

UTILISATION DES PROPRIETES POZZOLANIKES DES SEDIMENTS DE BARRAGE POUR LEUR VALORISATION

Abdélaziz SEMCHA ^{1,2}, Belkacem MEKERTA ^{1,2}, Hafida MAAROUF ¹, Mohamed ABBOU ²

¹Laboratoire de Matériaux "LABMAT", ENPOran, BP 1523 El M'naouer, 31000, Oran, Algérie.

²Faculté des Sciences et Technologie, Université Ahmed Draia d'Adrar, Algérie.

RESUMÉ

Le devenir des matières extraites lors des dragages des barrages envasés a fait l'objet de nombreuses recherches, dans le but essentiel de ne plus les considérer comme déchet, mais plutôt comme matières premières.

Parmi les procédés ayant confirmé leur faisabilité, nous mettons en évidence dans ce travail l'acquisition de propriétés pouzzolaniques par calcination des sédiments du barrage de Bouhanifia (ouest de l'Algérie). En effet, ces propriétés acquises ont ouvert des champs d'application nouveaux dans la conception d'éco-matériaux.

Nous présentons dans ce travail, l'essentiel à la compréhension de procédés de valorisation des sédiments en tant que pouzzolane de synthèse, ainsi que des applications dans le domaine des matériaux de construction, en particulier :

- Béton autoplaçant à base de pouzzolane de synthèse
- Mortier de réparation à base de sédiments calcinés
- Effet de pouzzolane sur la corrosion des armatures du béton armé

Nous tenterons aussi de mettre en évidence l'importance que peuvent avoir les travaux de recherche, en laboratoire pour des applications en industrie, en respectant les exigences environnementales d'une part, et en tenant compte des réalités économiques d'autre part.

Mots-clés : Barrage, Pouzzolanité, Réparation, Autoplaçant, Corrosion.

INTRODUCTION

Parmi les possibilités offertes de valorisation des sédiments issus des dragages, la transformation des structures minérales par traitement thermique a souvent été utilisée. Lorsque les matières premières que représentent les sédiments contiennent des minéraux argileux en quantités suffisantes, ces dernières sont transformées en métaphases amorphes qui peuvent ensuite réagir à l'eau suivant les mêmes processus d'hydratation des liants hydrauliques, si les conditions environnementales des solutions sont favorables. En présence de chaux les phases vitreuses obtenues par calcination des sédiments ont des propriétés pouzzolaniques.

Ces propriétés sont essentielles dans les applications que nous présentons dans le domaine des matériaux de construction.

LES SEDIMENTS ISSUS DES DRAGAGES

C'est la perte des volumes destinés au stockage de l'eau, pour les barrages et la diminution des

profondeurs navigables pour les ports ou la création de nouvelles marinas, qui imposent le recours aux dragages. Cela entraîne La récupération de grandes quantités de matières solides qui sont confrontés à leur tour aux problèmes liés à leur devenir.

Ces matériaux dragués peuvent être valorisés et transformés en matières premières, mais au préalable, il est important de plastronner les faits suivants devant baliser nos investigations :

- Les systèmes de construction des sociétés anciennes, étaient faits à base de matériaux naturels non cuits ou de chaux plus ou moins pure. Ils étaient en quelque sorte plus "verts" et en particulier plus en accord avec leur environnement.

- Il est remarquable de noter que suite à une probable pénurie de matières premières et d'énergie, l'évolution des systèmes constructifs se fera probablement en revenant vers ces solutions anciennes plus naturelles.

Concernant les sédiments de barrage, ce sont les particules les plus fines qui sont transportées par suspension dans la majorité des cas, qui vont se déposer au pied des digues. Leur extraction devient nécessaire pour libérer les ouvrages internes du barrage. Ces matières rejetées dans le milieu naturel

risquent d'être entraînées de nouveau et causer de nouveaux désordres dans l'environnement aval des retenues (cas du barrage de Fergoug et la plaine de la Macta, au nord ouest de l'Algérie).

Notre intérêt pour les sédiments issus du barrage du Fergoug, fut basé sur le fait que ces matériaux ont montré un comportement comparable à celui des argiles : en effet elles proviennent de l'altération des roches du bassin versant et les fractions fines (<100 micromètres) se plastifient à l'eau de façon réversible, c'est-à-dire qu'en fonction de leur teneur en eau, elles redeviennent liquides ou solides. En plus dans ces particules nous retrouvons les mêmes compositions minéralogiques que les roches mères.

TRANSFORMATION DES STRUCTURES MINÉRALES DES SEDIMENTS

Les propriétés remarquables des vases [1]

Les trois barrages ayant fait l'objet de nos investigations, ont la particularité de se trouver dans la même région géographique et subissent des apports solides de natures géologiques. En effet, il s'agit des trois barrages situés en cascade du sud vers le nord de l'Ouest algérien : le barrage d'Ouzert dans la région de Saida, celui de Bouhanifia dans la région de Mascara et celui de Fergoug dans la région de Perrégaux (Mohammadia). Ils sont construits sur des affluents du même cours d'eau dans le même bassin versant, ce qui explique que les analyses chimiques et minéralogiques effectuées sur des échantillons prélevés dans chaque retenue ont montré une composition très voisine, voire de même origine.

La différence observée est remarquable seulement dans la composition granulaire, ce qui prouve que lors des crues les trois barrages en cascade se transmettent leurs sédiments et ce sont les plus fines particules, transportées en suspension qui arrivent à Fergoug. Celles plus grossières sont retrouvées à Ouzert et à Bouhanifia.

Le cours d'eau a son embouchure en Méditerranée dans la région de la Macta dans la plaine de l'Habra. Pendant un premier dragage effectué sur le barrage de Fergoug, les sédiments rejetés en aval ont été transportés au gré des courants et déposés dans la plaine de l'Habra qui a été transformée en marécages. Les sédiments prélevés à la Macta sont de même nature que ceux qui sont issus des trois barrages. Les constituants principaux des vases étudiées sont montrés au tableau 1.

Tableau 1 Caractéristiques des vases

Caractéristique	Vase de Fergoug	Vase de Bouhanifia	Vase d'Ouzert
Géologie	Argile Sableuse, Sable dolomitique, calcaire, limons rouges	Argile Sableuse, Sable dolomitique, calcaire, limons rouges	Argile Sableuse, Sable dolomitique, calcaire, limon rouges
Granulométrie	Limon argileux	Sable argileux	Sable limoneux
Limites d'Atterberg	Argile plastique	Argile peu plastique	Limon peu plastique
Analyses Chimiques	quartz, calcites, kaolinite, carbonates	quartz, calcites, kaolinite, carbonates	quartz, calcites, kaolinite, carbonates

La calcination et les propriétés recherchées

Les systèmes de construction des sociétés anciennes, étaient faits à base de matériaux naturels non cuits ou de chaux plus ou moins pure. Ils étaient en quelque sorte plus «verts» et en particulier plus en accord avec leur environnement.

Il est remarquable de noter que suite à une probable pénurie de matières premières et d'énergie, l'évolution des systèmes constructifs se fera probablement en revenant vers ces solutions anciennes plus naturelles : matériaux intégrant des ressources naturelles : le bois et ses dérivés, la terre séchée et ses dérivés, la pierre naturelle,... En attendant, c'est l'inverse qui est fait ! La calcination des sédiments fins à moyenne température, comparée à celle des fours à clinker, permet la transformation des structures minérales en métaphases, amorphes et réactives à l'eau moyennant un activateur. Le remplacement d'une partie du ciment par ces structures moins énergivores représente une économie en ciment et en énergie certaines.

In [2] Semcha a élaboré une pouzzolane artificielle à base de vase du barrage de Fergoug. Après avoir préparé la vase prélevée, la vase a été calcinée sous une température de 750°C pendant 5 heures. La vitesse de l'élévation de la température de cuisson a été fixée à 5°C par minute pour éviter les chocs thermiques et le refroidissement fut lent.

Pouzzolanicité de sédiments calcinés

Nous nous sommes intéressés aux particules fines déposées en aval des barrages dont les structures cristallines amorphes réagissent avec l'eau comme les liants hydrauliques moyennant une correction par ajout de chaux. Expérimentalement, des échantillons de vase ont été calcinés à une température inférieure à 800°C et ont montré des structures amorphes qui ont réagi avec la chaux pour donner des CSH de même type que ceux des réactions pouzzolaniques [2].

La substitution d'un certain pourcentage de pouzzolane calcinée au ciment Portland qui va réagir avec la chaux libérée lors de son hydratation, permet d'obtenir des résistances égales voire meilleures que le ciment seul.

APPLICATION DES PROPRIETES POUZZOLANQUES DES SEDIMENTS CALCINÉS

Béton autoplaçant à base de vase de barrage

A l'aide de la méthode des « plans d'expériences », nous avons confectionné des pâtes homogènes, fluides capables de s'écouler sous leur propre poids. Ces pâtes autoplaçantes ont montré un comportement rhéologique viscoplastique. Quatre facteurs ont été utilisés la confection de notre pâte; le ciment, la pouzzolane artificielle (vase calcinée), le super plastifiant et l'eau.

Une matrice de 40 expériences a été générée à l'aide du logiciel NemrodW, sur la base d'un modèle linéaire pouvant traduire la variation des réponses en fonction des dosages des constituants. Enfin, à l'aide d'outils statistiques une pâte autoplaçante a été déduite. Cette pâte constituée de vase calcinée du barrage de Bouhanifia a été la base de la confection d'un béton autoplaçant [3].

Le béton auto-plaçant (BAP) est un béton très fluide, homogène et stable, qui se met en place par gravitation et sans vibration. Il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique (BO). Le terme de béton auto-nivelant peut aussi être utilisé mais il concerne plutôt des applications horizontales (dallage par exemple) [4].

Les bétons autoplaçants constituent une nouvelle génération de matériaux. Ils se caractérisent en général par une formulation contenant au moins un adjuvant chimique et un ajout minéral en proportions bien

précise pour satisfaire les exigences en matière de maniabilité et de stabilité [5].

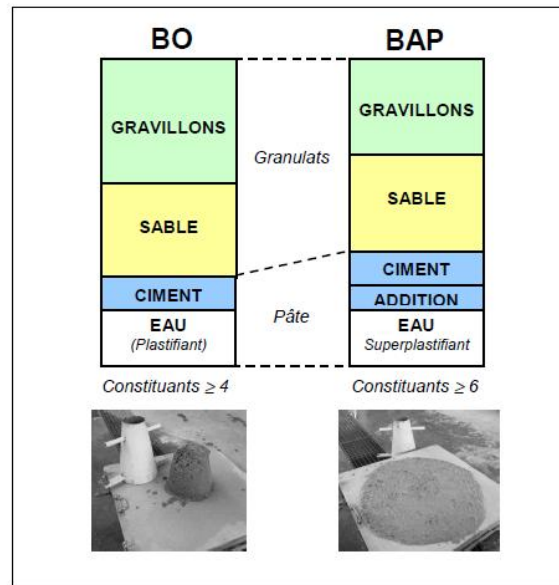


Fig 1. Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP

Les vases calcinées ont joué un double rôle : l'effet filer pour épaissir la pâte autoplaçante dans un premier temps avant hydratation du ciment et le rôle de liant hydraulique latent (pouzzolanique) après libération de portlandite par hydratation du ciment. Les propriétés rhéologiques et mécaniques des BAP ont été améliorées à la fois.

Mortier de réparation à base de sédiment

Dans le même contexte, ce travail expérimental d'activation thermique de la vase du barrage de Bouhanifia pour une substitution au ciment portland, est appliqué dans la conception d'un mortier de réparation d'un béton endommagé [6].

Ce travail consiste en la confection d'éprouvettes cylindriques de béton qui seront endommagées extérieurement sur une épaisseur de 1,5 cm. Les dégradations obtenues sont réparées à l'aide d'un mortier à base de vase calcinée et de ciment. Un chemisage des éprouvettes endommagées, a servi pour les réparer dans des moules cylindriques. La figure 2 représente ces étapes.



Fig. 2 Réparation de béton endommagé.

Le liant utilisé est une combinaison de ciment portland et de sédiment de barrage activée thermiquement.

L'activation thermique est l'une parmi les trois méthodes d'activation reconnues par les chercheurs en matériaux de construction. Elle consiste essentiellement à l'accélération de la réaction chimique pouzzolanique pour former des silicates de calcium hydratés (C-S-H) d'une manière plus rapide que celle atteinte par la pouzzolane non activée en jouant principalement sur le facteur de la température et tout ça dans le but d'obtenir une résistance meilleure dans les bétons et des mortiers pouzzolaniques surtout au jeune âge.

Cette méthode d'activation peut être appliquée par deux modes différents: soit par calcination, qui consiste à traiter le produit pouzzolanique sous des températures élevées avant de les incorporer comme substituant du ciment ; soit par variation de la température de cure, qui consiste à traiter le mortier ou le béton formulé avec un ajout pouzzolanique durant la période de cure sous de faibles températures (60°C en général).

Nos éprouvettes réparées au mortier contenant une pouzzolane de vase calcinée ont satisfait aux tests réglementaires dont les conditions et les critères sont prescrits par la série des normes EN 1504 (critère de planéité, de continuité et d'adhérence).

La partie expérimentale de réparation a nécessité un suivi strict et des soins exceptionnels surtout en ce qui concerne la préparation des éprouvettes de béton réparé qui a demandé un effort physique et une prudence relativement élevée.



Fig.3 Eprouvette de béton réparé et testée (test d'adhérence).

Une petite modification de la formulation des mortiers par la diminution du rapport E/C et l'utilisation d'un super plastifiant a amélioré la cinétique de développement de la résistance des mortiers pouzzolaniques face au mortier témoin surtout au delà de 60 jours, ce qui confirme l'activité pouzzolanique de la vase calcinée.

Effet de pouzzolane de vase calcinée sur la corrosion des armatures du Béton armé

Une des causes majeures de dégradation des structures et ouvrages en béton armé est la corrosion des armatures qui se développe principalement selon deux processus : la carbonatation du béton qui provoque une corrosion uniforme le long de l'armature et l'attaque par les chlorures qui génèrent des piqures de corrosion.

Cette étude [7] a mis en évidence l'influence de la pouzzolane, en particulier celle de vase de barrage calcinée, utilisée en tant qu'addition minérale avec des proportions différentes dans les bétons d'enrobage ainsi que la concentration des milieux d'exposition chlorurés sur le temps d'initiation et le taux de corrosion.

L'objectif de cette étude a été de montrer l'influence de la pouzzolane utilisée en tant qu'addition minérale à des proportions différentes dans les bétons d'enrobage et la concentration des milieux d'exposition chlorurés sur le temps d'initiation et le taux de corrosion après un essai de corrosion accélérée réalisé au laboratoire.

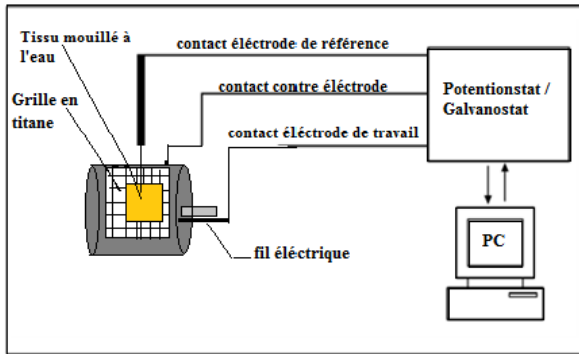


Fig. 4 Photos d'éprouvette à tester et schéma du dispositif de corrosion.

Le suivi de corrosion a été mené par des méthodes électrochimiques, la perte de masse et de section des aciers corrodés a aussi été établie. En dernier un suivi de la variation de la résistance à la compression des différents bétons d'enrobage a été réalisé à fin de voir l'influence des chlorures sur cette dernière.

Il est enfin rappelé que le béton d'enrobage par son pH basique protège naturellement l'armature des agressions potentielles. Dès les premiers instants de la mise en place du béton, le pH élevé va conférer à l'acier un état de passivation protégeant les armatures grâce à une fine couche d'oxyde de fer stable.

Par l'incorporation de solution acide (siliceuse), due à la présence de pouzzolane contenant de la silice, la basicité protectrice des armatures va être mise en péril principalement par deux phénomènes : la carbonatation du béton par le dioxyde de carbone de l'air et l'attaque par les chlorures des embruns salins et sels de déverglaçage.

CONCLUSIONS

L'acquisition des propriétés pouzzolaniques par traitement thermique des sédiments issus des dragages leur offre de nombreuses applications et une valeur ajoutée mise en évidence dans les applications aux matériaux de construction présentés.

En effet, la formulation d'un béton autoplaçant à base de la vase calcinée (pouzzolane de synthèse) qui s'est situé à deux échelles: celle de la pâte et celle du

béton, a été doublement bénéfique : les particules fines calcinées ont joué un rôle physique dans la rhéologie du béton autoplaçant, et leur pouvoir liant latent (après hydratation du ciment), a amélioré la texture poreuse du béton donc ses propriétés mécaniques.

D'autre part l'utilisation des sédiments calcinés dans la conception d'un mortier de réparation offre un large éventail d'application dans des ouvrages endommagés, vu que notre mortier expérimenté a satisfait à tous les critères de validation.

Enfin nous attirons l'attention sur les précautions vis-à-vis de la corrosion des aciers pour tous les ciments composés à base de pouzzolanes. Il a été clairement visible que les bétons sans addition pouzzolanique ont résisté à la pénétration des ions chlore mieux que les bétons avec addition pouzzolanique. L'utilisation d'un ciment qui contient de la pouzzolane dans le béton d'enrobage des constructions exposées à un milieu chloruré est déconseillée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mekerta B., « Caractérisation et répartition spatiale des propriétés géotechniques des sédiments d'envasement de la retenue du barrage du Fergoug », Colloque International sur Les Sols et Matériaux à Problèmes (SOMAPRO), Tunis, Tunisie 2007.
- [2] Semcha A., « Valorisation des sédiments de dragage: Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug », Thèse de doctorat, l'Université de Reims Champagne-Ardenne, France, 2006.
- [3] Belghomari I., 2012: « Formulation de Béton Autoplaçant à base de vase par la méthode des plans de mélange », Mémoire de Magister en Génie Civil, à l'ENPOran, Algérie, 2012.
- [4] Stéphane A., « La durabilité des bétons autoplaçants », Thèse de doctorat de l'institut national des sciences appliquées de Toulouse, France, 2004.
- [5] Khayat H., « Optimisation et caractérisation des bétons autoplaçants pour coffrage fortement armé », 1^{ère} colloque international sur la technologie et la durabilité des bétons CITDB, USTHB, Alger, 2004.
- [6] Zerrouk S., « Activation thermique de sédiments de dragage et leur application en tant qu'ajouts aux mortiers de réparation », Mémoire de Magister en Génie Civil, à l'ENPOran, Algérie, 2014.
- [7] Khélifa Z., « Contribution à l'étude de la corrosion des armatures dans le béton armé », Mémoire de Magister en Génie Civil, à l'ENPOran, Algérie, 2013.