

Analyse des caractéristiques physiques et mécaniques de bétons de granulats recyclés de béton pour la valorisation de ce type de granulats

Goufi.N¹, Idir.R², Kerdal.D³, Abidelah.A⁴, Kaid.N⁵

¹ LM2SC, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran USTOMB, n_goufi@yahoo.fr

² Laboratoire Eco-Matériaux, CEREMA, ile de France, Paris, rachida.idir@cerema.fr

³ LM2SC, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran USTOMB, djkerdal@yahoo.fr

⁴ LMST, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran USTOMB, abidelah@gmail.com

⁵ LMST, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf d'Oran USTOMB, n.kaidustomb@gmail.com

RÉSUMÉ. La valorisation des granulats recyclés issus de la démolition des constructions permet de contribuer à la résolution du problème de stockage des déchets, la réduction de la pollution de l'environnement, la préservation des ressources naturelles et la réduction du coût de construction. La thématique des bétons de granulats recyclés est un sujet vaste qui couvre un grand nombre d'études. Dans ce travail, on présente les valeurs des résistances à la compression, traction et la perte en poids de bétons à base de graviers recyclés provenant de la déconstruction de bâtiments à Oran en Algérie et qui sont comparées à celles d'un béton ordinaire témoin. Les valeurs trouvées, montrent qu'il est important de normaliser et de vulgariser l'utilisation de ce type de granulats dans les bétons. En outre, les valeurs de modules de déformations sont comparées aux valeurs des expressions analytiques proposées par l'EC2 qui indiquent que ces relations prédisent de manière assez satisfaisante les propriétés mécaniques ainsi que la courbe contrainte déformation des bétons à base de granulats recyclés élaborés.

ABSTRACT. The use of aggregates from recycling of demolition products can contribute to the solution of the storage problem of waste, contributing to the reduction of pollution of the environment, preserving natural resources and finally reducing the cost of construction. The issue of recycled aggregate concrete is a vast subject that covers a large number of studies. In this work, we present the values of compressive and tensile strength and loss of weight of recycled aggregate concrete. Recycling materials covered in this study come from the demolition of buildings in Oran (ALGERIA). The values found show that it is important to standardize the use of such aggregates in concrete. Finally, the values of deformation modulus are compared with those of analytical expressions proposed by the EC2. It turns out that, the relations proposed by the EC2 provide satisfactorily the mechanical properties and the stress strain curve of the elaborated concrete.

MOTS-CLÉS : Béton, Granulats recyclés, Résistance, Module déformation.

KEY WORDS: Concrete, Recycled aggregates, Strength, Modulus of elasticity.

1. Introduction

Le développement durable est devenu un véritable enjeu stratégique dans ses différentes dimensions. Il touche de façon directe les matériaux de construction du point de vue des émissions de CO₂, de la consommation d'énergie et matières premières naturelles et la génération de déchets (au moment de la construction et lors de la déconstruction) [PED 14]. A la fin de leur cycle de vie, les ouvrages et structures de génie civil constituent un gisement important pour la production de granulats recyclés, surtout qu'après déconstruction, le coût de la mise en décharge devient de plus en plus élevé [REC 99, RUB 06]. Les granulats recyclés sont ainsi une solution au problème d'épuisement des ressources et de stockage de déchets. La récupération de la pâte de ciment potentiellement utilisable, après traitement, dans la production de nouveau ciment ou de tout autre type de liant hydraulique pourrait aussi conduire à minimiser l'impact CO₂ attribué à la fabrication du ciment. L'introduction des granulats recyclés dans le béton se fait déjà dans certains pays d'Europe tels que le Danemark, l'Angleterre, l'Allemagne et certains pays hors d'Europe comme l'Australie ou le Japon [CHA 90, HAN 92].

En Algérie, en plus du déficit (10 à 20%) en granulats, les déchets de construction et de démolition sont importants mais rarement valorisés [KEN 11]. Une tentative de valorisation dans ce domaine a été entreprise dans la région de Chlef après le séisme de 1982 en collaboration avec le centre scientifique et technique de construction (C.S.T.C) Belge [KEN 11]. L'utilisation de ces matériaux, nécessite la quantification de l'impact de ces granulats recyclés sur le comportement des bétons à l'état frais et durci à travers l'identification des propriétés mécaniques, thermiques et rhéologiques. Aujourd'hui la norme EN206-1 permet une réutilisation des granulats recyclés dans la production de béton frais mais dans une proportion maximale de 30% (en béton armé) [KEN 11]. La présente étude tente d'apporter une contribution à la valorisation de ces déchets en présentant les résultats de certains paramètres physiques et mécaniques de bétons à granulats recyclés.

2. Etude des bétons à base de granulats recyclés

Plusieurs études ont été réalisées avec un remplacement partiel ou total des gravillons naturels par des granulats recyclés [CAS 08, COR 10, KEN 11]. Ces derniers diffèrent des granulats naturels par leur composition. En effet, le granulats recyclés de béton est un matériau composite, dont les deux constituants sont [GON 11] :

- Granulats naturels concassés partiellement ;
- La pâte de ciment hydraté concassée, enrobant les granulats naturels ;



Figure.1. Compositions des granulats recyclés de béton

3. Matériaux et procédures expérimentales

3.1. Matériaux

3.1.1 Ciment

Le ciment utilisé est de type CEM II/ B 42.5 conforme à la norme NF EN 42.5. La surface spécifique Blaine, SSB est de 3600 cm²/g et la densité est de 3.10. L'eau de robinet est utilisée pour le gâchage.

3.1.2 Granulats

Deux familles de granulats ont été utilisées. Des granulats concassés pour la confection des échantillons de béton ordinaire et Des granulats recyclés résultant du concassage de déchets de béton. Ces déchets ont été récupérés de la démolition de certaines constructions situées dans la ville d'Oran en Algérie. Ces granulats sont préparés en 3 étapes :

- 1- Concassage préliminaire manuel en utilisant une massette ;
- 2- Concassage automatique par un broyeur mécanique ;
- 3- Tamisage pour obtention des granulats de classes 3-8 et 8/15 ;

Les principales caractéristiques des granulats recyclés sont données au tableau 1. On relève pour ces granulats recyclés, des masses volumiques plus faibles et une plus grande capacité d'absorption que celles des granulats naturels. A noter que les matériaux ont été préalablement lavés et que les granulats de recyclage ont été mis dans de l'eau pendant plus de 24 h pour saturation [QUE 96, PAD 09].

Tableau 1. Principales caractéristiques des granulats utilisés

Caractéristique	Granulats naturels		Granulats recyclés		Sable
	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Concassé
Mva (Kg/m ³)	1.56	1.60	1.12	1.20	1.36
Mvs (Kg/m ³)	2.65	2.67	2.39	2.52	2.63
Module finesse	-	-	-	-	2.95
Absorption %	2.45	4.90	6.05	4.75	

Les courbes granulométriques des matériaux utilisés sont représentées sur la figure 2 suivante

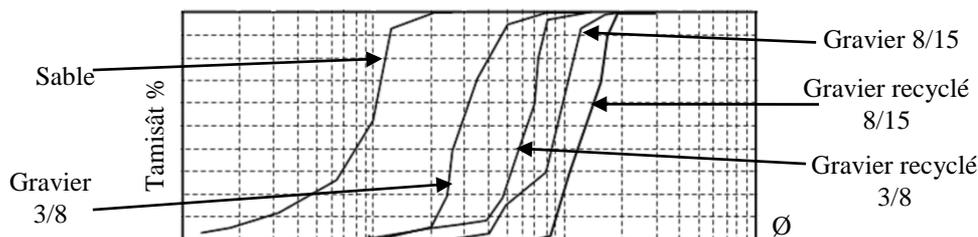


Figure 2. Courbes granulométriques des granulats.

4. Procédures expérimentales

Pour les besoins de l'étude, des cylindres 16x32 cm² ont été préparés afin de caractériser la résistance à la compression et le module d'élasticité des bétons à base de granulats naturels et recyclés. La formulation de ces bétons est basée sur la méthode de Dreux Gorisse [DRE 98]. Le paramètre de formulation considéré est la consistance. Pour cela, on a gardé la même quantité de ciment et varier celle de l'eau jusqu'à obtention de la consistance désirée. Il est à noter que pour les bétons à base de granulats recyclés, la quantité d'eau calculée ne représente pas la quantité totale mais la valeur d'eau efficace et que lors du malaxage, cette eau est introduite en 3 phases. Le détail des formulations est donné au tableau 2. L'ensemble des éprouvettes a été conservé à température et hygrométrie contrôlées pendant 24 heures puis mises dans un bassin d'eau.

Tableau 2. Formulations des bétons - Pourcentages des constituants

Composition %	Ciment	Sable	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Eau	E/C	Ajout d'eau	E/C corrigé
Béton témoin	15.36	23.43	5.79	45.63	9.59	0.62	0	9.59
Béton recyclé	15.36	23.82	4.98	45.03	10.22	0.66	0.96	0.73

5. Analyse des résultats

5.1. Affaissement au cône d'Abrams

Ce paramètre nous a permis de corriger la quantité d'eau dans le béton à base de granulats recyclés. Les valeurs trouvées sont reportées dans le tableau 3 suivant ;

Tableau 3. Valeurs de l'affaissement au cône d'Abrams

Béton témoin		Béton recyclé	
Avant correction	Après correction	Avant correction	Après correction
7.8	-	3.8	7.5

L'analyse des résultats montre que pour un même rapport E/C, l'ouvrabilité d'un béton constitué de 100% de granulats recyclés (béton recyclé) est plus faible que celle d'un béton de granulats naturels en raison de la capacité importante d'absorption des granulats recyclés [TAM 05, AIS 11].

5.2. Masses volumiques et absorption

Les résultats des caractéristiques déterminées au tableau 1 montrent que, la masse volumique des bétons recyclés est plus faible que celle des bétons à granulats naturels alors que leur absorption est plus importante.

Ces différences sont attribuées à une porosité plus importante dans les bétons de granulats recyclés [GOM 02, PAD09]. La variation de la masse des éprouvettes en fonction du temps est donnée à la figure 3 suivante.

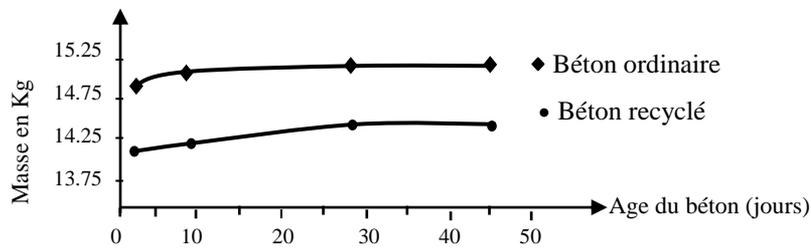


Figure 3. Variation de poids des bétons ordinaire et recyclé en fonction de l'âge

L'analyse de la figure 3, montre une augmentation du poids des éprouvettes 16x32 des bétons ordinaire et recyclé. A l'Age de 28 jours la masse des éprouvettes est de 15.18 et 14.25 KG respectivement. Ces valeurs correspondent à des masses volumiques apparentes de 2359 et 2185 Kg/m³. La valeur de la masse volumique apparente des bétons recyclés est plus faible en raison du mortier qui reste collé aux granulats. Ces valeurs sont en accord avec celles des travaux de recherches antérieurs qui affirment que la masse volumique des bétons à base de granulats recyclés est en général comprise entre 2000 et 2200 kg/m³ [TOP 04].

5.3. Performance mécanique

Dans ce qui suit, on présente l'évolution des résistances à la compression des bétons étudiés.

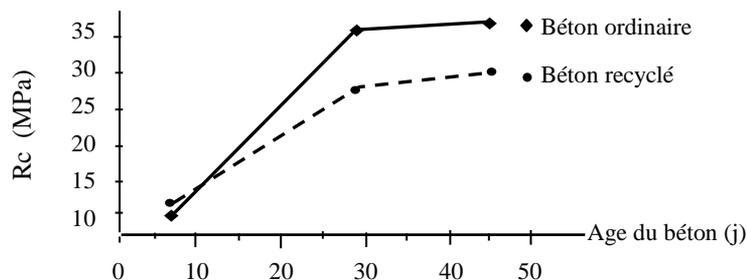


Figure 4. Variation des résistances à la compression des bétons

L'analyse de la figure 4, montre une cinétique d'évolution des contraintes des bétons étudiés au cours du temps pratiquement identique. Cependant, les valeurs de résistances du béton à granulats naturels sont supérieures à celles du béton à granulats recyclés. Cette différence de l'ordre de 16% à 28 jours passe à 18% à 45 jours. Cet écart de résistance est attribué à la porosité plus importante dans les bétons de granulats recyclés, la mauvaise interface granulats/liant (figure 5) ainsi que qualité même des granulats du béton de recyclage.



Figure 5. Parement de bétons à granulats naturels et recyclé

5.4. Module de déformation

Le module de déformation est l'une des caractéristiques importantes des bétons. Sa détermination permet d'avoir une idée sur le comportement et la rigidité du matériau. Le tableau 4 suivant donne les valeurs de ce paramètre ainsi que les contraintes et déformations correspondantes.

Tableau 4. Valeurs de modules de déformation

Béton	Contrainte (MPa)	Déformation %	Module (GPa)	EC2	Ecart
Ordinaire	34,82	0,101	34,46	29,642	16,73
recyclé	27,48	0,096	28,67	26,83	

L'analyse des résultats montre que le béton à granulats recyclé présente une valeur de module de déformation plus faible que celle du béton ordinaire, donc une plus faible rigidité. A l'instar du BAEL et du BPEL 99,

l'Eurocode 2 considère le seul emploi de granulats d'origine naturelle et ne prévoit pas l'emploi de granulats recyclés. L'EC2 propose l'expression suivante pour prédire le module d'élasticité à partir de la résistance à la compression [GEO 13] :

$$E = 17553(f_c/10)^{0.42} \quad [1]$$

Avec E : Module de déformation et f_c : résistance à la compression.

Les valeurs de module de déformation déterminées à partir des essais restent proches de celles données par l'expression de l'Eurocode 2.

6. Conclusion

Les résultats présentés dans cette étude ont montré que les caractéristiques du béton à base de granulats recyclés sont certes plus faibles que celles d'un béton ordinaire mais restent acceptables et peuvent être utilisés dans les bétons. De plus, on ne peut nier aujourd'hui qu'au rythme de la consommation actuelle des granulats et compte tenu de la nécessité de préservation des sites naturels, les ressources naturelles peuvent devenir rares. Ainsi, le recyclage du béton issu de la démolition constitue une des solutions à envisager surtout qu'il offre plusieurs avantages tels que la minimisation de l'impact CO_2 liées aux transports des granulats et la fabrication du ciment par la récupération de la pâte de ciment potentiellement utilisable, après traitement, dans la production de nouveau ciment ou de tout autre type de liant hydraulique. Toutefois, des études approfondies des nouveaux bétons recyclés doivent être réalisées pour comprendre le lien entre les propriétés des bétons et des granulats issus du recyclage. Enfin, un effort être porté sur le "tri sélectif" visant à séparer les différents déchets inertes générés par la déconstruction pour éviter leur mélange.

7. Bibliographie

- [AIS 11] Assia D.T. « Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach », *Construction and building materials* 2011.
- [CAS 08] Casuccio M., Torrijos M.C., Giaccio G, Zerbino R. « Failure mechanism of recycled aggregate concrete », *Construction and Building Materials* vol 22, 2008, p. 1500–1506.
- [CHA 90] Charonnat Y., Marsot A., Pitsch C., « Recyclage du béton de ciment », *Bulletin de Liaison Ponts et Chaussées, spécial XVI, Chaussées en béton*, 1990.
- [COR 10] Corinaldesi V., « Mechanical and elastic behavior of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates », *Construction and Building Materials* 2010, p.1616–1620
- [DRE 98] Dreux G., Festa, J., *Nouveau Guide du Béton*,. Paris Huitième édition. Eyrolles, 1990.
- [GEO 13] George W., Elhem G., «Eurocode 2 : Application aux bétons à graviers recyclés », *31èmes Rencontres de l'AUGC, E.N.S.* 2013, Cachan.
- [GOM 02] Gomez S.J.M.V., « Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate. An experimental study », *Cement and Concrete Research*, vol 32, 2002, p.1301– 1311.
- [GON 11] González FB., Martínez A.F, Carro LD., Seara PS., « Stress–strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate », *Construction and Building Materials*, vol 25, 2011, p. 2335–2342.
- [HAS 92] Hansen TC., « Recycling of demolished concrete and masonry », *In: RILEM 06. E et FN SPOON*, 1992, London.
- [KEN 11] Kenai S., Debieb F., 2011. « Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fins granulats de briques et de béton concassés », *Materials and Structures* vol 44, 2011, p.815–824.
- [PAD 09] Padmini A.K., Ramamurthy K., Mathews M.S., « Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete », *Construction and Building Materials*, vol 23, 2009, p. 829-836.
- [PED 14] Pedro D, de Brito J, Evangelista L, 2014, « Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete », *Construction and building Materials*, vol 71, 2014, p.141-151.
- [QUE 96] Québaud M., Caractérisation des granulats recyclés-Etude de la composition et du comportement de béton incluant ces granulats, Thèse de doctorat. Université d'Artois, France, 1996.
- [Tim 05] Tam V.W.Y, 2005, « New approach in measuring water absorption of recycled aggregates », *Construction and Building Materials*, vol 35, 2005, p. 1195-1203.
- [Top 04] Topçu I. B., Sengel S., « Properties of concretes produced with waste concrete aggregate », *Cement and Concrete Research*. vol 34, 2004, p. 1307-1312.