EFFET DU MODE DE COMPACTAGE SUR LES PARAMETRES DE GONFLEMENT DES SOLS EXPANSIFS

M.K GUEDDOUDA;
M. LAMARA;
B. BENABED;
I. GOUAL
Laboratoire de recherche de Génie civil.
Université de Amar Telidji *BP.35 G.* Laghouat.
Tél. : + (213) 29 92 83 95
Fax : + (213) 29 93 21 09
Email : gueddouda_mk@yahoo.fr.
Email : mk.gueddouda@lagh-univ.dz

Mots clés : *argiles gonflantes, potentiel et pression de gonflement, compactage statique, compactage dynamique*

Résumé :*Certains sols argileux soumis aux variations de la teneur en eau peuvent augmenter ou diminuer de volume. Ces phénomènes cycliques, de gonflement-retrait, provoquent des contraintes parasites dans les structures. Ces contraintes ont de grandes conséquences à caractère pathologique sur les constructions fondées sur ces sols. Toutefois, et afin de limiter les désordres dans les constructions, des solutions basées sur diverses techniques de stabilisation ont été élaborées, parmi ces techniques, la stabilisation mécanique basée sur le mode de compactage. Dans ce but, et pour voir l'influence du mode de compactage sur les paramètres de gonflement, une étude expérimentale a été réalisée sur trois sols provenant de la région de Laghouat. Les sols ont été caractérisés par des analyses minéralogiques, chimiques et par une étude géotechnique basée sur des essais normalisés. Le potentiel de gonflement des sols est estimé par des méthodes indirectes, par la suite, des mesures directes (taux et pression de gonflement) ont été effectués selon deux modes de compactage (compactage statique et compactage dynamique). Les résultats montrent que le compactage dynamique est mieux adapté pour réduire le potentiel de gonflement.*

1. INTRODUCTION

Les sols argileux gonflants posent de nombreux problèmes en construction. Ces sols sont rencontrés dans de nombreux pays. Le gonflement se manifeste généralement dans les régions arides et semi-arides caractérisées par un climat chaud et sec, puis un climat pluvial, qui résulte à une fluctuation importante de la teneur en humidité saisonnière sur des profondeurs considérables. De plus, la variation de taux d'humidité dans les sols gonflants a une grande influence sur leurs comportements mécaniques, comme le changement de structure et diminution de la résistance aux cisaillements.

En Algérie, ce phénomène encore mal apprécié, affecte une bonne centaine de kilomètres carrés répartis un peu partout à travers le territoire national. Les dégâts causés par le gonflement de sol aux constructions et ouvrages légers sont considérables [Batna (hôpital de N'Gaous), Illizi (raffinerie de In Amenas), Oran (hôpital Sidi Chahmi) et Laghouat (base de vie de Sonatrach « station de pompage N°5 »].

Afin de limiter les désordres dans les constructions, des solutions basées sur diverses techniques de stabilisation ont été élaborés qu'on cite les plus utilisées :

- Stabilisation mécanique;
- Stabilisation chimique;
- Stabilisation par ajout des matériaux;
- Stabilisation thermique.

Le choix de l'une de ces méthodes dépend de plusieurs paramètres tels que : les considérations économiques, la nature du sol à traiter, la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux à utiliser ainsi que les conditions d'environnement.

Donc, ce phénomène constitue actuellement une des premières préoccupations des mécaniciens de sol. Compte tenu du fait du nombre important de facteurs d'influence, le mode
de compactage présente un effet considérable sur les paramètres de gonflement (taux et pression de gonflement).

Le travail présenté dans cet article, en premier lieu, est la caractérisation des sols provenant de la région de Laghouat (base de vie Station de Pompage N°5, noté par B.V.S.P.5, Sonatrach), où des dégâts ont été enregistrés, suivi par une estimation indirecte du potentiel de gonflement de ces sols. En second lieu, les mesures directes des paramètres de gonflement ont été réalisées selon deux modes de compactages (statique et dynamique).

2. CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

2. 1 ARGILES

Pour mener cette investigation, 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).Cette zone présente une superficie d'environ huit hectares.

Le premier échantillon (*E1*) est prélevé à une profondeur de 0,5 m en utilisant la pelle manuelle. Utilisant la pelle mécanique, le deuxième échantillon (*E2*) et le troisième échantillon (*E3*) sont prélevés à des profondeurs respectives 3 m et 1,5 m. Dans l'ensemble, on a rencontré une difficulté de creusement, due à l'aridité de la zone.

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.

2. 1.1 ANALYSES MINÉRALOGIQUES

Le diffractomètre aux rayons X à été utilisé dans cette analyse afin de déterminer les différentes proportions de minéraux constituant l'échantillon (figure 1).

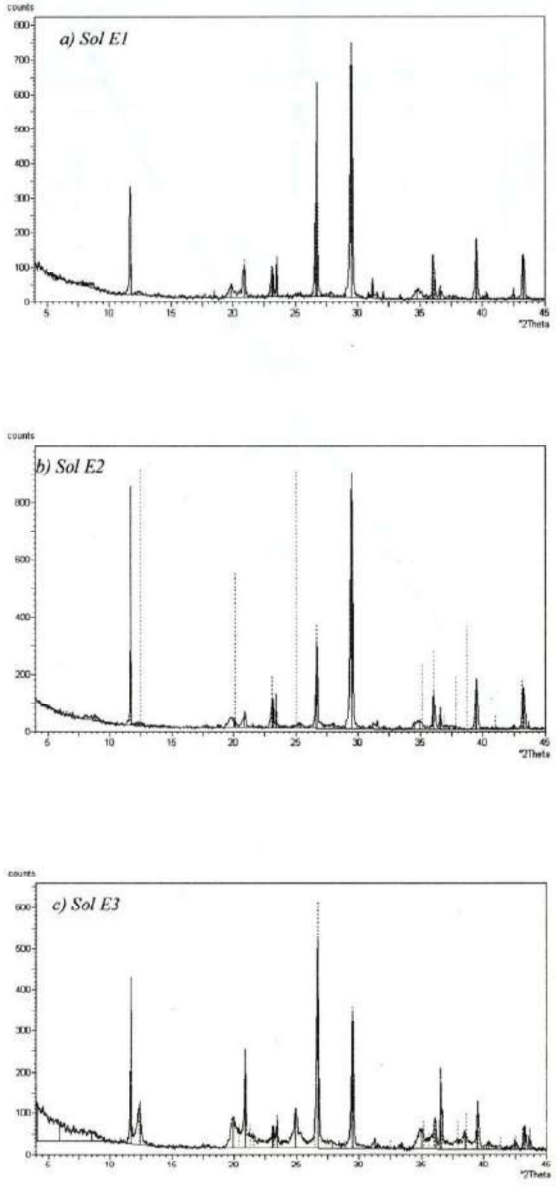


Figure.1 : Analyse minéralogique des sols

Les diffractogrammes révèlent que, les sols *E1* et *E3* présentent des mélanges d'illite- kaolinite, avec la présence de calcite et du quartz, en plus, cette analyse montre que le sol *E3* contient un fort pourcentage de gypse. Le Sol *E2* présente des mélanges de montmorillonite- kaolinite avec la présence de traces d'illite, quartz et calcite. Le Sol *E2* à tendance de gonfler plus que les deux autres sols, dû à la présence de la montmorillonite. Ces résultats devront être confirmés par d'autres analyses quantitatives, plus détaillées.

2. 1.2 ANALYSES CHIMIQUES

Les analyses chimiques des échantillons ont été effectuées par LNHC (Laboratoire National de l'Habitat et de la Construction de DJELFA). Sur la base des résultats du tableau 1,

Tableau 1 : Essais d'identifications des sols

	E1	E2	E3
Z (m)	**00.50**	**03.00**	**01.50**
$C_2 < 2\ \mu m$	**30.14**	**35.74**	**32.33**
w_{opt} (%)	**16.00**	**15.00**	**15.20**
$\gamma_{D8,5}$ (kN/m^3)	**18.37**	**18.20**	**17.78**
w_L (%)	**42.00**	**69.00**	**41.00**
w_p (%)	**23.55**	**33.52**	**26.14**
w_R (%)	**16.29**	**11.66**	**17.07**
I_p (%)	**18.45**	**35.48**	**14.86**
I_R (%)	**25.71**	**57.34**	**23.93**
A	**00.37**	**00.53**	**00.27**
SSt (m^2/g)	**175.0**	**350.7**	**147.0**
e_0	**0.351**	**00.41**	**00.62**
C_c	**00.17**	**00.15**	**00.23**
C_g	**00.04**	**00.16**	**00.05**

les principaux constituants minéralogiques des trois sols sont : la silice, l'alumine et la calcite. 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, les sols *E1* et *E2* appartiennent au groupe des argiles calcaires, tandis que le sol *E3* appartient à la classe des marnes. Par ailleurs, on remarque que les trois sols présentent des pourcentages en SiO_2 inférieurs à 80%, ce pourcentage est la frontière entre les sols gonflants et non gonflants *(Tas. M, 1992)* [1] *(Hachichi. A et al, 2003)* [2], ce qui permet de dire que ces sols ont tendance à gonfler.

2.1.3 ESSAIS D'IDENTIFICATIONS

Les essais d'identifications ont été effectués sur des échantillons remaniés. Les résultats des essais sont regroupés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Analyse chimique des sols

Caractéristiques	symboles	unités	Les échantillons		
			E1	E2	E3
Silice	SiO_2	%	54.45	58.94	50.95
Alumine	Al_2O_3	%	5.65	6.03	5.25
Carbonate de Calcium	$CaCO_3$	%	20.78	17.70	23.24
Chlorure de Sodium	NaCl	%	0.18	0.12	0.23
Oxyde de Fer	Fe_2O_3	%	3.03	1.02	2.13
Sulfates	SO_4	%	3.12	3.25	1.85
Perte au feu	P.F	%	12.83	12.83	17.05
Eau de combinaison	H_2O	%	5.26	3.36	11.15
L'anhydride carbonique	CO_2	%	8.57	9.47	5.90
La matière organique	M.O	%	------	------	------

D'après l'abaque de Casagrande, les sols *E1* et *E3* appartiennent aux groupes des sols plastiques moyennement argileux et le sol *E2* appartient à la classe des sols argileux très plastiques.

Selon les résultas de l'activité de Skempton ($A = Ip/C_2$), on peut avoir une idée sur le minéral prédominant dans la matrice argileuse. D'où, le minéral prédominant dans les échantillons *E1* et *E3* est la Kaolinite et pour l'échantillon *E2* est l'Illite.

D'après la classification de Lautrin basée sur la surface spécifique totale (SSt), les sols *E1*et *E3* présentent un mélange entre les minéraux Illite et Montmorillonite calcique, tandis que le sol *E2* contient un fort pourcentage en Montmorillonite calcique. Les valeurs de surface spécifique totale sont déduites de l'essai au bleu de méthylène par la formule de *(Tran Ngoc Lan, 1981)* [3].

D'après la classification des sols basée sur l'indice de compression C_c et l'indice de vide e_0 obtenus par les essais œdométriques, les trois sols se classent parmi les sols moyennement compressibles. D'après la classification des sols selon leurs indices de gonflement C_g *(Lambe, T.W, 1953)* [4], les sols *E1* et *E3* contiennent un pourcentage élevé en Kaolinite et le sol *E2* un fort pourcentage en Montmorillonite.

2.2 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 proches de la ville (Oasis nord).

Pour compléter les analyses minéralogiques et de même que les argiles, les analyses chimiques ont été effectuées par le LNHC de Djelfa. Les résultats sont illustrés dans le tableau. 4.

Tableau 3 : Paramètres d'identifications du sable de dune

	Granulométrie		Équivalent de sable		Bleu de méthylène	
Paramètres	Cu	Cc	ES_v (%)	ES_p (%)	V_B	Sst (m^2/g)
sable	1,67	1,1	86.17	74.20	0.067	1.4

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. Les résultats des essais d'identification du sable dunaire sont inclus dans le tableau 4.

Tableau 4 : Analyse chimique du sable de dune

	Symboles	Unité	Sable de dune
Résidu insoluble	SiO_2	%	95.87
Sulfates	SO_3	%	0.91
Chlorures	Cl	%	0.36
Carbonate de Calcium	$CaCO_3$	%	2.5
Matières organiques	MO	%	----

D'après la classification des sols " ***LCPC*** ", le sable de dune se classe parmi les sables propres mal gradués, de granulométrie moyenne, sa courbe est uniforme et très peu étalée. Le sable dunaire visualisé par microscope électronique à balayage (MEB) présente des grains de formes arrondies avec une faible angularité.

3. ETUDE DE GONFLEMENT

Les argiles gonflantes ont des caractéristiques physiques bien spécifiques permettant de donner une idée préliminaire sur leur comportement vis-à-vis du gonflement (mesure indirecte du potentiel de gonflement) *(Holtz W.G et Gibbs. H.J, 1956)* [5]. En outre, la mesure des paramètres de gonflement est nécessaire (mesure directe). Plusieurs facteurs affectent la mesure de ces derniers, parmi eux, le mode de compactage.

Le compactage est la densification des sols par application d'énergie mécanique, outre la densification, il conduit le plus souvent à une modification significative de la granulométrie et de la structure de sol, qui ne sont recherchés que pour leurs conséquences bénéfiques : amélioration de la résistance et diminution de la déformabilité et de la perméabilité.

Le but de cette étape est de déterminer les paramètres de gonflement des trois argiles sur des échantillons reconstitués selon deux modes de compactage.

Le compactage statique consiste à soumettre un échantillon de sol à une pression statique sous une vitesse lente (1,27 mm/min) , on comprime tout simplement le sol dans un moule à l'aide d'une presse.

Le compactage dynamique consiste à compacter l'échantillon de sol dans un moule en le soumettant à une série d'impacts à l'aide d'une dame tombant d'une certaine hauteur, l'essai Proctor est l'essai de ce type le plus couramment utilisé au laboratoire, il est défini par un mode opératoire normalisé (NF P 94-093).

3. 1 ESTIMATION DU POTENTIEL DE GONFLEMENT

Un nombre considérable d'approches empiriques introduites par différents auteurs basées sur les caractéristiques physiques et mécaniques du sol, sont utilisées pour l'évaluation du potentiel de gonflement (figures 2 et 3).

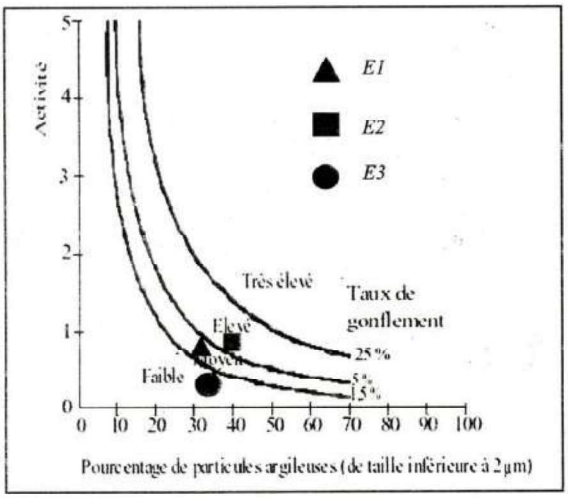


Figure 2 : Abaque d'évaluation du potentiel gonflement (Seed, 1962)

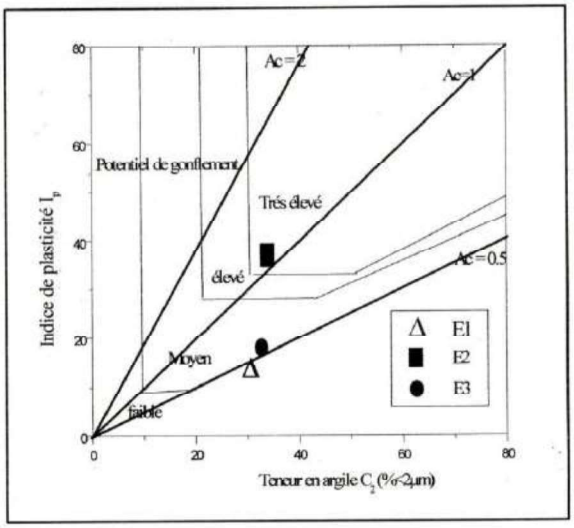


Figure 3 : Classification des potentiels de gonflement (Williams & Donaldson 1980).

En générale, toutes les classifications montrent que le sol *E2* à tendance à un taux de gonflement important, ce qui en accord avec le minéral prédominant, qui la Montmorillonite. Les sols *E1* et *E3* présentent un potentiel de gonflement faible à moyen.

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 sont effectués dans un œdomètre classique, dont les dimensions des échantillons sont respectivement : H = 20 mm et D = 50 mm.

La méthode du gonflement libre a été utilisée dans cet essai. En premier temps, on procède à la préparation de l'échantillon (broyage, tamisage et séchage) suivi d'un compactage selon deux modes (statique et dynamique) à des teneurs en eau et densité sèche correspondant à l'optimum Proctor. L'échantillon est placé dans une cellule cylindrique entre deux pierres poreuses, après qu'il est lissé et arasé au niveau supérieur et inférieur, 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 noté par *G (%)* est déterminé d'après la formule suivante :

$$G(\%) = \frac{(H_f - H_i)}{H_i} \times 100 \qquad (1)$$

Avec :

3.2.2 MESURE DE LA PRESSION DE GONFLEMENT.

Pour mesurer de la pression de gonflement, on a utilisé deux méthodes (figure 4), qui sont :

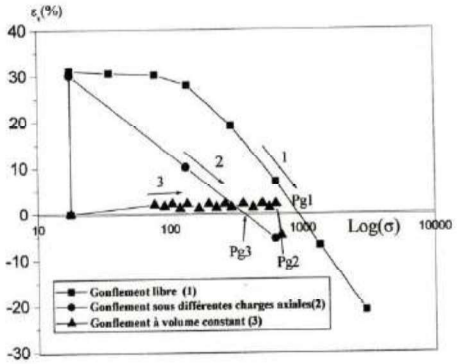


Figure 4 : Différentes procédures d'essais de pression de gonflement (Sridharan et al. 1986)

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 revient à sa valeur initiale. La contrainte correspondante est la pression de gonflement *(Jenning et Knight, 1957)* [6].

Méthode du volume constant : La méthode de gonflement à volume constant selon la norme ASTM (American Society for Testing and Materials) 4546-90, 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 est la pression de gonflement *(Sullivan & Mac Lelland.1969 ; Dédier et al, 1987).*

Pour la préparation des échantillons, les mêmes procédures effectuées pour mesurer le gonflement libre sont considérées pour mesurer la pression de gonflement, en gardant les mêmes caractéristiques (hauteur, diamètre, densité sèche et teneur en eau).

4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats de mesure des deux paramètres caractérisant le gonflement (le taux et la pression de gonflement) en fonction du temps, et selon les deux modes de compactage pour les trois sols, sont présentés sur les figures 5 et 6.

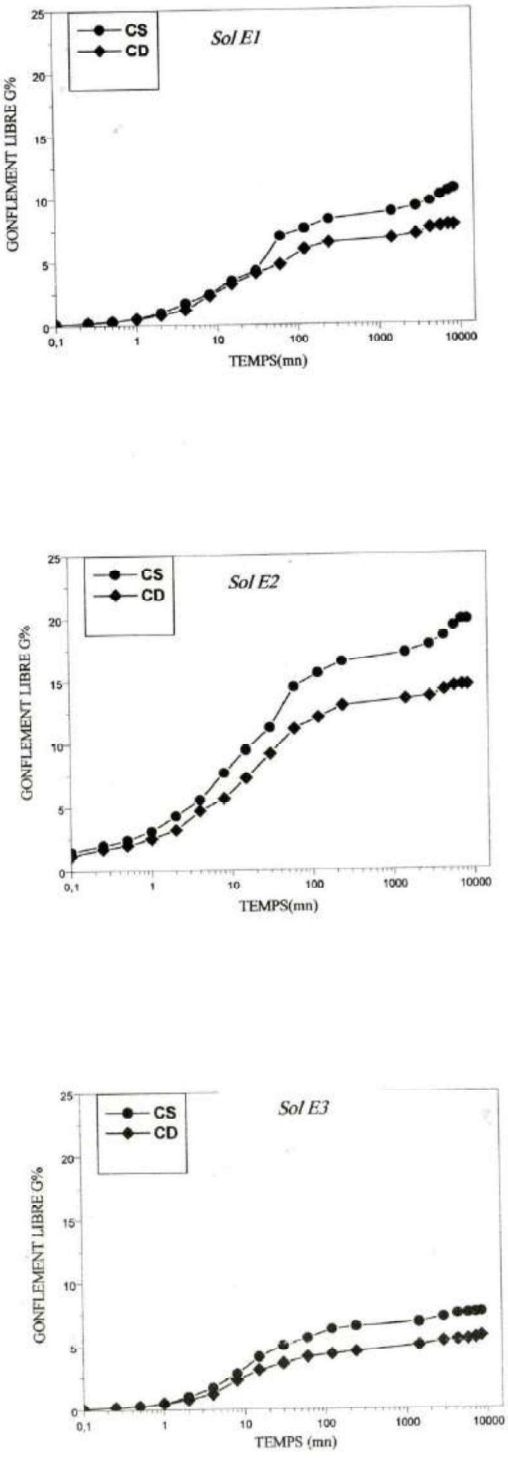


Figure 5 : Evolution du potentiel de gonflement en fonction du temps et du mode de compactage

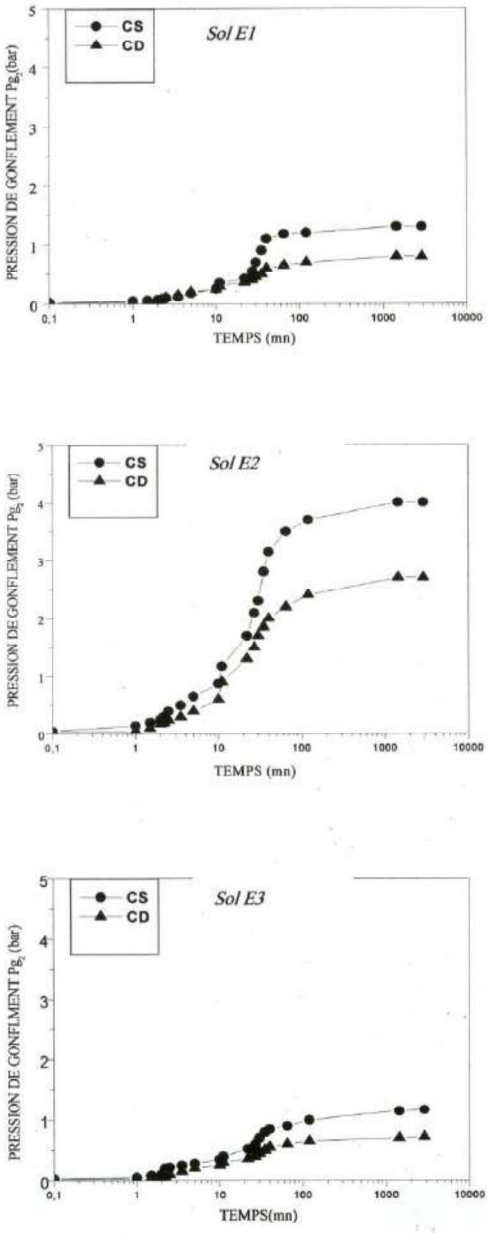


Figure 6 : Evolution de la pression de gonflement en fonction du temps et du mode de compactage

Avec :
CD : Compactage Dynamique
CS : Compactage Statique
Pour les trois sols, les échantillons compactés statiquement, ont présenté un taux de gonflement plus élevé que celui des échantillons soumis aux compactage dynamique, la différence est de l'ordre de 30% , cela est dû à un bon arrangement des grains lors du compactage statique.

Les pressions de gonflement mesurées par la méthode du gonflement libre sont supérieures à celles obtenues par la méthode du volume constant, ce qui est en accord avec les résultats donnés par *(Sridharan et al ,1986)* [7].

5. Conclusion

L'évaluation des paramètres de gonflement obtenus par les deux méthodes indirectes et directes sont très proches les unes des autres *(Lamara. M et all, 2006)* [8]). D'où, une identification primaire à partir des résultats d'essais simples peut présenter un intérêt considérable puisqu'elle permettra de mieux orienter les reconnaissances ultérieures.

Le mode de compactage a une influence importante sur les paramètres de gonflement. Les échantillons confectionnés à l'aide du compactage statique présentent un potentiel de gonflement élevé à celui du compactage dynamique. La différence est de l'ordre de 30%, celle-ci est due à un bon arrangement des grains lors du compactage statique, ce qui entraîne la diminution des dimensions des pores à l'intérieur de la matrice argileuse (les particules s'orienteront et présenteront une structure dispersée). Par contre, lors du compactage dynamique, les particules argileuses auront tendance à adopter une structure floculée (causée par les chocs de la dame), d'où, un arrangement désordonné , une mauvaise orientation des particules et leurs fissurations pendant la préparation des échantillons présentent un changement de la structure interne de la matrice argileuse traduisant une augmentation importante des dimensions des pores qui provoquent à leur tour l'encaissement du gonflement, donc, réduction des paramètres de gonflement.

On peut conclure que, le compactage dynamique est mieux adapté pour réduire le potentiel de gonflement des sols expansifs.

6. Bibliographie

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.*

Hachichi A, Benaissa A, Bourokba S. et Boudia M. (2003) *« Etude de la stabilisation chimique des sols gonflants de la région d'Oran ». Proc. 13th C.R.A. L'implication de la géotechnique dans le développement des infrastructures en Afrique. Marrakech. Maroc. 8-11 Dec. 2003. pp. 371-379.*

Tran Ngoc Lan (1981) *«Utilisation de l'essai au bleu de méthylène en terrassements routiers ». Bulletin de Liaison .Labo .P. et Ch. 111. pp. 5-16.*

Lambe, T.W (1953), *"The structure of inorganic soil", Proceedings, ASCE, vol. 79, N° 315, 49 pp.*

Holtz W.G et Gibbs H.J. (1956) *«Engineering properties of expansive soils». Trans of ASCE, Vol. 121, pp 641-679.*

Chen F.H. (1988) *« Foundations on expansive soils». Developments in Geotechnical Engineering, Vol 54, Elsevier Publishing Co. Amsterdam, 464 pages.*

Philipponnat.G (1991) *« Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie ». Revue Française de Géotechnique. N° 57. pp 5-22.*

Lamara M, Gueddouda M.K et Benabed B. (2006) *« Stabilisation physico-chimique des sols expansifs ». Revue Française de Géotechnique. N° 115.pp.25-35*