

# Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons

Nouredine ARABI & Layachi BERREDJEM

Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12 Annaba 23000, Algérie

Auteur correspondant : nourredine\_arabi@yahoo.fr

## Résumé

Le recyclage des matériaux de démolition répond aux soucis de préserver ou d'économiser les granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers. Cette entreprise va aussi dans le sens de la promotion du respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages de gravats. Cependant, leur utilisation en tant que granulats pour le béton pose problème du fait de leur forte porosité qui se traduit par une absorption d'eau de gâchage (contrôle des propriétés du béton frais délicate) et par voie de conséquence diminution de la résistance et la pérennité du béton.

L'intérêt de ce travail expérimental est de valoriser les granulats issus des bétons de démolition. Des tests de caractérisations physiques et mécaniques sur les granulats recyclés (sable et gravier) comme granulats de substitution ont été effectués pour la mise en conformité avec la norme. Des compositions de bétons ont été testées avec différentes compositions (naturels/recyclés) différents rapports gravier/sable avec ou sans fluidifiant. Les propriétés des bétons frais et durcis sont déterminées. Les granulats recyclés peuvent fournir un béton de résistance caractéristique à 28 jours nettement supérieure à 20 MPa. Le choix de béton incluant des combinaisons en granulats (naturels/recyclés) est proposé pour certaines applications.

**Mots-clé :** Granulat ; Béton recyclé ; Absorption ; Résistance à la compression

## Abstract

The demolished materials recycling responds to concerns conserve or to economize natural aggregates for the requirements to functioning of building sites. The project aim is also to protect environment by reducing uncontrolled dump sites of rubble. Nevertheless, the use of this kind of aggregates may cause problems, due to their high porosity which resulting an absorption of mixing water (difficulty to control of concrete fresh properties) and consequently a decrease the strength and durability of concrete.

This experimental work is conducted in order to recover aggregates resulting from demolished concretes. Tests of physical and mechanical characterization of recycled aggregates (sand and gravel), were performed in order to set up compliance to the standardization. Concretes of different granular combinations (natural/recycled) with and without addition of superplasticizer are composed, as well as application of various ratios (gravel/sand).

Also, the properties of these kinds of concretes were tested in fresh and hardened forms. The application of the recycled aggregates resulted in an evidence that they can be providing a concrete with resisting characteristic of 28 days quite higher than 20 MPa. The combinations of natural/recycled aggregates can be considered for certain applications without major risk.

**Keywords :** Aggregate; Recycled concrete; Absorption; Compressive strength

## Introduction

Les chantiers de déconstruction génèrent une grande diversité de déchets et leurs éliminations sont souvent onéreuses. Les déchets inertes sans pollution de l'environnement et sans influence sur la santé humaine constituent une pollution visuelle. Ils sont admis en installation de stockage de classe 3 selon la directive européenne relative aux déchets inertes.

Les pays en voie de développement dont l'Algérie accusent un retard énorme dans la gestion de pareils déchets ; ils sont le plus souvent abandonnés dans des décharges sauvages causant un impact sur l'environnement. Dans la perspective de développement durable, il est souhaitable de penser recyclage des gravats [1, 2, 3]. La majorité des applications de granulat recyclés issus de produits de démolition trouvent essentiellement des débouchés dans le domaine routier, mais une meilleure connaissance du comportement des bétons incluant de tels granulats peut contribuer au développement de cette application [4, 5]. Cependant, les travaux menés sur les matériaux de démolition en tant que granulats de substitution ne sont pas ou peu concluants. Ils sont considérés comme "granulats hors normes". On les suspecte d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons [6, 7]. La forte absorption d'eau par les granulats recyclés est attribuée à la présence de vieux mortier collé aux granulats [8]. D'autres part, la qualification et la valorisation des matériaux de démolition dépendent de la teneur en matières polluantes (plâtre, bois, plastique, papier,...) et leur acceptabilité est fixée par rapport à leur niveau en contaminants [9]. Ceci ne peut être amélioré que par un traitement avant élaboration des granulats recyclés.

En Algérie, une utilisation abusive d'une ressource non renouvelable de granulats naturels est constatée même pour la production d'éléments simples tels que trottoir. Pour cet usage, les matériaux de démolition peuvent constituer une alternative 'économique et écologique'.

L'objectif de cette étude expérimentale est de valoriser les granulats issus des bétons de démolition pour la fabrication d'un béton hydraulique. Des tests de caractérisations physiques et mécaniques sur les granulats recyclés (sable et gravier) comme granulats de substitution, ont été effectués pour la mise en conformité avec la norme. Plusieurs variantes entre types de granulats (naturels-recyclés) et formulations à différents rapports Gravier/Sable (G/S) ont été testées. L'influence de ces recyclés sur les propriétés du béton frais et durci a été aussi étudiée.

## 2. Procédures expérimentales

### 2.1 Matériaux utilisés

- Le ciment employé pour cette étude est de classe CEM II 42,5.
  - Sables de fraction 0/5, roulé, naturel concassé et sable de béton recyclé
  - Graviers de fractions 5/12,5 et 12,5/20 : naturel et recyclé.
- Conformément aux normes XP P 18-545 et EN 12 620 relatives à l'analyse des granulats, des caractéristiques physiques sont mesurées (tableau 1). La caractérisation mécanique (fragmentation et usure) est déterminée par les essais Los Angeles et Micro-Deval (tableau 2).

### 2.2 Méthodologies d'essais

Trois séries de béton sont réalisées (tableau 3). La première concerne une combinaison variable des granulats (sable - gravier) entre naturels et recyclés, la deuxième série comporte les mêmes bétons que la première mais adjuvantée avec un superplastifiant SP 40 (Granitex Algérie) et la troisième série porte sur la variation du rapport gravier/sable de 1 à 3 avec un pas de 0,5 pour deux dosages en ciment 300 et 400 kg/m<sup>3</sup>. L'étude porte sur deux types de bétons : naturel (BN) composé de granulats naturels et recyclé (BR) à granulats entièrement recyclés. La résistance en compression est déterminée sur des éprouvettes cubiques de 10 cm de côté aux échéances 7, 14, 28 et 90 jours de durcissement pour les séries 1 et 2 et à 28 j pour la 3ème série.

## 3. Résultats et interprétations

L'absorption d'eau des granulats recyclés est pratiquement inévitable et affecte le comportement rhéologique du béton frais. Cette absorption est constatée dans les compositions avec granulats recyclés (figure 1).

**Tableau 1. Caractéristiques physiques des granulats utilisés**

Caractéristiques	Unité	Sable Roulé	Sable Naturel concassé	Sable Recyclé	Gravier Naturel concassé		Gravier Recyclé	
d/D	mm	0/0,8	0/5	0/5	5/12,5	12,5/20	5/12,5	12,5/20
Finesse (MF)		1,3	2,9	2,4			--	
Coef. d'aplat.	-				18,8		10,1	
P :Propreté Superficielle	%		-		92,5	96,3	97,7	99
ES :Equiv de sable	%	82,4	81,9	65,4			-	
VB:Bleu de Méthylène	%	-	0,33	0,17			-	
Teneur en Eau	%	0,25	1,29	3,13	0,02	0,03	0,85	0,90
Absorption d'eau	%	0,50	1,91	7,09	0,73	0,46	6,25	5,36

**Tableau 2. Caractéristiques mécaniques des granulats naturels et recyclés**

	Essai Micro-Deval (MDE)		Essai Los-Angeles (L.A)	
	G. Naturel	G. Recyclé	G. Naturel	G. Recyclé
Fraction (4 - 6,3)	18,4	36,5	--	--
Fraction (6,3 - 10)	24,04	38,6	31,4	38,88
Fraction (10 - 14)	--	--	30,58	36,52

**Tableau 3. Compositions granulaires des bétons**

Référence du béton	Sable roulé	Sable naturel (concassé)	Sable naturel rectifié	Sable recyclé	Gravier naturel	Gravier recyclé
BT1	+				+	
BT2			+		+	
B1				+		+
B2			+			+
B3				+	+	
B4		+			+	

Elle impose une quantité d'eau supplémentaire pour conserver une ouvrabilité plastique similaire. L'absorption est la conséquence de la présence d'une structure alvéolaire de l'ancien mortier collé aux granulats et ne peut être éliminée. Ces alvéoles captent l'eau et la retiennent. Les bétons BT2 et B4 constitués de sable naturel concassé l'un sans les fines et l'autre avec les fines, ont nécessité une quantité d'eau supplémentaire par rapport au BT1 pour donner un mélange ouvrable. Cela est dû à la structure de la surface de chaque sable : le sable roulé est de structure dense avec une surface lisse et, à l'inverse le sable naturel concassé est caractérisé par une structure anguleuse et, par conséquence, une surface spécifique plus importante. Les résistances à la compression des bétons représentées par la figure 2, montrent une évolution de la résistance en

fonction de la durée de durcissement pour toutes les compositions. Il est à noter que les cinétiques sont nettement différentes. Celles-ci sont liées en premier lieu au rapport E/C (eau/ciment) ; la cinétique est plus élevée pour les quantités d'eau plus faibles. De même, le granulat recyclé augmenta la cinétique. Les meilleures performances sont obtenues avec les bétons témoin BT1 et B3 qui sont formulés l'un avec un sable roulé et un sable recyclé pour l'autre avec un gravier naturel pour tous les deux. Les bétons BT2 et B4 présentent les plus faibles résistances qu'on attribue au rapport Eau/Ciment (E/C) qui est de 0,66 (béton conventionnel  $0,45 \leq E/C \leq 0,5$ ). Les bétons B2 et B3 avec graviers ou sable de recyclage ont des résistances légèrement meilleures que le béton BT2 (quantité d'eau voisine).

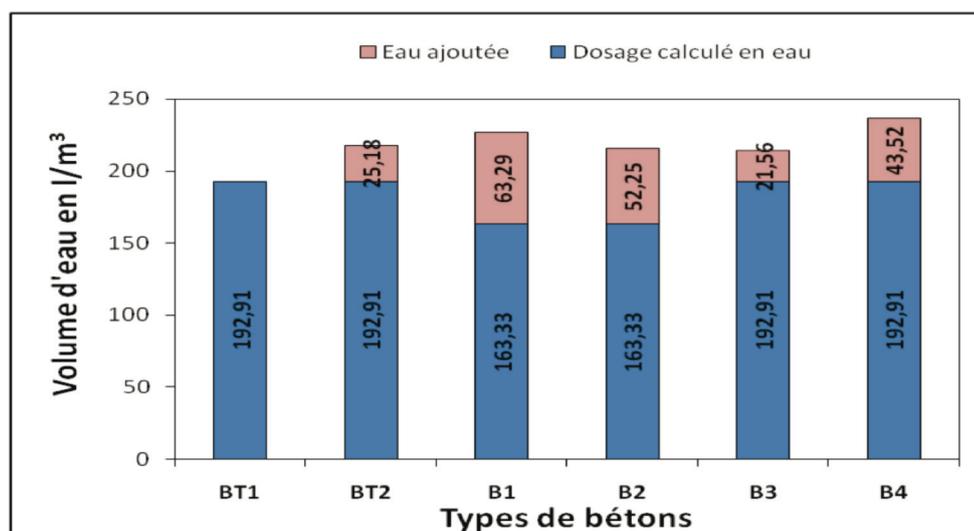
**Figure 1. Dosage total en eau des différents bétons**

Figure 2. Evolution des résistances des bétons non adjuvés

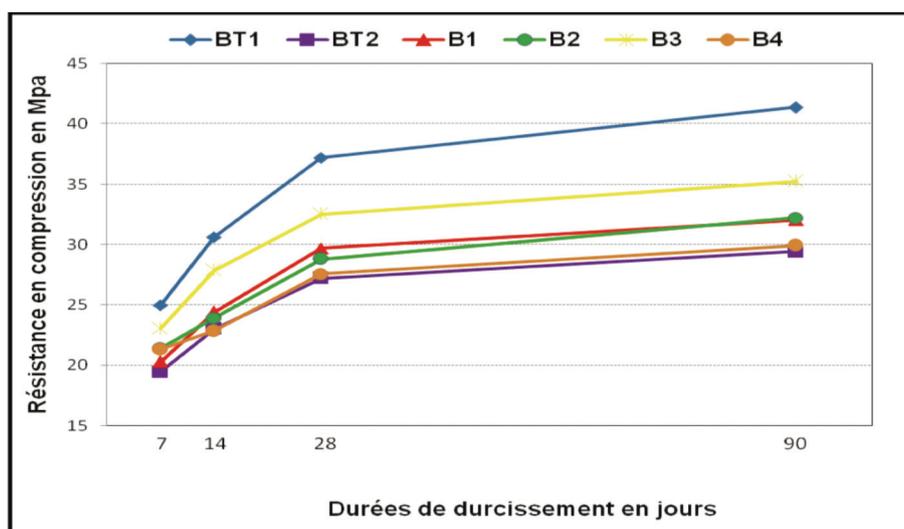


Figure 3. Variation des quantités de superplastifiant et d'eau pour les bétons avec et sans adjuvés

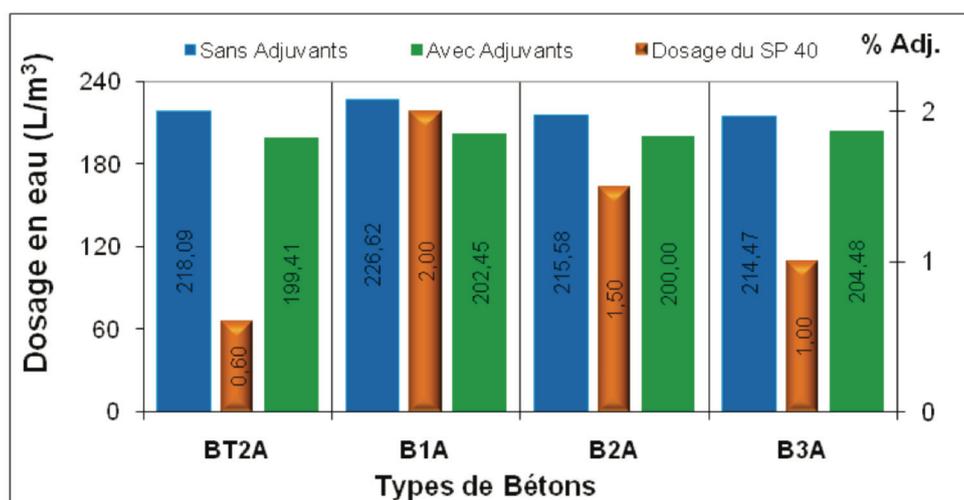
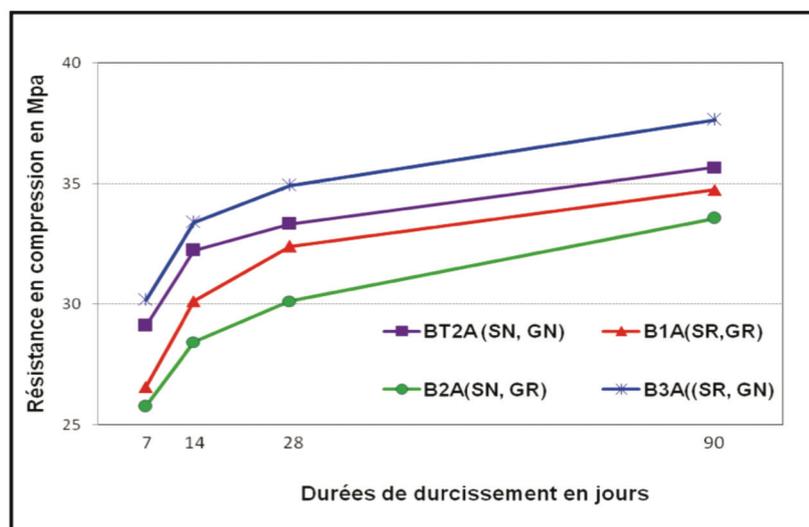
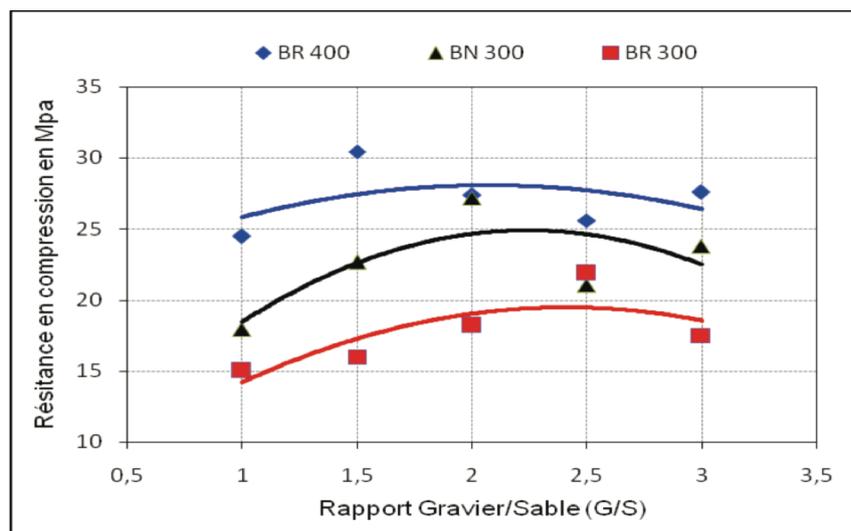


Figure 4. Evolution des résistances en compression des bétons adjuvés



**Figure 5. Evolution de la résistance en fonction du rapport G/S**

L'introduction d'un adjuvant type superplastifiant pour diminuer la quantité d'eau n'a pas apporté l'effet escompté. La nature des granulats a influencé les seuils de saturation en superplastifiant, le plus faible taux est obtenu pour le béton composé de granulats naturels (BT2A) et le plus fort pour un béton de granulats recyclés (B1A). Malgré cette différence de taux, la quantité d'eau n'a pas diminué très significativement, elle est de 9% et 12% respectivement, comme le montre la figure 3. La dimension granulométrique des granulats recyclés a également une influence aussi sur ces seuils. Les bétons B2A et B3A avec gravier recyclé nécessitent plus de superplastifiant que les bétons avec sable recyclé. Ceci laisse supposer que l'adjuvant dilué dans l'eau sera plus absorbé par les graviers que par les sables.

L'évolution des résistances en compression des bétons adjuvantés est représentée par la figure 4. Les cinétiques d'évolution des résistances dans le temps des bétons sans adjuvant sont supérieures à celles des bétons adjuvantés, ce comportement est dû à un effet secondaire du superplastifiant. Il est à noter qu'après 7 jours de durcissement, tous les bétons adjuvantés sont au-delà de la résistance visée à 28 jours (20 MPa). Le béton B3A présente la meilleure performance ; ceci est dû à la qualité intrinsèque du granulats naturels et au module de finesse du sable recyclé (meilleur qu'un sable naturel concassé). Les performances mécaniques les plus faibles sont enregistrées par le béton B2A à base de sable naturel et gravier recyclé, configuration qui a nécessité une quantité importante d'eau de gâchage et un dosage en superplastifiant important.

L'évolution de la résistance en compression à 28 jours en fonction du rapport Gravier/Sable (G/S) et pour les dosages en ciments 300 et 400 kg/m<sup>3</sup> pour les bétons BN et BR, est représentée par la figure 5. Le béton normal dosé de 300 kg/m<sup>3</sup> (BN300) présente un maximum de résistance pour la valeur de G/S=2 ; ceci confirme les

résultats admis dans différents articles concernant l'influence de ce paramètre sur la résistance.

Les recommandations préconisent ce taux dans le cas d'un béton normal [11]. Au-delà de cette valeur, une diminution de la résistance est constatée à cause d'une probable apparition de ségrégation due à un manque de mortier. Ceci va dans le même sens des résultats obtenus dans d'autres études [9]. Les bétons de granulats recyclés BR300 et BR400 dosés respectivement à 300 et 400 kg/m<sup>3</sup> présentent une évolution semblable à celle obtenue pour le béton BN300. Cependant, les meilleures résistances ne sont pas obtenues pour le même rapport G/S. La résistance du béton recyclé chute dès que le rapport G/S dépasse 2,5 pour le béton dosé à 300 kg/m<sup>3</sup> et 1,5 pour un béton dosé à 400 kg/m<sup>3</sup>. Cet effet est induit par la quantité d'eau nécessaire. Une augmentation de ciment a pour conséquence une diminution du rapport E/C et, par voie de conséquence, par une augmentation de résistance. D'autre part l'augmentation du rapport G/S fournit un excédant de volume en gravier par rapport à celui du sable : la surface spécifique des granulats diminue, laquelle détermine la quantité d'eau nécessaire pour humidifier tous les granulats. Celle-ci se trouve en excès lorsque le rapport G/S croît d'où une chute de la résistance.

## Conclusions

- La caractérisation exacte des granulats recyclés est délicate à cause de la présence aléatoire et inévitable du vieux mortier collé aux granulats.
- Le fort taux d'absorption d'eau des granulats recyclés complique la mise en œuvre d'un tel béton.
- L'utilisation des granulats recyclés, sous certaines réserves, permet d'atteindre une résistance caractéristique à 28 jours supérieure à 20 MPa, valeur cible de la formulation.

- Une composition granulaire mixte (naturels-recyclés), est envisageable dans la fabrication de béton non exposé aux agents agressifs.

- L'incorporation d'un superplastifiant SP40, n'a pas donné l'amélioration significative escomptée sur le dosage en eau ou l'amélioration des performances mécaniques des bétons recyclés, contrairement aux bétons naturels. L'utilisation des adjuvants dans les bétons recyclés reste à étudier.

- L'augmentation du rapport G/S au-delà de 2 entraîne une discordance dans le squelette granulaire, la composition de béton se trouve ainsi déficiente en éléments fins et deviendra source de ségrégation.

### Remerciements

Les auteurs de l'article remercient vivement les responsables du laboratoire LTP Est Annaba (Algérie) pour l'aide apportée pour la réalisation des essais de caractérisation des granulats.

### Références

[1] G. Petkovic, C. J. Engelsen, A.O. Håøya, G. Breedveld, Environmental impact from the use of recycled materials in road construction: method for decision-making in Norway, *Resources, Conservation and Recycling*, 42 (2004) 249–264

[2] S. M. Levy, P.Helene, Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development, *Cement and Concrete Research*, 34 (2004) 1975–1980

[3] N.D. Oikonomou, Recycled concrete aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 27 (2005) 315–318

[4] F. Buyle-Bodin, R.H. Zaharieva, Influence of industrially produced recycled aggregates on flow properties of concrete, *Materials and Structures*, 35 (2002) 504-509

[5] C. S. Poon, D. Chan, The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong', *Resources, Conservation and Recycling*, 50 (2007) 293-305

[6] E. Wirquin, R.H. Zaharieva, F. Buyle-Bodin, Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité - Application aux bétons de granulats recyclés, *Materials and Structures*, 33 (2000) 403-408

[7] T.Y.Tu, Y.Y. Chen, C.L. Hwang, Properties of HPC with recycled aggregates, *Cement and Concrete Research*, 36 (2006) 943–950

[8] M. S. Juan, P.A. Gutiérrez, Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, *Construction and Building Materials*, 23 (2009) 872-877

[9] H. Hussain, D. Levacher, Recyclage de béton de démolition dans la fabrication des nouveaux bétons', *Proceeding, XXIemes Rencontres Universitaires de Génie Civil*, La Rochelle, France, vol. 1 [10] (2003) 425-432

[10] G. Dreux, J. Festa, Nouveau guide du béton et ses constituants, Edition Eyrolles, 8eme édition, 1998

[11] A. M. Neville, Propriétés des bétons, Edition Eyrolles, (2000)