

---

# Etude de l'endommagement des bétons à granulats recyclés

Minh-Duc NGUYEN<sup>1</sup>, George WARDEH<sup>1</sup>, Elhem GHORBEL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> L2MGC – Université de Cergy Pontoise, 5 Mail Gay Lussac 95000 Neuville sur Oise

[nguyenminhduc.gvtvt@gmail.com](mailto:nguyenminhduc.gvtvt@gmail.com), [Elhem.Ghorbel@u-cergy.fr](mailto:Elhem.Ghorbel@u-cergy.fr), [George.Wardeh@u-cergy.fr](mailto:George.Wardeh@u-cergy.fr)

---

*RÉSUMÉ.* Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet ANR ECOREB et traite les propriétés à l'état durci des bétons de granulats recyclés dont les formules ont été mises au point dans le cadre du PN RECYBETON. Pour la formulation des bétons, des granulats naturels et recyclés fournis en trois coupures, un ciment CEM II/A-L 42.5, des fillers calcaires ainsi qu'un superplastifiant ont été utilisés. En plus, une classe de résistance C25/30 et une classe de consistance S4 ont été imposées par le cahier de charges.

Quatre formulations de la série C25/30 ont été élaborées dans le cadre de ce travail : un béton de granulats naturels, dit de référence, et trois de granulats recyclés avec trois taux de substitution volumique : 30%, 50% et 100%.

Des éprouvettes cylindriques 16x32 cm ont été testées à l'âge de 28 jours en compression uniaxiale. Pour estimer l'endommagement des bétons, des essais charges-décharges ont été effectués à déplacement contrôlé en imposant une vitesse du déplacement de vérin de 0,5 mm/min. Les déformations longitudinales ont été mesurées en utilisant un extensomètre constitué d'une couronne équipée de 3 capteurs LVDT. Les résultats expérimentaux montrent que l'introduction des granulats recyclés diminue non seulement les propriétés mécaniques du béton, mais la vitesse de l'endommagement ainsi que la déformation seuil d'endommagement.

*ABSTRACT.* This work belongs to the project ANR ECOREB and treats the mechanical properties of recycled aggregate concretes whose mix proportions were proposed in the framework of the national project RECYBETON. For concrete mixtures natural and recycled aggregates supplied in three classes, CEM II / AL 42.5 cement, limestone fillers and a superplasticizer were used. C25/30 class of compressive strength and a S4 class of workability were imposed by the specifications

Four formulations of the series C25 / 30 have been developed and studied in this work: a concrete with natural aggregates, called reference, and three recycled aggregate concretes with three volumetric replacement ratios: 30%, 50% and 100%.

16x32 cm cylindrical specimens were manufactured and tested at 28 days under uniaxial compression. Mechanical tests were conducted using a press SCHENK with a capacity of 3500 KN by performing loading-unloading cycles up to failure with a controlled displacement rate of 0.5 mm / min. Axial strains were measured using an extensometer with 3 LVDTs.

Experimental results show that the introduction of recycled aggregates decreases not only the mechanical properties of concrete, but also the damage rate and the damage threshold.

*MOTS-CLÉS:* Béton, granulats recyclés, propriétés mécaniques, endommagement, microstructure.

*KEY WORDS:* Concrete, recycled aggregates, mechanical properties, damage, microstructure.

---

## 1. Introduction

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet ANR VBD 2013 « ECOREB » [ECO12] qui est en relation avec le projet national RECYBETON [REC12]. Le projet ANR ECOREB implique l'IRES, le L2MGC, le CERIB, l'IFSTTAR, le GeM et Armines. Il a pour objectif de lever les verrous technologiques concernant l'utilisation des granulats recyclés pour l'élaboration de bétons de structures.

En France, les déchets inertes issus des constructions neuves et de la démolition des bâtiments, des routes et des ponts achevant leur durée de vie représentent un volume total de 269 millions de tonnes [UNI][UNP]. Cependant, 15 millions de tonnes seulement sont envoyés aux plates formes du recyclage où ils sont concassés et criblés. Une solution envisageable pour valoriser ces déchets, et minimiser l'approvisionnement en ressources naturelles, consiste à les utiliser en tant que granulats pour béton.

De nombreuses études ont été réalisées à l'échelle mondiale ces dernières années pour étudier les propriétés des bétons à base de granulats recyclés [XIA05][ETX07][EVA07][WAR15]. Les études ont permis de conclure qu'il est possible de formuler des bétons possédant des propriétés mécaniques comparables à celles des bétons à granulats naturels. Cependant, la plupart de ces études n'ont pas fourni de conclusions définitives concernant l'applicabilité de normes de construction [CEB90][EUR04], établies pour les bétons de granulats naturels, aux bétons à granulats recyclés. De plus, ces études concernent uniquement la substitution partielle ou totale de graviers naturels par des recyclés [CAS08][DOM09][BEL11].

Le présent travail vise à étudier l'influence des granulats recyclés (sable + graviers) sur les propriétés mécaniques ainsi que sur le comportement des bétons en compression uniaxiale. Le travail a également pour objectif d'apporter les modifications nécessaires sur les expressions de prédiction des propriétés mécaniques afin de tenir compte de l'utilisation des granulats recyclés. La dernière partie de cette étude est dédiée à l'endommagement des bétons en fonction du taux de remplacement des granulats naturels par des recyclés.

## 2. Programme expérimental

### 2.1. Matériaux utilisés

Un ciment CEM II/A-L 42,5 fabriqué par HOLCIM a été utilisé pour cette étude. Les granulats naturels utilisés sont un sable (S 0/5) et deux types de graviers calcaires concassés (G1 6,3/10 et G2 10/20). Les granulats recyclés ont été préparés dans une plate-forme de recyclage en 3 coupures 0/4, 4/10 et 10/20 mm. Tous les granulats ont été transportés au laboratoire en big-bags où ils ont été caractérisés afin de vérifier leur conformité avec les matériaux livrés aux autres partenaires du PN RECYBETON.

Pour toutes les formulations, un filler calcaire Betocarb HP-OG, fabriqué par la société OMYA SAS et un superplastifiant MC PowerFlow 3140 ont été utilisés.

### 2.2. Composition des bétons

Quatre bétons de la série C25/30 ont été formulés. Les formulations comportent un béton de référence à granulats naturels et trois bétons à granulats recyclés. Les bétons doivent être de classe S4 (affaissement compris entre 160 et 210 mm).

La désignation de chaque formulation correspond à la nomenclature suivante, à savoir C25-xR-yR :

- xR correspond au taux de substitution en sable recyclé ;
- yR correspond au taux de substitution en graviers recyclés.

Les granulats recyclés ont été utilisés dans un état d'humidité correspondant à leur absorption plus 1% (en valeur absolue) soit à une teneur en eau de 9,9% pour le sable recyclé 0/4, de 6,6% pour le gravillon recyclé 4/10 et de 6,8% le gravillon recyclé 10/20.

Les granulats sont entreposés dans des fûts pendant au moins 2 heures, après homogénéisation par roulage.

Les différentes formulations, optimisées par l'IFSTTAR, sont données dans le tableau 1. On remarque que les dosages des constituants varient d'une formulation à une autre. En plus, le dosage en ciment augmente lorsque le taux de substitution augmente afin d'atteindre la résistance cible à la compression.

**Tableau 1.** Compositions de bétons étudiés.

| Constituant (kg/m <sup>3</sup> )            | C25/30-0R-0R | C25/30-0R-100R | C25/30-30R-30R | C25/30-100R-100R |
|---|--------------|----------------|----------------|------------------|
| Eau d'ajout                                 | 190          | 244            | 228            | 303              |
| Ciment Cem II/A-L 42,5 N de Rochefort       | 270          | 282            | 277            | 326              |
| Filler Calcaire Betocarb HP OG              | 45           | 31             | 31             | 50               |
| Sable Sandrancourt                          | 780          | 806            | 500            |                  |
| Sable recyclé 0/4                           |              |                | 218            | 673              |
| Gravillon Givet 4/10                        | 267          |                | 171            |                  |
| Gravillon recyclé 4/10                      |              | 163            | 145            | 304              |
| Gravillon Givet 6,3/20                      | 820          |                | 552            |                  |
| Gravillon recyclé 10/20                     |              | 701            | 167            | 442              |
| Superplastifiant MC PowerFlow 3140          | 1,31         | 1,4            | 1,08           | 1,18             |
| Eau efficace (kg/m <sup>3</sup> )           | 180          | 189            | 185            | 199              |
| Volume de pâte (Vc+Vf+Ve) (m <sup>3</sup> ) | 0,28         | 0,29           | 0,29           | 0,32             |
| E/L (Eau efficace/Liant)                    | 0,57         | 0,6            | 0,6            | 0,53             |

### 2.3. Méthodes expérimentales

Des cylindres 16x32 cm ont été préparés afin de caractériser la résistance à la compression, la résistance à la traction et le module d'élasticité. Les éprouvettes ont été démoulées après 24 h, conservées dans un bassin d'eau à température ambiante pendant 28 jours puis testées.

Les essais de compression et de fendage ont été réalisés à l'aide d'une presse INSTRON de capacité de 3500 kN à asservissement hydraulique. Ils ont été conduits en imposant une vitesse de chargement de 0,5 MPa/s. Chaque essai de caractérisation a été répété 3 fois et les résultats présentés sont les valeurs moyennes. D'autres essais ont été réalisés en effectuant des cycles charge-décharge jusqu'à la rupture à une vitesse du déplacement de vérin de 0,5 mm/min. Les déformations ont été mesurées à l'aide d'un extensomètre de 3 capteurs LVDT situés sur des génératrices espacées de 120°. Cette instrumentation a permis de mesurer le module d'élasticité statique et d'obtenir la courbe contrainte-déformation pour chaque éprouvette testée.

## 3. Résultats expérimentaux

### 3.1. Propriétés des bétons

Les propriétés mécaniques des bétons étudiés sont récapitulées dans le tableau 2. Les résultats montrent que pour la même classe de résistance à la compression, l'introduction des granulats recyclés entraîne une diminution de la résistance à la traction et du module d'élasticité. La diminution s'explique par la porosité plus élevée des bétons à granulats recyclés due à la présence d'ancien mortier à la surface des granulats aussi bien que par la mauvaise interface granulats/liant. Des observations similaires ont été reportées dans la littérature.

**Tableau 2.** Caractéristiques des bétons à l'âge de 28 jours.

|               | $f_{cm}$ (MPa) | $f_t$ (MPa) | E (GPa)  | $\Gamma$<br>(taux de substitution) |
|---------------|----------------|-------------|----------|------------------------------------|
| C25-0R-0R     | 33,8±1,4       | 3,1±0,9     | 36,9±2,2 | 0,0                                |
| C25-30R-30R   | 33,5±0,9       | 3,3±0,2     | 29,5±0,4 | 0,3                                |
| C25-0R-100R   | 32,5±1,0       | 3,4±0,2     | 28,1±1,0 | 0,5                                |
| C25-100R-100R | 28,6±0,7       | 2,8±0,3     | 25,5±0,2 | 1,0                                |

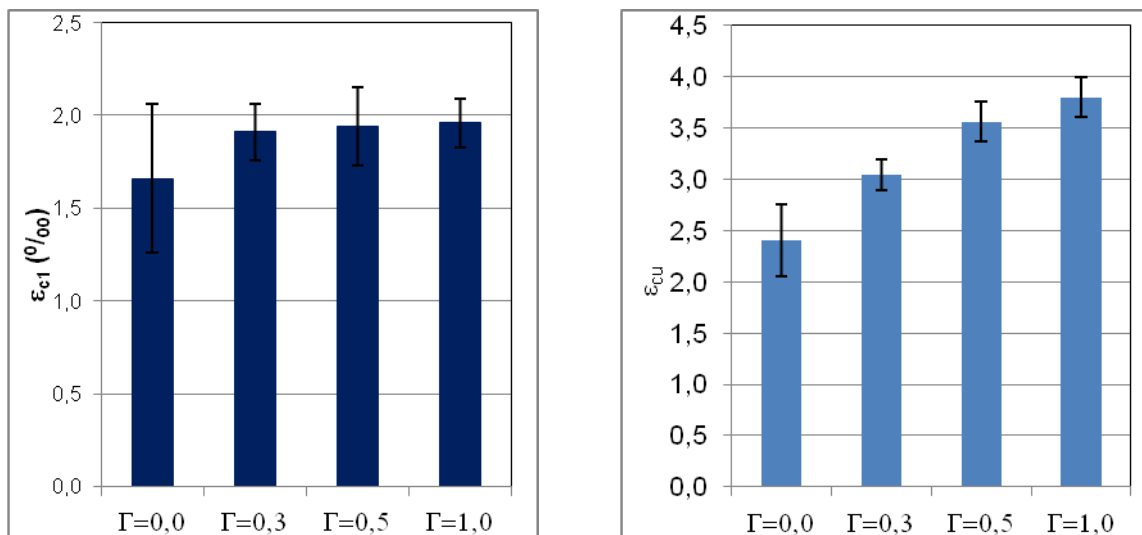
### 3.2. Déformations au pic et déformations ultimes

La déformation au pic est la déformation qui correspond à la contrainte maximale en compression. L'évolution de cette déformation pour les bétons étudiés dans le cadre de cette étude est illustrée dans la figure 1.a. De cette figure on peut constater que cette déformation augmente lorsque le taux de substitution des granulats naturels par les granulats recyclés augmente. Ces résultats sont en accord avec les résultats reportés dans la littérature. L'augmentation de la déformation est la conséquence de l'utilisation des granulats recyclés caractérisés par un module d'élasticité réduit par rapport aux granulats naturels. On définit par la suite le taux de substitution massique, noté  $\Gamma$ , par l'expression [1] (Tableau 2):

$$\Gamma = \frac{\sum M_{RA}}{\sum M_{(NA+RA)}} \quad [1]$$

Où:  $M_{RA}$  et  $M_{(NA+RA)}$  sont la masse des granulats recyclés et la masse totale des granulats naturels et recyclés dans la formulation. Ainsi  $\Gamma=1$  lorsque le sable et les graviers sont recyclés.

L'influence du taux de substitution sur la déformation ultime a été également étudiée. Cette déformation a été évaluée sur la branche descendante de la courbe contrainte-déformation à une contrainte égale à  $0,6f_{cm}$ . Les résultats sont représentés sur la figure 1.b où il peut être observé que cette déformation augmente en augmentant le taux de substitution en granulats recyclés.

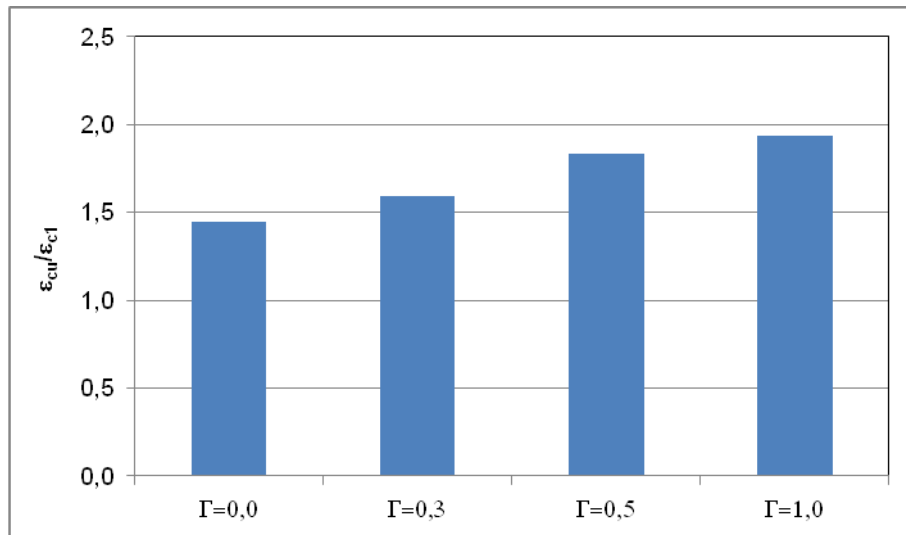


a) Déformation au pic

b) Déformation ultime

**Figure 1.** Déformations au pic et ultime pour les bétons étudiés.

La figure 2 illustre le rapport entre la déformation ultime et au pic pour chaque formulation. On constate que ce rapport est d'autant plus important que le taux de substitution est important. Cette augmentation signifie qu'aux mêmes conditions du chargement, la capacité de déformation des bétons à granulats recyclés est plus importante que celle du béton à granulats naturels et par conséquent les bétons à granulats recyclés sont plus ductiles. Ces résultats sont en accord avec ceux de Wardeh et al [WAR15].



**Figure 2.** Rapport entre les déformations ultimes et les déformations au pic.

### 3.3. Modélisation des propriétés mécaniques et de la courbe contrainte-déformation

Les normes de conception proposent des expressions empiriques permettant de relier le module d'élasticité et la résistance à la traction à la résistance à la compression. En plus, les normes proposent des modèles simplifiés pour la relation contrainte-déformation. Les principaux paramètres de ces modèles sont le module d'élasticité, la déformation correspondant à la contrainte maximale, et la forme de la phase post-pic. Cependant, l'effet de l'introduction des granulats recyclés n'est pas encore pris en compte dans les expressions analytiques. Sur la base des résultats expérimentaux obtenus dans le cadre de cette étude et en considérant les résultats issus de la littérature, les modifications nécessaires pour tenir compte de cet effet sont proposées. Parmi plusieurs expressions testées, les expressions suivantes sont retenues.

#### - Le module d'élasticité

Afin de prédire le module d'élasticité des bétons de granulats recyclés, la relation proposée par l'EC2 a été modifiée comme suit :

$$E_{cm} = \frac{22000}{1 + \alpha\Gamma} \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,30} \quad [2]$$

Avec  $\alpha=0,6$  cette expression permet de prédire les résultats expérimentaux avec un coefficient de corrélation  $R^2=0,69$ .

#### - Résistance à la traction

L'expression suivante permet de prédire les résultats expérimentaux avec un coefficient de corrélation  $R^2=0,77$  pour  $\alpha=0,06$ .

$$f_{ctm} = \frac{0,34}{1 + \alpha\Gamma} (f_{cm})^{0,06} \quad [3]$$

- Déformation au pic et déformation ultime

Les deux relations suivantes sont proposées afin de prédire la déformation au pic et la déformation ultime en fonction de la résistance à la compression,  $f_{cm}$ , et le taux de substitution  $\Gamma$ .

$$\varepsilon_{c1} = x(\alpha f_{cm} + \beta)^y \left(1 + \frac{\Gamma}{a\Gamma^2 + b\Gamma + c}\right) \quad [4]$$

| x   | y     | $\alpha$ | $\beta$ | a      | b        | c      | R <sup>2</sup> |
|-----|-------|----------|---------|--------|----------|--------|----------------|
| 0,5 | 0,351 | 0,629    | 23,00   | 871,20 | -1055,79 | 321,18 | 0,42           |

$$\varepsilon_{cu} = \left(0,00298 - 0,0625 \left\langle \frac{50 - f_{cm}}{100} \right\rangle^4\right) (1 + 0,2\Gamma) \text{ pour } f_{cm} \leq 50(\text{MPa}) \quad [5]$$

- Relation déformation-contrainte

Dans cette étude les modèles proposés par l'EC2, Carreira et Chu [CAR85] et Xiao et al. [XIA05] ont été étendus aux bétons de granulats recyclés en utilisant les expressions 2 pour la prédiction du module d'élasticité et 4 pour la prédiction de la déformation au pic. La relation contrainte-déformation de l'EC2 est donnée par l'équation suivante :

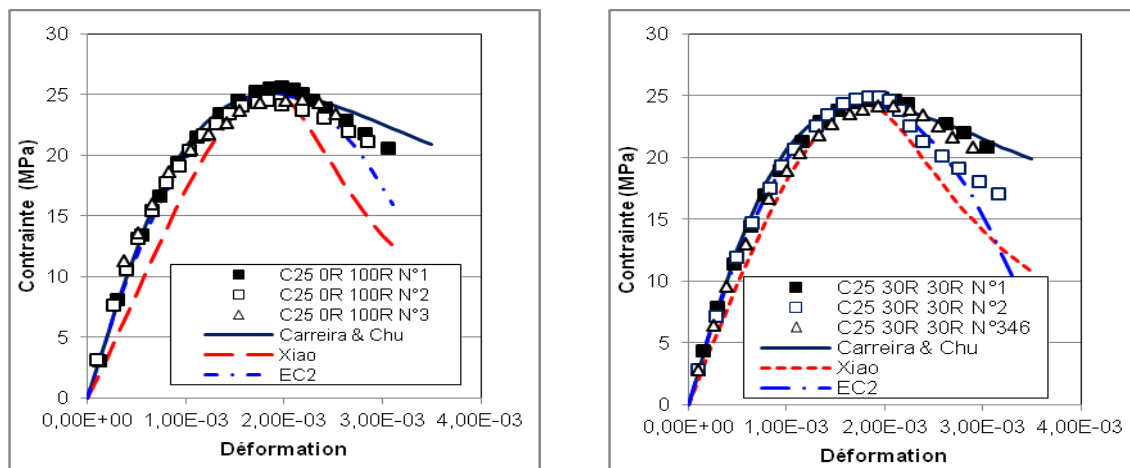
$$\frac{\sigma}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \quad [6]$$

Avec  $\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}$ ,  $k = 1,05E_{cm} \frac{\varepsilon_{c1}}{f_{cm}}$ , et  $E_{cm}$  le module sécant d'élasticité.

Quant au modèle de Carreira et Chu, la relation s'écrit sous la forme :

$$\frac{\sigma}{f_{cm}} = \frac{\beta \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}\right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}\right)^\beta} \text{ avec } \beta = \frac{1}{1 - \frac{f_{cm}}{E_{cm}\varepsilon_{c1}}} \quad [7]$$

Une comparaison entre les courbes expérimentales et celles prédites par les trois modèles est représentée sur la figure 3 pour les bétons étudiés. On constate que le modèle de Carreira et Chu modifié est mieux adapté pour prédire le comportement post-pic du béton à granulats recyclés.



a) C25-0R-100R

b) C25-30R-30R

**Figure 3.** Les courbes contrainte-déformation.

#### 4. Comportement des bétons en compression cyclique

Le comportement des bétons étudiés lors de cycles de chargement-déchargement est illustré sur la figure 4. L'analyse de l'ensemble des courbes montre que :

- toutes les courbes possèdent la même forme,
- le comportement reste élastique jusqu'à environ 40% de la contrainte maximale. D'après l'étude de Mehta [MEH86], un mécanisme de microfissuration s'active aux interfaces pâte-granat pour 30% de la contrainte maximale,
- le comportement devient non linéaire jusqu'au pic. D'après les études reportées dans la littérature la non linéarité est liée un mécanisme de propagation de microfissures dans le mortier enrobant les grains les plus grossiers. Au fur et à mesure que le chargement se poursuit, les microfissures forment des microfissures connectées dans la pâte cimentaire du béton,
- Au-delà du pic de contrainte le comportement devient adoucissant du fait que les fissures macroscopiques localisées s'ouvrent et se propagent, conduisant à la rupture du matériau,
- les granulats recyclés sont à l'origine d'un comportement plus dissipatif généré, probablement, par un endommagement plus progressif et diffus de part la nature des graviers et la présence de porosités plus importantes.

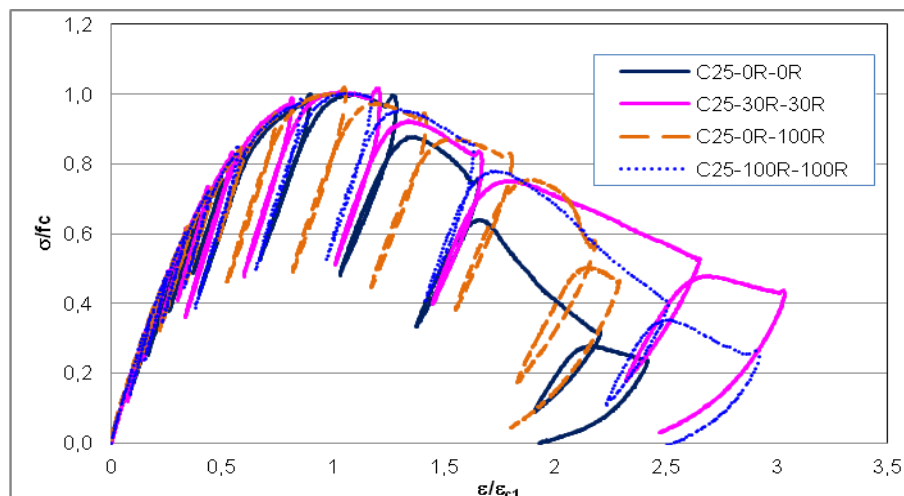


Figure 4. Comportement du béton lors des cycles chargement-déchargement.

#### 5. Etude de l'endommagement des bétons

La variable d'endommagement, notée  $d$ , caractérise la dégradation progressive du matériau due au chargement mécanique précédant la rupture. Dans le cas probable où les fissures sont distribuées dans les bétons de façon aléatoire, on définit l'endommagement via un scalaire qui exprime la variation des modules d'Young:

$$d = 1 - \frac{E}{E_0} \quad [6]$$

où  $E$  et  $E_0$  sont respectivement le module d'élasticité du matériau endommagé et du matériau sain. Une valeur  $d=0$  correspond à un état vierge tandis que  $d=1$  représente un matériau totalement endommagé. Les modules d'élasticité considérés sont les modules sécants obtenus sur les courbes de chargement-déchargement.

L'évolution de l'endommagement en fonction de la déformation est illustrée sur la figure 5. Les résultats expérimentaux montrent que l'endommagement est d'environ 0,33 au niveau de la déformation ultime  $\varepsilon_{cu}$ . De plus, son évolution est linéaire avec la déformation appliquée avec un coefficient de corrélation  $R^2$  qui varie entre 0,92 et 0,97.

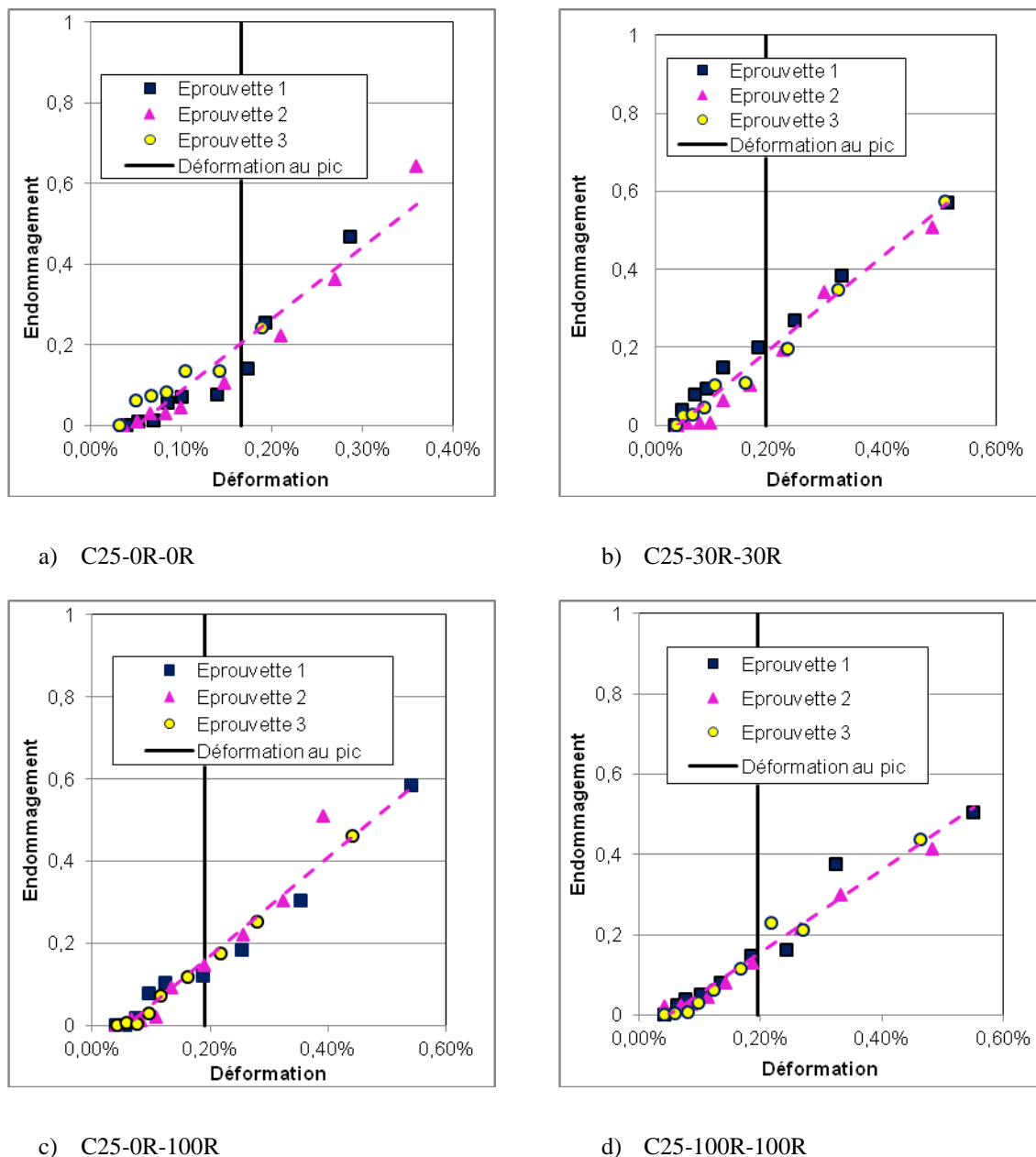
Une expression générale pour l'évolution de l'endommagement peut être écrite sous la forme :

$$d = \alpha \langle \varepsilon - \hat{\varepsilon} \rangle \quad [7]$$

Dans cette expression  $\alpha$  apparaît comme une vitesse d'endommagement tandis que  $\hat{\varepsilon}$  apparaît comme un seuil à partir duquel l'endommagement apparaît. La variation de ces deux paramètres pour les bétons étudiés dans le cadre de ce travail est donnée dans le tableau 3. Au regard des résultats on constate que la vitesse est plus faible pour les bétons à granulats recyclés par rapport au béton des granulats naturels. Quant à  $\hat{\varepsilon}$  sa valeur oscille autour de 0,05.

**Tableau 3.** Variation de  $\alpha$  et  $\hat{\varepsilon}$ .

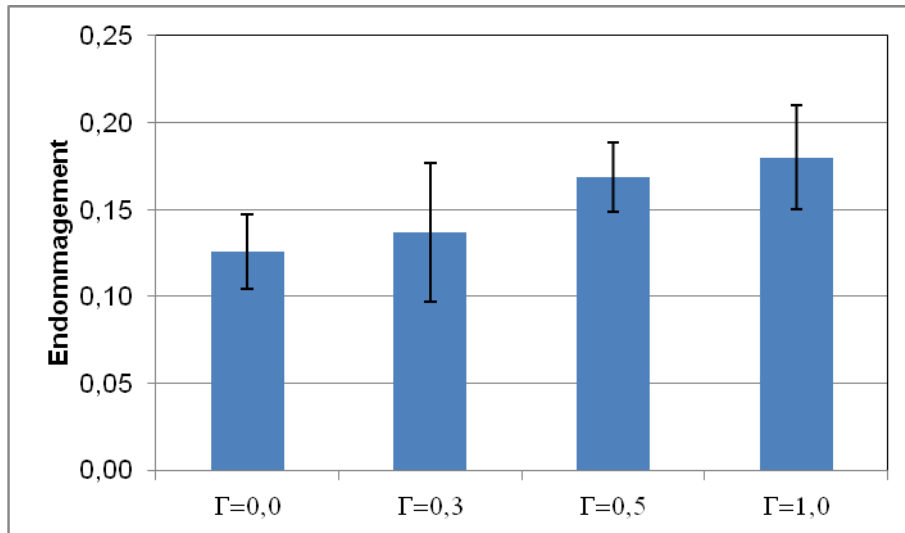
|               | $\alpha$ | $\hat{\varepsilon}$ (%) | R <sup>2</sup> |
|---------------|----------|-------------------------|----------------|
| C25-0R-0R     | 177,5    | 0,05                    | 0,92           |
| C25-30R-30R   | 119,9    | 0,04                    | 0,97           |
| C25-0R-100R   | 120,4    | 0,06                    | 0,96           |
| C25-100R-100R | 103,0    | 0,05                    | 0,97           |



**Figure 5.** Evolution de l'endommagement en fonction de la déformation.



La figure 6 représente la valeur moyenne de l'endommagement correspondant au pic de contrainte. On peut observer que l'endommagement lié au pic augmente en augmentant le taux de substitution en granulats recyclés.



**Figure 6.** Facteur d'endommagement relatif au pic de contrainte.

## 6. Conclusion

Dans cet article, les résultats expérimentaux pour les propriétés mécaniques des bétons de granulats recyclés sont présentés et discutés. Quatre formulations d'une classe de résistance à la compression C25 / 30 et d'une classe S4 d'ouvrabilité ont été étudiées. Sur la base des résultats expérimentaux, les principales conclusions sont :

- Pour la même classe de résistance à la compression, l'introduction de granulats recyclés entraîne une diminution de la résistance à la traction et du module d'élasticité.
- La déformation au pic et la déformation ultime augmente en augmentant le taux de substitution en granulats recyclés.
- Les relations proposées dans ce travail pour les bétons à granulats recyclés sont en bon accord avec les données expérimentales.
- Le modèle de Carreira et Chu reproduit de manière plus satisfaisante la relation contrainte déformation que les modèles de l'EC2 et de Xiao et al.
- L'endommagement au pic de contrainte augmente lorsque le taux de substitution est important
- La vitesse d'endommagement est plus faible pour les bétons à granulats recyclés par rapport au béton de granulats naturels.

## 7. Remerciement

Les auteurs souhaitent remercier l'ANR pour le support financier et le PN RECYBETON pour la fourniture des matériaux.

## 8. Bibliographie

- [BEL11] Belén, G.-F., M.-A. Fernando, et al. (2011). "Stress-strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate." *Construction and Building Materials* 25(5): 2335-2342.
- [CAR85] Carreira, D. J. and K.-H. Chu (1985). "Stress-Strain Relationship for Plain Concrete in Compression." *ACI Materials Journal* 82(6): 797-804.
- [CAS08] Casuccio, M., M. C. Torrijos, et al. (2008). "Failure mechanism of recycled aggregate concrete." *Construction and Building Materials* 22(7): 1500-1506.
- [CEB90] CEB-FIP (1990). *Model Code*. T. Telford. London.
- [DOM09] Domingo-Cabo, A., C. Lazaro, et al. (2009). "Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete." *Construction and Building Materials* 23(7): 2545-2553.
- [ECO12] ECOREB (2012). "Ecoconstruction par le Recyclage du Béton. <http://ecoreb.fr/>."
- [ETX07] Etxeberria, M., E. Vazquez, et al. (2007). "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete." *Cement and Concrete Research* 37(5): 735-742.
- [EUR04] Eurocode2 (2004). *Design of concrete structures\_Part 1-1 General rules and rules for buildings*. Paris.
- [EVA07] Evangelista, L. and J. de Brito (2007). "Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates." *Cement and Concrete Composites* 29(5): 397-401.
- [MEH86] Mehta, P. K. (1986). *Concrete. Structure, properties and materials*. New Jersey, Prentice-Hall.
- [REC12] RECYBETON (2012). "PROJET NATIONAL RECYBETON. <http://www.pnrecybeton.fr/>."
- [UNI] UNICEM "L'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction. <http://www.unicem.fr/>."
- [UNP] UNPG Union Nationale des Producteurs de Granulats. <http://www.unpg.fr/>.
- [WAR15] Wardeh, G., E. Ghorbel, et al. (2015). "Mix Design and Properties of Recycled Aggregate Concretes: Applicability of Eurocode 2." *International Journal of Concrete Structures and Materials* DO - 10.1007/s40069-014-0087-y: 1-20 LA - English.
- [XIA05] Xiao, J., J. Li, et al. (2005). "Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading." *Cement and Concrete Research* 35(6): 1187-1194.