

Identification et prévision du gonflement de quelques sols de la région de Tlemcen (Algérie)

Abdelkader DJEDID
Chargé de cours

Abdelmalek BEKKOUCHE
Maître de conférence

Sidi Mohammed AISSA MAMOUNE
Post-doctorant Géotechnique
Département de Génie civil
Faculté des Sciences de l'ingénieur
Université Abou-Bekr Belkaid, Tlemcen (Algérie)

RÉSUMÉ

Pour les praticiens, comprendre le mécanisme fondamental qui provoque le gonflement des argiles est secondaire. Par contre, soupçonner au préalable le caractère gonflant d'une formation et pouvoir ensuite obtenir rapidement des estimations de la pression et de l'amplitude de gonflement seraient d'un grand intérêt économique puisqu'elles permettent de mieux orienter les reconnaissances et informent les concepteurs sur le type de fondation à adopter.

La recherche présentée dans cet article rentre dans le cadre de l'identification et de la prévision du comportement des sols gonflants. À cet effet, les classifications des sols gonflants disponibles dans la littérature sont passées en revue (et généralement utilisées pour l'identification des sols gonflants). L'application de ces classifications aux sols de la région de Tlemcen montre que ces dernières respectent la tendance générale mais donnent parfois des appréciations contradictoires. Les modèles statistiques utilisés dans la pratique pour obtenir rapidement des estimations de la pression et de l'amplitude de gonflement sont également présentés. Même ajustés, ces modèles fournissent pour les sols testés des valeurs relativement éloignées de celles observées sur des échantillons « intacts ». La recherche de modèles propres à chaque famille d'argile est préférable puisqu'une analyse de régression linéaire multiple sur uniquement quatre-vingt observations a permis d'améliorer considérablement les prévisions.

DOMAINE : *Géotechnique et risques naturels.*

Introduction

Un nombre important d'ouvrages, construits dans la région de Tlemcen (à l'extrême Nord-Ouest de l'Algérie) sur des formations marneuses avant les années 1970, présentent actuellement des signes de dégradations (Bekkouche et *al.*, 1997). Ces dernières, caractérisées par des fissures au niveau de la superstructure, sont dues au phénomène de retrait qui n'a pas été pris en considération lors de la réalisation de ces ouvrages et qui prend de l'ampleur du fait de la sécheresse qui sévit dans la région depuis environ deux décennies.

Se prémunir contre les effets du retrait et du gonflement des argiles suppose que les différents acteurs de la construction disposent des outils nécessaires pour qu'ils puissent :

- > identifier à partir d'essais géotechniques simples les sols potentiellement gonflants ;
- > estimer, dans une première phase, les paramètres caractérisant le gonflement à partir de modèles tenant compte des caractéristiques déterminées par les essais géotechniques courants (Bekkouche et *al.*, 2000c). En général, ce sont la pression et l'amplitude de gonflement qui sont utilisées pour caractériser les sols gonflants ;
- > mesurer ces paramètres dans une seconde phase. On notera ici qu'il existe un nombre important de procédures et qu'à l'heure actuelle, en Algérie, le problème de la normalisation reste posé (Bekkouche et *al.*, 2000a ; et Bekkouche et *al.*, 2000b) ;
- > construire sur ce genre de sol. Dans ce cas, le type de fondations dépend du potentiel de gonflement du matériau et génère souvent des surcoûts importants. À noter que les mesures palliatives concernant l'élimination ou la réduction

tion de la variation de la teneur en eau du sol peuvent réduire considérablement ces surcoûts.

Le présent article traite des deux premiers points, c'est-à-dire l'identification et la prévision. À cet effet, sont présentées les diverses classifications utilisées dans la pratique pour apprécier le caractère gonflant des sols ; celles-ci sont basées sur des paramètres déterminés à partir d'essais géotechniques simples. Une synthèse des modèles statistiques disponibles dans la littérature, qui permettent d'estimer indirectement la pression et l'amplitude de gonflement, est également proposée.

Pour apprécier la fiabilité de ces classifications et de ces modèles, ils ont été appliqués à quelques sols de la région de Tlemcen. Il en ressort que les modèles de prévision ne sont pas tout à fait applicables aux sols de cette région. Même ajustés, l'écart entre les valeurs estimées et celles mesurées reste significatif. Dans le but d'améliorer la fiabilité des modèles, une recherche de paramètres significatifs a été élaborée et de nouveaux modèles ont été proposés. L'utilisation de ces derniers a permis de réduire l'écart entre les valeurs calculées et celles mesurées.

Identification qualitative des sols gonflants

L'identification des sols gonflants peut s'effectuer à l'échelle microscopique, les formes et les assemblages de la structure de ces matériaux étant très particuliers. Seulement, cette reconnaissance est très coûteuse et n'informe pas sur les paramètres mécaniques du retrait-gonflement. Une identification primaire, à partir des résultats d'essais simples, peut présenter un intérêt considérable puisqu'elle permettra de gagner en temps et en coût. En effet, le fait de soupçonner qu'un sol puisse être gonflant dès la campagne de reconnaissance préliminaire permet d'anticiper sur les campagnes de reconnaissance de confirmation en les adaptant à la nature du site.

Classification des sols gonflants

Procéder à une classification convenable des sols gonflants sous-entend que les paramètres géotechniques représentatifs du gonflement sont connus. Toute la difficulté réside dans la définition de ces paramètres. La pratique considère la pression et l'amplitude de gonflement.

La littérature contient un nombre considérable d'approches empiriques qui permettent d'apprécier le potentiel de gonflement des sols. Certains auteurs pensent pouvoir relier ce potentiel à un seul paramètre. Ainsi et comme le montrent les tableaux I, II et III, Altmeyer (1955), Ranganatham et Satyanarayana (1965) et Snethen (1980) (cité par Derriche et *al.*, 1998) proposent des classifications qui donnent respectivement le potentiel de gonflement en fonction de la limite de retrait w_s , de l'indice de retrait I_R et de l'indice de plasticité I_p . L'indice de retrait est défini comme la différence entre la limite de liquidité w_L et la limite de retrait w_s .

Pour des sols contenant entre 8 et 65 % d'argile, Seed et *al.* (1962) (cités par Didier, 1972) proposent la classification donnée dans le tableau IV et qui relie le taux de gonflement ϵ_s à l'indice de plasticité. Le taux de gonflement ϵ_s est défini comme étant le pourcentage de gonflement d'un échantillon d'argile compacté à l'optimum Proctor et soumis à une charge de 7 kPa. Ce taux de gonflement est donné par la relation suivante :

$$\epsilon_s = 1.10^{-5} I_p^{2,24} \quad (1)$$

D'autres auteurs proposent de relier le potentiel de gonflement et/ou de retrait à deux paramètres. On distingue dans cette catégorie les classifications proposées respectivement par le BRE (Royaume-Uni) et par Ghen (1988) (cité par Derriche et *al.*, 1998) et qui sont données dans les tableaux V et VI. La première est basée sur l'indice de plasticité et le pourcentage de la fraction argileuse

TABLEAU I
Potentiel de gonflement
d'après Altmeyer
(1955)

w_s (%)	Potentiel de gonflement
< 10	Fort
10 – 12	Critique
> 12	faible

TABLEAU II
Potentiel de gonflement
d'après Ranganatham et
Satyanarayana (1965)

I_R (%)	Potentiel de gonflement
0 – 20	Faible
20 – 30	Moyen
30 – 60	Fort
> 60	Très fort

TABLEAU III
Potentiel de gonflement
d'après Snethen
(1980)

I_p (%)	Potentiel de gonflement
> 35	Très élevé
22 – 48	Elevé
22 – 32	Moyen
< 18	Faible

TABLEAU IV
Potentiel de gonflement
d'après Seed, Woodward et Lundgren (1962)

Taux de gonflement	ε_s (%)	I_p
Faible	0 – 1,5	0 – 10
Moyen	1,5 – 5	10 – 20
Elevé	5 – 25	20 – 35

(particules dont le diamètre est inférieur à 2 μm). La seconde est fondée sur la limite de liquidité et le pourcentage des particules dont le diamètre est inférieur à 74 micromètres.

Vijayvergiya et Ghazzaly (1973) proposent une classification en fonction de la limite de plasticité w_p et de l'indice de plasticité. Le diagramme de Casagrande est divisé par la ligne A en deux zones (fig. 1a), les sols gonflants se plaçant au-dessus et les sols non gonflants en dessous.

Sur cet abaque sont présentés quelques points correspondant à des échantillons de sol provenant de la région de Tlemcen.

Enfin, d'autres auteurs pensent qu'au moins trois paramètres sont indispensables pour pouvoir apprécier le potentiel de gonflement des sols. La classification de Holtz et Gibbs (1956) (cités par

Didier, 1972) donnée dans le tableau VII et la classification de Holtz, Dakshanamurthy et Raman (1973) (cités par Chen, 1987) donnée dans le tableau VIII rentrent dans cette catégorie. La première donne le potentiel de retrait en fonction du pourcentage de la fraction argileuse, de l'indice de plasticité et de la limite de retrait. La seconde fournit le potentiel de gonflement en fonction de l'indice de plasticité, de la limite de liquidité et de la limite de retrait.

Williams et Donaldson (1980) (cités par Mouroux, 1989) introduisent un facteur complémentaire qui est l'activité. Ce facteur est défini comme le rapport de l'indice de plasticité au pourcentage de la fraction argileuse. L'abaque qu'ils proposent permet d'apprécier le potentiel de gonflement en fonction de l'activité, de la fraction argileuse et de l'indice de plasticité (fig. 1b).

De cette classification, Van-Der-Marwe (TM-Army, 1983) déduit une formule de calcul du gonflement *in situ* en fonction des limites d'Atterberg et de la profondeur de la couche concernée par le gonflement. Cette formule s'écrit :

$$\Delta H = DF\varepsilon_s \quad (2)$$

Dans la relation précédente, ΔH , D et ε_s représentent respectivement le gonflement total en mètre, l'épaisseur de la couche du sol concernée

TABLEAU V
Potentiel de gonflement
d'après le BRE (1980)

I_p (%)	% < 2 μm	Potentiel de gonflement
> 35	> 95	Très élevé
22 – 35	60 – 95	Elevé
18 – 22	30 – 60	Moyen
< 18	< 30	faible

TABLEAU VI
Potentiel de gonflement
d'après Ghen (1988)

% < 74 μm	w_L (%)	Pression de gonflement (6ans) (MPa)	Potentiel de gonflement
> 95	> 60	1	Très élevé
60 – 95	40 – 60	0,25 – 0,5	Elevé
30 – 60	30 – 40	0,15 – 0,25	Moyen
< 30	< 30	< 0,05	Faible

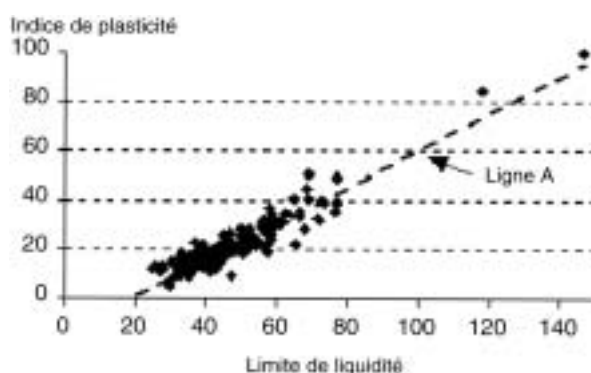
TABLEAU VII
Potentiel de retrait
d'après Holtz et Gibbs (1956)

P < 2 μm (%)	I_p (%)	w_s (%)	U^* (%)	Potentiel de retrait
> 28	> 35	< 10	> 30	Très élevé
20 – 13	25 – 40	7 – 10	20 – 30	Elevé
13 – 23	15 – 30	10 – 15	10 – 30	Moyen

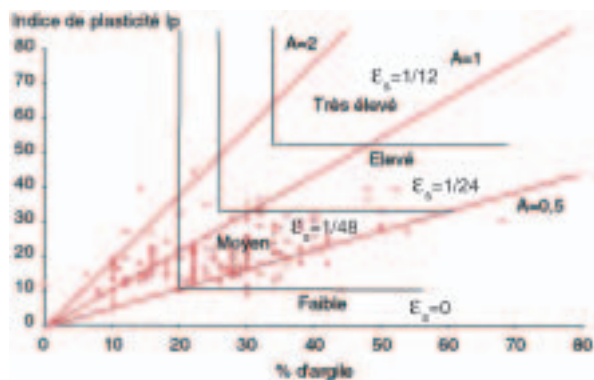
U^* : Pourcentage de retrait.

TABLEAU VIII
Potentiel de gonflement
d'après Holtz, Dakshanamurthy et Raman (1973)

Potentiel de gonflement	I_p (%)	w_s (%)	w_L (%)
Faible	< 18	> 15	20 – 35
Moyen	15 – 25	10 – 15	35 – 50
Fort	25 – 35	7 – 12	50 – 70



a. Selon Vijayvergiya et Ghazzaly (1973).



b. Selon l'abaque de Williams et Donaldson (1980).

Fig. 1 - Classification des sols.

en mètre et le potentiel de gonflement à lire sur l'abaque de la figure 1b. Le facteur F est un facteur réducteur pour les surcharges, il est égal à $10^{-D/6,1}$.

Sur cet abaque sont placés également les points représentatifs des échantillons des sols de la région de Tlemcen.

Application de ces classifications à des sols de la région de Tlemcen

Afin de tester l'efficacité des classifications citées ci-dessus, celles-ci ont été appliquées à des sols gonflants provenant de quelques sites de la région de Tlemcen. La tendance générale de ces classifications est résumée dans le tableau IX.

Parmi les sites indiqués dans le tableau IX, Bab El Assa et Ouled Mimoun sont deux localités distantes respectivement d'environ quatre-vingt kilomètres à l'ouest et vingt kilomètres à l'est de Tlemcen-ville. Par contre, Imama, Chetouane et

Kiffane sont des quartiers de la ville de Tlemcen où les formations marneuses sont prépondérantes (Bekkouche et al., 1994).

Du tableau IX, on peut tirer les remarques suivantes :

- > l'ensemble des classifications ne fournit pas la même appréciation du potentiel de gonflement ou de retrait des sols ;
- > le caractère gonflant des sols examinés apparaît clairement à travers l'ensemble des classifications citées, sauf peut-être pour la classification d'Altmeyer qui semble sous-estimer le potentiel de gonflement des sols ;
- > l'ensemble des sols examinés est fortement gonflant, sauf peut-être celui de Kiffane qui semble avoir un potentiel de gonflement modéré ;
- > les facteurs qui semblent déterminants dans le comportement gonflant des argiles sont : l'indice de plasticité, la fraction argileuse, la valeur de bleu de cette même fraction, la limite de liquidité et la limite de retrait.

TABLEAU IX
Potentiel de gonflement-retrait des sols examinés selon les différentes classifications

Site	Profondeur (m)	Altmeyer (1955)	Seed et al. (1962)	Snethen (1980)	Holtz et al. (1973)	BRE (1980)
Bab El Assa	3,0 à 3,5	Fort	Élevé	Très élevé	Très fort	Élevé à très élevé
Ouled Mimoun	2,5 à 3,0	Faible	Élevé	Moyen	Moyen à fort	Élevé à très élevé
Imama	9,65 à 9,95	Faible	Très élevé	Très élevé	Faible à très fort	Moyen à très élevé
Chetouane 1	9,6 à 9,80	Faible	Élevé	Élevé à très élevé	Fort à très fort	Moyen à élevé
Chetouane 2	9,40 à 9,70	Faible	Élevé	Moyen	Moyen à fort	Élevé
Kiffane	11 à 11,25	Moyen	Faible	Moyen	Faible	Très élevé

Estimation indirecte des paramètres de gonflement des sols gonflants

Dans la phase de reconnaissance préliminaire et une fois le caractère gonflant pressenti, il est possible d'obtenir une estimation des paramètres de gonflement (amplitude et pression) à partir des nombreuses corrélations proposées dans la littérature. Ces expressions empiriques mettent en relation les paramètres de gonflement avec les paramètres géotechniques déterminés à partir des essais d'identification. Bien sûr, il faut se garder d'une utilisation abusive de ces expressions : les valeurs obtenues ne doivent servir que lors des études d'avant-projet sommaire, notamment pour orienter les concepteurs.

Estimation indirecte de la pression de gonflement

À partir d'une étude statistique sur 200 échantillons, David et Komornik (cités par Kabbaj, 1989) ont déduit une relation qui permet d'estimer la pression de gonflement. Ajustée aux argiles de la région de Tlemcen, cette relation s'écrit :

$$\lg p_s = 2,08w_L + 0,006688\gamma_d - 2,69w_n + 0,132 \quad (3)$$

La pression de gonflement p_s est donnée en kPa ; la limite de liquidité w_L et la teneur en eau naturelle w_n sont en chiffre décimal tandis que le poids volumique sec γ_d est en kN/m^3 .

Williams et Donaldson (cités par Mouroux, 1989) ont proposé un modèle qui donne l'amplitude du gonflement en fonction de la charge qui règne dans le sol. Ce modèle s'écrit :

$$\varepsilon_s = \left(7,3 - \frac{399,6}{I_p} - \lg p_s\right) \cdot (0,525 I_p + 4,1 - 0,85w_n) \quad (4)$$

Ainsi, pour une amplitude nulle ($\varepsilon_s = 0$), la pression de gonflement sera donnée par

$$\lg p_s = 7,3 - \frac{399,6}{I_p} \quad (5)$$

Dans les deux relations précédentes, l'indice de plasticité I_p et la teneur en eau naturelle w_n sont en pourcent alors que la pression de gonflement p_s est exprimée en kPa.

En se basant sur les résultats de 270 essais de gonflement réalisés sur divers sols, Vijayvergiya et Ghazzaly ont proposé deux modèles qui permettent d'obtenir la pression de gonflement.

Ces modèles ajustés à nos argiles s'écrivent respectivement :

$$\lg p_s = \frac{1}{12}(0,4w_L - w_n + 23,6) \quad (6)$$

$$\lg p_s = \frac{1}{19,5}(6,242\gamma_d + 0,65w_L - 100) \quad (7)$$

Dans ces modèles, la pression de gonflement p_s est donnée en kPa, le poids volumique sec γ_d en kN/m^3 , la limite de liquidité w_L et la teneur en eau naturelle w_n sont en chiffre décimal.

Estimation indirecte de l'amplitude de gonflement

Pour l'amplitude de gonflement, les modèles donnent généralement le gonflement libre. Le modèle proposé par O'Neil et Ghazzaly s'écrit :

$$\varepsilon_s = 2,77 + 0,131w_L - 0,27w_n \quad (8)$$

tandis que le modèle proposé par Johnson et Snethen s'écrit :

$$\lg \varepsilon_s = 0,036w_L - 0,0833w_n + 0,458 \quad (9)$$

Dans les deux relations précédentes, ε_s est le gonflement libre en pourcent ; w_L et w_n s'expriment en chiffre décimal.

Toujours sur la base des résultats de 270 essais de gonflement, Vijayvergiya et Ghazzaly ont établi les corrélations suivantes :

$$\lg \varepsilon_s = \frac{1}{12}(0,4w_L - w_n + 5,5) \quad (10)$$

$$\lg \varepsilon_s = \frac{1}{19,5}(6,242\gamma_d + 0,65w_L - 130,5) \quad (11)$$

où γ_d est en kN/m^3 , w_L et w_n sont en chiffre décimal et ε_s en pourcent.

Le gonflement libre, obtenu à partir des modèles ci-dessus, peut être réduit dans le cas où le sol serait soumis à une pression de confinement σ_v à l'aide de la formule suivante proposée par Gogoll (cité par Attwell et al., 1984) :

$$\varepsilon'_s = \varepsilon_s(1 - 0,0735\sqrt{\sigma_v}) \quad (12)$$

où σ_v est la contrainte de confinement exprimée en kPa.

Ajustement des modèles pour les argiles étudiées

Compte tenu de l'écart constaté entre les valeurs des paramètres de gonflement directement mesurées et celles fournies par les modèles précédents, une première idée a consisté à ajuster ces modèles

(Bekkouche et *al.*, 2000c). Une analyse statistique a été réalisée. L'examen des résultats de cet ajustement, regroupés dans le tableau X, fait ressortir les remarques suivantes :

- les modèles de Seed et *al.* (1962) ne tiennent pas compte de la teneur en eau naturelle qui, à notre avis, reste un paramètre déterminant dans le processus de gonflement. Ces modèles n'utilisent que des paramètres interdépendants (la teneur en argile, l'activité et l'indice de plasticité) ;
- le modèle de Nayak et Christensen et le modèle de Vijayvergiya et Ghazzaly ne peuvent être utilisés pour des valeurs élevées de la teneur en argile, de la teneur en eau naturelle et de la limite de liquidité. Le premier modèle est basé sur des paramètres interdépendants, quant au second il ne tient pas compte de la teneur en eau naturelle ;
- les modèles de Johnson prédisent globalement des pourcentages de gonflement dans les limites couramment observées en pratique.

Proposition de modèles pour les argiles étudiées

Les résultats de l'ajustement montrent que, pour les argiles étudiées, seul le modèle de Johnson semble être applicable, ceci dans un domaine limité entre 0,2 et 0,4 MPa. Donc, même ajustés, la plupart des modèles restent imparfaits dans leurs prévisions (Bekkouche et *al.*, 2000c).

Une étude statistique sur les données disponibles dans la région de Tlemcen a été effectuée pour rechercher des modèles adaptés à ces sols. On donne les modèles jugés performants pour l'amplitude du gonflement (tableau XI) et pour la pression de gonflement (tableau XII). Il est à noter que la pression de gonflement calculée est exprimée en kPa.

Dans les relations ci-dessus, A, C, Z, w_n , w_s , w_L , γ_d , I_p et T_{Ca} représentent respectivement l'activité, la teneur en argile (en pourcent), la profondeur (en m), la teneur en eau naturelle (en pourcent), la limite de retrait (en pourcent), la

TABLEAU X
Résultats d'ajustement des modèles de gonflement

N°	Modèles	Expression mathématique
1	Seed et <i>al.</i> 1	$\epsilon_s = 0,1670877 \cdot A \cdot C + 0,8221577$
2	Seed et <i>al.</i> 2	$\epsilon_s = 0,1823723 \cdot I_p + 0,4559623$
3	Vijayvergiya et Ghazzaly 1	$\lg \epsilon_s = 1/19,5 (28,742805 \cdot \gamma_d + 0,22238775 \cdot w_L - 48,4704675)$
4	Vijayvergiya et Ghazzaly 2	$\lg \epsilon_s = 1/12 (0,0964896 \cdot w_L - 0,08028 \cdot w_n + 3,0697752)$
5	Johnson	$\epsilon_s = -0,0215153 I_p - 2,671464 \cdot Z - 0,8565674 \cdot w_n + 0,0023009 \cdot w_n \cdot I_p + 0,056402 \cdot Z \cdot I_p + 28,49721$
6	Nayak et Christensen	$\epsilon_s = 0,0761548 \cdot I_p \cdot C / w_n - 0,222854$
7	David et Komornik	$\lg p_s = 0,0079182 \cdot w_L + 0,6342451 \cdot \gamma_d - 0,00161536 \cdot w_n + 1,1328183$
8	Vijayvergiya et Ghazzaly 1	$\lg p_s = 1/12 (0,0651096 \cdot w_L - 0,1512264 \cdot w_n + 26,8704696)$
9	Vijayvergiya et Ghazzaly 2	$\lg p_s = 1/19,5 (23,28378 \cdot \gamma_d + 0,15710565 \cdot w_L - 3,5600565)$

TABLEAU XI
Modèles proposés pour l'amplitude de gonflement

N°	Expressions mathématiques	Domaine de validité
1	$\lg \epsilon_s = -0,008 \cdot Z + 0,27 \cdot A - 0,02 \cdot T_{Ca} + 0,016 \cdot S_r - 0,16$	ϵ_s de 0 à 12 %
2	$\lg \epsilon_s = -0,1 \cdot Z + 1,06 \cdot A + 0,22 \cdot \gamma_d - 0,04 \cdot w_n + 0,82$	ϵ_s de 0 à 15 %

TABLEAU XII
Modèles proposés pour la pression de gonflement

N°	Expressions mathématiques	Domaine de validité
1	$\lg p_s = 0,01 \cdot I_p + 1,26 \cdot \gamma_d - 0,008 \cdot w_n - 0,1 \cdot M - 0,179$	p_s de 0 à 600 kPa
2	$\lg p_s = -0,001 \cdot w_n \cdot I_p + 0,024 \cdot w_L + 0,1 \cdot M + 1,287$	p_s de 0 à 400 kPa
3	$\lg p_s = 0,006 \cdot I_p + 1,21 \cdot \gamma_d - 0,013 \cdot w_s + 0,11 \cdot M + 0,03$	p_s de 0 à 600 kPa

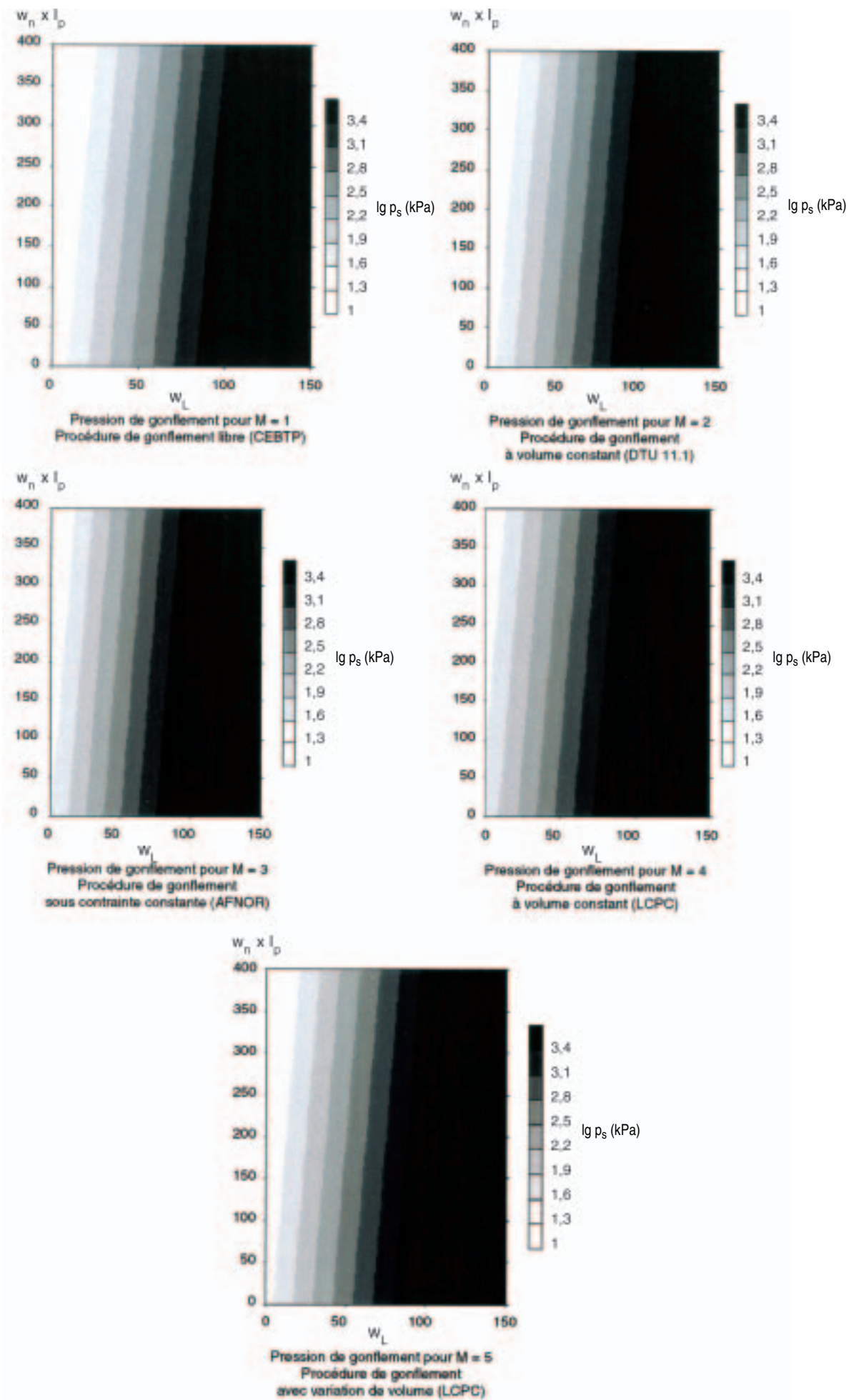


Fig. 2 - Abaque d'estimation de la pression de gonflement p_s pour le modèle numéro 2.

limite de liquidité (en pourcent), le poids volumique sec (en kN/m^3), l'indice de plasticité et la teneur en carbonate de calcium (en pourcent). Le paramètre M est un facteur qui caractérise le poids de la procédure utilisée pour mesurer le paramètre en question. Ce paramètre est égal à 1 pour la procédure du gonflement libre, à 2 pour la procédure du gonflement à volume constant (DTU 11.1), à 3 pour la procédure du gonflement sous contrainte constante (AFNOR), à 4 pour la procédure du gonflement à volume constant (LCPC) et à 5 pour la procédure avec variation de volume (LCPC).

Pour la pression de gonflement, les modèles proposés semblent être représentatifs puisque les valeurs obtenues sont assez voisines de celles mesurées directement. Ils peuvent donc servir pour obtenir des valeurs approchées de la pression de gonflement de sites dont les propriétés physiques sont comparables.

Pour l'amplitude du gonflement, les résultats des modèles restent discutables à cause des écarts constatés entre les mesures directes et les calculs. Ces écarts peuvent avoir comme origine le type de chargement (soit le piston seul, soit le piston et le poids des terres).

Afin de faciliter l'utilisation de ces modèles, une représentation sous forme d'abaque est possible. À titre d'exemple, la figure 2 représente sous forme d'abaque le modèle numéro 2. Ce modèle donne le logarithme décimal de la pression de gonflement en fonction de la limite de liquidité, du produit de la teneur en eau naturelle par l'indice de plasticité et du facteur M qui caractérise le poids de la procédure.

Conclusion

Pour les sols gonflants, les praticiens ne s'intéressent qu'aux grandeurs mesurables qui sont généralement la pression et l'amplitude de gonflement. Ces valeurs les guident dans le choix du système de fondation.

Soupçonner préalablement le potentiel de gonflement d'un site avant les essais mécaniques permettrait de mieux orienter la phase de reconnaissance et informerait les concepteurs sur le mode de fondation à prescrire. C'est avec cet objectif qu'ont été proposées les différentes classifications qualitatives citées dans cet article. Il est conseillé d'utiliser les classifications se basant sur plus d'un paramètre. Les paramètres déterminés par les essais d'identification et considérés comme les plus déterminants dans le comportement gonflant des argiles sont l'indice de plasticité, le pourcentage des particules argileuses, la valeur d'essai au bleu de méthylène et la limite de retrait.

Sachant aussi que les essais de mesure des paramètres de gonflement sont longs et coûteux, il serait très intéressant de pouvoir obtenir rapidement une première estimation de ces paramètres. L'utilisation des modèles mathématiques offre cette possibilité. Seulement, et comme il a été montré dans cette recherche, les modèles proposés dans la littérature ne sont pas utilisables pour n'importe quelle famille d'argile puisque, même ajustés aux argiles de la région de Tlemcen, ces modèles n'ont fourni que des valeurs éloignées des valeurs mesurées. La solution serait de rechercher des modèles propres à chaque famille d'argile.

Cette recherche a montré qu'avec seulement quatre-vingts observations sur les sols de la région, la prévision a été considérablement améliorée. Les valeurs obtenues à l'aide de ces modèles ne doivent jamais faire oublier qu'en phase d'exécution, les mesures directes deviennent incontournables. L'utilisation des modèles peut réduire le nombre de mesures à effectuer.

Signalons enfin le grand intérêt que peut présenter l'établissement des cartes géotechniques au fur et à mesure que les reconnaissances d'une région donnée progressent. Ces cartes permettent, par recoupement de l'information, d'anticiper sur la phase de reconnaissance primaire.

- ALTMeyer W.T. (1955), Disc. On rep. 516, Proc. ASCE, **85**.
- ATTWELL P.B.B., TAYLOR R.K. (1984), *Ground movements and their effects on structure*, Surrey University Press, Blackie & son Ltd, First Published, London, Angleterre.
- BEKKOUICHE A., DJEDID A., AISSA MAMOUNE S.M. (2001), *Identification des sols expansifs*, Séminaire national de génie civil 2001, Sidi Bel-Abbes, Algérie.
- BEKKOUICHE A., DJEDID A., AISSA MAMOUNE S.M. (2000a), *An experimental investigation on the assessment of the swelling parameters*, IV. International Congress, Eastern Mediterranean University, Gazimagusa, North Cyprus, **Vol. 2**, pp. 627-633.
- BEKKOUICHE A., DJEDID A., AISSA MAMOUNE S.M. (2000b), *Mesures directes des paramètres du gonflement*, Séminaire national de génie civil 2000, Mostaganem, Algérie.
- BEKKOUICHE A., DJEDID A., AISSA MAMOUNE S.M. (2000c), *Prévision du gonflement des sols argileux*, Conférence internationale de GEOENGINEERING, USTHB Alger, Algérie.
- BEKKOUICHE A., DJEDID A., BOUSMAHA N. (1999), *Aspects expansifs des marnes de Tlemcen*, 1^{er} Séminaire national de géotechnique et génie civil, USTHB, Alger, Algérie.
- BEKKOUICHE A., DJEDID A., BOUSMAHA N. (1997), *Construire sur les sols expansifs*, Séminaire national de génie civil, M'Sila, Algérie.
- BEKKOUICHE A., BENYELLES Z. (1994), *Aspects géotechniques dans l'aménagement et l'urbanisme du groupement Chetouane, Tlemcen et Mansourah*, Rapport d'expertise, Agence nationale d'aménagement du territoire, Tlemcen.
- CHEN F.H. (1973), *The basic physical property of expansive soils*, 3rd Int. Conf. on Expansive Soils, Haïfa, pp. 17-26.
- CHEN F.H., MA G.S. (1987), *Swelling and shrinking behavior of expansive clays*, 6th Int. Conf. on Expansive Soils, New Delhi, pp. 127-129.
- DERRICHE. Z., KEBAILI.M. (1998), *Prévision du gonflement des argiles d'In-Aménas*, *Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, **218**, novembre-décembre, pp. 15-23.
- DIDIER G. (1972), *Gonflement cristallin et macroscopique des montmorillonites*, Thèse pour l'obtention du titre de Docteur-Ingénieur, Université Claude Bernard, France.
- GIROUD J.-P., BOTTERO A. (1972), *Influence des propriétés physico-chimiques des argiles monominérales sur leur comportement mécanique*, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, novembre - décembre, **62**.
- KABBAJ M.M. (1989), *Sols gonflants : Mesure des propriétés en laboratoire*, Symposium international de mécanique des sols, Tiaret, Algérie.
- MOUROUX P., MARGON. P., PINTE J.-C. (1989), *La construction économique sur les sols gonflants*, *Manuels et méthodes*, **14**, BRGM, France.
- TM-ARMY (1983), *Foundations in expansive soils*, Publications of the Headquarters United States Army Corps of Engineers, TM 5-818-7 0098 CEMP, USA.
- VIJAYVERGIYA V.N., GHAZZALY O.I. (1973), *Prediction of swelling potential for natural clays*, 3rd Int. Conf. on Expansive Soils, Haïfa, pp. 227-236.

ABSTRACT

Identification and prediction of the swelling behaviour of some soils from the Tlemcen region of Algeria

A. DJEDID, A. BEKKOUICHE, S.M.A. MAMOUNE

It is of secondary importance to engineers to understand the fundamental mechanism which leads to the swelling of clays. However, considerable economic benefits would accrue from being able to suspect that a particular formation might be expansive at an early stage of a project as estimates of the swelling pressure and the magnitude of swelling could be obtained rapidly and such estimates lead to more appropriate surveys and inform engineers about the type of foundation to employ.

The research described in this paper concerns the identification of expansive soils and the prediction of their swelling behaviour. The classifications of expansive soils given in the literature (and generally used to identify expansive soils) are reviewed. When applied to the soils of the Tlemcen region, while broadly valid, these classifications occasionally provide contradictory results. The statistical models which are used in practice to obtain rapid estimates of swelling pressure and the magnitude of swelling are also presented. Even once fitted to the tested soils, these models output values which are fairly far from those observed in the case of undisturbed samples. It is better to attempt to find specific models for each type of clay, as we have been able to improve forecasting to considerably by applying multiple linear regression analysis to just eighty observations.