
Etude de l'ouvrabilité et des propriétés mécaniques des BAP à base de sédiment traité

BELGUESMIA Khalil^{1,2}, BELAS BELARIBI Nadia², AMIRI Ouali¹, LEKLOU Nordine¹.

¹ LUNAM Université de Nantes - IUT Saint-Nazaire, GeM, CNRS UMR 6183, Research Institute in Civil Engineering and Mechanics, France. khalil.belguesmia@etu.univ-nantes.fr, nordine.leklou@univ-nantes.fr, ouali.amiri@univ-nantes.fr

² Laboratoire Construction, Transport et Protection de l'Environnement « LCTPE », Faculté des sciences et Technologie, université AbdelHamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie. belaribi2001@yahoo.fr

RESUME. Les questions liées aux dragages se rapportent principalement au coût de ces opérations, mais qui demeurent néanmoins indispensables. Toutefois, cette solution n'est pas épargnée de se retrouver confrontée à un sérieux problème d'élimination des quantités de vase draguées. Ce même problème a été le précurseur de la politique de valorisation qui contribue certainement à l'amortissement des coûts liés au dévasement et à préserver l'environnement. Ce travail s'inscrit dans cette politique, il consiste à élaborer des bétons autoplaçants en substituant une partie du ciment par de la vase traitée thermiquement. Les résultats obtenus ont montré 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 voir meilleures à celles du BAP de référence.

ABSTRACT. Dredging issues mainly relate to the cost of these operations; however they cannot be neglected. On the other hand, dredging causes producing huge amounts of dredged mud that are needed to be handled. This same problem has been the forerunner of the valorization policy, which certainly contributes to the amortization of costs linked to dredging and to preserving the environment. This work is takes part of this policy; it concerns developing self-compacting concretes (SCC) by substituting part of the cement with heat-treated mud. The results obtained showed that a substitution of up to 30% of the cement with calcined mud in SCC seems feasible while having mechanical performances close to those of the reference SCC.

Mots clés : BAP, Valorisation, Sédiment de dragage, vase calcinée, résistances mécaniques

Key words: SCC, Valorization, Dredged sediment, Calcined mud, Compressive strength

1. Introduction

Les sédiments traités ayant des propriétés pouzzolaniques [SEM 2006] peuvent être utilisés en tant qu'ajouts ou substituts au ciment ce qui fait de la technologie des bétons une voie privilégiée de leur valorisation. La caractérisation physico-chimique et minéralogique de la fraction solide des vases extraites du barrage de Chorfa (Ouest de l'Algérie) a donnée plus de crédibilité à cette voie de valorisation en tant que matière première dans le secteur du génie civil. C'est pourquoi, nous avons entamé cette étude dans un but écologique et technique en valorisant la vase traitée thermiquement comme étant un matériau de construction substituable en partie au ciment.

Des travaux ont été réalisés sur quelques sédiments de dragages fluviaux [BEL 2015], ou marins [AGO 2006], certains de ces travaux privilégient les techniques routières et d'autres tentent une valorisation entant que matériaux cimentaires. Il se trouve que le mot sédiment englobe différents produits de la nature ayant subits le même mode de formation en l'occurrence la sédimentation mais qui sont très souvent différents en composition ce qui donne à chaque sédiment son propre potentiel de valorisation.

Pour notre sédiment d'étude (vase du barrage Chorfa), on s'intéresse à la kaolinite révélée par l'analyse DRX où une activation thermique de cette vase se traduit par la transformation de kaolinite en métakaolin qui 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 [SAI 2013].

Ce travail a pour but d'étudier l'effet de substitution en vase calcinée du barrage Chorfa sur l'ouvrabilité des BAP ainsi que les performances mécaniques de ces mêmes bétons.

1.1 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 (Algérie) dans la zone de rejet, la vase en question est séchée, broyée et tamisée à 80 µm puis calcinée dans un four avec une vitesse de chauffe de 5°C/min jusqu'à 750°C où cette température est maintenue pendant 5 heures [SEM 2006]. La surface spécifique Blaine de notre sédiment traité est 732 m²/kg. Les compositions chimiques du ciment et de la vase utilisés ont été déterminées par spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF en anglais pour X-Ray Fluorescence), et 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 | / |

1.2 Traitement du Sédiment

La composition chimique de la vase du barrage Chorfa II permet d'envisager la transformation des structures argileuses stables kaolinite en structures amorphes. La figure 1 montre la courbe DRX du sédiment brut.

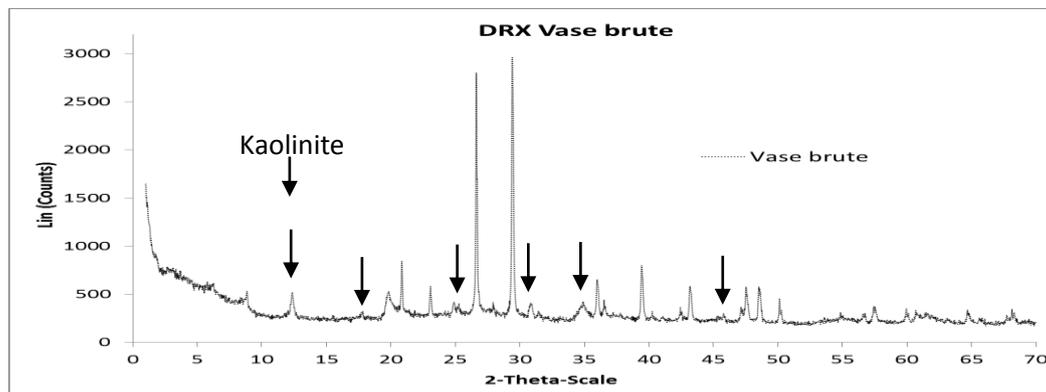


Figure 1: Diffractogramme des rayons X de la vase brute

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 le moscovite. Nous nous intéresserons à la Kaolinite qui après calcination entre 500 et 800 °C se transforme en métakaolin [SAI 2013]. Le faible degré de cristallinité rend la silice et l'alumine partiellement mobilisables. L'activité pouzzolanique est liée à cette particularité [ANG 2014]. Donc une calcination à 750°C pendant 5 heures [SEM 2006] devrait nous assurer la réactivité pouzzolanique recherchée pour la substitution envisagée.

1.3 Indice d'activité Pouzzolanique du Sédiment

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_{équi}, suit les règles normatives XP 18-305 et EN 206-1 où le liant équivalent est donné par l'équation (1):

$$L_{\text{equi}} = C + K \times A \quad \text{avec :} \quad (1)$$

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

Et **K** est déterminé par l'une des formules (2) ou (3) respectivement :

$$K = 1 - [(1/p) \times [1 - 0.5 \times (E/C)]] \times (1-i) \quad , \quad K = 3 \times i - 2 \quad (2), (3)$$

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

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

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

1.4 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 de base de notre BAP et qui a été développée par [BOU 2008] à l'incorporation de la vase traité tant que substitut du ciment dans la formulation. Un essai Vicat pour déterminer la consistance normale du sédiment traité a été effectué afin d'avoir une idée sur la consommation en eau de la vase, ce qui a permis de constater que la vase a besoin de deux fois la quantité d'eau que le ciment en a besoin pour être dans la consistance normale ce qui justifie que le dosage en superplastifiant dans nos BAP est proportionnel aux pourcentages de substitution.

1.5 Formulations des BAP :

Les BAP de notre étude se résument à 4 formulations, une de référence avec 100% de ciment et les trois autres qui en découlent contiennent respectivement 10, 20 et 30% de vase calcinée substituée au ciment. Les 4 bétons ont un rapport E/L_{équi} = 0,5. Les formules sont détaillées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Formulations des 4 BAP d'étude.

| Constituants Kg/m ³ | Les BAPS | | | |
|--------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| | 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 |

1.6 Procédures d'essais

Les BAP ont fait l'objet de caractérisation à l'état frais à savoir essai d'étalement au cône et capacité de remplissage en boîte en L et la stabilité au tamis conformément aux recommandations de l'AFGC [AFGC 2008]. Une fois confectionnés, les BAP ont été coulés dans des moules prismatiques (10x10x10) cm³. Les éprouvettes ont été préservées dans l'eau à l'intérieur d'une salle de conservation à température T = 20±1°C jusqu'aux échéances d'écrasement à savoir : 3, 7, 14, 28, 90, 180 et 360 jours.

2. Résultats

2.1 Etats frais

Le tableau 4 recueille l'ensemble des résultats de la caractérisation à l'état frais,

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

| Essai | Béton | BAP T | BAP 10% V | BAP 20% V | BAP 30% V |
|--------------------|----------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Étalement | Ø (cm) | 69 | 68 | 66 | 64 |
| | T ₅₀ (s) | 2,8 | 2,8 | 2,64 | 3,08 |
| La boîte en L | H ₂ /H ₁ % | 93 | 92,6 | 89 | 89 |
| | T ₂₀ (s) | 1,25 | 1 | 1,5 | 1,3 |
| | T ₄₀ (s) | 2,5 | 2,1 | 2,8 | 2,48 |
| Stabilité au tamis | % | 6,15 | 5,8 | 5,2 | 5,1 |

Les 4 BAP vérifient les recommandations de l'AFGC [AFGC 2008] et donc sont qualifiés de bétons autoplaçants sachant que les BAP à base de vase nécessitent un dosage plus important en superplastifiant à cause

de la grande finesse de la vase comparée à celle du ciment et éventuellement à cause de la structure poreuse des grains et à l'absorption d'eau qui en résulte si l'on se réfère à la famille des ajouts minéraux tels que les métakaolins et la fumée de silice et qui ont une demande en eau importante par rapport à celle du ciment, ce qui peut réduire les propriétés d'ouvrabilité des BAP [Cyr 2003].

2.2 Etat durci

Les courbes de la figure 2 représentent l'évolution des résistances à la compression des 4 BAP d'étude.

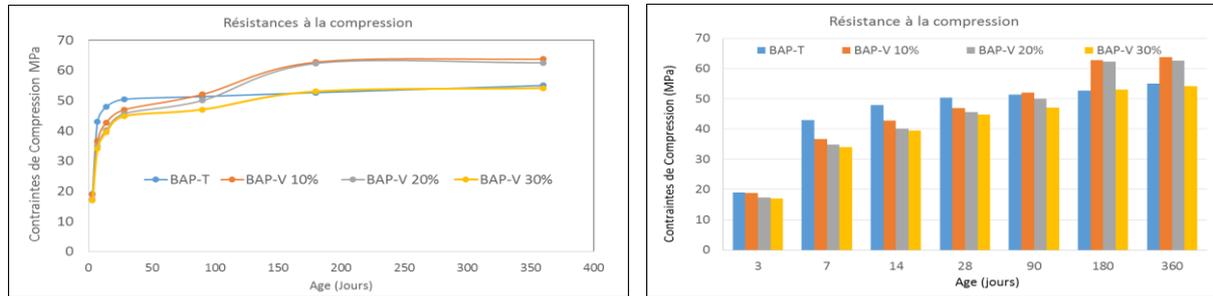


Figure 2: Courbe de développement des résistances en fonction du temps

Les deux graphiques illustrent 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 pratiquement la même cinétique avec un léger avantage pour le BAP témoin jusqu'à 28 jours. Au-delà de 90 jours les deux BAP 10 et 20% de vase calcinée se distinguent des deux autres. Cela peut être expliqué par l'effet pouzzolanique du métakaolin issu de la calcination [SAM 2008] ainsi que l'effet physique de cette même vase.

3. Conclusion

D'après les résultats de cette étude, on peut en déduire que l'utilisation de la vase de Chorfa II comme étant ajout minéral en substitution partiel du ciment allant jusqu'à 30 %, n'affecte pas négativement le comportement vis-à-vis de l'ouvrabilité ni les performances mécaniques qui s'avèrent similaires avec 30% de substitution et meilleures avec 10 et 20 % de substitution. Il est à noter que l'effet pouzzolanique de la vase calcinée ne se manifeste qu'à long terme c à d au-delà de 90 jours. Ceci s'ajoute aux intérêts d'un point de vue économique et écologique ce qui permet de déduire d'une façon générale que tous les BAP affichent des performances satisfaisantes d'où l'intérêt d'utiliser la vase jusqu'à 30% de substitution.

Ces bonnes performances mécaniques doivent être confirmées par des essais de durabilité afin de quantifier globalement l'effet de la vase. Une étude dans ce sens est en cours de réalisation.

4. Références

- [AFGC 2008] AFGC 2008. « Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants », (janvier 2008).
- [AGO 2006] AGOSTINI Franck. « Inertage et Valorisation des sédiments de dragages marins » Thèse de Doctorat, Ecole centrale de Lille et Université des sciences et techniques de Lille. Juin 2006
- [ANG 2014] ANGER Baptiste, (2014) « Caractérisation de sédiments fins de retenues hydroélectriques en vue d'une orientation vers des filières de valorisation matière », Thèse de doctorat en Génie Civil. Caen 2014.
- [BOU 2008] BOUHAMOU N. « influence des rapports eau/ciment et fines/ciment sur le comportement a l'état frais et durci du béton autoplaçant a base de matériaux locaux Algériens». Thèse de Doctorat, Univ de Mostaganem, Algérie. (2008)
- [BEL 2015] BELARIBI Omar. « 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
- [Cyr 2003] Cyr Martin et Mouret M., 2003 « Rheological characterization of superplasticized cement pastes containing mineral admixtures: Consequences on SCC design», Proceedings of the seventh CANMET/ACI International conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete, Berlin, Allemagne, pp. 241-255.
- [SIA 2013] SAIDAT Fatima « Activation chimique du Métakaolin dans une matrice cimentaire ». Thèse de Doctorat en Génie Civil, Université de Toulouse. Février 2013.
- [SAM 2008] M. SAMARA «Valorisation des sédiments traités dans les bétons autoplaçants» XXVIe Rencontres Universitaires de Génie Civil. Nancy, juin 2008.
- [SEM 2006] SEMCHA Abdélaziz., «Valorisation des sédiments de dragage: Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug». Thèse de doctorat à l'Université de Reims Champagne-Ardenne. Génie Civil. Décembre 2006.