



EFFET DE L'AJOUT DE SABLE DE DUNE SUR LE POTENTIEL DE GONFLEMENT DES ARGILES

M.K.GUEDDOUDA* M. LAMARA* A. HACHICHI** I. GOUAL*

Laboratoire de recherche de Génie civil. Université de Amar Tilidji Laghouat, B.P 35G, Laghouat
Tél : + (213) 29 92 83 95

Fax : +(213) 29 93 21 09 Email : gueddouda_mk@yahoo.fr

** Laboratoire de recherche de Génie civil. Université USTMB Oran

Résumé Cette étude est consacrée à la stabilisation de deux sols expansifs, provenant de deux sites différents du sud de l'Algérie, par l'ajout de sable de dune. Stabiliser un sol gonflant, c'est modifier certaines de ses propriétés pour améliorer ses performances techniques. En premier lieu, on a montré le caractère expansif des deux sols argileux, soit par des mesures directes des paramètres de gonflement, ou par l'estimation du potentiel de gonflement à l'aide des méthodes indirectes. La seconde étape de cette investigation est portée sur l'étude de l'effet de l'ajout du sable dunaire sur le potentiel de gonflement. L'ajout du sable de dunes a conduit à une diminution des limites de consistances et à une réduction du potentiel de gonflement proportionnelle à la quantité de sable additionné.

Mots clés : sable de dune, sols expansifs, potentiels de gonflement, stabilisation, Algérie.

Abstract This study has been dedicated to the stabilisation of two expansive soils, belonging to two different sites in the south of Algeria, by addition of dune sand. To stabilise an expansive soil is to modify some of its properties in order to enhance its technical performances. In the first stage the swelling characteristics of the two clayey soils is shown using either direct measurements of swelling parameters or estimation of swelling potential with indirect methods. The second stage of this investigation is reserved to the study of the effect of dune sand addition on the swelling potential of soils. Sand addition leads to a decreasing in the limits of consistency and a reduction in swelling potential proportional to the amount of added sand.

Key words: dune sand, swelling soils, swelling potential, stabilization, Algeria

1. Introduction générale

Le gonflement se manifeste généralement dans les régions arides et semi-arides caractérisées par un climat sec et chaud suivi par une période pluvial, ce qui induit des fluctuations importantes de la teneur en humidité sur des profondeurs considérables.

Le problème des sols gonflants pose de nombreux problèmes en construction. Il est rencontré dans de nombreux pays à travers le monde. En Algérie ce phénomène, encore mal apprécié, affecte des centaines de kilomètres carrés réparties un peut partout à travers le territoire national. Les dégâts causés par le gonflement de sol aux constructions et aux ouvrages légers sont considérables (Batna hôpital de N'Gaous) cité par Tas, 1992; Illizi (raffinerie de In Amenas) cité par Derriche et Kebaili, 1998; Oran (hôpital Sidi Chahmi), cité par Hachichi et Fleureau, 1999; et Laghouat (université A.T de Laghouat cité par Lamara,

1996, (base de vie S.P.5) cité par Gueddouda 2004.

Compte tenu du fait de nombre important de paramètres d'influence et malgré les nombreux travaux de recherche sur ce thème, des solutions rationnelles satisfaisantes n'ont pas encore été trouvées. Toutefois et afin de limiter les désordres dans les constructions, des solutions basées sur diverses techniques de stabilisation ont été élaborées avec des résultats plus au moins satisfaisants. Récemment la technique de stabilisation par ajout de sable semble donner des résultats encourageants Kaoua.F, 1994 ; Louafi.B, (1997) ; Bengraa. L (2004).

Le travail présenté dans cet article, est une contribution à la technique de stabilisation par ajout de sable de dune aux sols argileux provenant de deux sites différents de l'Algérie (Laghouat, base de vie Station de Pompage N°5, noté par B.V.S.P.5, Sonatrach et Illizi, raffinerie

Effet de l'ajout de sable de dune sur le potentiel de gonflement des argiles.

de In Amenas, Sonatrach) (FIG. 1), où plusieurs cas de désordres ont été signalés. analyses minéralogiques et chimiques. Ces essais ont été complétés par des mesures directes des paramètres de gonflement (taux et pression de gonflement). Dans une seconde étape, l'étude a porté sur l'effet de l'ajout de sable dunaire à différents pourcentages sur le potentiel gonflement des argiles.

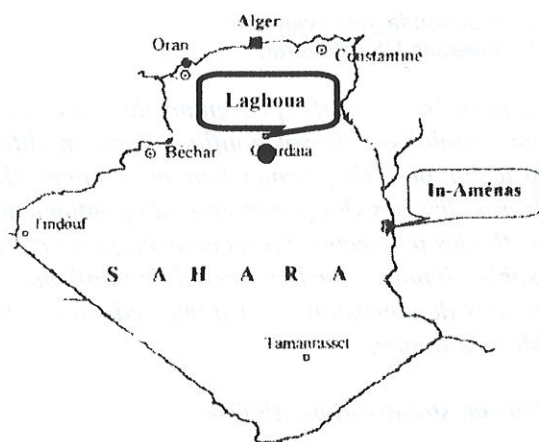


FIG.1 : Sites de localisation des deux sols

2 Caractérisation des sols

Notre étude de stabilisation est réalisée sur deux sols par l'ajout de sable de dunes, le premier est ramené de la région de Laghouat (400 Km sud de la capitale Alger), on le nomme *ELG*. Le deuxième sol provenant de la région de In Amenas (1600 Km sud de la capital Alger) on le nomme *EAM*.

2.1 Les argiles

Pour le premier sol *ELG*, on a procédé à trois prélèvements de sols à différents points et à des profondeurs variables, d'une même zone située à 20 Km au nord ouest de la ville de Laghouat (B.V. S.P.5). De point de vue géologique, cette zone présente plusieurs couches dont la première est recouverte d'une couche végétale d'épaisseur d'environ 30 cm, puis une couche de limon sableux gravillon et enfin une couche de marnes verdâtres et rougeâtres avec présence de cristaux de gypse à une profondeur de plus de 1m. En se basant sur les résultat des essai de mesure des paramètres de gonflement et l'estimation indirectes du taux de gonflement, on choisie pour l'étude de stabilisation, le sol qui possède le potentiel de gonflement le plus élevé.

Les sols ont été identifiés et caractérisés par des essais géotechniques classiques et par de

En ce qui concerne le deuxième sol provenant de la région de In-Aménas *EAM*, plusieurs études ont été réalisées sur ce sol (Tas (1992), Derriche (1998)). La synthèse de ces études montre que les argiles de la région se présentent suivant une stratigraphie assez régulière selon la succession de différentes couches. Une couverture sableuse d'une dizaine de centimètre, un horizon supérieur constitué de matériau limono-argileux de couleur rougeâtre et d'une épaisseur de 1.5 m, une couche argileux compact de couleur plus sombre que la couche supérieure, et enfin une couche verdâtre relativement mince. Le sol étudié est prélevé de la troisième couche.

2.1.1 Essais d'identifications

En premier lieu, l'analyse granulométrique s'est effectuée par deux opérations successives et complémentaires. Le tamisage sous l'eau (par voix humide) compléter par la sedimentometrie pour les particules de dimensions inférieure à 80 μ m. Les résultats des essais d'identifications sont regroupés dans le tableau.1.

Tableau.1 : Essais d'identification des sols

	Z(m)	C ₂ <2 μ m	A	SS _t (m ² /g)
<i>ELG</i>	3	35.74	0.53	350.7
<i>EAM</i>	1.3	55	0.657	437
	W ₁ (%)	W _p (%)	W _R (%)	I _p %
<i>ELG</i>	69	33.52	11.66	35.48
<i>EAM</i>	62.3	21.7	13	40.6

• D'après l'abaque de plasticité (Casagrande) qui permet de connaître les états des sols fins, les sols *ELG* et *EAM* appartenant aux groupes des sols argileux très plastiques.

• Selon les résultats de l'activité de Skempton ($A = I_p/C_2$) qui définit l'activité des argiles, on peut avoir une idée sur le minéral prédominant dans la matrice argileuse. D'où, le minéral prédominant dans les deux sols *ELG* et *EAM* est la Montmorillonite.

Effet de l'ajout de sable de dune sur le potentiel de gonflement des argiles.

2.1.2 Analyses Minéralogiques

Le diffractomètre aux rayons X à été utilisé dans cette analyse afin de déterminer les différentes proportions de minéraux constituant l'échantillon.(FIG..2).

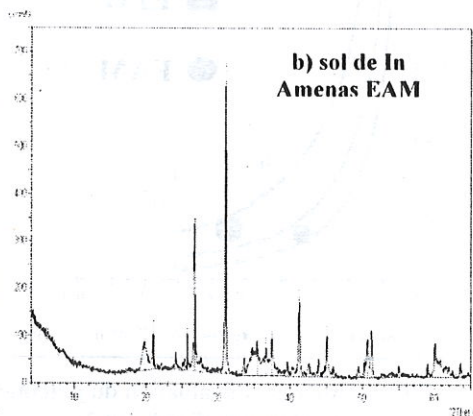
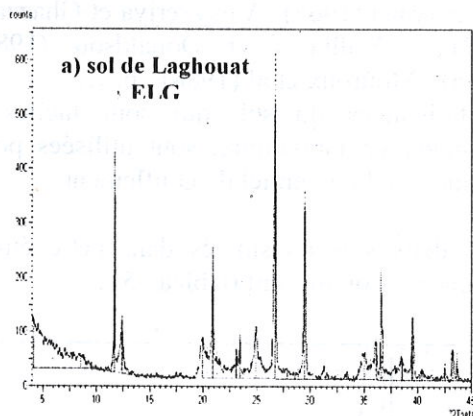


FIG .2 : Analyse minéralogique des sols

Les diffractogrammes révèlent que le sol de Laghouat *ELG* présente des mélanges de Montmorillonite-kaolinite, avec la présence du quartz et de la calcite. Pour le sol de In Amenas *EAM*, le diffractogramme montre la présence de Kaolinite, de l'illite, de interstratifiés Illite-Montmorillonite et de Quartz.

Ces résultats devront être confirmés par d'autres analyses quantitatives plus détaillées.

2.1.3 Analyse chimique

Pour compléter les analyses minéralogiques, des analyses chimiques ont été effectuées et les résultats sont donnés dans le tableau 2

Sur la base des résultats du tableau.2, les principaux constituants minéralogiques du sol

Tableau.2 : Analyses chimiques des sols

Caractéristiques	Symboles	unités	ELG	EAM
Silice	SiO ₂	%	58.94	56.3
Alumine	Al ₂ O ₃	%	6.03	15.12
Carbonate de Calcium	CaCO ₃	%	17.70	1.98
Chlorure de Sodium	NaCl	%	0.12	-----
	K ₂ O	%	traces	2.4
Oxyde de Fer	Fe ₂ O ₃	%	1.02	7.0
Sulfates	SO ₄	%	3.25	-
Perte au feu	P.F	%	12.83	12.03
Eau de combinaison	H ₂ O	%	3.36	10.80
L'anhydride carbonique	CO ₂	%	9.47	1.23
La matière organique	M.O	%	-----	-----

de Laghouat *ELG* sont la silice, l'alumine et la calcite et ceux du sol de In Amenas sont la silice et l'alumine. La silice et l'alumine sont deux minéraux qui constituent la structure des argiles. En plus, la présence de la teneur en carbonate de calcium nous indique que le sol *ELG* appartient aux groupes des argiles calcaires. La teneur en potassium K₂O dans le sol de In Amenas confirme la présence de l'illite. Par ailleurs, on remarque que les deux sols présentent des pourcentages en SiO₂ inférieurs à 80%, cette valeur est la frontière entre les sols gonflants et non gonflants (cités par Tas, 1992; Hachichi et al, 2003) ce qui permet de dire que ces deux sols ont une tendance de gonflement.

2.2 Le sable de dune

Comme la région de Laghouat est considérée comme une région saharienne, la zone de provenance de sable de dune est située dans les environs très proche de la ville (Oasis Nord)

2.2.1 Essais d'identifications

Les résultats des essais d'identification du sable dunaire sont inclus dans le tableau .3 et la courbe granulométrique est représentée dans la figure 2.

D'après la classification de LCPC des sols, le sable de dune se classe parmi les sables propres mal gradués symbolisés par les lettres SM, de granulométrie moyenne. Sa courbe est uniforme et très peu étalé.

Effet de l'ajout de sable de dune sur le potentiel de gonflement des argiles.

Tableau .3 Paramètres d'identifications de sable de dune

Granul.		Eq.. de sable		Bleu de Méthyl.	
Cu	Cc	ES _V (%)	ES _P (%)	V _B	Sst (m ² /g)
1,67	1,1	86.17	74.2	0.067	1.4

2.2.2 Analyse chimique

La constatation importante à signaler, est la présence d'un fort pourcentage en silice qui est supérieur à 80%, et par conséquent le sable de dune de Laghouat est un sable siliceux tableau 4.

Tableau .4 Analyse chimique du sable de dune

Symboles	Unité	Sable de dune
SiO ₂	%	95.87
SO ₃	%	0.91
Cl	%	0.36
CaCO ₃	%	2.5
MO	%	-----

3. Etude du gonflement des argiles

Le gonflement des argiles est un phénomène fort complexe. Il dépend de plusieurs paramètres, principalement la densité sèche, la teneur en eau naturelle et la nature minéralogique des dépôts argileux

Le gonflement peut être prédit à partir de caractéristiques géotechniques du sol, simples à déterminer au laboratoire comme les limites de consistance. Néanmoins les modèles présentés pour la prédiction du gonflement restent grossiers. Donc des mesures à l'aide de la méthode directe des paramètres de gonflement sont nécessaires pour confirmer le caractère gonflant d'une argile

Le but de cette étape, est l'étude du potentiel de gonflement des deux sols. Les essais sont réalisés sur des échantillons reconstitués par le compactage statique (utilisant une presse de vitesse 1,27 mm/mn).

3.1 Mesure indirecte du potentiel de gonflement

Un nombre considérable d'approches empiriques introduites par différents auteurs Skempton (1953) ; Holtz et Gibbs (1956) ; Seed et al (1962) (FIG.3) ; Ranganathan et Satyanaryana (1965) ; Vijayverjya et Ghazzaly (1973) ; Williams et Donaldson (1980) (FIG.4) ; Mouroux et al (1988) ; basées sur des caractéristiques du sol, qui sont faciles à déterminer en laboratoire, sont utilisées pour l'évaluation du potentiel de gonflement.

Les deux sols considérés dans cette étude sont classés comme suit (tableau 5) :

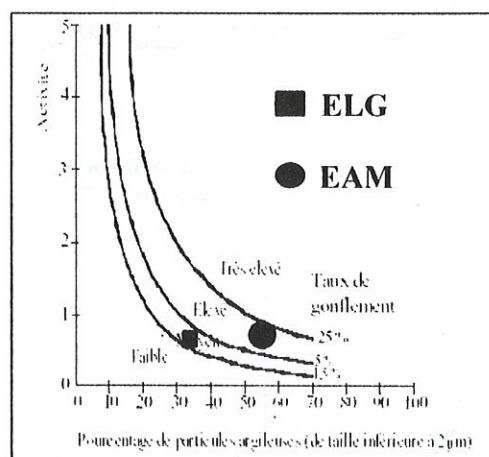


FIG.3 : Abaque d'évaluation du potentiel de gonflement (Seed, 1962)

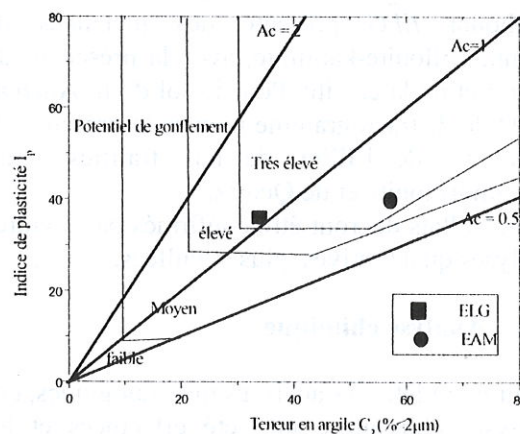


FIG.4 : Classification des potentiels de gonflement de Williams et Donaldson (1980)

Effet de l'ajout de sable de dune sur le potentiel de gonflement des argiles.

Tableau 5 : Estimation indirecte du potentiel de gonflement des sols

Les auteurs	Paramètres	ELG	EAM
Classifications selon un seul paramètre.			
Ranganathan et al (1956)	I_R	fort	fort
Snethen (1977)	I_P	haut	haut
Mouroux (1988)	I_P	haut	haut
Snethen et al (1977)	W_L	élevé	élevé
Serratos (1957)	W_R	marginale	marginale
Classifications selon deux paramètres.			
Seed et al, 1962	A_{c1}, C_2	élevé	élevé
Snethen (1977)	I_P, W_L	élevé	élevé
Snethen (1977)	$R_p = I_P / W_p$	élevé	élevé
O'neil et al (1980)	W_L, I_P	élevé	élevé
Snethen (1977)	I_P, I_R	très élevé	très élevé
Williams et Donaldson (1980)	I_p, C_2	très élevé	très élevé
Classifications selon trois paramètres.			
Holtz et Gibbs (1956)	C_1, I_P, W_R	important	important
Snethen (1977)	I_P, W_L, W_R	élevé	élevé

En général, toutes les classifications montrent que, les deux sols possèdent un potentiel de gonflement élevé à très élevé, ce qui est en accord avec le minéral prédominant et qui est la Montmorillonite.

Pour confirmer la classification obtenue par les méthodes indirectes, des mesures directes du potentiel de gonflement sont indispensables.

3. 2 Mesure directe des paramètres de gonflement

3.2.1 Mesure du potentiel de gonflement.

Les essais de gonflement libre sont effectués dans un œdomètre classique dont les dimensions des échantillons sont respectivement : Hauteur $H=20$ mm, Diamètre $D = 50$ mm.

En premier temps, on procède à la préparation de l'échantillon (broyage, tamisage, séchage et compactage statique) à une teneur en eau de 15% et à une densité sèche de 1,82 .

L'échantillon est placé dans une cellule cylindrique entre deux pierres poreuses. Puis suite à l'inondation, il est autorisé à gonfler verticalement sous la pression du piston durant plusieurs jours jusqu'à la stabilisation. Le gonflement total est déterminé d'après la formule suivante :

$$G (\%) = \frac{(H_f - H_i)}{H_i} \times 100$$

H_0 : hauteur initiale.

H_f : hauteur finale après stabilisation.

3.2.2 Mesure de la pression de gonflement.

Il existe une multitude de méthodes pour mesurer la pression de gonflement à l'œdomètre (FIG.5).

Méthode du gonflement libre. : Après la phase de gonflement libre sous faible charge (poids du piston), l'échantillon quasi saturé suit un chemin de chargement jusqu'à ce que son volume revienne à sa valeur initiale. La contrainte correspondante est la pression de gonflement (Jenning et Knight, 1957; Chen, 1988).

Méthode du volume constant : La méthode de gonflement à volume constant est réalisée selon la norme ASTM D 4546-90 (American Society for Testing and Materials). La tendance de l'échantillon à gonfler est neutralisée par l'application d'une charge croissante dès que le déplacement du comparateur atteint 1/100 mm. La valeur de la charge, lorsque l'échantillon est stabilisé, représente la pression de gonflement (Sullivan & Mac Lelland, 1969 ; Dédier et al, 1987, cité par Chen, 1988).

Méthode de gonflement sous différentes pressions : Appelée aussi essai de gonflement en parallèle ou encore essai gonflement-

Effet de l'ajout de sable de dune sur le potentiel de gonflement des argiles.

effondrement et qui consiste à placer plusieurs éprouvettes d'un même matériau dans différentes cellules œdométriques, chaque éprouvette est chargée par une contrainte axiale constante après inondation. Les résultats obtenus après stabilisation des déformations (gonflement ou tassement) seront représentés sous forme d'une courbe (en ordonnée les déformations et en abscisse les contraintes axiales). L'intersection de la courbe avec l'axe des abscisses ou les déformations sont nulles représente la pression de gonflement (Philipponnat.G, 1991).

Dans cette étude, l'estimation de la pression de gonflement est faite suivant deux méthodes : la méthode du gonflement libre et la méthode du volume constant

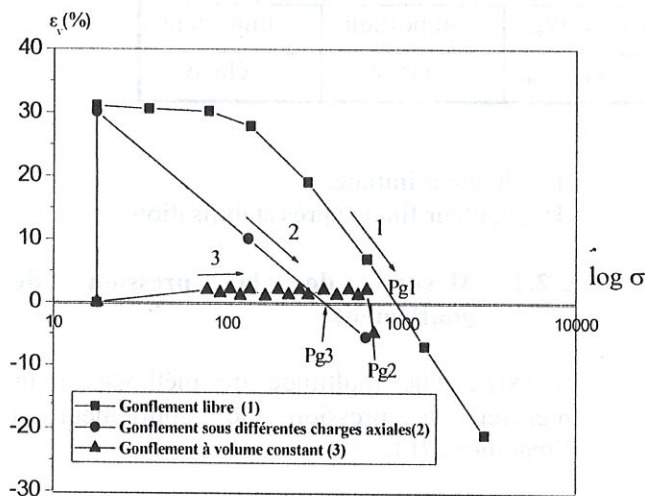


FIG. 5 Différentes procédures d'essais de pression de gonflement (Sridharan et al. 1986)

Pour la préparation des échantillons, les mêmes procédures comme ceux utilisés pour mesurer le gonflement libre sont adoptés en gardant les mêmes caractéristiques (hauteur, diamètre, densité sèche et teneur en eau).

3.3 Résultats

En ce qui concerne le potentiel de gonflement, la figure 6 montre l'évolution du gonflement libre en fonction du temps des deux sols. On constate qu'au début de l'inondation, les deux sols gonflent d'une manière similaire, mais par la suite le sol de In Amenas *EAM* présente un taux de gonflement plus important. A la stabilisation après 7 jours, les taux de gonflement sont de 20 % pour le sol de Laghouat *ELG* et d'environ 30% pour le sol de In amenas *EAM*. Ces résultats montrent le

caractère gonflant des deux sols et confirment les constatations obtenues à l'aide des méthodes indirectes.

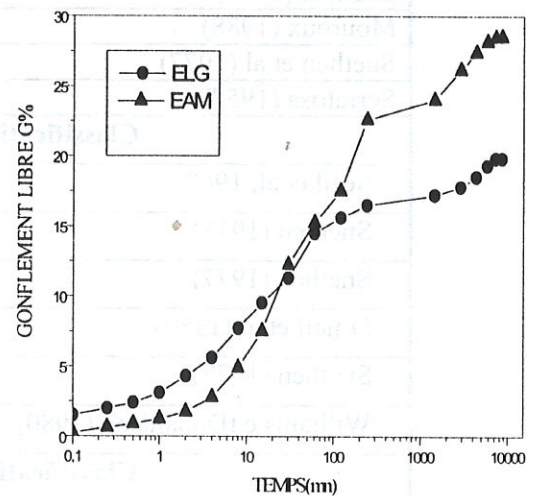


FIG.6 : évolution du gonflement libre en fonction du temps

Les résultats des paramètres de gonflement (taux et pression de gonflement) sont résumés dans le tableau 6. On constate que les deux sols développent des pressions de gonflement très proches avec des valeurs un peu plus élevées pour le sol de In Amenas. Par ailleurs, on note que la pression de gonflement obtenue par la méthode du gonflement libre est supérieure à celle obtenue par la méthode du volume constant et cela pour les deux sols. Ce qui est en accord avec les résultats donnés par Sridharan et al., 1986 (cité par Philipponnat, 1991). Cette différence est attribuée au frottement qui se développe pendant la phase de recompression de l'échantillon après gonflement libre.

Tableau. 6 : Résultats des paramètres de gonflement

	G%	Pg ₁ (bar)	Pg ₂ (bar)	Pg (bar)
<i>ELG</i>	19.8	4.125	4	4.06
<i>EAM</i>	28.5	5.85	3.70	4.775

G% : Gonflement libre

Pg₁ : Pression de gonflement (méthode du gonflement libre)

Pg₂ : Pression de gonflement (méthode du volume constant)

Pg : Pression de gonflement moyenne

Effet de l'ajout de sable de dune sur le potentiel de gonflement des argiles.

4. Stabilisation des sols par ajout de sable

Stabiliser un sol, c'est modifier certaines de ces propriétés en vue d'améliorer ses performances techniques. Il existe plusieurs techniques de stabilisation, parmi elles la stabilisation par ajout de sable.

C'est vers les années soixante dix que des chercheurs ont commencé à étudier l'influence de l'ajout de sable sur les sols gonflants. L'emploi du sable comme matériau traitant est une technique relativement récente. Elle consiste d'ajouter une quantité de sable au sol ensuite la mise en place par le compactage.

Pour l'étude de la stabilisation par ajout de sable de dune, les pourcentages de sable additionnés sont respectivement 15%, 30% et 45%.

Les conditions des essais utilisés pour mesurer le potentiel de gonflement sont les mêmes que celles utilisées au paravent ($W\%=15\%$ et $\gamma_d=18.2\text{KN/m}^3$). Le mode de compactage utilisé dans cette partie expérimentale est le compactage statique.

La figure 7 représente l'évolution, en fonction du temps, du taux de gonflement pour les différents mélanges argiles- sable.

Les méthodes utilisées pour la mesure de la pression de gonflement sont les mêmes que celles utilisés précédemment et qui sont la méthode du gonflement libre et la méthode du volume constant. Les échantillons sont préparés par le compactage statique avec les mêmes dimensions que celles utilisées pour la détermination du taux de gonflement.

Les principales remarques, qu'on peut tirer des résultats de ces essais (tableau 7) sont :

- A faibles pourcentages de sable ajouté, les particules de sable sont dispersées dans la masse argileuse. L'effet de l'ajout de sable sur la porosité de la masse du sol est faible et par conséquent la réduction du gonflement n'est pas importante.
- A moyen et fort pourcentage de sable ajouté, l'effet de celui ci devient important. Cette quantité de sable additionnée permet de créer des vides à l'intérieur de la masse sol, ce qui permet d'encaisser au sein de la structure, les variations de volume expérimentées par les particules argileuses.
- Les résultats obtenus sont très encourageants et sont en bon accord avec ceux trouvés par plusieurs auteurs, Derriche et al (1994), Bengraa (2004). Le sable de dune peut être utilisé comme stabilisant pour les sols expansifs.

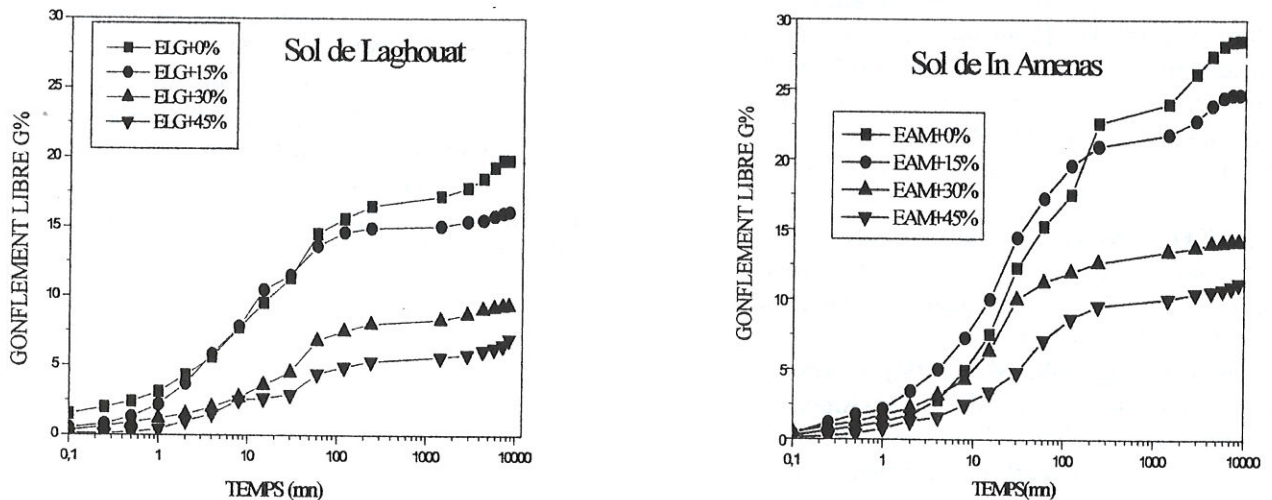


FIG. 7 : Evolution du gonflement des mélanges argile-sable en fonction du temps

Tableau 7 : Stabilisation par ajout de sable de dune

Pourcentage De sable de dune	Sol de Laghouat ELG				Sol de In Amenas EAM			
	G%	($\Delta G/G$)%	Pg	($\Delta P_g/P_g$)%	G%	($\Delta G/G$)%	Pg	($\Delta P_g/P_g$)%
0%	19.8	réduction	4.06	Réduction	28.5	Réduction	4.775	Réduction
15%	16,1	18.69	2.125	51	24.65	13.51	2.875	39.79
30%	9,35	52.78	1.25	75.4	14.15	50.35	1.625	65.97
45%	6,95	65	0.5	89.7	11.2	60.71	0.8	83.25

Effet de l'ajout de sable de dune sur le potentiel de gonflement des argiles.

5. Conclusion

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la stabilisation des sols gonflants par ajout de sable de dunes. Les études qui ont été menées (minéralogie, essais d'identification et essais de gonflement) ont confirmé le caractère gonflant des deux sols étudiés. L'argile de In Amenas possède un potentiel de gonflement plus élevé que ceux de l'argile de Laghouat.

La stabilisation par ajout de sable de dunes devient significative pour des pourcentage au delà de 30% de la masse du sol stabilisé.

Enfin, on peut conclure que, vu la quantité considérable de sable a ajouté aux sols gonflants pour aboutir à une réduction satisfaisante du potentiel de gonflement (facteur économique).

La technique de stabilisation par ajout de Sable de Dune s'impose comme une alternative efficace et économique pour le traitement des argiles gonflantes.

Bibliographie

- Bengraa L. (2004)** « Contribution à l'étude de la stabilisation du gonflement par ajout de sable, application aux sols d'Oran ». *Mémoire de magistère .U.S.T.Oran, soutenue le 21.06.2004.102p*
- Bourokba, S.A ; Hachichi, A ; Benaissa, A ; Sebai, S.,(2003).** « Prévision du potentiel de gonflement de quelques argiles gonflantes de la région d'Oran ». *Séminaire international de géomatériaux .GEOMAT'02. Université M.Boudiaf de M'Sila – Algérie les 10-11 mars 2003.*
- Chen F.H. (1988)** « Foundations on expansive soils». *Developments in Geotechnical Engineering, Vol 54, Elsevier Publishing Co.Amsterdam, 464 pages.*
- Derriche.Z., Kebaili. M. (1998)** « Prévision du gonflement des argiles d'In-Aménas ». *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées -218-novembre – décembre 1998- Réf.3865.pp.15-23*
- Gueddouda M.K (2005)** « Stabilisation des argiles gonflantes par ajout de sable de dune. Cas région de Laghouat ». *Mémoire de magistère .U.S.T.Oran, soutenue le 14. 06. 2005.136p*
- Hachichi.A, Fleureau.J.M. (1999)** « Caractérisation et stabilisation de quelques sols gonflants d'Algérie ». *Revue Française de Géotechnique. N° 86. pp 37-51.*
- Jennings,J.E., Knight. (1957)** «The prediction of amount and rate of heave likely to be experimented In engineering construction on expansive soils ». *2nd .I.R.E.C.E.C.S. Texas, pp. 98-112.*
- Kaoua.F, Derriche.Z , Laradi.N. (1994)** « Contribution à l'étude de la stabilisation des sols gonflants par ajout de sable ». Algérie Equipement. *Revue Technique de l'Ecole National des Travaux Publiques. N° 15. Septembre 1994.pp.12-15.*
- Lamara .M et Merah .A (2002).** « Analyse d'un cas pathologique de gonflement de sol rencontré de l'université de Laghouat ». *Journées d'études sur les sols gonflants. Algérie (Tlemcen) 27-28 /10/2002.*
- Louafi.B. (1997)** « Stabilisation d'une bentonite par ajout de sable, Interaction sol-matériau d'amendement ».Thèse de Magister. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Algérie
- Philipponnat.G. (1991)** « Retrait gonflement des argiles, proposition de méthodologie ». *Revue Française de Géotechnique. N° 57. pp 5-22.*
- Ranganatham., satyanarayana.B. (1965)** «A rational method of preding swelling potential for compacted expansive clays». *Proc of the 6th I.C.S.M.F.E. Montreal.1965.*
- Seed,H.B. , R.J.Woodward et R.Lundgren. (1962).** « Prediction of swelling potentiel for compacted clays ». *Journal of the soil Mechanics and foundations division ,ASCE , vol.88 ,n° SM4,1962,p.107-131.*
- Tas .M. (1992).** « Influence des procédures expérimentales sur l'estimation en laboratoire des paramètres de gonflement des argiles expansives » *.Thèse de magistère (école nationale polytechniques, Algérie, soutenue le 15.07.1992).148p.*