

Valorisation des déchets naturels dans l'élaboration des nouveaux bétons et matériaux de construction.

N. BOUHAMOU^a, A. MEBROUKI^a, N. BELAS, S. AGGOUN^B, A. BENAÏSSA^C, A. KHEIRBEK^d

a. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, LCTPE, Mostaganem, Algérie

b. Université de Cergy-Pontoise, L2MGC, F-95000 Cergy-Pontoise, France

c. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, LMST, Oran, Algérie

d. Université de Tichrine, Faculté de Génie Civil, Lattakia, Syrie

Résumé :

L'envasement des barrages, a pris beaucoup d'ampleur dans les pays méditerranéens. En effet, le potentiel hydraulique de ces régions chute sans cesse. Le dévasement de ces ouvrages devient, donc urgent. Or, il conduit à des volumes considérables de vase soumis à l'environnement. Nous proposons, dans cette étude de valoriser cette vase dans l'élaboration des bétons et matériaux de construction, et ceci dans un triple objectif : écologique (minimiser la vase stockée dans la nature), technique (préparer des bétons à base de vase ayant des résistances intéressantes ainsi que les matériaux de construction tel que les briques), économique (remplacer une grande part du ciment par de la vase traitée).

Abstract:

The silting up of dams took a lot of extents in the Mediterranean countries. Indeed, the hydraulic potential of these areas unceasingly falls. Therefore, silt removing of these works becomes urgent. However, it leads to important volumes of silt subjected to the environment. So In this study we propose to use this silt in the development of concretes and construction materials. The objective of this work is ecological (to limit the silt stored in nature), technical (to use treated silt to develop concrete and construction materials such as bricks), economical (to replace a great part of cement by treated silt)

Mots clefs : barrage, envasement, vase, béton à base de vase, performances

1. Introduction

Les aménagements hydrauliques tels les barrages sont confrontés, notamment dans les pays du bassin méditerranéen, au grave problème d'envasement. Ce phénomène est l'une des conséquences du changement climatique qui se traduit par une pluviométrie irrégulière et une sécheresse durant une grande partie de l'année. Les pluies, durant les saisons humides, arrivent souvent sous forme d'averses de courtes durées drainant de grands volumes d'eau et entraînant l'érosion rapide des bassins versants. Ainsi, les barrages de retenue s'ensavent et perdent rapidement leurs fonctions initiales et se transforment beaucoup plus en réceptacles de vase que d'eau. Ce phénomène, a pris énormément d'ampleur notamment au sud et à l'est de la méditerranée. En effet, le potentiel hydraulique de ces régions chute sans cesse au cours du temps. Le barrage de Fergoug (ouest algérien) est un exemple bien connu par son fort taux d'envasement estimé à 1,5 million m³/an de vase. Par ailleurs, une étude tunisienne concernant les prévisions de l'envasement des 26 barrages en exploitation en 2002, montre que leur capacité de stockage accusera une diminution très importante en raison de l'augmentation de la quantité de sédiments qui passera de 450 millions m³ à 800 millions m³ en 2020, soit une perte de capacité de stockage moyenne de 19,4 millions m³/an. Dans le rif marocain, le bassin versant

d'Oued Martil subit une perte de capacité de stockage par envasement de 70 millions m³/an. En syrie, les bassins de Tell Kalakh et de Syndianek sont soumis aux mêmes phénomènes.

Le dévasement et les travaux d'entretien qui consistent à extraire par dragage les vases déposées deviennent très urgents. Or, ces opérations de curage et de dragage conduisent à des volumes considérables de sédiments et de déchets solides qui sont soumis à l'environnement.

Nous proposons, dans cette étude la valorisation de cette vase extraite dans l'élaboration de nouveaux bétons (bétons autodéplaçants) et matériaux de construction et ceci dans un triple objectifs :

- **Écologique** : il s'agit de procéder à la diminution des quantités de vase stockées en aval des barrages en les évacuant en vue d'une exploitation à des fins industrielles pour la fabrication du béton. Cette opération permettra de préserver l'environnement.
- **Technique** : notre souci majeur n'est pas d'élaborer des bétons à base de vase plus performants que les bétons ordinaires mais plutôt d'obtenir des bétons de résistances équivalentes, ainsi que la conception de briques pour la réalisation de murs et cloisons.
- **Économique** : comme toutes les additions minérales (pouzzolane, fillers calcaire, laitier...) la vase calcinée peut constituer un liant pour le béton et de ce fait assurer une économie dans la consommation du ciment dont le prix ne cesse d'augmenter et dont le processus de fabrication porte préjudice à la qualité de l'air en raison des rejets de gaz à effet de serre.

Ainsi si cette valorisation passe à l'échelle industrielle, les problèmes écologiques seront considérablement réduits et une forte économie dans la consommation du ciment serait envisagée. De petites unités de briqueterie mobiles et déplaçables pourront s'installer à proximité des barrages et des postes d'emploi seront ainsi créés et l'environnement préservé.

Le domaine de valorisation et de l'exploitation de la vase des barrages représente pour la recherche un champ encore vierge et insuffisamment exploité ; aucune étude n'a jusqu'à nos jours été menée à son terme pour la vulgarisation et l'utilisation de ce matériau à l'échelle industrielle, cela est dû essentiellement à la rareté des documents techniques et l'inexistence d'une bibliographie suffisante.

Trois équipes de recherche : algérienne (le LMST de l'université des Sciences et Technologie d'Oran et le LCTPE de l'université de Mostaganem), syrienne (la faculté de génie civil de l'université de Tichrine à Latakia) et française (le L2MGC de l'université de Cergy-Pontois) ont mis en commun leurs compétences dans le domaine des matériaux et leurs moyens matériels et humains pour répondre à cet objectif. Ces équipes ont reçu le soutien de l'AUF (Agence Française de Francophonie) pour accomplir ce travail.

Nous présentons ici les premiers résultats, très prometteurs obtenus par l'équipe du LCTPE de l'université de Mostaganem concernant la valorisation de la vase issue du barrage de Fergoug cité ci-dessus.

2. Matériaux et méthodes

L'objectif de ce premier travail est d'étudier le comportement à l'état frais ainsi qu'à l'état durci d'un béton dont on substitue différents dosages de vase à une partie du ciment dans la matrice cimentaire et de comparer les résultats obtenus à ceux équivalents d'un béton témoin sans addition de vase.

2.1 Préparation de la vase

La vase prélevée dans les zones de rejet du barrage de Fergoug est convenablement préparée et subit une transformation lui assurant la réactivité pouzzolanique recherchée pour la substitution envisagée. Le processus de préparation et de transformation par traitement thermique de la vase est présenté sur la figure 1 et détaillé ci-dessous :

- a- Séchage : La vase est tout d'abord séchée à l'étuve à 105°C ;
- b- Concassage : La vase étuvée est concassée pour faciliter son broyage ;
- c- Broyage : La vase concassée est broyée à l'aide d'un broyage électrique ;
- d- Tamisage : La vase broyée est tamisée par voie sèche au tamis de 80 µm ;
- e- Calcination : C'est un traitement thermique effectué sur la vase préparée préalablement par cuisson dans un four. Des précautions ont été prises pour éviter les chocs thermiques, la vitesse de cuisson a été réglée à 5 degrés par minute. La température de cuisson de 750°C, a été

maintenue constante pendant 5 heures pour obtenir à la fin le produit final qui est la vase calcinée et qui a été conservée à l'abri de l'air et de l'humidité [1].



FIG. 1 - Etapes de préparation de la vase draguée

2.2 Caractérisation de la vase calcinée

Les analyses chimiques (Tableau 1) et d'autres minéralogiques de la vase calcinée ont révélé la présence des minéraux essentiels composant les liants hydrauliques courants tels que la silice et l'alumine. Il suffirait d'activer thermiquement les minéraux argileux pour qu'ils réagissent à l'eau si la teneur en calcaire est suffisante, pour former des composés qui font prise et durcissent à température ordinaire. Les travaux d'A. Semcha [1] ont montré que la vase activée joue un rôle analogue à celui de la pouzzolane naturelle, ce qui a amené certains chercheurs à lui attribuer le nom de pouzzolane artificielle.

Par ailleurs, les caractéristiques physiques (Tableau 2) de la vase calcinée ont révélé une surface Blaine de 6239 cm²/g, une densité apparente de 1,26 et une densité absolue de 2,69.

Les composants (%)	vase calcinée
SiO ₂	83.16
Al ₂ O ₃	3.67
Fe ₂ O ₃	0.46
CaO	9.92
MgO	0.14
SO ₄	Nul
Perte au feu	2.91

Tableau. 1- caractéristiques chimiques de la vase de Fergoug

Caractéristiques	Vase calcinée
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.26
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.63
Surface spécifique de Blaine (cm ² /g)	6239

Tableau. 2- caractéristiques chimiques de la vase de Fergoug

2.3 Autres matériaux utilisés :

Le ciment utilisé pour la confection des bétons est un CPA CEM I 42.5 ES. Il a une surface spécifique Blaine de 3585 cm²/g et une densité de 3,2.

Les granulats utilisés sont de nature calcaires et ont une masse volumique absolue de 2,65 g/cm³. Le sable est de classe granulaire 0/3. Deux classes granulaires sont retenues pour les graviers : 3/8 et 8/15.

2.4 Compositions de béton étudiées

Les essais ont été réalisés sur des pâtes et des bétons contenant différents pourcentages de vase en substitution par rapport au dosage en masse du ciment (10 %, 15 % et 20 %) et ayant une même maniabilité. Une composition témoin (BV0) sans addition de vase a été réalisée avec les mêmes constituants.

Les différentes compositions de bétons étudiées sont présentées dans le tableau 3.

Bétons	Ciment (Kg/m ³)	Vase (Kg/m ³)	Sable (Kg/m ³)	Graviers (Kg/m ³)		Eau (Kg/m ³)	E/L
				3/8	8/15		
BV0	400	0	619	297	927	202	0.505
BV10	360	40	619	297	927	204	0.510
BV15	340	60	619	297	927	208	0.520
BV20	320	80	619	297	927	212	0.530

Tableau. 3 - Compositions de béton étudiées

L'objectif de ce travail expérimental est d'étudier le comportement à l'état frais (mesure de temps de prise sur pâtes) et à l'état durci (mesure des résistances mécanique de compression à 1, 7, 14, 28 et 90 jours sur des bétons) des différents mélanges en fonction des pourcentages de la vase substituée.

3. Résultats obtenus et discussion

3.1 Essai de prise :

Le tableau 4 donne les valeurs des temps de début et de fin de prise mesurés sur des pâtes témoin (PV0) et contenant 10, 15 et 20% de vase par rapport au dosage en masse du ciment. D'après les résultats il apparaît que l'ajout de la vase affecte légèrement les temps de prise puisqu'un écart maximal de 15 minutes est enregistré entre la pâte témoin et celle dont 20 % de ciment a été remplacée par la vase.

Par contre en comparant les temps de début de prise et de fin de prise, nous remarquons que ces derniers diminuent avec l'augmentation du dosage en vase, ce qui donne, à cette dernière le rôle d'accélérateur de prise qui peut être très utile en cas de bétonnage par temps froid.

Pâtes	PV0	PV10	PV15	PV20
Début de prise	4 h 20	2 h 50	2 h 40	2 h 30
Fin de prise	3 h 05	3 h 57	3 h 43	3 h 30
Temps de prise	1 h 15	1 h 07	1 h 03	1 h 00

Tableau. 4 - Les temps de début et de fin de prise des différentes pâtes.

3.2 Résultats de résistances à la compression :

Les figures 2 et 3 donnent en fonction du temps, les résistances en compression des différentes compositions de béton. Elles montrent que toutes ces résistances évoluent dans un fuseau serré délimité par les courbes relatives aux bétons témoin et à 20% de vase. Néanmoins, le béton témoin se distingue des autres bétons par des résistances légèrement supérieures. En effet, on note un écart maximum de 18% et 12% entre les résistances à 28 jours et 90 jours, respectivement, des bétons sans et avec 20 % de vase. Par rapport au béton témoin, il apparaît que les bétons à base de vase calcinée développent des performances mécaniques intéressantes. La figure 4 montre l'évolution de la fraction des résistances en compression des bétons à base de vase par rapport au béton témoin (sans vase). Elle présente l'évolution du rapport (en %) des résistances des mélanges avec la vase rapportées à celles du béton témoin. On constate, pour la plupart des mélanges, une augmentation régulière de ce rapport durant les premiers jours, confirmant ainsi une certaine activité de la vase calcinée. De 7 à 60 jours, les résistances des différents bétons sont inversement proportionnelles à la quantité de la vase substituée. Cet effet de réduction est assez habituel avec les pouzzolanes naturelles [2].

Au-delà de 28 jours pour le BV20 et 60 jours pour les BV10 et BV15, l'effet de la vase devient perceptible, puisque les résistances des bétons à base de vase, s'approchent des résistances du béton témoin. Il est vraisemblable que pour des échéances supérieures à 90 jours, les résistances auront évolué au delà du béton témoin.

Cette cinétique de développement des résistances s'explique par l'activité de la vase et par le fait que l'action pouzzolanique ne devient sensible qu'à partir des âges plus avancés pour se déclencher et fixer la chaux libérée par le ciment au cours de son hydratation pour former de nouveaux silicates de calcium hydratés qui participent à la résistance. L'indice d'activité noté i a été calculé en faisant le rapport entre les résistances à la compression à 28 jours mesurée sur un mortier sans vase (MT) et celle du mortier contenant 25 % de vase en substitution (MV25) par le biais de la formule suivante [3] :

$$i = R_{c28MT} / R_{c28MV25} \quad (1)$$

La norme indique qu'une addition réactive possède un indice d'activité compris entre 0,67 et 1 [3], ce qui est le cas de la vase calcinée puisque son indice d'activité est de 0,73

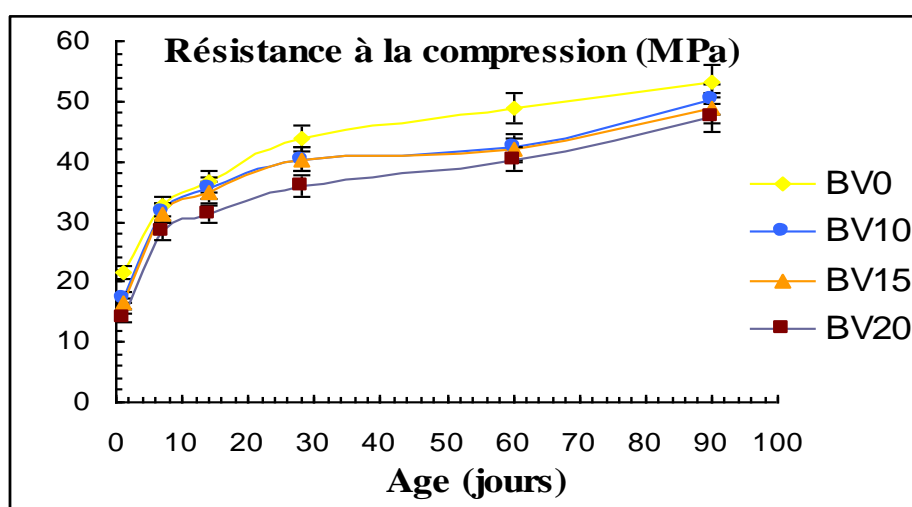


FIG. 2 - Évolution des résistances à la compression en fonction du temps des différents mélanges.

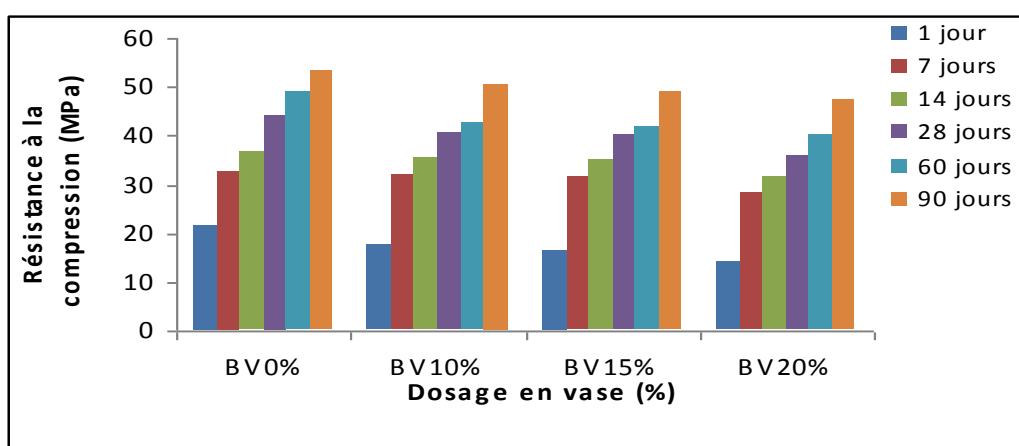


FIG. 3 - Évolution des résistances à la compression en fonction du temps et du dosage en vase.

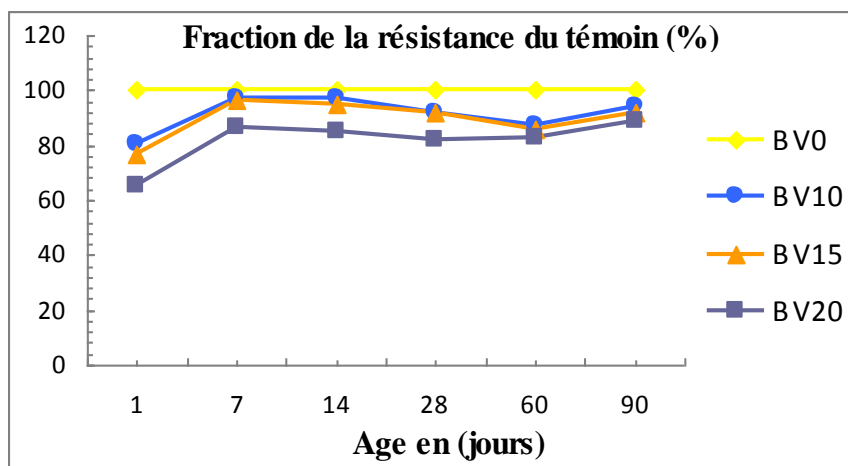


FIG. 4 - Évolution de la fraction des résistances en compression des bétons à base de vase par rapport au béton témoin (sans vase).

4. Conclusion :

Cette étude a permis de montrer la possibilité de valorisation de la vase, issue des opérations de dévasement de barrages comme matériau substituable en partie au ciment. Ce qui pourrait permettre, en partie de résoudre le problème de son stockage et participer au développement écologique et économique de certaines régions de la méditerranée.

Par ailleurs, les principales conclusions auxquelles nous sommes parvenues sont :

- La présence de la vase contribue au déclenchement rapide du début de prise, ce qui peut être utile en cas de bétonnage par temps froid.
- L'indice d'activité étant de 0,73 donc compris entre 0,67 et 1 [4], indique que la vase calcinée n'est pas un matériau inerte mais plutôt un matériau réactif qui réagit avec le ciment pendant son hydratation afin de développer certaines performances mécaniques.
- Les résistances mécaniques des bétons à base de 0, 10 et 15 % de vase restent très proches. Quant au béton contenant 20 % de vase, ses résistances évoluent de manière ascendante à moyen terme, et continuera, probablement son ascension à long terme. Ce qui nous encourage à utiliser jusqu'à 20 % de vase en remplacement du ciment.

Enfin, nous pouvons dire que les résultats obtenus sont très prometteurs. Aussi, nous envisageons, d'approfondir ce travail de recherche, en étudiant le comportement des bétons à base de vase à long terme (au delà de 90 jours) et vis-à-vis des déformations différées (retrait et fluage) et de la durabilité. En parallèle, une analyse microstructurale plus poussée doit être entreprise afin de conforter cette étude.

Références

- [1] A. Semcha, Propriétés physiques et chimiques de la vase, Thèse de doctorat soutenue à l'USTO d'Oran (Algérie) et à l'université de Reims, France, 2006
- [2] A. Mebrouki, M. Cyr, N. Bouhamou, N. Belas-Belaribi, *Annales du bâtiment et des travaux publics* **3** (2006)
- [3] J. Baron, J.P. Olivier, Les bétons, base et données pour leur formulation, Editions Eyrolles, 1996
- [4] L. Laoufi, Contribution à l'étude des caractéristiques physico mécanique des bétons à base de ciment pouzzolanique, Thèse de magister soutenue à l'ENSET d'Oran (Algérie), 2002