



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

Influence du compactage sur la pression de gonflement d'un sol argileux expansif incorporé par de la chaux

Z. Kechouane¹, A. Nechnech²

¹ DGC, FSI, Université M'hamed Bouguera, Boumerdès, Algeria zbenchaba@yahoo.fr

² FGC, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algeria

Résumé : Le présent travail porte sur l'étude de l'effet du compactage sur la stabilisation du gonflement d'un sol argileux fortement expansif, par ajout de la chaux. A cet effet, nous avons utilisé un sol argileux gonflant reconstitué au laboratoire, l'échantillon est préparé à partir d'un mélange de sol naturel moyennement gonflant et de la bentonite connue pour son caractère très gonflant, avec les proportions respectives suivantes : 70 et 30%. Les résultats des essais oedométriques enregistrés montrent que l'incorporation de la chaux dans les sols utilisés réduit les pressions de gonflement, à chaque dosage en chaux, résultats déjà rapportés dans de nombreux travaux antérieurs. Les teneurs en chaux influent beaucoup sur le gonflement, en effet pour un dosage de 6% de chaux, les pressions de gonflement sont réduites de 27,17% pour l'échantillon de sol remanié. L'essai de compactage réalisé sur le sol reconstitué incorporé de chaux, montre que pour un dosage de 2% de chaux, nous avons une réduction de la pression de gonflement de 96,12%.

Mots clés : Sol argileux expansif, pression de gonflement, dosage en chaux, compactage.

1. Introduction

La stabilisation d'un sol consiste à modifier certaines de ses propriétés pour améliorer ses performances techniques en vue d'une application donnée. Dans le cas des sols expansifs, la stabilisation est utilisée pour réduire leurs sensibilités aux variations volumiques dues la plupart du temps aux variations de la teneur en eau. Les techniques de stabilisation utilisées en pratique sont nombreuses, pour cela le choix sera conditionné par son efficacité et son prix de revient.

A cet effet, l'ajout de la chaux aux sols argileux à des proportions bien déterminées permet de réduire leur sensibilité à l'eau par une augmentation immédiate de la limite de plasticité (w_p), de la limite de retrait (w_r) et de la valeur de la teneur en eau optimale (ω_{opt}). Elle se traduit également par une réduction de l'indice de plasticité et de retrait (I_p , I_R), de la valeur au bleu de méthylène (VB) et de la valeur maximale de la masse volumique sèche, ainsi que par une conservation de la valeur de la limite de liquidité (w_L) tels que rapportés dans les travaux de Yucel et al. (2007), Afes et Didier (1999) et Hachichi et Fleureau (1999). A long terme, l'incorporation de la chaux implique une augmentation de l'indice CBR (California Bearing Ratio), de la résistance à la compression R_c et une diminution des paramètres de compressibilité (indice de compressibilité C_c et indice de gonflement C_g) (Yi et al. (2006), Deneele (2008), Afes et Didier (2000), Raymond et Vahid (2007) et Koliass et al. (2005). A ce traitement physico-chimique des sols expansifs, l'expérience montre que lorsqu'on procède au compactage suivant un processus normalisé

bien défini, à différentes teneurs en eau, on obtient une réduction de volume pratiquement instantanée due à la réduction des vides remplis d'air avec une augmentation substantielle de leurs poids volumiques.

Le travail présenté dans cet article porte sur l'analyse de la stabilisation du potentiel de gonflement, avec comme objectif principal l'étude de l'effet du compactage à l'optimum Proctor, sur ces caractéristiques mécaniques. La stabilisation est étudiée suite à un traitement à la chaux, d'un sol argileux gonflant reconstitué au laboratoire, à partir d'un sol naturel remanié moyennement gonflant, prélevé à une profondeur de 3m sur un chantier d'autoroute dans la région d'Alger, et de bentonite extraite d'un gisement à une profondeur comprise entre 5 et 7m, cette dernière est connue pour son caractère très gonflant.

2. Paramètres d'identification des matériaux

Le matériau support utilisé dans la présente étude est un mélange reconstitué au laboratoire, dans la proportion massique de 30% de bentonite brute, (un sol argileux caractérisé par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement) et de 70% d'un sol naturel remanié, moyennement gonflant (choix arbitraire).

L'homogénéisation du matériau a été faite manuellement, puis stocké dans des sacs en plastique.

Les matériaux sont séchés avant leur mélange par un étuvage à 50°C durant plusieurs jours. Ensuite, le sol naturel est broyé puis tamisé (< 400µm). La bentonite est également tamisée (< 400µm) de manière à retirer les différentes impuretés qu'elle peut contenir (débris de roche,...).

La composition chimique du sol naturel et de la bentonite, dont les résultats sont résumés dans le Tableau 1, indique la présence d'oxyde de calcium à des proportions non négligeables avec absence des sulfates et de matières organiques.

Tableau 1: Composition chimique du sol Naturel et de la bentonite

Sols	Silice SiO ₂ (%)	Alumine Al ₂ O ₃ (%)	Magnétite Fe ₂ O ₃ (%)	Oxyde de calcium CaO (%)	Sulfate So ₄ ⁻ (%)	Perte au feu à 1000°C (%)
Sol Naturel	52.89	7.56	12	10.92	traces	16
Bentonite	53.60	11.08	6.40	7.56	0.80	13.83

Les principales propriétés géotechniques des matériaux ont été déterminées et sont reportées dans le Tableau 2.

Tableau 2: Caractéristiques géotechniques des matériaux étudiés

Paramètres	Sol naturel	Bentonite	Mélange
Teneur en eau naturelle (%)	20	21	20
Limite de liquidité (%)	53	200	72
Limite de plasticité (%)	24	34	29
Indice de plasticité (%)	29	166	44
Indice de consistance (%)	1,14	1,08	1,20
% <80µm	96,32	93,23	92,97
ω _{opt} (%)	26,2	17,6	17,4
γ _{dmax} (g/cm ³)	1,55	1,97	1,90

La distribution dimensionnelle des grains des différents sols étudiés (Figure 1) indique que le pourcentage des passants à 80µm est supérieur à 35%, ils sont classés dans le premier niveau de la classification de GTR 92 selon la norme NF P11-300 : sols fins de classe A (GTR (Norme NF P11-300 (1992)).

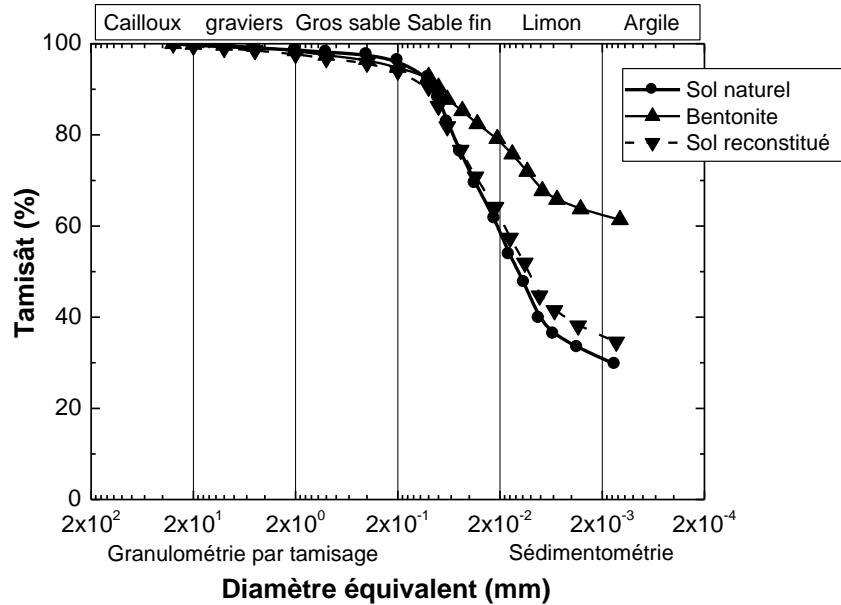


Figure 1: Courbes granulométriques des matériaux étudiés

Une première estimation du potentiel de gonflement des matériaux en fonction des limites d'Atterberg est donnée dans le Tableau 3.

Tableau 3: Classification du taux de gonflement en fonction de l'activité et de la teneur en particules argileuses (Seed et al. (1962) et Sridharan et al. (1986))

Echantillon	Ip (%)	C ₂ (%)	Activité (A)	Taux de gonflement
Sol naturel	29	18	1,61	moyen
Bentonite	166	55	3,08	Très élevé
Mélange	44	22	2	Moyen-élevé

3. Résultats et discussions

3.1 Propriétés de la chaux utilisée

La chaux utilisée dans la présente étude est une chaux éteinte dont les propriétés sont fournies dans la fiche technique du matériau et présentées dans le Tableau 4. Les limites de consistance sont déterminées au laboratoire selon la norme standard.

Tableau 4: Propriétés de la chaux

Densité en vrac	0,8 - 1,2	Résistance mécanique à 28j (10^5 Pa)	0,5 – 1
Surface spécifique (cm^2/g)	3000 – 10000	Limite de liquidité (%)	65
Passants au tamis 200μ (%)	> 90	Limite de plasticité (%)	41
Passants au tamis 80μ (%)	> 50	Indice de plasticité (%)	24

3.2 Effet de la chaux sur les limites d'Atterberg et les paramètres de consistance

La variation des limites de consistance avec la teneur en chaux est donnée dans la Figure 2. Elle montre que la limite de liquidité des mélanges diminue avec l'ajout de chaux, expliquée par le fait que les particules du sol s'agglomèrent. Elles offrent donc une surface spécifique moindre et prennent de plus faibles couches d'eau d'où la diminution de la limite de liquidité. La limite de plasticité par contre, reste pratiquement stable jusqu'à 4% pour augmenter au delà.

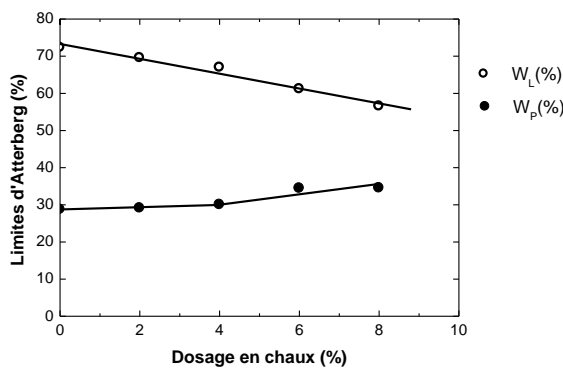


Figure 2: Variations des limites d'Atterberg du sol reconstitué en fonction du dosage en chaux

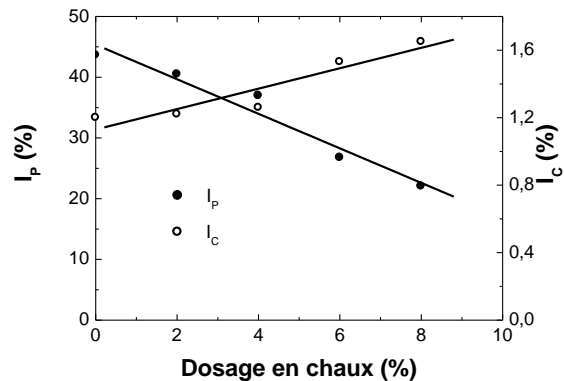


Figure 3: Variations de l'indice de plasticité et de l'indice de consistance du sol reconstitué en fonction du dosage en chaux

Les courbes de la Figure 3 représentant la variation de l'indice de plasticité et de l'indice de consistance en fonction de la teneur en chaux, mettent en évidence que l'action conjuguée de l'augmentation de la limite de plasticité et la réduction de la limite de liquidité se traduit par une diminution substantielle de l'indice de plasticité.

D'après les résultats de la plasticité, on note que le taux de fixation de chaux est donc de 4%. Ce résultat est en accord avec celui de Leroux et Rivière (1969) qui notent que c'est à partir de 3% que les changements de la plasticité s'opèrent et que ce taux dépend du minéral constituant l'argile.

3.3 Effet du compactage sur le mélange -chaux

3.3.1 Effet de la chaux sur l'indice de plasticité et de l'indice de consistance

Des essais de compactage Proctor normal ont été réalisés sur des échantillons du mélange de sol reconstitué avec les différents pourcentages de chaux.

Les courbes de compactage de la Figure 4 nous permettent de déduire que :

- la courbe Proctor du sol reconstitué traité est déplacée vers la droite et vers le bas par rapport à la courbe du sol non traité (0% de chaux), indiquant que le traitement à la chaux réduit la valeur maximale de la masse volumique sèche et augmente la valeur de la teneur en eau permettant de l'obtenir.
- L'augmentation du pourcentage en chaux provoque une diminution de la masse volumique sèche inférieure et une augmentation de la teneur en eau. La figure 3 montre que toutes les masses volumiques sèches sont inférieures à celles de l'essai témoin, avec cependant des teneurs en eau supérieures à celles de l'essai témoin.
- Andrews and Flaherty (1968) soutiennent et affirment que la diminution de la masse volumique sèche est aussi bien dépendante du pourcentage de chaux, que de la présence élevée des minéraux d'argile. A titre d'exemple, la teneur en eau optimale, correspondant à une densité sèche maximale, augmente avec l'augmentation de la fraction d'argile et la masse volumique sèche maximale se trouve réduite.

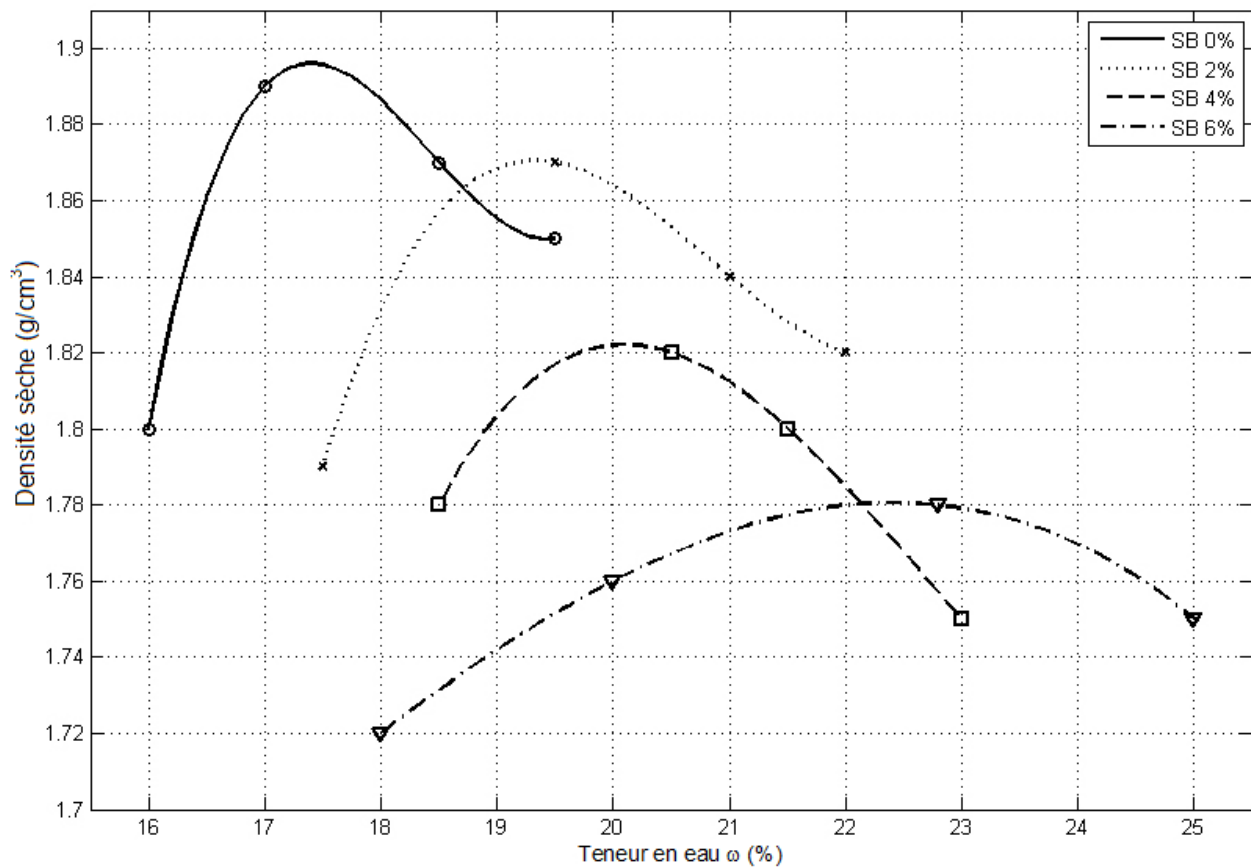


Figure 4: Influence de l'addition de chaux sur les courbes de compactage (Proctor Normal) Sol SB-chaux

3.3.2 Analyse de la pression de gonflement des mélanges sol reconstitué-chaux

Des essais oedométriques de gonflement libre ont été réalisés, et dont les résultats sont reportés dans le Tableau 5, confirmant le caractère gonflant des matériaux étudiés.

Tableau 5: Pressions de gonflement des sols étudiés.

Echantillon de sol	Bentonite compactée	Sol reconstitué sans compactage	Sol reconstitué avec compactage
Pression de gonflement (10^5 Pa)	2.91	2.76	2.84

La Figure 5 présente les résultats comparatifs de l'amélioration de la pression de gonflement du mélange sol reconstitué - chaux avec et sans compactage.

Les courbes de variation de la pression de gonflement en fonction des dosages en chaux (Figure 5), pour un mélange compacté à l'optimum Proctor, montrent clairement une chute de la pression de gonflement due à la réduction des vides par effet du compactage.

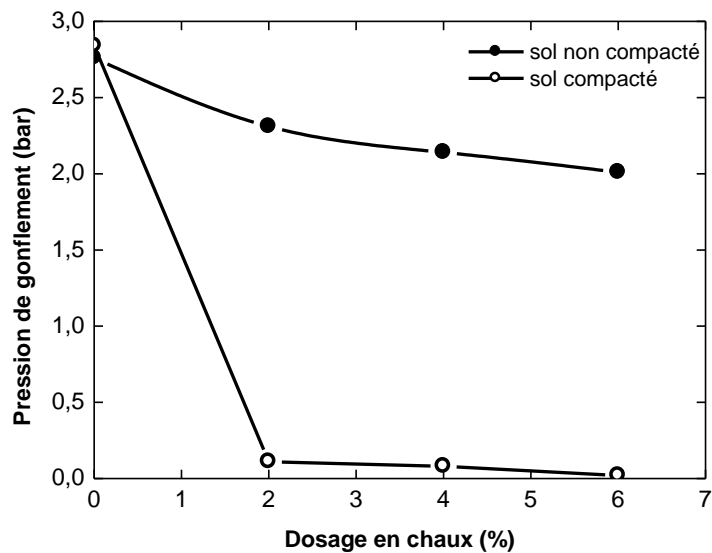


Figure 5: Courbe de variation des pressions de gonflement d'un sol non compacté et compacté en fonction des dosages en chaux

3.4 Influence des teneurs en chaux sur la densité sèche et la teneur en eau

A partir des caractéristiques du Proctor normal nous avons tracé les graphes reliant les densités sèches maximales et la teneur en eau optimal en fonction de la teneur de dosage en chaux (Figure 6).

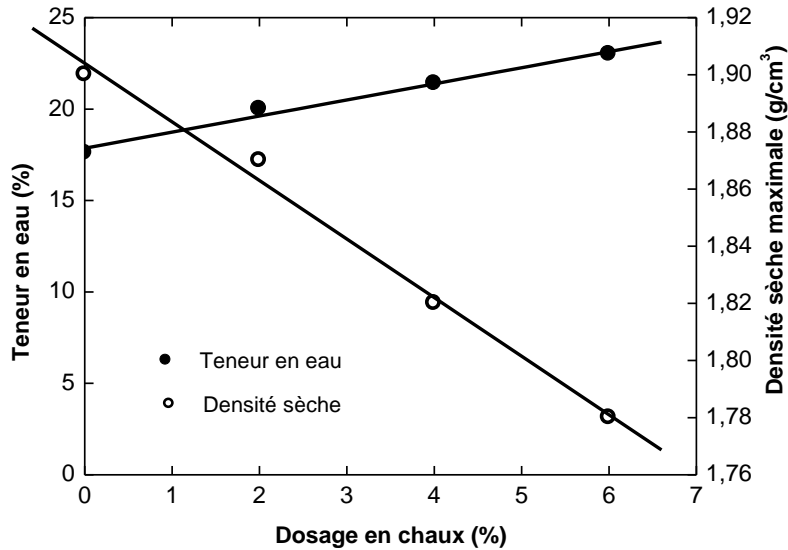


Figure 6: Influence du dosage en chaux sur la teneur en eau et la densité sèche maximale

L'addition de 6% de chaux induit une baisse de plus de 6,31% de la valeur de la masse volumique sèche maximale, et une augmentation de 22,6% de celle de la teneur en eau optimale.

3.5 Variation de la pression de gonflement du mélange sol SB-chaux en fonction de la densité sèche maximale et de la teneur en eau optimale

La Figure 7 représente les courbes de variation de la pression de gonflement en fonction de la densité sèche et de la teneur en eau à l'optimum Proctor. Ces courbes montrent que la pression de gonflement du mélange sol reconstitué - chaux diminue avec l'augmentation de la teneur en eau initiale, au début de manière rapide pour s'annuler par la suite indiquant une stabilisation du sol étudié.

La diminution de la pression de gonflement s'explique par le fait que la chaux occupe le vide inter-particulaire qui existe entre les particules argileuses. Ainsi, une grande partie d'eau va être absorbée par cette chaux et par conséquent la réduction des vides provoque une diminution de la densité sèche finale des échantillons.

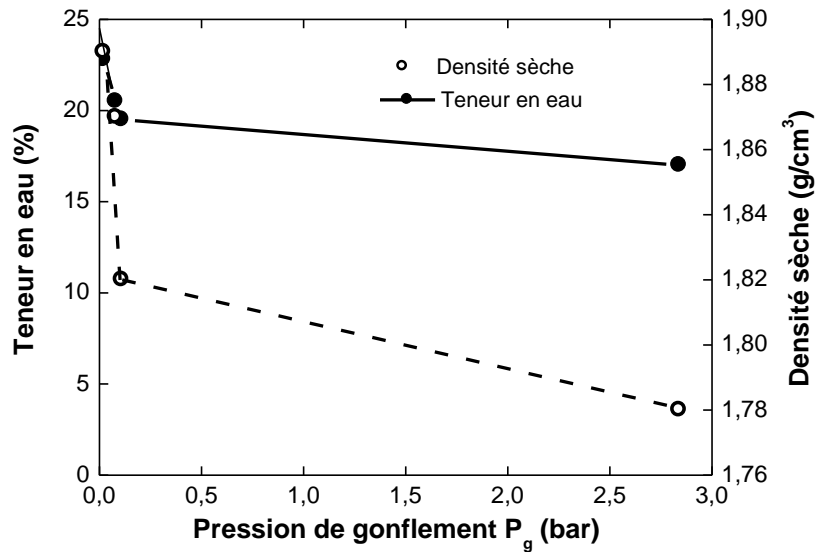


Figure 7: Variations de la pression de gonflement en fonction de la densité sèche maximale et de la teneur en eau optimale

4. Conclusion

Le matériau support utilisé dans la présente étude est un mélange reconstitué au laboratoire, à partir d'un sol argileux naturel intact et d'une bentonite. Ce mélange avait pour but d'obtenir un matériau gonflant, en vue de le stabiliser.

Le traitement à la chaux du matériau étudié a provoqué une diminution de sa sensibilité à l'eau. Cette diminution s'est traduite par :

- Une diminution de sa teneur en eau suite à l'hydratation de la chaux ;
- Une diminution de l'indice de plasticité du sol suite à l'augmentation de sa limite de plasticité ;

La réalisation d'essais de compactage sur le matériau étudié incorporé à différents dosage en chaux a considérablement amélioré ses performances, se traduisant par :

- Une amélioration de ses paramètres de compactage, suite à l'aplatissement des courbes Proctor, conduisant à une diminution de la sensibilité du sol testé à la variation de la teneur en eau par rapport à celle de l'optimum.
- Une augmentation de la densité sèche pour les teneurs en eau supérieures à l'optimum du matériau non traité ;
- Une augmentation de la teneur en eau optimale par rapport à celle du sol non traité.

Références bibliographiques

Yucel, G., Dursun, S. and Murat Cetin M. 2007. Impact Of Cyclic Wetting–Drying %Mon Swelling Behaviour Of Lime-Stabilized Soil, *Building and Environment*, vol. 42, pp. 681–688.

Afes, M. and Didier, G. 2000. Stabilisation Des Sols Gonflants: Cas d'une Argile en Provenance de Mila (Algérie), *Bull Eng Geol. Env.*, vol. 59, pp 75–83.

- Hachichi, A. and Fleureau, J.M 1999. Caractérisation et Stabilisation de Quelques Sols Gonflants d'Algérie, *Revue Française de géotechniques*, vol. 86, pp. 37-51.
- Yi, C., Bin, S., Charles, W. and Chao-Sheng, T. 2006. Effect of Polypropylene Fibre and Lime Admixture on Engineering Properties of Clayey Soil, *Engineering Geology*, vol. 87, pp. 230–240.
- Deneele, D. 2008. Processus Physico-Chimiques et Comportement Géotechnique des Sols Traités, Communication, Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées.
- Raymond, N.Y. and Vahid, R.O. 2007. Experimental Study on Instability of Bases on Natural and Lime/Cement-Stabilized Clayey Soils, *Applied Clay Science*, vol.35, pp. 238–249.
- Kolias, S., Kasselouri-Rigopoulou, V. and Karahalios, A. 2005. Stabilisation of Clayey Soils with High Calcium Fly Ash and Cement, *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp.301–313.
- GTR (Norme NF P11-300) 1992. Réalisation des Remblais et des Couches de Forme, *GTR92 Guide des terrassements routiers LCPC, SETRZ*.
- Seed, H.B., Woodward, R.J. And Lundgren, R. 1962. Prediction of Swelling Potential for Compacted Clay, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, vol. 88, pp. 107-131.
- Sridharan, A., Sreepada, R. and Sivapullaiah, P.V. 1986. Swelling Pressure of Clays, *Geotechnical Testing Journal*, vol. 9, pp. 24-33.
- Leroux, A., Riviere, A. 1969. Traitement des Sols Argileux par la Chaux, *Bulletin de liaison LCPC* N° 40.
- Andrews, D.C. and Flaherty, C.A. 1968, Line Type and Quality in Relation to The Stabilization of Soils With Different Gradations and Clay Minerals, *Proc. Aust. Road Res. Board*, Vol. 4, Part 2, 1285-1306.