

---

# Validité de l'EC2 pour la modélisation du fluage des bétons de granulats recyclés

Pablo PEÑA TORRES<sup>1</sup>, Elhem GHORBEL<sup>2</sup>, George WARDEH<sup>3</sup>

Université de Cergy-Pontoise, L2MGC, 5 Mail Gay Lussac- Neuville sur Oise- 95031 Cergy Pontoise Cedex

<sup>1</sup> [pablo.pena-torres@etu.u-cergy.fr](mailto:pablo.pena-torres@etu.u-cergy.fr)

<sup>2</sup> [elhem.ghorbel@u-cergy.fr](mailto:elhem.ghorbel@u-cergy.fr)

<sup>3</sup> [george.wardeh@u-cergy.fr](mailto:george.wardeh@u-cergy.fr)

---

**RÉSUMÉ.** L'Eurocode 2 (EC2) propose un modèle empirique pour prédire le fluage total du béton. Les propriétés de fluage sont généralement déterminées en mesurant le coefficient de fluage, noté  $\varphi$ , en fonction du temps,  $t$ , et de l'âge du béton au moment du chargement,  $t_0$ . Ce coefficient est le produit d'un coefficient de fluage conventionnel,  $\varphi_0$ , par une fonction temporelle de type puissance. Le modèle dépend également du type de ciment, la taille de l'élément testé, l'humidité relative ainsi que de la résistance moyenne à la compression à l'âge de 28 jours.

Le principal objectif du présent travail est d'étudier la validité du modèle analytique de l'EC2 et de vérifier la possibilité de son extension pour estimer le fluage du béton des granulats recyclés. Pour atteindre cet objectif, une base de données constituée des résultats expérimentaux propres à cette étude ainsi que ceux disponibles dans les références bibliographiques a été développée. La comparaison entre les valeurs expérimentales en termes du coefficient de fluage conventionnel  $\varphi_0$  et de la puissance de la fonction du vieillissement,  $\alpha$ , montre une dispersion importante. La remédiation de cette dispersion nécessite l'introduction des termes correctifs qui tiennent compte explicitement de la qualité des granulats, du taux de chargement et du volume de pâte.

**ABSTRACT.** Eurocode 2 (EC2) proposes an empirical model to predict the total creep of concrete. The creep properties are generally determined by measuring the creep coefficient, noted  $\varphi$ , as a function of time,  $t$ , and the age of the concrete at the time of loading,  $t_0$ . This coefficient is the product of a conventional creep coefficient,  $\varphi_0$ , by a power-type time dependent function. The model also depends on the type of cement, the size of the tested element, the relative humidity as well as the average compressive strength at the age of 28 days.

The main objective of this work is to study the validity of the analytical model of EC2 and to check the possibility of its extension to estimate the creep of recycled aggregates concrete. To achieve this objective, a database of experimental results specific to this study as well as those available in bibliographic references has been developed. The comparison between the experimental values in terms of the conventional creep coefficient  $\varphi_0$  and the power of the aging function,  $\alpha$ , shows a significant dispersion. The remediation of this dispersion requires the introduction of correction terms which explicitly take into account the quality of aggregates, the loading rate and the paste volume.

**MOTS-CLÉS :** Béton, Granulats recyclés, Propriétés mécaniques, Fluage, EC2.

**KEY WORDS :** Concrete, Recycled aggregates, Mechanical properties, Creep, EC2.

---

## 1. Introduction

Le fluage est la faculté du béton à se déformer lorsqu'il est soumis à un chargement mécanique maintenu constant dans le temps. Suivant le mode de conservation du béton durant le chargement on définit deux types de fluage : fluage de dessiccation et fluage propre. Les propriétés de fluage sont influencées par plusieurs facteurs tels que l'âge du béton au moment de la mise en charge et l'intensité du chargement, la température et l'état hydrique ainsi que par les paramètres de formulation du béton. Les études relatives au comportement différé du béton incorporant des granulats recyclés montrent que le fluage est supérieur à celui du béton témoin formulé avec des granulats naturels [DOM09] [FAT11] [GUO17]. Cette augmentation est due essentiellement à l'effet du mortier attaché aux granulats qui se caractérise par une porosité élevée et un module d'élasticité très faible par rapport aux granulats naturels. Une étude intérieure menée par les auteurs [TOR18] a montré que les normes en vigueur ne sont pas adéquates pour le béton des granulats recyclés et nécessitent des modifications pour tenir compte de la présence des granulats recyclés.

## 2. Modélisation analytique du fluage

### 2.1. Modèle de l'Eurocode 2

Le modèle de fluage proposé par l'EC2 [EUR04] s'applique à tout élément en béton plein ou armé sous les conditions d'Etats Limites de Service. Il calcule les déformations de fluage total sans distinction entre fluage propre et fluage de dessiccation. Le modèle est purement phénoménologique et coefficient du fluage,  $\varphi(t, t_0)$ , se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \beta_c(t, t_0) \quad [1]$$

avec :

- $\varphi_0$  le coefficient de fluage conventionnel et peut être estimé par la relation 2.

$$\varphi_0 = \left[ 1 + \frac{1 - 0.01HR}{0.1 \sqrt[3]{h_0}} \alpha_1 \alpha_2 \right] \left[ \frac{16.8}{\sqrt{f_{cm}}} \right] \left[ \frac{1}{0.1 + t_0^{0.2}} \right] \quad [2]$$

- $h_0$  le rayon hydraulique de l'élément en mm
- $f_{cm}$  la résistance moyenne à la compression
- $\beta_c(t, t_0)$  coefficient qui rend compte du développement du fluage avec le temps après chargement, et peut être estimé par l'expression suivante :

$$\beta_c(t, t_0) = \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{-0.3} \quad [3]$$

où :

$t$  est l'âge du béton à l'instant considéré, en jours

$t_0$  est l'âge du béton au moment du chargement, en jours

$\beta_H$  est un coefficient dépendant de l'humidité relative ( $RH$  en %) et du rayon moyen de l'élément ( $h_0$  en mm). Il peut être estimé par :

$$\beta_H = 1.5 \left[ 1 + (0.012RH)^{18} \right] h_0 + 250 \alpha_3 \leq 1500 \alpha_3 \quad [4]$$

$\alpha_{1/2/3}$  coefficients qui tiennent compte de l'influence de la résistance à la compression :

$$\alpha_1 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.7} \quad \alpha_2 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{0.2} \quad \alpha_3 = \left[ \frac{35}{f_{cm}} \right]^{-0.5} \quad [5]$$

## 2.2. Modèle de fluage modifié

Le modèle de fluage modifié peut être exprimé par l'équation suivante :

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_{0,EXP} \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{\alpha_{EXP}} \quad [6]$$

En prenant le logarithme des deux côtés de l'équation 6 une expression sous la forme  $Y = A + BX$  est obtenue [PAN16] :

$$\ln[\varphi(t, t_0)] = \ln(\varphi_{0,EXP}) + \alpha_{EXP} \ln \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right] \quad [7]$$

Les paramètres  $A = \ln(\varphi_{0,EXP})$  et  $B = \alpha_{EXP}$  sont obtenus par régression linéaire des résultats expérimentaux dans l'espace  $X = \ln \left[ \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]$ ,  $Y = \ln[\varphi(t, t_0)]$ .

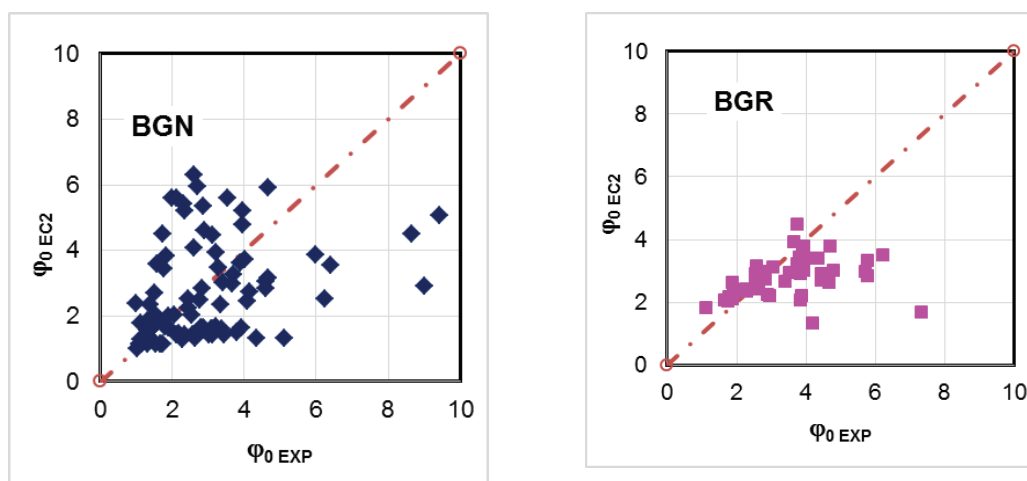
## 3. Résultats et discussions

La base de données utilisée pour déterminer les paramètres  $\varphi_{0,EXP}$  et  $\alpha_{EXP}$  est constituée de 91 bétons des granulats naturels (BGN) et 43 bétons des granulats recyclés (BGR) issus de la littérature. Les résultats récapitulés dans le tableau 1 pour  $\alpha_{EXP}$  montrent que ce paramètre est supérieur à la valeur de 0.3 proposée par l'EC2 et qu'il diminue légèrement pour le BGR.

**Tableau 1.** Valeurs expérimentales du paramètre  $\alpha_{EXP}$

$\alpha_{EXP}$	BGN		BGR	
	Moyenne	Ecart type	Moyenne	Ecart type
	0,42	0,13	0,40	0,06

La figure 1 représente une comparaison entre les valeurs calculées de  $\varphi_0$  à l'aide de l'équation 7 et celles estimées par l'EC2 en utilisant l'équation 2. Nous pouvons observer que l'EC2 ne permet pas une estimation satisfaisante pour le coefficient de fluage conventionnel  $\varphi_0$ . La somme carrée des résidus est de 296 pour le BGN et de 91 pour le BGR.



**Figure 1.** Comparaison entre les valeurs expérimentales et calculées pour  $\varphi_0$

La figure 2 représente l'évolution des paramètres  $\alpha_{EXP}$  et  $\varphi_{0, EXP}$  en fonction du taux de substitution équivalent  $\Gamma_m$ . Les résultats montrent qu'il n'y a pas une évolution claire lorsque le taux de substitution augmente. Cette dispersion peut être attribuée au fait que ces paramètres dépendent des caractéristiques de l'ancien mortier attaché, du volume de la pâte cimentaire ainsi que de la nature du liant utilisé. Une étude approfondie est en cours afin de clarifier le rôle de chacun de ces variables.

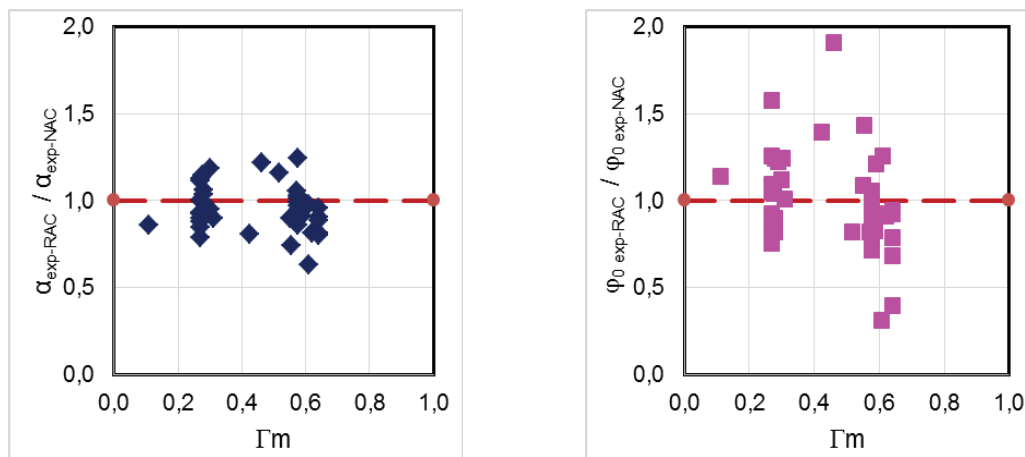


Figure 2. Evolution des paramètres  $\alpha_{EXP}$  et  $\varphi_{0, EXP}$  avec le taux de substitution  $\Gamma_m$

#### 4. Conclusion

Cette étude présente une analyse des données issues de la littérature sur l'aptitude de l'EC2 à prédire le comportement en fluage du béton des granulats recyclés (BGR) et du béton des granulats naturels associé. La comparaison entre les valeurs expérimentales en termes du coefficient de fluage conventionnel  $\varphi_0$  et de la puissance de la fonction du vieillissement,  $\alpha$ , montre une dispersion significative. Une étude approfondie est en cours afin de revoir le modèle précédent et de tenir compte de la qualité des granulats, du taux de chargement et du volume de pâte d'une manière explicite.

#### 5. Références

- [DOM09] Domingo-Cabo, A., et al., Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 2009. 23(7): p. 2545-2553.
- [FAT11] Fathifazl, G., et al., Creep and drying shrinkage characteristics of concrete produced with coarse recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 2011. 33(10): p. 1026-1037.
- [EUR04] Eurocode2, Design of concrete structures\_Part 1-1 General rules and rules for buildings. 2004: Paris.
- [GUO17] Guo, M., Identifications expérimentale et numérique des micromécanismes liés à la rupture et au fluage dans le béton recyclé, in GeM. 2017, Ecole centrale de Nantes. p. 152.
- [PAN16] Pan, Z. P., S. Meng, Etude expérimentale du fluage des bétons de granulats recyclés, 36èmes Rencontres de l'AUGC, ENISE/LTDS, Saint Etienne, 19 au 22 juin 2018.
- [TOR18] Torres, P. P., G. Wardeh, E. Ghorbel, Etude expérimentale du fluage des bétons de granulats recyclés, 36èmes Rencontres de l'AUGC, ENISE/LTDS, Saint Etienne, 19 au 22 juin 2018.