



Analyse de l'adhérence entre béton et armature : état de l'art et étude expérimentale

Asterios Valogiannis, Irini Djeran-Maigre, Jean-Claude Robinet, Fabrice Bernard, Jad Zghondi

► To cite this version:

Asterios Valogiannis, Irini Djeran-Maigre, Jean-Claude Robinet, Fabrice Bernard, Jad Zghondi. Analyse de l'adhérence entre béton et armature : état de l'art et étude expérimentale. 11èmes journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon [INSA Lyon], CFMS, CFMR, CFGI, Jun 2022, Lyon, France. hal-03720048

HAL Id: hal-03720048

<https://hal.science/hal-03720048>

Submitted on 11 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANALYSE DE L'ADHÉRENCE ENTRE BÉTON ET ARMATURE : ETAT DE L'ART ET ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

ANALYSIS OF THE BOND BETWEEN CONCRETE AND REINFORCEMENT: STATE-OF-THE-ART AND EXPERIMENTAL STUDY

Asterios VALOGIANNIS^{1,2}, Irini DJERAN-MAIGRE¹, Jean-Claude ROBINET³, Fabrice BERNARD⁴, Jad ZGHONDI²

¹ Univ Lyon, INSA Lyon, GEOMAS, EA7495, F-69621 Villeurbanne, France

² Andra, Centre Meuse/Haute-Marne, F-52290 Bure, France

³ Euro-Géomat Consulting, F-45100 Orléans, France

⁴ LGCGM, INSA Rennes, F-35043 Rennes, France

RÉSUMÉ – Différentes solutions d'armatures non métalliques sont étudiées dans le programme R&D de l'ANDRA. Une étude de caractérisation mécanique et à différents états mécaniques initiaux (avec et sans fluage et/ou vieillissement) d'armatures en PRF sera réalisée. Cet article présente une partie de l'état de l'art et les résultats d'essais préliminaires d'arrachement.

ABSTRACT – Different non-metallic reinforcement solutions are being studied in ANDRA's R&D program. A study of the mechanical characterisation and at different initial mechanical states (with and without creep and/or ageing) of FRP reinforcements will be performed. This paper presents part of the state-of-the-art and the results of the preliminary pull-out tests.

1. Introduction

De nombreuses structures de génie civil en béton armé (ponts, centrales nucléaires, etc.) sont souvent exposées à des conditions environnementales agressives, par exemple des environnements marins ou chimiques (Benmokrane et al., 2000). Dans ces cas, il existe un risque de corrosion de l'armature en acier qui pourrait entraîner une dégradation mécanique de la structure. Ajoutons que cette corrosion de l'acier produira de l'hydrogène qui peut conduire à des pressions de gaz dans un milieu confiné.

De ce fait l'ANDRA (Agence Nationale de Gestion des Déchets Radioactifs), et dans le cadre de développement progressif du centre de stockage Cigéo et dans une logique d'accroissement de la maîtrise de la sûreté et de progrès continu, l'Andra met en œuvre un plan de développement de nouveaux matériaux qui comprend les structures en béton avec renforts non métalliques. Les solutions étudiées doivent répondre aux exigences de l'ANDRA en termes de constructibilité, de comportement et de durabilité. Ce travail fait partie du programme d'un projet de recherche visant à étudier l'évolution du comportement avec et sans fluage de différents types d'armatures métalliques et PRF dans le but d'identifier l'apport de la qualité de l'interface béton armature ainsi que du taux de liant utilisé dans la fabrication de l'armature. Cet article présente une partie de la revue bibliographique et les premiers résultats d'essais d'arrachement avec des armatures en acier.

2. Armatures en PRF (Polymère Renforcé de Fibres) et en acier

L'armature en acier est couramment utilisée pour renforcer la majorité des structures en béton en raison de la faible résistance à la traction du béton. Cependant, certaines structures sont exposées à des conditions environnementales particulières où l'acier pourrait se corroder.

Pour résoudre le problème de la corrosion de l'acier, la communauté scientifique (Brózda et al., 2017 ; Hao et al., 2007 ; Rolland, 2015 ; Sayed Ahmad et al., 2011) a proposé l'utilisation des armatures de type Polymère Renforcé de Fibres (PRF). Epoxy et vinyloxy sont les polymères principalement utilisés. Les quatre principaux types de fibres sont les fibres de carbone (PRFC), de verre (PRFV), d'aramide (PRFA) ou de basalte (PRFB). La matrice, qui est le liant, protège les fibres de l'abrasion mécanique et transfère les contraintes entre les fibres. Les fibres assurent la résistance à la traction et la rigidité du matériau composite (ISIS Canada, 2007). L'orientation des fibres dans une direction hors axe par rapport à l'axe d'armature augmentera la résistance au cisaillement entre la matrice et la fibre (Abedini et al., 2017).

En termes de propriétés mécaniques, les armatures en PRF sont caractérisées par leur comportement élastique linéaire, leur résistance élevée à la traction (supérieure à celle de l'acier) et leur absence de ductilité (figure 1). D'autre part, les armatures en acier présentent un comportement élastoplastique, mais leur résistance à la traction est nettement inférieure à celle des armatures en PRF.

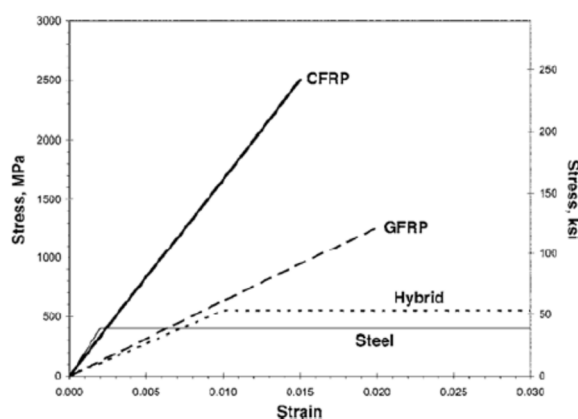


Figure 1. Courbe typique de contrainte-déformation pour les armatures en PRF (ACI 440R-07, 2007)

Les armatures en PRF présentent de nombreux avantages, tels que la résistance à la corrosion, une résistance à la traction élevée, une faible densité et de faibles déformations par fluage (Portnov et al., 2013). Cependant, le principal inconvénient des armatures en PRF est le vieillissement du liant avec le temps (Uthaman et al., 2020). Ainsi, afin d'évaluer leur utilisation en tant qu'armature dans des structures en béton ayant des exigences de durabilité élevées, le comportement mécanique de la structure en béton armé par PRF, à court et à long terme, reste un sujet d'actualité.

3. Comportement d'adhérence entre les armatures en PRF et le béton

Les armatures en PRF, après avoir été produites par l'un des trois procédés de fabrication courants : pultrusion, tressage ou enroulement filamentaire (ISIS Canada, 2007), sont utilisées comme barres de renforcement dans les structures en béton. Pour une conception optimale de la structure en béton armé, les forces entre l'armature et le béton doivent être transférées de manière efficace et fiable par la liaison entre les deux matériaux. Il existe trois principaux mécanismes de transfert de ces forces : l'adhésion chimique, la friction et le verrouillage mécanique.

Le premier mécanisme est l'adhésion chimique qui dépend largement de la qualité du béton à l'interface des armatures en PRF, incluant la taille maximale et la qualité des granulats, ainsi que les conditions de durcissement du béton (Islam et al., 2020). Le second mécanisme est lié aux forces de frottement résultant de la rugosité de l'interface entre les deux matériaux, des forces transversales à la surface de l'armature et du

glissement relatif entre les deux matériaux. Enfin, le troisième mécanisme est le verrouillage mécanique résultant des obstacles situés à la surface d'armature (ACI Committee 408, 2003). Les deux derniers mécanismes sont illustrés dans la figure 2.

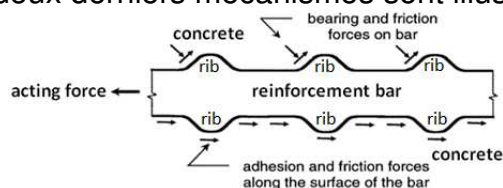


Figure 2. Mécanismes de transfert des forces de l'adhérence (ACI Committee 408, 2003)

Plusieurs facteurs affectent le comportement d'adhérence entre les armatures en PRF et le béton. Il s'agit notamment du traitement de surface d'armature, de l'enrobage du béton, du diamètre d'armature, de la longueur d'adhérence et de la résistance à la compression du béton. Le comportement d'adhérence dépend également de la résistance au cisaillement entre béton/liant ou liant/fibre, ce qui pourrait influencer le type de rupture de l'interface (rupture par cisaillement entre béton/liant ou liant/fibre) (Lee et al., 2008).

L'adhérence entre l'armature et le béton dépend largement du traitement de surface de l'armature. Il existe de nombreux types de surfaces d'armatures disponibles sur le marché (figure 3), comme les armatures sablées, lisses, enroulées en spirale et nervurées. Des expériences ont montré que les armatures avec des surfaces non lisses présentent de meilleures performances d'adhérence que les armatures lisses en raison des forces de friction et du verrouillage mécanique (Arias et al., 2012 ; Holly et al., 2016).

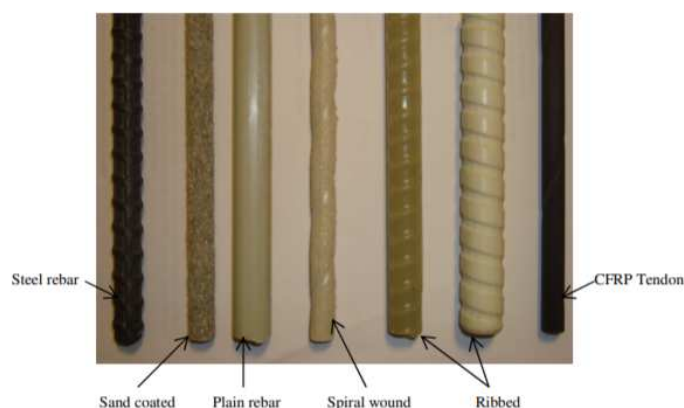


Figure 3. Différents types d'armatures en PRF disponibles dans le commerce (Quayyum, 2010)

La résistance d'adhérence est également augmentée par la présence d'un enrobage de béton suffisant qui assure le confinement de l'armature. De cette façon, la rupture par fendage est limitée, ce qui donne lieu à une rupture par "arrachement", au cours de laquelle il y a rupture par cisaillement de la partie en béton entre les nervures ou une rupture locale par écrasement du béton.

Le diamètre de l'armature constitue un autre facteur d'influence. Des expériences ont montré que la résistance d'adhérence peut être réduite en augmentant le diamètre (Rolland, 2015 ; Achillides and Pilakoutas, 2004). L'eau utilisée pour la formulation du béton peut être piégée sous l'armature. Il y a donc une forte probabilité de créer des vides entre la surface de l'armature et le béton environnant, ce qui peut réduire la surface de contact.

Un autre facteur qui peut affecter le comportement d'adhérence entre l'armature et le béton est la longueur de contact béton/armature, appelée longueur d'adhérence. Sur les grandes longueurs, par exemple 14 fois le diamètre de l'armature, la contrainte d'adhérence n'est pas uniforme, alors que sur les petites longueurs, par exemple 3 à 6 fois le diamètre de l'armature, la distribution de la contrainte d'adhérence est presque

uniforme (Ahmed et al., 2014 ; Tastani & Pantazopoulou, 2002). Dans le dernier cas, elle peut être calculée avec plus de précision.

En outre, selon Achillides and Pilakoutas (2004), une augmentation de la résistance à la compression du béton entraîne une augmentation de la résistance au cisaillement du béton et donc de l'adhérence.

4. Interaction entre les armatures en PRF et le béton

Les études sur le comportement d'adhérence entre armatures en PRF et béton ont permis d'identifier des diagrammes de contrainte d'adhérence en fonction du glissement pour différents types d'armatures, lisses ou déformées. Le diagramme de la figure 4 décrit la performance d'adhérence entre les armatures en PRF déformées et le béton.

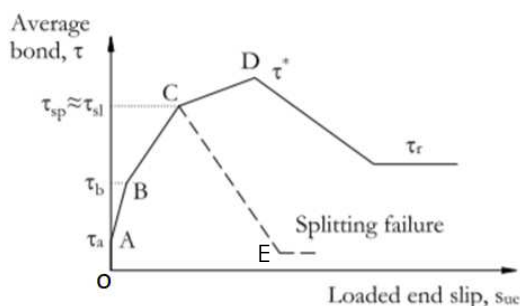


Figure 4. Courbe typique de la contrainte d'adhérence en fonction du glissement (Baena, 2010 d'après Achillides, 1998)

La partie O-A présente l'adhérence chimique entre les deux matériaux. Après cette étape, l'armature en PRF commence à glisser et les textures/nervures de la surface de l'armature induisent des contraintes dans le béton, ce qui génère des microfissures aux extrémités des nervures de l'armature (A-B). Pendant l'étape (B-C), l'augmentation des contraintes est plus importante. Après le point C, le comportement d'adhérence dépend du confinement de l'armature. Si l'enrobage du béton n'est pas suffisant ou s'il n'y a pas de confinement de l'armature, une rupture par fendage peut se produire (CE). Par contre, si le confinement de l'armature est suffisant, la contrainte d'adhérence peut atteindre sa valeur maximale (CD).

5. Comportement d'adhérence entre les armatures en acier et le béton

Le comportement d'adhérence entre armature en acier et béton peut se décomposer en 4 parties (figure 5). Le mécanisme d'adhérence au cours de la première étape est une adhérence chimique qui est due à une interaction micromécanique associée à la rugosité de la surface de l'acier à l'échelle microscopique (étape I). Cependant, ce mécanisme étant assez faible, il y a défaillance de l'adhérence chimique (étape II). Au stade II, les nervures présentes sur la surface des armatures déformées, induisent d'importantes contraintes sur le béton environnant. De plus, l'armature commence à glisser en raison de microfissures transversales apparaissant aux extrémités des nervures.

Pour des valeurs de contrainte d'adhérence plus élevées (stade III), le coincement des nervures est mobilisé ce qui cause la fissuration dans la direction longitudinale en s'écartant radialement. Dans ce cas, le béton environnant assure le confinement à l'armature. Dans les cas de renforcement transversaux faibles, le stade III se termine lorsque les fissures atteignent la surface extérieure du béton. Une rupture plus ou moins brutale se produit en fonction du confinement transversal (stade IVb, rupture par fendage). En cas d'armature transversale importante ou d'enrobage suffisant du béton, la rupture par fendage est évitée (stage IVc). Le stade IVa concerne les armatures lisses. Le mécanisme d'adhérence qui résiste au glissement de l'armature est la friction et dépend fortement du niveau de renforcement transversal.

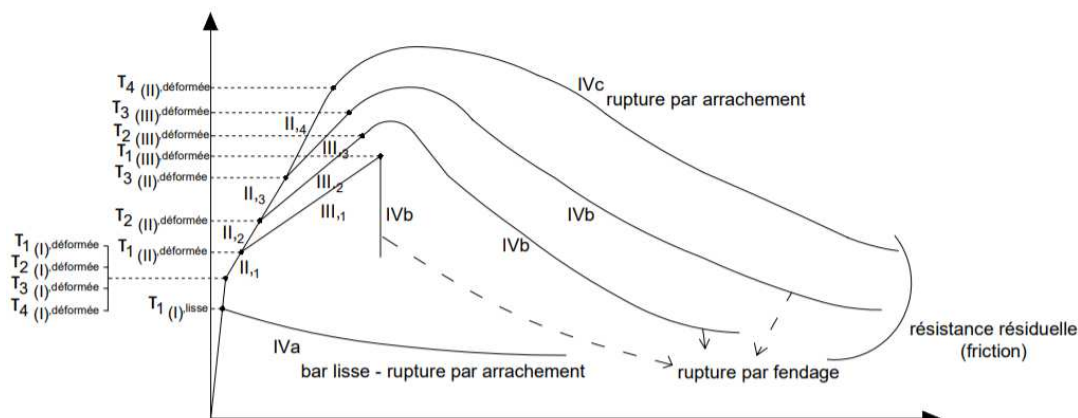


Figure 5. Modèle de comportement de l'adhérence acier/béton (d'après FIB, 2000)

6. Essais d'arrachement

La formulation du béton retenue pour cette thèse est un béton de consistance ferme (affaissement de 15 mm et temps Vébé de 14 s). La résistance à la compression moyenne mesurée du béton a été de 64 MPa à 7 jours et de 73 MPa à 28 jours.

Pour mener les essais d'arrachement, des armatures métalliques et PRF seront utilisées avec des variantes en termes de rugosité et de taux de résine (armature PRF). Dans cet article les premiers essais d'arrachement ont été effectués sur des armatures d'acier à verrous de 12 mm de diamètre. La barre testée (figure 6a) présente deux faces (figure 6b) avec des verrous d'inclinaison différente et de 0,9 mm d'épaisseur. Les valeurs des espacements des verrous sont données sur la figure 7. Elles suivent les recommandations de la norme NF EN 10080.

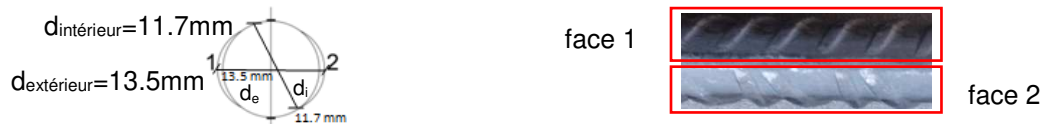


Figure 6 a) Section transversale d'armature en acier ; b) Faces 1 et 2 d'armature en acier



Figure 7. L'espacement des verrous sur les deux faces de l'armature en acier

L'essai d'arrachement est l'un des principaux essais permettant d'évaluer l'adhérence entre le béton et l'armature et de comparer les performances d'adhérence entre le béton et différents types d'armatures.

Les essais d'arrachement réalisés suivent la recommandation RILEM en utilisant une éprouvette cubique de béton de dimensions 0,2 x 0,2 x 0,2 m (figure 8). Lors des essais d'arrachement préliminaires, une armature en acier de 12 mm de diamètre est placée au centre de l'éprouvette béton. La longueur d'adhérence est de 6 cm égale à 5 fois le diamètre de l'armature. Un élément de séparation, tube en plastique, de 14 cm, est placé entre les deux matériaux.

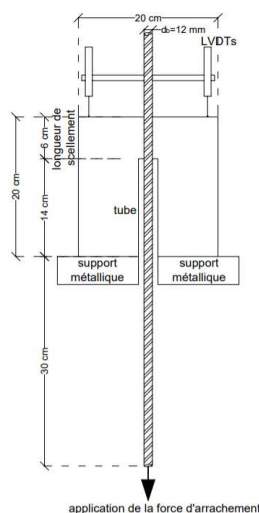


Figure 8. Configuration expérimentale de l'essai d'arrachement

Les essais d'arrachement consistent à appliquer une force de traction à l'une des extrémités de l'armature. Pendant l'essai, la force de traction appliquée à l'armature et le déplacement de l'armature sont enregistrés en continu. Lorsque le mécanisme d'arrachement se met en place la distribution de la contrainte d'adhérence n'est pas uniforme. Cependant, pour une faible longueur d'adhérence comme pour ce cas-ci, on peut supposer que la distribution de la contrainte d'adhérence est uniforme sur toute la longueur du contact. La contrainte d'adhérence moyenne se calcule selon l'équation suivante :

$$\tau(t) = \frac{F(t)}{c_b * l} \quad (1)$$

où $\tau(t)$ [MPa] est la contrainte d'adhérence moyenne, $F(t)$ [N] est la charge d'arrachement appliquée, c_b [mm] est le périmètre d'armature équivalent et l [mm] est la longueur d'adhérence.

Le tableau 1 résume les résultats des 3 essais d'arrachement effectués. Plus précisément, la valeur maximale de la force d'arrachement correspondant à la rupture d'adhérence, la résistance d'adhérence, le déplacement moyen mesuré par les LVDTs au moment de la rupture d'adhérence et le taux de chargement moyen sont présentés. Les essais ont été réalisés à 7 jours et à 28 jours après la formulation du béton.

Tableau 1. Résultats des 3 essais d'arrachement

Essai d'arrachement	1	2	3
Temps de prise (jours)	7	28	28
Force d'arrachement (kN)	63,00	69,51	63,87
Résistance d'adhérence (MPa)	27,85	30,73	28,74
Déplacement moyen-LVDT (mm)	1,12	0,93	1,07
$t_{rupture\ d'adhérence}$ (min)	13	16	16
Taux de charge moyen (kN/s)	0,078	0,076	0,07

Le tableau 2 présente quelques résultats d'essais d'arrachement avec des données d'entrée les plus proches possibles, à ceux des essais réalisés. Les résultats des essais d'arrachement de Lee et al. (2008), effectués à 28 jours de prise, sont assez proches aux valeurs mesurées durant les essais d'arrachement (tableau 1). En conclusion, on observe qu'une résistance à la compression du béton forte induit une force d'arrachement plus élevée (Khaksefidi et al., 2021 ; Lee et al., 2008).

Tableau 2. Résultats de la bibliographie d'essais d'arrachement

Diamètre d'armature (mm)	Longueur d'adhérence (mm)	Résistance à la compression du béton (MPa)	Force maximale (kN)	Résistance d'adhérence (MPa)	Déplacement (mm)	Référence
12	72	47,87	44	16,21	3,12	Khaksefidi et al., 2021
12.7	50.8	56,3	59,35	29,28	0,72	Lee et al., 2008
		56,3	61,37	30,28	0,74	
		56,3	63,46	31,31	1,08	
		92,4	81,88	40,40	1,05	

Les figures 9a et b montrent les courbes de la force d'arrachement et les courbes de la contrainte d'adhérence correspondante en fonction du déplacement moyen, obtenues à partir des 3 essais d'arrachement. La contrainte d'adhérence est évaluée à partir de l'équation 1. La courbe du comportement d'adhérence, présentée sur la figure 9b, a la même allure que la courbe théorique de comportement acier/béton IVc de la figure 5. De plus, en comparant avec les valeurs de Lee et al. (2008), le comportement expérimental semble bien représentatif de la loi de comportement d'adhérence acier/béton, ce qui valide le protocole expérimental. Cependant, la branche descendante de la courbe théorique n'est pas atteinte pendant l'essai car l'essai est effectué en contrôlant la force et non par le déplacement.

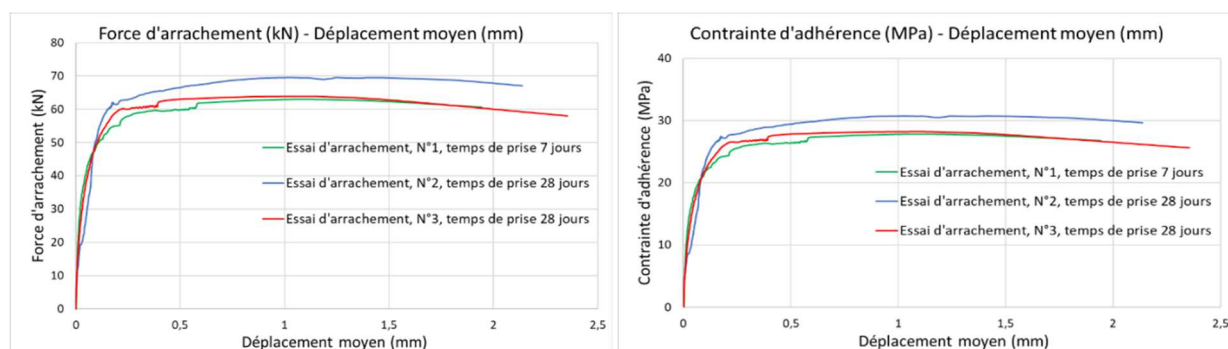


Figure 9. Résultats des essais d'arrachement : a) force d'arrachement ; b) la contrainte d'adhérence en fonction du déplacement moyen

Comme déjà mentionné, les armatures en PRF pourraient remplacer l'acier lorsqu'il y a un risque de corrosion. La figure 10 montre la résistance d'adhérence des armatures en PRFV composée de vinylester comme liant, dont la rugosité est aussi proche que possible de celle de l'acier testé. Toutes les barres ont un diamètre de 12 mm. La première barre est hélicoïde et sa surface est sablée, la deuxième barre est indentée et les deux dernières barres en PRFV, sont à verrous. La résistance d'adhérence de la quatrième armature en PRFV à verrous est la plus proche de l'armature en acier testée (Solyom et Balázs, 2020). Ainsi, les armatures en PRFV ayant une rugosité similaire à celle de l'acier testé et exhibant une résistance d'adhérence proche, pourraient être utilisées dans les structures en béton. Cependant, il est également nécessaire d'étudier la durabilité des interfaces armatures en PRF/béton en réalisant d'essais complémentaires.

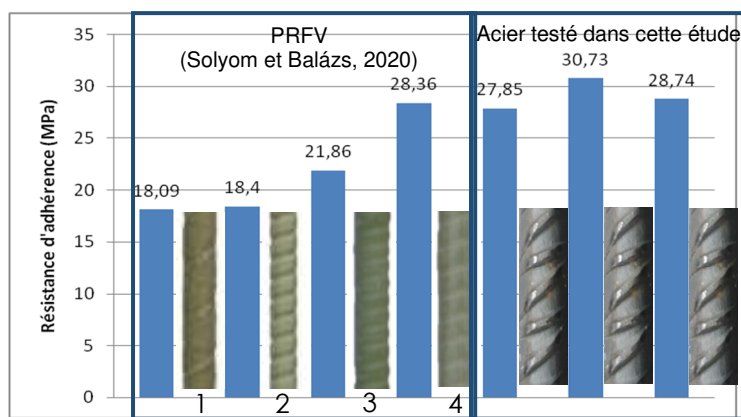


Figure 10. Comparaison de la résistance d'adhérence entre armatures en PRFV et l'acier à verrous

Dans le cadre de la recherche future, la durabilité des interfaces armature en PRF/béton, sera étudiée pour des structures vieillies à l'aide des cycles thermiques. Le comportement de l'adhérence PRF/béton s'appuie sur le transfert des forces de cisaillement et des forces transversales à l'interface entre les deux matériaux. Ces deux mécanismes sont dominés par les propriétés du liant. Les conditions environnementales (conditions thermiques, attaques chimiques) qui dégradent le liant ou l'interface fibre/liant sont donc également susceptibles de dégrader l'adhérence. Une interface solide fibre/liant est requise pour assurer la sûreté des structures (Gajdošová et al., 2020 ; ACI Committee 440.1R-15, 2015).

7. Conclusions

Les armatures en PRF sont l'un des renforcements proposés afin d'éviter la corrosion de l'acier. Pour bien étudier le comportement mécanique des structures en béton armé renforcées par des armatures non métalliques, l'étape initiale consiste à étudier l'interface entre béton/armature.

La performance d'adhérence entre l'armature et le béton résulte de trois mécanismes principaux : l'adhérence chimique, la friction et le verrouillage mécanique. Elle dépend fortement de facteurs liés aux caractéristiques de l'armature, aux caractéristiques du béton et à la géométrie de la configuration expérimentale.

Dans ce travail, des essais d'arrachement et de flexion sur des poutres seront réalisés sans et avec vieillissement et/ou fluage. Ce futur programme de recherche mettra en évidence l'apport mécanique de l'interface béton/armature en fonction du liant intégré dans l'armature. Le comportement micro- des interfaces armatures/béton sera étudié à l'aide des essais méso-, essais d'arrachement, et des essais macro-, sur poutres de grandes dimensions.

8. Références bibliographiques

- Abedini M., Akhlaghi E., Mehrmashhadi J., Mussa M.M., Ansari M., Momeni T. (2017). Evaluation of concrete structures reinforced with fiber reinforced polymer bars: a review. *Journal of Asian Scientific Research*, 7(5), pp. 165-175
- Achillides Z. (1998). Bond behaviour of FRP bars in concrete. PhD. Univ. of Sheffield, UK
- Achillides Z., Pilakoutas K. (2004). Bond behavior of fiber reinforced polymer bars under direct pullout conditions. *Journal of Composites for Construction*, 8(2)
- ACI (American Concrete Institute). (2015). Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. ACI 440R.1R-15, Farmington Hills, MI.
- ACI (American Concrete Institute). (2007). Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. ACI 440R-07, Farmington Hills, MI.

- ACI (American Concrete Institute). (2003). Bond and Development of Straight Reinforcing Bars in Tension. ACI 408R-3R, Farmington Hills, MI.
- Ahmed K., Al Ragi A., Kausar U., Mahmood A. (2014). Effect of embedded length on bond behaviour of steel reinforcing bar in fiber reinforced concrete. *Int. J. of Adv. in Res. & Tech.*, 3(1)
- Arias J. P. M., Vazquez A., Escobar M. M. (2012). Use of sand coating to improve bonding between GFRP bars and concrete. *J. of Composite Materials*, 46(18), pp. 2271-2278
- Baena, M. M. (2010). Study of bond behaviour between FRP reinforcement and concrete. PhD. Univ. de Girona, Spain
- Benmokrane B., Rahman H., Mukhopadhyaya P., Masmoudi R., Chekired M, Nicole J.F., El-Safty A. (2000). Use of fibre reinforced polymer reinforcement integrated with fibre optic sensors for concrete bridge deck slab construction. *Can. J. Civil Eng.*, 27, 928-940
- Brózda K., Selejdak J., Koteš P. (2017). The analysis of beam reinforced with FRP bars in bending. In *Procedia Engineering*, 192, pp. 64-68
- Fédération Internationale du Béton. (2000). Bond of reinforcement in concrete: state-of-the-art report. *Fib Bulletin* No. 10
- Gajdošová K., Sonnenschein R., Blaho S., Kinčeková S., Pecka, J. (2020). Durability of FRP reinforcements and long-term properties. *Slov. J. of Civil Eng.*, 28(2), pp. 50-55
- Hao Q. D., Wang Y. L., Zhang Z. C., Ou, J. P. (2007). Bond strength improvement of GFRP rebars with different rib geometries. *J. Zhejiang Univ.*, 8(9), pp. 1356-1365
- Hollý I., Bilčík J., Keseli O., Gažovičová N. (2016). Bond of GFRP reinforcement with concrete. *Key Engineering Materials*, 691, pp. 356-365
- ISIS Canada. (2007). Reinforcing concrete structures with Fibre Reinforced Polymers. (Design Manual No.3, Ed.), ISIS Canada corporation.
- Islam K., Billah A. M., Chowdhury M. M. I., Ahmed K. S. (2020). Exploratory study on bond behavior of plain and sand coated stainless steel rebars in concrete. *Structures*, 27, 2365-2378
- Khaksefidi S., Ghalehnovi M., de Brito J. (2021). Bond behaviour of high-strength steel rebars in normal (NSC) and Ultra-High Performance Concrete (UHPC). *J. of Building Engineering*, 33, pp. 101592-101608
- Lee J. Y., Kim T. Y., Kim T. J., Yi C. K., Park J. S., You Y. C., Park Y. H. (2008). Interfacial bond strength of glass fiber reinforced polymer bars in high-strength concrete. *Composites Part B: Engineering*, 39(2), pp. 258-270
- NF EN 10080. (2005). Aciers pour l'armature du béton. Aciers soudables pour béton armé
- Portnov G., Bakis C. E., Lackey E., Kulakov V. (2013). FRP Reinforcing bars-Designs and methods of manufacture. *Mechanics of Composite Materials*, 49 (4), pp. 381-400.
- Quayyum S. (2010). Bond behaviour of Fibre Reinforced Polymer (FRP) rebars in concrete. Master of Applied Science. Univ. of British Columbia, Okanagan, Canada
- RILEM. (1983). RC6 Bond test for reinforcement steel. 2. Pull-out test.
- Rolland A. (2015). Comportement mécanique et durabilité de structures en béton renforcées par des armatures composites internes. PhD. Univ. Paris-Est, France
- Sayed Ahmad F. (2011). Mise en précontrainte des bétons fibrés à ultra haute performance à l'aide de matériaux composites en carbone. PhD. Univ. Paris-Est, France
- Solyom S., Balázs G. L. (2016). Influence of FRC on bond characteristics of FRP reinforcement. *Proceedings of the 11th fib Int. PhD Symp. in Civil Eng., FIB 2016*
- Tastani S., Pantazopoulou S. (2002). Experimental evaluation of the direct tension-pullout bond test. *Bond in concrete-From research to standards*, pp. 268-276, Budapest
- Uthaman, A., Xian, G., Thomas, S., Wang, Y., Zheng, Q., Liu, X. (2020). Durability of an epoxy resin and its carbon fiber-reinforced polymer composite upon immersion in water, acidic, and alkaline solutions. *Polymers*, 12(3)