

STUDY OF THE EFFECT OF THE ADDITION OF RUBBER AGGREGATES ON THE BEHAVIOUR OF SELF-COMPACTING SAND CONCRETE

H. Khelaifa^{*1}, Z. Boudaoud¹, A. Benouis²

¹Department of Civil Engineering, University of Oum El Bouaghi, Algeria

²Civil Engineering and Hydraulic Laboratory, University of 8 May 1945, Guelma, Algeria

Received: 31 May 2020 / Accepted: 27 August 2020 / Published online: 01 September 2020

ABSTRACT

This work mainly relates to promoting the use of concrete based on sand and the incorporation of rubber aggregates (0-1mm) from recycling of used tires in volume substitution of sand with rates of 10, 20 and 30% in order to obtain materials with low environmental impact. In order to meet this objective, an experimental approach was carried out, which consisted in incorporating different percentages of rubber aggregates in the formulation of sand concrete. These concretes are characterized in the fresh and hardened state in order to study the effect of adding these rubber aggregates on the properties of self-compacting sand concrete. The results found show that the fluidity of the SCSC (expressed by spreading with the Abrams cone and the flow at the V-Funnel) improves with the increase in the dosage of rubber aggregates and these values are located within the recommendations of the French Association of Civil Engineering. They also show that rubber particles can improve certain desired technical characteristics such as ductility.

Keywords: Sand concrete; Self-compacting; Rubber aggregates; Strength.

Author Correspondence, e-mail: khelaifahamad@gmail.com

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v12i3.22>



1. INTRODUCTION

Le béton de sable est un béton fin qui se distingue des bétons traditionnels par un fort dosage en sable, l'absence ou le faible dosage en gravillons. Il est destiné aux mêmes emplois que le béton traditionnel. Il est constitué principalement d'un mélange de sable(s), de ciment, d'eau, de fine d'ajout et éventuellement d'un ou de plusieurs adjuvants [1].

L'exploitation massive des granulats pour satisfaire une demande de plus en plus croissante notamment dans le domaine de l'infrastructure routière, en nette développement dans notre pays, rend possible une carence des gisements de granulats de gros calibres. La pénurie des gisements, en plus de l'impact des carrières sur l'environnement et sur les équilibres écologiques, nous contraint à penser à l'utilisation de nouveaux matériaux tel que le sable de dune qui est un matériau répandu, moins coûteux, mais peu utilisé en technique routière.

L'idée est donc d'utiliser un matériau dont le principal constituant est le sable et qui présente de bonnes caractéristiques mécaniques. Parmi les alternatives concevables, l'utilisation du béton de sable qui présente un intérêt sur le double plan économique et environnemental [2].

Dans ce travail on s'intéresse de valorisation des sables de dunes sahariennes qui existent en quantité inépuisable dans le sud du pays et les déchets de caoutchouc issus de recyclage de pneus usagés qui sont jetés dans des décharges à l'air libre, pour la fabrication des bétons de sable auto-plaçant. Afin d'évaluer certaines propriétés physico-mécaniques, nous avons opté pour l'incorporation de poudrettes de caoutchouc (0-1 mm) issus de recyclage de pneus usagés en substitution volumique du sable avec des taux de 10, 20 et 30%. L'influence de la proportion de ces poudrettes de caoutchouc utilisés sur les propriétés physique et mécanique du nouveau matériau a été étudiée et analysée.

2. MATERIAUX UTILISES

2.1 Sable

Le sable est le composant principal du béton de sable puisqu'il constitue son squelette. Dans notre cas il s'agit du sable de dune de la région d'El Oued Souf, Ses caractéristiques physiques sont regroupées dans le tableau1.

Tableau 1. Caractéristiques du sable utilisé

Caractéristiques	Valeurs
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.56
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.64
Module de finesse	1.2
Equivalent du sable	75

2.2 Ciment

Le ciment utilisé est un ciment de classe CPJ- CEMII/A 42.5, provenant de la cimenterie de Hadjar Soud (Wilaya de Skikda, Algérie), répondant à la norme algérienne NA 442/2000, sa masse volumique absolue est 3.15 g/cm³ et sa surface spécifique 3300 cm²/g.

La composition chimique du ciment utilisé est présentée dans le Tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques du ciment utilisé

Composition chimique	%	Composition minéralogique du clinker %	
SiO ₂	25	C3S	60
Al ₂ O ₃	5.5	C2S	17.5
Fe ₂ O ₃	3.3	C3A	8
CaO	60	C4AF	11
MgO	1.5		
SO ₃	2.15		
Na ₂ O	0.13		
K ₂ O	0.45		
Caol	1.3		

2.3 Poudrettes de caoutchouc

Les poudrettes de caoutchouc utilisés (PC), issus du broyage mécanique de pneus usagés, proviennent d'une manufacture située dans la ville de Sétif, ils sont utilisés en substitution volumique du sable. La dimension maximale de ces granulats est de 1.0 mm, leurs masses volumiques absolues et apparentes sont de 0.75 et 0.42 g/cm³ respectivement.

2.4 Adjuvant

C'est un superplastifiant (SP) haut réducteur d'eau « Medaplast SP40 » à base d'Éther

polycarboxylates, fabriqué en Algérie par la société GRANITEX implantée à Oued Smar. Sa densité absolue est de 1.2 et sa concentration en particule solide est de 40%.

Les courbes granulométriques du sable et des poudrettes de caoutchouc sont présentées sur la même figure pour faciliter la comparaison des deux distributions granulaires.

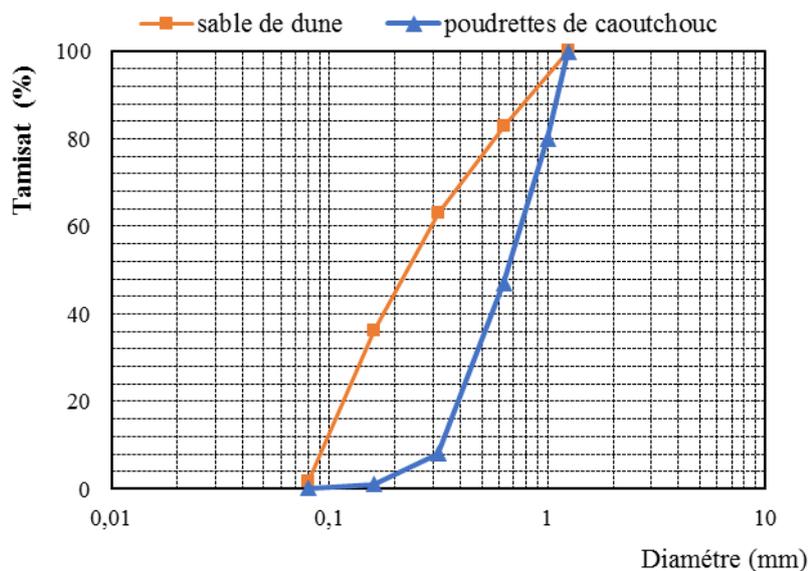


Fig.1. Courbes granulométriques du sable de dune et des poudrettes de caoutchouc



Fig.2. Poudrettes de caoutchouc 0/1 mm

3. FORMULATION DU BETON DE SABLE

Les bétons de sable étudiés sont confectionnés selon la méthode de formulation théorique de projet de Sablocrete [1], qui a donné pour un dosage en ciment de 400 kg/m^3 , 1307 kg/m^3 du sable, un rapport d'eau sur ciment de 0.8, un pourcentage d'adjuvant de 2% de poids de ciment. Comme indiqué dans le tableau 3,

Tableau 3. Composition du béton de sable auto-plaçant de référence

Composant	Quantité (kg/m ³)
Ciment	400
Sable	1307
Eau	320 litres
Adjuvant	8 kg

C'est à partir de cette composition que nous avons lancé une campagne de formulation des bétons de sable auto-plaçant incorporant des poudrettes de caoutchouc en substitution volumique du sable avec des taux de 10, 20 et 30% voir le tableau 4,

Tableau 4. Proportions des mélanges des bétons utilisés

Désignation du mélange	Teneur en caoutchouc (%)	Constituants (kg/m ³)				
		Ciment	Sable	Poudrettes de caoutchouc	Eau	Adjuvant
BSAP0	0	400	1307	0	320	8
BSAP10	10	400	1178.1	36.75	320	8
BSAP20	20	400	1047.2	74.25	320	8
BSAP30	30	400	916.3	111.75	320	8

4. LES TESTS

4.1 Etat Frais

Les essais caractéristiques sur béton frais ont été réalisés juste après le gâchage. Ce sont ceux recommandés par l'Association Française de Génie Civil [3] : l'étalement au cône d'Abrams conforme à la norme (NF EN 12350-8,10), l'écoulement à l'entonnoir V-Funnel conforme à la norme (NF EN 12350-9,10), Ils ont pour but d'estimer la fluidité des BSAP.

4.2 Etat durci

Les essais expérimentaux sont réalisés sur des éprouvettes prismatiques 4×4×16 cm³. Avant le remplissage des moules on applique un lubrifiant sur les parois. Les bétons de sable auto-plaçant n'ont subi aucune vibration. Toutes les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après la fabrication. Les éprouvettes ont été ensuite soumises à une cure dans l'eau pendant 28 jours et conservées à l'air libre pour les éprouvettes de retrait. Il est à noter que pour les

différents mélanges de béton, trois éprouvettes ont été utilisés pour effectuer chaque essai. Différents essais ont été effectués afin de déterminer les propriétés physico mécaniques des bétons d'étude en faisant varier le pourcentage des poudrettes de caoutchouc en comparant ceux-ci aux propriétés des bétons témoins à différentes échéances d'âges. La caractérisation des bétons à l'état durci est obtenue en exploitant les mesures de résistance en compression et en traction par flexion conforme à la norme EN 196-1 et NF EN 1015-11, l'absorption d'eau par capillarité conforme à la norme NF EN 480-5, le retrait conforme à la norme NF P15-433.

5. RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.1 Etats Frais

Etalement au cône d'Abrams

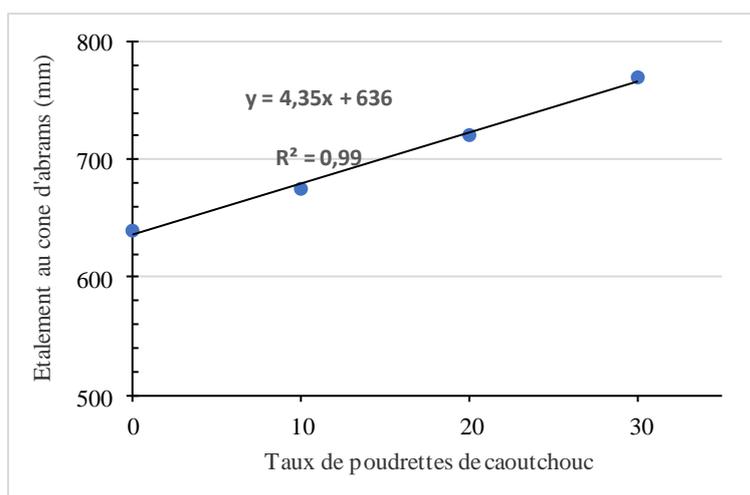


Fig.3. Relation entre le taux de poudrettes de caoutchouc et l'étalement au cône d'Abrams de BSAP

Les résultats présentés sur la figure3 montrent que tous les BSAP ont des valeurs d'étalement situées à l'intérieur de l'intervalle recommandé par la norme (NF EN 12350 – 8,10) Les étalement obtenus étaient compris entre 64 à 77 cm même en présence de poudrettes de caoutchouc. L'adjonction de granulats de caoutchouc dans des bétons de sable auto-plaçant (BSAP) entraîne une modification des propriétés à l'état frais, la modification la plus remarquable étant l'augmentation de l'étalement lorsqu'en augmente du taux d'incorporation. Cette même conclusion est tirée par de nombreux chercheurs [4,5].

Entonnoir en forme de V (V-Funnel)

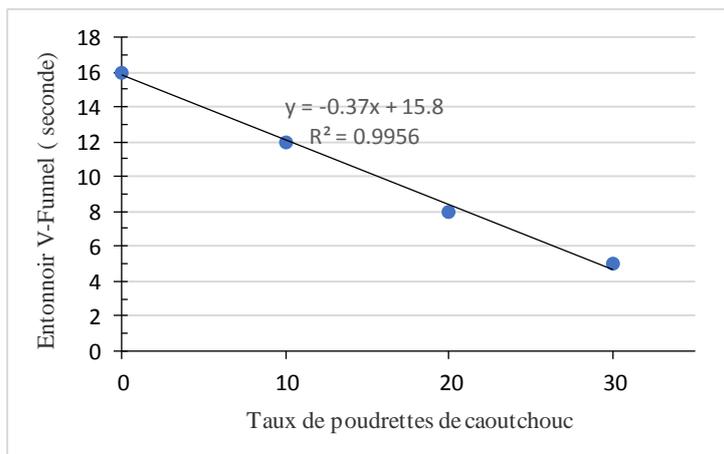


Fig.4. Relation entre le taux de poudrettes de caoutchouc et l'entonnoir V-Funnel de BSAP

Les résultats présentés sur la figure 4 montrent une diminution de temps de l'entonnoir V-Funnel avec l'augmentation du taux de poudrettes de caoutchouc. Les valeurs de temps de l'entonnoir V-Funnel situées à l'intérieur de l'intervalle recommandé par la norme (NF EN 12350 – 9, 10). Les valeurs de temps obtenus étaient comprises entre 5 à 16. Il est à noter que les résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par d'autres auteurs [6,5].

5.2 Etats durci

Résistance à la compression

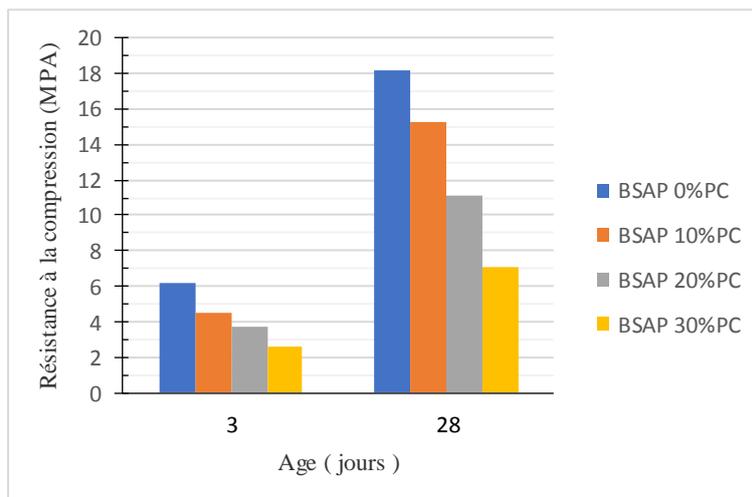


Fig.5. Résistance à la compression des bétons de sable autoplaçant (BSAP) à base des poudrettes de caoutchouc en fonction d'âge

La figure 5 montre l'évolution de la résistance mécanique à 3 et 28 jours en fonction du dosage de poudrettes de caoutchouc. La résistance à la compression augmente progressivement avec l'âge du béton (le béton de sable auto-plaçant atteint 35 % de sa résistance finale dans les 3 premiers jours). Cela est expliqué par le fait que dès les premières heures de sa fabrication, le béton gagne davantage d'hydrates qui sont responsable de sa résistance à la compression [7,8].

On remarque que la résistance à la compression diminue lorsqu'en augmente le dosage de Poudrettes de caoutchouc, pour un taux de substitution du sable de 10% fait diminuer la résistance à la compression de 27.15 % à 3 jours et de 16 % à 28 jours et pour un taux de substitution du sable de 20% fait diminuer la résistance à la compression de 39.52 % à 3 jours et de 38.46 % à 28 jours, pour un taux de substitution du sable de 30 % fait diminuer la résistance à la compression de 57.10 % à 3 jours et de 60.94 % à 28 jours. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par d'autres auteurs [9,10].

Résistance à la traction par flexion

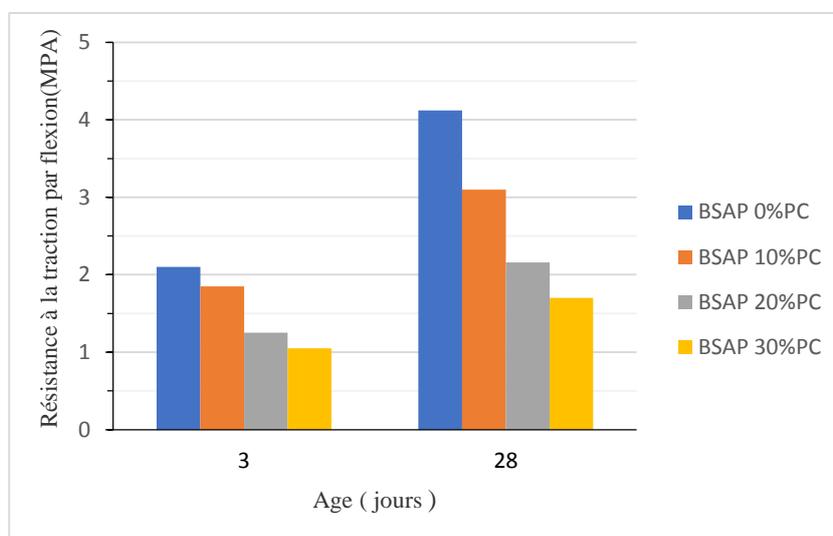


Fig.6. Résistance à la traction par flexion des bétons de sable autoplaçant (BSAP) à base des poudrettes de caoutchouc en fonction d'âge

La figure 6 montre que le gain de la résistance à la traction par flexion durant les trois premiers jours est très apprécié dans tous les bétons testés. Ce même comportement est observé dans la compression et qui est justifié par l'évolution rapide du phénomène

d'hydratation et la précipitation élevée d'hydrates formées au jeune âge.

On note également une chute systématique de résistance à la traction par flexion a été observée avec l'augmentation du taux de poudrettes de caoutchouc. Ces résultats obtenus sont similaires à ceux obtenus par d'autres auteurs [11,12].

Absorption d'eau par capillarité

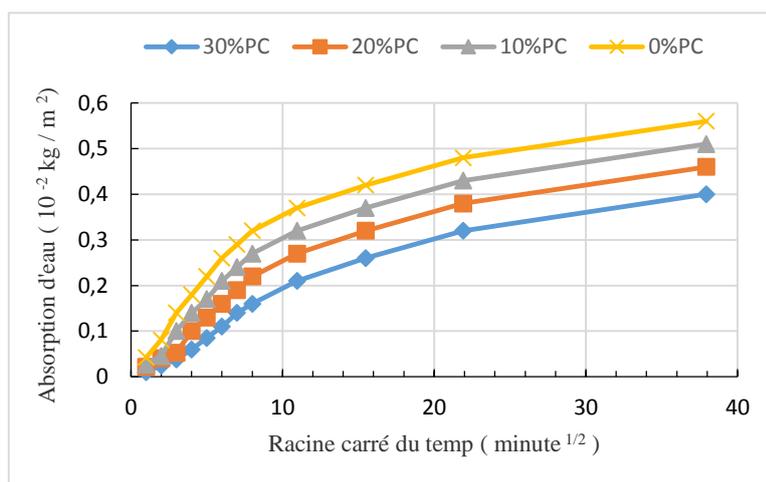


Fig.7. Valeurs de l'absorption d'eau par capillaire en fonction du temps de BSAP

D'après la figure 7, on remarque que l'absorption d'eau diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc dans le mélange. Après 24 h d'exposition, la quantité d'eau absorbée par les bétons BSAP 10%PC, BSAP 20% PC, BSAP 30% PC diminue de 10,71% ,19,64% et 30,35% respectivement par rapport à celui du béton de référence BSAP 0%PC.

Cette réduction peut être attribuée à la nature hydrophobe des particules de caoutchouc qui ont moins de pores ou moins de pores accessibles à l'eau (pores fermés ou capillaires très étroits qui repoussent l'eau). Ce comportement attendu a déjà été signalé par d'autres chercheurs [13,14].

Retrait

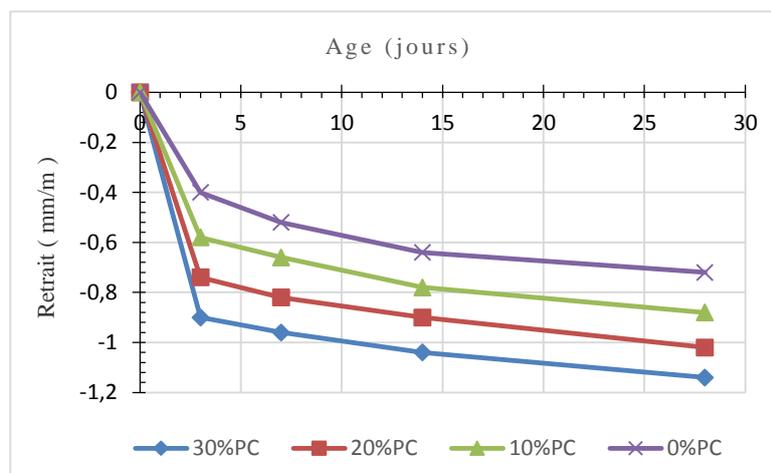


Fig.8. Retrait en fonction d'âge de BSAP

La figure 8 montre que les granulats de caoutchouc incorporés dans les mélanges étudiés augmentent le retrait à tous les âges avec l'augmentation de leurs teneurs. Les valeurs de retrait à 28 jours pour les bétons BSAP 0% PC, BSAP10%PC, BSAP 20% PC, BSAP 30% PC sont: -0.72 mm/m, - 0.88 mm/m, -1.02 mm/m, -1.14 mm/m respectivement.

Cette augmentation peut être dû à :

- la faible liaison entre le caoutchouc et la pâte de ciment et à la nature déformable des granulats de caoutchouc [15].
- la teneur en vide plus élevée introduite par l'incorporation des granulats de caoutchouc, qui aboutit à un béton poreux [16-18].

6. CONCLUSION

En se basant sur les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- La fluidité des BSAP s'améliore en fonction de l'augmentation du dosage des poudrettes de caoutchouc et ces valeurs sont situées à l'intérieur des recommandations de l'Association Française de Génie Civil [3].
- La résistance mécanique (en compression, en traction par flexion) diminue avec l'augmentation de la teneur des poudrettes de caoutchouc.

- L'absorption d'eau diminue avec l'augmentation de la teneur en caoutchouc dans le mélange
- Les poudrettes de caoutchouc incorporés dans les mélanges étudiés augmentent le retrait à tous les âges avec l'augmentation de leurs teneurs.

Les résultats obtenus nous encourageant d'utiliser le béton de sable auto-plaçant (BSAP) en technique routière au vu des avantages économiques et environnementaux.

7. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les personnes du laboratoire pour leur soutien tout au long de la réalisation de cette étude.

8. REFERENCES

- [1] Sablocrete. Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Paris 1994 : 235 pages.
- [2] Bederina, M. Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sables locaux : effets des fillers et de la nature des sables sur le comportement mécanique du matériau. Mémoire de Magister, Université Amar Thélidji, Laghouat. Octobre 2000. 110 pages.
- [3] Association Française de Génie Civil. Bétons Auto-plaçant. Recommandations provisoires, Documents scientifiques et techniques, juillet 2000.
- [4] Bharani Raj, J., Ganesan, N., Shashikala, A.P. Engineering properties of self-compacting rubberized concrete. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2011, 30(23): 1923-1930.
- [5] Garros, M. composites cimentaires incorporant des granulats de caoutchouc issus du broyage de pneus usagés : optimisation de la composition et caractérisation. Thèse de doctorat. Université Paul Sabathier-Toulouse. France. 12 juin 2007.
- [6] Ganesa, N., Bharati Raj, J., Shashikala, A.P. Flexural fatigue behavior of self-compacting rubberized concrete. *Construction and Building Materials*. 2013, 44: 7-14.
- [7] Bendjillali, K. et Makhloufi, Z. Etude de l'effet de la nature des granulats sur le comportement mécanique du béton en zones chaudes et arides « Contribution de la cure ».

2ème Séminaire International d'innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction, Rabat, 23 et 24 Mai 2011, 06 pages.

[8] Benabed, B., Azzouz, L. et Damene, Z. Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base de sable de dune. Colloque CMEDIMAT, Oran, 06 et 07 Décembre 2005 .

[9] Boudaoud, Z., Beddar, M. "Effects of Recycled Tires Rubber Aggregates on the Characteristics of Cement Concrete" Open Journal of Civil Engineering, Vol. 2 No. 4, 2012, pp. 193-197.

[10] Brian, J.O., Mutuku, R.N., Kabubo, C.K. Mechanical characteristics of normal concrete partially replaced with crushed clay bricks. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 2015, 6(1):62-75.

[11] Kumutha, R., Vijai, K. Strength of concrete incorporating aggregates recycled from demolition waste. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2010, 5(5): 64-71

[12] Cabrera, F., Gómez, J., Almaral, J., Arredondo, S., Corral, R. Mechanical properties of mortars containing recycled ceramic as a fine aggregate replacement. Journal of construction. 2015, 14(3): 22-29.

[13] Cao, W. "Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process". Construction and Building Materials. 2007, 21: 1011-1015.

[14] Topçu, I.B. The properties of rubberized concretes. Cement and Concrete Research. 1995, 25(2): 304-310

[15] Rana, J., Rughooputh, R. Partial replacement of fine aggregates by rubber in concrete. Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS). 2014,5(5) :312-317.

[16] Pedro, D., De Brito, J., Veiga, R. Mortars made with fine granulate from shredded tires. Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE). 2013, 25(4): 519-529.

[17] Benazzouk, A., Douzane, O., Langlet, T., Mezzeb, K., Roucoult, J.M., Quéneudec, M. "Physico-mechanical properties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes". Cement and Concrete Composites. 2007, 29(10): 732-740.

[18] Sukontasukkul, P., Tiamlom, K. "Expansion under water and drying shrinkage of rubberized concrete mixed with crumb rubber with different size». Construction and Building

Materials. 2012, 29: 520-526.

ETUDE DE L'EFFET DE L'AJOUT DE GRANULATS DE CAOUTCHOUC SUR LE COMPORTEMENT DES BETONS DE SABLE AUTOPLAÇANT

RESUME

Ce travail porte essentiellement sur la valorisation des bétons base de sable et l'incorporation de poudrettes de caoutchouc (0-1mm) issus de recyclage de pneus usagés en substitution volumique du sable avec des taux de 10, 20 et 30% afin d'obtenir des matériaux à faible impact environnemental. Afin de répondre à cet objectif, une démarche expérimentale a été réalisée, elle a consisté à incorporer différents pourcentages de poudrettes de caoutchouc dans la formulation des bétons de sable. Ces bétons sont caractérisés à l'état frais et durci afin d'étudier l'effet d'ajout de ces poudrettes de caoutchouc sur les propriétés du béton de sable auto-plaçant. Les résultats trouvés montrent que la fluidité des BSAP (exprimée par l'étalement au cône d'Abrams et l'écoulement à l'entonnoir V-Funnel) s'améliore en fonction de l'augmentation du dosage de poudrettes caoutchouc et ces valeurs sont situées à l'intérieur des recommandations de l'Association Française de Génie Civil (AFGC). Ils montrent aussi que les particules de caoutchouc peuvent améliorer certaines caractéristiques techniques souhaitées comme la ductilité.

Mots clés : Béton de sable ; Autoplaçant ; Granulats de caoutchouc ; Résistance.

How to cite this article:

Khelaifa H, Boudaoud Z, Benouis A.H, Study of the effect of the addition of rubber aggregates on the behaviour of self-compacting sand concrete. J. Fundam. Appl. Sci., 2020, 12(3X), 1337-1349.