

# COMPORTEMENT AU FLUAGE DE POUTRES RENFORCÉES DE BARRES COMPOSITES TYPE PRFV (GFRP)

**Abdelmonem MASMOUDI<sup>1</sup>, Mongi BENOUEZDOU<sup>2</sup>, André WEBER<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Docteur agrégé en génie civil, Université de Tunis El Manar - Laboratoire LGC, Département de génie civil, École Nationale d'ingénieurs de Tunis (ENIT), BP 37, 1002 Tunis-Belvédère, Tunisie. abdelmonem.masoudi@gmail.com

<sup>2</sup> Professeur, Université de Tunis El Manar - Laboratoire LGC, Département de génie civil, École Nationale d'ingénieurs de Tunis (ENIT), BP 37, 1002 Tunis-Belvédère, Tunisie. mongi.benouezdou@gmail.com

<sup>3</sup> Directeur de recherche, Centre de recherche de la compagnie Baden (CRCB) Bauteile GmbH - Allemagne andre.weber@schock.de

## CONTEXTE INDUSTRIEL DE LA RECHERCHE

Cette recherche a pour objet de démontrer que les barres en composite de type PRFV présentent un bon comportement face au fluage. Elle s'articule autour d'un programme de collaboration entre le laboratoire de Génie Civil (LGC) de l'École Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT) et le Centre de Recherche de la Compagnie Baden en Allemagne (CRCB). Elle devrait contribuer au développement de l'utilisation de ce genre de renfort du fait de la bonne durabilité des structures ainsi renforcées. Le lecteur trouvera ainsi une comparaison du comportement au fluage des poutres renforcées soit par des barres en composite, soit en acier.

L'article suivant donne plus de précisions sur le contexte général des recherches et leur positionnement.

## 1. INTRODUCTION

Lorsque les ingénieurs envisagent de renforcer des structures avec des barres d'armatures en composite de type Polymères Renforcés de Fibre de Verre (PRFV), les différences de propriétés physiques et les caractéristiques intrinsèques doivent être prise en compte. Le facteur le plus important pour le concepteur est le fait que les structures en PRF présentent un comportement élastique linéaire jusqu'à la rupture sans aucune ductilité.

La conception traditionnelle des structures en béton renforcées avec des barres d'acier a été spécifiée de telle sorte que l'acier soit l'élément faible de la structure. La ductilité de l'acier est alors un indicateur d'une éventuelle rupture de la structure. Pour palier au manque d'élasticité et au problème de la rupture fragile des barres PRFV, la rupture du béton doit être prise comme indicateur, et pas le renfort. Les directives de conception émises par l'ACI recommandent un minimum de taux de renforcement des barres d'armature en PRFV plutôt que de spécifier une valeur maximale [1]. Les résultats d'une étude récente ont proposé un nouveau paramètre de renforcement de 2% [2-3]. En raison de son faible module d'élasticité, la déformation et le type de rupture auront donc une incidence sur la conception. C'est ainsi que dans de nombreux cas, la flèche et l'ouverture des fissures contrôlent le dimensionnement [4-6]. La sélection et le traitement appropriés des résines peuvent résoudre une partie du problème. Les lecteurs sont renvoyés pour cela à diverses études pour plus d'explications [7-8].

Il a ainsi été établi que les fibres d'aramide et de verre ont un niveau plus élevé de sensibilité au fluage et moins élevé à la rupture que les fibres de carbone [9].

Une étude du comportement à long terme du fluage du vinyle et des polyesters a été réalisée [10]. Cette étude s'articule autour d'essais de fluage en flexion à température ambiante. Des poutres en béton soumis à un chargement répété ont montré une augmentation de déformation. En outre cette augmentation pourrait signaler une amorce de rupture. [11-12]. Toutefois, les barres en PRFV montrent une résistance à la compression relativement plus faible que celle de traction [13-15].

Les objectifs de cette étude sont de démontrer à partir d'une application numérique et d'une histoire de chargement de six poutres expérimentales que, dans le cas d'une phase de décharge très courte, qui n'aurait du avoir qu'une faible influence, cela conduit à une surestimation des déformations de fluage (effet que nous n'aurions pas avec la méthode du temps équivalent).

Cette exploration devrait guider l'ingénieur Génie Civil pour une meilleure approche du phénomène de fluage des structures en béton armé renforcées avec des barres en composite PRFV.

## 2. PROGRAMME EXPERIMENTAL

### 2.1. Conception des poutres et du système de chargement

La figure 1 schématisé le système de chargement de poutres en flexion que nous mettons en œuvre. C'est un

système de chargement statique permanent de poutres en flexion quatre points. Nous avons choisi la flexion quatre points pour pouvoir étudier la flexion pure (indépendamment de l'effet de l'effort tranchant).

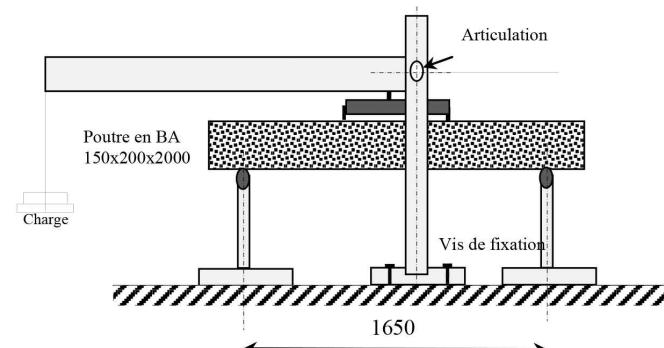


Figure 1 : Système de chargement de poutres en flexion

### 2.2. Béton

Le béton qui a servi pour le coulage des poutres d'essais est composé par un ciment Portland du type CEM I 42.5, avec des granulats de diamètre maximal 20 mm. Les caractéristiques du béton composé sont présentées dans le tableau 1.

### 2.3. Les armatures

#### Barres d'acier TUNISID

Nous avons utilisée des barres d'acier HA12 et HA8. Les barres en acier TUNISID 42 utilisées dans cette étude, sont fabriquées par l'usine sidérurgique El Fouledh à Menzel Bourguiba (Bizerte). Les barres ont une nuance FeE 420 MPa et un module d'élasticité  $E_s = 210\ 000\text{ MPa}$ . La déformation à la limite élastique est voisine de 0,2%. L'acier TUNISID est un acier au manganèse, à haute limite élastique, élaboré à l'oxygène pur et calmé au silicium et à l'aluminium. Cet acier ne subit aucun écrouissage à froid ou lors de la torsion lors du laminage à chaud (naturellement dur).

#### Barres PRFV Combar®

Les barres en PRFV Ø8 et Ø12 utilisées dans la présente étude sont fournies par la compagnie Schok Combar®. (Figure 2). Le module d'élasticité des barres en PRFV type Combar est de  $60\ 000\text{ N/mm}^2$  (MPa). Quant à la résistance à la traction, elle excède  $1000\text{ N/mm}^2$  (MPa) pour toutes les barres, quel que soit leur diamètre. La figure 3 repré-

Eau ( $\text{kg/m}^3$ )	Ciment ( $\text{kg/m}^3$ )	Sable ( $\text{kg/m}^3$ )	Gravier 4/12 ( $\text{kg/m}^3$ )	Gravier 12/20 ( $\text{kg/m}^3$ )	Résistance à la compression (MPa)	Affaissement (mm)
204	300	857	296	691	30±3	90± 2

Tableau 1 : Composition et caractéristiques du béton utilisé

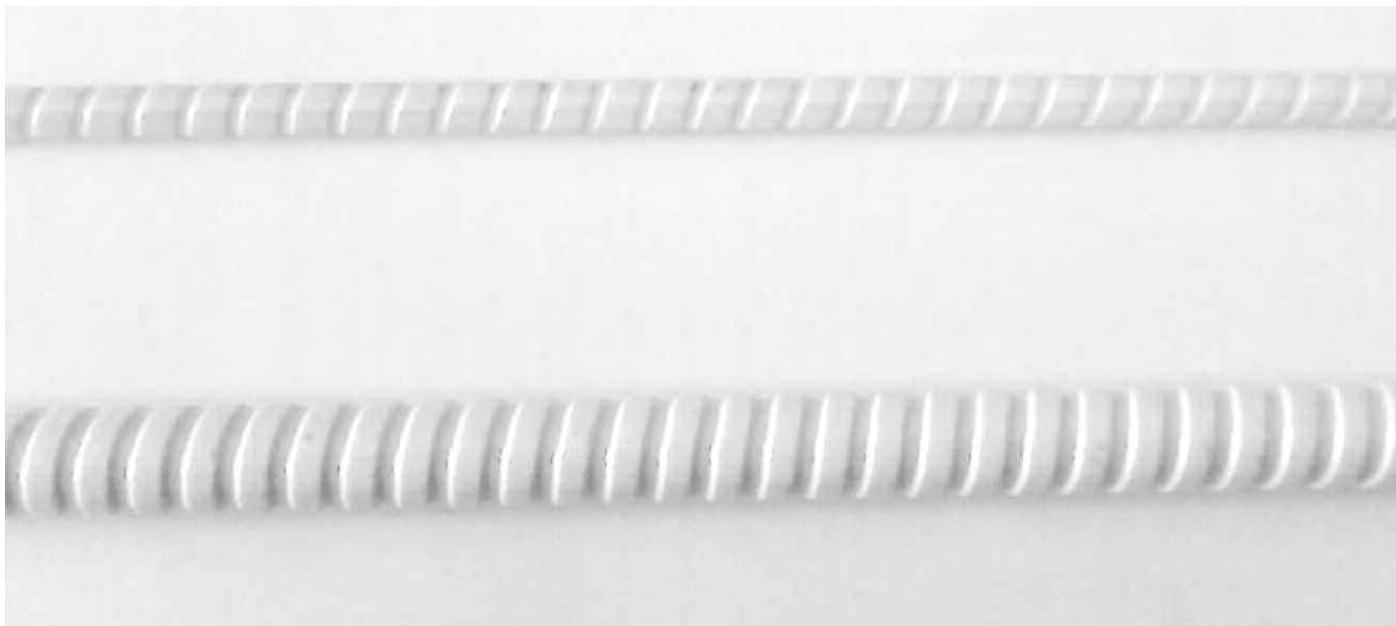


Figure 2 : Barres en PRFV de diamètre 8 et 12 mm.

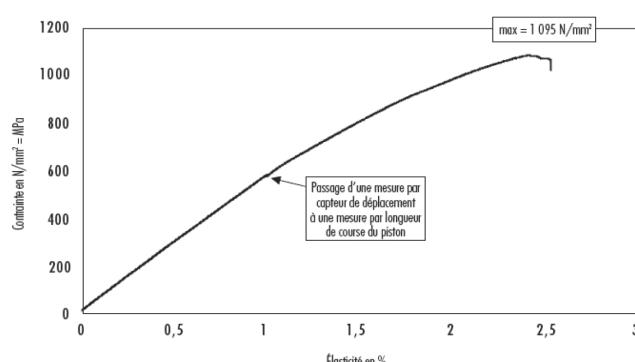


Figure 3 : Courbe contrainte/déformation d'une barre en PRFV. Schokc.[16-17]

sente les résultats de l'essai de traction d'une barre de 12 mm.

## 2.4. Coffrage, ferraillage et coulage des poutres

La mise en place des armatures en acier et en PRFV dans les coffrages est réalisée en respectant le schéma le ferraillage. (Figure 4). Le coulage de béton se fait par couches successives en assurant la répartition sur toute la longueur de la poutre.



Figure 4 : Coffrage et mise en place des armatures en acier et en PRFV



## 2.5. Support des comparateurs de mesures

Pour les mesures des flèches, nous avons fabriqué des supports spécialement pour les six poutres et nous avons mis en place des comparateurs au 1/100 qui permet de prendre des mesures en continu. Ces comparateurs sont placés au niveau de la fibre inférieure la plus tendue.(Figure 5).

## 3. RÉSULTATS DES MESURES CHARGE/FLÈCHE

### 3.1. Proportionnalité charge/flèche

Nous avons pris une série de mesure des flèches pour l'ensemble des six poutres renforcées par des armatures en acier et en PRFV, ceci dans le but de vérifier en premier

lieu la linéarité charge /flèche. Ce chargement correspond à un domaine de non dépassement de la flèche limite fixée par les règlements (L/500).

Les valeurs de ces mesures sont récapitulées dans le tableau 1 et les points de mesure sont présentés figure 6. Nous remarquons que pour des faibles valeurs de chargement la variation de la flèche est proportionnelle à la variation de la charge appliquée sur la poutre. Par comparaison avec les barres en acier, les barres en PRFV ont un plus faible module d'élasticité, ce qui aboutit à une plus grande flèche à charge et travées égales.

L'analyse de ces résultats montre que les deux poutres travaillent dans la phase linéaire et n'ont pas encore atteint la phase plastique (Figure 6).

### 3.2. Variation de la flèche dans le temps

Nous avons maintenu les poutres sous des charges constantes et avons pris des mesures pendant 400 jours. La



Figure 5 : Mise en place des comparateurs

Charge (daN)	Flèche (mm)						Rapport flèche	
	Poutres en PRFV			Poutres en acier				
	GFRP 1	GFRP 2	GFRP 3	Steel 1	Steel 2	Steel 3		
20	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.16	
40	0.07	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	1.14	
60	0.10	0.06	0.08	0.08	0.07	0.07	1.09	
80	0.13	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	1.10	
100	0.15	0.11	0.13	0.12	0.11	0.13	1.08	
120	0.18	0.13	0.15	0.16	0.13	0.15	1.04	
140	0.21	0.15	0.18	0.19	0.14	0.19	1.03	
160	0.22	0.17	0.20	0.22	0.15	0.21	1.01	
180	0.25	0.18	0.23	0.24	0.17	0.23	1.03	
200	0.28	0.19	0.25	0.26	0.18	0.25	1.04	
400	0.59	0.41	0.53	0.5	0.40	0.49	1.10	
600	1	0.79	0.98	0.75	0.68	0.73	1.28	
800	1.6	1.38	1.54	1.08	1.01	1.06	1.43	
1000	2.36	2.11	2.29	1.5	1.43	1.47	1.53	
1200	-	-	-	2.1	2.01	2.07	-	

Tableau 2 : Variation de la flèche en fonction de la charge

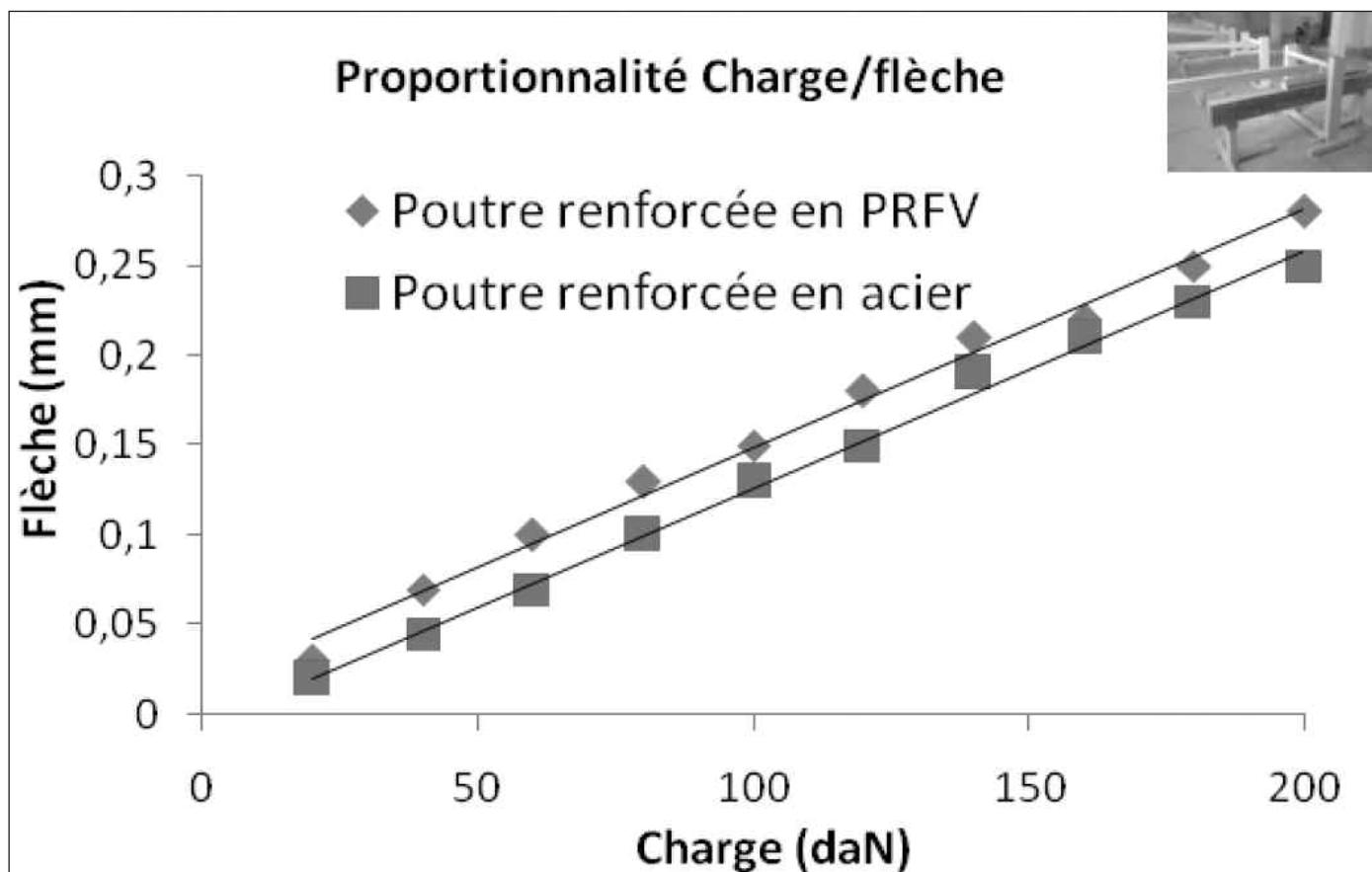


Figure 6 : Proportionnalité Charge/flèche

variation du fluage mesurée pendant cette période de temps est représentée figure 7.

Nous pouvons remarquer que durant 400 jours, la flèche des poutres en acier et en PRFV augmente légèrement et a tendance à se stabiliser dans le temps. Les poutres en PRFV sont moins marquées par le phénomène de fluage étant donné que sous un chargement constant elles présentent une variation de flèche moins marquée.

## 4. ÉTUDE ANALYTIQUE

### 4.1. Fluage sous contraintes constantes

Les règles BPEL donnent des formules permettant d'évaluer selon le cas, la valeur probable de la déformation de fluage. Le fluage à un instant  $t$  d'un béton soumis à l'âge  $j = t_1$  jours sous une contrainte constante  $\sigma_j$  est donné par la relation suivante :  $\varepsilon_{jl}(t) = \varepsilon_{icl} \times K_{jl}(t_1) \times f(t - t_1)$

$\varepsilon_{icl}$  : Déformation conventionnelle instantanée sous l'effet de  $\sigma_{bl}$  ( $\varepsilon_{icl} = \sigma_{bl} / E_{i28}$ ) avec  $E_{i28}$  le module instantané du béton à 28 jours.

$K_{jl}(t_1)$ : Coefficient du fluage qui dépend de l'âge  $t_1$  du béton à la mise en charge. Il est déterminé à partir de l'expression suivante :  $K_{jl}(t_1) = K_s \cdot (K_e + K_c \cdot K(t_1))$

$K_s = \frac{1}{1 + 20\rho_s}$  avec  $\rho_s$  le pourcentage des armatures adhérentes

$\rho_s = \frac{As}{B}$ , rapport de la section des armatures

passives longitudinales à la section transversale de la pièce  $K_e$  : représente la limite inférieure du coefficient du fluage du béton non armé lorsqu'il est chargé très vieux ; il est pris égal à 0.4 ;

$K_c$  : dépend des conditions ambiantes et du rayon moyen de la pièce :

$$K_c = \frac{120 - \rho_h}{30} + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{100 - \rho_h}{20 + r_m} \right)$$

avec  $\rho_h$  : l'hygrométrie ambiante exprimé en pourcentage d'humidité relative et  $r_m$  : le rayon moyen de la pièce exprimé en centimètre.

$K(t_1)$  : dépend du durcissement du béton à l'âge de mise en charge, il est donné par :  $K(t_1) = \frac{100}{100 + t_1}$  avec  $t_1$  : âge du

béton exprimé en jours compté à partir du jour de fabrication.

$f(t - t_1)$  : est la loi d'évolution du fluage donnée par l'expression

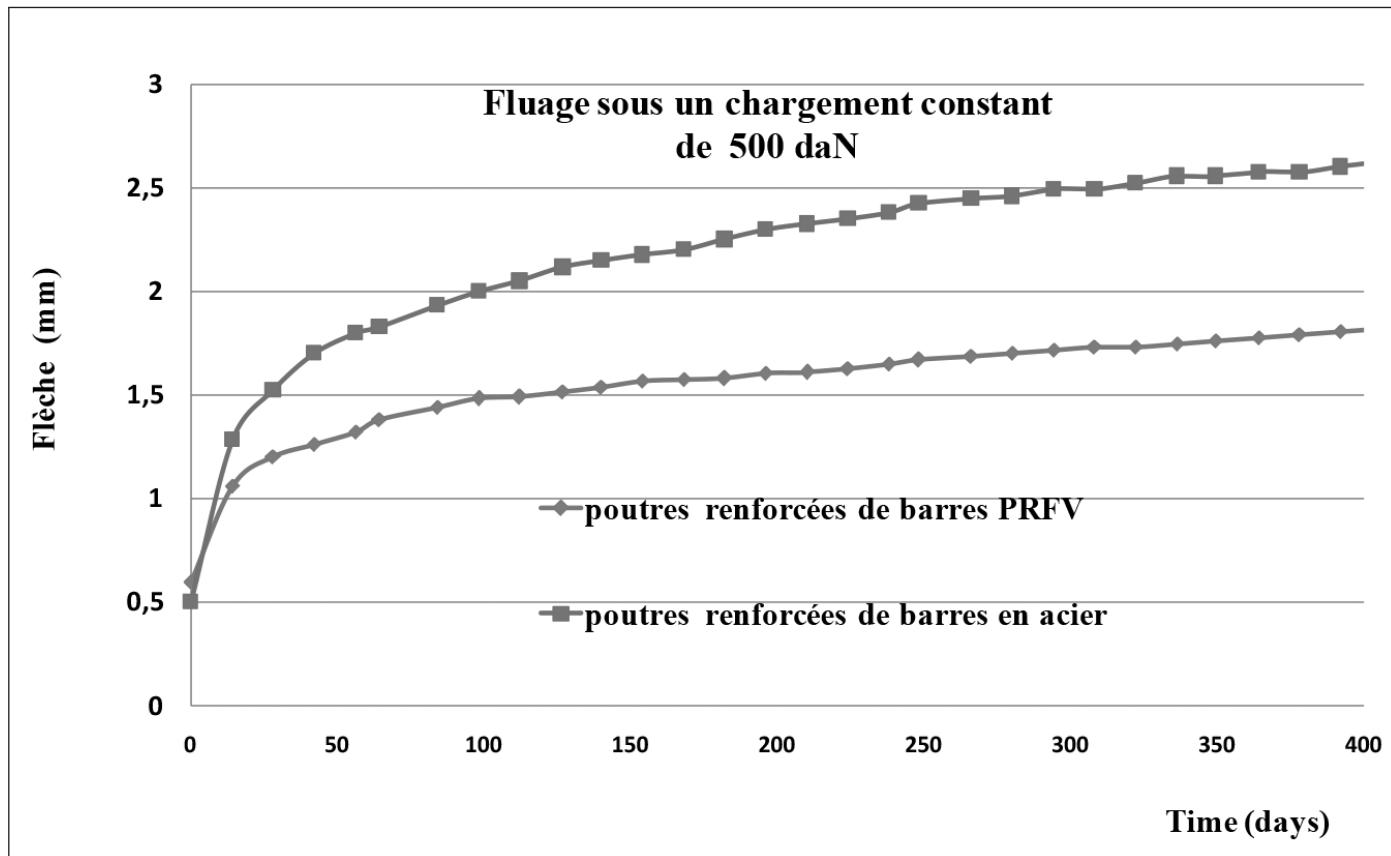


Figure 7 : Variation de la flèche dans le temps (400 jours)

$$f(t - t_1) = \frac{\sqrt{t - t_1}}{\sqrt{t - t_1} + 5\sqrt{r_m}}$$

:  $(t - t_1)$  : durée d'application du chargement en jours.

Le terme  $\varepsilon_{ic}$  n'a été que trop souvent vu comme une déformation instantanée, en fait ce terme regroupe les deux points suivants :

Le fluage est proportionnel à la contrainte appliquée (fluage linéaire)

Le fluage est inversement proportionnel au module du béton (plus le béton est raide, moins il flue).

#### 4.2. Succession d'accroissement de contrainte

Dans le cas d'une succession d'accroissements de contrainte, le règlement français propose deux façons pour calculer la déformation de fluage :

- Le principe de superposition
- La méthode du temps équivalent

Nous proposons dans cette partie d'étudier ces deux façons à partir d'un cas de chargement simple en 2 paliers représenté sur la figure suivante (figure 8).

#### 4.3. Principe de superposition

Nous allons élaborer dans ce qui suit, l'expression de la déformation de fluage dans le cas particulier des 2 paliers,

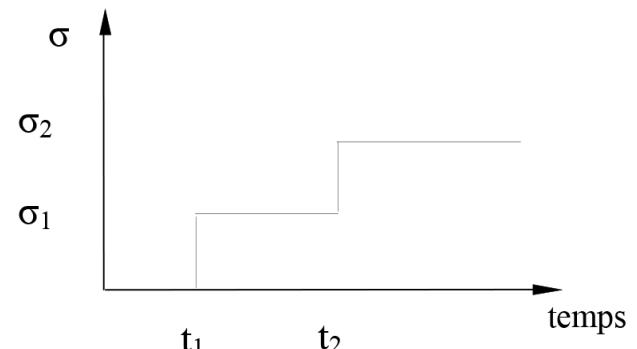


Figure 8 : Chargement simple en 2 paliers

puis dans le cas général d'un raccourcissement de contrainte noté  $\Delta\sigma_i$  avec  $i$  variant de 1 à  $n$ .

Le principe de superposition découle que la réponse en déformation s'obtient par superposition des effets de chaque variation de contrainte

En termes de déformation différée nous aurons :

$$\varepsilon_{f(t)} = \frac{\sigma_1}{E} \cdot K_{f1}(t_1) \cdot f(t - t_1) + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \cdot K_{f2}(t_2) \cdot f(t - t_2)$$

En généralisant au cas de  $n$  accroissements de contraintes, la déformation du fluage s'écrit

$$\varepsilon_{f(t)} = \sum_{j=1}^n \Delta\sigma_j \cdot K_{fj}(t_j) \cdot f(t - t_j)$$

Calculons la déformation différée du béton au bout de 300 jours puis 3000 jours pour n=2

$t_1$ (jours)	$t_2$ (jours)	$\sigma_1$ (MPa)	$\sigma_2$ (MPa)	Ei 28 (MPa)	$\rho_h$	$r_m$	$\rho_s$
8	28	8	16	32000	70	36	0.02

$$K_{fl} = K_s \cdot (0,4 + K_c \cdot K(t_j))$$

$$K_s = \frac{1}{1 + 20\rho_s} = 0,7143$$

$$K_c = \frac{120 - \rho_h}{30} + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{100 - \rho_h}{20 + r_m} \right) = 2,024$$

$$K(t_0) = \frac{100}{100 + t_j}$$

$$K_{fl}(8) = 1,624$$

$$K_{fl}(28) = 1,415$$

$$\varepsilon_{fl(t)} = \frac{\sigma_0}{E} \cdot K_{fl}(t_1) \cdot \frac{\sqrt{t-t_0}}{\sqrt{t-t_1} + 5\sqrt{r_m}} + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \cdot K_{fl}(t_1) \cdot \frac{\sqrt{t-t_1}}{\sqrt{t-t_1} + 5\sqrt{r_m}}$$

$$\varepsilon_{fl(t)} = \frac{8}{32000} \cdot K_{fl}(8) \cdot \frac{\sqrt{t-8}}{30 + \sqrt{t-8}} + \frac{16-8}{32000} \cdot K_{fl}(28) \cdot \frac{\sqrt{t-28}}{30 + \sqrt{t-28}}$$

$$t = 300 \text{ j} \quad \varepsilon_{fl(300)} = 272,8 \mu\text{m/m}$$

$$t = 3000 \text{ j} \quad \varepsilon_{fl(3000)} = 1,624 \mu\text{m/m}$$

#### 4.4. Temps équivalent

Cette méthode permet de se ramener pour l'évaluation du fluage, entre deux chargements successifs, au cas d'un chargement unique. Le temps équivalent correspond alors au temps fictif au bout duquel un essai de fluage réalisé sous une contrainte constante égale à la contrainte actuelle atteint la déformation actuelle.

Le temps équivalent est alors donné par l'équation :

$$\varepsilon_{fl(t_2)} = \frac{\sigma_1}{E} \cdot K_{fl}(t_1) \cdot f(t_2 - t_1) = \frac{\sigma_2}{E} \cdot K_{fl}(t_2 - t_{eq}) \cdot f(t_{eq})$$

La déformation de fluage, pour  $t > t_2$  :

$$\varepsilon_{fl(t)} = \frac{\sigma_2}{E} \cdot K_{fl}(t_2 - t_{eq}) \cdot f(t - t_2 + t_{eq})$$

Nous allons déduire les équations dans le cas général de n accroissement de contraintes notés  $\Delta\sigma_i$  avec i variant de 1 à n et pour t compris dans l'intervalle de temps  $[t_i, t_{i+1}]$

$$t \in [t_i, t_{i+1}] \quad \varepsilon_{fl(t)} = \frac{\sigma_i}{E} \cdot K_{fl}(t_i - t_{eq_i}) \cdot f(t - t_i + t_{eq_i})$$

$$\text{avec} \quad \varepsilon_{fl(i)} = \frac{\sigma_i}{E} \cdot K_{fl}(t_i - t_{eq_i}) \cdot f(t_{eq_i})$$

La déformation de fluage au bout de 300 jours puis 3000 jours.

$$\varepsilon_{fl(28)} = \frac{8}{32000} \cdot K_{fl}(8) \cdot f(28 - 8) \quad \varepsilon_{fl(28)} = \frac{8}{32000} \cdot K_{fl}(28 - t_{eq}) \cdot f(t_{eq})$$

Par itération nous obtenons :  
 $28 - t_{eq} = 22$ ,  $t_{eq} = 5,4$  jours

$t = 300$  jours

$$\varepsilon_{fl(300)} = \frac{16}{32000} \cdot K_{fl}(28 - 5,4) \cdot f(300 - 28 + 5,4) = 261,6 \mu\text{m/m}$$

$t = 3000$  jours

$$\varepsilon_{fl(3000)} = \frac{16}{32000} \cdot K_{fl}(28 - 5,4) \cdot f(3000 - 28 + 5,4) = 473 \mu\text{m/m}$$

#### 4.5. Le retour de fluage

On considère le cas où l'on applique d'abord une contrainte  $\sigma_1$  à  $t_1$  puis une décharge  $\Delta\sigma_2$  à  $t_2$  (Figure 9)

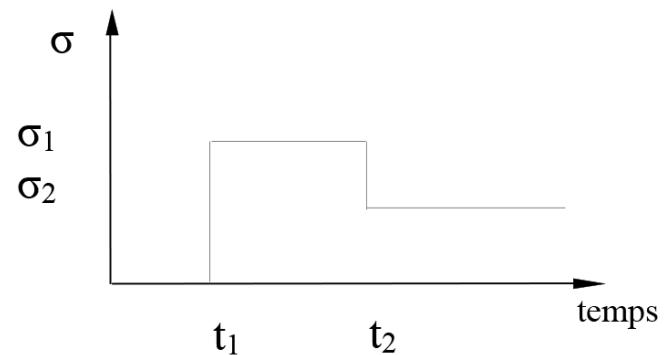


Figure 9 : Histoire de chargement avec retour de fluage

La déformation différée au bout d'un temps t supérieur à  $t_2$  est la somme de :

La déformation de fluage au temps t due à  $\sigma_2$

La déformation de fluage au temps  $t_2$  due à l'application de  $(\sigma_1 - \sigma_2)$  pendant l'intervalle  $[t_1 ; t_2]$   
 et la déformation de retour de fluage évaluée au moyen de l'expression

$$\varepsilon_{r1}(t) = \frac{-\Delta\varepsilon_{ic2} \times K_{fl}(t_2) \times f(t_2 - t_1)}{K_r(t_2 - t_1) \times g(t - t_2)}$$

avec

$$K_r(t_2 - t_1) = 4 \cdot [\log(t_2 - t_1)]^{0.5} \quad \text{si } t_2 - t_1 > 2 \text{ jours}$$

$$K_r(t_2 - t_1) = 1 + 0.6(t_2 - t_1) \quad \text{si } t_2 - t_1 \leq 2 \text{ jours}$$

$$g(t - t_2) = 1 - \frac{1}{[1 + (t - t_2)]^{0.5}}$$

$$\varepsilon_{fl} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} \cdot K_{fl}(t_1) \cdot f(t - t_1) = 147,3$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{E} \cdot K_{fl}(t_1) \cdot f(t_2 - t_1) = 52,7$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} \cdot K_{f_l}(t_1) \left[ \frac{f(t_2 - t_1)}{K_r(t_2 - t_1)} \right] \cdot g(t - t_2) = -9,5$$

$$\varepsilon_g(300) = 190,5 \mu\text{m/m}$$

Avec l'application du principe de superposition :

$$\varepsilon_1 = \frac{16}{32000} \cdot K_{f_l}(8) \cdot \frac{\sqrt{300-8}}{30 + \sqrt{300-8}} = 294,7 \mu\text{m/m}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{-8}{32000} \cdot K_{f_l}(28) \cdot \frac{\sqrt{300-8}}{30 + \sqrt{300-8}} = -125,5 \mu\text{m/m}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 169,2 \mu\text{m/m}$$

Nous constatons, ce qui était prévisible, que le principe de superposition conduit dans notre cas à une déformation finale beaucoup plus faible (ce qui correspond à un retour plus fort). Les formules réglementaires donnent une déformation de retour de fluage plus faible afin de prendre en compte cet aspect.

## 5. CONCLUSION

A partir de l'étude expérimentale et analytique, nous pouvons dégager les conclusions suivantes :

Les poutres en PRFV sont globalement moins marquées par le phénomène de fluage.

Dans le cas de chargement réel, le calcul par la méthode de superposition implique de garder en mémoire tous les incrément de charges. C'est donc un calcul couteux en temps et en mémoire. L'intérêt de la méthode du temps équivalent est d'éviter ces inconvénients puisque l'on n'a besoin que de l'état actuel de contrainte et de déformation. Dans le cas d'une phase de décharge très courte, qui n'aurait du avoir qu'une faible influence, cela conduit à une surestimation des déformations de fluage (effet que nous n'aurions pas avec la méthode du temps équivalent).

En faisant succéder des cycles de charge-décharge très courts, l'application du BPEL conduit à des déformations grossièrement surestimées.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Sonobe Y., Fukuyama H., Okamoto T., Kani N., Kimura K., Kobayashi K., Masuda Y., Matsuzaki Y., Mochizuki S., Nagasaka T., Shimizu A., Tanano H., Tanigaki M., and Teshigawara M., *Design Guidelines for GFRP Reinforced Concrete*, J of Compos for Const, ASCE, 1997, 1(3): 90-115.
- [2] Masmoudi A; Bouaziz J; Ben Ouezdou M ; Weber A "Des poutres en béton renforcées par des barres composites c'est possible et ça existe ". Annales du bâtiment et des travaux publics - ORGAGEC – Les matériaux organiques au service de la rénovation du patrimoine BATI (2<sup>e</sup> PARTIE), Vol. Mars 2012, n° 1-2, pp 65-70, 2012
- [3] Masmoudi A, Ben Ouezdou M. Bouaziz J.(2012) " New parameter Design of RC beams with GFRP bars" Constr Build Mater, Volume 29, Pages 627-632
- [4] ACI Committee 440-R-06, State of the Art report on fiber reinforced plastic reinforced for concrete structures. American Concrete Institute, Farmington Hills.Mich, USA, 1996.
- [5] ACI Committee 4401R-06, "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute, Farmington Hills. Branson, McGraw-Hill, New York, 1977, USA
- [6] Liao, K., Schultheisz, C. R., Hunston, D. L., and Brinson, L. C.(1998). "Long-term durability of fiber-reinforced polymer-matrix composite materials for infrastructure applications: A review." J. Adv. Mater.,30-4\_, 3-40.
- [7] Scott, D. W., Lai, J. S., and Zureick, A. H. \_1995\_. "Creep behavior of fiber reinforced polymeric composites: A review of technical literature." J. Reinf. Plast. Compos., 14, 587-617
- [8] Karbhari, VM Chin, D Huston,D Benmokrane, T Justa,R Morgan,J Lesko,J Sorathia and Reynaud D (2003) "Durability Gap analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure" Building and Fire Reasearch laboratory. Reprinted from Journal of Composites for construction, 7(3), 238-247
- [9] Bradley, S. W., Puckett, P. M., Bradley, W. L., and Sue, H. J. (1998). "Viscoelastic creep characteristics of neat thermosets and thermosets reinforced with E-glass." J. Compos. Technol. Res., 20\_1\_, 51-60
- [10] Nawy, E. *Fiber glass reinforced concrete slabs and beams*. ASCE journal of the structural division, 1997, 103:421-428
- [11] Faza SS, GangaRao HVS. *Theoretical and experimental correlation of behavior of concrete beams reinforced with fiber reinforced plastic rebars*. In: Nanni A, Dolan CW, editors. Proceeding of international symposium SP 138. USA: American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.; 1993. p. 599–614
- [12] Katz A, Berman N, Bank L (1998). Proceeding of the 1st Int. Conference on the *Durability of Composites for Construction* CDCC98, Sherbrooke, Canada, Benmokrane, B, Rahman (ed).p. 403-413.
- [13] ACI Committee 435, "Allowable Deflections", ACI Journal, Proceedings V. 65, No. 6,1968, pp. 433-444
- [14] Huck Elbridge A Jr Eite IAK (2003), "Preliminary Performance Observations for FRP Reinforced Concrete Bridge Deck," *Field Applications of FRP Reinforcement: Case Studies*,SP-215,S.Rizkalla and A.Nanni,eds.,Amer Conc Instit, FarmingtonHills, Mich, p.121-138.
- [15] Benmokrane B, Chaallal O, Masmoudi R. Flexural response of concrete beams reinforced with FRP Reinforceing bars. ACI Struct J 1996;93(1):46-55
- [16] Schock Bauteil GmbH Combar. *Design Guideline for Concrete Structures Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer following the Requirements of DIN 1045-1and EC2* Issued Germany. 2006.
- [17] Aboutaha R. Recommended Design for the GFRP Rebar Combar, Syracuse. University, Department of Civil and Environmental Engineering, Technical Report, Sponsored by Schock Bauteile GmbH, USA, 2004.