



Montréal, Québec
May 29 to June 1, 2013 / 29 mai au 1 juin 2013

Comportement mécanique d'un sédiment de dragage de barrage

O. Seklaoui-Oukid¹, A. Bouhraoua¹, D. Rangeard², R. Jauberthie²

¹Laboratoire LaMoMS de génie civil, Université de Tizi-Ouzou, Algérie

²Laboratoire GCGM: matériaux EA 3913, INSA de Rennes, France

Résumé : Le sol étudié est un sédiment issu du dragage du barrage d'El Merdja Sidi Abed en Algérie. Ce barrage est alimenté à partir d'une rivière, il est le siège d'un envasement important. Le maintien de la capacité de la retenue passe par l'extraction des sédiments déposés. Dans ce travail, on s'intéresse aux possibilités de réutilisation de ces matériaux. Dans un premier temps, une caractérisation géotechnique et minéralogique (analyse granulométrique au Laser, limites d'Atterberg, valeur au bleu et teneur en matière organique,...) du matériau est réalisée. On met notamment en évidence la présence d'argile gonflante. Enfin, on étudie la possibilité d'un traitement au ciment en fonction des différents teneurs en eau afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau. En effet les résultats montrent une modification sensible des caractéristiques mécaniques (contrainte en compression et en traction).

1 Introduction

Le barrage d'El Merdja Sidi Abed en Algérie est initialement un lac alimenté à partir d'une rivière par une station de pompage. Ce barrage est le siège d'un envasement important. Le maintien de la capacité de la retenue passe par l'extraction des sédiments déposés, constitués principalement de particules fines. Dans ce travail, on s'intéresse aux possibilités de réutilisation de ces matériaux définis habituellement comme des déchets.

Les caractéristiques géotechniques de ce matériau sont trop faibles pour envisager leur utilisation directe. Un traitement est nécessaire en vue d'une utilisation nécessitant des caractéristiques mécaniques minimales (par exemple, en couche de forme dans le domaine routier). De nombreux paramètres entrent en jeu : le temps après la mise en place Khattab et al (2007), la température qui modifie la cinétique Rao et al, (2005), certains ajouts Jha et al. (2006) ou minéraux contenus dans le sol Sivapullaiah et al (2006). Dans un premier temps, une caractérisation géotechnique et minéralogique du matériau est réalisée. L'analyse minéralogique (diffraction X, MEB) permet de définir le type d'éléments présents dans le matériau. On met notamment en évidence la présence d'argile gonflante. Les essais géotechniques classiques (analyse granulométrique au laser, limites d'Atterberg, valeur au bleu et teneur en matière organique) permettent de classer le matériau dans son état naturel. L'influence du type d'argile est particulièrement mise en évidence sur le comportement au retrait du matériau et sur la pression de gonflement.

Ensuite, on étudie la possibilité d'un traitement au ciment afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau. Des éprouvettes sont confectionnées pour un dosage en ciment (CEM II 42,5)

en faisant varier la teneur en eau. L'amélioration apportée est évaluée à partir des résultats d'essais de compression et de fendage réalisés après différentes durées de maturation.

2 Caractérisation physique et chimique

2.1 Matériels utilisés

La granulométrie est déterminée à l'aide d'un granulomètre Cilas 1180 par diffraction laser intégrant l'approximation de Fraunhofer et la théorie de Mie. L'analyse X est obtenue à l'aide d'un diffractomètre Philips XPERT. Les observations au microscope électronique à balayage sont obtenues sur un appareil JEOL 6400. Des observations avec une meilleure définition et un plus fort grossissement sont obtenues avec un microscope électronique à effet de champ JEOL JSM 6301 FEG.

2.2 Analyse granulométrique

Une analyse granulométrique est réalisée sur le sédiment après séchage à 100 °C à l'aide d'un granulomètre Cilas 1180.

Les résultats, en termes de courbe granulométrique, sont présentés sur la figure 1. Ils mettent en évidence une granulométrie relativement fine. Le diamètre maximal est de 20 µm avec un diamètre moyen D50 de 3 µm.

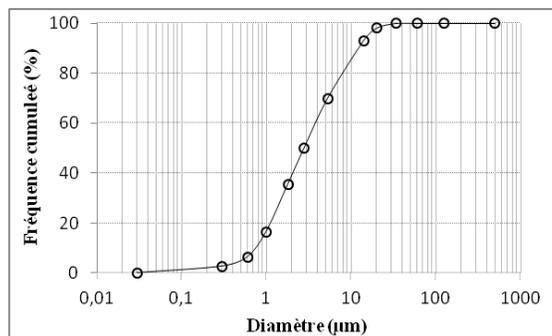


Figure 1: Courbe granulométrique du sédiment

2.3 Analyse par diffraction X

Les diagrammes de diffraction X sont réalisés sur un diffractomètre Philips XPERT en géométrie Bragg-Brentano avec une anode Cu. Le rayonnement est filtré au Ni, la radiation utilisée est α . La tension utilisée est de 45 kV et un courant de 40 mA. L'enregistrement est de type pas à pas avec un pas de $8 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ 2\theta$ entre $5 \text{ } ^\circ 2\theta$ et $75 \text{ } ^\circ 2\theta$. L'analyse par diffraction X est tout d'abord réalisée sur l'échantillon naturel, sans traitement. Elle montre que celui-ci est composé de quartz, de calcite et d'argiles (figure 2a). Les minéraux argileux ne peuvent être déterminés qu'après traitement à 550 °C pendant 1h (figure 2d) et par glycérolage (figure 2c). Ces traitements permettent de vérifier la présence d'argiles gonflantes. Les raies caractéristiques du kaolin disparaissent par chauffage. L'illite, stable en température et par traitement au glycérol est présente en petite quantité. Les minéraux à 1,4 nm sont composés de chlorite stable pendant les différents traitements et de smectite (gonflante au glycérol et dont la distance inter foliaire diminue par chauffage).

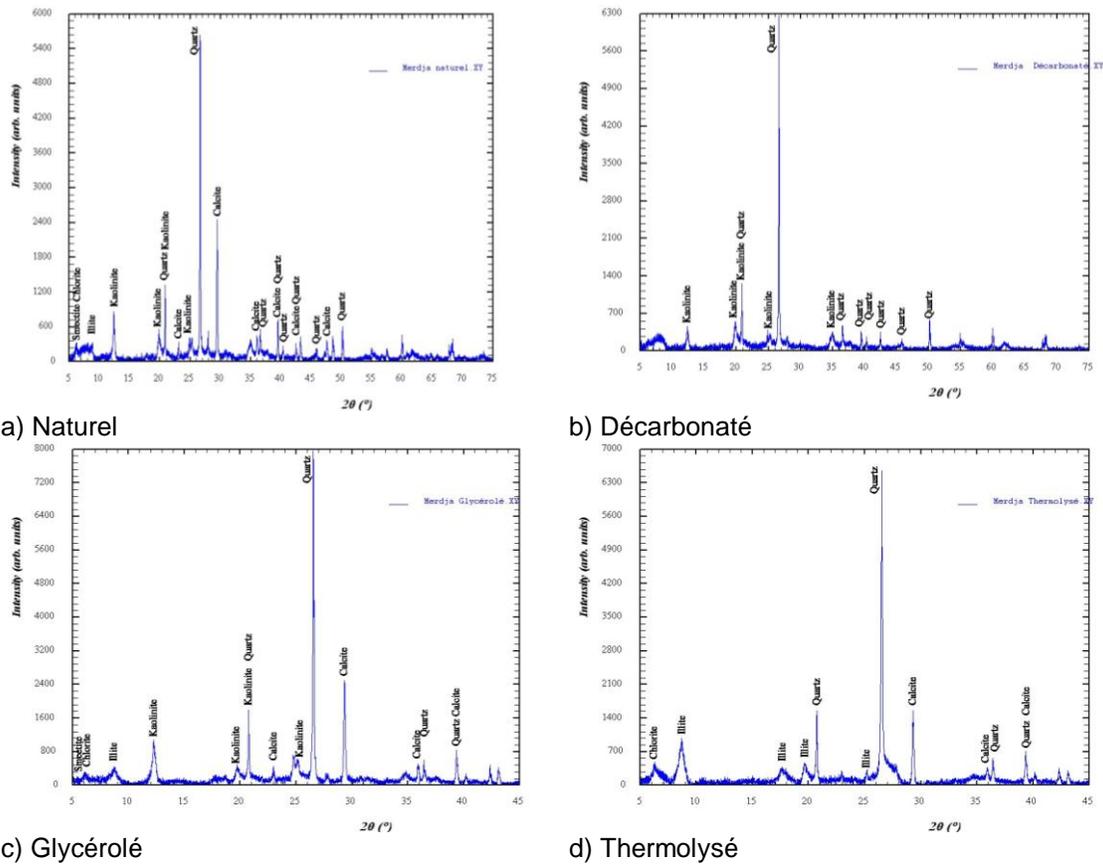


Figure 2: Diagrammes de diffraction X du sédiment d'El Merdja (α Cu filtré)

3 Caractérisation géotechnique

Dans un premier temps, la teneur en matières organiques a été déterminée par calcimétrie. La valeur obtenue est de l'ordre de 3%, ce qui correspond à une quantité de matière organique contenue dans le sol relativement faible.

Afin de vérifier l'influence de la présence d'argile de type gonflante au sein du matériau, des essais de mesures de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse par l'essai à la tache ont été réalisés suivant le protocole de la norme française NF P94-068 (1998). Le résultat de l'essai au bleu (VBS) est directement lié à la surface spécifique des particules du sol. La valeur obtenue est relativement grande ($VBS = 7,5$), confirmant ainsi la présence d'argile de type gonflante qui a toujours une surface spécifique nettement supérieure à celle du kaolin et de l'illite.

3.1 Limite d'Atterberg

Les limites de liquidité et de plasticité du sédiment ont été déterminées respectivement à la coupelle de Casagrande et au cône tombant Zentar et al (2009). La limite de liquidité W_L mesurée est de 65%, celle de plasticité W_P de 26%, ces valeurs conduisent à une valeur de l'indice de plasticité forte de 39%. Ceci traduit une grande plage de sensibilité à l'eau.

3.2 Limite de retrait

De manière à mettre en évidence le rôle des argiles gonflantes, des essais de mesure du retrait ont été effectués. La limite de retrait W_R d'un matériau est définie comme la teneur en eau pondérale en dessous de laquelle le volume de l'échantillon reste constant et pour laquelle le matériau reste quasi saturé Holtz

et Kovacs (1981). La limite de retrait d'un sol est classiquement déterminée sur le passant à 400µm du matériau suivant la norme française XP P94-060-01 (1990). La limite de retrait conventionnelle W_R est dans ce cas déterminée à partir de l'équation 1. Cette limite correspond à une limite de retrait volumique.

$$[1] W_R = \frac{m_h - \rho_W(V_0 - V_d)}{m_d} - 1$$

m_h la masse humide initiale de la prise d'essai,

m_d la masse sèche de la prise d'essai,

V_0 le volume initial de la prise d'essai

V_d le volume de la prise d'essai après dessiccation complète.

Dans cette étude, on détermine également une limite de retrait à partir d'essais de retrait linéique horizontal décrits dans les normes anglo-saxonnes BS 1277:2 (1990), AS 1289.C4.1 (1977). L'essai consiste à mesurer, après dessiccation complète, la longueur d'une éprouvette de matériau mise en place dans un moule formé d'un demi-cylindre. Le moule utilisé dans cette étude a un diamètre de 50 mm et une longueur de 250 mm. L'exploitation de l'essai consiste à mesurer, après dessiccation complète, la longueur l_d de l'échantillon. Le retrait linéaire total, noté LS, est alors défini conventionnellement par l'équation 2:

$$[2] LS = \left(1 - \frac{l_d}{l_0}\right) \cdot 100$$

Avec : l_0 la longueur initiale de l'éprouvette

l_d la longueur de l'éprouvette après dessiccation complète

Cette valeur correspond à la déformation longitudinale de l'éprouvette après dessiccation. La méthodologie décrite dans Fall et al (2009) permet également, à partir de cet essai, d'obtenir une courbe de dessiccation complète et de déterminer une limite de retrait, cette dernière est obtenue par l'intersection des deux segments de la courbe de dessiccation.

La courbe de dessiccation obtenue pour la limite de retrait horizontal est présentée sur la figure 4. Les valeurs des limites de retrait identifiées à partir des deux méthodes expérimentales sont de 14,8% et 12,8% respectivement, et le retrait linéaire total LS est de 17,5%. On note une bonne concordance entre les résultats obtenus par chacune des deux méthodes d'essais.

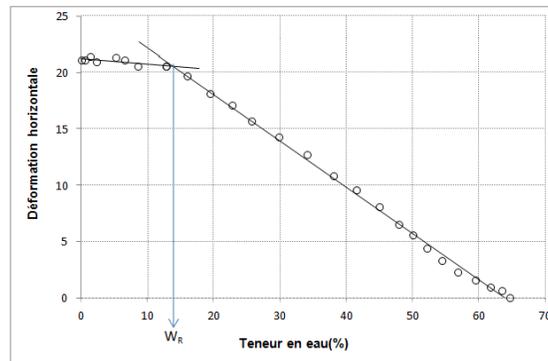


Figure 3: Courbe de dessiccation (retrait linéique horizontal)

3.3 Caractéristiques de compactage et pression de gonflement

Les caractéristiques de compactage du matériau ont été déterminées à partir d'essai Proctor. La teneur en eau optimale obtenue est de 21% et la valeur du poids volumique sec associé est $15,6 \text{ kN.m}^{-3}$.

Des essais de gonflement empêché ont également été réalisés sur le matériau afin de déterminer la pression de gonflement σ_g . Le matériau est initialement compacté à l'optimum Proctor dans la bague d'essai. Un piston fixe est mis en contact avec la face supérieure de l'échantillon. Lors de la mise en eau, un capteur d'effort permet le suivi de la contrainte verticale générée par l'échantillon sur le piston en

fonction du temps. La pression de gonflement mesurée pour le sédiment d'El Merdja, contenant la smectite, est de l'ordre de 85 kPa,

4 Traitement au ciment

4.1 Méthode expérimentale

Dans la suite de cette étude, l'influence d'un traitement au ciment (CEM II 42,5) est testée. Dans un premier temps, des éprouvettes sont confectionnées à une teneur en eau correspondant à l'optimum Proctor du matériau naturel. Cette démarche (compactage à teneur en eau optimale et à énergie Proctor) constitue une démarche conservatrice. En effet, l'ajout de liant (chaux, ciment) modifie les caractéristiques de compactage du matériau : la teneur en eau optimale du matériau traité est systématiquement supérieure à celle du matériau non traité et la densité sèche à l'optimum Proctor est systématiquement inférieure à celle du matériau non traité. Dans ces conditions, un compactage à la teneur en eau optimale du matériau non traité (donc inférieure à la teneur en eau du matériau traité) conduit à une densité sèche inférieure à la densité optimale que l'on peut attendre pour le matériau traité Rogers et al (2006), Consoli et al (2009).

Ensuite, les éprouvettes sont confectionnées en faisant varier la teneur en eau afin d'évaluer l'influence de la résistance à la compression en fonction de la teneur en eau.

Des éprouvettes (diamètre 40mm, hauteur 60mm, soit un élanement de 1,5) sont mises en place par compactage statique. Après confection, les éprouvettes sont conservées à l'air libre.

4.2 Résultats des essais

Afin d'évaluer la résistance à la compression du sol naturel, des essais de compression simple ont été réalisés à différentes échéances : 7 jours, 14 jours et 28 jours. Les résultats sont présentés sur figure 4. Les valeurs des contraintes obtenues sont croissantes en fonction de la durée de maturation.

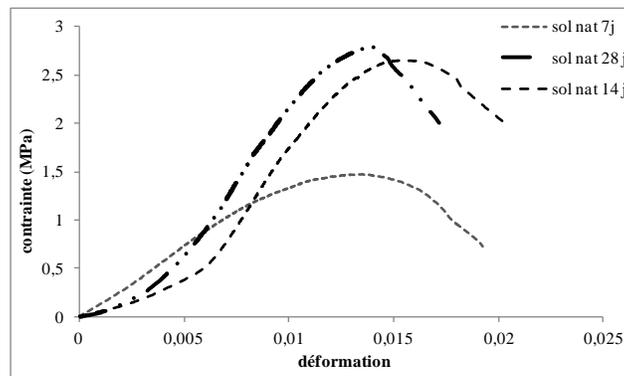


Figure 4: Contraintes en compression du Sédiment naturel

Sur la figure 5 et la figure 6 respectivement, les résultats d'essais de compression et de traction par fendage réalisés sur le sédiment d'El Merdja traité avec 5% de ciment à des teneurs en eau initiales différentes sont présentés. On note que, pour une teneur en eau proche de l'optimum Proctor (21%), les valeurs des contraintes en compression et en traction sont peu différentes de celles du sol naturel ; en revanche, pour des teneurs eau supérieures, les valeurs des contraintes en compression et en traction sont plus élevées. Cette augmentation s'explique aisément par la quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment.

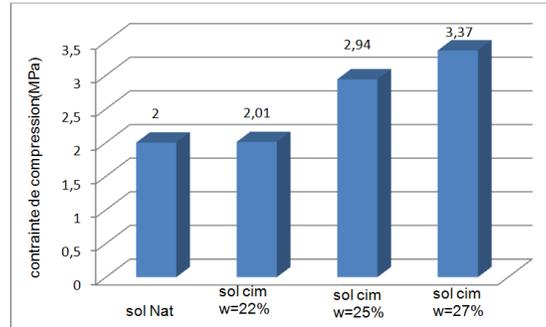


Figure5 : Contraintes maximales de compression à 28 jours à différentes teneurs en eau(w)

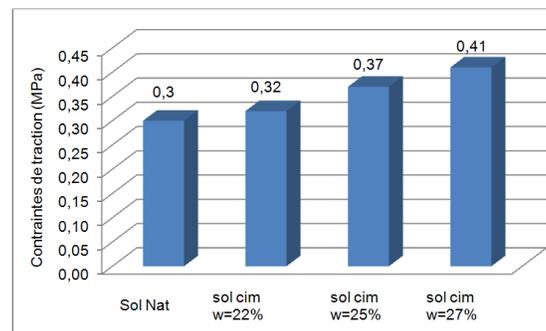


Figure 6 : Contraintes maximales de traction à 28 jours à différentes teneurs en eau(w)

5 Conclusions

L'analyse des sédiments prélevés dans la retenue du barrage d'El Merdja a permis de définir la composition chimique et minéralogique de ce matériau. Les éléments minéraux composant le matériau sont principalement du quartz, de la calcite et de l'argile sous forme de kaolinite et de smectite.

Les essais de caractérisation géotechnique ont été réalisés sur ce sédiment. L'influence de la présence d'argile gonflante sur le comportement du matériau est mise en évidence.

Un traitement au ciment a été testé sur ce sédiment. On remarque que les caractéristiques mécaniques augmentent sensiblement en fonction de la teneur en eau. Ce sédiment traité avec 5% de ciment CEM II présente des résistances en compression de l'ordre de 3 MPa après 14 jours et ceci malgré la présence d'argiles de type smectite. Le traitement suggéré est donc particulièrement préconisé.

6 Bibliographie

AS 1289.C4.1. 1977. Methods of testing soils for engineering purposes - Soil classification tests - Determination of the linear shrinkage of a soil - Standard method, Standards Association of Australia.

BS 1277:2. 1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests, British Standard.

Consoli N.C., da Silva Lopes L., Heineck K.S. 2009. Key parameters for the strength control of lime stabilized soils, *J. of mat. Civ. Eng., ASCE*, 21 (5): 210-216.

Fall M., Rangeard D., Jauberthie R., Rendell F., Molez L. 2009. Traitement de vase fluviale en vue d'une utilisation routière, *1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries SBEIDCO, Oran, Algeria*.

Holtz R.D., Kovacs W.D. 1981. An introduction to geotechnical engineering, ed. Newmark.

- Jha, J.N., Gill, K. S. 2006. Effect of rice husk ash on lime stabilization of soil, *Journal of the Institution of Engineers (India): Civil Engineering Division*, 87, (NOV): 33-39.
- Khattab, A., Suhail, Al-Mukhtar, M.; Fleureau, J. M. 2007. Long-Term stability characteristics of a lime-treated plastic soil, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19, (4): 358-366.
- NF P94-068. 1998. Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux, AFNOR.
- Rao, M., Sudhakar, Shivananda, P. 2005. Role of curing temperature in progress of lime-soil reactions, *Geotechnical and Geological Engineering*, 23, (1): 79-85.
- Rogers C.D.F., Boardman D.I., Papadimitriou G. 2006. Stress path testing of realistically cured lime and lime/cement stabilized clay, *J. of mat. Civ. Eng., ASCE*, 18 (2): 259-266.
- Sivapullaiah, P. V., Sridharan, A., Ramesh, H. N. 2006. Effect of sulphate on the shear strength of lime-treated kaolinitic soil, *Ground Improvement*, 10, (1): 23-30.
- XP P94-060-01, 1997. Essai de dessiccation. Partie 1: détermination conventionnelle de la limite de retrait sur le passant à 400µm d'un matériau, AFNOR.
- Zentar R., Abriak N.-E., Dubois V. 2009. Effects of salts and organic matter on Atterberg limits of dredged marine sediments, *Applied Clay Science*, 42 (Issues 3-4).