

AMELIORATION DES PROPRIETES MECANQUES DES BAP PAR TRAITEMENT MECANIQUE DES DECHETS DE CARRIERE DE SABLE SILICEUX

K. Ayed¹, A. Benaissa³, A. Abidlah³, N. Leklou², M. Mouli¹

¹ Laboratoire de recherche matériaux LabMat, Département de Génie Civil ENSET-Oran, Algérie.

² Laboratoire de recherche LMDC I.N.S.A & U.P.S, de Toulouse.

³ Département de Génie Civil Université Mohamed Boudiaf U.S.T. Oran, Algérie.

Résumé:

Notre étude s'inscrit dans une politique de valorisation des matériaux industriels et naturels locaux en Algérie, pouvant être utilisés dans la formulation des bétons auto plaçants (BAP). Depuis ces dernières années, une pénurie de sable qui s'est installée dans les principales carrières d'extraction de sable marin qui fournit l'essentiel de l'approvisionnement des chantiers BTP. La surexploitation des sites a invoqué une grave dégradation de l'écosystème des plages ce qui a causé la fermeture de la plus part des sites d'extraction de sable marin en Algérie. Pour lutter contre ce problème écologique et économique, il nous semble judicieux de remplacer une quantité de sable marin par des déchets industriels sous forme d'ajouts minéraux. Notre étude porte sur l'utilisation des déchets très fins provenant des traitements des sables siliceux locaux destinés à la fabrication du verre. Huit bétons ont été testés. Les résultats ont montré que pour un rapport E/C égal à 0,40. Les fillers siliceux broyés ont donné de meilleures résistances mécaniques. Le mélange des fillers calcaires à des fillers siliceuses ont aussi amélioré la résistance mécanique. Enfin Les essais réalisés sur les BAP frais et durci selon les normes européennes (AFGC) ont donné des résultats très prometteurs pour la promotion des BAP en Algérie à base de déchets industriels.

Mots clés : formulations, bétons autoplaçants, fillers siliceux, béton frais, résistance mécaniques.

1 Introduction

Les BAP se développent dans le monde d'une manière croissante [1 ; 2], au Japon, en Europe et au Canada. Dans les bétons ordinaires, on utilise quatre composantes (ciment, eau, sable, gravier) tandis que dans le béton auto plaçant, on utilise six composantes, En plus des composantes déjà citées dans le BO, on ajoute les ajouts minéraux comme les fines et les ajouts organiques comme les adjuvants selon la propriété demandée [3]. Il existe une large gamme de fillers utiliser dans la formulation des BAP tels que: Les fines calcaires, la fumée de silice, les cendres volantes et enfin comme dans notre cas, les fines siliceuses. Elles sont utilisées comme addition pour jouer un double rôle. Par leur forme, elles améliorent l'état frais du béton, on lui permettant une bonne fluidité et par leur finesse, elles assurent un remplissage afin d'optimisé la compacité et donc la résistance mécanique [4 ; 5].

Notre but est de valoriser les fines par leurs utilisations dans le domaine des technologies des nouveaux bétons. L'optimisation d'une formule du béton auto plaçant par l'utilisation des ces fines peut résoudre un problème écologique et économique et enfin technologique. Notre étude a montré que les fines siliceuses, quant ils sont brayés convenablement (activation mécanique), ils peuvent améliorer l'état frais du BAP et donner résistances mécaniques doubles par rapport aux fillers non broyés.

2 Matériaux et procédure expérimentale

2.1 Matériaux

2.1.1 Fines

Les fillers choisis sont type siliceux obtenus après le traitement par lavage des sables siliceux, matière première du verre. Ils proviennent de la carrière de Sig, région de l'ouest. Le pourcentage des éléments inférieur à 0.5 mm est de 78%. L'analyse chimique de la matière première a donné les résultats suivants :

Tableau 1 : Analyse chimique des fillers siliceux (Laboratoire CTIM - Boumerdes).

Eléments	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO
(%)	95.82	0.08	0.45	0.39	1.86	0.03	0.15	0.02

2.1.2 Ciment

Le ciment utilisé est de type CPJ-CEM II 42.5 selon la norme algérienne NA 442. La surface spécifique BLAINE, SSB égale à 3600 cm²/g

Tableau 2 : Analyse chimique du ciment.

éléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SiO ₃	CaO libre	Perte au feu
(%)	18.9	4.35	3.58	62.34	1.30	1.72	0.62	6.38

2.1.3 L'eau

L'eau de gâchage provient du robinet (potable). Elle est conforme à la norme NF P18 404.

L'analyse chimique de l'eau a donné les résultats suivants :

- ✓ Taux de chlore (CL) = 408.25 mg/l.
- ✓ Taux de sel (NaCl) = 672.75 mg/l.
- ✓ Matière en suspension (M.E S) = 78 mg/l.
- ✓ pH= 6.07.

2.1.4 Adjuvants

On utilise deux types adjuvants :

MEDAFLOW 30 superplastifiant haut réducteur d'eau, nouveau produit national de l'entreprise GRANITEX destiné aux bétons autoplaçants.

20HE superplastifiant haut réducteur d'eau produit de SIKA ;

Ces adjuvants sont utilisés conformément à la norme française NF EN 934.2.

2.1.5 Granulats

Les granulats utilisés sont des granulats qui proviennent de la carrière de KRISTEL, ouest de l'Algérie.

2.1.6 Sable

On a utilisé deux fractions de sables, sable de mer et sable concassé.

Sable de mer

- ✓ Masse volumique absolue moyenne : 2.66 Kg/m^3 .
- ✓ Masse volumique apparente moyenne : 1.50 Kg/m^3 .
- ✓ Module de finesse moyen : 2.4
- ✓ ES moyen : 76%.

Sable concassé

- ✓ Masse volumique absolue moyenne 2.65 Kg/m^3 .
- ✓ Masse volumique apparente moyenne : 1.46 Kg/m^3
- ✓ Module de finesse moyen : 2.70.
- ✓ ES moyen : 79%.

2.1.7 Graviers

Le gravier utilisé pour la confection de notre BAP se présente en deux classes granulaires, les classes 3/8 et 8/15.

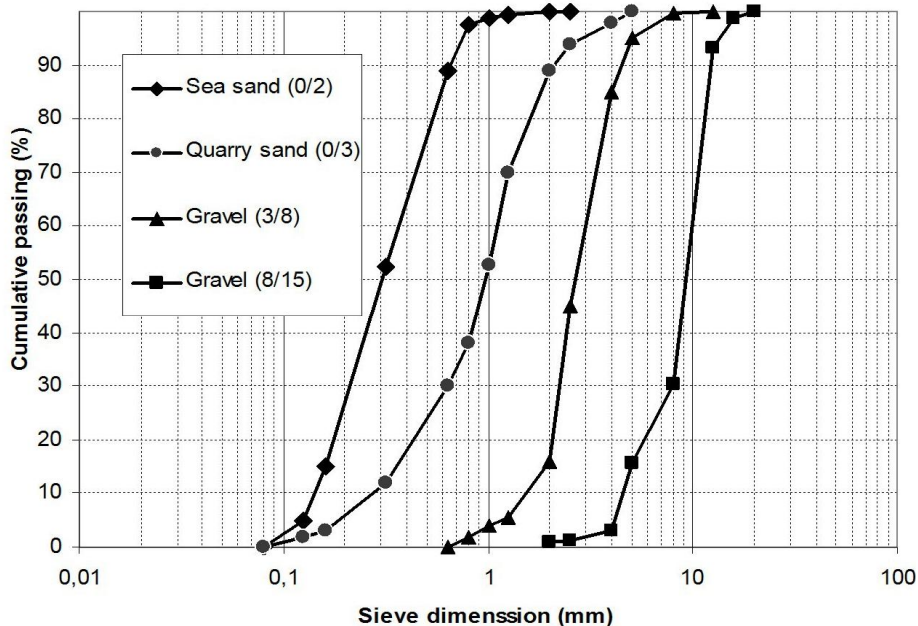


Figure 1 : Courbe granulométrique des granulats

2.2 Procédure expérimentale

2.2.1 Formulation

Nous avons confectionné les huit types de BAP nommés : de F1 à F8. Les quatre premiers types de béton sont donc formulés avec les mêmes compositions et avec des fillers siliceux non broyés mais ne diffèrent que par le rapport E/C. la cinquième formule on garde de rapport E/C constant et en change dans la nature des fillers (fillers siliceux broyés). La sixième formule en change les fillers siliceux par des fillers calcaires et dans la septième formule, on mais 50% de chaque type de fillers. Les différentes formulations sont récapitulées dans le tableau 3.

Tableau.3 : Formulations des différents BAP avec les quantités en (kg/m³)

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Ciment (kg/m ³)	455	455	455	455	455	455	455	455
Fillers siliceux (T1) (kg/m ³)	169	169	169	169	169		/	/
Fillers siliceux (T2) (kg/m ³)	/	/	/	/	/	169	84,5	/
Fillers calcaires (kg/m ³)	/	/	/	/	/	/	84,5	169
Sable concassé (kg/m ³)	423,5	514,79	468,74	468,74	468,74	468,74	468,74	468,74
Sable de mer (kg/m ³)	281,3	341,9	311,32	321,92	321,92	321,92	321,92	321,92
Graviers 3/8(kg/m ³)	421,9	512,85	466,98	482,88	482,88	482,88	482,88	482,88
Graviers 8/15(kg/m ³)	281,3	341,9	311,32	321,92	321,92	321,92	321,92	321,92
MED (%)	1	1	1	1,5	/	/	/	/
20HE (%)	/	/	/	/	1,5	1,5	1,5	1,5
Eau (l/m ³)	257,4	145	200	180	180	180	180	180
E/C	0,57	0,32	0,44	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Fillers siliceux T1 : fillers non broyés.

Fillers siliceux T2 : fillers broyés.

MED : Superplastifiant MEDAFLOW 30.

20HE : Superplastifiant 20HE

2.4. Essais expérimentaux

A la fin du malaxage, l'essai d'étalement a été réalisé afin de caractériser le comportement à l'état frais des bétons. Les bétons devaient respecter les recommandations AFGC (AFGC 2000) qui préconisent un étalement compris entre 60 et 75 cm pour un BAP. L'absence d'auréole de laitance a également été vérifiée.

Des éprouvettes cylindriques 11x22 cm destinées aux essais de résistance mécanique en compression, ont été confectionnées puis stockées dans une salle de conservation à température et hygrométrie contrôlées (T = 20°C, HR = 99%).

3 Résultats et discussions

Les résultats de différentes formules sont présentés dans le tableau 4, étalement et les résistances mécaniques à 3, 7, 21 et 28 jours des bétons.

Tableau.4. Résultats des bétons frais et durci

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Etalement (cm)	65	38	73	50	62	68	70	73
R3 (MPa)	15,68	31,6	19,3	34,25	23,32	36,34	34,68	30,22
R7 (MPa)	20,35	40,4	25,61	42,32	40	54,13	42,19	40,21
R21(MPa)	30,12	45,32	28,9	50	48,26	56,3	49,62	45,36
R28 (MPa)	35,32	48,25	32,89	54,36	58,12	62,15	57,32	48,12

La figure 2 nous présente l'étalement des différentes formules. On voit bien que l'étalement entre la formule F1 et la formule F2 a fortement diminué de l'ordre de 50% et cela est la conséquence de rapport E/C qui a aussi diminué de 43%. Dans la formule F3, on a augmenté le rapport de 0,33 à 0,44, l'étalement c'est amélioré pour atteindre 73 cm, ce qui est acceptable pour un BAP selon les recommandations de l'AFGC [6]. La formule F4 donne un rapport E/C optimal de quatre premières formules mais ne donne pas un étalement suffisant pour qualifier la formule F4 en un BAP. On a gardé le même rapport E/C mais on a changé le type d'adjuvant, l'étalement s'est amélioré pour donner un BAP selon les recommandations européennes [3]. A partir de là, on a essayé de changer que dans la nature des fillers est cela pour encore améliorer les caractéristiques mécaniques de ces BAP. Dans les formules F6, on a broyé les fillers siliceux pour augmenter leurs surfaces spécifiques (traitement mécanique). Ce qu'on remarque, l'étalement est amélioré. Dans la formule F7, on a mélangé 50% de fillers siliceux et 50% de fillers calcaires. L'étalement s'améliore un petit peu. Pour voir l'efficacité des fillers siliceux on été obligé de tester les fillers calcaires tous seul. Ces dernier donnent toujours un étalement correct mais avec une résistance moins par rapport a la formule F6, voir la figure 4.

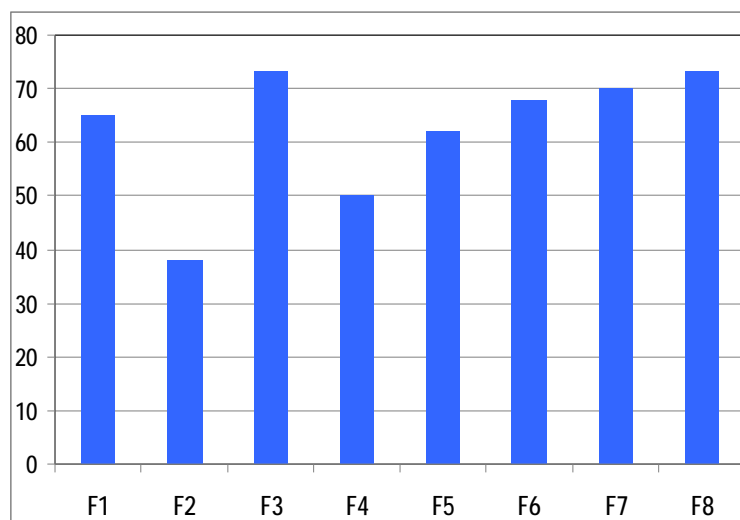


Figure 2 : Etalement de différentes formules

La figure 3 nous présente l'évolution de la résistance mécanique en fonction du temps pour chaque formule. On observe que le pic de toutes les résistances est autour le F7, ce qui confirme que le traitement par broyage des fillers siliceux a amélioré les performances mécaniques du BAP F7 cela implique que le broyage divis les fillers encore en fine poudre. Cette poudre va jouer deux rôles principaux : le remplissage des vides intragranulaire des sables et des granulats et en plus ces fine vont être très actives car on voit que la résistance à 3 jours de la formule 6 atteint 34MPa par contre dans la formule F1, la résistance ne dépasse pas 15 MPa.

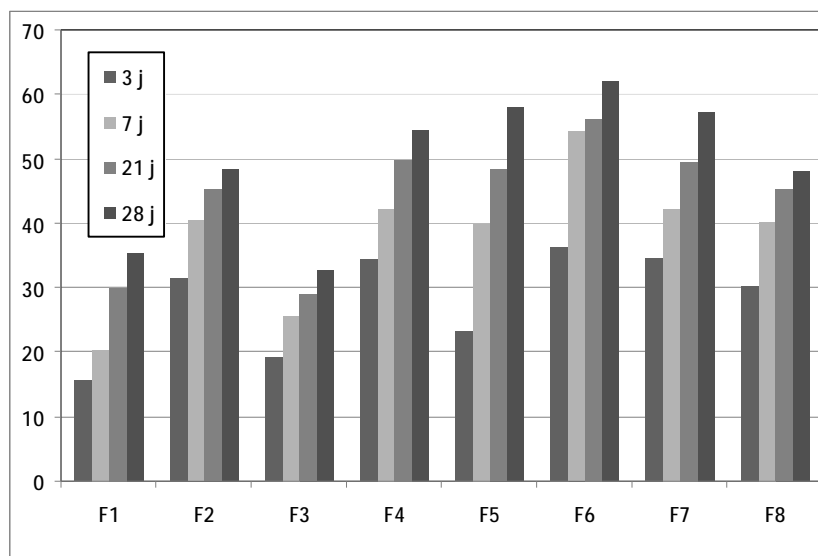


Figure 3 : Résistance mécanique à différentes échéances des bétons.

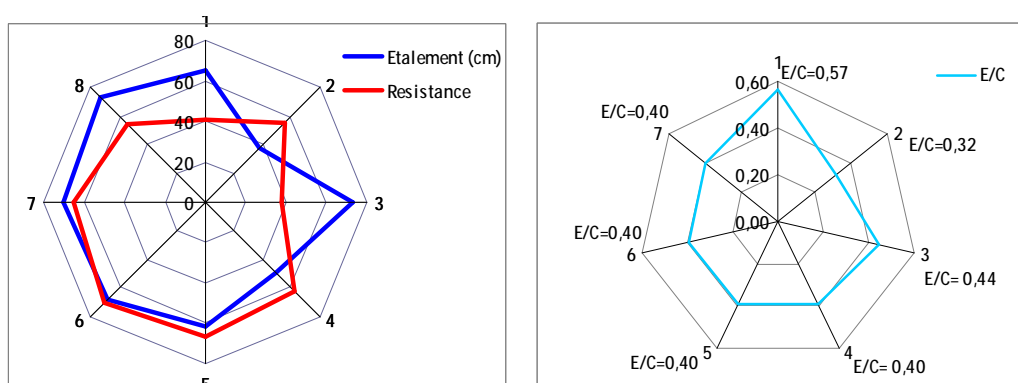


Figure 4 : Comparaison entre l'étalement, la résistance mécanique et le rapport E/C.

Pour l'optimisation de la formulation des BAP de haute résistance, on est t'obligé de contrôler plusieurs paramètres en plus des paramètres déjà connus comme le rapport Gravier/Sable, le volume de pâte [6-12]. La figure 4, nous montre la variation de plusieurs paramètres tels que le rapport E/C, l'étalement et la résistance. On observe que pour F1 le rapport E/C augmente l'étalement augmente mais la résistance diminue. Dans la formule F2, le rapport diminue l'étalement diminue mais la résistance augmente un peu.

4 Conclusion

Pour trouver la bonne résistance avec l'étalement et le bon rapport E/C, le cas des formules F5, F6, F7, on est obligé d'optimiser le rapport E/C, trouvé un adjuvant compatible et le temps de broyage convenable pour une surface spécifique optimale des fillers comme le montre la figure 4.

Le broyage des fillers siliceux est très bénéfique car il améliore les caractéristiques mécaniques.

Le mélange des fillers calcaire et fillers siliceux améliore l'état frais du béton.

5 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Hajim O, Masahiro O. Applications of self compacting concrete in Japan, journal of advance concrete technology. Japan concrete institute 2003;1(1): 5-15.
- [2] Ouchi M, Nakamura S, Osterson T, Hallberg S, Lwin M. Applications of Self-Compacting Concrete in Japan. Europe and the United States, ISHPC; 2003. p. 2-5.
- [3] EFNARC. Specifications and guidelines for self-compacting concrete, European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems; 2005.
- [4] Khayat KH, Assaad J. Air-Void Stability in Self-Consolidating Concrete. ACI Materials Journal 2002; 99 (4):408-416.
- [5] Guemmadi Z, Escadecuas G, Toumi B, Houari H, and Clastres P. Influence of the limestone fillers on the mechanical performances of cement paste. In: Proceedings of the 1st International Congress on the Technology and the Durability of the Concrete, University of Sciences and Technology (USTHB), Algiers; 2004. p. 1–8.
- [6] Petersson O. Limestone powder as fillers in self compacting concrete-frost resistance and compressive strength. In: Proceedings of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete, COMS Engineering Corporation, Kochi, Japan; 2001. p. 277-284.
- [7] Rozière E, Granger S, Turcry P, Loukili A. Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self compacting concrete. Cem Concr Compos 2007; 29(8): 542-549.
- [8] Kuroiw S, Mastuoka Y, Hayakawa M, Shindoh T. Application of superworkable concrete to construction of a 20-story building. Int. Sym. on High Performance Concrete in Science Environments ; SP 140 , ACI , Detroit; 1993. p. 147-161.
- [9] Cengiz D. High volume fly ash concrete with high strength and low drying shrinkage. Journal of materials in civil engineering, ASCE 2003; 15(2): 153-170.
- [10] Roziere E, Granger S, Turcry P, and Loukili A. Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self compacting concrete. Cem and Con Comp 2007; 29(8): 626–636. doi:10.1016/j.cemconcomp.2007. 03.010.
- [11] Persson B. A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. Cem Concr Res 2000;31(2):193–198.
- [12] Ayed K, Vidal T, Pons G, Benaissa A. Influence du type d'additions minérales sur les déformations différées des Bétons Auto Plaçants. Colloque National sur les variations dimensionnelles