



Revue des Matériaux & Energies Renouvelable

Journal home : <https://www.univ-relizane.dz>

ISSN : 2507-7554

E- ISSN : 2661-7595



FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE, UNIVERSITE DE RELIZANE.

Influence du dosage en vase calcinée sur les performances mécaniques des bétons autoplaçants

Open
Access

Belas Nadia¹, Belaribi Omar¹, Belguesmia Khalil¹, Safer Omar², RezziguaAhmed¹

¹ Laboratoire Construction, Transport et Protection de l'Environnement, Université de Mostaganem, BP 113 route de Belhacel 27000, Mostaganem, Algérie

² Laboratoire Construction, Transport et Protection de l'Environnement Département de génie civil, Université Ahmed Zabana, Bourmadia, 48000, Relizane, Algérie

RESUME

Article history:

Received 11 July 2020.

Received in revised form 06 August 2020.

Accepted 05 July 2021.

Keys word: vase, barrage de Chorfa II, béton autoplaçant, propriétés physico mécaniques, état frais, état durci.

L'Algérie possède une quantité appréciable de matériaux pouzzolaniques naturels comme la pouzzolane naturelle de Béni-Saf et artificiels telle que les vases issues des dragages des barrages. Mais devant la grande quantité de sédiments rejetés en aval de l'ouvrage, de sérieux problèmes d'environnement sont apparus. À cet effet leur utilisation dans la réalisation des bétons peut contribuer à la résolution de ces problèmes. Dans un esprit de développement durable et pour une bonne gestion de l'environnement, plusieurs domaines pour l'utilisation de la vase en tant que matière première et non plus comme déchet ont été ciblés notamment le génie civil. Ce travail qui fait partie d'une longue recherche, il consiste à valoriser la vase issue du barrage de Chorfa II (ouest algérien) en tant qu'addition minérale entrant dans la composition de bétons autoplaçants économiques. La vase est incorporée aux BAP après calcination, pour la rendre active, en dosages définis substituables en volume au ciment (10, 15, 20, 25, 30 et 35%). Les résultats trouvés montrent la possibilité d'obtenir des BAP à base de vase répondant aux normes en vigueur, ayant un comportement mécanique satisfaisant d'où la possibilité de valoriser ces sédiments en tant que matériaux de construction à part entière.

Copyright © 2021 - All rights reserved

1. Introduction

En Algérie de grand efforts ont été déployés pour la réalisation des barrages, mais malheureusement notre pays figure parmi les plus négativement touchés par l'érosion et l'envasement. Le phénomène de l'envasement des barrages en Algérie constitue un enjeu d'envergure nationale. Ces barrages se transforment beaucoup plus en réceptacles de vase que d'eau. A cet effet, les possibilités d'utilisation des sous-produits issus des opérations de dragage sont réelles et touchent de nombreuses applications. L'utilisation de ces matériaux en tant que matière première contribue souvent à la protection de l'environnement des sites suite au rejet des matériaux dragués.

L'Algérie dispose actuellement de 72 barrages plus ou moins envasés. Un envasement d'environ 1085.94 millions m³ [1] qui, selon des estimations prévisionnelles, atteindrait en 2020 un volume de 1 323.52 millions de m³. Il représente une réduction de capacité de 0.65%/an [2]. La valorisation des sédiments comme matériaux de construction demeure une réelle

* Corresponding author. E-mail address: nadia.belas@univ-mosta.dz

possibilité [3-8]. Elle ouvre de nouvelles perspectives à la recherche dans plusieurs domaines de la construction (granulat, ciment, brique et tuile). Avant l'utilisation des sédiments comme substituts partiels au ciment ils doivent subir une calcination pour les rendre actifs.

En effet, notre travail s'inscrit dans cette logique, et a été mené pour valoriser la vase du barrage de Chorfa II (ouest algérien) dans un BAP économique. sachant que cette vase est transformée, par un procédé thermique (*calcination*). Des BAP incorporant différents dosages de vase ont été testés à l'état frais par des essais répondant aux normes de l'AFGC [9] et à l'état durci par des essais de résistances à la compression.

2. Programme expérimental

2.1. Matériaux

2.1.1. Ciment

Le ciment est un CEM I 42,5 R de surface spécifique Blaine de 328 m²/kg et sa densité est de 3,02 g/cm³. Le tableau 1 donne la composition minéralogique du clinker.

Tableau 1- Composition minéralogique du clinker selon Bogue.

Constituants	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Teneurs (%)	71,42	2,76	7,03	8,98

2.1.2. Les granulats

Les granulats utilisés sont deux sables 0/3 (de mer et de carrière) et deux graviers 3/8 et 8/15.

2.1.3. Adjuvant

L'adjuvant est le SIKA VISCOCRETE TEMPO 12, un superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique, de densité 1,06 et de teneur en extraits secs de 30,2%.

2.1.4. La vase

Le prélèvement des échantillons a été effectué en aval du barrage Chorfa dans les zones de rejet. La figure 1 présente les étapes de préparation de la vase. Elle a subi un traitement thermique de 750°C pendant 5heures [10].



1 : Vase à l'état naturel



2 : Vase séchée



3 : Vase après broyage



4 : Vase tamisée non calcinée



5 : Vase calcinée

Figure 1- Etapes de préparation de la vase

Les caractéristiques chimiques de la vase sont représentées dans le *Tableau 2*.

Tableau 2- Caractéristiques chimiques de la vase après calcination.

Constituants	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O
%	45,72	13,54	20,25	5,69	2,64	2,09	0,22	0,26

Les différentes caractéristiques physiques de la vase sont présentées dans le *Tableau 3*.

Tableau 3- Caractéristiques physiques de la vase

Caractéristiques	Vase calcinée
Masse volumique apparente (g/cm ³)	0.49
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.65
Surface spécifique de Blaine (cm ² /g)	6446

L'analyse chimique et minéralogique de la vase étudiée (Figure 2a) révèle la présence des minéraux essentiels, tels que la silice et l'alumine qui composent les liants hydrauliques les plus courants [11][12]. La figure 2b montre l'apparence rugueuse et poreuse des grains de vase calcinés. Il suffirait d'activer thermiquement les minéraux d'argile afin qu'ils puissent réagir avec de l'eau si la teneur en calcaire est adéquate, pour former des composés qui durcissent à température ambiante [13].

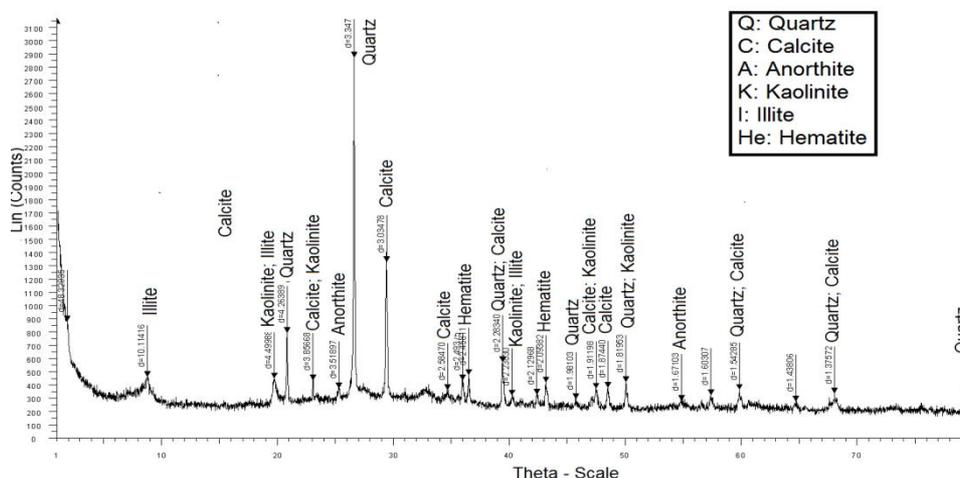


Figure 2a- Analyse DRX de la vase calcinée

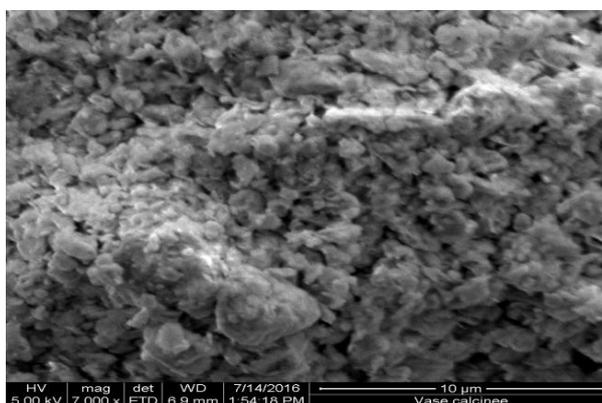


Figure 2b- Analyse EDS de la vase calcinée

2.2. Méthodes expérimentales

Les essais effectués sur les bétons permettent de conclure sur leur nature (*autoplaçant ou non*) et de caractériser leurs performances physiques et mécaniques. Les différents essais réalisés au cours de notre étude sont:

- Essai d'étalement
- Essais pour vérifier la capacité d'écoulement en présence d'armatures avec la boîte en L et le J-Ring,
- Essai de capacité de remplissage (*essai de stabilité au tamis*)
- Essai de ressuage.
- Résistances à la compression

2.3. Formulations

Le principe de formulation se base essentiellement sur la fixation du volume de pâte $\approx 37,5$ % soit 375 l/m^3 [14], rapport E/L $\approx 0,5$ et G/S proche de 1.

Trois compositions ont été étudiées :

- Un béton autoplaçant témoin BAPT sans vase.
- Six bétons autoplaçants BAPV XX avec substitution partielle au ciment (en volume) de 10, 15, 20 25, 30 et 35% de vase de Chorfa.

Le tableau 4 donne les sept formulations des BAP testées au cours de notre travail.

Tableau 4- Compositions des BAP.

Compositions (Kg/m ³)	Ciment	Vase	Eau	Super plastifiant	Graviers		Sable	
					Gravier 3/8	Gravier 8/15	Sable de mer	Sable de carrière
BAPT	447.39	/	223.69	3.36	330	495	570	245
BAP VC 10%	426.96	42.96	213.48	4.29	330	495	570	245
BAP VC 15%	392.72	51.69	219.53	6.28	330	495	570	245
BAP VC 20%	378,24	66,38	219	6,05	330	495	570	245
BAP VC 25%	362,42	79,5	217	8,48	330	495	570	245
BAP VC 30%	349,63	92,04	216,25	8,74	330	495	570	245
BAP VC 35%	338,06	103,83	215,75	8,62	330	495	570	245

Les différentes caractéristiques des BAP sont illustrées dans le tableau 5.

Tableau 5- Caractéristiques des BAP

Caractéristiques	BAPT	BAPV 10	BAPV 15	BAPV 20	BAPV 25	BAPV 30	BAPV 35
E /L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ajout/Ciment (%) En volume	0	10	15	20	25	30	35
Sp/C (%)	0,75	1,0	1,6	1,6	2,34	2,5	2,55
Volume de pâte (l/m ³)	375	375	375	375	375	375	375
Rapport G/S	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01

Volume de squelette granulaire (1/m ³)	625	625	625	625	625	625	625
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

3. Résultats et discussions

3.1. Essais sur BAP frais

Le tableau 6 regroupe les résultats des essais réalisés sur les BAP à l'état frais.

Tableau 6- Récapitulatif des résultats de caractérisation des BAP à l'état frais.

Essai	Béton	BAP T	BAP VC 10	BAP VC 15	BAP VC 20	BAPVC25	BAPVC30	BAPVC35
		\emptyset (cm)	69	68	63	64	67	66
	t_{50} (s)	3.11	2.8	2.10	2.64	2.9	3.08	3.3
	h_2/h_1 (%)	93	92.6	87	89	95.6	89	85
Boite en L	t_{20} (s)	1.25	1	1.4	1.5	1.26	1.3	1.46
	t_{40} (s)	2.5	1.4	2.2	2.8	2.33	2.48	2.75
Essai de J-Ring	\emptyset (cm)	62	60	57	54	59	58	56
	$2h_r-h_m$ (mm)	8.9	7.8	7	5.5	8.1	7	5.5
Stabilité au tamis	%	6.15	5.1	5.2	4.9	6.8	5.2	4.91
Essai de ressuage	‰	1,1	1.52	1.44	1.5	1,66	1,02	0,96

Le tableau 6 montre que les BAP testés respectent le critère d'étalement puisque les valeurs d'étalements spécifiés dépassent les 60 cm qui représentent la limite inférieure acceptable et inférieure à la limite supérieure de 75 cm ce qui implique que cette exigence a été convenablement remplie par tous les BAP.

Les temps mesurés pour atteindre une galette de 50 cm de diamètre (T_{50}) sont proches de la valeur couramment rencontrée (3 secondes).

Selon l'association française de génie civil *AFGC* [9] le béton peut être accepté si le taux de remplissage de la boîte en L (*rapport H_2/H_1*) est supérieur à 0,8, des temps d'écoulement peuvent être mesurés pour apprécier la viscosité. Les résultats trouvés montrent clairement que les bétons présentent des pourcentages satisfaisant compris entre 85 et 95,6%

L'essai de J-Ring permet d'apporter des informations sur la mobilité dans un milieu confiné, et l'homogénéité du mélange. Sur nos bétons, aucun problème n'a été signalé puisqu'ils ne présentent aucun blocage à travers les armatures et satisfait la condition de l'essai ($2h_r-h_m < 15$ mm).

L'essai de stabilité au tamis permet de calculer un taux de ségrégation et de déduire si le béton testé possède une stabilité satisfaisante ou non. Tous les BAP ont un taux de ségrégation inférieur à 15%, synonyme d'une stabilité correcte.

Tous nos bétons respectent la condition de l'essai du ressuage conseillée dont la valeur doit être inférieure ou égale à 3‰

3.2. Résistances mécaniques

La résistance mécanique en compression est une caractéristique essentielle des bétons et l'un des paramètres fondamentaux de notre étude, sa détermination est essentielle pour caractériser la réussite de la valorisation. Les résistances mécaniques mesurées à différentes échéances (3, 7, 14, 28 et 60 jours) sont présentés par la figure 3.

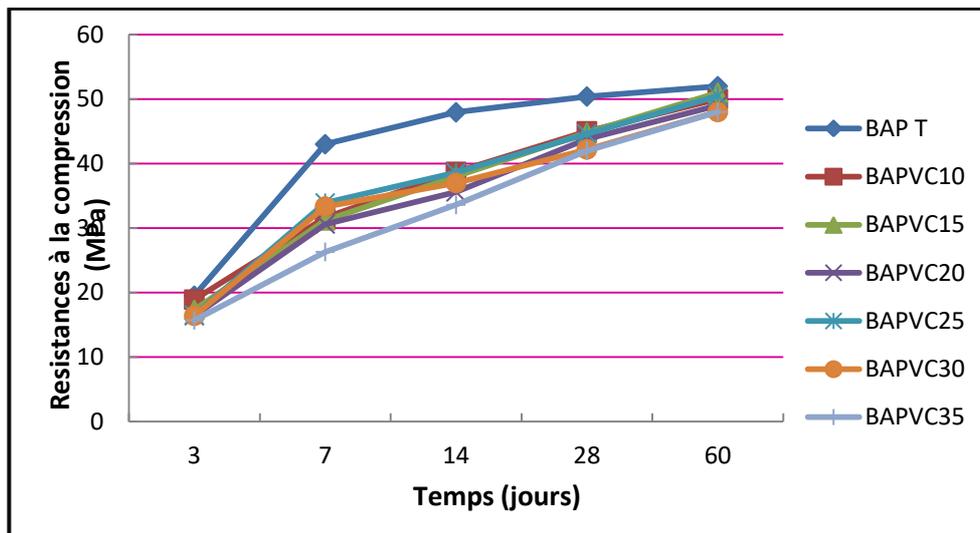


Figure 3- Evolution des résistances à la compression en fonction du temps et du dosage de vase.

La Figure 3 donne en fonction du temps, les résistances en compression des différentes compositions de BAP. Elle montre que toutes les résistances augmentent régulièrement avec l'âge et ne présentent aucune chute dans un fuseau délimité par le BAP témoin et le BAP VC 35%. Néanmoins, le BAP témoin se distingue des autres BAP par des résistances légèrement supérieures. En effet il atteint de bonnes performances à la compression, puisqu'il n'affiche pas moins de 52 MPa à 60 jours.

Cette augmentation est due à l'hydratation du ciment au cours du temps ce qui provoque l'évolution de la compacité. Quel que soit le dosage en vase les valeurs affichées restent acceptables pour ce type de béton. Elle génère une accélération de la résistance mécanique dès le jeune âge et pour cause les particules de la vase lorsqu'elles sont bien défloculées par le superplastifiant, favorisent l'hydratation du ciment et de la vase, principalement par un effet physique et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense. Ces effets ont une influence visible sur les performances mécaniques [15][16].

Cela s'explique aussi probablement par la différence du dosage en superplastifiant dans le **BAP VC** à cause de l'éventuelle structure poreuse des grains de la vase, et de la légère différence de surface spécifique Blaine en faveur de la vase.

Les différences de résistances des BAP VC avec celles du BAP T sont dues probablement au fait que la réaction pouzzolanique (*réaction entre la chaux libérée par l'hydratation du ciment et la silice présente dans la vase*) ne se déclenche qu'ultérieurement au-delà de 28 jours. En effet, à l'âge de 60 jours les résistances de tous les BAP contenant la vase rejoignent celle du témoin et la dépasseront vraisemblablement au-delà de cette échéance.

D'une façon générale tous les BAP à base de vase donnent des résultats très satisfaisants.

Pour mieux analyser les cinétiques de durcissement de nos bétons et visualiser l'évolution des résistances, nous avons choisi de considérer la notion de résistance relative ($f_{cj}/f_{c28\text{témoin}}$) pour les différentes formulations. L'historique de la figure 4 présente la cinétique de développement des résistances à la compression.

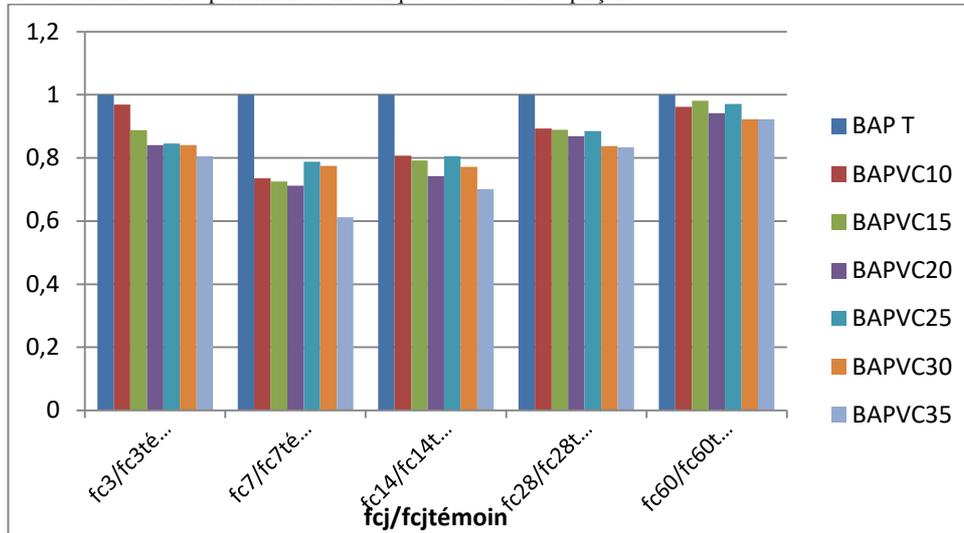


Figure 4- Cinétique de développement des résistances à la compression.

Le développement des résistances enregistrées pour l'ensemble des BAP suivent pratiquement la même cinétique qui est descendante jusqu'à l'âge de 14 jours puis ascendante au-delà de cette échéance. Cela peut s'expliquer par le phénomène de dilution qui est inversement proportionnel au taux de substitution, où plus ce taux est important moins est la quantité de ciment associée et donc moins d'hydrates formées. Toutefois le phénomène de dilution est souvent accompagné par l'effet de nucléation quand la finesse de l'ajout en question est supérieure à celle du ciment utilisé. En effet il a été démontré que plus la finesse d'un ajout augmente plus l'effet physique de ses grains prend parti du processus d'hydratation où les hydrates prennent les particules de l'ajout comme site de nucléation ce qui catalyse l'hydratation des grains de ciment [17] [18]. Cet effet reste positif aux faibles taux de substitution notamment dans les cas d'ajouts à grande finesse, vu qu'au-delà d'une certaine limite, les proportions ciment/ajout sont beaucoup plus défavorisés par la dilution et l'excès des sites de nucléation ce qui influence négativement les performances mécaniques [19].

IL est probable qu'au-delà de 60 jours les résistances des BAP à base de vase dépassent celles du témoin. Cela peut être expliqué par l'effet pouzzolanique du métakaolin issu de la calcination [20] qui est qualifié dans certains cas comme étant une réaction tardive. Ce retard est justifié par le taux de portlandite qui s'avère insuffisant avant 60 jours pour que la réaction pouzzolanique soit enclenchée.

4. Conclusion

Cette étude a permis d'apporter une contribution aux recherches menées sur les sédiments de dragage et leurs voies de valorisation. En effet, les résultats issus de ce travail montrent que l'utilisation de la vase draguée du barrage Chorfa II comme étant un ajout minéral substituable partiellement au ciment avec des pourcentages allant jusqu'à 35 %, n'affecte guère ni le comportement vis-à-vis de l'ouvrabilité ni les performances mécaniques qui s'avèrent proches du BAP témoin.

Les bétons élaborés montrent un comportement à l'état frais et une mobilité satisfaisante dans un milieu confiné et non confiné ainsi qu'une stabilité correcte, un faible ressuage et un comportement satisfaisant vis-à-vis de la ségrégation statique attribuant aux formulations le caractère de bétons autoplaçants.

D'une façon générale, tous les BAP affichent des performances satisfaisantes en compression qui probablement dépasseront celles du BAP témoin au-delà de 60 jours, d'où l'intérêt d'utiliser la vase jusqu'à 35% en substitution.

Ainsi l'intérêt d'un point de vue économique et écologique peut être souligné si l'on considère le gain en énergie entre la cuisson du Clinker et la calcination de la vase ainsi que le taux de CO₂ dégagé par l'industrie du ciment.

Ces bonnes performances doivent être soutenues par d'autres essais de durabilité afin de qualifier plus explicitement l'effet des sédiments traités à caractère pouzzolanique.

REFERENCES

- [1]- ANBT, 2015, « Agence nationale des barrages et transferts ».
- [2]- Remini, B., Leduc, C., Hallouche, W., « Evolution des grands barrages en région arides : quelques exemples algériens », Sécheresse ; N°1, p. 096-103, 2009.
- [3]- Achour, R., Abriak, N.-E., Zentar, R., Rivard, P., Gregoire, P., “Valorization of unauthorized sea disposal dredged sediments as a road foundation material”, Environ. Technol. 35, 1997–2007, 2014.
- [4]- Azrar, H., Zentar, R., Abriak, N.-E., “The effect of granulation time of the pan granulation on the characteristics of the aggregates containing dunkirk sediments”, Procedia Eng., advances in transportation geotechnics iii 143, 10–17. 2016.
- [5]- Hamouche, F., Zentar, R., “Effects of organic matter on mechanical properties of dredged sediments for beneficial use in road construction”, Environ. Technol. 41, 296–308, 2018.
- [6]- Maherzi, W., Benzerzour, M., Mamindy-Pajany, Y., Veen, E. Van, Boutouil, M., Abriak, N.E., “Beneficial reuse of brest-harbor (france)-dredged sediment as alternative material in road building: laboratory investigations”, Environ. Technol. 39, 566–580, 2018.
- [7]- Marouf, H., Semcha, A., Mahmoudi, N., Bouhamou, N., Benzerzour, M., Maherzi, W., “Experimental study on the reuse of a dredging sludge from west of algeria in brick fabrication”, Journal of materials and engineering structures 5, 63–172 163–172, 2018
- [8]- Wang, D., Abriak, N.E., Zentar, R., “Co-valorisation of dunkirk dredged sediments and siliceous–aluminous fly ash using lime”, Road mater. pavement design. 14, 415–431, 2013.
- [9]- AFGC 2008, « Recommandations pour l’emploi des bétons autoplaçants », 2008.
- [10]- Semcha A., «Valorisation des sédiments de dragage: Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug». Thèse de doctorat à l’Université de Reims Champagne-Ardenne, France, Décembre 2006.
- [11]- Benasla, M., Hadjel, M., Benamara, L., Ouhba K., «Characterization of sediment dam of Oued Fodda and valorization as an artificial addition in the cement ». Mater. Tech. 104 (2016) 304.
- [12]- Naamane, S., Rais, Z., Chaouch, M., «Incorporation de la boue, d’épuration des eaux usées, traitée par lavage par eau dans le ciment», J. Mater. Environ. Sci. 5 (2014) 2515– 2521.
- [13]- Benasla, M., Benamara, L., Hadjel, M., «Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l’Oued Fodda et valorisation en tant que matériau de construction», J. Mater. Environ. Sci. 6, 546–558, 2015.
- [14]- Bouhamou, N., « Influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement à l’état frais et durci du béton autoplaçant à base de matériaux locaux Algériens », Thèse de Doctorat, Université de Mostaganem, Algérie. 2008.
- [15]- Mebrouki, A., Cyr, M., Bouhamou, N., Belas Belaribi, N., « Valorisation de matériaux locaux : Etude du comportement mécanique de mortiers incorporant une pouzzolane naturelle Algérienne », Annales de BTP (bâtiment et travaux publique), juin 2006.
- [16]- Benkaddour, M., « Durabilité des mortiers à base de pouzzolane naturelle et de pouzzolane artificielle », Revue Nature et Technologie, 01Juin 2009.
- [17]- Cyr, M., Lawrence, P., et Ringot, E., “Mineral admixtures in mortars: Quantification of the physical effects of inert materials on short-term hydration”, Cement and Concrete Research, volume 35, 719–730, 2005.
- [18]- Cyr, M., Lawrence, P. et Ringot, E., “Efficiency of mineral admixtures in mortars: Quantification of the physical and chemical effects of fine admixtures in relation with compressive strength”, Cement and Concrete Research, volume 36, 264 – 277, 2006.
- [19]- Scrivener, K.L., Lothenbach, B., De Belie N., Gruyaert, E., Skibsted, J., Snellings R. and Vollpracht A., “Hydration and microstructure of concrete with SCMs : State of the art on methods to determine degree of reaction of SCMs”, J. Materials and Structures, 2015.
- [20]- Samara, M., « Valorisation des sédiments traités dans les bétons autoplaçants », XXVIe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Nancy, 2008.