

Etude des caractéristiques physico-mécaniques des bétons de sable à base de fumée de silice

GADRI. KARIMA & GUETTALA. ABDELHAMID

Laboratoire de Recherche en Génie Civil " LRGC " Université de Biskra, Alger.

Résumé. Les bétons de sable font partie des matériaux de construction permettant de valoriser des ressources naturelles en sable. Afin de les exploiter dans différents domaines de construction on doit améliorer leurs caractéristiques mécaniques et physiques (avoir un retrait modéré). Les bétons de sable posent le problème du retrait important par rapport aux bétons ordinaires ainsi que de résistances à la compression modérées. Vu leur effet positif sur la résistance à la compression à jeune âge, on a pensé à utiliser la fumée de silice comme ajout dans la formulation des bétons de sable afin d'améliorer leurs caractéristiques mécaniques (compression, traction, flexion) et voir l'effet de cette dernière sur les variations dimensionnelles (retrait). Dans ce travail on va présenter une formulation du béton de sable basée sur l'optimisation de la compacité du squelette granulaire. D'un choix fixe d'une teneur en ciment portland artificiel de type (CPJ-CEMII/42,5A), 03 séries de béton à base de sable d'oued ont été préparées en variant le dosage de filler (avec et sans superplastifiant). Le filler est de type calcaire, on substitue une quantité de calcaire par de la fumée de silice selon les pourcentages (0%, 5%, et 8%). On a pu avoir des résistances à la compression élevées en les comparant au béton ordinaire avec un optimum de compacité à un dosage de 180 Kg/m³ de filler (calcaire + F.S). On a pu enregistrer une amélioration significative des caractéristiques mécaniques ainsi la diminution du retrait, aussi avec 5% de fumée de silice on a pu avoir un BS avec une structure plus fermée, dense qui peut être résistante à la pénétration d'agents agressifs.

1 Introduction

Le béton de sable trouve ses origines en France dans le béton aggloméré confectionné par F. Coignet dans le 3ème quart de XIX siècle. Il était constitué de sable, de ciment, de chaux et d'eau. Le mur de soutènement à Passy, la maison Coignet à Saint-Denis, constituent les premières applications de cette technique que l'on retrouve aussi dans la réalisation de la tour de Port Said en Egypt (hauteur : 52m) et du pont de New-York [1]. Cette technique a été mise au point depuis des décennies, en URSS, en témoignent les réalisations du port Kaliningrad en Prusse-Orientale en béton de sable au début du siècle et aussi du pont de Chernavskif coulé sur place à Voronej (500Km de Moscou) [2]. A la fin du second conflit mondial, le professeur académicien Rebinda a permis l'utilisation de ce matériau dans plusieurs domaines : (les chaussés, les pistes d'aviation, élément de remplissage, murs architecturaux, planchers, dalles, réhabilitation, etc.).

Dans ce travail on s'intéresse à l'exploitation des matériaux locaux dans la construction au lieu d'utiliser des matériaux qui exigent un approvisionnement très coûteux, et comme le sud algérien est très riche en sable on a pensé à exploiter le sable pour la fabrication des bétons de sable [3]. Les bétons de sable ont donc les mêmes dosages en ciment que les bétons traditionnels (250 à 400 kg/m³); la compacité est atteinte par un ajout complémentaire de fines, généralement calcaires. Parfois, certains usages du béton exigent des caractéristiques mal assurées par le béton traditionnel et que le béton de sable peut mieux satisfaire, parmi ces particularités on cite : La maniabilité, la cohésion et l'absence de ségrégation, la petite granulométrie et la faible dimension des grains aussi l'aspect de surface et enfin qui est le plus intéressant son caractère non fissurant [4], qui nous encourage à l'utiliser comme matériau de réparation. L'autre intérêt pour ce matériau c'est la possibilité d'employer des fillers industriels pour augmenter sa compacité. Pour avoir un matériau de construction à usage multiples, plus dense avec une porosité très fine, plus imperméables et donc plus durables ; on a introduit de la fumée de silice dans la formulation du béton de sable afin de voir son effet sur ce dernier.

Cet article, qui s'inscrit dans la continuité des travaux antérieurs déjà menés sur des bétons de sables [3,4,5,6,7], a justement pour objectif de comprendre leur comportement par l'étude de l'effet d'ajout d'un fumée de silice à différents dosages sur les caractéristiques mécaniques et hygrométriques du béton de sable. On va présenter une formulation du béton de sable basée sur l'optimisation de la compacité du squelette granulaire. D'un choix fixe d'une teneur en ciment portland artificiel de type (CPJ-CEMII/42,5A), 03 séries de béton à base de sable d'oued ont été préparées en variant le dosage de filler (avec et sans superplastifiant). Le filler est de type calcaire, on substitue une quantité de calcaire par de la fumée de silice selon les pourcentages (0%, 5%, et 8%). On a pu avoir des résistances à la compression élevées en les comparant au béton ordinaire avec un optimum de compacité à un dosage de 180 Kg/m³ de filler (calcaire + F.S). On a pu enregistrer une amélioration significative des caractéristiques mécaniques ainsi la diminution du retrait.

2 Matériaux Utilisés

- 1) **Sable** : il s'agit d'un sable concassé avec un module de finesse 2.4, figure (1), provenant de la ville de Biskra (Algérie) avec une densité absolue de 2,5 g/cm³ et un équivalent de sable Esp= 69%.
- 2) **Ciment** : Le liant utilisé est un ciment portland (CPJ-CEM II/42.5 A), provenant de la cimenterie (SCIMAT) de la ville de Batna (Algérie). Les caractéristiques correspondant à ce type de ciment sont présentées au tableau 1,

Tableau 1 : Caractéristiques physiques et Composition minéralogique du ciment.

Caractéristiques physiques		Composition minéralogique	
Densité absolue [g/cm ³]	3,15	Eléments minéralogique (%)	
Densité apparente [g/cm ³]	1,09	C ₃ S	58,3
Surface spécifique [cm ² /g]	3371	C ₂ S	14,6
Retrait a 28 jours [µm/m]	681	C ₃ A	8,7
Résistance a la compression a 28jours (MPa)	47	C ₄ AF	11,26

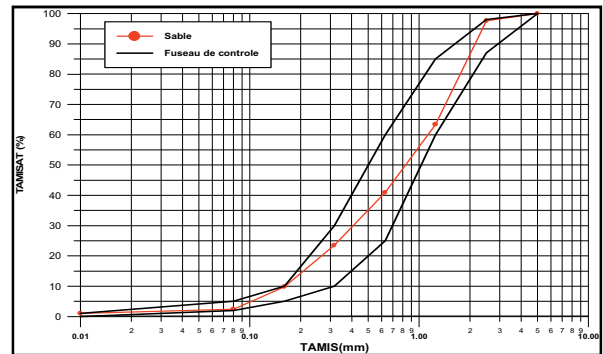


Figure 1 : La courbe granulométrique du sable concassé

- 3) **Adjuvant** : Nous avons utilisé un superplastifiant, haut réducteur d'eau appelé «MEDAFLOW30» fourni par la société **GRANITEX** (Algérie). Sa densité absolue est de 1.07 et sa concentration en particule solide est de 30 %.
- 4) **Filler calcaire** : Il s'agit de roches calcaires broyées, disponibles dans la majorité des carrières d'Algérie, sa densité absolue est de 2,6 g/cm³ avec une finesse de 2450 cm²/g.
- 5) **Fumée de silice** : Elle est à base de micro-silice provenant de la société «GRANITEX» sous forme de poudre grise. Obtenue avec une finesse de 20470 cm²/g et une densité absolue de 1,87 g/cm³.

3 Formulation du béton de sable

Dans notre étude de recherche expérimentale on est passé par deux étapes afin de préparer notre béton de réparation. Pour la première étape : formuler un béton de sable avec une composition de base. Cette formulation est fondée sur la méthode expérimentale [8] [9] [10], partant d'un choix d'une teneur en ciment, d'un dosage en sable déterminé et d'un rapport E/C constant, tableau(2) :

Tableau 2 : Composition et caractéristiques du béton de sable de référence

Composants	Quantité	Rc28 (MPa)	Rt28 (MPa)
Sable	1660 Kg/m ³	22	3,7
Ciment	350 Kg/m ³		
Eau	262.5 l/m ³		

Pour améliorer les caractéristiques mécaniques et pour avoir un béton plus compact et moins poreux, 03 séries de béton ont été préparé avec 05 mélanges différents pour chaque série. Partant de la composition de base. On a substituant des quantités de sable par du filler calcaire pour la première série, aussi variant au dosage du superplastifiant pour la deuxième série et en fin le rapport E/C pour la troisième série, tableau (3)

Tableau 3 : Composition des trois séries de béton de sable (optimisation de formulation)

Mélanges BS	Ciment (Kg/m ³)	Sable (Kg/m ³)	Filler calcaire (Kg/m ³)	E/C	Super (%)
PREMIERE SERIE					
BS1	350	1500	160	0,75	/
BS2	350	1480	180	0,75	/
BS3	350	1460	200	0,75	/
BS4	350	1440	220	0,75	/
BS5	350	1420	240	0,75	/
DEUXIEME SERIE					
BS -SP1	350	1480	180	0,75	0,5
BS-SP2	350	1480	180	0,75	1
BS-SP3	350	1480	180	0,75	1,5
BS-SP4	350	1480	180	0,75	2
BS-SP5	350	1480	180	0,75	2,5
TROISIEME SERIE					
BS -SPE1	350	1480	180	0.60	2
BS -SPE2	350	1480	180	0.59	2
BS -SPE3	350	1480	180	0.58	2
BS -SPE4	350	1480	180	0.57	2

Après des séries de gâchés et d'essais de compression (NFP18-406), de traction (EN 196-1) et de contrôle de maniabilité à l'état frais suivant la norme (NFP 15-433), on a pu sélectionner de la troisième série la composition optimale (BS-SPE2) et la plus performante, qui sera prise comme composition de référence du béton de sable à la 2^{ème} étape, tableau (4)

Tableau 4 : Caractéristiques du béton de sable témoin BS-SPE2

Affaissement	Rc28 (MPa)	Rc90 (MPa)	Rt28 (MPa)
8 cm	35	45	6.95

4 Addition de la fumée de silice

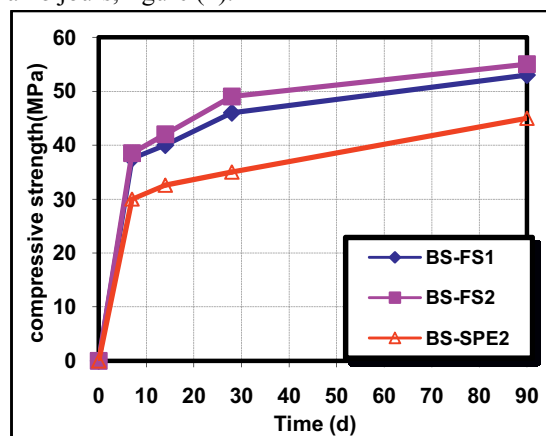
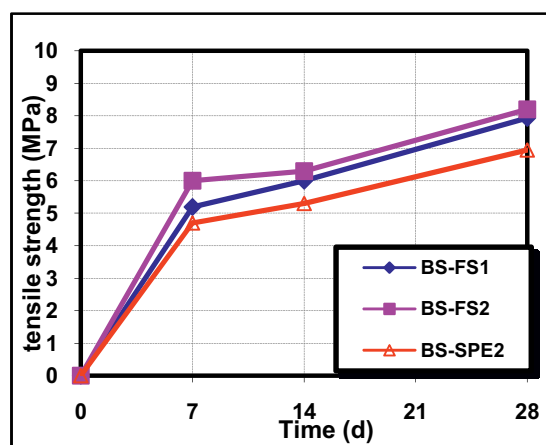
Par sa surface spécifique et sa grande finesse, la fumée de silice permet d'obtenir des bétons plus denses avec une porosité très fine, plus imperméables et donc plus durables. A cet effet, et afin d'améliorer les performances de notre béton de sable (BS-SPE2), on a pensé à introduire de la fumée de silice comme ajout, ou elle joue le rôle de filler. On substitue donc une quantité de filler calcaire par un pourcentage de fumée de silice, inséré entre deux valeurs (5 et 8) %, Tableau 5.

Tableau 5 : Composition des bétons de sable avec la fumée de silice destinés à la réparation

Mélanges BS	C Kg/m ³	S Kg/m ³	F C Kg/m ³	FS Kg/m ³	E/C	Sup (%)
BS-FS1	350	1480	152	28	0.59	2
BS-FS2	350	1480	162.5	17,5	0.59	2
BS -SPE2	350	1480	180	/	0.59	2

4.1 Effet de fumée de silice sur les résistances mécaniques :

D'après les courbes présentées à la figure (1), on constate une évolution de la résistance à la compression en fonction du temps pour le béton de sable à 5% de fumé de silice (17,5 Kg /m³), passant de 49 MPa à l'âge de 28 jours jusqu' à 55 MPa à 90 jours. Aussi pour la résistance à la traction et avec le même pourcentage de FS, on a pu avoir le meilleur résultat qui est de 8,2 MPa à 28 jours, figure (2).

**Figure 1** : Effet de fumé de silice sur la résistance à la compression**Figure 2** : Effet de fumée de silice sur la résistance à la traction

5 Retrait et perte en masse

Le comportement hydrique des bétons de sable avec et sans F.S est très différent aussi bien en terme de retrait que de perte en masse. Les deux bétons avec F.S qui affichent des comportements similaires, ont développé des déformations nettement plus faibles que celles mesurées sur le béton sans F.S. Ces valeurs de retrait ne dépassent pas 100µm/m à l'âge de 28 jours figure (3), qui est encourageant comme résultat.

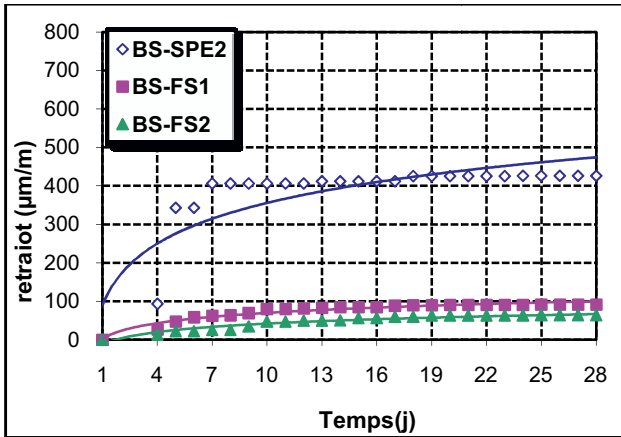


Figure 3 : Effet de fumée de silice sur le retrait du béton de sable

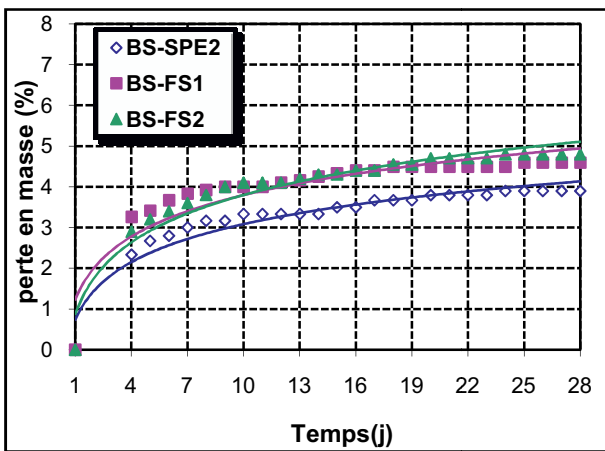


Figure 4 : Effet de fumée de silice sur la perte en masse du béton de sable

Pour la perte de masse on enregistre une perte importante de 4% pour le béton de référence, et au-delà de cette valeur, on remarque que les deux bétons avec FS, tel que mentionné aux courbes superposées ont la même tendance sur la figure (4). En comparant les pertes de masse et les déformations du retrait de ces matériaux, on s'aperçoit d'un phénomène irréversible. En effet le matériau qui a marqué une amplitude importante de retrait a perdu moins de masse le cas du BS-SPE2. C'est tout à fait le contraire pour les bétons avec FS. On peut donner une explication à cet état pour dire que le mécanisme de retrait par le changement de volume d'un béton au cours du séchage n'est pas égal au volume d'eau évaporé [11].

6 Observation au MEB

Les observations faites au microscope électronique à balayage (MEB) sont présentées sur les figures 5 et 6, on analyse l'image du béton de sable avec fumée de silice (5%), on remarque une microstructure très dense et une faible porosité par rapport au béton de sable sans fumée de silice (BS de référence).

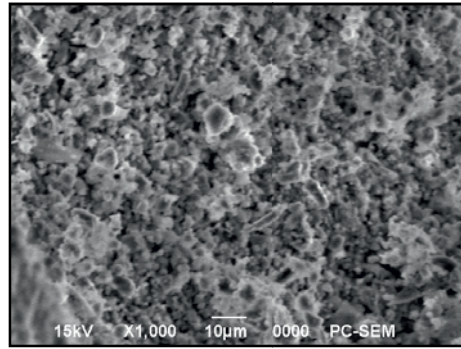


Figure 5 : Observation macroscopique de BS sans fumée de silice

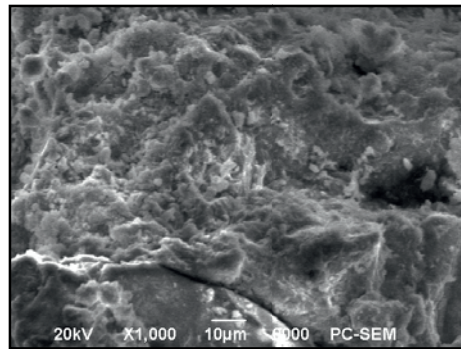


Figure 6 : Observation macroscopique de BS avec fumée de silice (5%)

À l'échelle microscopique, on constate que les BS avec FS ont une structure plus fermée et donc ils sont très résistants à la pénétration d'agents agressifs.

7 Conclusion

Notre principal objectif dans ce modeste travail est de formuler un béton de sable afin d'exploiter les ressources locales et abondantes (sable), en développant ses performances afin de donner des caractéristiques soit comparables aux bétons usuels, soit répondant à des exigences mal assurées par ces derniers, aussi voir son impact sur la réparation des structures en béton. L'ajout de 5% fumée de silice a contribué à l'amélioration de la compacité et aux caractéristiques mécaniques de notre matériau béton de sable, ainsi qu'à la réduction du retrait. On a pu redonner ce faible retrait, malgré le volume de la pâte plus important que celui du béton ordinaire et un rapport E/C ordinaire, à la présence de fumée de silice qui a permis de raffiner la porosité capillaire et de rendre, ainsi, le matériau moins sensible au séchage et diminuer son retrait. C'est le cas des bétons hautes performances [12].

Comme on a pu avoir avec cet ajout (FS) un BS avec une structure plus fermée, dense qui peut être résistante à la pénétration d'agents agressifs.

8 Références

- [1] A. Benaïssa, P.Molier et V.Tram, Le béton de sable un matériau non fissurant, Algérie Equipement (matériau) PP : 7-10.
- [2] J.J. Chauvin, le béton de sable en Union Soviétique Bulletin liaison laboratoire Ponts et Chaussées, N° : 174, Ref 3589, PP : 61-68, (Juil - août 1991).
- [3] 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, Thèse de Magister. Université de A. Tledji, Laghouat, Algérie; (2000).
- [4] Benaïssa A. Morlier P. Viguier C. Chauvin J J, Cinétique de dessiccation et retrait du béton de sable, Annales de l'institut technique du bâtiment et de travaux publics, N°504, Série : essais et mesure 239, PP:43-51, (Juin 1992)
- [5] Chanvillard G. Basuyaux O, Une méthode de formulation des bétons de sable à maniabilité et résistance fixées, Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, N°205, ref : 4047, PP : 49-63, Sept-Oct (1996).
- [6] Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées 'Béton de sable, Caractéristiques et pratique d'utilisation', (Projet SABLOCRETE), édition. Association Amicale des Ingénieurs Anciens Elèves de L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées; p. 15–71, (1994).
- [7] Benaïssa A. Morlier P. Viguier C, Microstructure du béton de sable, Cement and concrete research, Vol 23, PP : 663-674 ;(1993).
- [8] SABLOCRETE, *Bétons de sable : caractéristiques et pratique d'utilisation*, Projet national de recherche et développement, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées (1994).
- [9] J.J.Chauvin et G.Grimaldi, *Les bétons de sables*, Bulletin liaison laboratoire, Ponts et chaussés, (Sept-Oct 1988), N°157, Ref 3336, PP:9-15
- [10] Z.Boudaoud, *Etude des mortiers, des micro-bétons et des bétons de sable à base de sable fin de Boussaada*, Magister thesis, (1996), Division of Civil Engineering, University of M'sila, Algeria.
- [11] Adam.M.Neville, *Propriétés des bétons*, Eyrolles, (2000), France
- [12] OLIVER, LAURENCE. *La fissuration due au retrait restreint dans les réparations minces en béton : Apports combinés de l'expérimentation et de la modélisation*, PhD thesis, (2001), University of Laval, Quebec, Canada