



**HAL**  
open science

## **Durabilité des armatures composites en PRF et des structures en béton armé par PRF soumises à un vieillissement sous charge**

Noémie Delaplanque, Sylvain Chataigner, Laurent Gaillet, Marc Quiertant, Karim Benzarti, Arnaud Rolland, David Bigaud, Alvaro Savaria Flores

### ► **To cite this version:**

Noémie Delaplanque, Sylvain Chataigner, Laurent Gaillet, Marc Quiertant, Karim Benzarti, et al.. Durabilité des armatures composites en PRF et des structures en béton armé par PRF soumises à un vieillissement sous charge. 25eme Congrès Français de Mécanique., Association Française de Mécanique - AFM, Aug 2022, Nantes, France. 13 p. hal-04281735

**HAL Id: hal-04281735**

**<https://hal.science/hal-04281735v1>**

Submitted on 13 Nov 2023

**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.

# Durabilité des armatures en PRF soumises à un vieillissement sous charge

**N. DELAPLANQUE<sup>a</sup>, S. CHATAIGNER<sup>a</sup>, L. GAILLET<sup>a</sup>,  
M. QUIERTANT<sup>b</sup>, K. BENZARTI<sup>c</sup>, A. ROLLAND<sup>d</sup>, D. BIGAUD<sup>e</sup>,  
A. SAVARIA FLORES<sup>f</sup>**

a. Univ Gustave Eiffel, MAST-SMC, F-44344 Bouguenais, France,  
noemie.delaplanque@univ-eiffel.fr, sylvain.chataigner@univ-eiffel.fr, laurent.gaillet@univ-eiffel.fr

b. Univ Gustave Eiffel, MAST-EMGCU, F-77447 Marne-la-Vallée, France,  
marc.quiettant@univ-eiffel.fr

c. Univ Gustave Eiffel, Ecole des Ponts, CNRS, Navier, F- 77454 Marne-la-Vallée, France,  
karim.benzarti@univ-eiffel.fr

d. Cerema, MAN, 9 rue René Viviani, 44 200 Nantes, arnaud.rolland@cerema.fr

e. Univ Angers, LARIS, SFR MATHSTIC, F-49000 Angers, France, david.bigaud@univ-angers.fr

f. Direction de la recherche et développement, ANDRA, F-92298 Châtenay-Malabry, France,  
alvaro.saravia@andra.fr

## Résumé :

*La corrosion des armatures en acier est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Pour pallier ce problème, une solution déjà répandue en Amérique du Nord consiste à remplacer les armatures métalliques classiques par des armatures en Polymère Renforcé de Fibres (PRF). Ces dernières sont en effet insensibles à la corrosion et présentent des résistances mécaniques supérieures à celles des aciers. Cependant, malgré leur grand potentiel, ces armatures restent encore peu utilisées en France, en raison notamment de données insuffisantes concernant leur durabilité dans les conditions de service. S'il existe déjà beaucoup d'études portant sur la durabilité des armatures en PRF à fibre de verre (PRFV) exposées à des environnements alcalins plus ou moins représentatifs du milieu béton, on connaît encore mal l'impact d'une exposition environnementale couplée à des sollicitations mécaniques (vieillissement sous charge).*

*L'étude proposée vise donc à mieux appréhender les éventuels effets combinés de ces différents facteurs sur le comportement à long terme des PRFV et des structures en béton armé par PRFV, en particulier sur les mécanismes et cinétiques d'endommagement. Elle est réalisée en partenariat avec l'ANDRA.*

*Dans ce cadre, des essais de vieillissement accéléré sous charge sont menés sur différents types d'éprouvettes :*

*- des armatures PRFV sont exposées en milieu alcalin (enrobage béton et immersion dans une solution à haut pH pour différentes températures afin d'accélérer les phénomènes) et soumises simultanément à une charge constante de traction. Après vieillissement, des essais de traction sont menés jusqu'à la rupture pour évaluer les propriétés résiduelles de ces armatures,*

*- des éprouvettes de type pull-out (armatures PRFV noyées dans un cylindre de béton) sont immergées dans une solution alcaline à différentes températures et soumises à une charge constante induisant un*

*effort de cisaillement à l'interface béton/PRF. Après vieillissement, des caractérisations mécaniques jusqu'à la rupture sont réalisées pour évaluer l'adhérence résiduelle béton/PRF.*

*En complément, des essais de vieillissements accélérés dans les mêmes environnements mais sans application d'une charge sont réalisés sur les deux types d'éprouvettes, afin de décorrélérer les phénomènes. Des analyses physicochimiques et observations microstructurales sont également effectuées sur l'ensemble des éprouvettes vieilles en vue de mieux cerner les mécanismes de dégradation mis en jeu.*

*Cet article présente la démarche expérimentale globale de l'étude ainsi que les premiers résultats de la campagne en cours.*

**Mots clefs : durabilité, armature PRF, solution alcaline, béton, vieillissement sous charge**

### **Abstract:**

*Corrosion of steel reinforcement is the main cause of degradation of reinforced concrete structures. To overcome this problem, a solution already widespread in North America consists in replacing conventional steel reinforcing bars (rebars) with Fiber Reinforced Polymer (FRP) rebars. FRP rebars are indeed insensitive to corrosion and have higher mechanical resistances than steel rebars. However, despite their great potential, these reinforcements are still not widely used in France, mainly because of insufficient data concerning their durability in service conditions. Although there are already many studies on the durability of glass fiber FRP (GFRP) reinforcements exposed to alkaline environments more or less representative of the concrete environment, little is known about the impact of environmental exposure coupled with mechanical stresses (aging under load).*

*The proposed study therefore aims to better understand the possible effects of these different factors on the long-term behavior of FRP and FRP-reinforced concrete structures, in particular on damage mechanisms and kinetics. It is carried out in partnership with ANDRA.*

*In this context, accelerated ageing under sustained load is carried out on different types of specimens:*

*- GFRP rebars are exposed in an alkaline environment (concrete coating and immersion in a high pH solution for different temperatures in order to accelerate the phenomena) and simultaneously subjected to a sustained tensile load. After aging, tensile tests are conducted until failure in order to evaluate residual properties of the rebars,*

*- Pull-out specimens (GFRP rebars embedded in a concrete cylinder) are immersed in the same alkaline solution at different temperatures and subjected to a sustained load inducing a shear stress at the concrete/FRP interface. After aging, mechanical characterizations until failure are also performed to evaluate the residual concrete/PRF bond properties.*

*In addition, accelerated aging in the same environments but without load are carried out on the two types of specimens, in order to decorrelate the different phenomena. Physicochemical analysis and microstructural observations are also carried out on all the specimens after aging in order to better understand the degradation mechanisms involved.*

*This article presents the global experimental program of the study as well as the first results of the current campaign.*

**Keywords: durability, FRP composite reinforcement, alkaline solution, concrete, aging under load**

# 1 Introduction

La corrosion des armatures en acier est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Pour pallier à ce problème, une solution déjà répandue en Amérique du Nord consiste à remplacer les armatures en acier par des armatures en Polymère Renforcé de Fibres (PRF). Ces dernières sont en effet insensibles à la corrosion et présentent des résistances mécaniques supérieures à celles des aciers. Malgré leur potentiel, ces armatures restent encore peu utilisées en France, en raison notamment de données insuffisantes concernant leur durabilité en conditions de service [1], en particulier pour les armatures à fibres de verre (PRFV) qui présentent le potentiel le plus intéressant sur le plan économique.

S'il existe déjà beaucoup d'études portant sur la durabilité des armatures en PRFV exposées à des environnements alcalins plus ou moins représentatifs du milieu béton, on connaît encore mal l'impact d'une exposition environnementale couplée à des sollicitations mécaniques (vieillissement sous charge [2]). Plusieurs études s'accordent sur l'influence significative de l'application d'une charge de fluage sur les cinétiques de dégradation d'une armature soumise à un environnement agressif. L'étude de Byars, qui porte sur des armatures en PRFV, montre ainsi que l'application d'une charge maintenue (dont l'intensité se situe entre 20 à 40% de la force à la rupture de l'armature) couplée à l'application d'une température (23, 40 et 60°C) accélère les cinétiques de dégradation en milieu alcalin (ici la diminution de la résistance en traction). En outre, Byars et al. ont démontré que les armatures en PRFV sont plus sensibles à ces conditions de vieillissement que des armatures PRFC (Polymères Renforcés de Fibres de Carbone) [3].

Si la question de la durabilité de l'armature en PRFV en milieu alcalin a fait l'objet de plusieurs études, moins d'auteurs se sont penchés sur le sujet de la durabilité des propriétés d'interface entre ces armatures et le béton, propriétés pourtant essentielles au bon comportement de la structure en béton armé. Il existe cependant quelques études qui semblent montrer une dégradation des propriétés interfaciales [4]. On notera qu'une des difficultés dans ce type d'étude est liée à la capacité à dissocier la dégradation de l'interface de l'évolution des propriétés du béton lui-même (post-cure du béton au cours des vieillissements) lors de l'analyse des résultats. Enfin, à notre connaissance, il n'existe aucune étude qui traite du vieillissement sous charge maintenue pour des éprouvettes d'arrachement ou de type « pull-out ».

Le présent article traitera de cette étude en deux parties. La première sera consacrée à la présentation du programme expérimental et la seconde partie sera quant à elle présentera les premiers résultats obtenus.

## 2 Présentation du programme expérimental envisagé

### 2.1 Présentation des armatures étudiées

Deux types d'armatures PRF provenant du même fournisseur et fabriquées par pultrusion sont étudiées : la première est composée de fibre de verre et d'une matrice vinylester (notée PRFV par la suite), la seconde est composée de fibre de carbone et, là encore, d'une matrice vinylester (PRFC). Ces deux armatures sont sablées en surface et présentent un diamètre de 10 mm (Figure 1). Les différentes propriétés fournies par le fournisseur pour les armatures PRFV sont données dans le Tableau 1.



Figure 1 : Armatures PRFV et PRFC étudiées

Tableau 1 : Propriétés garanties par le fournisseur pour l'armature composite à fibre de verre

Diamètre (mm)	Aire nominale (mm <sup>2</sup> )	Résistance à la traction garantie (MPa)	Module d'élasticité en traction (GPa)	Charge de traction à rupture (kN)
10	71	900	46	>59

## 2.2 Méthodes de caractérisation des armatures et l'interface armature/béton

### 2.2.1 Caractérisation de l'armature

La caractérisation de l'armature porte à la fois sur des propriétés mécaniques, mais également physico-chimiques. En ce qui concerne les propriétés mécaniques, on réalise des essais de traction jusqu'à la rupture ainsi que des essais de cisaillement inter-laminaire par flexion en trois points rapprochés. En ce qui concerne les caractérisations physico-chimiques, des mesures de la température de transition vitreuse par DSC (Calorimétrie Différentielle à Balayage), des analyses en DMA (Analyse Mécanique Dynamique) et en spectroscopie IR sont réalisées. En complément, des observations microstructurales sont effectuées à l'aide d'un MEB (Microscope Electronique à Balayage) équipé d'une sonde EDX (Energy Dispersive X-ray), permettant aussi d'identifier la présence des différents éléments chimiques dans le matériau.

Les essais de traction permettent d'accéder au module d'élasticité longitudinal de l'armature ainsi qu'à sa résistance en traction (Figure 2). Ils sont réalisés conformément à la norme américaine ASTM D7205 et la norme ISO 10406-1 ainsi qu'aux recommandations françaises de l'AFGC [2] sur l'emploi d'armatures en PRF en construction [2, 5]. Afin de ne pas endommager de manière excessive les extrémités des armatures pendant l'essai et éviter une rupture prématurée des armatures dans les mors de la presse, les armatures ont été préalablement équipées d'un système d'ancrage spécifique à chaque extrémité qui est composé d'un tube en acier et d'un mortier expansif permettant de répartir de manière plus homogène les contraintes radiales de serrage de l'armature. L'essai est réalisé sur une presse hydraulique de capacité 250 kN équipée d'une cellule de mesure de force à une vitesse de 1 mm/min (Figure 2). La déformation est mesurée à l'aide d'un extensomètre optique.



Figure 2 : Essai de traction sur une presse hydraulique

Les essais de cisaillement inter-laminaire, qui consistent en la réalisation d'un essai de flexion trois points avec appuis rapprochés, aussi appelés Short-beam test, permettent d'évaluer la résistance de l'interface entre les fibres et la matrice polymère. Les essais sont réalisés conformément à la norme ASTM D4475 ainsi qu'aux recommandations de l'AFGC [2, 7, 8] (Figure 3). La distance entre appuis a été fixée à cinq fois le diamètre de l'armature. L'essai est piloté en déplacement à une vitesse de 1 mm/min sur une presse électromécanique de capacité 100 kN, équipée d'un capteur de force additionnel de 50 kN afin d'obtenir des valeurs de force plus précise dans la plage de mesure de l'étude. La résistance au cisaillement inter-laminaire  $R$  est déterminée selon la formule donnée par la norme d'essai ASTM [7], à partir de l'effort à rupture  $F$  par la relation  $R = 0,849F/d^2$ ,  $d$  étant le diamètre de l'armature.



Figure 3 : Essais de caractérisation du cisaillement interlaminaire

## 2.2.2 Caractérisation de l'interface armature/béton

Des essais d'arrachement, également appelés pull-out, sont réalisés conformément aux préconisations du guide américain ACI 440.3R-04 [6] ainsi qu'au guide AFGC [2]. Ces essais permettent de caractériser l'interface entre l'armature et le béton. Les différentes armatures (PRFV et PRFC) sont scellées dans un cylindre de béton (diamètre 110 mm et hauteur 220 mm) sur une longueur équivalente à cinq fois leur diamètre. Pour réaliser les essais d'arrachement, l'extrémité de l'armature est préalablement équipée du même système d'ancrage que celui utilisé pour les essais de traction. L'éprouvette est positionnée au sein d'un bâti spécifique et le chargement est appliqué à l'une des extrémités équipées d'un système d'ancrage. La presse est pilotée en déplacement à une vitesse constante de 0,08 mm/min. Au cours de l'essai, le déplacement de l'extrémité libre de l'armature est mesuré à l'aide d'un capteur laser (Figure 4).



Figure 4 : Essai d'arrachement sur éprouvette « pull-out »

## 2.3 Protocoles de vieillissement des armatures en milieu alcalin

Deux protocoles de vieillissement sont appliqués. Le premier concerne le vieillissement en milieu alcalin d'armatures en PRFV et en PRFC enrobées de béton qui ne seront pas sollicitées en traction durant le vieillissement, condition dite « VSC » (Vieillissement Sans Charge). Ces éprouvettes enrobées de béton (destinées à être caractérisées par la suite en traction, en cisaillement inter-laminaire ainsi qu'en arrachement) sont immergées dans une solution alcaline présentant un pH compris entre 12 et 13 à des températures de 20 °C (température ambiante), 40 °C et 60 °C. L'utilisation d'un enrobage de béton permet d'être plus représentatif de la diffusion des alcalins en situation de service [9]. 6 échéances seront réalisées pour ce type de vieillissement : 30 jours, 60 jours, 90 jours, 180 jours, 360 jours, et 540 jours. Pour cela, 4 bacs d'immersions thermostatés sont utilisés (Figure 5).



Figure 5 : Salle de vieillissement des éprouvettes (VSC) contenant les bacs thermostatés

Le second protocole consiste à réaliser des vieillissements dans des conditions similaires sur des éprouvettes soumises à une charge constante de traction. Ce protocole est par la suite appelé Vieillissement Avec Charge (VAC). Pour ce protocole, 3 bâtis en traction et 3 bâtis dédiés à solliciter l'interface armature-béton (éprouvettes « pull-out ») sont utilisés. Ces bâtis permettent la mise en charge des éprouvettes à l'aide d'un vérin hydraulique, et le maintien de la charge appliquée par blocage des déplacements (Figure 6). Des essais préliminaires ont permis de définir les délais de remise en charge des armatures afin de pouvoir compenser les phénomènes de relaxation des armatures. Deux niveaux de charge sont étudiés. Ils correspondent à des niveaux de contrainte respectifs de 20 % et 40 % de la résistance moyenne en traction initiale des armatures. Les éprouvettes sont ainsi vieillies sur des périodes de 30, 60, et 90 jours.



Figure 6 : Bâtis de vieillissement VAC pour les éprouvettes a) de pull-out et b) de traction



Pour ces deux protocoles (VSC et VAC), des conditions environnementales similaires (température, solution et pH) sont utilisées. Après chaque échéance de vieillissement des éprouvettes, les différents essais de caractérisation sont réalisés afin de suivre l'évolution des différentes propriétés physico-chimiques, mécaniques, et d'interface des armatures.

## 2.4 Optimisation du programme expérimental

Pour réaliser les vieillissements avec charge (VAC) et afin de limiter la durée totale de cette campagne de vieillissement, un plan d'optimisation a été construit.

Ce plan est basé sur le concept des matrices de Hoke. Ce type de plan d'expérience est construit sur 2 facteurs variables (la température et le niveau de charge exprimé ici en pourcentage de la résistance ultime initiale de l'armature). L'intérêt de cette stratégie est de réduire le nombre de combinaisons d'essais tout en conservant du mieux possible les informations utiles à l'étude du couplage des paramètres de vieillissement (cas de la matrice D1, voir Figure 7) et sur l'erreur de mesure (cas de la matrice D4, voir Figure 7).

Le plan d'expérience est réalisé en respectant la matrice D4. En effet, la matrice D1 est une matrice restreinte qui garde les effets des couplages. La matrice D4 ajoute quant à elle à la matrice D1, des éléments pour prendre en compte les erreurs de mesures. Celle-ci s'appuie sur 5 configurations d'essais accélérés sous charge ainsi que 3 configurations d'essais sans charge appliquée. Pour chaque configuration, 3 éprouvettes seront testées afin d'évaluer la répétabilité des essais et la dispersion des résultats.

Sachant qu'une configuration mobilise 3 bâtis, cela engendre au total 900 jours de vieillissement, soit environ deux ans et demi d'expérimentation. Afin d'optimiser les temps de vieillissement, deux scénarios d'optimisation du programme de vieillissement sont envisagés. Pour décider du choix du scénario d'optimisation à suivre, une première série d'essais de caractérisation est réalisée après 30 jours de vieillissement. À la suite de cette première série d'essais, si des diminutions notables de la résistance en traction (supérieures à 10 % par rapport à la référence) sont observées, alors un premier scénario consiste à réaliser par la suite des échéances plus courtes (7 et 21 jours), afin de pouvoir suivre une évolution à plus court terme des propriétés des armatures. Dans le cas où les pertes de résistance resteraient limitées (inférieures à 10 %) à l'issue de cette première échéance, le second scénario consistera alors à considérer des échéances plus espacées (60 et 90 jours).

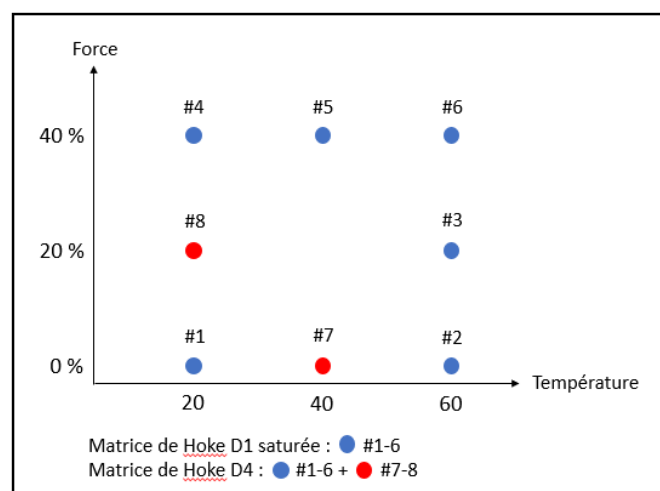


Figure 7 : Matrice de Hoke du plan d'expérience

## 4 Présentation des premiers résultats obtenus

Les résultats présentés dans le présent article concernent uniquement ceux des vieillissements sans charge :

- Les résultats de référence (armatures PRFC et PRFV) et ceux des première et seconde échéances (30 et 60 jours) pour les caractérisations en traction,
- Les résultats de référence et de la première échéance (30 jours) pour les caractérisations en cisaillement inter-laminaire.

Les résultats des essais de caractérisation de l'interface armature/béton et des analyses physico-chimiques des armatures PRF ne sont pas présentées dans cet article.

### 4.1. Comportement en traction

Des essais de traction ont été réalisés à chaque échéance et pour chaque configuration de vieillissement (température et charge). Les modes de rupture typiquement observés sur les armatures en PRFV et en PRFC sont illustrés sur la figure 8. Les armatures PRFV présentent une rupture « en plumeau », alors que les armatures PRFC présentent une rupture nette et localisée à différents endroits de l'armature. Les ruptures localisées ont été amorcées majoritairement au centre de l'armature puis au niveau des ancrages par la libération de l'énergie emmagasinée durant l'essai.



Figure 8 : Modes de rupture des PRFV et PRFC

La résistance en traction moyenne ainsi que le module d'élasticité longitudinal moyen pour chaque armature, à chaque échéance et aux différentes températures sont présentés dans le Tableau 2, ainsi que sur les Figures 9 et 10. En effet, le module d'élasticité a été calculé par la relation  $E = \frac{\text{la contrainte à 50\%} - \text{la contrainte à 20\%}}{\text{la déformation à 50\%} - \text{la déformation à 20\%}}$ . De plus, les écart-types ont été calculés par la technique de la « population totale » soit  $1/n$  conformément aux recommandations du guide AFGC [2]. La figure 11 indique quant à elle, l'allure typique de la courbe contrainte/déformation enregistrée pour chaque matériau (PRFV et PRFC) lors du chargement jusqu'à la rupture. En l'absence d'extensomètre lors du chargement jusqu'à la rupture, la déformation considérée correspond au déplacement de la traverse divisé par la longueur d'éprouvette comprise entre chaque ancrage.

En ce qui concerne les armatures en PRFV, il n'y a pas de variation significative de la résistance en traction ou du module élastique pour les deux premières échéances (30 et 60 jours). Concernant les armatures en PRFC, il apparaît que la résistance en traction diminue significativement contrairement au module élastique. Les conditions de vieillissement des armatures ne dégradent, aux échéances testées, ni la résistance ni le comportement élastique des armatures PRFV mais tendent à dégrader la résistance des armatures PRFC.

Tableau 2 : Résistance en traction et module élastique obtenus lors des essais de traction

Nom éprouvette	Force à rupture (kN)	Contrainte à rupture (MPa)	Module élastique (GPa)	Ecart-type contrainte (MPa)	Ecart-type module élastique (GPa)
Référence_PRFV	88,62	1128,33	57,96	42,82	1,60
E1_20_PRFV	85,78	1092,25	56,59	75,34	0,79
E1_40_PRFV	91,88	1169,58	57,94	26,96	0,97
E1_60_PRFV	88,93	1132,02	57,38	11,60	1,69
E1_60_PRFC	160,59	2044,73	146,72	34,19	2,10
E2_20_PRFV	90,81	1156,15	56,03	27,07	1,46
E2_40_PRFV	86,41	1100,27	56,41	83,62	1,30
E2_60_PRFV	87,51	1114,23	57,11	14,38	0,21
E2_60_PRFC	142,45	1813,76	148,2	122,32	1,82

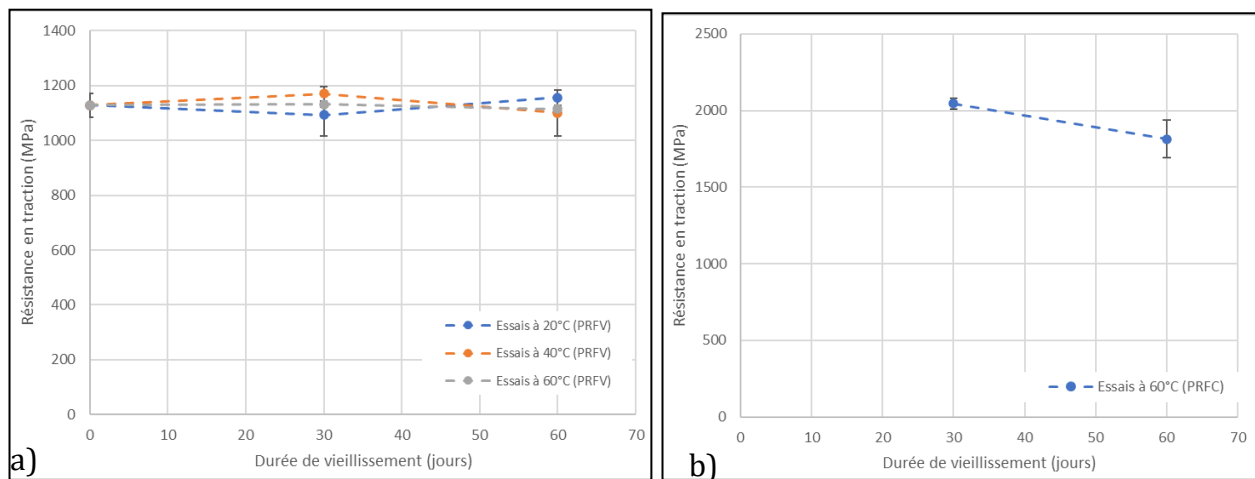


Figure 9 : Evolution de la résistance en traction pour le protocole de vieillissement sans charge pour les armatures a) PRFV et b) PRFC

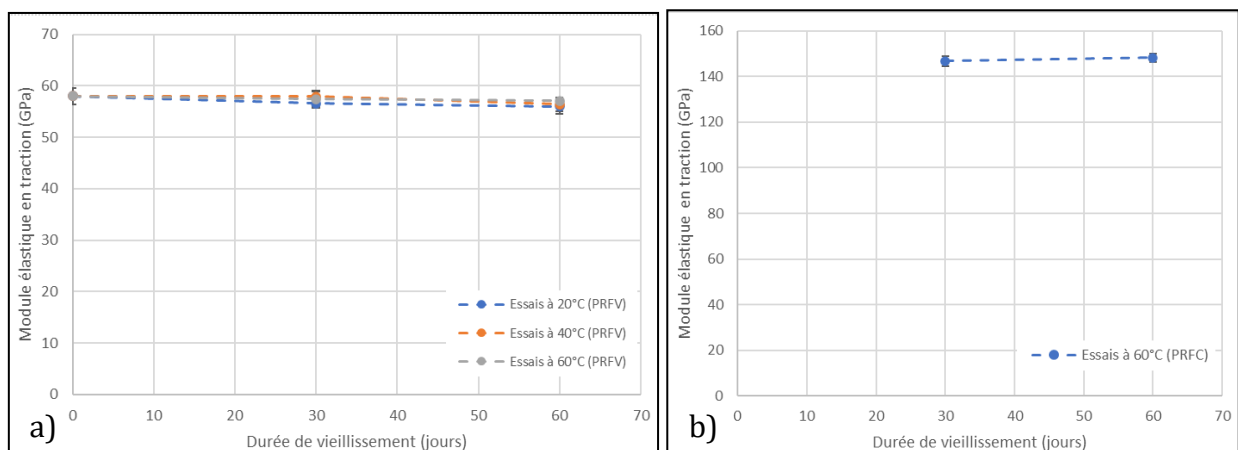


Figure 10 : Evolution du module élastique pour le protocole de vieillissement sans charge pour les armatures a) PRFV et b) PRFC

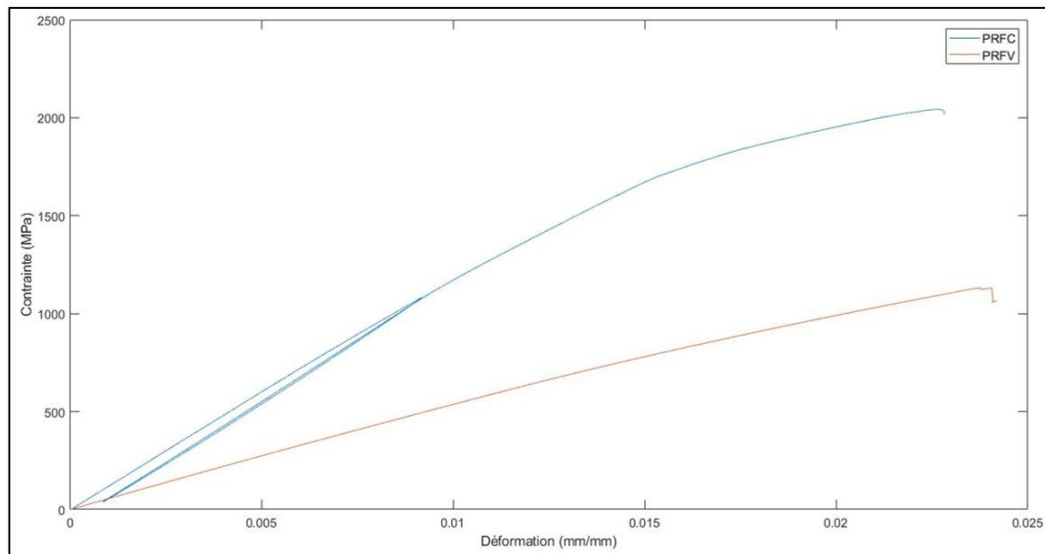


Figure 11 : Courbe contrainte/déformation pour les deux échantillon (PRFV et PRFC) à la première échéance (30 jours) à 60°C

## 4.2 Comportement sous cisaillement inter-laminaire

Les différents modes de rupture obtenus à l'issue des essais de flexion 3 point (short beam test) sont illustrés sur la figure 12. Comme pour les essais de traction, pour chaque configuration de vieillissement et pour chaque échéance, trois essais ont été réalisés afin d'évaluer la dispersion des résultats. De plus, les écart-types ont été calculés par la technique de la « population totale » soit 1/n conformément aux recommandations du guide AFGC [2].



Figure 12 : Modes de rupture des armatures a) PRFV et b) PRFC après un essai de cisaillement inter-laminaire

Les essais de référence en résistance en cisaillement inter-laminaire ainsi que ceux de la première échéance (30 jours) sont répertoriées dans le tableau 3. Les deux courbes de la figure 13 représentent l'évolution des résistances au cisaillement inter-laminaire des éprouvettes en PRFV et PRFC. A partir de ces premiers résultats, il semble qu'à courte échéance, l'interface entre les fibres et la matrice ne soit pas affectée par les conditions de vieillissement.

Tableau 3 : Résultats des essais de cisaillement inter-laminaire

Nom éprouvette	Force max (kN)	Contrainte max (MPa)	Ecart-type contrainte (MPa)
Référence_PRFC	3,99	33,86	1,88
Référence_PRFV	5,38	45,65	2,96
E1_20_PRFV	5,40	45,88	2,09
E1_40_PRFV	5,87	49,87	3,46
E1_60_PRFV	5,55	47,09	1,09
E1_60_PRFC	3,43	29,10	1,83

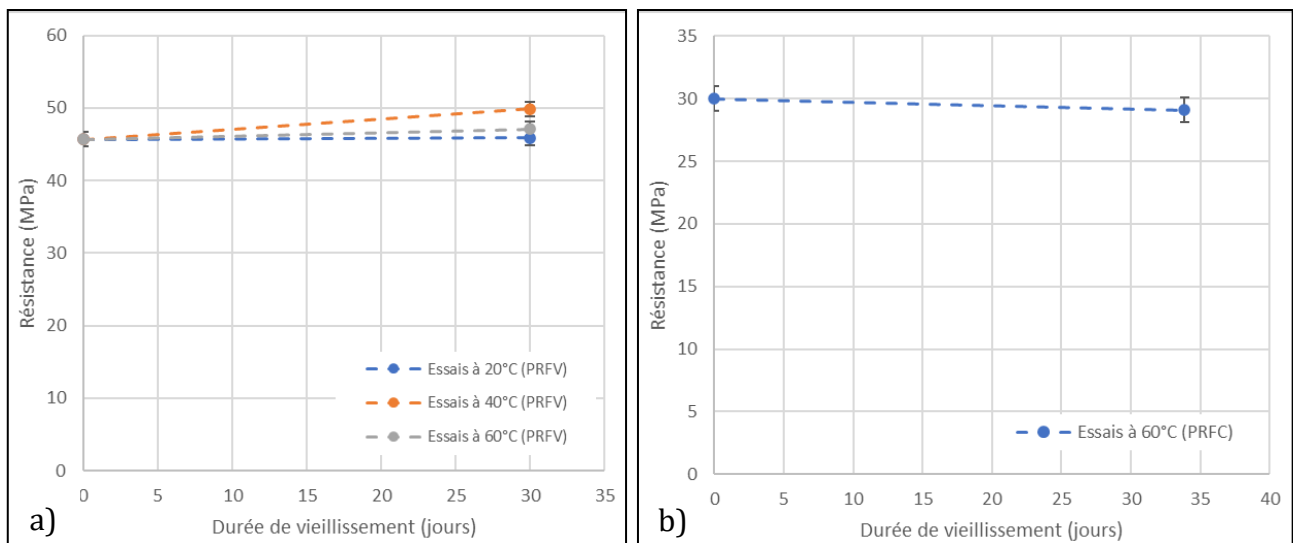


Figure 13 : Évolution de la résistance en cisaillement inter-laminaire des armatures a) PRFV et b) PRFC

## 5 Conclusion

Le programme expérimental mis en place dans le cadre de cette étude a pour but d'étudier la durabilité des armatures composites (PRFV et PRFC) au travers de l'évolution de leurs propriétés physico-chimiques et mécaniques. Pour cette étude, un programme de vieillissement, basé sur le concept des matrices de Hoke, a été établi dans le but d'optimiser l'utilisation des moyens expérimentaux disponibles et ainsi limiter la durée des investigations, tout en permettant de disposer d'une quantité suffisante de résultats pour permettre leur exploitation.

Les essais de caractérisation mécanique aux premières échéances (1 et 2 mois) ont mis en évidence que les conditions de vieillissement n'affectent pas la résistance ni le comportement élastique des armatures composites PRFV mais tendent à dégrader la résistance en traction des armatures PRFC (vieillissement sans charge).

## Références

- [1] P. Souchu, La corrosion des armatures danger majeur pour la durabilité des ouvrages en béton armé <http://doc.lerm.fr/> (2009)
- [2] Groupe de travail : Utilisation d'armatures composites (à fibres longues et à matrice organique) pour le béton armé, 253, 2021.
- [3] E.A. Byars, P. Waldron, V. Dejke, S. Demis, S. Heddadin, Durability of FRP in concrete – deterioration mechanisms, *Int. J. of Materials and Product Technology*, Vo.19, 1-2, 2019.
- [4] R.J. Gravina, J. Li, S.T. Smith, P. Visintin, Durability of FRP bar-to concrete: a critical review, *Journal of Composites for Construction*, In Press
- [5] ASTM D7205/D7205M-06 (2006). Standard test method for tensile properties of fiber reinforced polymer matrix composite bars. American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA, USA.
- [6] ACI 440.3R-04 (2004). Guide test methods for fiber-reinforced polymers (FRPs) for reinforcing or strengthening concrete structures. American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, MI, USA.
- [7] ASTM D4475-02 (2002). Standard test method for apparent horizontal shear strength of pultruded reinforced plastic rods by the short-beam method. American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA, USA.
- [8] A. Rolland, K. Benzarti, M. Quiertant, P. Argoul, A. Khadour, S. Chataigner. Caractérisation d'armatures en matériaux composites pour le renforcement de structures et comportement mécanique de l'interface armature/béton. *BOA du LCPC*, 71, 2015.
- [9] M. Robert, P. Cousin, B. Benmokrane, Durability of GFRP reinforcing bars embedded in moist concrete, *Journal of composites for construction*, 2009.