
Etude de l'influence des granulats recyclés sur le comportement des bétons

Zine el abidine TAHAR*, **Adrien BOUVET**, **El-Hadj KADRI**, **Tien Tung NGO**,
Abdelhak KACI

Laboratoire de Mécanique et Matériaux du Génie Civil (L2MGC), Université de Cergy-Pontoise, 5, mail Gay-Lussac, Neuville-sur-Oise, 95031 Cergy-Pontoise,

**mail : zine-el-abidine.tahar@etu.u-cergy.fr*

RÉSUMÉ. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence du dosage de sable recyclé et des gravillons recyclés sur les propriétés à l'état frais et durcis du béton. Le programme expérimental a été effectué sur le béton réalisé avec différents taux de substitutions (15, 30, 70 et 100%) du sable et des gravillons par du sable et gravillons recyclés. Pour les propriétés à l'état frais, les mesures ont été effectuées pour l'affaissement, la teneur en air et de la masse volumique, à la sortie du malaxeur, puis après 30, 60 et 90 minutes. Des essais ont également été effectués pour une résistance à la compression à 1, 7 et 28 jours, alors que les mesures du module d'élasticité ont été réalisées à 28 jours. Les résultats ont indiqué que le maintien de l'ouvrabilité du béton de ciment recyclé dépend du taux de substitution des granulats recyclés. Les résultats ont montré qu'il y avait un optimum pour le pourcentage de sable recyclé qui est égal à 30%. Les gravillons n'affectent pas beaucoup le comportement à l'état frais des bétons. Les propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression et le module d'élasticité présentent moins de résistance en comparaison avec le béton de référence.

ABSTRACT. The objective of this paper is to investigate the influence of dosage of recycled sand and gravel on the fresh and mechanical properties of concrete. Experimental program was conducted on concretes made with different rates of substitutions (15, 30, 70 and 100%) of sand and aggregates with recycled sand and aggregate. For fresh properties, tests were conducted for slump, air content and density, at the exit of the mixer, and then at 30, 60, and 90 minutes after mixing. Tests were also performed for compressive strength at the age of 1, 7 and 28 days, whereas elastic modulus measurements were done at 28 days.

The results indicated that there was an optimum for the percentage of recycled sand which is equal to 30%. The gravels do not affect much the behavior of fresh concrete.

MOTS-CLÉS : Béton, sable recyclé, gravillons recyclés, maniabilité, teneur en air, résistance en compression.

KEY WORDS: Concrete, recycled sand, recycled gravel, workability, air content, compressive strength.

1. Introduction

Le besoin croissant de matériaux de construction provoque un épuisement des ressources naturelles. Ainsi, l'utilisation de granulats recyclés dans la fabrication de béton et de matériaux cimentaires est un moyen de répondre aux besoins tout en préservant l'environnement dans une approche durable.

Pour développer l'utilisation des matériaux cimentaires à base de granulats recyclés tels que le béton, il est nécessaire de connaître leurs propriétés mécaniques et leur faculté de mise en œuvre. Des études récentes montrent que le comportement, à l'état frais, du béton avec des granulats naturels dépend de plusieurs paramètres la nature des adjuvants, du dosage, de la nature des granulats, de leur dimension [1–4].

Les bétons fabriqués à partir de granulats recyclés ont été soumis à de nombreuses études. Cependant, il n'y a toujours pas de méthode standard pour quantifier l'influence de ces substitutions sur leurs propriétés rhéologiques et les propriétés mécaniques. Néanmoins, il est primordial de caractériser leurs propriétés physico-chimiques, qui diffèrent sensiblement des bétons avec des granulats naturels, afin d'élargir leur utilisation.

Afin d'étudier l'impact du type et du dosage des granulats recyclés sur les performances mécaniques et rhéologiques des bétons, l'étude a été menée sur des bétons réalisés avec un seul type de ciment et un seul adjuvant pour différents pourcentages de substitution (15, 30, 70 et 100%), d'une part, sur le sable, d'autre part, sur les gravillons.

2. Matériaux utilisés et programme expérimental

2.1. Matériaux utilisés

2.1.1. Sables

Dans ce travail de recherche, deux types de sable ont été utilisés : du sable « naturel » et du sable recyclé (nommés respectivement SN et SR par la suite). Les courbes granulométriques des sables utilisés sont représentées sur la Figure 1. Le SN a un coefficient d'absorption d'eau égal à 0,9% et un module de finesse de 2,25%. Le SR a un coefficient d'absorption d'eau égal à 1% et un module de finesse de 3,27%. Les modules de finesse ont été déterminés conformément à la norme NF EN 12620+A1.

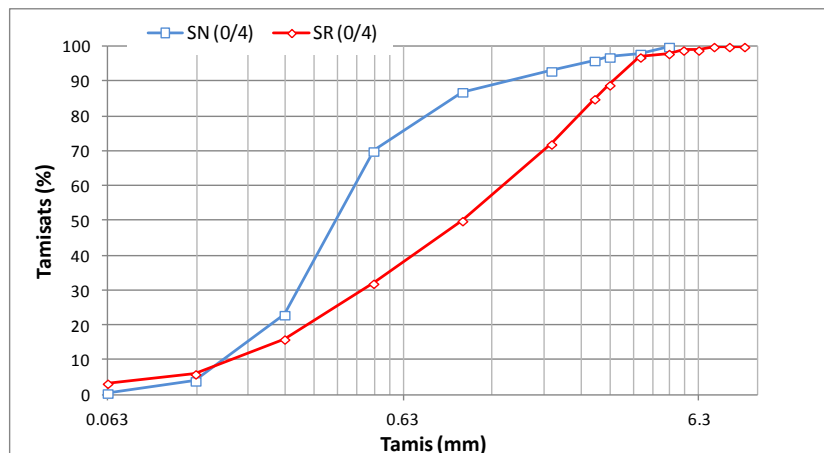


Figure 1. Courbes granulométriques des sables naturel (SN) et recyclé (SR).

2.1.2. Gravillons

Deux couples de gravillons ont été utilisés pour les expériences (4/10 et 10/20). Les gravillons ont d'abord été tamisés à travers un tamis de 4 mm pour éliminer les particules inférieures à 4 mm. Les courbes granulométriques des gravillons utilisés sont présentées sur la figure 2.

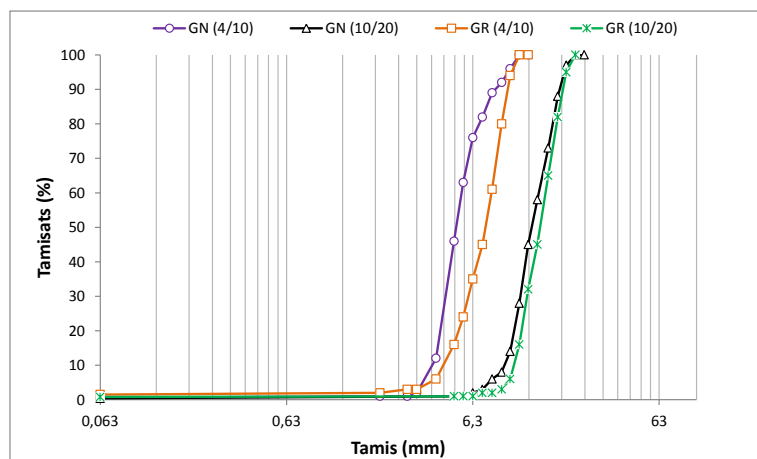


Figure 2. Courbes granulométriques des gravillons naturels (GN) et recyclés (GR).

Les gravillons recyclés 10/20 sont comparables aux gravillons naturels 10/20, contrairement aux sables.

Le tableau 1 présente le coefficient d'absorption d'eau des sables (SN et SR) et des gravillons (GN et GR) mesurées selon la norme NF 1097-6 au bout de 24 heures. Les valeurs obtenues sur les granulats recyclés sont beaucoup plus grandes, de l'ordre de 10 fois plus importantes, que celles obtenues sur les granulats naturels.

Tableau 1. Coefficient d'absorption d'eau des sables (SN et SR) et des gravillons (GN et GR).

Type du recyclé	Coefficient d'absorption d'eau (%)
SN (0/4)	0,9
SR (0/4)	10,0
GN (4/10)	0,5
GR (4/10)	5,1
GN (10/20)	0,4
GR (10/20)	5,7

Les granulats recyclés présentent globalement deux phases : les anciens granulats naturels et le vieux ciment adhérent aux granulats. Le vieux mortier de ciment est la principale cause de l'augmentation de l'absorption Gutiérrez [5].

2.1.3. Ciment

Dans cette étude, un seul ciment a été utilisé : le ciment CEM I 52,5R CE CP2 avec une finesse Blaine de 4520 cm² / g. Ces propriétés physiques sont données dans le tableau2.

Tableau 2. Propriétés physiques du ciment utilisé.

Ciment	(%)
C ₃ S	52,1
C ₂ S	21,0
C ₃ A	9,2
C ₄ AF	10,3

2.1.4. Adjuvant

L'adjuvant utilisé dans cette étude est compatible avec le ciment. Cet adjuvant est un superplastifiant haut réducteur d'eau, à base de polycarboxylate avec un contenu solide de 22,5%.

2.2. Programme expérimental

Dix formulations de béton ont été confectionnées. Tout d'abord un béton témoin (avec 0% de sable et de gravillons recyclés) a été réalisé. Les autres mélanges contiennent, soit, du sable recyclé avec un pourcentage de substitution de 15, 30, 70 et 100%, soit, du gravillon recyclé avec un pourcentage de remplacement des gravillons naturels de 15, 30, 70 et 100%. La quantité de ciment a été maintenue constante à 320 kg/m³. L'affaissement a été fixé à 200 ± 20 mm et l'adjuvantation a été modulée afin de le conserver. Par ailleurs les mesures d'affaissement ont été répétées 30, 60 et 90 minutes après la sortie du malaxeur. Les formulations des bétons sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3. Les formulations des bétons.

Mixture	Cement	SN	SR	GN (4/10)	GN (10/20)	GR (4/10)	GR (10/20)	SP	Eau	E/C		
	(kg/m ³)							(%)	(kg/m ³)			
0SR0GR	320	852		325	696			0,40	188	0,59		
15SR0GR		724	105					0,40	196	0,60		
30SR0GR		596	211					0,40	206	0,62		
70SR0GR		256	492					0,40	231	0,68		
100SR0GR			702					0,30	250	0,72		
0SR0GR	320	852		325	696			0,40	188	0,59		
0SR15GR				276	592			42	87	0,40	193	0,61
0SR30GR				227	487			84	173	0,58	200	0,64
0SR70GR				97	209			195	404	0,78	217	0,72
0SR100GR								279	578	0,78	230	0,78

3. Résultats et discussions

3.1. Propriétés des bétons à l'état frais

3.1.1. Maniabilité

Les Figures 3a et 3b représentent les valeurs des affaissements à T30; T60 et T90, respectivement pour le béton contenant du sable recyclé et gravillons recyclés.

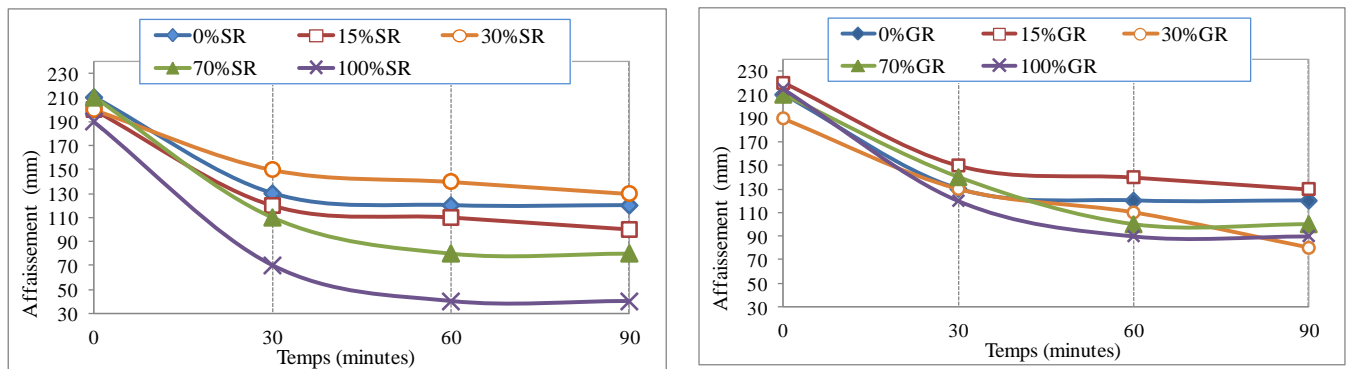


Figure 3. Variation de l'affaissement en fonction du temps et du pourcentage de sable et de gravillons recyclés

On peut observer à partir de la figure 3a qu'il y a une importante perte de maniabilité entre T0 et T30, de l'ordre de 30% et 65% par rapport au béton témoin. Cependant, au-delà de T30 la variation de l'affaissement n'est pas significative. Des tendances similaires ont été observées pour le béton contenant des gravillons recyclés (cf. figure 3b). Cela peut être attribué à l'adhérence du mortier sur les granulats recyclés. Effectivement, la texture de surface des granulats recyclés est plus poreuse. Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature [4,6–9].

3.1.2. Teneur en air

L'influence du sable et des gravillons recyclés à T0 et T90 sur la teneur en air des bétons est présentée dans les figures 4a et 4b.

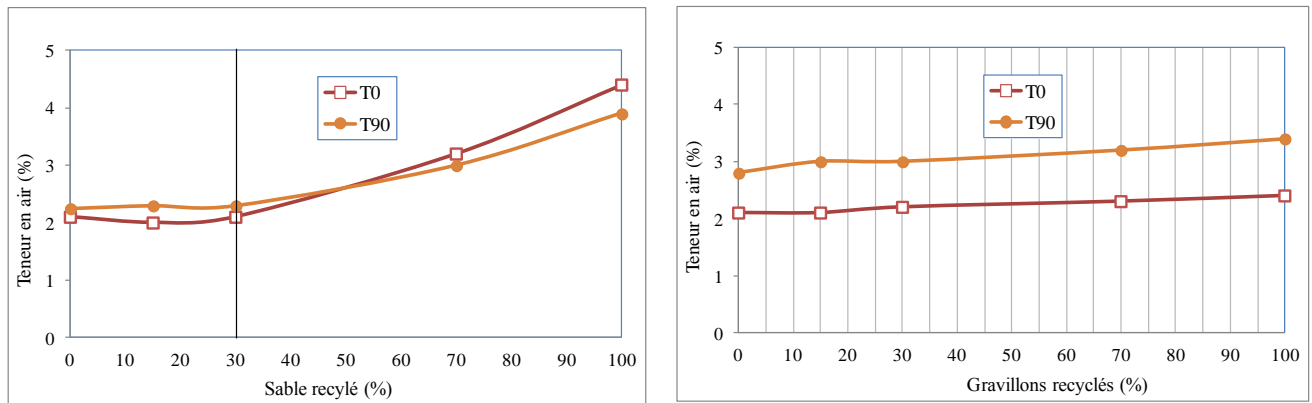


Figure 4. Variation de la teneur en air à T0 et T90 en fonction du pourcentage de sable et de gravillons recyclés

La figure 4a montre que la teneur en air reste stable jusqu'à 30% de substitution au-delà elle augmente rapidement pour atteindre deux fois la teneur en air du béton de référence. En effet, d'une part, le sable recyclé a une plus grande porosité que le sable naturel, d'autre part, la forme et la rugosité du sable recyclé empêchent les bulles d'air de s'extraire du béton même au cours de la phase de vibration [10].

La Figure 4b montre que l'augmentation de la teneur en air est peu impactée par la présence de gravillons recyclés. La faible augmentation de la teneur en air des bétons confectionnés avec des gravillons recyclés peut être expliquée par le fait que la taille de ces derniers est supérieure à celle du sable recyclé. Donc il y a moins de fines collées aux granulats

3.1.3. Masse volumique

L'influence du sable et des gravillons recyclés, à T0 et T90, sur la masse volumique du béton est présentée sur les figures 5a et 5b.

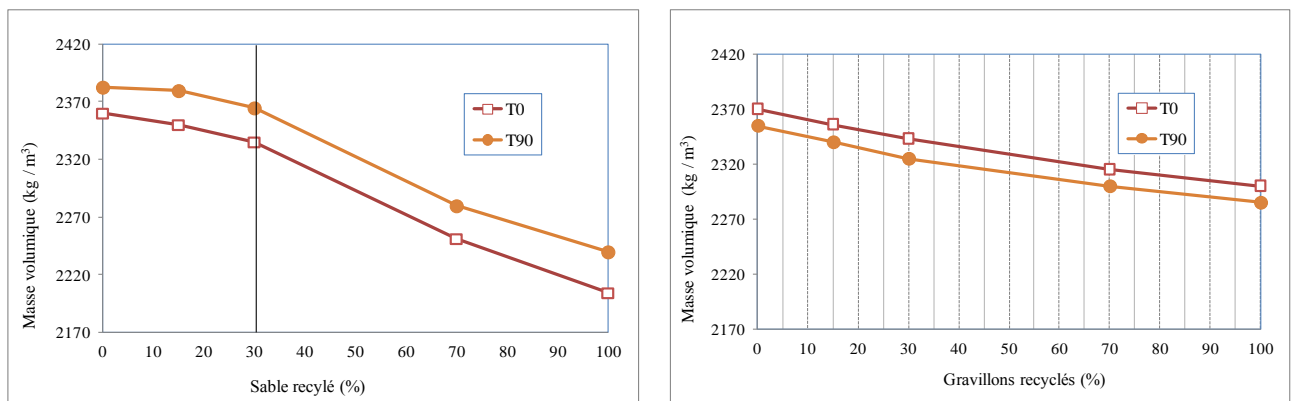


Figure 5. Variation de la masse volumique à T0 et T90 en fonction du pourcentage de sable et des gravillons recyclés.

On peut voir que la masse volumique diminue avec l'augmentation du pourcentage de granulats recyclés. Cela est dû à la nature légère et plus poreuse du vieux mortier collé aux granulats recyclés. Ces résultats confirment les résultats de la variation de la teneur en air, lorsque l'air contenu augmente la masse volumique diminue. En

outre, on peut observer que la masse volumique du béton avec 100 % de SR est de 6% inférieure à celle du béton témoin. Donc, pour avoir une faible masse volumique des bétons fabriqués avec du SR, similaire au béton naturel, il ne faut pas dépasser 30% de SR.

La réduction de la masse volumique des bétons confectionnés avec GR est dans la plage de 1% par rapport au béton de référence. Nous pouvons également utiliser le gravier recyclé avec différents pourcentages parce que sa masse volumique est approximativement similaire à celle du béton témoin. Quoi qu'il en soit, le choix du pourcentage de granulats recyclés dépend du type de construction.

3.2. Propriétés des bétons à l'état durci

3.2.1. Résistance à la compression

Les essais de résistance à la compression ont été réalisés sur des cylindres de 150 x 300 mm. Les résultats obtenus à 1, 7 et 28 jours (les éprouvettes étaient stockées à 95% d'humidité relative et 20°C) sont consignés sur les figures 6a et 6b.

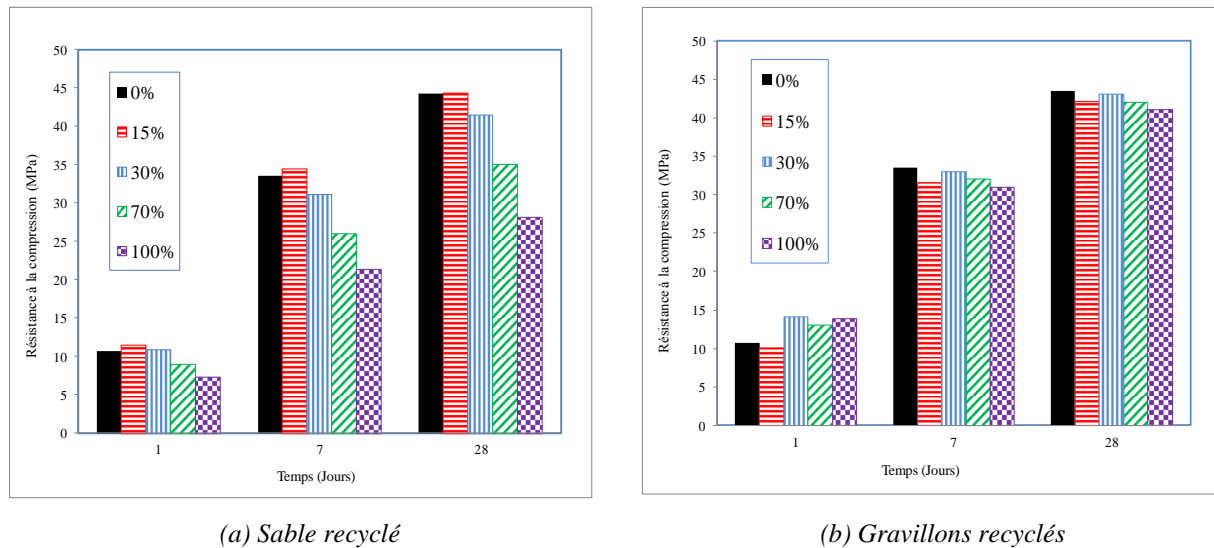


Figure 6. Variation de la résistance à la compression en fonction du temps et du pourcentage de sable et de gravillons recyclés.

Les résultats montrent que la résistance à la compression à l'âge de 1, 7 et 28 jours des bétons faits de sable recyclé diminue avec l'augmentation de la teneur en sable recyclé. Ceci est tout à fait logique vue l'augmentation de la teneur en air et la diminution de la masse volumique du béton lorsque le pourcentage de SR augmente[11]. De plus, la présence de l'ancien ciment collé sur les SR, d'une part, affaiblit la structure du mélange, d'autre part, l'interface facilite la rupture[12,13]. En revanche, en fonction de l'âge, la résistance à la compression augmente pour tous les bétons qu'ils soient fait avec du sable recyclé ou avec des granulats recyclés.

3.2.2. Module d'élasticité

Le module d'élasticité, à 28 jours, des bétons à base de sable recyclé et de granulats recyclés est présenté sur la figure 7. On peut voir sur cette figure qu'il y a une diminution quasi linéaire du module d'élasticité du béton à la fois avec le sable recyclé et les granulats recyclés. La diminution est de 30% avec le sable recyclé et de 20 % avec les gravillons recyclés. Des résultats similaires ont été rapportés par plusieurs auteurs [7,14,15].

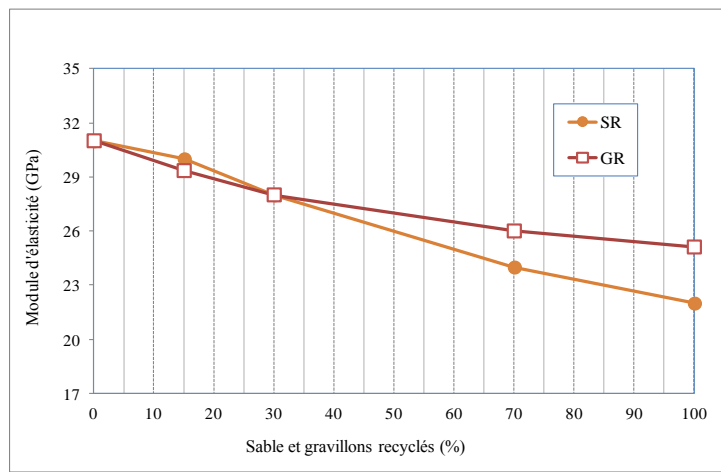


Figure 7. Variation du module d'élasticité à 28 jours en fonction du pourcentage de sable et de gravillons recyclés

4. Conclusion

D'après l'analyse des résultats expérimentaux on peut conclure :

- par rapport aux granulats naturels, les granulats recyclés ont une forte absorption d'eau (5,1 et 5,7% pour les graviers et 10% pour le sable);
- l'absorption d'eau des granulats recyclés diminue avec l'augmentation de la taille des granulats.
- l'affaissement a été maintenu au fil du temps pour le béton fabriqué avec jusqu'à 30% de granulats recyclés, mais au-delà de 30%, la perte d'affaissement pour les gravillons recyclés est non significative.
- par rapport au béton de référence (fabriqué avec des granulats naturels), la résistance à la compression du béton recyclé diminue avec l'augmentation du degré de substitution, mais il est légèrement inférieur pour les gravillons recyclés.
- la masse volumique du béton fabriqué avec des granulats recyclés est inférieure à celle du béton avec des granulats naturels. Un avantage dans la construction de structures où le béton léger est préférable.
- le module d'élasticité diminue aussi sensiblement avec l'augmentation dans le sable recyclé, mais légèrement pour les gravillons recyclés.

5. Bibliographie

- [1] O.H. Wallevik, J.E. Wallevik, Rheology as a tool in concrete science: The use of rheographs and workability boxes, *Cem. Concr. Res.* 41 (2011) 1279–1288. doi:10.1016/j.cemconres.2011.01.009.
- [2] B. Benabed, L. Azzouz, E.-H. Kadri, S. Kenai, A.S.E. Belaidi, Effect of fine aggregate replacement with desert dune sand on fresh properties and strength of self-compacting mortars, *J. Adhes. Sci. Technol.* 28 (2014) 2182–2195. doi:10.1080/01694243.2014.950625.
- [3] E. Vázquez, M. Barra, D. Aponte, C. Jiménez, S. Valls, Improvement of the durability of concrete with recycled aggregates in chloride exposed environment, *Constr. Build. Mater.* 67 (2014) 61–67. doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.11.028.
- [4] Z. Tahar, E.H. Kadri, T.-T. Ngo, A. Bouvet, A. Kaci, Influence of recycled sand and gravel on the rheological and mechanical characteristic of concrete, *J. Adhes. Sci. Technol.* 30 (2016) 392–411. doi:10.1080/01694243.2015.1101185.
- [5] M.S. de Juan, P.A. Gutiérrez, Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, *Constr. Build. Mater.* 23 (2009) 872–877. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.04.012.

- [6] A. Djerbi Tegguer, Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach, *Constr. Build. Mater.* 27 (2012) 112–116. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.08.018.
- [7] M. Chakradhara Rao, S.K. Bhattacharyya, S. V. Barai, Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete, *Mater. Struct.* 44 (2010) 205–220. doi:10.1617/s11527-010-9620-x.
- [8] C. Jolicoeur, M.-A. Simard, Chemical admixture-cement interactions: Phenomenology and physico-chemical concepts, *Cem. Concr. Compos.* 20 (1998) 87–101. doi:10.1016/S0958-9465(97)00062-0.
- [9] E.-H. Kadri, S. Aggoun, G. De Schutter, Interaction between C3A, silica fume and naphthalene sulphonate superplasticiser in high performance concrete, *Constr. Build. Mater.* 23 (2009) 3124–3128. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.06.026.
- [10] İ.B. Topçu, S. Şengel, Properties of concretes produced with waste concrete aggregate, *Cem. Concr. Res.* 34 (2004) 1307–1312. doi:10.1016/j.cemconres.2003.12.019.
- [11] M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí, M. Barra, Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cem. Concr. Res.* 37 (2007) 735–742. doi:10.1016/j.cemconres.2007.02.002.
- [12] B. González-Fonteboa, F. Martínez-Abella, Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. Materials and mechanical properties, *Build. Environ.* 43 (2008) 429–437. doi:10.1016/j.buildenv.2007.01.008.
- [13] A. Katz, Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, *Cem. Concr. Res.* 33 (2003) 703–711. doi:10.1016/S0008-8846(02)01033-5.
- [14] J.-Z. Xiao, J.-B. Li, C. Zhang, On relationships between the mechanical properties of recycled aggregate concrete: An overview, *Mater. Struct.* 39 (2006) 655–664. doi:10.1617/s11527-006-9093-0.
- [15] V. Corinaldesi, G. Moriconi, Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate, *Constr. Build. Mater.* 23 (2009) 289–294. doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.12.006.