

# Etude comparative du confinement du béton de granulats recyclés par des matériaux composites : efficacité des bio-sourcés

Elhem GHORBEL<sup>1</sup>, Mohamed NOUALI<sup>1</sup> et Abdel Aziz HASNAOUI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CY Université Paris Seine, L2MGC, 5 Mail Gay Lussac-Neuville sur Oise-95031 Cergy Pontoise Cedex

## RESUME.

L'objectif de ce travail est d'étudier la possibilité de remplacer un composite à matrice époxyde et renforts de carbone (CFC) par un composite à matrice bio sourcée renforcée de fibres de lin (CFL) pour le confinement de bétons à granulats recyclés. Quatre bétons avec différents taux de substitution massique de granulats naturels par des granulats issus de la démolition d'ouvrages en béton ont été considérés. La comparaison entre l'efficacité des deux types de composites unidirectionnels (CFC et CFL) a été effectuée à travers des essais à la compression d'éprouvettes cylindriques à 28 jours. On montre que le confinement des bétons recyclés par le CFL est aussi efficace que celui obtenu en utilisant CFC. Un modèle analytique pour le dimensionnement structurel est proposé.

**Mots-clefs :** Béton, confinement, composite unidirectionnel, composite de lin.

## I. INTRODUCTION

La réparation traditionnelle des structures en béton armé, telle que le chemisage, est généralement difficile à mettre en œuvre, couteuse et peu durable notamment vis-à-vis de la corrosion. Un nouveau matériau dont l'utilisation est devenue répandue dans le monde est le composite époxyde/fibres de carbone (Limaiem et al., 2019). Ce matériau présente d'excellentes performances mécaniques meilleures que l'acier (Wang et al., 2007) et une facilité de mise en œuvre sur le chantier. Cependant certains freins doivent être levés pour respecter les critères environnementaux de plus en plus présents. D'autre part, le remplacement des granulats naturels par des granulats issus de la démolition de structures en béton recyclé est une bonne solution permettant de réduire l'approvisionnement en matière première non renouvelable (Ghorbel and Wardeh, 2017).

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'ANR MICRO et a pour objectif d'étudier la possibilité de remplacer les matériaux composites traditionnels (CFC : carbone/époxyde) par des matériaux bio sourcés (CFL) pour le confinement des bétons de granulats recyclés. Quatre formulations de béton avec différents taux de substitution des granulats naturels par des recyclés (Ghorbel et al 2017).

## II. MATERIAUX ET METHODES

Le béton utilisé dans le cadre de cette étude est de classe de résistance C35/40 et de classe de consistance S4. Un ciment CEM II 42.5 a été employé pour la formulation. Les granulats naturels utilisés se composent d'un sable naturel 0/4 (SN), de gravillons 4/10 et 10/20 nommés respectivement GN1 et GN2. En ce qui concerne les granulats recyclés, un sable recyclé 0/4 (SR) et des gravillons recyclés 4/10 (GR1) et 10/20 (GR2) ont été considérés.

Quatre taux de substitution des granulats naturels par les recyclés ont été adoptés. La désignation des bétons formulés correspond à la nomenclature C35-xR-yR où le préfixe xR correspond au taux de substitution massique en sable recyclé et yR correspond à celui en gravillons recyclés. La composition des différentes formulations est présentée dans le tableau 1 et est issue des travaux du PN RECYBETON.

**TABLEAU 1. Constituants de béton de granulats recyclés.**

Constituant (kg/m <sup>3</sup> )	0R-0R	30R-30R	0R-100R	100R-100R
Ciment	294	305	315	344
Fillers calcaires	57	42	50	63
Super plastifiant	2.1	1.6	2	2.5
Eau totale	182	209	223	256
Sable naturel 0/4 (SN)	757	466	732	0
Gravillons naturels 4/10 (GN1)	259	159	0	0
Gravillons naturels 10/20 (GN2)	795	515	0	0
Sable recyclé 0/4 (SR)	0	203	0	598
Gravillons recyclés 4/10 (GR1)	0	135	148	270
Gravillons recyclés 4/10 (GR2)	0	156	638	392
Eau efficace/Liant	0.50	0.52	0.51	0.45

Deux types de composites unidirectionnels ont été utilisés pour le confinement (tableau 2). Le premier désigné par « CFC » est composé d'une matrice époxyde renforcé d'un tissu de fibres de carbone unidirectionnelles (SIKADUR 330/ SikaWrap-230 C). Le deuxième, dit bio-sourcé, désigné par « CFL » est composé d'un système EnviPOXY530 avec un durcisseur Cardolite NX5619 renforcé d'un tissu de fibres en lin unidirectionnelles de type LINCORE® FF 200. Les caractéristiques mécaniques des composites unidirectionnels utilisés pour le confinement (1 couche de CFC et 2 couches de CFL) selon la direction des fibres sont résumées dans le tableau 2.

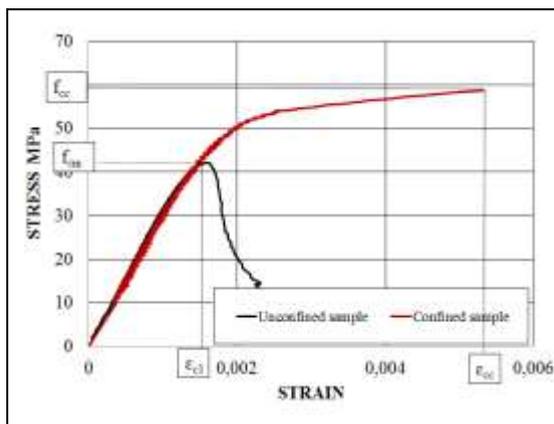
**TABLEAU 2. Composites utilisés pour le confinement des bétons.**

Compsite unidirectionnel	Désignation	Résistance à la traction $f_t$ (MPa)	E (GPa)	Epaisseur (mm)
Epoxyde DGEBA de synthèse et fibres de carbone	CFC	2001 <sup>±20</sup>	114 <sup>±6</sup>	0,12
Epoxyde bio-sourcée et fibres de lin	CFL	216 <sup>±14</sup>	27 <sup>±2</sup>	0,5

## III. RESULTATS ET DISCUSSION

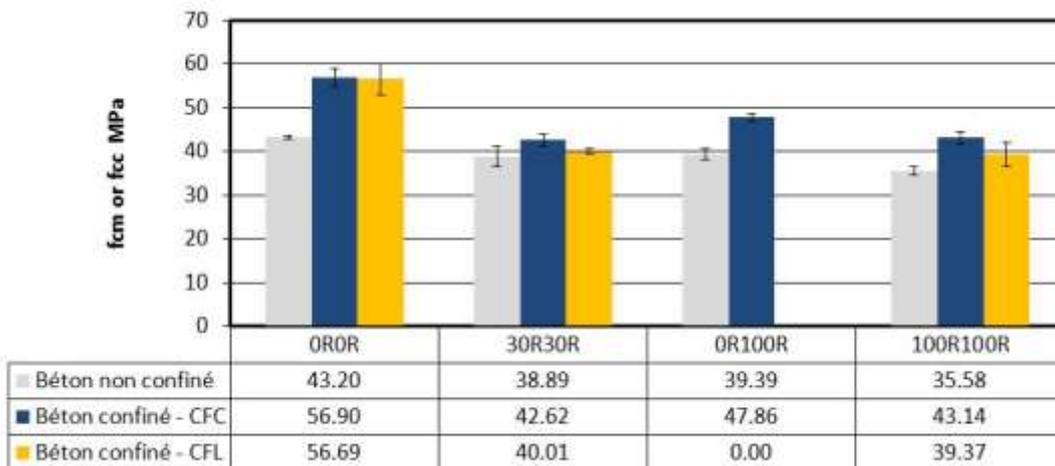
La comparaison entre l'efficacité du confinement des deux types de composites unidirectionnels (CFC et CFL) a été étudiée en se basant sur les deux propriétés mécaniques suivantes (Figure 1) :

la résistance moyenne à la compression à 28 jours ( $f_{cm}$  ou  $f_{cc}$ ) et la déformation au pic ou à la rupture ( $\epsilon_{c1}$  et  $\epsilon_{cc}$ ). Alors que le comportement des bétons de contrôle sollicité en compression uniaxiale est de type élastique endommageable, le béton confiné, se comporte de façon élastoplastique ductile avec une rupture fragile. Les courbes correspondantes possèdent trois phases principales. La première traduit le comportement élastique linéaire du béton. A partir de 90% de  $f_{cm}$  le béton se dilate. Le composite exerce alors une pression de confinement pour s'opposer à cette dilatation. De fait une amélioration remarquable de la limite élastique du béton en compression ainsi que de la déformation à la rupture est observée. L'efficacité du confinement se traduit par la présence d'une branche croissante jusqu'à la rupture, souvent fragile.



**FIGURE 1.** Courbe contraintes-déformations du béton confiné et non confiné.

Les histogrammes présentés sur les figures 2 et Figures 3 montrent que le confinement des 4 formulations de bétons est efficace quel que soit le composite utilisé.



**FIGURE 2.** Résistance à la compression du béton confiné par les deux types de composites.

On observe une légère augmentation la résistance à la compression mais une nette amélioration de la ductilité des bétons confinés. De même, on montre que l'efficacité du confinement les CFL est comparable à celle du CFC.

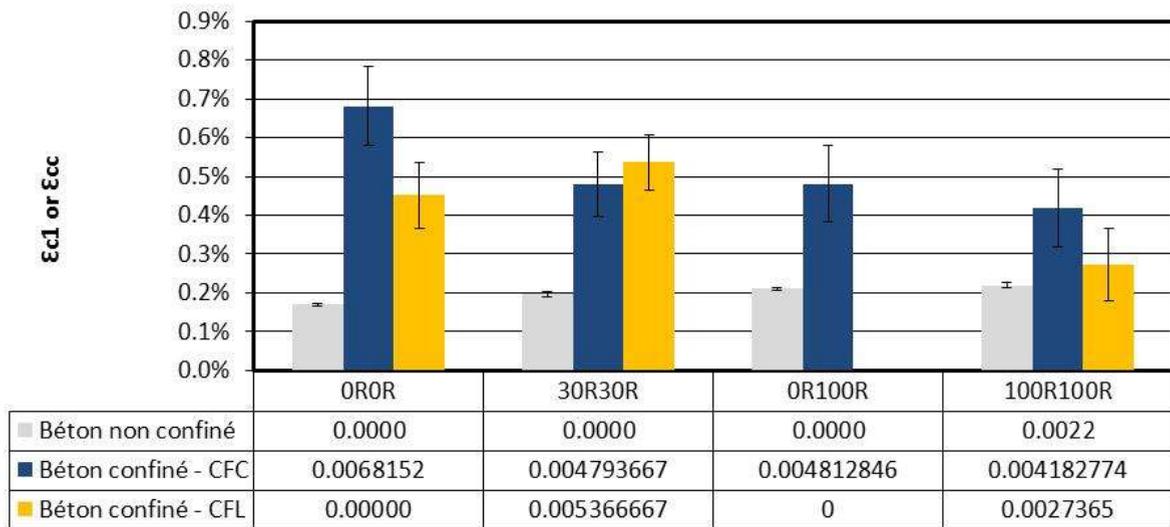


FIGURE 3. Déformation à la rupture du béton confiné par les deux types de composites.

### III. CONCLUSIONS

Le confinement des bétons, à base de granulats recyclés, par des composites unidirectionnels, synthétique et naturel, conduit à une amélioration de leur capacité à la déformation. L'étude a montré la possibilité de remplacer le composite synthétique par un composite naturel tout en assurant des bonnes performances mécaniques. Une modélisation semi-empirique en se basant sur les modèles existants et en intégrant les modifications apportées dues à la présence des granulats recyclés semble prometteuse.

### IV. REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'ANR MICRO pour le support financier.

### V. REFERENCES

- Ghorbel, E., Wardeh, G., 2017. Influence of recycled coarse aggregates incorporation on the fracture properties of concrete. *Constr. Build. Mater.* 154, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.183>
- Limaiem, M., Ghorbel, E., Limam, O., 2019. Comparative experimental study of concrete repair with carbon epoxy & bio-resourced composites. *Constr. Build. Mater.* 210, 312–323. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.137>
- Wang, Y.C., Wong, P.M.H., Kodur, V., 2007. An experimental study of the mechanical properties of fibre reinforced polymer (FRP) and steel reinforcing bars at elevated temperatures. *Compos. Struct.* 80, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2006.04.069>