
Les granulats recyclés humidifiés : comportements des bétons frais et durcis

Meftah Houria^{1*}, Arabi Nourredine¹

¹ Laboratoire Génie Civil, Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12, 23000 Annaba, Algérie

* meftah.houria@yahoo.fr

RESUME. Cette étude concerne la valorisation des déchets de la déconstruction comme source de granulats pour le béton hydraulique par soucis de manque de granulats naturels. Les bétons de démolition sont de caractère absorbant et dans cette optique une série de voies ont été entreprises pour solutionner ce caractère. Celle-ci porte sur l'influence de l'état de l'humidification des graviers recyclés sur les comportements des bétons frais et durcis. Plusieurs variantes de substitution des graviers naturels ont été testées. Les graviers recyclés ont été utilisés à l'état sec, avec un prémouillage préalable et dans un état saturé d'eau. Les résultats obtenus font ressortir des perspectives intéressantes pour l'utilisation des bétons de granulats recyclés.

ABSTRACT. This study concerns the reuse of demolished concrete as a source of aggregate for concrete to resolve of lack to natural aggregates. Recycled aggregates have of absorbent characteristic and in this context a number of approaches have been undertaken to solve this character. This work concerns on the influence of the state of humidification of recycled aggregates on the behaviors of fresh and hardened concretes. Several variants of substitution of natural aggregates were tested. Recycled aggregates were used in the dry state, with a prewetting prior and in a waterlogged state. The results show promise for the use of recycled aggregate for concretes.

MOTS-CLÉS : granulats recyclés – absorption- ouvrabilité - résistances mécaniques.

KEYWORDS: recycled aggregates - absorption-workability - mechanical strength.

1. Introduction

L'intérêt de réduire la consommation abusive des granulats naturels non renouvelables et la nécessité d'éliminer les gravats de démolition en quantités croissantes, constituent un des objectifs vis-à-vis des exigences soulevées par la prise en compte du développement durable dans le bâti. La solution passe par un remplacement même partiel des granulats naturels par des recyclés issus des matériaux de la déconstruction. Le recyclage se pose comme concept environnemental et économique à la fois.

L'utilisation des matériaux de démolition en tant que granulats de substitution posent parfois des problèmes de faisabilité contraignant une mise en œuvre correcte. Ils sont considérés comme "granulats hors normes". On les suspecte d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons (Gottfredsen *et al.*, 1993 ; Wirquin *et al.*, 2000 ; Tu *et al.*, 2006). Celle-ci se trouve compromise à cause d'une forte absorption d'eau par ces granulats recyclés. La forte porosité, en raison de la présence du vieux mortier collé aux granulats de démolition et surtout si leur granularité est fine, accentue davantage cette absorption (Berredjem *et al.*, 2009).

La majorité des applications de granulats 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 (Buyle-Bodin *et al.*, 2002 ; Hussain *et al.*, 2003). Et, ceci ne peut se faire que par la maîtrise des propriétés rhéologiques du béton frais. Dans ce contexte, le travail présenté apporte une contribution à la valorisation des déchets de la déconstruction comme source de granulats pour le béton hydraulique. Il permet de proposer un matériau gardant une morphologie correcte lors de sa mise en place. Des solutions sont proposées pour le caractère absorbant des granulats recyclés et qui peut être une entrave pour le comportement rhéologique si le béton subi une attente avant sa mise en œuvre.

2. Matériaux utilisés et méthodologie d'essais

2.1 .Matériaux utilisés

Le sable (0/5) : de dune (roulé), siliceux provenant de la région d'Annaba. Les fractions de gravier (5/10) et (10/20) : celles naturelles sont de nature calcaire provenant des carrières d'Oued El Aneb dans la région d'Annaba et celles recyclées sont obtenues de bétons de démolition. Les recyclés proviennent d'une démolition sélective où uniquement le béton est collecté. Conformément à la norme XP P 18-540 (AFNOR ,1994) relative à l'analyse des granulats, des caractéristiques physiques et mécaniques (de dureté), les résultats d'essais sont présentés respectivement dans les tableaux 1 et 2. Les analyses granulométriques du sable et graviers sont illustrées par la figure 1.

Les granulats recyclés humidifiés : comportements des bétons

Le ciment utilisé est de classe CEM/II 42.5 produit par la cimenterie de Hadjr Essoud (Skikda). Les propriétés physiques et mécaniques sont données dans le tableau 3.

Caractéristiques physiques des granulats	Sable 0/5	Gravier				
		Naturel		Recyclé		
		5/10	10/20	5/10	10/20	
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1,04	1,46	1,40	1,14	1,09	
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,56	2,66	2,54	2,28	1,98	
Module de finesse	1,27	-	-	-	-	
Equivalent de sable(%)	90,31	-	-	-	-	
Propreté des graviers	-	-	-	4,3	7,2	
Teneur en eau (%)	-	0,3	0,16	4,57	1,93	
L'absorption d'eau(%)	Après prémouillage	-	2,4	1,1	7,3	3,2
	Saturation après 24 h	-	4,3	2,4	9,8	5,3
	Saturation après 48 h	-	5,1	3,6	10,7	5,9

Tableau 1. Caractéristiques physiques des granulats utilisés

Composition du gravier	Essai Los Angeles	Essai de fragmentation dynamique	Essai Micro Deval
Naturel	24	15	24
20% recyclés	25	17	28
40% recyclés	27	19	31
60% recyclés	30	21	34
80% recyclés	32	22	35
100% recyclés	35	23	39

Tableau 2. Essais de dureté, coefficients déterminés sur la fraction 6,3/10

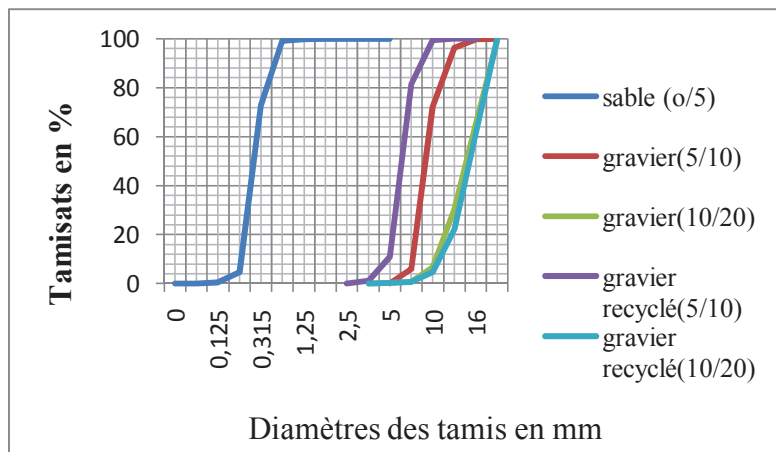


Figure 1. Courbes granulométriques des granulats utilisés

Caractéristiques	
Masse volumique apparent (g/cm ³)	1,02
Masse volumique absolue (g/cm ³)	3,130
Consistance normale (%)	28,5
Début de prise (h/mn)	2h 34mn
Fin de prise (h/mn)	6h 00
Classe de résistance (MPa)	42,5
Résistance vraie (MPa)	39
Surface spécifique (cm ² /g)	3200

Tableau 3. Propriétés physiques et mécaniques du ciment utilisé.

2.2. Méthodologie expérimentale

Les graviers recyclés, en remplacement à des taux de : 0, 20, 40, 60, 80 et 100% des graviers naturels, ont été utilisés dans la formulation des bétons à l'état sec, avec un prémouillage et l'état saturé d'eau. La méthode de formulation des séries de bétons est celle de Dreux-Gorisse (Dreux, 1998) en prenant un dosage en ciment constant de 350 kg pour 1m³ de béton (tableau 3) et une consistance plastique $A_f=7 \pm 2$ cm d'affaissement au cône d'Abrams. L'essai consiste à relever pour chaque mélange l'affaissement juste après le malaxage (T=0 mn) et après des temps d'attentes de 15, 30, 45 et 60 minutes. Avant l'essai le mélange subira un deuxième

malaxage pendant 1 mn juste après le temps d'attente. La résistance en compression sur des éprouvettes en cube (10x10x10) cm et la résistance en traction par fendage sur cylindre (Ø11x22) cm, sont déterminées après 28 jours de durcissement.

Constituants	Volume (litres)
Ciment	111,82
Eau	189,19
Sable	231,78
Gravier (5/10)	96,28
Gravier (10/20)	385,12

Tableau 3. La composition du béton

3. Résultats et discussion

3.1. Essais d'ouvrabilité

Les figures 2, 3 et 4 montrent l'évolution de la maniabilité qui est fonction du taux de substitution des graviers naturels par ceux recyclés. Ceux-ci sont utilisés respectivement à l'état sec, avec un prémouillage préalable et dans un état saturé d'eau.

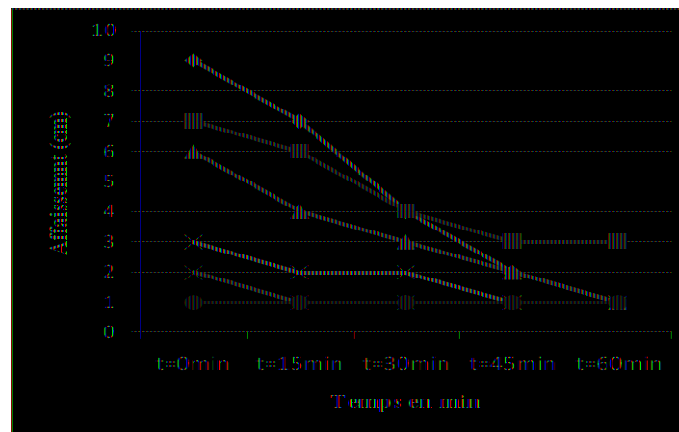


Figure 2. L'influence du taux de substitution des granulats recyclés secs sur la maniabilité.

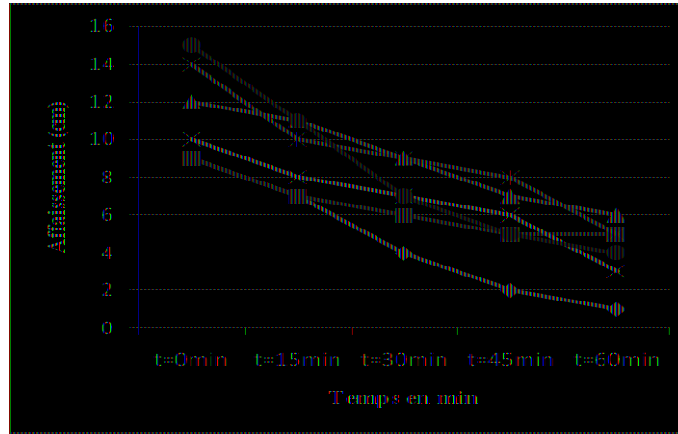


Figure 3. *L'influence du taux de substitution des granulats recyclés pré-mouillés sur la maniabilité.*

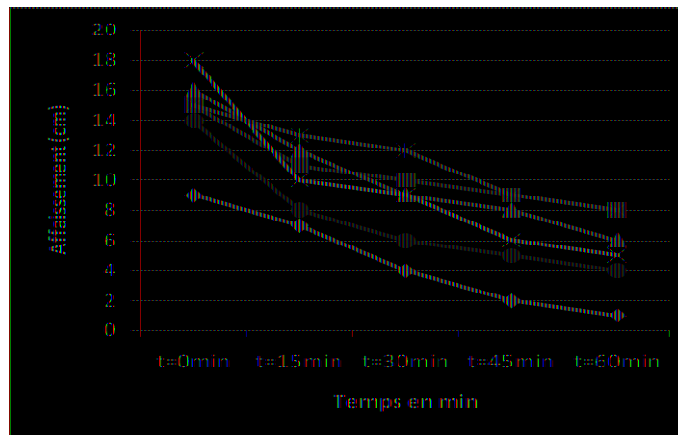


Figure 4. *L'influence du taux de substitution des granulats recyclés à l'état saturé d'eau sur la maniabilité.*

Pour le cas des granulats utilisés à l'état sec, en fonction du taux de remplacement et le temps de prise de l'essai d'affaissement, une diminution de la maniabilité est constatée (figure 2) et ceci pour tous les mélanges. Pour le mélange à 100% de granulats naturels qui sont compacts et ne sont pas sujet d'absorption, la

perte de maniabilité ne peut être due qu'à la cinétique d'hydratation du ciment qui est accompagnée de transformations physico-chimiques. Pour les séries de bétons en granulats recyclés donnent des affaissements au cône d'Abrams au temps T=0 bien inférieurs à l'affaissement fixé dans la formulation, ce qui indique une probable absorption par les granulats recyclés d'une partie de l'eau de gâchage. La perte de maniabilité s'accroît au cours de la période entre 15 et 30 min, ce qui laisse penser qu'un maximum d'absorption d'eau de gâchage s'est déroulé à cette période. Des essais d'absorption d'eau par les granulats recyclés soutiennent cette idée (tableau 4). Après 30 minutes, la perte de maniabilité semble s'atténuer avec l'hypothèse d'une restitution de l'eau vers le mortier après que celle-ci ait migré dans les granulats recyclés au cours des 30 premières minutes. Ceux-ci fournissent, au bout d'un certain temps, une partie de leur eau au mortier qui en perd de son côté par évaporation et hydratation. Ce cas a été observé avec l'utilisation des granulats légers (granulats poreux) dans le béton (Chandra et al., 2002).

Temps d'absorption d'eau	Taux d'absorption d'eau en %	
	Gravier recyclé 5/10	Gravier recyclé 10/20
à 15 mn	7,33	4,67
à 30 mn	6,92	3,44
à 45 mn	6,43	3,2
à 60 mn	6,1	3,92

Tableau 4. *Taux d'absorption d'eau par les granulats recyclés*

En utilisant les granulats recyclés préalablement prémouillés et totalement saturés par l'eau (figures 3 et 4) la maniabilité des séries de bétons est bien meilleure que pour le cas d'utilisation des granulats recyclés entièrement secs et elle devient trop plastique voire même mou pour certains mélanges à fort taux de recyclés. L'utilisation d'un prémouillage ou la saturation en eau des granulats recyclés donnent une maniabilité appropriée pour une mise en place sans gêne du béton frais à base de granulats recyclés et sans gros risque de raidissement de la pâte de ciment et ceci après 60 minutes d'attente après le malaxage.

3.2. Résistance à la compression

La figure 5 montre l'évolution de la résistance en compression à 28 jours en fonction du taux de remplacement des granulats recyclés et leurs humidifications. Le constat majeur qui se dégage pour cet essai, est que la résistance ultime en compression à 28 jours admise préalablement pour la formulation est atteinte pour tous les mélanges. On constate aussi, des améliorations de la résistance à la

compression par rapport au mélange témoin (graviers naturels 100%) sont obtenues pour les taux de substitution en graviers recyclés à 20 et 40%. Au-delà de 40% de recyclés les résistances diminuent et ceci est probablement lié aux caractéristiques intrinsèques des granulats recyclés.

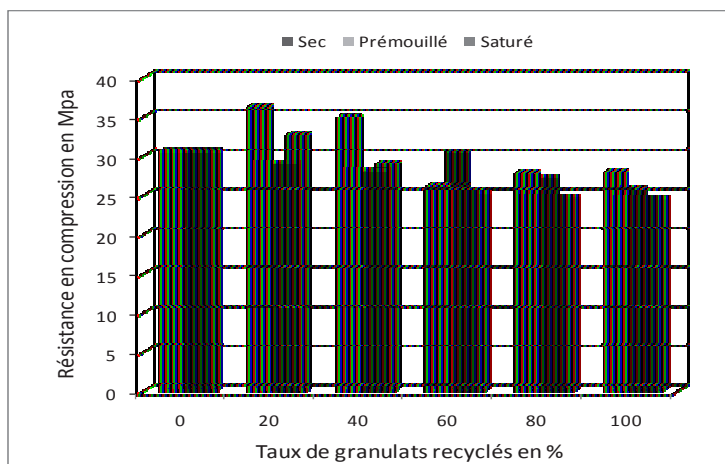


Figure 5. Résistance en Compression à 28 jours

Les graviers recyclés utilisés à l'état sec semblent donner des meilleures résistances en compression que s'ils étaient prémouillés ou saturés d'eau. Cette dernière option compromet les résistances si les mélanges sont à forts taux en recyclés et la résistance visée n'est pas atteinte. Cette figure départage les mélanges en deux catégories, la première se distingue par une franche désignation de l'utilisation des graviers recyclés à l'état sec comme meilleure pour la résistance avec une limite du taux à 40%, la seconde pour des taux supérieurs à 40% la supériorité de l'utilisation des graviers recyclés à l'état sec n'est pas mise en évidence de manière claire. Pour cette teneur et moins en graviers recyclés à l'état sec, l'excès d'eau de gâchage est absorbé par les granulats recyclés et les mélanges obtenus sont à tendance ferme en maniabilité et par conséquent une bonne résistance. Cette dernière tend à chuter et plusieurs paramètres se conjuguent : forte présence de granulats recyclés de caractéristiques physiques et mécaniques moindres, chute de maniabilité pour les uns (granulats sec) et une quantité d'eau en excès pour les autres (granulats prémouillés et saturés).

3.3. Résistance à la traction

Une similitude pour ce comportement à celui observé en compression est constatée, une meilleure résistance que celle du témoin est relevée à 20% de recyclés (figure 6). Les résistances en traction obtenues reflètent parfaitement les bonnes résistances obtenues en compression, ce qui traduit une répartition homogène des composants dans le volume de béton.

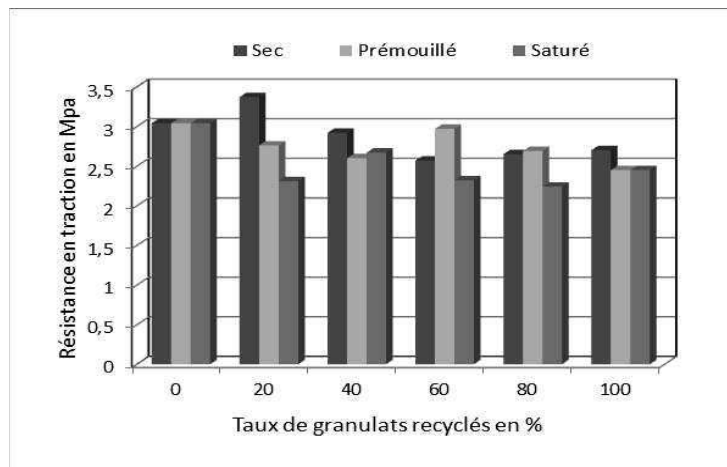


Figure 6. Résistance en traction par fendage à 28 jours

4. Conclusion

L'apport de cette étude permet de confirmer la possibilité de valorisation des déchets de démolition en tant que matériau substituable en partie au granulats naturel. L'intérêt qui se dégage dans cette perspective se doit d'abord d'être économe des ressources puisque le concept s'inscrit dans un cycle boucle (utilisation des ressources renouvelable).

Les enseignements tirés de cette étude :

- La présence de l'ancien mortier collé est aléatoire et inévitable, il faut le considérer comme caractéristique intrinsèque du matériau et composer avec.

- L'état de rugosité des granulats recyclés et qui s'accroît lors de la production des granulats (au cours du concassage) semble diminuer les propriétés d'écoulement du béton frais et par ceci le seuil de cisaillement augmente. Cette rugosité améliore l'adhérence entre granulats et mortier à l'état frais

- L'absorption d'eau par les granulats issus de la démolition est liée au volume de la présence de l'ancien mortier attaché aux granulats, elle pourrait rétrécir le champ d'application des bétons à base de granulats recyclés surtout vis-à-vis du gel-dégel.

- L'humidification préalable des granulats recyclés, assure une plasticité permettant une mise en œuvre adéquate sans avoir recours à une mise en place énergique. Celle-ci peut se dérouler facilement même si le béton risque une mise en attente de 1 heure, dans le cas où la cadence du coulage n'est pas au même niveau que l'approvisionnement en béton frais.

- Les résistances à la compression et à la traction diminuent lorsque l'inclusion en granulats recyclés augmente dans une composition de béton. Les graviers naturels peuvent être remplacés par des graviers de bétons de démolition à un niveau de 20 à 40% sans qu'il y ait de risque de perte de résistance mécanique.

5. Références

- Berredjem L., Arabi N., « Les matériaux de démolition une source de granulats pour béton : formulation et caractérisation d'un béton a base de ces recycles », *Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Built Environnement Infrastructures in Developing Countries*, ENSET Oran, Algeria (2009) 255-262.
- Buyle-Bodin F., Zaharieva R.H., « Influence of industrially produced recycled aggregates on flow properties of concrete », *Materials and Structures*, **35** (2002) 504-509.
- Chandra S., Berntsson L., *Lightweight Aggregate Concrete*, Noyes Publications, 406p, 2002.
- Dreux G, *Nouveau guide du béton et de ses constituants*, Edition Eyrolles, 1998.
- Gottfredsen F.R., Thogersen F., « Recycling of concrete in aggressive environment », *Proceedings of the Third International RILEM Symposium ,Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, Denmark 1993.
- Hussain H., Levacher D., « Recyclage de béton de démolition dans la fabrication des nouveaux bétons », *Rencontres Universitaires de Génie Civil*, La Rochelle, France, 2003.
- Norme française XP P 18-540, Granulats, Granulats pour béton hydraulique, spécifications, AFNOR 1994.
- Tu T. Y., Chen Y. Y., Hwang C.L., « Properties of HPC with recycled aggregates », *Cement and Concrete Research*, **36** (2006) 943-950
- Wirquin E., Zaharieva R H., Buyle-Bodin F., « 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.