

Mise en Valeur de la Boue de Dragage des Barrages Envasés dans le Domaine de Génie Civil : Quelques Exemples Algériens

Riad Ali Halassa^{1*}, Mekki Bibi² and Mohamed-Aziz Chikouche³

¹ Laboratoire géo-matériaux, Département de Génie Civil, faculté de technologie, Université Mohamed Boudiaf de M'sila, Algérie

² Département de Génie Civil, faculté de technologie, Université de M'sila, Algérie,

³ Département de Génie Civil, faculté de technologie, Université de M'sila, Algérie,

Abstract. In Algeria, a country in the Maghreb region with a semi-arid Mediterranean climate, the aggressiveness of the rains and their high variability contribute to soil erosion, which feeds the solid load of the wadis, a factor of rapid siltation of hydraulic dams. The most dramatic consequence of this erosion and siltation is undoubtedly the loss of useful water storage volumes, without losing sight of the most serious threat affecting good health. Faced with this situation, the siltation of dams in Algeria becomes an emergency and a requirement notwithstanding that it leads to considerable volumes of vase or mud subjected to the environment...

Among the safe siltation techniques, there is the dredging operation, which consists in extracting the materials located on the bottom of the dam thus allowing the recovery of a storage capacity. According to some authors, this operation is very expensive and is not economical for large detentions. On the other hand, countries which do not have sites favorable to the construction of new dams, or when the dam is threatened by the strong surge of muds, the dredging operation is essential.

Reflexions have been carried out by Algerian researchers for the rational use and development of these dredging muds in several fields (agriculture, industry, construction and crafts)

In the field of civil engineering and in particular of construction, Algeria is experiencing a deficit in materials; the exploitation of dredged mud for the manufacture of construction materials can therefore be useful. Our study on the "K'SOB" dam in the wilaya of Msila and the other studies carried out on some of the most silted dams in Algeria are oriented towards the use and development of dredged mud in the manufacture of materials for ordinary concrete or construction.

Keywords: *Siltation, dam, dredging, mud, development, concrete*

Résumé. En Algérie, pays de la région du Maghreb au climat semi-aride méditerranéen, l'agressivité des pluies et leur forte variabilité contribuent à l'érosion des sols qui alimente la charge solide des oueds, facteur d'envasement rapide des barrages hydrauliques. La conséquence la plus dramatique de cette érosion et de cet envasement est sans doute la perte des volumes utiles de stockage de l'eau, ceci sans perdre de vue la menace la plus sérieuse qui affecte la bonne santé. Devant cette situation le dévasement des barrages en Algérie devient une urgence et une exigence nonobstant qu'il conduit à des volumes considérables de vase ou de boue soumis à l'environnement.

Parmi les techniques d'envasement sûres, il existe l'opération de dragage qui consiste à extraire les matériaux situés sur le fond du barrage permettant ainsi la récupération d'une capacité de stockage. Selon certains auteurs cette opération est très couteuse et n'est pas économique pour les grandes retenues. Par contre les pays qui ne disposent pas de sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages, ou lorsque la digue est menacé par la forte poussée des boues, l'opération de dragage s'impose.

Des réflexions ont été menées par des chercheurs algériens pour une utilisation rationnelle et une mise en valeur de ces boues de dragage dans plusieurs domaines (agriculture, industrie, construction et artisanat)

Dans le domaine de génie civil et notamment de la construction, l'Algérie connaît un déficit en matériaux dont l'exploitation de la boue de dragage pour la fabrication des matériaux de construction peut être donc s'avérer utile. Notre étude sur le barrage « K'SOB » de la wilaya de Msila et les autres études réalisées sur certains barrages les plus envasés en Algérie sont orientées vers l'utilisation et la mise en valeur de la boue de dragage dans la fabrication de matériaux de construction ou de béton ordinaire.

Mots clés : *Envasement, barrage, dragage, boue, mise en valeur, béton.*

* Corresponding author.

E-mail : 1*alihalassa.riad@gmail.com, 2bib_i_mekki@yahoo.fr, 3chikmaziz@yahoo.fr

Address : Cité des martyrs Rue "B" N°09 Constantine, Algérie

1. Introduction

Le dragage est l'opération qui consiste à extraire les matériaux situés sur le fond d'un plan d'eau et c'est une technique d'envasement la plus sûre pour les barrages, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage est une opération très coûteuse et n'est pas économique pour les grandes retenues. Dans certains pays, cette opération s'impose surtout lorsqu'il y a moins de sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages, ou lorsque la digue est menacée par la forte poussée des boues. Le lieu du rejet de la boue draguée se pose à chaque opération de dévasement. Généralement, les boues draguées sont jetées directement dans le cours d'eau à l'aval du barrage ou transportées jusqu'à la zone de dépôt la plus proche sans tenir compte des problèmes d'ordre esthétiques ou autres qui ont un impact écologique. Le rejet à l'aval du barrage peut augmenter la concentration en particules fines dans le cours d'eau pouvant être nuisibles à l'ensemble des espèces animales et végétales. Les agriculteurs utilisateurs d'eau à l'aval risquent de se plaindre de la présence de particules suspendues troublant cette eau.

En Algérie sur les 65 barrages opérationnels, 11 sont concernés par l'envasement, soit 12% de la capacité totale d'emmagasinement de l'eau. Le ministère des ressources en eau, a procédé durant le mois de septembre 2017, au lancement de la fabrication de la première drague produite en Algérie, voire la première en Afrique et dans le monde arabe [1]. Ceci pour en finir une fois pour toute avec les problèmes d'envasement enregistrés au niveau de nos barrages. Les dragues équipées de petits bateaux de servitude pourront être déplacées d'un barrage à un autre dans les cas d'urgence, c'est-à-dire un déficit en eau dans une région ou risque d'atteinte des composants vitaux d'un barrage.

La solution à cette problématique de l'envasement qui présente la menace la plus sérieuse affectant la bonne santé et le potentiel de nos barrages est, bien entendu, le dévasement qui nécessite de se donner les moyens nécessaires et de faire appel aux ressources et aux compétences nationales notamment les chercheurs algériens qui peuvent par leurs réflexions donner le remède au problème posé et permettre l'utilisation rationnelle et la mise en valeur des boues de dragage issues des opérations d'envasement dans plusieurs domaines (agriculture, industrie, construction et artisanat).

Dans le domaine de la construction, l'Algérie connaît un déficit en matériaux dont l'exploitation de la boue pour la fabrication des matériaux de construction peut être donc se constater utile. Ces études se sont orientées vers l'utilisation des vases ou des boues de dragage pour divers créneaux à savoir :

- Barrage **Fergoug** de Mascara : substitution d'une partie de ciment en vue d'obtenir un ciment composé [2] ;
- Barrage **Bakhada** de Tiaret : constituant dans les couches d'assise de structures routières [3] ;
- Barrage **Fergoug** de Mascara : conception d'une pouzzolane artificielle et composite dans la brique de construction [4] ;
- Barrage **K'sob** de Msila : incorporation de la vase à côté du clinker et gypse pour la confection des ciments. Différentes propriétés sont suivies afin de choisir le meilleur ciment de l'étude ;
- Barrage **Oued Fodda** Chlef : substitution d'une argile utilisée pour la fabrication de céramique [7] ;
- Barrage **Chorfa** et **Fergoug** Mascara : substitut minéral partiel au ciment CPA CEMI 42.5 dans la composition des mortiers et des bétons autoplaçant [8] ;
- Barrage **Fergoug** de Mascara : élaboration de nouveaux bétons (autoplaçant) et matériaux de construction [9] ;

*Pour le cas de notre étude, le but est la caractérisation de la boue issue du dragage **du barrage K'SOB** de Msila en vue de sa valorisation dans le confectionnement d'un béton ordinaire par la substitution d'une partie de ciment. Des échantillons de vase ou de boue qui ont fait l'objet de ces études ont été prélevés et confectionnés dans les zones réservées à la vase ou à la boue draguée et évacuée par pompage en aval des bassins de décantations construits sur des terres incultes. Les échantillons prélevés ont subi les préparations convenables (séchage, concassage, broyage, tamisage et calcination).*

2. Présentation et Situation Géographique des Barrages Étudiés

Le barrage de **Fergoug** est situé au Nord-Ouest de l'Algérie dans la Wilaya de Mascara, a pour but de stocker les eaux de l'Oued Harra immédiatement à l'aval de l'oued el Hammam et de l'oued Fergoug à 10 km au sud de la ville de Mohammédia. Il est situé à 50 km à l'aval du barrage de Bouhnifia et fait partie du triplex : Ouizert-Bouhnifia-Fergoug [1]. Reconstitué au cours des années 1967 à 1969 avec une capacité de 17 millions de m³ en 1970 pour chuter à 9.67 millions de m³ ; soit un taux annuel d'envasement dépassant un million de m³ [4]

Le barrage de **Bakhada** est situé sur le cours d'eau supérieur de la Mina (affluent de l'oued Cheliff) à proximité du village de Machraa Sfa à 25Km de la ville de Tiaret. Il est mis en service en 1936 avec une capacité initiale de 56 Hm³, le taux d'envasement est de 22% [1].

Le barrage de l'**Oued-Fodda** est situé à 45 kilomètres au Sud de la ville de Chlef, Il est destiné à l'irrigation du périmètre du moyen Cheliff, l'alimentation en eau potable du barrage et des localités avoisinantes, le transfert vers le barrage de Bouroumi à Blida. Ayant une capacité de 228 millions de m³, le barrage de l'Oued Fodda assurait un débit régularisé garant de 70 millions de m³ en 1966. Par ailleurs l'envasement de la réserve qui atteint la moitié en quarante ans d'exploitation a fortement diminué la capacité de stockage [7].

Le barrage **Chorfa** situé dans la Daïra de Sig, à une quarantaine de kilomètres du chef-lieu de la wilaya de Mascara, de capacité initiale 82 Hm³, régularise les eaux du sous bassin de la Mekerra (Oued Mebtouh), et alimente les localités d'Oued Mebtouh, Boudjehaha El-Bordj et Aïn Adden qui relèvent du territoire de la wilaya de Sidi Bel-Abbès. La production actuelle dépasse les 25 000 m³/jour. Sachant qu'il est d'une capacité de 70 millions de m³, en raison de la sécheresse qui sévit dans la région, son niveau de remplissage a baissé à 13,5 millions de m³. Le barrage Chorfa comme beaucoup d'autres en Algérie est soumis à un phénomène d'envasement progressif. Ces dernières années sa capacité a chuté d'une dizaine de millions de m³, soit un taux annuel d'envasement dépassant un million de m³ [8].

*Le Barrage **K'sob** est situé à « HAMMAN » entre les monts de Kef El Ouerad et Djebel El Groun à 15 Km au nord de la wilaya de M'sila sur la route nationale en direction vers la Wilaya de Bordj Bou Arreridj. Il fut construit à cet endroit sur l'oued K'sob entre les années 1934 et 1940 permettant l'irrigation du périmètre agricole de la commune de M'Sila [6]. D'une capacité de 50 millions de mètres cubes d'eau destinés dans les années 70 à l'irrigation de 13 000 hectares de terres agricoles, unique à l'échelle de la wilaya, ce barrage n'arrose plus aujourd'hui que 4840 hectares en raison d'un état d'envasement avancé.*

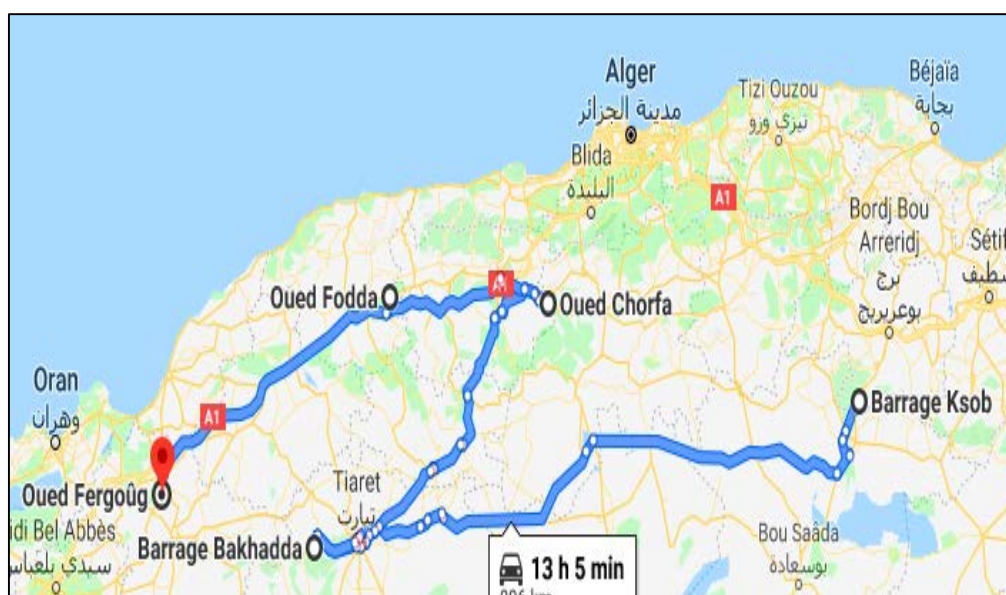


Fig. 1 : Situation géographique des barrages étudiés

3. Méthodologie

3.1. Essais

Les essais de caractérisation physiques, chimiques et minéralogiques ont été effectués sur les échantillons prélevés pour l'ensemble des études.

Comme caractéristiques physiques permettant une classification des échantillons considérés comme sols fins, il a été retenu les plus importantes à savoir : les analyses dimensionnelles par granulométrie à sec et sédimentométrie après tamisage sous l'eau, les limites d'Atterberg et le poids volumique sec. Les analyses granulométriques ont été effectuées en utilisant un défloculant et à l'état naturel non défloculé. La spécificité des essais entre les différentes études réside dans le domaine de la valorisation de la vase ou de la boue à savoir :

- Des essais sur les pâtes et bétons contenant différents pourcentages de vase de substitution par rapport au dosage en masse du ciment (10%, 15% et 20%) avec une même maniabilité et une composition témoin sans la vase avec les mêmes constituants en vue de comparaison. En plus des essais estimant le comportement à l'état frais (mesure de temps de prise sur pâtes) et à l'état durci (mesure des résistances mécanique en compression à 1, 7, 14, 28 et 90 jours sur des bétons et suivi des déformations dues au retrait et ce en fonction des pourcentages de la vase substituée [2] ;
- Des essais déterminant les propriétés mécaniques du matériau de substitution [3];
- Des essais de prise, d'absorption capillaire, de perméabilité et de résistance mécanique effectués sur des bétons, des mortiers et des pâtes de liant durcies [4];
- Des Mesures de la matière organique, de la densité, de la finesse et de la consistance. Des essais de chaleur d'hydratation, de migration des chlorures en régime non-stationnaire, de porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique, de retrait et des essais de traction et de compression uniaxiale respectivement à 2 jours et 28 jours [5,6] ;
- Des essais physiques-céramiques sur le produit final [7] ;
- Des essais sur les pâtes et les mortiers contenant la vase de substitution ainsi que sur le béton autoplaçant "BAP" témoin et contenant la vase calcinée et la pouzzolane naturelle. Des essais réalisés concernent l'étude des propriétés à l'état frais afin d'estimer la fluidité et la ségrégation dynamique et statique et divers essais relatifs aux caractéristiques mécanique et physico-chimique (résistance mécanique, carbonatation et attaques des sulfates et acides) [8] ;
- Des essais de prise sur patte témoin contenant 10, 15 et 20% de vase par rapport au dosage en masse du ciment. Des essais de résistances en compression des différentes compositions de béton [9].

Concernant notre étude, nous avons effectué des analyses granulométriques, des analyses minéralogiques et des analyses chimiques sur les deux échantillons de la boue préparée dans son état naturelle tamisée et son état calcinée.

L'objectif de notre travail consiste à déterminer tous les aspects chimiques, physiques, minéralogiques et mécaniques caractérisant la boue issue du barrage de K'sob permettant sa valorisation en tant que matériau de construction entrant dans la composition des bétons en l'utilisant, après calcination pour la rendre active. Les bétons ainsi confectionnés seront testés vis-à-vis du comportement mécanique en compression et du retrait.

3.2. Méthodes

Concernant les analyses chimiques et minéralogiques, elles ont été réalisées à partir d'analyse pétrographique, de spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (analyse EDS), de fluorescence X(XRF) et diffraction X (DRX), d'analyse thermique différentielle (ATD) et d'analyse thermo-gravimétrique (ATG). Les analyses granulométriques sont réalisées sous l'eau et par sédimentométrie et les caractéristiques géotechniques sont déterminées moyennant les limites d'Atterberg et l'essai au bleu de méthylène (VBS). Certaines méthodes d'essais sont distinctives par rapport aux résultats attendus de chaque étude à savoir :

- Calcimètre pour la détermination des carbonates du CaCO_3 , essai au PH-mètre pour la détermination de l'acidité du matériau, Proctor modifié et IPI immédiat pour les essais de compactage portance, l'essai de gonflement volumique GV, les essais de compression simple (RC, résistance à la compression) et les essais de traction directe "Rt" et essai brésilien indirect "Rtb" [3];
- Essais de rupture en compression simple, essais de prise à aiguille de Vicat [4] ;
- Analyse par calorimétrie différentielle à balayage (DSC) et la thermogravimétrie (TG), Infra-Rouge à transformé de Fourier, calcination, flaçon de Le Chatelier, Perméabilité à l'air, appareil Vicat. calorimétrie semi-adiabatique connue par « le procédé Langavant » [5,6] ;
- Essai au rhéomètre[7];
- Essais d'étalement au cône, de la boîte en L et de stabilité au tamis. Essai de flexion et compression [8];
- Mesure des temps de début et de fin de prise et des essais de compression [9).

Concernant le travail de notre étude, nous avons effectué des analyses granulométriques par la sédimentométrie, des analyses minéralogiques par diffraction aux rayons (X) et des analyses chimiques par fluorescence.

4. Résultats et Discussions

4.1 Résultats des analyses minéralogiques

Le tableau 1 regroupe les résultats obtenus (composition chimique de chaque matière). Les oxydes formant chaque matière sont exprimés en pourcentage massique.

| Vase/boue du barrage | Minéraux (%) | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|----------|
| | Quartz | Calcaire | Kaolinite | Illite | Dolomite | Muscovite | Merlinoite | Albite | Chlorite |
| Fergoug [4] | - | 20.67 | 15 | - | 5.17 | - | - | - | - |
| K'sob [5,6] | 22 | 30 | 11 | - | - | 20 | - | - | 12 |
| K'sob | 18 | 15 | - | 32 | - | 28 | 04 | 03 | - |

Tableau. 1 : Résultats des analyses minéralogiques des barrages étudiés

Le quartz représente l'élément principal des fractions de silt et d'argile. La possibilité de transformer les structures minérales des vases dans le but d'en fabriquer des liants hydrauliques d'usage courant semble réalisable à condition que la teneur en argile et calcaire soit suffisante.

Concernant la boue de dragage du barrage K'sob, objet de notre étude, l'échantillon est composé principalement de Quartz, Calcite, Illite, Muscovite, Merlinoite et Albite.

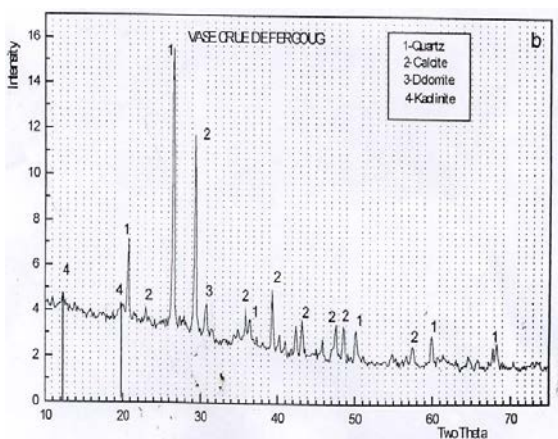


Fig. 2 : Courbe DRX de la vase de Fergoug [4]

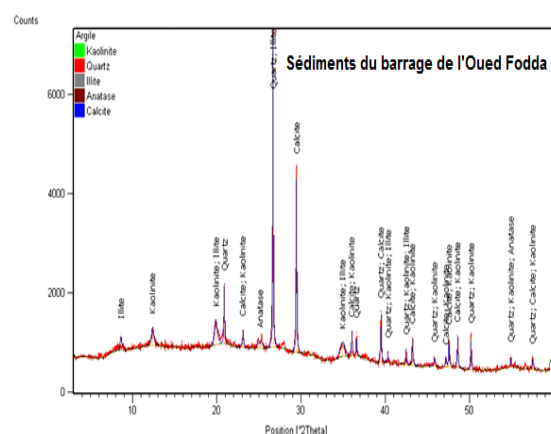


Fig. 3 : Courbe DRX de la vase d'Oued Fodda [7]

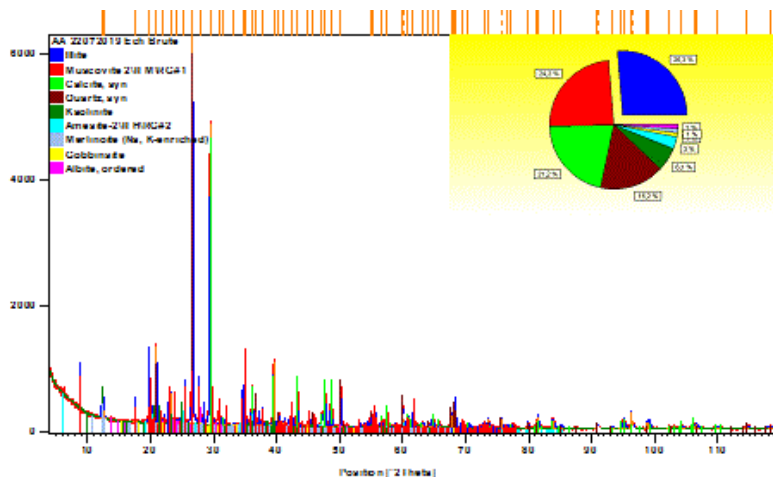


Fig. 4 : Diffractogramme des rayons « X » de la boue de dragage du barrage de KSOB

4.2 Résultats des analyses chimiques

Le tableau 1 regroupe les résultats obtenus (composition chimique de chaque matière). Les oxydes formant chaque matière sont exprimés en pourcentage massique.

| Vase / boue de dragage du barrage | Oxydes (%) | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | K ₂ O | Na ₂ O | PAF |
| Fergoug [2] | 56.76 | 3.67 | 0.46 | 16.42 | 0.14 | - | - | - | - |
| Bakhada [3] | 69.30 | 9.07 | 3.65 | 8.46 | 1.22 | - | - | 0.09 | 9.41 |
| Fergoug [4] | 53.30 | 6.29 | 1.76 | 16.64 | 0.21 | 0.11 | 2.89 | 0.69 | 18.91 |
| K'sob [5,6] | 37.37 | 13.52 | 5.00 | 17.02 | 2.75 | 0.36 | 1.92 | 0.45 | 20.73 |
| Oued Fodda [7] | 46.37 | 13.73 | 5.76 | 11.87 | 1.64 | - | 1.48 | 0.37 | 17.90 |
| Chorfa [8] | 47.36 | 15.75 | 7.43 | 23.08 | 2.67 | 0.17 | 2.97 | 0.37 | 17.6 |
| Fergoug 8] | 51.69 | 15.49 | 7.53 | 18.06 | 3.08 | 0.23 | 2.99 | 0.41 | 18.7 |
| Fergoug [9] | 83.16 | 3.67 | 0.46 | 9.92 | 0.14 | - | - | - | 29.1 |
| K'sob | 39.54 | 9.96 | 4.09 | 22.77 | 4.00 | 0.09 | 1.31 | 0.40 | 15.05 |

Tableau. 2 : Résultats des analyses chimiques des barrages étudiés

Les analyses chimiques ont le but de déterminer la composition quantitative de la boue en oxydes et confirmer les résultats de l'analyse minéralogique. Les analyses chimiques et minéralogiques des vases étudiées ont révélé la présence des minéraux essentiels composants les liants hydrauliques courants tels que la silice et l'alumine avec des proportions variables.

Pour la boue de dragage du barrage K'sob, objet de notre étude, elle présente les mêmes minéraux que celles déjà étudiées avec des proportions variables, composée d'un pourcentage important de silice, d'alumine. Ces deux oxydes confirment l'analyse minéralogique de la vase et l'existence de la kaolinite et l'illite qui sont des minéraux argileux composés principalement des feuilletes de l'alumine et de silice. Le pourcentage de la perte au feu est remarquable, de l'ordre de 15.05% justifié par la présence de la matière organique et un pourcentage de chaux de 22.77%.

Les différentes techniques utilisées dans l'analyse chimique et minéralogique des échantillons de vase étudiés ont confirmé la présence des minéraux argileux essentiels en prévision des voies de valorisation envisagées.

4.3 Résultats des analyses physiques

| Vase / boue de dragage du barrage | Masse volumique absolue ρ_s (g/cm ³) | Finesse méthode de Blaine Ssp (cm ² /g) | Valeur bleu de méthylène VBS (g/cm ³) | Limite de liquidité W_L (%) | Limite de plasticité W_p (%) | Indice de plasticité I_p (%) |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Fergoug [2] | 2.66 | 6239 | - | - | - | - |
| Bakhada [3] | - | - | 6 | 60 | 33 | 27 |
| Fergoug [4] | 2.65 | - | - | 22.40 | 24 | 18.23 |
| K'sob [5,6] | - | - | 1.85 | 25.72 | 17.82 | 7.90 |
| Oued Fodda[7] | 2.5 | - | 5.66 | 47.54 | 22.80 | 24.74 |
| Chorfa [8] | 2,65 | 7190 | - | - | - | - |
| Fergoug [8] | 2.66 | 6740 | - | - | - | - |
| Fergoug [9] | 2.63 | 6239 | - | - | - | - |
| K'sob | 2.67 | 7879 | - | 37.28 | 19.11 | 18.17 |

Tableau. 3 : Résultats des analyses physiques des barrages étudiés

Selon les indices de plasticité, la boue de dragage est peu plastique et elle est classée comme un sol argileux. A l'exception de la vase du barrage Bakhada, on constate que les sédiments du barrage se situent à l'intersection de deux classes de matériaux : argile de forte plasticité et limon très plastique-sol organique très plastiques.

Le résultat de VBS classe la vase des barrages, selon la norme française FN P 94-064 en un sol limono-argileux de plasticité moyenne à un sol argileux moyennement plastique

Pour la boue de dragage de notre étude et concernant la dénomination de nos échantillons, nous avons choisi la classification L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris) [7,10]. Plus de 50 % (89%) des éléments en poids sont < 80 μ m, la boue du barrage de K'sob est un sol fin. La classification des sols fins utilise les critères de plasticité liés aux limites d'Atterberg, notre boue est classée comme un sol argileux. Les sols argileux sont caractérisés par une plasticité selon la teneur en eau. La limite de liquidité est la teneur en eau équivalente au nombre de coups 25[11]. Le poids volumique des grains solides de la boue étudiée varie de 2.65 à 2.67 g/cm³. D'après Jaques L. 2006, la phase solide des sols est constituée principalement de silice et d'alumine. Les éléments simples Si et Al ayant des masses atomiques très voisines, le poids volumique des sols évolue dans une plage très étroite. Les sols organiques et les sols métallifères font exception à ces valeurs. Au-dessus de 2.7 g/cm³ les sols sont métallifères [11,12]. On constate alors qu'il existe un certain taux en matière organique dans la boue étudiée.

4.4 Résultats des essais de la mise en valeur des vases et des boues de dragage

- **Barrage Fergoug de Mascara : substitution d'une partie de ciment en vue d'obtenir un ciment composé**, d'après les résultats, il apparaît que l'ajout de la vase affecte légèrement les temps de prise puisqu'un écart maximal de 15min est enregistré entre la pâte témoin et celle dont 20% de ciment a été remplacée par la vase. Par contre la comparaison des temps de début de prise et de fin de prise, a mis en évidence que ces derniers diminuent avec l'augmentation du dosage en vase, ce qui implique que la vase peut jouer le rôle d'un accélérateur de prise très utile en cas de bétonnage par temps froid [2].

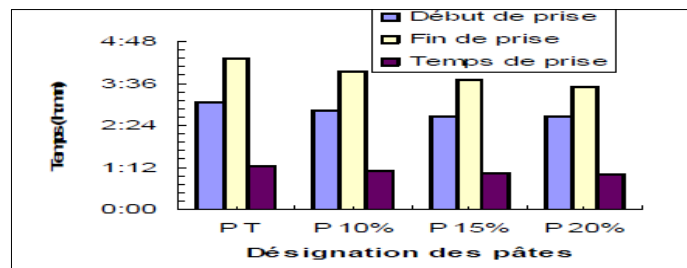


Fig. 5 : Les temps de début de prise, de fin de prise et le temps de prise des pâtes [2]

La figure 6 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 rapportée à celle du béton témoin. On constate pour la plus part 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. 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 seront évoluées au-delà du béton témoin [2].

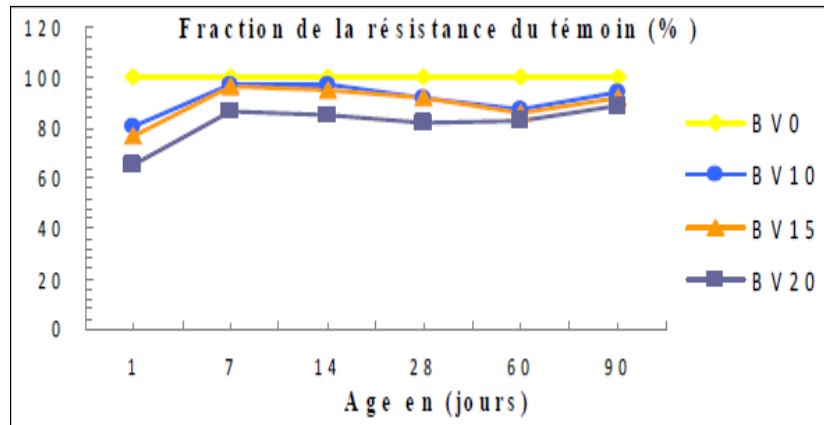


Fig. 6 : Evolution de la fraction des résistances en compression des bétons à base de vase par rapport au béton témoin (sans vase) [2].

- Barrage **Bakhada** de Tiaret : **constituant dans les couches d'assise de structures routières**, la méthode générale de valorisation des sédiments de dragage décrite dans cette étude est encourageante quant à la gestion de ces sédiments en technique routière. En effet, les trois liants testés permettent d'envisager l'utilisation du sédiment traité pour constituer une couche de chaussée : Aptitude au traitement vérifiée, excellente pérennité des traitements et gonflement non préjudiciable, bonnes résistances mécaniques et qui se situent au minimum à 90 jours. Le comportement du sédiment traité est ainsi à évaluer vis-à-vis de l'âge autorisant la circulation sur la couche traitée (résistance à la compression R_c à 7 jours ou à 28 jours généralement ≥ 1 MPa) [3].
- Barrage **Fergoug** de Mascara : **conception d'une pouzzolane artificielle et composite dans la brique de construction**, les résistances optimales pour les mélanges à 40% de ciment et de 60% de vase, ont été enregistrées pour les trois séries d'essai. Après seulement 24 heures de traitement hydrothermal pour le mélange optimal. Une résistance à la compression de l'ordre de 40 Mpa est enregistrée. Cette résistance est très suffisante pour un moellon à bâtir. La résistance obtenue est due aux réactions ayant eu lieu dans l'autoclave. Les gels formés qui sont à l'origine de ces résistances sont le résultat des réactions du quartz avec la chaux libérée par l'hydratation du ciment.

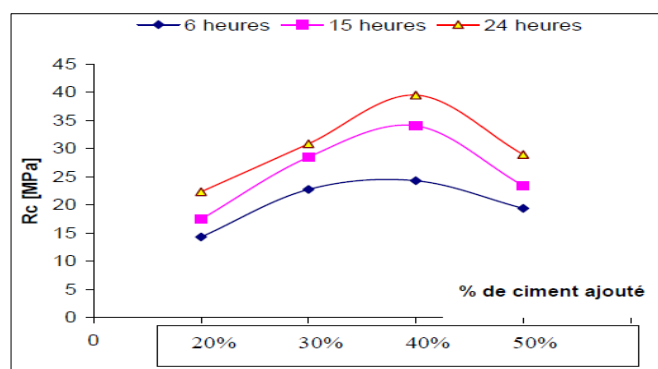


Fig. 7 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de ciment de la brique [4]

- **Barrage K'sob de Msila : l'incorporation de la vase à côté du clinker et gypse afin de produire des ciments** a donné des résultats satisfaisants, qui peuvent être améliorés au fur et à mesure du progrès technologique dans ce domaine. Les essais typiques de caractérisation des ciments ont abouti aux résultats suivants :

 - La composition chimique des ciments composés, satisfait toutes les exigences et normes, tels que la perte au feu, les limites de SO₃ et de chaux libre, ainsi que les différents modules comme le module hydraulique de Michaelis, le module de silicique et l'indice hydraulique de Vicat ;
 - Après 28 jours de cure (Afin d'arriver à la meilleure résistance caractéristique), les ciments composés par 10% de boue activée assure une résistance à la compression la plus élevée de tous les cycles thermiques appliquées aux boues ;
 - L'incorporation des boues traitées, augmente la demande en eau, afin de donner une consistance normale à la pâte ;
 - La croissance de la finesse des ciments avec ajouts, engendre la croissance de la demande en eau de consistance, décrite par le rapport E/C. Ce rapport augmente avec la température ainsi que la vitesse d'activation ;
 - Les boues traitées augmentent la chaleur d'hydratation, grâce à la réaction de la silice avec la portlandite, en particulier les traitements thermiques de la boue à 600°C ;
 - A 28 jours, la production des ciments composés CC600 en matière de portlandite est conséquente devant les CC800. Mais à long terme les ciments CC600 produisent moins de portlandite, indiquant leur caractère pouzzolanique ;
 - La résistance aux attaques chimiques des ciments composés est améliorée par rapport au CEMI, grâce à une finesse et une pouzzolanité accrue et une meilleure porosité.
 - La rhéologie des mortiers, indique un comportement binghamien, avec l'augmentation de la viscosité, ce qui réduit la maniabilité et l'ouvrabilité des mortiers [5,6] ;

- **Barrage Oued Fodda Chlef : substitution d'une argile utilisée pour la fabrication de céramique** : les caractéristiques physiques, rhéologiques, minéralogiques et chimiques de la vase étudiée peuvent être réutilisés dans le domaine de la fabrication des matériaux rouges spécifiquement la céramique. Ce résultat est confirmé par des tests de type physico céramique à l'usine CERAL (Céramique Algérienne) réalisés sur un mélange en vase remplaçant l'argile, grès et schiste. Suivant les résultats trouvés, la résistance à la flexion des carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda est proche à celle de l'argile pour les différentes températures de cuisson. Les carreaux préparés par la vase du barrage de l'Oued Fodda ont donné une résistance crue moyenne de 2.03N/mm² et une résistance sèche moyenne de 6.1 N/mm² qui sont proches de celles des carreaux préparés par l'argile (crue moyenne de 2.26N/mm², sèche moyenne de 6.3 N/mm²). Le comportement des carreaux préparés par la vase

du barrage de l'Oued Fodda est très bon vis-à-vis le pressage et le séchage. Le produit de CERAL résiste mieux à la flexion que le produit de l'Oued Fodda mais les deux sont dans la marche des exigences demandés et suivant la norme internationale [7] ;

- Barrage **Chorfa** et **Fergoug** Mascara : **substitut minéral partiel au ciment CPA CEMI 42.5 dans la composition des mortiers et des bétons autoplaçant**, les résultats des essais effectués ont pu mettre en évidence les conclusions suivantes :
 - les temps de début et de fin de prise diminuent avec l'augmentation des dosages en ajouts ce qui présente un intérêt en cas de bétonnage par temps froid ;
 - les valeurs d'étalements obtenus (70 cm et 68 cm) classent ces bétons comme des bétons autoplaçants dans un milieu non confiné ;
 - Sur la ségrégation statique, les résultats issus des essais de stabilité au tamis montrent que les quatre compositions testées ont une stabilité satisfaisante ($0 \leq \Pi \leq 15 \%$) ;
 - tous les bétons confectionnés respectent la condition de l'essai du ressuage conseillé dont la valeur doit être inférieure ou égale à 3‰ en volume ;
 - les résultats obtenus en terme de résistances mécaniques ont permis de montrer que pour un taux de substitution de 20% la vase de barrage du Fergoug améliore plus la résistance des mortiers au jeune âge (3, 7 et 28 jours), par contre la contribution de la vase du barrage de Chorfa est plus marquée à long terme (60, 90 et 180 jours). En ce qui concerne les BAP, ceux à base de la vase de Chorfa développe des résistances à la compression légèrement supérieures à ceux à base de la vase de Fergoug notamment au-delà de 28 jours ;
 - l'incorporation de la vase calcinée dans les BAP améliore la résistivité de ces bétons envers l'attaque de l'acide sulfurique ;
 - le BAP-VC(Chorfa) présente les meilleures résistances au sulfate de magnésium par rapport aux autres BAP à 360 jours d'immersion dans la solution $MgSO_4$;
 - la présence de la vase dans la pâte des BAP réduit sensiblement le risque de carbonatation de ces bétons par rapport à celui des BAP à base de pouzzolane naturelle [8].

- Barrage **Fergoug** de Mascara : **élaboration de nouveaux bétons (autoplaçant) et matériaux de construction**, les principales conclusions auxquelles sont parvenus les résultats 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 de 0,73 donc compris entre 0,67 et 1, 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 encourage à utiliser jusqu'à 20 % de vase en remplacement du ciment [9].

- *Pour le cas de notre étude, sur la boue issue du dragage **du barrage K'SOB** de Msila et selon les résultats obtenus par les différentes techniques utilisées dans l'analyse chimique et minéralogique des échantillons de la boue étudiée, la présence des minéraux argileux essentiels en prévision de voie de la valorisation envisagée est confirmée. La voie consiste à valoriser la boue de dragage issue du barrage de K'sob en tant que matériau naturel de construction entrant dans la composition des bétons ordinaires en l'utilisant, en dosages définis substituables au ciment (matériau industriel) par rapport au dosage en masse de cette dernière. Les bétons ainsi confectionnés seront testés vis-à-vis du comportement mécanique et du retrait.*

5. Conclusions

L'absence de sites favorables à la réalisation de grands barrages en Algérie, nécessite l'entretien des barrages existants. Sur les 65 barrages opérationnels, 11 sont menacés de comblement et nécessitent un dévasement urgent. Le rejet des vases à proximité des sites ou à l'aval dans l'oued pose d'énormes problèmes écologiques et environnementaux. Ceci incite à réfléchir sur la réutilisation et la mise en valeur de la vase ou de la boue dragée dans différents domaines et notamment de génie civil.

Les résultats obtenus par les chercheurs algériens sont très encourageants pour l'utilisation de la vase ou de la boue dragée comme matière première pour la fabrication de matériaux de construction et la confection des nouveaux bétons ou des bétons ordinaires, puisque elle présente des caractéristiques identiques à celles des matériaux à substituer selon le domaine d'utilisation.

Les essais effectués sur les produits fini et les bétons confectionnés à partir des vases se sont avérés concluants. Les résultats des essais effectués et présentés dans les études vérifient bien les normes en vigueur.

Partant des conclusions de ces études réalisées auparavant par nos chercheurs algériens notamment celle liée au barrage de **K'sob** de Msila dont la boue de dragage a été incorporée à côté du clinker et du gypse pour produire des ciments, nous nous sommes dans le devoir de poursuivre notre étude sur la boue de dragage du même barrage après avoir confirmé la voie de valorisation par l'étude de caractérisation de la boue de dragage en question. La voie consiste à valoriser la boue de dragage issue du barrage de K'sob en tant que matériau naturel de construction entrant dans la composition des bétons ordinaires en l'utilisant, en dosages définis substituables au ciment (matériau industriel) par rapport au dosage en masse de cette dernière. Les bétons ainsi confectionnés seront testés vis-à-vis du comportement mécanique et du retrait.

La boue de dragage doit être considérée désormais comme un produit bénéfique et non pas un simple rejet dont les difficultés d'élimination ou de stockage posent un problème d'environnement. La boue draguée peut être utilisée en fonction de la nature et la granulométrie des sédiments.

6. Références

- [1] ANBT website. [Online]. Available: <https://www.soudoud-dzair.com/>
- [2] Belas N., Belaribi O., Mebrouki A. & Bouhamou N., 2011-INVACO2 : valorisation des sédiments de dragage dans les bétons. Document 1P.176
- [3] B. Serbah. étude et valorisation des sédiments de dragage du barrage BAKHADDA Tiaret. thèse de doctorat, Université de Tlemcen, faculté de Technologie, Département de Génie Civil, M'sila, Algérie, Déc. 2011.
- [4] A. Semcha. Valorisation des sédiments de dragage : Applications dans le BTP, cas du barrage de Fergoug. thèse de doctorat, Université de Reims Champagne Ardenne, Reims, France, Déc. 2006.
- [5] Bibi M., B Belouahri., Chikouche M. A. & Hattab M., 2009-19^{ème} Congrès Français de Mécanique Marseille : étude des propriétés mécaniques et physico-chimiques de l'argile vaseuse et de l'argile gréseuse provenant de la région de M'sila (Algérie).
- [6] M. A. Chikouche. Optimisation des ajouts à base d'argiles vaseuses et leurs effets sur les propriétés des matériaux cimentaires. thèse de doctorat, Université de M'sila, faculté de Technologie, Département de Génie Civil, M'sila, Algérie, Déc. 2016.
- [7] M. Benasla. Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'Oued Fodda et valorisation en tant que matériau de construction. thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, faculté de chimie, Oran, Algérie, 2015.
- [8] O. Belaribi. Durabilité des bétons autoplaçants à base de vase et de pouzzolane. thèse de doctorat, Université de Mostaganem, Algérie, 2015.

- [9] BELAS N., AGGOUNB S., BENAISSAC A. & KHEIRBEKA., 2011-20ème Congrès Français de Mécanique : valorisation des déchets naturels dans l'élaboration des nouveaux bétons et matériaux de construction.
- [10] MAGNAN J. P., 2015 - Ed. Techniques de l'ingénieur : description, identification et classification des sols. ser. Ti541 mécanique des sols et géotechnique.
- [11] Migniot C., 1968- SHF and available at <http://www.shf-lhb.org> : Etude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous des actions hydrodynamiques.
- [12] Lérau J., 2005 -, " Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, Département de Sciences et Technologies pour l'ingénieur : Géotechnique 1, Cours Chapitres 1,