

VALORISATION DES SABLES DE DUNE : EFFET DES ADDITIONS SUR LES PROPRIÉTÉS RHEOLOGIQUES ET MÉCANIQUES DES MORTIERS À BASE DE SABLES DE DUNE

Y. Benna^a, S. Bedjou^b, A. Brara^c, B. Guettache^d

a : Ingénieur TP, chargé de recherche, CNERIB - b : Magister, attachée de recherche, CNERIB - c : Docteur, directeur de recherche, CNERIB - d : Docteur, maître de recherche, ENTTP.
CNERIB : centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment
ENTTP : école nationale des travaux publics d'Algérie

RÉSUMÉ

Le présent article traite de la valorisation des sables de dunes algériens. Dans l'optique de l'utilisation optimale de ce matériau largement disponible en tant qu'intrant principal dans les composites à matrices cimentaires tels que les mortiers et bétons hydrauliques, quelques solutions sont présentées. En effet, il a été constaté que la mono-granularité des grains associée à leur rugosité de surface et leur finesse confèrent aux mortiers (et par extension aux bétons hydrauliques) à base de sables de dunes une maniabilité médiocre. Dans le but de remédier à cette carence, et partant du principe que le sable de dune est l'élément qualitatif central, les réponses apportées par différentes combinaisons sous formes d'additions sont examinées notamment l'ajout de sable naturel d'oued, de fines siliceuses (fillers), d'un superplastifiant ou la combinaison de deux d'entre eux simultanément.

Les résultats obtenus sur les différents mélanges montrent que les ajouts apportés aux sables de dune améliorent considérablement aussi bien leur propriété rhéologique que mécanique.

Mots Clés

Sable (de dune) maniabilité ajout adjuvant fines (fillers) résistances (mécaniques).

1. INTRODUCTION

Les sables de dunes sahariens ont fait l'objet depuis longtemps de campagne de reconnaissance et d'identification scientifique. Dès les années 50, des campagnes d'investigations menées dans le saharien algérien ont permis de mettre en évidence des provinces minéralogiques homogènes, [1]. Dans ces immensités désertiques, les sables sont caractérisés par une composition minéralogique et une granulométrie quasiment similaires.

Depuis et à ce jour, plusieurs investigations ont été tentées dans le but de l'utilisation de ce matériau surabondant dans le domaine de la construction, notamment en Algérie et en Afrique qui ont fait l'objet de travaux de recherche. On peut citer par exemple les travaux de Bédérina M. et al.[2] ainsi que Cisse I.K. et Laquerbe[3].

Très récemment, une mission analogue dans certaines régions du sud algérien, entreprise dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, a également confirmé cette similarité des caractéristiques des sables de dunes, [4].

En effet, les essais de caractérisations ont mis en évidence que les sables de dunes sont des matériaux très fins, propres, mono-granulaire et de nature siliceuse. Ils se caractérisent par une importante porosité intergranulaire, une surface spécifique (ou surface massique) élevée et un faible module de finesse. Ces trois dernières caractéristiques affectent leurs aptitudes à être utilisés tels quels dans les mortiers et bétons hydrauliques : consistance médiocre (donc mauvaise maniabilité), compacité du mélange granulaire assez réduite, demande en eau de mouillage importante, [4].

Pour suppléer à ces insuffisances, et notamment pour obtenir une consistance d'un niveau acceptable, les alternatives ont été testées notamment l'ajout de fines (particules solides de dimension inférieure à 0,080 mm), l'ajout d'un sable correcteur relativement plus grossier de classe 0/3, l'utilisation d'un adjuvant type superplastifiant haut réducteur d'eau, et l'ajout simultanément de fines, d'un sable grossier et d'un adjuvant. Ces alternatives ont fait par la suite l'objet de caractérisation expérimentale.

2. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

Le programme expérimental adopté repose sur le principe que les sables de dune pris isolément ne peuvent constituer des granulats de bonne qualité, d'où la nécessité de les mélanger avec d'autres composants : sables d'oued, fines (ou filler) et

adjuvants.

Le protocole d'essais mis en œuvre s'intéresse surtout à vérifier les deux propriétés généralement exigées pour les mortiers et bétons hydrauliques : la maniabilité et les résistances mécaniques.

Pour ce faire, le protocole d'essais comprend les séquences suivantes :

- une correction granulaire dans le but de relever le module de finesse. Ceci s'est traduit par une étude des mélanges granulaires en combinant le sable de dune très fin avec différents pourcentages de sable d'oued relativement plus grossier ;
- une incorporation de fines pour accroître la compacité par remplissage des vides intergranulaires ;
- une incorporation d'un adjuvant superplastifiant haut réducteurs d'eau pour améliorer la maniabilité tout en gardant la quantité d'eau de gâchage constante.

Pour chacune des compositions de mortier, il a été procédé à une caractérisation de la consistance au maniabilimètre LCPC, des épreuves mécaniques (résistance à la compression uniaxiale (Rc) et résistance à la traction par flexion (Rt).

Afin de minimiser le nombre de variables, les dispositions communes suivantes ont été arrêtées : toutes les caractéristiques relevées sont comparées à celles d'un matériau témoin confectionné avec un sable d'oued extrait d'une ballastière de Baghliia et lavé en laboratoire associé à un ciment CPJ de classe de résistance 42,5.

La composition-type est similaire au mortier 1/3 normalisé soit 1350 g de la fraction sableuse, 450 g de ciment et 225 g d'eau. Il est entendu par fraction sableuse soit l'utilisation d'un sable unique soit avec d'autres substitutions (sable d'oued, fines siliceuses).

3. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

3.1. SABLES

Deux sables de dune ont été utilisés, à savoir, le sable de Boussaâda et celui de Ouargla. Le choix de ces deux sables a été fait pour les raisons suivantes :

le sable de Boussaâda, en tant que granulats, est depuis plusieurs années rentré dans les habitudes des gens du bâtiment dans les régions du Nord-Centre de l'Algérie. Il est devenu un palliatif presque incontournable contre le déficit en sables que connaissent ces régions à forte consommation en matériaux sableux. Son utilisation dans la confection des mortiers de crépissage est devenue chose courante.

- le sable de Ouargla présente une granularité relativement plus grossière que le sable de Boussaâda et demandera, par conséquent, une correction granulaire moins importante. A noter que la grosseur de ce sable a été quantifiée par d'autres chercheurs, [7].

Les principales caractéristiques sont reprises dans les tableaux 1, 2, et 3, [4; 5].

Origine du sable	0/D	ME*	Masse volumique réelle (kg/m ³)	Absorption d'eau (%)	Porosité (%)	ES**	MO***	Sulfates (%)	Chlorures (%)
Ouargla	0/1.25	1.38	2486	0.30	42	71	00	00	0.05
Boussaâda	0/0.25	0.83	2419	0.44	42	72	00	00	0.05

MF* = module de finesse
ES** = équivalent de sable
MO*** = matières organiques.

Tableau-1 caractéristiques physiques, de propreté et de matières polluantes.

Origine du sable	Quartz (%)	Calcite (%)	Feldspaths (%)	Argiles (%)	Gypse (%)
Boussaâda	93.5	2.5	1.5	2.5	-
Ouargla	95	2	1.5	1.5	-

Tableau-2 analyse minéralogique par diffractométrie aux R-X des sables de Boussaâda et de Ouargla.

Origine du sable	Teneur en eau (%)						
	0	2	4	6	8	10	12
Boussaâda	0	52.6	53.3	49.8	47.6	47.4	46.9
Ouargla	0	44.6	47.5	46.3	43.2	43.1	43.1

Tableau-3 Coefficient de foisonnement en fonction de la teneur en eau.

Le sable correcteur est un sable d'oued 0/3 extrait d'une ballastière de Baghlia et lavé en laboratoire.

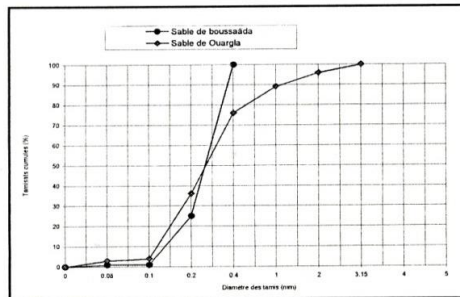


Figure-1 courbes granulométriques des deux sables de dunes utilisés.

3.2. CIMENT

Un ciment CPJ de classe de résistance 42,5 a été utilisé ; ses caractéristiques mécaniques sont regroupées dans le tableau 4, [4].

Echéances	Résistance en flexion	Résistance à la compression
2 jours	(4.20 ± 0.04) MPa	(23.22 ± 0.06) MPa
7 jours	(7.26 ± 0.05) MPa	(38.90 ± 0.06) MPa
28 jours	(8.47 ± 0.06) MPa	(45.78 ± 0.06) MPa

Tableau 4- Caractéristiques mécaniques du ciment CPJ 42,5 utilisé

3.3. FINES

Les fines ont été obtenues par broyage de sable de dune d'origine siliceuse. Ces matériaux ont été traités de sorte qu'au moins 70% des éléments soient de dimension inférieure à 63 µm.

3.4. ADJUVANTS

Le superplastifiant utilisé se présente sous forme liquide, de couleur marron et est compatible avec tous les types de ciment. Son extrait sec est de 40%.

4. PROPRIETES DES MORTIERS

4.1. MORTIER À BASE DE SABLES DE DUNES

Pour un même rapport E/C que le mortier témoin, les mortiers à base des deux sables de dunes (Boussaâda et Ouargla) ont présenté une consistance non mesurable (temps d'écoulement supérieur à 5 minutes au maniabilimètre LCPC contre 11 secondes pour le mortier témoin). A consistance égale, ces mortiers demandent une augmentation en eau de gâchage (tableau 5) et les résistances mécaniques obtenues sont très faibles par rapport au témoin comme il est indiqué dans le tableau 6.

Constituants (en g)	Sable témoin	Sable de Boussaâda	Sable de Ouargla
Sable	1350	1350	1350
Ciment	450	450	450
Eau	225	300 (+33%*)	280 (+24%*)
Consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	11	9	11

*) par rapport au témoin

Tableau 5- Compositions des mortiers à base de sable de dunes à consistance égale

Propriétés	Sable témoin	Sable de Boussaâda	Sable de Ouargla
E/C	0.50	0.67	0.62
Consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	11	9	11
Rc (MPa)	43.84	25.33	29.96
Rt (MPa)	8.01	5.34	5.58

Tableau 6- Epreuves mécaniques : résistance à la compression uniaxiale Rc et à la traction par flexion Rt (mortiers à consistance égale)

Pour une même consistance, les mortiers à base de sable de dune nécessitent plus d'eau de gâchage qu'un mortier classique. Dans le but de voir quel type de réponses sont apportées par l'ajout d'un sable plus grossier sur la granularité, la consistance et sur les résistances mécaniques, différents mélanges ont été réalisés avec un rapport E/C constant. Le premier stade de l'étude a consisté à combiner chacun des deux sables de dunes très fins avec différents pourcentages de sable d'oued relativement plus grossier.

4.2. MORTIER À BASE DE SABLE DE DUNE ET DE SABLE D'OUED

4.2.1 ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES DES MÉLANGES GRANULAIRES

Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés sous forme de courbes cumulatives reprises sur les diagrammes des figures 1 et 2.

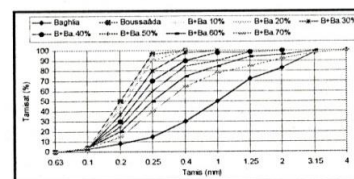


Figure 2- Courbes granulométriques des mélanges constitués par le sable de Boussaâda (B) et le sable d'oued de Baghlia (Ba).

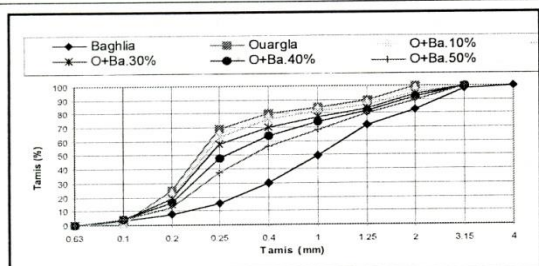


Figure 3- Courbes granulométriques des différents mélanges constitués par le sable de Ouargla (O) et le sable d'oued de Baghlia (Ba).

On remarque que les courbes granulométriques des différents mélanges prennent une allure plus étalée au fur et à mesure que la proportion en sable correcteur augmente.

4.2.2 MODULE DE FINESSE ET MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES DIFFÉRENTS MÉLANGES GRANULAIRES

Les résultats obtenus sur le module de finesse et les masses volumiques apparentes sont reportés sur les tableaux 7 et 8 et sur les graphiques des figures 3, 4, 5 et 6.

	Sable Baghlia	Sable Boussaâda	B+Ba 10%	B+Ba 20%	B+Ba 30%	B+Ba 40%	B+Ba 50%	B+Ba 60%	B+Ba 70%
Classe granulaire	0/3	0/0.25	0/0.25	0/0.25	0/0.4	0/1	0/1	0/2	0/3
Module de finesse	2.7	0.83	1.09	1.34	1.56	1.73	1.89	2.08	2.22
Masse volumique apparente (kg/m ³)	1550	1436	1444	1456	1456	1478	1489	1501	1513

B : sable de Boussaâda
Ba : sable de Baghlia

Tableau 7- Classe granulaire, module de finesse et masse volumique apparente des mélanges constitués par le sable de Boussaâda et le sable d'oued de Baghlia.

	Sable Baghlia	Sable Ouargla	O+Ba10%	O+Ba20%	O+Ba30%	O+Ba40%	O+Ba50%
Classe granulaire	0/3	0/1.25	0/2	0/2	0/2	0/2	0/3
Module de finesse	2.7	1.38	1.48	1.62	1.83	1.98	2.11
Masse volumique Apparente (kg/m ³)	1550	1454	1467	1478	1492	1507	1518

O : sable de Ouargla
Ba : sable de Baghlia

Tableau-8 Classe granulaire, module de finesse et masse volumique apparente des mélanges constitués par le sable de Ouargla et le sable d'oued de Baghlia

Le module de finesse passe de 0.83 à 2.22 pour la combinaison du sable de Boussaâda et du sable d'oued de Baghlia (la variation du module de finesse pour la combinaison du sable de Ouargla et le sable d'oued de Baghlia passe de 1.38 à 2.11). Un module de finesse de 2.22 à 2.11 est intéressant. Cependant, il implique une importante addition de sable d'oued (70% avec le sable de Boussaâda et 50% avec le sable de Ouargla).

La masse volumique apparente augmente avec l'ajout de sable d'oued tout en restant dans la gamme des sables courants (environ 1500 kg/m³).

4.2.3. COMPOSITION DES MORTIERS

Les mortiers ont été préparés avec un rapport eau/ciment (E/C) constant. La consistance des mortiers a été mesurée au maniabilimètre LCPC. Les différentes compositions sont représentées dans les tableaux 9 et 10.

Témoin (g)	Constituants (g)	Teneur en sable d'oued de Baghlia (%)						
		10	20	30	40	50	60	70
/	sable de Boussaâda	1215	1080	945	810	675	540	405
1350	sable d'oued de Baghlia	135	270	405	540	675	810	945
450	ciment	450	450	450	450	450	450	450
225	eau	225	225	225	225	225	225	225
11	consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	100	83	71	60	33	18	11

Tableau-9 Compositions des mortiers des mélanges constitués par le sable de Boussaâda et le sable d'oued de Baghlia

Témoin (g)	Constituants (g)	Teneurs en sable de Baghlia (%)				
		10	20	30	40	50
/	Sable de Ouargla	1215	1080	945	810	675
1350	sable d'oued de Baghlia	135	270	405	540	675
450	ciment	450	450	450	450	450
225	eau	225	225	225	225	225
11	consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	64	47	22	15	9

Tableau-10 Compositions des mortiers des mélanges constitués par le sable de Ouargla et d'oued de Baghlia

4.2.4. CONSISTANCE DES MORTIERS

Tous les mortiers mis en oeuvre ont été confectionnés avec un rapport E/C constant en faisant varier la teneur en sable d'oued. Pour chaque mélange granulaire, il a été mesuré le temps d'écoulement comme indiqués dans les tableaux 9 et 10. Nous avons tracé les variations du temps d'écoulement en fonction de la teneur en sable d'oued. Les courbes correspondantes sont portées sur la figure 4.

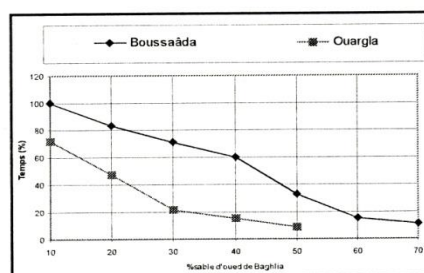


Figure-4 Mesure de la consistance : variation du temps d'écoulement au maniabilimètre LCPC des mortiers des mélanges constitués par les sables de dunes (Boussaâda et Ouargla) et le sable d'oued de Baghlia

Les résultats enregistrés montrent que la maniabilité s'améliore avec l'ajout du sable correcteur. Au-delà de 30% en sable correcteur, les valeurs de la maniabilité tombent à moins de 40 secondes. Cette durée du temps d'écoulement est très appréciable comparée à celles des sables de dunes pris isolément et qui étaient non mesurables.

4.2.5. RÉSISTANCES MÉCANIQUES

Les éprouvettes de dimensions 4x4x16 cm³ destinées à ces essais sont conservées, après démoulage à 24 heures, pendant une durée de 28 jours dans l'eau à une température de 20°C. Les résultats des essais de compression et de traction sont regroupés dans les tableaux 11 et 12.

Paramètres mesurés	Témoin	Teneur en sable de Baghlia (%)						
		10	20	30	40	50	60	70
E/C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	11	100	83	71	60	33	18	11
Rc (MPa)	43.84	17.79	29.42	32.98	42.91	45.02	47.53	48.73
Rt (MPa)	8.01	3.09	5.31	6.29	8.12	8.70	9.11	8.87
Rc/Rt	5.47	5.75	5.54	5.24	5.28	5.17	5.21	5.49

Tableau-11 Epreuves mécaniques à 28 jours : résistance à la compression uniaxiale Rc et à la traction par flexion Rt - Mortiers constitués par les mélanges du sable de Boussaâda et du sable d'oued de Baghlia

Paramètres mesurés	Témoin	Teneurs en sable de Baghlia (%)				
		10	20	30	40	50
E/C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	11	64	47	22	15	9
Rc (MPa)	43.84	37.60	41.03	44.20	50.19	48.13
Rt (MPa)	8.01	5.13	6.58	7.22	8.98	8.73
Rc/Rt	5.47	7.32	6.23	6.12	5.58	5.51

Tableau-12 Epreuves mécaniques à 28 jours : résistance à la compression uniaxiale Rc et à la traction par flexion Rt - Mortiers constitués par les différents mélanges du sable de Ouargla et du sable d'oued de Baghlia

Avec un rapport E/C constant, les résistances mécaniques des mortiers à base de sable de dunes augmentent proportionnellement à la teneur en sable d'oued. Pour les mélanges dans lesquels la proportion du sable d'oued est supérieure ou égale à 40%, les valeurs des résistances mécaniques sont meilleures ou égales que celles enregistrées sur le mortier-témoin.

4.3. MORTIERS ADJUVANTÉS

4.3.1. MORTIERS ADJUVANTÉS COMBINÉS AU SABLE D'OUED DE BAGHLIA

Les superplastifiants haut réducteurs d'eau permettent, à consistance égale, une réduction du dosage en eau. A dosage en eau constant, ils améliorent la consistance dans le sens d'une meilleure maniabilité. La composition des mortiers adjuvantés avec différents pourcentages de sable d'oued sont regroupés dans les tableaux 13 et 14.

Constituants (g)	Témoin (g)	Teneur en sable d'oued de Baghlia (%)			
		0	10	20	30
Sable Boussaâda	/	1350	1215	1080	945
sable Baghlia	1350	/	135	270	405
Ciment	450	450	450	450	450
Eau	225	225	225	225	225
Superplastifiant	/	9	9	9	9

Tableau-13 Compositions des mortiers adjuvantés à base du sable de dunes de Boussaâda à différents % de sable d'oued

Constituants (g)	Témoin (g)	Teneurs en sable d'oued de Baghlia		
		0%	10%	20%
Sable Ouargla	/	1350	1080	945
sable Baghlia	1350	/	135	270
Ciment	450	450	450	450
Eau	225	225	225	225
Superplastifiant	/	9	9	9

Tableau-14 Compositions des mortiers adjuvantés à base de sable de dunes de Ouargla à différents % de sable d'oued

Les résultats obtenus sur les mortiers testés sont résumés dans les tableaux 15 et 16.

Paramètres mesurés	Témoin	Teneurs en sable d'oued de Baghlia (%)			
		0	10	20	30
E/C	0.5	0/5	0.5	0.5	0.5
Consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	11	103	48	21	9
Rc (MPa)	43.84	27.22	33.45	41.42	48.49
Rt (MPa)	8.01	3.63	4.21	7.66	8.44
Rc/Rt	5.47	7.49	7.94	5.40	5.74

Tableau 15- Résultats expérimentaux des mortiers adjuvantés à base du sable de dune de Boussaâda à différents % de sable d'oued

Paramètres mesurés	Témoin	Teneurs en sable d'oued de Baghlia (%)		
		0	10	20
E/C	0.5	0.5	0.5	0.5
Consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	11	42	16	6
Rc (MPa)	43.84	36.18	42.00	49.84
Rt (MPa)	8.01	5.58	7.86	8.69

Tableau-16 Résultats expérimentaux des mortiers adjuvantés à base du sable de dune de Ouargla à différents % de sable d'oued

La combinaison d'un sable d'oued et d'un adjuvant superplastifiant permet d'améliorer les propriétés des mortiers à base de sable de dunes. Ainsi, les valeurs des résistances mécaniques sont proches et voire supérieures à celles du mortier

témoin. Elles sont exprimées en valeurs relatives par rapport à celles du témoin dans le tableau 17.

% sable d'oued	0		10		20		30	
	Rc%	Rt%	Rc%	Rt%	Rc%	Rt%	Rc%	Rt%
sable de Boussaâda	62.08	45.31	76.30	52.54	94.47	95.63	110.60	105.33
sable de Ouargla	82.52	69.66	95.76	98.09	113.63	108.45		(*)

(*) : le mélange avec 30% de sable d'oued n'a pas été réalisé car la consistance obtenue avec 20% de ce dernier est meilleure que celle du mortier témoin

Tableau-17 résistances mécaniques : valeurs relatives par rapport au témoin. Sables de Boussaâda et de Ouargla – Mortiers adjuvantés à différents pourcentages de sable d'oued.

4.3.2. MORTIERS ADJUVANTÉS COMBINÉS AVEC DES FINES SILICEUSES

Cette partie de l'étude traite de l'optimisation de la compacité des mortiers à base de sable de dune par substitution d'une partie du sable de dune par des fines siliceuses. Ces fines ont été obtenues par broyage de sable de dune. Ces matériaux ont été traités de sorte qu'au moins 70% des éléments soient de dimension inférieure à 63 µm. Ces fines considérées comme des additions pour bétons, ont une incidence directe sur la diminution de la porosité intergranulaire.

Le tableau 18 donne les différentes compositions réalisées.

Constituants (g)	Témoin	Sable Boussaâda	Sable Ouargla
Sable	1350	1215	1215
Ciment	450	450	450
Eau	225	225	225
fines	0	135	135
Superplastifiant	0	9	4.5

Tableau-18 Compositions des mortiers adjuvantés combinés à des fines siliceuses

Paramètres mesurés	Témoin	Sable Boussaâda		Sable Ouargla	
		Teneur en fines (%)			
		0%	10%	0%	10%
E/C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Consistance (maniabilimètre LCPC en s.)	11	103	8	42	8
Rc (MPa)	43.84	27.22	37.52	36.18	47.87
Rt (MPa)	8.01	3.63	6.11	5.58	7.41

Tableau-19 Résultats expérimentaux des mortiers adjuvantés combinés avec des fines siliceuses

Les fines améliorent les caractéristiques à la fois rhéologiques et mécaniques des mortiers. Les mortiers renfermant 10 % de fines offrent des performances assez proches, voire meilleures, que celles du mortier témoin (cas du sable de Ouargla).

6. CONCLUSIONS

Les sables de dune sont disponibles en grande profusion. Leur exploitation à ciel ouvert et sans aucun traitement mécanique les rendent économiquement compétitifs.

Les sables de dune sont de nature siliceuse, mono-granulaire, de dimension voisine de 1 mm et ont un module de finesse ne dépassant guère 1,40. Cette dernière caractéristique se présente comme une carence quant à leur utilisation dans les mortiers et bétons hydrauliques en leur conférant une maniabilité médiocre. Pour remédier à cette carence, partant du principe que le sable de dune est l'élément qualitatif central, il a été recouru à différentes combinaisons sous formes d'additions telles que l'ajout de sable naturel d'oued, de fines siliceuses, d'un superplastifiant ou la combinaison de deux d'entre eux simultanément. Les résultats obtenus ont clairement mis en exergue que ces additions peuvent améliorer indubitablement les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des mortiers.

Par delà ces résultats, il est patent que les sables de dunes peuvent être utilisés dans la construction en général moyennant l'incorporation dans la composition d'agents correcteurs dans les matériaux à fabriquer. Des recherches similaires ont montré que l'utilisation des sables de dunes corrigés peut être préconisée dans la fabrication d'éléments de constructions tels que notamment les parpaing et hourdis, éléments de claustra, fabrication de dalles, dalles, carreaux pour revêtement de sols, bordures de trottoirs, plaques de parement en pierres reconstituées, bétons courants et lit de sable pour canalisations.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **M. Mainguet et C. Jacquaminet.** Le grand erg occidental et le grand Erg oriental. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims, n° 59-60, 1984, PP. 29-48

[2] **M. Bédérina, M.M. Khenfer, R.M. Dheilly and M. Quéneudec.** Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes, Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 6, June 2005, Pages 1172-1179 ;

[3] **I.K. Cisse, M. Laquerbe,** Mechanical characterisation of filler sandcretes with rice husk ash additions Study applied to Senegal Cement and Concrete Research 30 (2000) (13-18)

[4] **Y. Benna, S. Bedjou, S. Ait Said, M. Amara et B. Guettache.** Valorisation des sables de dune, Identification et caractérisation des sables de dunes. Rapport de phase N°2, CNERIB/Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, mai 2004

[5] **S. Bedjou , A. Brara, Y. Benna et B. Guettache .** Caractérisation physico-chimique des sables de dunes algériens. Congrès International, Réhabilitation des constructions et développement durable. Alger, 3 et 4 mai 2005-Hôtel El-Aurassi -Alger -Algérie

[6] **Y. Benna, S. Bedjou, S. Aït Saïd et B. Guettache.** Valorisation des sables de dunes Phase III - Etude expérimentale : Rapport de phase N°3, CNERIB/Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, juin 2005

[7] **Oldache El Hadj.** Contribution à l'étude de la fixation des dunes dans les régions d'El Mesrane (W. de Djelfa et de Boussaâda). Thèse de magister. Octobre 1988.