

ANALYSE DU COEFFICIENT DE DUCTILITÉ EN COURBURE DES SECTIONS EN BÉTON ARMÉ INCORPORANT DES GRANULATS RECYCLÉS

ANALYSIS OF CURVATURE DUCTILITY FACTOR OF REINFORCED CONCRETE SECTIONS INCORPORATING RECYCLED AGGREGATES

George WARDEH, Elhem GHORBEL

L2MGC - Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil

Université de Cergy-Pontoise

5 mail Gay LUSSAC

95031 Neuville-sur-Oise

George.wardeh@u-cergy.fr; elhem.ghorbel@u-cergy.fr

1. INTRODUCTION

Le nombre d'ouvrages qui achèvent leur durée de vie ne cesse d'augmenter et l'utilisation de matériaux issus de la démolition est une solution pour minimiser l'approvisionnement à partir de ressources naturelles. De ce fait, de nombreuses études expérimentales ont été réalisées à l'échelle mondiale pour étudier les propriétés des bétons à base de granulats recyclés (Xiao, Li et al. 2005; Xiao, Li et al. 2006; Etxeberria, Mari et al. 2007; Wardeh, Ghorbel et al. 2014). Des études récentes sur le comportement des éléments de structures, fabriqués à partir des bétons de granulats recyclés, ont montré que ces bétons pouvaient être utilisés pour les structures (Ajdukiewicz and Kliszczewicz 2007; Fathifazl, Razaqpur et

al. 2009; Ignjatovic, Marinkovic et al. 2013; Thomas H.-K. Kang, Woosuk Kim et al. 2014). Cependant l'utilisation des granulats recyclés affecte considérablement la carte des fissurations où le réseau de fissures et leur taille augmentent avec le taux de substitution.

Du point de vue des structures, les éléments fabriqués en bétons de granulats recyclés doivent avoir une ductilité adéquate permettant d'éviter la rupture instantanée aux états limites accidentels et sous sollicitations sismiques.

La ductilité peut être définie comme la capacité d'un élément à pouvoir se déformer de façon inélastique en conservant sa capacité portante.

La ductilité d'une section en béton armé peut être estimée par le coefficient de ductilité en courbure, noté μ , qui représente le

rapport entre la courbure ultime correspondant à l'écrasement du béton comprimé et la courbure correspondant à la limite d'élasticité de l'acier tendu (Kassoul and Bougara 2010). Elle est principalement influencée par les caractéristiques du béton et de l'acier aussi bien que par les pourcentages des armatures tendues et comprimées.

L'Eurocode 8 divise les structures en trois classes de ductilité: DCL (Classe de Ductilité Limitée), DCM (Classe de Ductilité Moyenne) et DCH (Haute Classe de Ductilité). Elle recommande que le facteur de la ductilité en courbure disponible dans une poutre soit supérieur ou égal à une valeur minimale μ_{\min} . De plus, l'EC8 intègre la ductilité dans la vérification du pourcentage maximal d'armatures tendues.

Le présent travail porte sur l'étude du comportement à la flexion de poutres fabriquées avec deux bétons possédant la même résistance à la compression. Le premier est formulé à base de granulats naturels tandis que le deuxième est formulé avec 100% de graviers recyclés issus du recyclage d'un béton de démolition. En outre, le comportement de 118 poutres retrouvées dans la littérature a été étudié. Les résultats expérimentaux en termes de résistance et de flèche ont été comparés aux résultats prédicts par l'EC2. Enfin, l'effet des granulats recyclés sur le coefficient de ductilité locale a été étudié afin d'améliorer la compréhension du comportement des éléments des structures incorporant des granulats recyclés et pouvant être conçus pour des zones de sismicité élevée.

2. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

2.1. Matériaux utilisés

Un ciment CALCIA CEM I 52,5 N CE CP2 NF a été utilisé avec un sable naturel roulé (S 0/4) et deux types de graviers. Le premier est un silico-calcaire naturel semi-concassé (G1 4/10 et G2 10/20), tandis que le deuxième est recyclé. Les granulats recyclés sont issus de travaux de démolition et ont été traités dans une plate-forme de recyclage. Ils ont été fournis par COLAS en 2011 en big-bags et ont été tamisés au laboratoire en deux coupures : un gravier GR1 (4/10) et un gravier GR2 (10/20). La masse volumique réelle des granulats et le coefficient d'absorption d'eau à 24h ont été déterminés par la méthode de pycnomètre selon la norme NF EN 1097-6. Ces deux propriétés fondamentales déterminent la quantité d'eau de gâchage du béton et par conséquent ses propriétés physiques et mécaniques.

Les propriétés physiques des granulats naturels et recyclés sont présentées dans le Tableau 1. Nous constatons que les granulats recyclés sont caractérisés par une masse volumique plus faible

et une capacité d'absorption d'eau plus importante que les granulats naturels. Enfin, le superplastifiant utilisé est le Cimfluid 3002 composé de 30% d'extrait sec et de 70% d'eau.

Les barres d'armature utilisées sont de type Haute Adhérence, notées HA. Les valeurs du module d'élasticité et de la limite élastique sont respectivement $E_s=200$ GPa et $f_y=500$ MPa, avec une déformation ultime mesurée de 10%.

2.2. Composition des bétons

Dans le cadre de cette étude deux bétons ont été formulés pour la fabrication de deux séries de poutres : un béton de référence à graviers naturels, noté NAC, et un béton à 100% graviers recyclés appelé RAC100. Les deux bétons sont de classe de consistance S4 et de classe de résistance C35/45 et la méthode de formulation est détaillée dans Wardeh et al (Wardeh, Ghorbel et al. 2014). Le béton de référence a été formulé avec une quantité de ciment de 360 kg/m³ et un rapport E/C de 0,5. Le squelette granulaire a été optimisé en mesurant la compacité de plusieurs mélanges granulaires à l'aide d'une table vibrante. Pour le béton de graviers naturels, les proportions optimales du sable, du gravier G1 et du gravier G2 dans le mélange est telle que $\frac{S}{G1+G2} = \frac{2}{3}$ et $\frac{G1}{G2} = \frac{1}{2}$. Enfin, le dosage

$$\frac{S}{G1+G2} = \frac{2}{3} \quad \frac{G1}{G2} = \frac{1}{2}$$

du superplastifiant a été ajusté expérimentalement afin d'obtenir un affaissement au cône d'Abrams de 18±2 cm.

Pour le béton RAC100, les graviers naturels ont été remplacés, en volume, par les graviers recyclés GR1 et GR2. Les granulats recyclés ont été considérés secs dans la composition et la quantité d'eau absorbée par ces matériaux a été ajoutée à l'eau de gâchage. De plus, compte tenu de la quantité d'eau importante ajoutée à l'eau de gâchage, une quantité supplémentaire de ciment a été ajoutée de telle sorte que le rapport E/C reste constant. Les proportions de ces matériaux sont données dans le Tableau 2. On définit l'eau efficace, E_{eff} , la quantité d'eau totale, E_{tot} , moins l'eau absorbée par les granulats en 24 heures WA24, ($E_{eff} = E_{tot} - E_g$ avec $E_g = WA24 \times M_G$). Nous remarquons à travers les résultats obtenus à l'état frais que les deux bétons satisfont à la maniabilité requise. Nous constatons également une diminution de la masse volumique du béton à graviers recyclés, accompagnée d'une augmentation du volume de l'air occlus. Pour chaque béton, des éprouvettes cylindriques 16x32 cm ont été préparées afin de déterminer leurs propriétés mécaniques. Les résultats des propriétés mécaniques montrent qu'à une résistance à la compression égale, la substitution des graviers naturels par des graviers recyclés affecte la résistance à la traction ainsi que le module d'élasticité.

De plus, 19 formulations de Sato et al. (Sato, Maruyama et al. 2007), 7 formulations de Kang et al. (Thomas H.-K. Kang, Woosuk Kim et al. 2014), 4 de Ignjatovic et al. (Ignjatovic,

	Sable	G1	G2	GR1	GR2
Masse volumique (kg/m ³)	2550	2510	2510	2240	2240
Coefficient d'absorption, WA24 (%)	1,4	1,6	1,8	8,0	6,5
Moule de finesse	2.7	-	-	-	-

Tableau 1. Caractéristiques des granulats

		NAC	RAC100
Dosage	Ciment (kg/m^3)	360	448
	Eau efficace (E_{eff}) (kg/m^3)	180	180
	Eau additionnée (E_a) (kg/m^3)	-	53
	Sable (kg/m^3)	703	930
	Graviers naturels G1 (kg/m^3)	346	-
	Graviers naturels G2 (kg/m^3)	692	-
	Graviers recyclés GR1 (kg/m^3)	-	218
	Graviers recyclés GR2 (kg/m^3)	-	326
	Superplastifiant (l/m^3)	1,25	1,25
	E_{eff}/C	0,50	0,40
	E_{tot}/C	0,50	0,52
	Volume de pâte (%)	29,6	37,8
Propriétés à l'état frais	Masse volumique théorique (kg/m^3)	2280	2155
	Air occlus (%)	$1,8 \pm 0,3$	$2,5 \pm 0,2$
	Affaissement (cm)	$18 \pm 0,7$	$20 \pm 1,4$
	Masse volumique réelle (kg/m^3)	$2287 \pm 3\%$	$2159 \pm 1\%$
	f_c (MPa)	$38,6 \pm 0,9$	$39,2 \pm 0,5$
	f_t (MPa)	$3,6 \pm 0,3$	$3,0 \pm 0,4$
	E (GPa)	$39,4 \pm 1,0$	$30,4 \pm 1,1$

Tableau 2. Proportions des compositions de bétons étudiés

Marinkovic et al. 2013), et 17 formulations de Ajdukiewicz and Kliszczewicz (Ajdukiewicz and Kliszczewicz 2007) ont été tirées de la littérature. Puisque les auteurs ne définissent pas le taux de remplacement de la même manière, un nouveau taux de substitution équivalent, nommé r , est introduit dans ce travail. Ce paramètre est défini par l'expression suivante:

$$r = \frac{V_{ra}}{V_{ra} + V_{na}} \quad [1]$$

Avec :

V_{na} : le volume des granulats naturels, V_{ra} : le volume des granulats recyclés.

Le taux, r , est égal à 1 lorsque le sable et le gravier sont entièrement remplacés par des granulats recyclés. Sur la base de cette définition les taux équivalents de substitution pour les bétons étudiés dans ce travail sont 0 pour NAC et 0.4 pour RAC100. Concernant les bétons de la littérature ce taux varie entre 0 et 1.

2.3. Description des poutres étudiées

Deux poutres en béton NAC et deux en RAC100 ont été mises en œuvre. La section transversale est de 20x25 cm et la longueur totale de ces poutres est de 1,70 m pour une portée entre appuis de 1,50 m. Les poutres sont ferraillées longitudinalement avec deux types d'armatures, 2HA14 afin de favoriser la ruine par la plastification de l'acier tendu, et 2HA16 pour que la ruine se fasse par l'écrasement du béton comprimé. Le taux de renoncement pour les deux configurations est $r=0.6\%$ et 0.8% respectivement.

Les caractéristiques géométriques, ainsi que le plan de ferrailage des poutres, sont présentés sur la Figure 1.

De plus, 36 poutres (15x20x220 cm) présentées dans le papier de Sato et al. (Sato, Maruyama et al. 2007), 28 poutres (13x27x270 cm) de Kang et al. (Thomas H.-K. Kang, Woosuk Kim et al. 2014), 9 poutres (20x30x300 cm) de Ignjatovic et al (Ignjatovic, Marinkovic et al. 2013), et 48 poutres

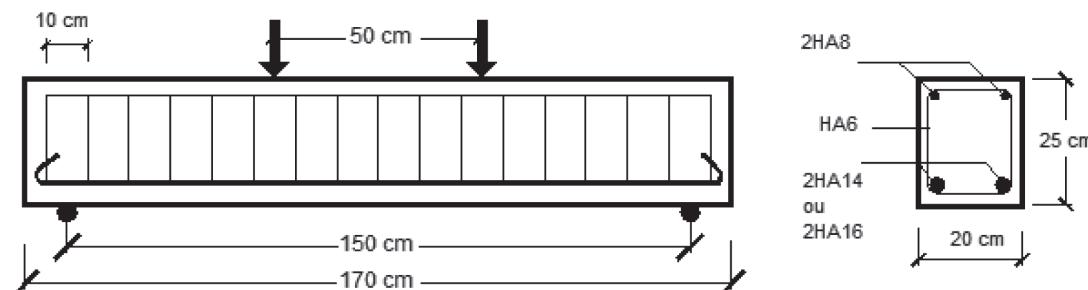


Figure 1. Géométrie et plan de ferrailage des poutres étudiées.

(20x30x240 cm) de Ajdukiewicz and Kliszczewicz (Ajdukiewicz and Kliszczewicz 2007), ont été considérées à titre de comparaison. Pour toutes ces poutres des granulats recyclés ont été utilisés à plusieurs taux de substitution. De plus, ces chercheurs ont utilisé plusieurs taux de renforcement qui varient entre 0.3 et 2.1%.

2.4. Méthodes expérimentales

Les poutres du présent travail ont été testées à la flexion 4 points à l'aide d'une presse 3R de capacité de 300 kN à asservissement mécanique et pilotée à vitesse de déplacement constante de 0.06 mm/s. La flèche à mi-portée a été mesurée à l'aide d'un capteur de déplacement LVDT de 10 cm de course, positionné sur la fibre inférieure. Les poutres tirées de la littérature ont été testées de la même manière.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Comportement à la flexion des poutres et schémas de fissuration

Les résultats des essais de flexion sont présentés figure 1 où il peut être observé que la flèche des poutres en béton de graviers recyclés est plus importante que celle des poutres en béton de granulats naturels quel que soit le taux de renforcement. Cette différence s'explique d'une part par la différence des modules d'élasticité et d'autre part par un état de fissuration plus important pour la poutre en béton à graviers recyclés.

Pour toutes les poutres le mode de rupture observé était une plastification de l'acier tendu suivie par l'écrasement du béton comprimé. Vers la fin des tests, des fissures inclinées, dues à l'effort de cisaillement, apparaissaient près des appuis.

Les schémas de fissuration tracés à la fin des essais de flexion, sont similaires d'une manière générale pour toutes les poutres. Il est à noter que les fissures dues au moment fléchissant (fissure

entre les points d'application de la charge) et à l'effort tranchant (fissures inclinées près des appuis) apparaissent à des charges inférieures pour les poutres RAC100 par rapport aux poutres NAC. Il a également été constaté que le nombre de fissures augmente lorsque les graviers recyclés sont employés. Cet état d'endommagement plus marqué est accompagné d'une diminution de l'espacement entre les fissures, d'une augmentation de la largeur de la zone fissurée et sur la fin d'une augmentation de la hauteur des fissures. Les mêmes observations peuvent être généralisées pour les poutres de la littérature.

L'évolution de la somme des fissures en fonction de la charge appliquée est illustrée figure 2. Lorsque le niveau de chargement est faible l'influence des granulats recyclés n'est pas significative. Pour des charges supérieures le nombre de fissures augmente rapidement.

L'augmentation du nombre de fissures traduit une diminution de la rigidité au fur et à mesure de l'augmentation de la charge et dépend de l'adhérence entre l'armature et le béton. L'évolution du nombre de fissures en fonction de la charge peut être modélisée par l'équation suivante:

$$N_{cr} = \alpha (F - F_{cr}) \quad [2]$$

Avec N_{cr} : le nombre de fissures, α un coefficient de corrélation, F : la charge appliquée, F_{cr} : la charge correspondant à l'apparition de la première fissure.

Les résultats de l'équation 1 sont représentés sur la figure 2 où il peut être observé que la pente, α , dépend à la fois de la nature du béton utilisé et du taux de renforcement. Cette pente est évidemment plus importante lorsque les granulats recyclés sont employés avec un taux de renforcement faible.

3.2. Analyse comparative des résultats

Les résultats expérimentaux sont représentés sur la figure 3 pour My et Mu qui correspondent respectivement au moment du début de la plastification de l'acier tendu et au moment ultime. Sur ces figures, les résultats des poutres en granulats recyclés sont représentés par rapport aux poutres de

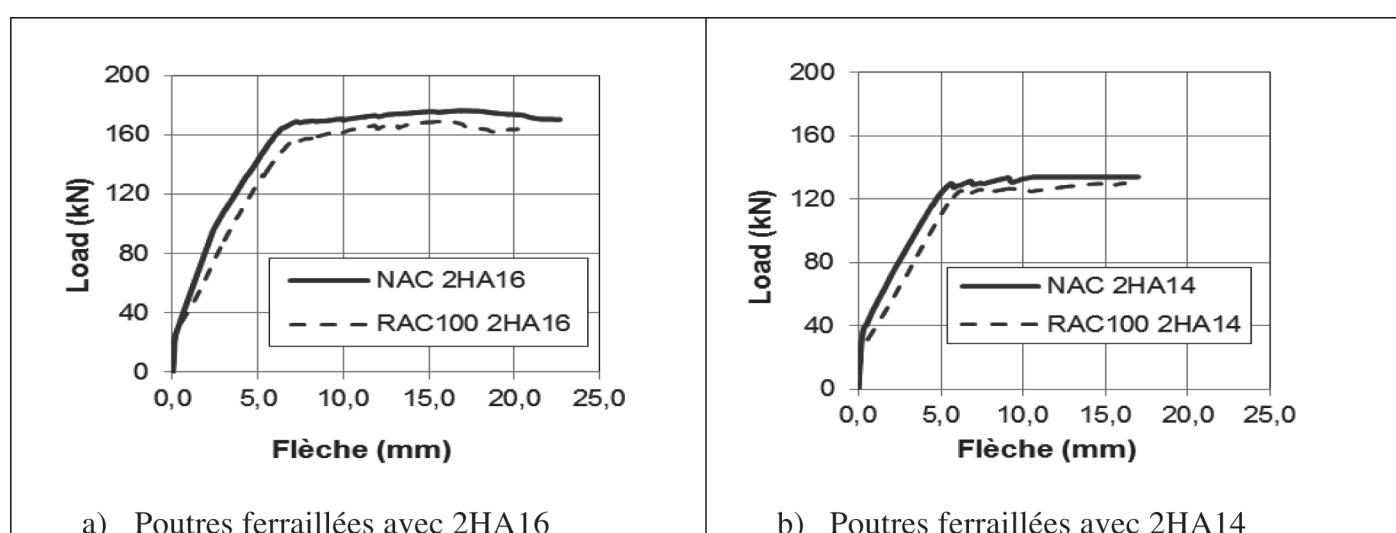


Figure 2 : Courbes force-flèche des poutres étudiées.

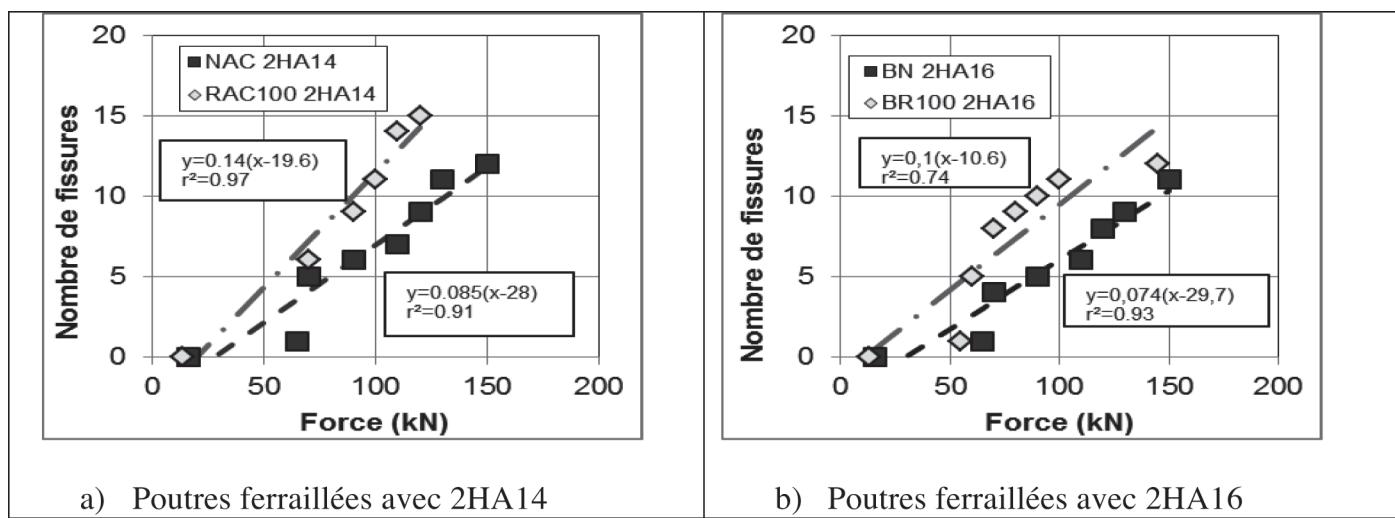
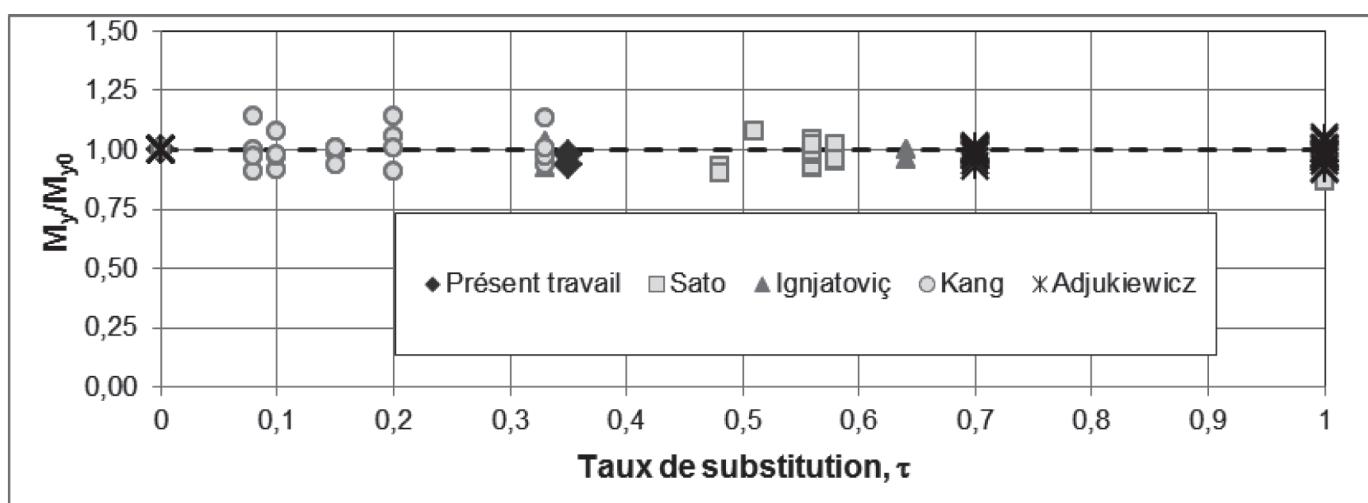
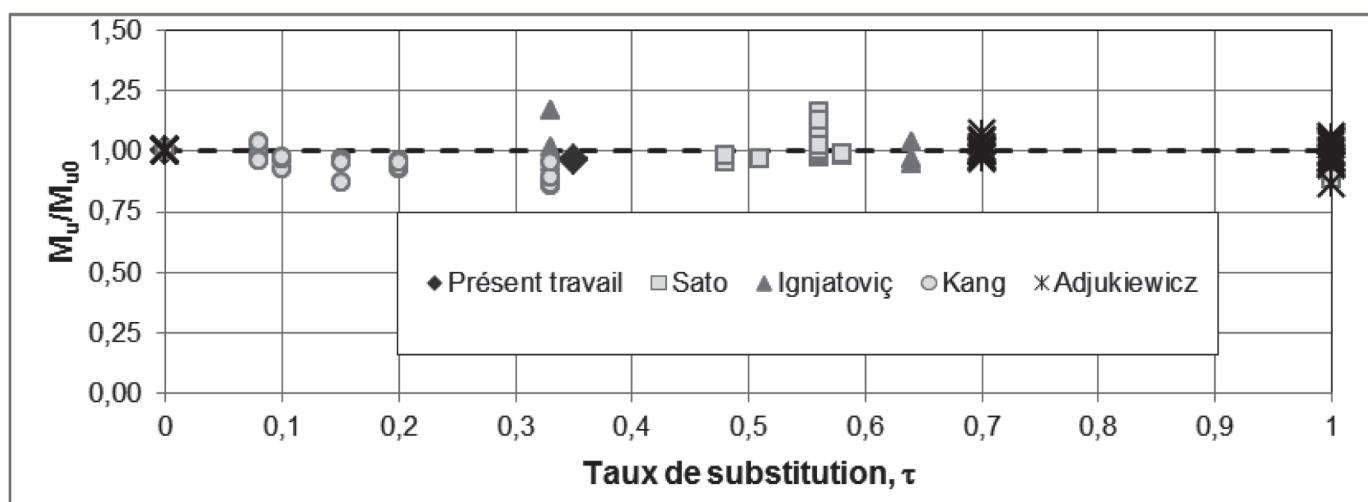


Figure 3 : Evolution du nombre de fissures



a) Influence du taux de substitution sur le moment M_y .



b) Influence du taux de substitution sur le moment M_u .

Figure 4 : Influence des granulats recyclés sur la capacité portante des poutres.

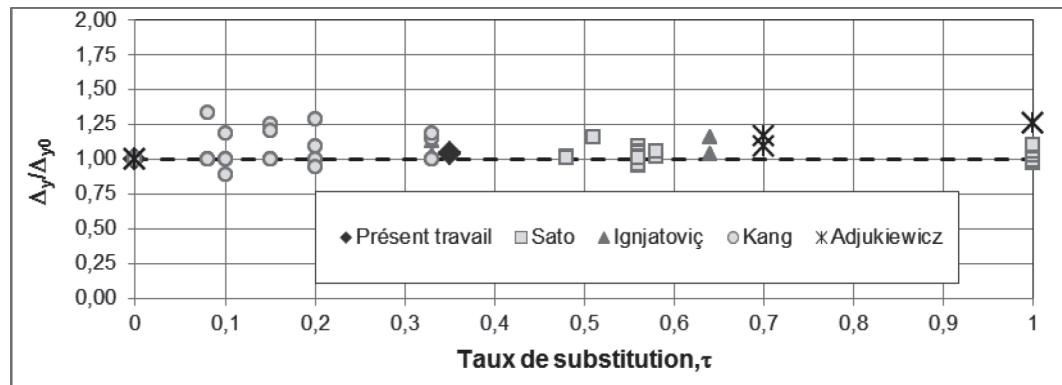


Figure 5 : Influence des granulats recyclés sur la flèche correspondant à My

référence en granulats naturels et en fonction du taux équivalent de substitution, r (cf équation 1). Il peut être constaté que le moment M_y pour les poutres en granulats recyclés est pratiquement le même que pour les poutres de référence quelque soit le taux de substitution. Le rapport moyen entre les valeurs est de 1.0 avec un écart type de 4%. La faible dispersion des résultats peut être expliquée par le fait que pour chaque série de formulations, le rapport moyen entre la résistance à la compression du béton de granulats recyclés et celle du béton de granulats naturels est de 0.93 avec un écart type de 11%. En ce qui concerne les moments ultimes, l'analyse des résultats montre que le rapport moyen est de 0.99 avec un écart type de 5%. Il est également à noter que le moment de fissuration pour les poutres en béton de granulats recyclés est plus faible que celui des poutres en béton de granulats naturels. Cette diminution s'explique par la diminution de la résistance à la traction lorsque les granulats recyclés sont incorporés dans le béton.

La flèche relative au moment de fissuration diminue en général pour les poutres en béton des granulats recyclés puisque le moment diminue. Sur la figure 4 on peut observer que la flèche D_y correspondant à M_y est plus importante pour les poutres en béton de granulats recyclés. Le rapport moyen D_y/D_{y0} est de 1.04 avec un écart type de 7.5%. Cette légère augmentation peut être expliquée par la faible rigidité des poutres en granulats recyclés par rapport aux poutres de référence.

Enfin, la flèche D_u , relative au moment ultime M_u dépend de la résistance à la compression pour un taux de substitution et un taux de renforcement donnés. En effet, cette flèche diminue quand la résistance à la compression diminue.

4. COMPARAISON ENTRE LES RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET LES NORMES EC2 ET EC8

La relation contrainte-déformation, $s_c - e_c$, adoptée par l'EC2 pour le béton est la loi parabole - rectangle (Figure 5.1). La relation complète se donne par l'équation suivante (Eurocode2 2004) :

$$\sigma_c = \begin{cases} f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] & 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \\ f_{cd} & \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \end{cases},$$

$$n = \begin{cases} 2 & f_c' < 50 \text{ MPa} \\ 1.4 + 23.4 \left[\frac{90 - f_c'}{100} \right]^4 & f_c' \geq 50 \text{ MPa} \end{cases} [3]$$

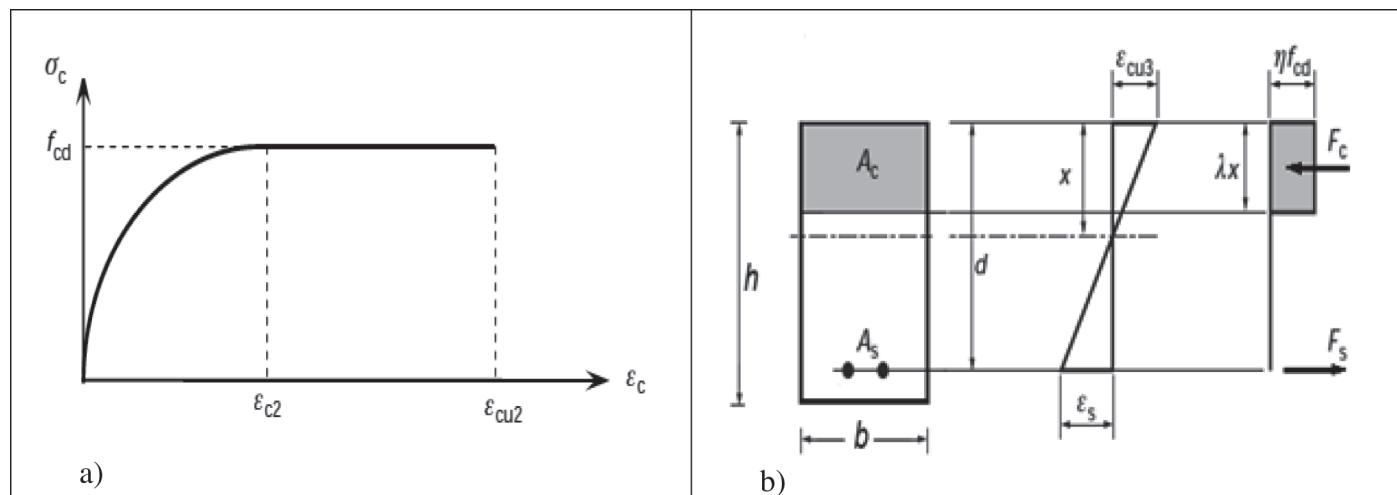


Figure 6 : a) courbe contrainte-déformation du béton, b) comportement d'une section à l'état ultime

La déformation ultime ϵ_{cu2} est donnée par l'expression suivante :

$$\epsilon_{cu2} (\%) = \begin{cases} 3.5 & f_c' \leq 50 \text{ MPa} \\ 2.6 + 35 \left(\frac{90 - f_c'}{100} \right)^4 & f_c' > 50 \text{ MPa} \end{cases} \quad [4]$$

Pour la zone comprimée dans une section transversale, un diagramme de contraintes uniformes est admis comme l'illustre la figure 5.b avec h et l deux coefficients qui dépendent de la résistance à la compression. Pour $f_{cd} \leq 50 \text{ MPa}$, $h=1$ et $l=0.8$. Pour ce qui concerne l'acier, une relation contrainte-déformation élastoplastique avec un palier horizontal a été adoptée. L'acier de béton armé doit présenter une ductilité adéquate. La valeur caractéristique de la déformation maximale, ϵ_{uk} , dépend de la classe de ductilité choisie et est limitée 2.5% pour la classe A, 5% pour la classe B et 7.5% pour la classe C. Par ailleurs, la valeur de calcul recommandé ϵ_{u0} est égale à 0.9 ϵ_{uk} . Pour la suite du calcul, une classe de ductilité normale, classe A, a été retenue pour l'acier si les résultats d'essais ne sont pas fournis par les auteurs.

Le coefficient de ductilité en courbure d'une section en béton armé est défini par le rapport entre la courbure ultime et la courbure élastique. soit :

$$\mu = \frac{\phi_e}{\phi_u} \quad [5]$$

ϕ_e définit la courbure à la fin de la phase élastique tandis que ϕ_u définit la courbure à la fin de l'état limite ultime correspondant à la rupture de la section par écrasement du béton comprimé avant que la déformation dans les armatures tendues atteigne ϵ_{u0} . La recherche des courbures élastique et ultime revient à déterminer pour une déformation (ϵ_e ou ϵ_s) donnée la position de l'axe neutre qui définit la hauteur du bloc de béton comprimé (Figure 5.b). L'équation de l'équilibre statique des efforts internes sollicitant la section s'écrit sous la forme :

$$F_C + F_S = 0 \quad [6]$$

Dans le cas d'une section rectangulaire sans armature comprimée, la force dans le bloc du béton comprimé devient :

$$F_C = b \int_0^x \sigma(\epsilon) dx \quad [7]$$

La force équivalente dans les armatures a pour expression :

$$F_S = A_s \sigma_s \quad [8]$$

L'équation 6 est non linéaire et la position exacte de l'axe neutre a été trouvée numériquement par la méthode de Newton à l'aide de la fonction fsolve de Matlab. Les courbures associées aux conditions ultimes et élastiques se donnent par les expressions suivantes :

$$\phi_u = \frac{\epsilon_{cu2}}{x_u} \text{ et } \phi_e = \frac{\epsilon_{sy}}{d - x_y} \quad [9]$$

Avec x_u : la hauteur du bloc de béton à l'état limite ultime, x_y : la hauteur du bloc de béton au début de la plastification de l'acier tendu et $\epsilon_{sy} = f_y/E_s$, la déformation de l'acier à la fin de la phase élastique.

Pour chaque état de contraintes, le moment interne s'écrit sous la forme :

$$M = F_c(d - x_g)$$

D'où x_g est la position du centre de gravité du béton comprimé par rapport à la fibre supérieure de la section.

L'analyse des résultats montrent que :

A un taux de renforcement donné, la ductilité est d'autant plus élevée que la résistance à la compression est importante, Inversement, pour la même classe de résistance à la compression, la ductilité diminue en augmentant le taux de renforcement,

La ductilité diminue légèrement en augmentant le taux de substitution en granulats recyclés. Pour la même classe de résistance à la compression et le taux de renforcement, la diminution est de l'ordre de 3% si le taux de substitution est égal à 1,0.

La figure 6 représente la variation de la ductilité en fonction du rapport entre le taux de renforcement, r , et le taux de

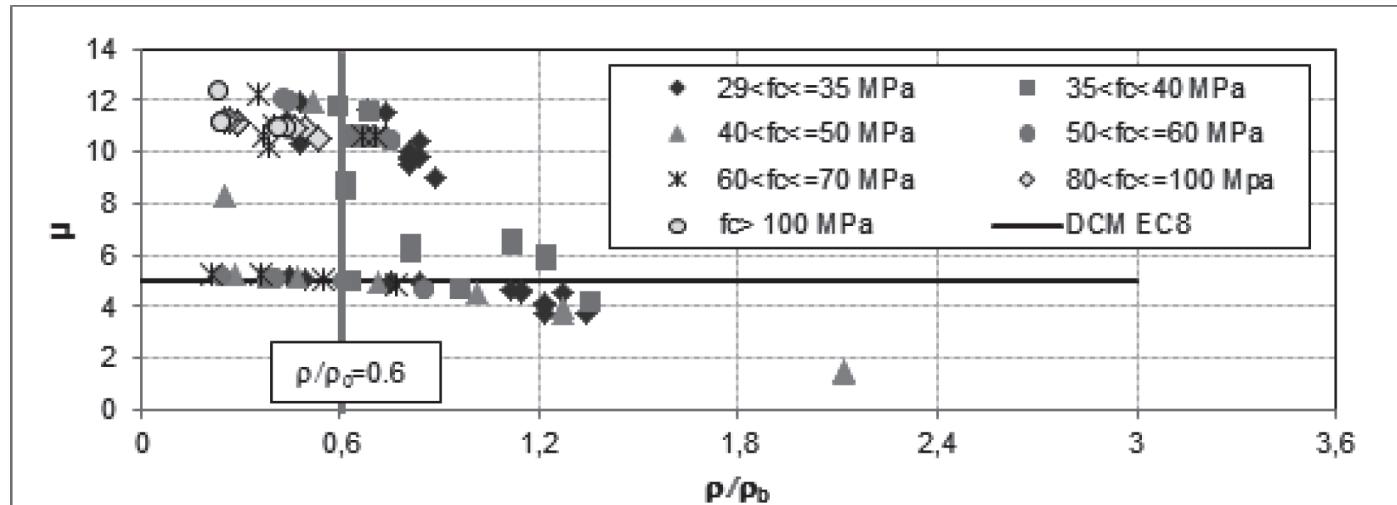


Figure 7 : variation du coefficient de ductilité en fonction de r/r_b

renforcement d'équilibre r_b . A partir des résultats tracés on peut remarquer que pour la même classe de résistance à la compression, la ductilité diminue lorsque le rapport r/r_b augmente. En général et afin de s'assurer d'une classe de ductilité moyenne DCM selon l'EC8 ($\mu > 5$) le rapport r/r_b doit être inférieur à 0.6 indépendamment de la résistance à la compression et de la nature des granulats utilisés.

5. CONCLUSIONS

La résistance à la flexion et la ductilité des poutres en béton de granulats naturels et en béton de granulats recyclés ont été étudiées dans ce travail. L'analyse des résultats conduit aux conclusions suivantes :

à résistance mécanique égale, le béton de graviers recyclés a une résistance à la traction et un module d'élasticité inférieurs à ceux du béton de graviers naturels.

les poutres fabriquées en béton de graviers recyclés ont des résistances ultimes similaires à celles du béton de référence mais avec des flèches et des états de fissuration significativement plus importants.

Les résultats de la résistance à la flexion sont en accord avec les prédictions de l'EC2 en utilisant la loi parabole-rectangle pour le béton et le modèle elasto-plastique parfait pour l'acier.

Les principaux paramètres structuraux qui déterminent la ductilité en flexion sont, pour une classe donnée de la résistance à la compression, le taux de renforcement et le rapport r/r_b .

L'introduction des granulats recyclés n'affecte pas le comportement à la flexion si la résistance à la compression est conservée.

6. BIBLIOGRAPHIE

Ajdukiewicz, A. B. and A. T. Kliszczewicz (2007). «Comparative Tests of Beams and Columns Made of Recycled Aggregate Concrete and Natural Aggregate Concrete.» *Advanced Concrete Technology* 5(2): 259-273.

- Etxeberria, M., A. R. Mari, et al. (2007). «Recycled aggregate concrete as structural material.» *Materials and Structures* 40(5 DO - 10.1617/s11527-006-9161-5): 529-541 LA - English.
- Eurocode2 (2004). *Design of concrete structures_Part 1-1 General rules and rules for buildings*. Paris.
- Eurocode8 (2003). *Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes*. Paris.
- Fathifazl, G., A. G. Razaqpur, et al. (2009). «Flexural Performance of Steel-Reinforced Recycled Concrete Beams.» *ACI Structural Journal* 106(6): 858-867.
- Ignjatovic, I. S., S. B. Marinkovic, et al. (2013). «Flexural behavior of reinforced recycled aggregate concrete beams under short-term loading.» *Materials and Structures* 46(6 DO - 10.1617/s11527-012-9952-9): 1045-1059 LA - English.
- Kassoul, A. and A. Bougara (2010). «Maximum ratio of longitudinal tensile reinforcement in high strength doubly reinforced concrete beams designed according to Eurocode 8.» *Engineering Structures* 32(10): 3206-3213.
- Sato, R., I. Maruyama, et al. (2007). «Flexural Behavior of Reinforced Recycled Concrete Beams.» *Journal of Advanced Concrete Technology* 5(1): 43-61.
- Thomas H.-K. Kang, Woosuk Kim, et al. (2014). «Flexural Testing of Reinforced Concrete Beams with Recycled Concrete Aggregates.» *ACI Structural Journal* 111(3): 607-616.
- Wardeh, G., E. Ghorbel, et al. (2014). «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.
- Xiao, J., J. Li, et al. (2005). «Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading.» *Cement and Concrete Research* 35(6): 1187-1194.
- Xiao, J.-Z., J.-B. Li, et al. (2006). «On relationships between the mechanical properties of recycled aggregate concrete: An overview.» *Materials and Structures* 39(6 DO - 10.1617/s11527-006-9093-0): 655-664 LA - English.