



Journal of Materials and Engineering Structures

Research Paper

Influence du pourcentage de substitution en sédiment traité sur l'ouvrabilité, la résistance et la porosité des BAP

Influence of treated sediment substitution percentage on workability, strength and porosity of SCC

Khalil BELGUESMIA ^{a,b}, Nadia BELAS BELARIBI ^{a,*}, Ouali AMIRI ^b, Nordine LEKLOU ^b, Omar BELARIBI ^a

^aLaboratoire Construction, Transport et Protection de l'Environnement « LCTPE », , université de Mostaganem, Algérie

^bUniversité de Nantes, POLYTECH, GeM-UMR CNRS 6183, Research Institute in Civil Engineering & Mechanics, France

ARTICLE INFO

Historique de l'article :

Recu : 4 décembre 2017

Révisé : 20 janvier 2018

Accépté : 21 janvier 2018

Mots clés:

Béton Autoplaçant

Valorisation

Vase calcinée

Résistance mécanique

Keywords :

Self-Compacting Concrete

Valorization

Calcined mud

Compressive strength

RESUME

Le dragage des sédiments se retrouve souvent confronté au problème d'élimination des quantités de vase extraites. Ce même problème a donné naissance à la politique de valorisation afin de fournir une alternative au stockage et au rejet des sédiments dragués. Cette étude consiste à élaborer des bétons autoplaçants en substituant partiellement le ciment par de la vase issue du barrage Chorfa (Algérie) après calcination. Les résultats obtenus montrent qu'une substitution allant jusqu'à 30% du ciment par de la vase calcinée dans des BAP semble réalisable tout en ayant des performances mécaniques proches, voire meilleures que celles d'un BAP de référence. Outre les résistances mécaniques, les différents BAP de l'étude présentent des porosités très fines qui font d'eux des BAP potentiellement durables.

ABSTRACT

Sediment dredging is often confronted with the problem of eliminating the quantities of extracted mud. This issue has given rise to valorization policy in order to provide an alternative to the storage and disposal of dredged sediments. This study concerns the developing of self-compacting concretes (SCC) by substituting partially cement with sediment dredged from Chorfa dam (Algeria) after being calcined. The results showed that a substitution up to 30% of cement with calcined mud in SCC seems feasible according to the found mechanical performances which were close even better than those of the reference SCC. Moreover, the studied SCC showed very fine porosities which make of them potentially sustainable SCC's.

* Corresponding author.

E-mail address: belaribi2001@yahoo.fr

e-ISSN: 2170-127X,



RESEARCH REVIEW of
Sciences and Technologies

1 Introduction

Les sédiments sont des déchets naturels qui préoccupent l'environnement, nombreux sont les chercheurs qui essaient de trouver la meilleure voie de valorisation. Le mot sédiment est donné à tout matériau fin ayant subi un transport hydrique et une sédimentation. Toutefois, les sédiments sont très souvent de natures différentes au regard de la composition chimique et minéralogique, ce qui donne à chaque sédiment son propre potentiel de valorisation, tous les matériaux considérés sédiments, portent donc le même nom mais sont loin d'être semblables. En effet, les sédiments présentent des compositions très variées et ce à cause de la diversité des bassins versants qui fournissent ses différents constituants [1].

Des travaux ont été réalisés sur des sédiments de dragages fluviaux [2] et/ou marins [3]. Une grande partie de ces travaux optent pour la valorisation en techniques routières et d'autres tentent une valorisation des sédiments entant que matériaux fillers dans la partie granulats des mortiers et bétons, mais peu sont les travaux qui considèrent les sédiments traités entant que matériaux à caractère pouzzolanique substituable partiellement au ciment [1], [4-6].

Baptiste [1] a fait une étude sur cinq voies de valorisation selon la composition du sédiment, ceci permet de mieux choisir le domaine de valorisation suite à une identification établie en amont sur chaque sédiment. Certains des sédiments traités ayant des propriétés pouzzolaniques peuvent être utilisées en tant qu'ajouts ou substitués au ciment ce qui fait de la technologie des Bétons Autoplaçants (BAP) une voie privilégiée de leur valorisation [7-9].

Pour des fins technico-écologiques, cette étude a été portée sur un sédiment fluvial provenant du barrage Chorfa (Ouest de l'Algérie) qui présente un taux d'envasement annuel avoisinant le million de mètres cubes [2]. La voie de valorisation en matériaux cimentaires a été adoptée, en l'occurrence la technologie des BAP, suite à la caractérisation physico-chimique et minéralogique de la fraction solide des vases extraites du barrage de Chorfa qui a donné plus de crédibilité au choix de cette voie de valorisation. En effet, une analyse DRX effectuée sur le sédiment brute a révélé la présence de kaolinite dans la vase. C'est pourquoi, une activation thermique par calcination à 750°C de la vase de cette étude engendre la transformation de la kaolinite en métakaolin, ce dernier est un matériau considéré pouzzolanique depuis 1963, et qui a connu une croissance d'utilisation suite aux avantages techniques qu'il apporte aux matériaux cimentaires [10].

Ce travail a pour but d'étudier l'effet du pourcentage de substitution du ciment par de la vase calcinée provenant du barrage de Chorfa sur l'ouvrabilité ainsi que les performances mécaniques des BAP ayant le même squelette granulaire, le même rapport eau/liant et le même volume de pâte. L'étude s'étendra aussi sur la mesure de la porosité qui est considérée comme étant l'un des principaux indicateurs de durabilité.

2 Matériaux

Le ciment utilisé est un ciment CEM-I 42.5 R conforme aux exigences spécifiées dans la norme NF EN 197-1 avec une finesse de 338 m²/kg. La vase étudiée a été prélevée en aval du barrage Chorfa dans la zone de rejet, la vase en question est séchée, broyée et tamisée à 80 µm puis calcinée à 750°C pendant 05 heures [7]. La surface spécifique Blaine de notre sédiment traité est 732 m²/kg. Les compositions chimiques du ciment et de la vase utilisés sont données dans le tableau 1.

Tableau 1- Composition chimique du ciment et de la vase calcinée.

Constituants	Ciment (%)	Vase Calcinée (%)
SiO ₂	22.30	55.34
Al ₂ O ₃	5.10	15.75
Fe ₂ O ₃	3.99	07.43
CaO	63.60	13.82
Na ₂ O	0.34	0.26
K ₂ O	0.70	2.09
MgO	/	2.64
SO ₃	1.24	0.22
P.F	1.18	/

La grande finesse de notre sédiment s'explique par la taille des particules qu'on peut observer sur la courbe granulométrique illustrée dans la figure 1 ainsi que l'état de surface des grains de la vase. Ces derniers ont été observés au microscope électronique à balayage (MEB).

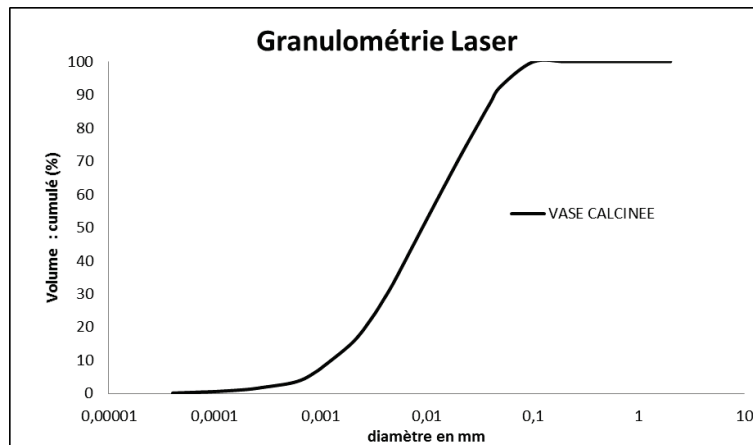


Fig. 1 – Distribution granulométrique des grains de la vase calcinée

L'analyse granulométrique a été effectuée au granulo-laser par voie humide selon la méthode de Fraunhofer. La répartition granulaire des grains de la vase calcinée montre que les diamètres de la majorité des grains se situent en dessous de 50 μm et que le diamètre moyen à 50% du volume de l'échantillon est de l'ordre de 10 μm , ce qui confirme la grande finesse de notre sédiment traité.

L'état de surface des grains de la vase peut avoir aussi un impact sur la finesse. Ces derniers ont été observés au microscope électronique à balayage (MEB). La figure 2 montre l'apparence de ces grains au MEB.

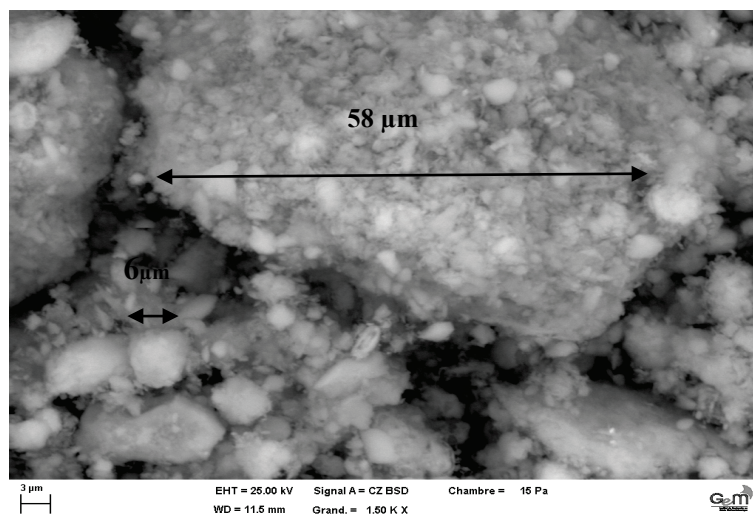


Fig. 2 – Grains de vase calcinée observés au MEB ($\times 1500$)

La figure 2 montre que les grains de vase calcinée sont très fins et leurs surfaces sont rugueuses ce qui outre la taille des grains explique la forte demande en eau de cette vase constatée lors d'un essai de consistance normale effectué par l'appareil de Vicat, où une pâte de 100% de vase est en consistance normale avec un rapport Eau/Vase de 0.45 alors qu'une pâte de 100 % de ciment est en consistance normale pour un E/C égal à 0.26.

2.1 Traitement du Sédiment

Le traitement des sédiments est indispensable notamment quand ces derniers sont destinés à être incorporés dans la formulation d'un BAP. Le traitement a pour objectif l'élimination des résidus organiques et la transformation des structures

argileuses stables en l'occurrence la kaolinite, en structures amorphes capables de réagir avec la chaux libérée par le ciment lors de son hydratation sous forme de portlandite [1]. La composition chimique et cristallographique de la vase du barrage Chorfa permet d'envisager ce type de transformation.

La figure 3 illustre la courbe DRX du sédiment brut et le changement de la composition cristalline de la vase après le traitement thermique.

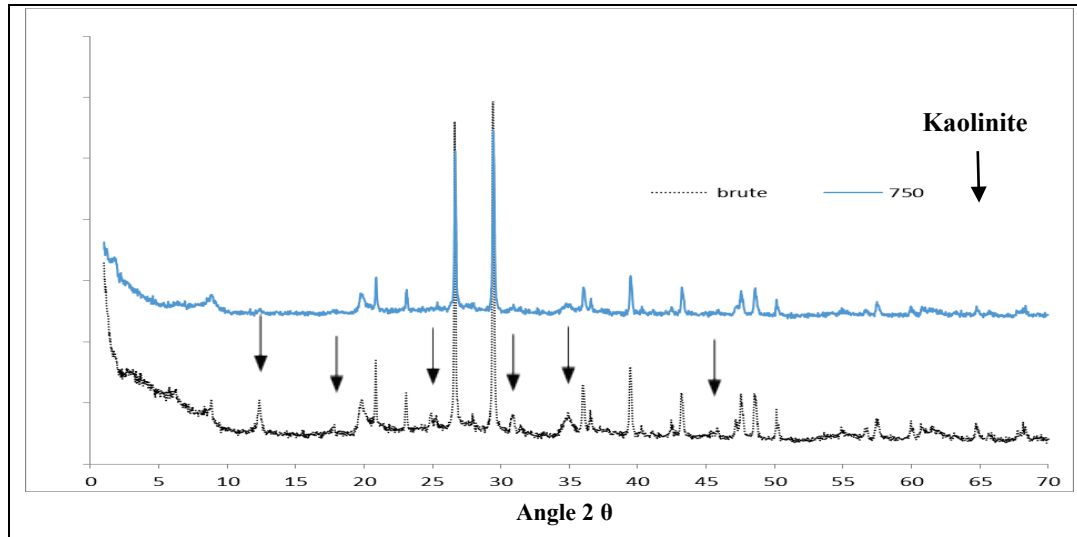


Fig. 3 – Diffractogrammes des rayons X de la vase brute et la vase calcinée

L'analyse par DRX de la vase brute montre l'existence de pics correspondants aux minéraux tels que : la kaolinite, la calcite, le quartz et la moscovite. Nous nous intéresserons à la Kaolinite qui après calcination entre 500 et 800 °C se transforme en métakaolin [10]. En effet la courbe DRX de la vase calcinée à 750 °C montre principalement la disparition des pics correspondants à la Kaolinite. Le faible degré de cristallinité du produit de cette calcination, en l'occurrence le métakaolin rend la silice et l'alumine potentiellement réactives. L'activité pouzzolanique est liée à cette particularité [1]. Donc une calcination à 750°C pendant 05 heures devrait nous assurer la réactivité pouzzolanique recherchée pour les pourcentages de substitutions envisagés [7].

2.2 Indice d'activité Pouzzolanique

Au sens des normes EN 450 et NFP 18-506, cet indice est déterminé pour $E/C = 0,5$ et $p = 0,25$. Il est donc défini comme le rapport des résistances en compression $f_p(t)$ et $f_0(t)$, respectivement la résistance du mortier contenant une fraction p d'addition et la résistance du mortier témoin (sans addition).

La comptabilisation du substitut dans le liant équivalent pour le calcul du rapport $E/L_{\text{équi}}$, suit les règles normatives XP 18-305 et EN 206-1 où le liant équivalent est donné par l'équation (1) :

$$L_{\text{équi}} = C + k \times A \quad (1)$$

où **C** : masse du ciment, **K** : le coefficient d'activité (il est en fonction de i) et **A** : la masse du substitut utilisé.

Le coefficient **K** à son tour est déterminé par l'une des formules (2) ou (3) respectivement :

$$K = 1 - [(1/P) \times [1 - 0.5 \times (E/C)]] \times (1 - i) \quad (2)$$

$$K = 3 \times i - 2 \quad (3)$$

Des prismes de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ont été confectionnés pour les deux liants équivalents, respectivement à base de vase calcinée et à base de ciment seul afin de mesurer les résistances en compression sur les demi-éprouvettes rompues par flexion à 90 jours.

Le tableau 2 illustre les valeurs de i et de k .

Tableau 2 -Valeurs de l'indice et du coefficient d'activité de la vase calcinée

		Compression (MPa)	Traction (MPa)
Mortier	Mortier 1 (MT)	58,13	12,91
	Mortier 2 (25% vase calcinée)	57,59	12,64
Indice d'activité	$i(p)=f_p(t) / f_0(t)$	0,99	
Coefficient d'activité	$K = 3 \times i - 2$	0,97	

L'indice d'activité de la vase calcinée est proche de 1, ce qui est signe d'une forte activité pouzzolanique.

2.3 Constituants des BAP

Les granulats ainsi que le sable utilisés sont d'origine calcaire avec un diamètre max de 16 mm pour les graviers, pour l'adjuvant plusieurs essais de caractérisation à l'état frais ont été réalisés afin d'adapter la formule BAP de base à l'incorporation de la vase traitée tant que substitut du ciment dans la formulation. La formulation de base est celle développée par Bouhamou [11]. Le même volume de pâte (375 litres/m³) et les mêmes proportions des constituants du squelette granulaire ont été maintenus pour l'ensemble des BAP de cette étude, et ce afin de pouvoir exploiter les résultats des essais expérimentaux et comparer les performances des BAP à base de vase calcinée avec ceux du BAP de référence. Comme mentionné précédemment, l'essai de consistance normale a été effectué par l'appareil de Vicat afin de mesurer la quantité d'eau qu'une pâte de vase calcinée requière pour être dans la consistance normale, cet essai a révélé que la vase requière environ deux fois la quantité d'eau que le ciment pour être dans la consistance normale ce qui explique pourquoi le dosage en superplastifiant dans les BAP contenant la vase calcinée est proportionnel aux pourcentages de substitution.

3 Formulations des BAP

Les BAP de cette étude se résument à 04 formulations ayant toutes le même volume de pâte, le même squelette granulaire et le même rapport $E/L_{\text{équi}}$ égal à 0,5. La formulation de base dite de référence contient 100% de ciment comme liant et les trois autres qui découlent de cette même formulation contiennent respectivement 10, 20 et 30% de vase calcinée substituée au ciment comme détaillé dans le tableau 3 :

Tableau 3 -Formulations des BAP

Constituants Kg/m ³	BAP			
	BAP témoin	BAP 10% vase	BAP 20% vase	BAP 30% vase
Ciment	450	402	380	315
Eau	225	218,5	220	210
E/C	0,5	0,54	0,57	0,66
Superplastifiant	3,5	3,65	5,2	7,5
Vase calcinée	/	38,5	67	115
Gravier 3/8	330	330	330	330
Gravier 8/15	495	495	495	495
Sable de mer	245	245	245	245
Sable de carrière	570	570	570	570

Le sable utilisé dans est un mélange de deux sables à savoir un sable de mer et un sable de carrière afin d'avoir un sable à granulométrie adéquate aux formulations.

4 Procédures d'essais

Les BAP ont fait l'objet de caractérisation à l'état frais à savoir essai d'étalement au cône, capacité de remplissage en boîte en L et la stabilité au tamis conformément aux recommandations de l'AFGC [12]. Une fois confectionnés, les BAP ont été coulés dans des moules prismatiques (10x10x10) cm³. Les éprouvettes ont été préservées dans l'eau dans une salle de conservation à température $T = 20 \pm 1$ °C jusqu'aux échéances d'écrasement 03, 07, 14, 28, 90, 180 et 360 jours. La détermination de la structure poreuse et la distribution porale de l'ensemble des BAP a été effectuée par porosimétrie au mercure avec l'appareil AUTOPORE IV de Micromeritics qui peut détecter des pores jusqu'à 6nm. Cette technique nous permet d'avoir des informations très fiables concernant la distribution et la taille des pores. L'essai a été effectué à l'âge de 120 jours.

5 Résultats

5.1 Etat frais

Les essais à l'état frais avaient pour objet la caractérisation des différents BAP de cette étude vis-à-vis de l'ouvrabilité afin de vérifier les propriétés autoplaçantes et ajuster les formulations à l'incorporation de la vase calcinée. L'ensemble des résultats de la caractérisation à l'état frais sont représentés dans le tableau 4.

Tableau 4 -récapitulatif des résultats de caractérisation à l'état frais

		BAP T	BAP 10% V	BAP 20% V	BAP 30% V
Étalement	Ø (cm)	69	68	66	64
	T₅₀ (s)	2,8	2,8	2,7	3,7
	H₂/H₁ %	93	92	89	89
La boîte en L	T₂₀ (s)	1,3	1	1,5	1,3
	T₄₀ (s)	2,5	2,1	2,8	2,5
Stabilité au tamis	%	6,2	5,8	5,2	5,1

Les 4 BAP vérifient l'ensemble des recommandations de l'AFGC [12] en affichant des caractéristiques similaires à l'état frais. Il est à noter que les BAP à base de vase calcinée nécessitent un dosage plus important en superplastifiant qui est directement proportionnel au pourcentage de substitution, et ce à cause de la grande finesse de la vase comparée à celle du ciment et éventuellement à cause de la structure poreuse des grains comme observé précédemment à la figure 2 et donc à l'absorption d'eau qui en résulte si l'on se réfère à la famille des ajouts minéraux tels que la fumée de silice et les cendres volantes qui ont une demande en eau plus importante par rapport à celle du ciment, ce qui réduit les propriétés d'ouvrabilité des BAP [13]. Par conséquent, le taux de substitution dans cette étude est limité à 30%.

5.2 Etat durci

Les éprouvettes (10x10x10) cm³ coulées à l'issue des opérations de malaxage des différents BAP, ont fait l'objet d'essais de compression à plusieurs échéances allant de 3 à 360 jours. Les courbes de la figure 4 représentent l'évolution des résistances à la compression enregistrées pour les différents BAP de cette étude.

La figure 4 illustre le développement des résistances pour les différents BAP d'étude jusqu'à l'âge de 360 jours. Les résistances enregistrées pour l'ensemble des BAP suivent la même cinétique avec un léger avantage pour le BAP témoin avant l'âge de 90 jours, cela peut s'expliquer par le phénomène de dilution causé par le remplacement partiel du ciment, où plus le taux de substitution est important, moins sont les hydrates formés. Toutefois le phénomène de dilution est souvent accompagné par l'effet de nucléation quand la finesse de l'ajout utilisé est supérieure à celle du ciment substitué. 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 [14, 15]. 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 défavorisées par la dilution et l'excès des sites de nucléation ce qui influence négativement les performances mécaniques [16].

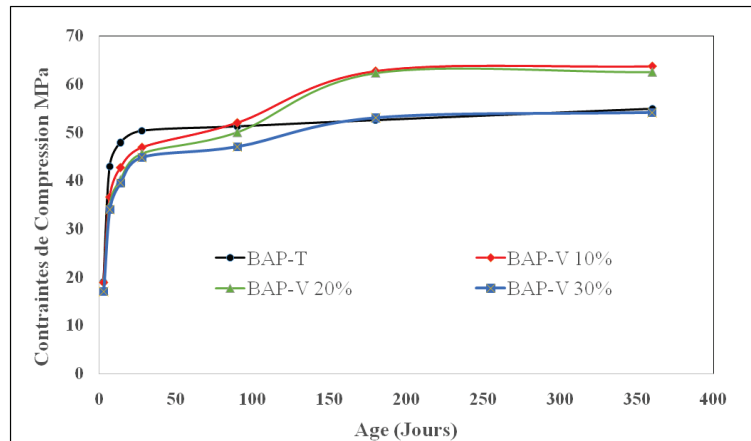


Fig. 4 – Evolution des résistances à la compression en fonction du temps

Au-delà de 90 jours les deux BAP, à base de 10 et 20% de vase calcinée respectivement, se distinguent en développant des résistances à la compression relativement supérieures à celles des deux autres BAP. Cela peut être expliqué par l'effet pouzzolanique du métakaolin issu de la calcination [17] qui est qualifié dans certains cas comme étant une réaction tardive qui se manifeste au-delà de 90 jours, ce retard de réaction pourrait être justifié par le taux de portlandite qui s'avère insuffisant avant 90 jours pour que la réaction pouzzolanique soit enclenchée. Le BAP à base de 30% de vase calcinée affiche des résistances similaires à celles du BAP de référence mais légèrement inférieures à celles des BAP à base de 10 et 20 % de vase calcinée, ceci s'explique par le fort effet de dilution engendré par le fort taux de substitution. En effet, moins de ciment implique non seulement moins d'hydrates mais aussi moins de portlandite et par conséquent moins de réaction pouzzolanique [16].

5.3 Porosité

Résistance et porosité sont très souvent liées, la littérature montre plusieurs études et modèles qui relient les deux paramètres [18], mais la porosité englobe toute forme de vide présent au sein d'un élément, c'est pourquoi, certaines études ont montré que la résistance est fortement influencée par le diamètre moyen des pores et le pourcentage des gros pores, ce type de porosité est directement lié au rapport E/C, tandis qu'à l'échelle nanométrique, la résistance dépend principalement de la quantité et la morphologie des produits issues de l'hydratation [18]. Il est à souligner aussi que l'effet des ajouts minéraux sur la porosité n'est pas toujours le même vu qu'il est conditionné non seulement par la nature de l'addition mais aussi par sa finesse et le type de ses grains ainsi que pourcentage de substitution [19]. La distribution porale et la taille des pores dans les différents BAP de cette étude ont été déterminées par intrusion de mercure avec une pression qui atteint les 200 MPa.

La figure 5 représente respectivement les courbes des volumes cumulés des pores (intrusion et extrusion) et la distribution porale sous forme de logarithme différentiel de l'intrusion du mercure.

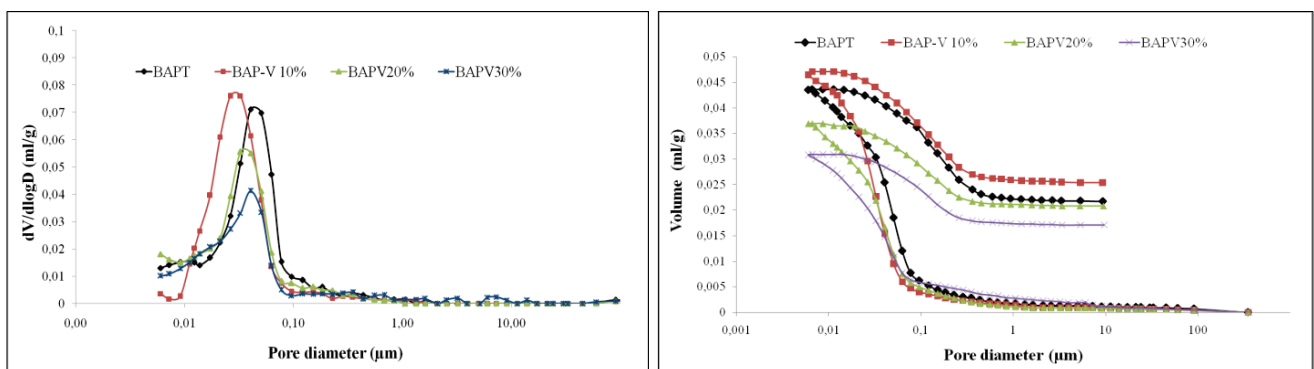


Fig. 5 – Distributions porales des différents BAP et leurs volumes cumulés de pores

La porosité révélée par les courbes de la figure 5 est une porosité mésoporeuse dont la distribution est monomodale, l'ensemble des BAP à base de vase calcinée présentent une porosité légèrement plus fine que celle du témoin mais le volume des pores diffère d'un BAP à l'autre, cela pourrait être expliqué par le fort dosage en superplastifiant dans les BAP à base de sédiment comme le montre une étude de Khatib [20] menée sur l'influence des superplastifiants sur la porosité et la structure poreuse des pâtes de ciment. Toutefois le dosage en superplastifiant n'est forcément pas le seul paramètre à considérer vu que les différents phénomènes cités dans la partie résistances mécaniques dans ce présent papier ont des incidences sur la structure poreuse à leurs tours, si l'on considère l'effet de dilution et celui de nucléation qui conduisent à la formation d'hydrates (à caractère poreux) dans le cas du BAP-V 10% qui est considéré à faible taux de substitution, tandis que pour les deux autres BAP respectivement 20 et 30% de vase calcinée, la grande finesse et le fort taux de substitution ont conduit à une densification et un remplissage plus important en éléments fins associés aux éventuels produits de la réaction pouzzolanique [16].

6 Conclusion

Cette étude a permis de tirer quelques conclusions qui pourraient apporter une contribution aux études menées sur les sédiments de dragage et leurs voies de valorisation. En effet, les résultats de cette étude montrent que l'utilisation de la vase draguée du barrage Chorfa entant qu'un ajout minéral substituable partiellement au ciment avec des pourcentages pouvant atteindre les 30% semble réalisable. Toutefois, il a été constaté que le dosage en superplastifiant doit être ajusté au pourcentage de substitution en vase calcinée, et ce pour le maintien de l'ouvrabilité, qui est considérée l'un des dénominateurs commun entre les différents BAP de cette étude au même titre que le rapport $E/L_{\text{équi}}$, le squelette granulaire et le volume de pâte.

Les BAP à base de vase calcinée affichent des bonnes performances mécaniques caractérisés par des résistances à la compression très satisfaisantes. En effet, les résistances sont similaires au BAP témoin pour BAPV-30% et meilleures pour les BAP de 10 et 20 % de substitution.

La grande finesse de la vase et sa structure poreuse ont été un obstacle pour des taux de substitution supérieurs à 30%, d'où la nécessité d'explorer d'autres adjuvants plus performant afin de palier à ce problème.

D'autre part, l'ensemble des BAP à base de vase calcinée présentent de faibles porosités avec des tailles de pores n'excédant pas les 10 nm ce qui est un facteur positif pour qualifier la durabilité des BAP de cette étude.

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 CO_2 dégagé par l'industrie du ciment. Donc d'une façon générale, tous les BAP affichent des performances satisfaisantes d'où l'intérêt d'utiliser la vase jusqu'à 30% de substitution.

Les résultats de cette étude doivent être soutenus par d'autres essais de durabilité afin de pouvoir qualifier plus explicitement l'effet des sédiments traités à caractère pouzzolanique dans les BAP.

REFERENCES

- [1]- B. Anger, Caractérisation des sédiments fins des retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, 2014.
- [2]- O. Belaribi, Durabilité des bétons autoplaçants à base de vase et de pouzzolane. Thèse de Doctorat, Université de Cergy Pontoise, France et Université de Mostaganem, Algérie, 2015
- [3]- F. Agostini, Inertage et Valorisation des sédiments de dragages marins. Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lille et Université des sciences et techniques de Lille, 2006.
- [4]- E. Rozière, M. Samara, A. Loukili, D. Damidot, Valorisation of sediments in self-consolidating concrete: Mix-design and microstructure. *Constr. Build. Mater.* 81 (2015) 1–10. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.01.080
- [5]- F. Agostini, F. Skoczylas, Z. Lafhaj, About a possible valorisation in cementitious materials of polluted sediments after treatment. *Cement Concrete Comp.* 29(4) (2007) 270–278. doi:10.1016/j.cemconcomp.2006.11.012
- [6]- F. Agostini, C.A. Davy, F. Skoczylas, Th. Dubois, Effect of microstructure and curing conditions upon the performance of a mortar added with Treated Sediment Aggregates (TSA). *Cement Concrete Res.* 40(11) (2010) 1609–1619. doi:10.1016/j.cemconres.2010.07.003

- [7]- A. Semcha, Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug. Thèse de doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2006.
- [8]- M. Bensala, M. Hadjel, L. Benamara, K. Ouhba, Caractérisation de sédiments du barrage de l'Oued Fodda et leur valorisation comme un ajout artificiel dans le ciment. *Matériaux & Techniques*, 104(3) 2016. doi:10.1051/mattech/2016025
- [9]- K. Ouhba, L. Benamara, A. Hadj Hamoui, A. Hamwi, Marie-D. Loye Pilot, Conception of a synthesis pozzolan from sediment dams calcined (Case: Gargar dams). In: MATEC web of Conferences, International Congress on Materials & Structural Stability, vol. 11, 2014. doi:10.1051/mateconf/20141101023
- [10]- F. Saidat, Activation chimique du Métakaolin dans une matrice cimentaire. Thèse de Doctorat en Génie Civil, Université de Toulouse 3, 2013.
- [11]- N. Bouhamou, N. Belas, H. Mesbah, R. Jaubertie, O. Amiri, A. Mebrouki, Influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement à l'état durci du béton autoplaçant à base de matériaux locaux Algériens. *Can. J. Civ. Eng.* 36(7) (2009) 1195-1206. doi:10.1139/L09-071
- [12]- AFGC, Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants. Association Française de Génie Civil, 2008.
- [13]- M. Cyr, M. Mouret, Rheological characterization of superplasticized cement pastes containing mineral admixtures: Consequences on Self-Compacting Concrete design. *ACI Mater. J.* 217(2003) 241-256.
- [14]- M. Cyr, Ph. Lawrence, E. Ringot, Mineral admixtures in mortars: Quantification of the physical effects of inert materials on short-term hydration. *Cement Concrete Res.* 35(4) (2005) 719–730. doi:10.1016/j.cemconres.2004.05.030
- [15]- M. Cyr, Ph. Lawrence, E. Ringot, Efficiency of mineral admixtures in mortars: Quantification of the physical and chemical effects of fine admixtures in relation with compressive strength. *Cement Concrete Res.* 36(2) (2006) 264 – 277. doi:10.1016/j.cemconres.2005.07.001
- [16]- K.L. Scrivener, B. Lothenbach, N. De Belie, E. Gruyaert, J. Skibsted, R. Snellings, A. Vollpracht, TC 238-SCM: hydration and microstructure of concrete with SCMs – State of the art on methods to determine degree of reaction of SCMs. *Mater. Struct.* 48(4) (2015) 835-862. doi:10.1617/s11527-015-0527-4
- [17]- M. Samara, Valorisation des sédiments traités dans les bétons autoplaçants. In : Proceedings of XXVIe Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nancy, 2008, pp. 4-6.
- [18]- J.M. Khatib, P.S. Mangat, Porosity of cement paste cured at 45°C as a function of location relative to casting position. *Cement Concrete Comp.* 25(1) (2003) 97–108. doi:10.1016/S0958-9465(01)00093-2
- [19]- P.R. da Silva, J. de Brito, Experimental study of the porosity and microstructure of self-compacting concrete (SCC) with binary and ternary mixes of fly ash and limestone filler. *Constr. Build. Mater.* 86 (2015) 101–112. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.110
- [20]- J.M. Khatib, P.S. Mangat, Influence of superplasticizer and curing on porosity and pore structure of cement paste. *Cement Concrete Comp.* 21(5-6) (1999) 43–437. doi:10.1016/S0958-9465(99)00031-1