**Rupture de l’interface résine – composite (IRC) | **E:\photo a\P1000729.JPG** a) |
|  | **PE-C: Plat - cohésive shear failure in the epoxy** Rupture de l’interface cohésive de la résine (ICR) | **E:\photo a\P1000510.JPG** b) |
|  | **SP-E: Splitting of the epoxy cover without cracking of concrete**Rupture de la couche de résine couvrant le renfort composite  | **P1010402E:\flach disk\photo a\P1000522.JPG** |
|  | **SP-C-2: Fracture of concrete surrounding a groove**Fissuration de l’enrobage de la résine et rupture de la couche d’enrobage du béton couvrant le renfort dans le plan incliné (RB) | **P1010510P1010509** c) d) |
|  | **SP-C-3: Fracture of cover concrete.**Rupture superficiel du béton d’enrobage | F:\photo 21 03 2011\P1020709.JPG e) |

Le mode de rupture des systèmes renforcés suivant la méthode NSM ou EBR est fortement influencé par l’état de surface du renfort, le matériau de scellement, les dimensions de l’engravure (le cas de NSM) et le type d’essai utilisé. Les différents modes de rupture possibles sont récapitulés dans la figure 10 ci-dessous.

Figure 10. *Modes de rupture des deux méthodes de renforcement.*

1. Conclusions

Des essais d’adhérence par flexion ont été effectués pour caractériser le comportement d’adhérence de renforts de carbone positionnés dans le béton suivant deux méthodes FRP-EBR et FRP-NSM. L’effet de type de renforcement et la séquelle de quelques paramètres tels que la résistance du béton et la longueur ancrée sur la résistance à l’arrachement du renfort ont été évalués. On constate que la force d’arrachement FNSM est très importante par rapport à F EBR qui vaut a peu près 400%. On observe aussi que le comportement non linéaire du PL NSM par rapport PL EBR (Ce dernier qui à presque un comportement linéaire du F-glissement) ce qui indique la présence d’une ductilité apparente. Peut être expliqué par la présence d’une forte contrainte d’adhérence au niveau des surfaces de contactes béton-résine-renfort. A partir des graphes et des tableaux présentés ci-dessus, les résultats suivants peuvent être cités : La force d’arrachement augmente régulièrement avec l’augmentation de la longueur ancrée ; La force d’arrachement augmente avec l’augmentation de la résistance du béton ; Si on travaille sur les petites longueurs ancrées, on sollicite la résine, dans le cas contraire, c’est le béton qui est sollicité. Par ailleurs la contrainte de cisaillement diminuée généralement avec l’augmentation de la longueur ancrée.

1. Bibliographie

[ALZ 95] Al-Zahrani MM, Al-Dulaijan SH. *Annotated bibliography of bond behavior in FRP concrete systems.* Report CMTC-9501, Composite Manufacturing Technology Center, The Pennsylvania State University, University Park, PA 16802. p. 72, November 1995.

[BJO 03] Bjorn T. *Strengthening concrete beams for shear with CFRP sheets* Construction and Building Materials, 2003. P. 15-26

[BAR 03] Barros JAO, Dias S. *Shear strengthening of reinforced concrete beams with laminate strips of CFRP*. In: Proceedings CCC2003, Cosenza (Italy), 2003. p. 289–294.

[BAN 04] Bank LC. Mechanically Fastened FRP (MF-FRP) *Strips for Strengthening RC Structures*- A Viable Alternative. In: Proc of 2nd international conference on FRP composites in civil engineering: CICE, Adelaide, Australia, December 8–10, 2004. 12 pp.

[BAR 08] Barros J, Kotynia R. *Possibilities and challenges of NSM for the flexural strengthening of RC structures*, Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008) 22-24July 2008.

 [CER 10]  [Ceroni](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810001005) F. *Experimental performances of RC beams strengthened with FRP materials*, Engineering Dept, University of Sannio, Benevento, Italy. In: [Construction and Building Materials](http://www.sciencedirect.com/science/journal/09500618%22%20%5Co%20%22Go%20to%20Construction%20and%20Building%20Materials%20on%20ScienceDirect), [Volume 24, Issue 9](http://www.sciencedirect.com/science/journal/09500618/24/9%22%20%5Co%20%22Go%20to%20table%20of%20contents%20for%20this%20volume/issue), September 2010. P. 1547–1559.

[ELI 83] Eligehausen, Popov, Betero. *Local Bond Stress-Slip Relationships of Deformed bars Under Generalized Excitations*, Report No. 83/23, EERC, University of California-Berkeley, Berkeley, Calif. 1983. p.162.

[ASC 98] *Failure behaviour of precraked RC beams strengthening with carbon FRP sheets*, journal of composite for constructions ASCE 1998. vol 2, p.138-144.

 [NFP 81] French standard NF P18-406, *Essai de compression*, AFNOR, Paris; 1981.

 [LEE 99] Leeming MB, and Darby J. *Designe and specifications for FRP plate bonding of beams, strengthening of reinforced concrete structures using externally-bonded FRP* composites in structural and civil engineering. 1999 vol. 22, p. 21-26.

 [JAE 07] Jae Ha Lee and al. *flexural behavior of reinforced concrete beams strengthened with mechanically fastened FRP strip*, Frprcs-8university of Patras, Patras, Greece, 16-18 July 2007.

[KAM 99] Kamiharako A, Shimomura T, Maruyama K, Nishida H. *Stress transfer and peeling-off behaviour of continuous fiber reinforced sheet-concrete system*. In: The seventh East Asia-Pacific conference on structural engineering and construction; 1999. p. 1283–8.

 [LIM 03] Limam O, Foret G, Ehrlacher A. *RC Two-Way Slabs Strengthened with CFRP Strips:*

*Experimental Study and a limit Analysis Approach*. in Composite Structures, 60, 2003, p.467-471.

[LEL 03] Lelli V, Einde D, Zhao L, Seible F. *Use of FRP composites in civil structural applications* Construction and Building Materials 17 .2003. p. 389–403.

[MER 15] A. Merdas, B. Fiorio, N.E. Chikh, *Aspects of bond behavior for concrete beam strengthened with CFRP-NSM*, Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2015.

[MER 11] Abdelghani Merdas, Bruno Fiorio, Nasr-Eddine Chikh, *Adhérence de joncs et plats composites mis en place dans le béton selon la méthode NSM*, XXIXe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen, 29 au 31 mai 2011

 [NAN 82] Nanni A, et al. *Concrete cover delamination in RC beams strengthened with FRP sheets*, O’Brien TK, editor, Long-term behavior of composites. Philadelphia: ASTM, 1982.