

ÉTUDE DU PHÉNOMÈNE DE RETRAIT/GONFLEMENT DES SOLS. INFLUENCE DE LA TENEUR EN EAU INITIALE.

A. Oguemat¹

¹Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou, Algérie,
e-mail : a_ouguemat@yahoo.fr

RÉSUMÉ

La problématique de l'identification des sols réellement susceptibles de retrait/gonflement, en cas d'assèchement est connue qualitativement mais très peu quantitativement. Plusieurs types d'approches et méthodes indirectes, permettant d'évaluer le potentiel de retrait/gonflement des sols fins à partir des mesures de leurs paramètres géotechniques, existent dans la littérature. Les spécialistes s'accordent sur la fiabilité limitée de ces méthodes et sur l'intérêt de procéder, à cet effet, par des méthodes directes, en effectuant des essais au laboratoire et/ou in situ.

Une nouvelle méthode permettant de prévoir et de quantifier les déformations de ces sols, est présentée dans cet article. L'originalité de cette méthode repose, d'une part, sur l'utilisation de l'essai de retrait (essai facile à réaliser) pour obtenir la loi régissant le comportement du sol (rapport entre la variation de la teneur en eau et la déformation induite du sol) et d'autre part, sur le fait que le paramètre principal de cette loi est la teneur en eau w qui est, aussi, facile à obtenir expérimentalement.

MOTS-CLÉS

Argile, teneur en eau, succion, sécheresse, gonflement, retrait.

1. Introduction

Pour les ingénieurs du génie civil et particulièrement pour les géotechniciens, les interactions entre l'atmosphère et la Terre ont toujours été importantes. Certaines peuvent être rapides et catastrophiques, amenant la ruine des structures comme les barrages et les ponts, causant des accidents mortels et des désastres écologiques de grande envergure. D'autres, par contre, peuvent être lentes et insidieuses mais, à long terme, toutes aussi destructives et coûteuses ; comme les effets que les argiles, qui gonflent et qui se rétractent, peuvent avoir sur les bâtiments et autres structures aux fondations peu profondes.

Le comportement des sols, qui constituent la zone non saturée entre la surface du sol et la nappe phréatique, dépend dans une large mesure du transfert de l'eau et de l'énergie entre l'atmosphère et le sol à travers sa surface.

De nombreux aspects de ce comportement des sols dans cette zone sont étroitement liés à l'équilibre aqueux entre l'atmosphère et la Terre. Cet équilibre détermine la profondeur de la nappe phréatique et le profil de la teneur en eau moyenne, saisonnière et annuelle. Ainsi, les modifications de l'équilibre d'un sol ne sont pas sans conséquences sur les structures qu'il supporte ; cela peut entraîner de nombreux sinistres sur des constructions aussi bien récentes que très anciennes. L'étude des propriétés de retrait/gonflement

des sols s'est développée alors avec le souci principal de résoudre les problèmes posés par les sols argileux, notamment, aux structures à fondations peu profondes. De nombreux auteurs ont proposé des formules empiriques permettant de déterminer le potentiel de retrait/gonflement. Néanmoins, le problème de l'identification des sols argileux vis-à-vis du phénomène de retrait/gonflement reste toujours posé car la prévision de leur déformation ne peut être abordée avec des outils usuels (propriétés géotechniques, valeur du bleu de méthylène, limites d'Atterberg, etc.). En effet, l'évaluation des risques géotechniques, agronomiques et environnementaux liés au retrait/gonflement des sols a donc nécessité la mise au point de méthodes de mesures permettant de quantifier cette propriété (retrait/gonflement). Dans cet article nous présentons une nouvelle méthode pour la prévision et la quantification du retrait/gonflement des sols. Cette méthode est appliquée à un sol argileux de la région de (Tizi Ouzou, Algérie). L'influence de la teneur en eau initiale sur le retrait/gonflement est étudiée.

2. Les phénomènes de retrait et gonflement

En dépit de nombreuses expériences, malheureuses, liées à l'apparition du gonflement des sols, l'étude quantitative du phénomène ne débute réellement qu'au début des années 1970 où les travaux de laboratoire se développent de manière plus rigoureuse. Cependant, suite aux problèmes constatés en périodes de sécheresse, on a été amené à revoir certaines idées et on a commencé à se préoccuper sérieusement du phénomène de retrait. On a alors estimé, à juste titre d'ailleurs, que les argiles ne gonflaient pas seulement, mais pouvaient s'assécher aussi sur plusieurs mètres de profondeur. En climat tempéré les argiles sont, en effet souvent, proches de leur état de saturation si bien que leur potentiel de gonflement est relativement limité. En revanche, elles sont souvent éloignées de leur limite de retrait, ce qui explique que les mouvements les plus importants sont souvent observés en période de sécheresse.

Il faut noter, d'autre part, que la pression de gonflement n'est pas une caractéristique intrinsèque d'une argile car elle varie avec la teneur en eau. A saturation, une argile ne gonfle pas mais elle a un fort potentiel de gonflement quand elle est presque sèche.

3. Caractérisation du retrait/gonflement à partir des propriétés géotechniques

L'identification des sols argileux peut s'effectuer à l'échelle microscopique. Plusieurs méthodes (diffractométrie par rayon x , thermométrie différentielle, microscope à balayage électronique) sont couramment employées, mais toutes sont très lourdes

et très coûteuses, et tout compte fait, d'un faible intérêt, puisqu'il ne s'agit que d'une identification minéralogique qui ne dit rien sur le potentiel retrait/gonflement, la pression de gonflement, la limite de retrait, la teneur en eau, la succion, etc.

Caractériser le phénomène de retrait/gonflement à partir des propriétés géotechnique et des limites d'Atterberg est une approche plus séduisante, car ces mesures sont à la fois simples, fiables et peut être plus représentatives, si l'on cherche à identifier avec certitude un problème sans vouloir le quantifier finement. De nombreuses formules empiriques, essais et corrélations ont été proposées par divers auteurs (Altmeyer, Seed, Holtz, Brackley, etc.), utilisant les limites d'Atterberg, la succion ou d'autres paramètres comme l'activité de l'argile (Ac) et la teneur en particules argileuses (C2), voir (Figures 1).

L'expérience prouve que l'utilisation de ces méthodes pour l'identification du gonflement des sols argileux conduit à résultats différents, voir contradictoires, pour un même sol.

Ces méthodes peuvent être utiles pour définir des ordres de grandeur préalables à une étude exhaustive sur un site donné, mais il faut garder à l'esprit que, dans la plupart des cas, elles ne sont appropriées qu'aux sols pour lesquelles elles ont été établies. Il est donc toujours nécessaire de vérifier leur bien-fondé et de recalculer leurs

constantes sur le site étudié. Mais, surtout, le recours aux mesures directes dans des essais de laboratoire est inéluctable.

Potentiel de gonflement	Potentiel de gonflement (%)	Teneur en colloïdes (% - 1µm) C _i	I _p	W _i
Très élevé	>30	>28	>35	<11
Elevé	20 - 30	20 - 31	25-41	7-12
Moyen	10 - 20	13 - 23	15-28	10-16
Faible	<10	<18	<18	<15

Tableau 1 : Classification du potentiel de gonflement des sols d'après les caractéristiques géotechniques (d'après Holtz, 1959).

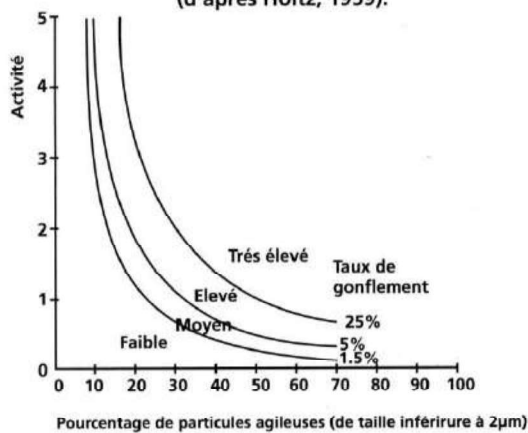


Figure 1 : Abaque d'évaluation du potentiel de gonflement g (d'après Seed et al, 1962).

4. Méthodes de prévision du retrait et gonflement des sols

4.1 Généralités

Toute méthode prévoyant le retrait et le gonflement d'un sol suite à la variation de sa teneur en eau doit, nécessairement, prévoir les éléments suivants :

- 1) la profondeur Z_{max} des fluctuations du paramètre principal (teneur en eau ou succion);
- 2) la variation de la teneur en eau Δw ou de la succion Δu en fonction de la profondeur et du temps dans Z_{max};
- 3) la loi régissant le comportement du sol reliant le paramètre principal de cette loi au changement de volume du sol.

De ces méthodes qui permettent de prévoir le mouvement du sol causé par la variation de la teneur en eau ou de la succion, on peut citer :

- la méthode dite PVR ou Potentiel Vertical Rise (McDowell, 1956);
- la méthode Clod test (Miller et al, 1995),
- les méthodes de succion (McKeen, 1992) ; (Lytton, 1994) ; (PTI, 1996).

La méthode PVR ne prévoit pas Z_{max} ; le Clod test ne prévoit ni max Z, ni la variation de la teneur en eau en fonction de la profondeur. En revanche, les méthodes de succion permettent d'évaluer la profondeur Z_{max}, à base de mesures de profils de succion et de données climatiques ainsi que d'autres observations faites sur site. Ces méthodes prévoient la variation de la succion en fonction de la profondeur.

La loi reliant la variation relative de la hauteur $\frac{\Delta H}{H}$ d'une couche de sol au changement de la succion dans cette couche (McKeen, 1992) est la suivante :

$$\frac{\Delta H}{H} = \gamma_h f \cdot \text{slg} \left(\frac{u_f}{u_i} \right) \tag{1}$$

Avec,

- γ_h : indice de compression de succion,
- f : facteur latéral de contrainte,
- s : coefficient de l'effet de charge,
- u_i : valeur initiale de la succion,
- u_f : valeur finale de la succion.

L'indice γ_h de compression de la succion est déterminé à partir d'une corrélation entre les limites d'Atterberg et le pourcentage d'argile (PTI, 1996) ; (Volflo, 1996) ou à partir des essais au laboratoire tel que le Clod test (Perko et al., 2000). L'avantage de ces méthodes de succion est que la succion est un paramètre fondamental dans l'équation différentielle régissant le mouvement du sol, et que beaucoup de recherches récentes ont été effectuées sur ces méthodes. Leur inconvénient est, par contre, le fait que la succion n'est pas un paramètre facile à obtenir, contrairement à la teneur en eau ; c'est pourquoi les bases de données concernant la succion, disponibles dans les bureaux d'études pour les besoins de géotechnique, sont très limitées et l'équation (1) n'est appliquée que pour les valeurs limites de succion.

4.2 Méthode de la teneur en eau

Cette méthode proposée par (Briaud, J.L et al. 2003) a pour objectif d'estimer le mouvement du sol qui gonfle et se contracte suite aux variations de la teneur en eau. La teneur en eau est le paramètre principal de loi qui gouverne le mouvement du sol et l'essai de retrait est suggéré pour établir la relation entre la teneur en eau et la variation de volume (déformation) induite. Il faudra, cependant, déterminer la variation de la teneur en eau et la profondeur des variations de cette teneur en eau. Cette méthode nécessite, donc de déterminer :

- La loi reliant la teneur en eau au mouvement du sol;
- Un modèle de prévision des variations de la teneur en eau qui tient compte de la profondeur Zmax des fluctuations de cette teneur en eau et de la variation Δw de la teneur en eau en fonction de la profondeur et du temps dans Zmax. La méthode de teneur en eau avec essai de retrait a été développée pour résoudre les inconvénients des méthodes énumérées précédemment. Le procédé « étape par étape » ou « step by step » de cette méthode est décrit dans la figure 2. Chaque étape est discutée en détail.

Ces étapes sont les suivantes :

- 1) détermination de la profondeur Zmax des fluctuations de teneur en eau et subdivision de cette profondeur en nombre approprié de n couches ; hi est l'épaisseur de la couche i ;
- 2) prélever les échantillons du site dans la profondeur Zmax ;
- 3) effectuer des essais de retrait sur ces échantillons et pour chaque échantillon déterminer le module de retrait / gonflement Ew et le rapport de retrait f :
 - Ew est la pente de la courbe de la teneur en eau en fonction de la déformation volumique du sol,
 - f est le rapport de la déformation verticale sur la déformation volumétrique ;
- 4) déterminer la variation de la teneur en eau Δw en fonction de la profondeur dans Zmax ;
- 5) Pour chaque couche i de hauteur hi dont la variation de teneur en eau est Δwi ; calculer le retrait ou le gonflement Δhi de cette couche en employant la formule suivante:

$$\Delta h_i = h_i f_i \frac{\Delta w_i}{E_{w_i}} \quad (2)$$

6) calculer le retrait/gonflement Δh à la surface du sol comme suit :

$$\Delta h = \sum_{i=1}^n (h_i f_i \frac{\Delta w_i}{E_{w_i}}) \quad (3)$$

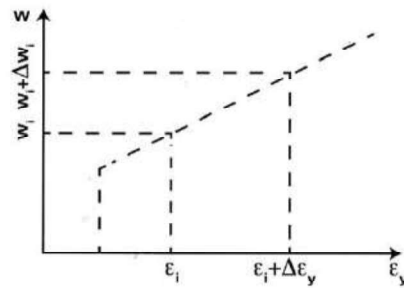


Figure 2 : Méthode de la teneur en eau et de l'essai de retrait (Briaud et Zhang, 2003).

4.2.1 Base théorique de la méthode

La méthode de teneur en eau est basée, fondamentalement, sur le fait que la teneur en eau est directement liée à la succion par la courbe caractéristique du sol. Et puisque la succion est liée au changement de volume, il est évident que la teneur en eau est aussi en rapport avec le changement de volume. Par conséquent, l'utilisation de la teneur en eau comme paramètre principal de la loi régissant le mouvement du sol est aussi bien appropriée que l'utilisation de la succion. Dans la méthode basée sur la succion, l'équation différentielle qui gouverne la variation de l'humidité dans le sol est définie en termes de succion par l'équation de Richards:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(u) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + 1 \right) \right) = \rho_d C(u) \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4)$$

K(u) : coefficient de conductivité hydraulique pour les sols non saturés, qui est une fonction de la matrice de succion u.

C(u) : capacité spécifique de l'eau, qui est aussi la pente de la courbe caractéristique :

ρd : densité sèche du sol.

Le rapport entre la succion et la teneur en eau peut s'exprimer comme suit :

$$u = g(w) \quad (5)$$

Par substitution de l'équation (5) dans l'équation (4), on peut tirer l'équation différentielle de la variation de l'humidité en terme de teneur en eau :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K(w)g'(w) \frac{dw}{dx} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K(w)g'(w) \frac{dw}{dy} \right) + 1 = \rho_d \frac{dw}{dt} \quad (6)$$

où $g = \frac{du}{dw}$

L'équation (4) et l'équation (6) peuvent être considérées comme deux formes de l'équation de Richards (Swartzendruber, 1969). Aussi, de la même manière, les conditions aux limites peuvent être considérées en termes de teneur en eau. La loi basée sur la succion est tirée du taux de l'indice des vides e en fonction de la succion u :

$$e=h(u) \tag{7}$$

L'indice de compression de succion Δh est donné par la courbe définie par l'équation (7). Par substitution de l'équation (5) dans l'équation (7), on peut obtenir :

$$e= h(u) = h(g(w)) = f(w) \tag{8}$$

Le module de retrait/gonflement E_w peut être obtenu à partir de la courbe définie par l'équation (8). En fait, le taux d'indice des vides en fonction de la teneur en eau peut être obtenu, directement, de l'essai de retrait. En clair, on peut dire que la méthode basée sur la succion et la méthode basée sur la teneur en eau ont toutes les deux la même base théorique. Elles peuvent être donc interchangeables.

4.2.2 Variation de la teneur en eau en fonction du temps et de la profondeur

Il n'existe pas de méthode reconnue de prévision des variations réelles de la teneur en eau en fonction de la profondeur. Il n'existe pas assez de données sur la succion.

Il est plus facile donc d'établir des bases de données de la teneur en eau, pour une formation géologique particulière et un site particulier, en fonction de la profondeur et des conditions climatiques (voir figure 3). Les mesures effectuées doivent être enregistrées en notant la date de prélèvement, la profondeur de prélèvement, la teneur en eau et des informations additionnelles, parfois nécessaires, telles que les limites d'Atterberg et le poids volumique.

Cela permet de représenter la variation de la teneur en eau en fonction du temps à une profondeur donnée pour chaque endroit (sol) étudié.

Une simulation numérique peut aussi donner une solution de la variation de la teneur en eau en fonction du temps et de l'espace. Elle peut être obtenue directement en résolvant l'équation différentielle (6) ou l'équation différentielle (4) (Volfo Manual, 1996). Dans ce cas, il est souhaitable que les deux méthodes (succion et teneur en eau) donnent les mêmes résultats.

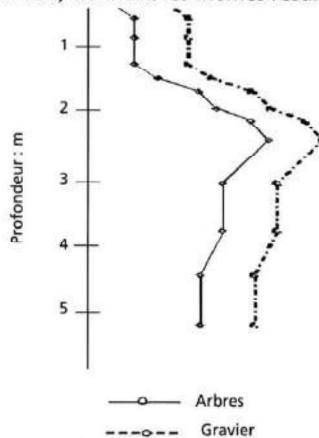


Figure 3 : Variation de la teneur en eau observée, en Afrique du Sud (Bruijn, 1965) vers la fin de la saison humide dans un profil de sol argileux sous des surfaces variables.

4.2.3 Application aux sols naturels

La méthode de teneur en eau est appliquée, en effectuant l'essai de retrait sur des échantillons naturels et intacts. Les propriétés du sol sont présentées dans le tableau 2. Les échantillons ont été prélevés par le LCPT (Laboratoire Central des Travaux Publics de Tizi Ouzou, Algérie), dans le cadre de ses activités, pour les besoins d'étude de sols de fondations d'ouvrages. Ils proviennent du site de Tizi Rached (Tizi Ouzou). Une série d'essais est effectuée pour examiner l'effet de la teneur en eau initiale sur le retrait.

Les paramètres à déterminer sont le module de retrait/gonflement E_w , le rapport de retrait f et la limite de retrait w_r .

Tableau 2 : Propriétés du sol naturel étudié.

Argile	γ_s (t/m ³)	S_r	n	w_L (%)	w_p (%)	I_p (%)
Site Tizi Rached (Tizi Ouzou)	2,75	0,96	0,43	64,50	30,00	34,50

4.2.4 Essai de retrait

L'essai de retrait est réalisé conformément à la norme française NF P 94-060-2 (mesure de la variation volumique d'une éprouvette cylindrique par immersion dans un bain de mercure, au fur et à mesure de son séchage progressif).

L'objectif de cet essai est d'obtenir la loi de comportement du sol, reliant la teneur en eau aux déformations, ce qui nous permet de quantifier les variations dimensionnelles du sol, entre l'état de teneur en eau initiale, aux déformations, à un état de dessiccation donné. (Voir l'équation 2).

On rappelle que :

$$E_w = \frac{\Delta w}{\Delta V/V_0}$$

$$f = \frac{\Delta H/H_0}{\Delta V/V_0}$$

$\Delta w = (w_0 - w)$; w_0 est la teneur initiale correspondant à l'origine des changements de volume et w est la teneur en eau correspondant à la déformation volumique mesurée.

Pour étudier l'influence de la teneur en eau initiale sur le retrait, neuf essais ont été effectués sur des échantillons prélevés du site de (Tizi Rached -Tizi Ouzou) : cinq échantillons (E1, E2, E3 E4, et E5) dont la teneur en eau initiale w_0 est de 26,42 % et quatre autres échantillons (E6, E7, E8 et E9) prélevés du même site, avec une teneur en eau initiale w_0 égale à 20,55 %.

Deux types de courbes ont été tracées :

- Des courbes montrant l'évolution de la teneur en eau w en fonction de la variation de volume Δv , qui permettent de déterminer le module de retrait/gonflement E_w ;
- Des courbes présentant l'évolution de la hauteur H en fonction de la variation de volume Δv , qui permettent

de déterminer le rapport de retrait f .
Les résultats de ces essais sont montrés sur les figures 4 à 7 et synthétisés dans le tableau 3.

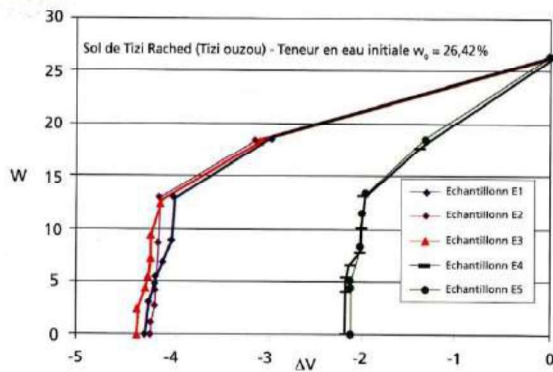


Figure 4 : Influence de la teneur en eau initiale sur les résultats de l'essai de retrait.
Variation de la teneur en eau w en fonction de la variation de volume ΔV

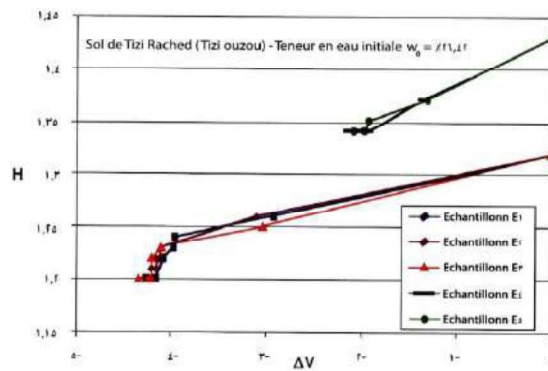


Figure 5 : Influence de la teneur en eau initiale sur les résultats de l'essai de retrait.
Evaluation de la hauteur H en fonction de la variation de volume ΔV .

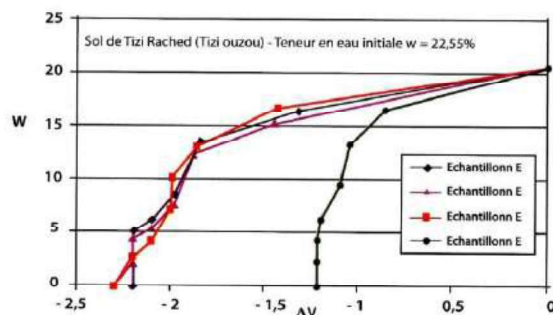


Figure 6 : Influence de la teneur en eau initiale sur les résultats de l'essai de retrait.
Variation de la teneur en eau w en fonction de la variation de volume ΔV .

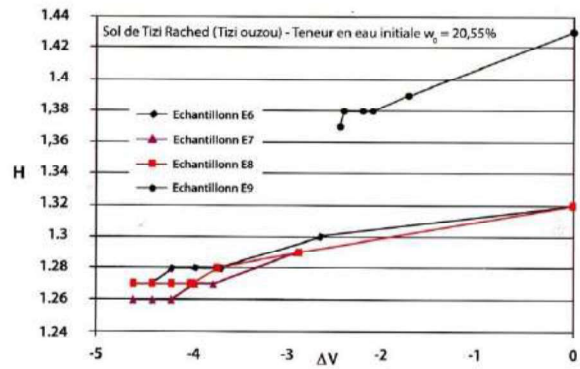


Figure 7 : Influence de la teneur en eau initiale sur les résultats de l'essai de retrait.
Évaluation de la hauteur H en fonction de la variation de volume ΔV .

Argile de (Tizi Rached, Tizi Ouzou)						
Echantillon	V_0 (cm ³)	H_0 (cm)	w_0 (%)	w_s (%)	f	E_w
E1	20,60	1,32	26,42	13,01	0,31	0,69
E2	20,60	1,32	26,42	13,06	0,34	0,67
E3	20,60	1,32	26,42	12,68	0,38	0,68
E4	10,16	1,43	26,42	13,11	0,33	0,69
E5	10,16	1,43	26,42	13,43	0,33	0,68
E6	20,60	1,32	20,55	13,48	0,34	0,84
E7	20,60	1,32	20,55	12,30	0,41	0,89
E8	20,60	1,32	20,55	13,06	0,33	0,83
E9	10,16	1,43	20,55	13,27	0,33	0,70

Tableau 3 : Influence de la teneur en eau initiale. Résultats de l'essai de retrait sur l'argile de (Tizi Rached, Tizi Ouzou).

4.2.5 Résultats et commentaires

La première partie des courbes illustrées dans les figures 4 et 6 est bien approchée par une ligne droite jusqu'à ce que la limite de retrait w_s soit atteinte et alors la courbe dévie de cette ligne droite. La teneur en eau où la déviation a eu lieu est la limite de retrait w_s . Cette limite est différente de la limite de retrait d'Atterberg déterminée à base d'échantillons remaniés. La pente de cette ligne droite représente le module de retrait/

gonflement E_w utilisé dans l'équation 9. Les résultats obtenus des essais montrent que la teneur en eau initiale n'affecte pas la limite de retrait w_s . Les valeurs moyennes de la limite de retrait w_s sont respectivement 13,06 et 13,03 pour $w_0 = 26,42\%$ et $w_0 = 20,55\%$. En fait, la limite de retrait w_s est une valeur intrinsèque du sol.

Par ailleurs, la valeur du rapport de retrait f , définie dans l'équation (10), peut être obtenue directement dans l'essai puisque des mesures de hauteur et de volume sont enregistrées.

Le tableau 3 rassemble les résultats des essais effectués, il montre que la valeur de f varie de 0,31 à 0,41. La valeur moyenne du rapport de retrait f est de 0,34 pour la teneur en eau initiale $w_0 = 26,42\%$ et de 0,35 pour $w_0 = 20,55\%$. On voit bien que la valeur de f n'est pas trop affectée par la teneur en eau initiale. Si bien que, en considérant le même retrait dans toutes les directions (c'est-à-dire que $\Delta V/V_0 = 2 (\Delta D/D_0) + (\Delta H/H_0) = 2(\Delta H/H_0) + (\Delta H/H_0) = 3 (\Delta H/H_0)$), la valeur du rapport f correspond à 0,33. Par conséquent, on peut prendre, par défaut, une valeur de f égale à 0,33 voisine des valeurs trouvées sur les échantillons testés.

En revanche, on constate que les valeurs du paramètre E_w sont différentes. En effet, pour la teneur en eau initiale de 26,42 %, on aboutit à une valeur moyenne du module de retrait/gonflement E_w de 0,68 et à 0,81 pour la teneur en eau initiale de 20,55 %. Ce qui montre que le module de retrait E_w dépend de la teneur en eau initiale du sol et ce, indépendamment des dimensions de l'échantillon. Alors, la valeur du module de retrait/gonflement E_w à considérer devrait être celle qui correspond à l'état initial du sol au moment de la construction de la fondation sur site. Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus par (Briaud, J.L et al., 2003) qui ont montré que l'erreur peut atteindre jusqu'à 20%, si l'on ne tient pas compte de la teneur en eau initiale.

5. Conclusion

Les méthodes d'identification des sols argileux à l'échelle microscopique sont longues et coûteuses.

Il est plus intéressant de procéder par les mesures de leurs paramètres géotechniques pour pouvoir obtenir, rapidement, une première estimation de leur potentiel de retrait/gonflement. Nous avons vu que l'utilisation de modèles mathématiques offre cette possibilité et permet de caractériser la sensibilité des sols et leur prédisposition au retrait/gonflement.

Néanmoins, la mesure directe de retrait ou gonflement des sols en laboratoire est la façon la plus précise pour évaluer les risques associés au comportement des sols argileux sensibles sous les constructions. La méthode de teneur en eau pour les prévisions de retrait/gonflement des sols présentée par Briaud et Zhang en 2003 est très commode, elle permet d'évaluer de manière quantitative les déformations des sols et, par voie de conséquence, mieux appréhender le phénomène de retrait/gonflement, afin de réduire les aléas et adapter les fondations d'ouvrages, dans le cas de sécheresse, notamment. Elle utilise la teneur en eau comme paramètre principal de la loi de comportement du sol et l'essai de retrait pour obtenir cette loi.

L'essai de retrait produit une courbe de variation de la teneur en eau en fonction de la variation de volume qui est approchée par une ligne droite, dont la pente est le module de retrait/gonflement E_w . Son application aux sols naturels a donné des résultats satisfaisants.

Ils indiquent que la teneur en eau initiale a une influence sur leur retrait/gonflement.

Toutefois, ces résultats restent prévisionnels. Il serait, alors, souhaitable d'envisager de procéder aux essais sur site pour les valider.

Ce travail pourrait être ainsi approfondi et complété par des essais in situ, dans lesquels des socles en béton seraient construits sur un sol argileux où des échantillons seraient prélevés à différentes profondeurs. Le mouvement vertical de ces socles serait mesuré et enregistré périodiquement et comparé aux prévisions de la méthode de la teneur en eau.

Bibliographie

Blight, G.E. Interaction between the atmosphere and the earth, volume 47, N°4. P.715-767, 1997.

Briaud, J.-L., Zhang, X. 2003., Water content method for movement prediction of swell- shrink soils. Proceedings, International symposium of shallow Foundations. FOUNSUP 2003, vol 2. Magnan(ed). Presse de L'ENPC et LCPC, Paris. P.353-372, 2004

Bultel, F., Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements des tunnels. Thèse, Ecole nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 2001.

Ferreira, N.H., Influence of clay content on the plasticity of soils. 4th regional conference for Africa soil mechanics and foundation engineering, Cape Town, South Africa. p. 261- 266, 1967.

Heidema, P. B., The Bar – Linear Shrinkage Test and the Practical Importance of Bar - Linear as an Identifier of Soils. International conference on soil mechanics, London. p. 44-49, 1957.

Holtz, R.D., et Kovacs, W.D., Introduction à la géotechnique. Edition de l'école polytechnique de Montréal, 1991.

Khemissa, M., et Mekki, L., Détermination des paramètres de gonflement des argiles expansives . 2ieme journée d'étude sur les sols gonflants, JESG02. Université Aboubakr Belkaid, Algérie, Tlemcen, 2002.

Lytton, R.L., Prediction of movement in expansive clays. Proceedings, Settlement 94, Conference held at Texas A&M University, ASCE. Reston, Virginia. USA. Geotechnical Special Publication N°40, Volume 2. P.1827-1845, 1994.

McDowell, C. ,Interrelationships of loads, volume change and layer thickness of soils to the behavior of engineering structures. Highway research Board (Transportation Research Board) Washington, DC. Proceedings, 35 th Annual Meeting, Publications N° 426. P. 754-772, 1956.

McKeen, G.R., A model for predicting expansive soil behavior. Proceedings, 7th international Conference on Expansive soils, Published by Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA, Volume 1. P.1-6, 1992.
Miller, D.J., Durkee, E.B., Chao, K.C., Nelson, J.D., Simplified prediction for expansive soils. Proceedings, First International Conference on Unsaturated Soils. Paris,

A.A. Belkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands. P. 891- 897, 1995.

Mouroux, P., MARGON P., et PINTE, J.P., La construction économique sur sols gonflants. Bureau de recherches géologiques et minières, Manuels et méthodes n°14. p. 6 – 41, 1988.

Parcevaux, P., Etude microscopique et macroscopique du gonflement de sols argileux . Thèse, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 1980.

Perko, H.A., Thomson, R.W., Nelson, J.D., Suction compression index based on clod test results. Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000, Geotechnical Special Publication N°99, ASCE, Reston, Virginia, USA. P.393-408, 2000.

Philliponat, G., Retrait/gonflement des argiles, proposition de méthodologie. Revue Française de géotechnique, 57 :5 – 22, 1991.

PTI., Design and construction of post-tensioned slabs-on-ground, Second Edition. Post Tensioning Institute, Phoenix, Arizona, 1996.

Ranganatham, B. V., et Satyanarayana, B., A rational Method of predicting swelling Potential for Compacted Expansive Clays. International conference on Soil Mechanics, Montréal. Volume 1. p. 92-96, 1965.

Volflo Manual., Manual for a computer program for volume change and flow calculations in expansive soils. Geotechnical Took Kit, inc. Austin, Texas, 1996.