

Analyse de quelques mécanismes physiques de la stabilisation d'un sol gonflant par ajout de sable

B.LOUAFI¹, R.BAHAR²

bahialouafi@yahoo.fr

^{1,2}Laboratoire d'Environnement, d'Eau, de Géomécanique et Ouvrages

^{1,2}Faculté de Génie Civil

1. Introduction

Le phénomène de gonflement des sols argileux est un problème crucial rencontré dans beaucoup de régions essentiellement dans les zones arides et semi-arides, dû à des variations de volume des formations argileuses sous l'effet de l'évolution de leur teneur en eau. Ces variations de volume se traduisent par des mouvements différentiels de terrain et se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti individuel.

L'effet dévastateur du gonflement sur les structures de génie-civil n'est plus à démontrer. Il touche tous les types de structures, tant pour les structures construites en surface (bâtiments, fondations superficielles, ouvrages de soutènement, remblais,...) que pour les ouvrages enterrés (tunnels, pieux, canalisations, fondations profondes...).

En Algérie qui est un pays à climat contrasté, plusieurs cas des désordres liés au gonflement ont été recensés: la raffinerie d'In amenas, l'hôpital de N'Gaous (Batna), la ligne de chemin de fer Ramdane Djamel (Jijel), l'hôpital de Sid Chahmi, la briqueterie de Mers El Kébir (Oran), le groupement de Tlemcen-Mansourah (Tlemcen), la briqueterie d'El Achour à Alger..

Du fait que ce problème est posé un peu partout dans le monde, plusieurs études lui ont été consacrées afin de le maîtriser. Néanmoins sa complexité n'a pas encore permis d'atteindre, jusqu'à présent des solutions pouvant le résoudre. De nombreuses relations empiriques ont été proposées pour caractériser l'expansibilité et la pression de gonflement lors de son hydratation. Ces relations expriment le gonflement sur la base de quelques caractéristiques du sol qui sont en principe simples à déterminer en laboratoire. Des études aussi nombreuses se sont intéressées aux facteurs intervenant dans le gonflement, (El Sohby, 1981 ; Chen, F.H., 1988; Djedid, A. et Ouadah, N. 2009).

D'autres se sont penchées sur ce problème géotechnique afin de dégager des solutions pouvant minimiser ou inhiber les pressions développées lors de l'expansion de ces argiles. Ces solutions sont classées actuellement parmi les techniques de stabilisation. Parmi ces techniques, on a la stabilisation chimique, thermique, et la stabilisation des sols par additifs tels que l'apport de chaux et de ciment.

Plusieurs auteurs ont étudié l'influence de l'ajout de sable sur le gonflement. Ces études confirment le rôle positif qu'a

le sable sur la réduction du gonflement des sols expansifs et ce, par sa capacité d'amortir le gonflement à travers les vides importants qu'il contient. L'étude présentée a comme objectif d'analyser l'effet de la performance d'un ajout d'un matériau inerte - similaire au sable- le verre sur les caractéristiques de gonflement d'un sol potentiellement gonflant.

2. Identification géotechnique des matériaux utilisés.

2.1 Le sol

Le sol utilisé est une bentonite. C'est un matériau argileux composé de plusieurs minéraux, principalement de la montmorillonite et d'un faible pourcentage de Kaolinite et d'illite avec en général quelques traces de quartz. La bentonite utilisée dans cette investigation provient de M'zila à Mostaganem. C'est un matériau non traité, de couleur grise et se présente sous forme de poudre finement broyée. Le gisement de bentonite de M'zila est situé au Nord-Est de la ville de Mostaganem et à environ 10 Km à l'est du village Achastas. Son analyse granulométrique montre qu'elle est constituée de plus de 90% d'éléments fins. Elle est très plastique, sa limite de liquidité est de 242%, sa limite de plasticité est de 35% et son indice de plasticité est de 207%. On remarque la valeur très élevée de la limite de liquidité prouve que ce matériau a une grande affinité à l'eau et une capacité d'absorption très élevée. L'indice de plasticité est aussi élevé.

Sa composition chimique montre qu'elle se compose principalement de silice (58%), d'alumine (19%), avec de faibles pourcentages de ferrite, d'oxyde de magnésium, de calcium et de sodium, la perte au feu est évaluée à 13%.

2.2 L'ajout

On a utilisé un sable de plage provenant de Douaouda, situé à l'Ouest d'Alger Les résultats de l'analyse granulométrique réalisée par tamisage à sec montrent que le sable utilisé est relativement moyen.

3. Procédure expérimentale et tests réalisés

3.1 Gonflement

Une série d'essais a été menée afin d'étudier la performance d'un ajout de sable sur les caractéristiques de gonflement de la bentonite. Les échantillons ont été préparés à la

température ambiante à une même teneur en eau de 26.5 % et une même densité sèche 1.3 par malaxage et compactés statiquement et directement dans la trousse oedométrique à l'aide d'une presse manuelle.

3.2 Porosité

Le but de cette investigation est de tester la porosité des mélanges argile-sable à travers la vitesse de propagation des pulsations ultrasonores. On essaiera d'aboutir à quelques caractéristiques des pulsations liant le changement du milieu aux variations de la vitesse des pulsations ultrasonores. Pour dérouler cette analyse, on a confectionné des échantillons cylindrique de bentonite seule et de bentonite + billes de verre de hauteur $h=140\text{mm}$ et de diamètre $d=70\text{mm}$ à une teneur en eau optimale ($W_{opt}=26,5\%$) et une densité égale à 1.5. Les échantillons ont été préparés par malaxage à l'aide d'un pétrin.

Les tests réalisés commencent par l'étalonnage de l'analyseur, en mesurant la vitesse de transmission de l'onde à travers le barreau de calibration dont on connaît les caractéristiques au préalable. Ensuite on mesure la vélocité d'un train d'onde ultrasonique, qui traverse les éprouvettes de sol testées

Pour garantir une bonne transmission des ondes dans le corps de l'éprouvette et avant d'ajuster le système de mesure, on applique des minces couches de graisses de contact sur les deux faces des transducteurs (émetteur et récepteur). Sur l'écran de l'analyseur sont représentés le temps ou la vitesse de transit de l'onde, cela selon la configuration de l'analyseur.

4. Présentation et discussion des résultats

4.1 Gonflement

Des courbes des figures 1 et 2, on peut constater que le potentiel et la pression de gonflement de la bentonite traitée diminuent avec le pourcentage de sable ajouté. On constate qu'à de faibles teneurs de sable le taux de réduction dépasse le pourcentage de sable ajouté. Ce résultat a été obtenu par Satyanaryana (1973).

Les constatations données ci-dessus peuvent être interprétées par le fait que la teneur en argile des mélanges diminue par addition du sable, qui est un matériau en principe inerte. En effet plus la teneur en sable des mélanges est grande, plus l'amplitude et la pression de gonflement sont réduites, cela d'une part. D'une autre part une bonne partie de ce gonflement est encaissée par les vides existants entre les grains de sable. On constate aussi que la variation du gonflement avec la teneur en sable n'est pas linéaire, montrant que la diminution du gonflement n'est pas que le résultat de la diminution de la fraction argileuse, d'autres facteurs contribuent à cette réduction qui est la réduction des liaisons bentonite-bentonite engendrée par le surplus des grains de sable et la dispersion des particules de bentonite dans le mélange.

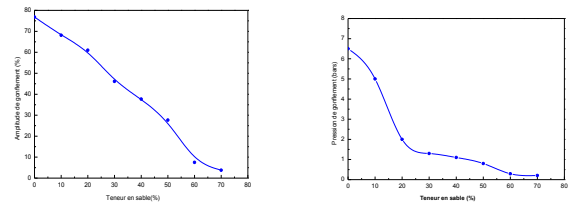


Figure 1: Variation du taux et de la pression de gonflement en fonction de la teneur en sable

4.3 Evolution de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores

La figure 2 montre la diminution de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores par ajout de sable, pour devenir très faible et incontrôlable à des teneurs élevées. On signale qu'à 50% d'ajout, le sol étudié devient très poreux et la vitesse devient très variable, l'appareil affiche en effet plusieurs valeurs de vitesse. Ces dernières sont toutes faibles tendant vers zéro.

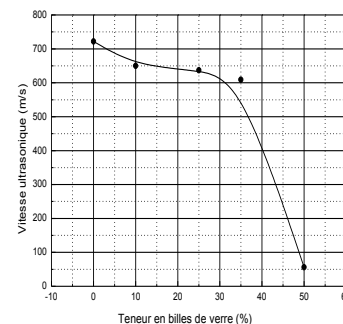


Figure 2. Vitesse et teneur en sable

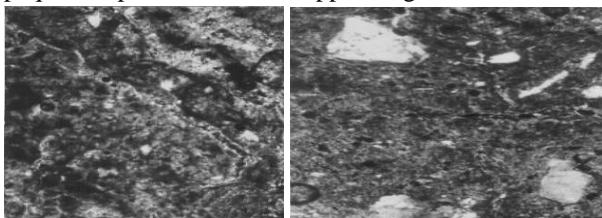
Cette variation dans le sens décroissant exprime l'augmentation de la porosité des mélanges par ajout de billes en verre. Ce résultat permet de mettre en évidence la variation dans la structure du sol traité et de répondre au pourquoi de la diminution du gonflement par ajout de ce matériau.

5. Structure des sols

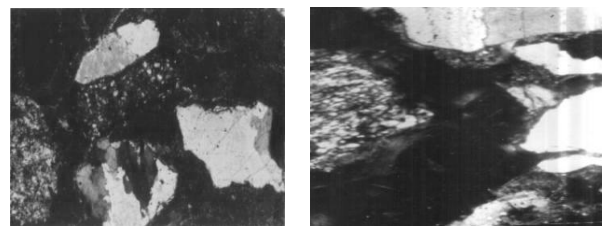
La structure du sol décrit la nature physique du sol selon l'arrangement géométrique des particules et les vides existants entre elles. Pour mieux comprendre comment agit ce matériau en principe inerte non plastique pour réduire le gonflement, des observations au microscope optiques de lames minces ont été réalisées. Le but étant d'effectuer l'examen et l'analyse des caractéristiques structurelles d'un échantillon de bentonite seule et de trois autres échantillons de bentonite plus 20%, 40% et 80% de sable. Cette étude a révélé des changements dans la structure de la bentonite. Ces changements sont dus à la présence de ce matériau en principe inerte dans les mélanges, modifiant l'arrangement des particules d'argiles. On a noté une accumulation des particules de quartz avec l'augmentation du sable des mélanges figures (4b) et (4c et (4d). Une apparition des vides dans la masse argileuse et des pores de

taillesassez grosses entre les grains de sable et de la discontinuité dans la masse argileuse suite à la forte présence du sable figures (4.c) et (4.d). Ces modifications ont permis de mettre en évidence le pourquoi de la diminution du gonflement de l'argile par ajout de sable. Les vides créés dans la matrice sont le résultat de la diminution de la densité de l'argile dans le mélange par ajout de sable. Cette modification produite confirme l'interprétation donnée par Komornik selon laquelle la densité de l'argile diminue par ajout de sable contribuant ainsi à la diminution du gonflement.

La mauvaise répartition de l'argile dans les vides des mélanges à fort pourcentage permet à l'argile de développer un gonflement isolément. Cela confirme l'interprétation donnée par Satyanaryana (1969), selon laquelle les particules sont mal distribuées dans les vides existants dans les mélanges, celles-ci se collectent en paquets et persistent à développer un gonflement isolément.



4.a Bentonite non traitée 4.b Bentonite +20% de sable



4.c Bentonite + 40% de sable 4.d Bentonite + 80% de sable

6. Conclusion

Dans cette étude, on a cherché par un travail expérimental une solution afin de résoudre ce problème en procédant à la substitution d'une partie de l'argile par le sable. Il a été question en particulier d'étudier comment agit ce matériau pour réduire le gonflement. On a analysé l'impact de cet ajout sur les caractéristiques de gonflement d'un sol argileux. Ceci a permis d'asseoir des conclusions intéressantes qu'on résume dans ce qui suit.

L'étude du gonflement du sol traité par l'ajout de sable a mis en évidence l'efficacité de ce matériau dans la stabilisation des sols expansifs. On a trouvé que le potentiel et la pression de gonflement diminuent substantiellement avec la teneur en sable dans le mélange. Le non linéarité de la diminution est dû à la diminution au départ la fraction argileuse par ajout et la diminution de la densité de l'argile. Enfin de l'analyse globale de la porosité par propagation de pulsations ultrasoniques, a montré une diminution de la vitesse. Cette variation dans le sens décroissant exprime l'augmentation de la porosité des mélanges par ajout de sable. Ce résultat met en évidence la diminution de la densité de l'argile par ajout de sable.

L'analyse du mécanisme de la stabilisation par l'étude de l'interaction physique entre le sol et le matériau d'amendement, réalisée au moyen d'observation au microscope optique de lames des échantillons testés a révélé d'importants changements dans la structure de la bentonite traitée par le sable. Ces changements justifient l'évolution dans le sens décroissant du gonflement de la bentonite traitée par différents dosages de sable. Les vides créés dans la matrice argileuse sont le résultat de la diminution de la densité propre de l'argile dans le mélange par ajout de sable. Cette diminution de densité contribue dans la réduction du gonflement

Références

- [1] H.A Alawadji, 1999. Swell and compressibility characteristics of sand-bentonite mixtures inundated with liquids. *Applied Clay Science*, 15(3-4), 411-430.
- [2] F.H Chen, 1988. *Foundation on expansive soil*. Elsevier edition.
- [3] M. A. El-Sobhy & A. El-Sayed (1981). Some factors affecting swelling of clayey soils. Faculty of Engineering Department, University of Al-Azhar, Cairo, Egypt.
- [4] A. Djedid, and N Ouadah, N. 2009. Paramètres d'état et gonflement des sols argileux, exemple de la teneur en eau et de la densité sèche initiale. Colloque international sols non saturés et environnement. Tlemcen, 27 et 28 Octobre 2009, 436-444.
- [5] A. Hachichi & J.M Fleureau 1999. Caractérisation et stabilisation de quelques sols gonflants d'Algérie. *Revue française de géotechnique*, n° 86, pp. 37-51.
- [6] B. Louafi 1997, Contribution to the study of the stabilization of an expansive by sand addition, Doctor Thesis, University of Sciences and technology Houari Boumediène, Algiers, Algeria.
- [7] Satyanaryana (1973). Behaviour of expansive soil treated or cushioned with sand, 3rd I.C.E.S., Haifa, Israël, pp. 308-316.
- [8] Komornik, (1970). Laboratory determination of lateral and vertical stresses in compacted swelling clay. Vol n°5. pp.108-128.