

INFLUENCE DE LA NATURE CHIMIQUE DES EAUX SUR LE GONFLEMENT DES ARGILES D'IN AMENAS

KEBAÏLI NABIL, ZENKHRI ABDERRAZAK, BELFERRAG ALLOÛA

Université KASDI MERBAH, Ouargla, Algérie, e-mail: nabil_fr2000@yahoo.fr

Laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides (EVRNZA).

RÉSUMÉ

Les sols gonflants sont rencontrés presque partout dans le monde. L'Algérie n'en est pas dépourvue et plusieurs régions telles que In Amenas, Tlemcen, M'ila, Mostaganem, In Salah, ... sont touchées par ce phénomène.

L'estimation du potentiel de gonflement des sols expansifs, mesurable par le biais de procédures expérimentales directes (essais œdométriques) souvent difficiles, longs et coûteux, peut être évalué par des techniques indirectes inspirées des essais d'identification. Ces derniers, bien que tributaires des sols investigués, constituent de bons indices pratiques, rapides et économiques.

Parmi les essais d'identification les plus représentatifs des sols fins, l'essai de consistances ou essai de limites d'Atterberg est le meilleur essai permettant de prédire le comportement mécanique des argiles en présence d'eau.

La présente communication a pour objectif d'évaluer l'influence de la nature chimique de l'eau d'inondation sur le gonflement des argiles de la région d'In Amenas par le biais de mesure des paramètres de plasticité (limite de liquidité et limite de plasticité) vue que la plasticité et le potentiel de gonflement varient dans le même sens.

A l'issue de la présente étude, de nombreux aspects jugés importants sont soulignés.

MOTS-CLÉS : *Argile gonflante, Limites d'Atterberg, Plasticité, Gonflement, Concentration.*

ABSTRACT

The expansive soils are encountered almost everywhere in the world. The Algeria is not spared and several regions such as In Amenas, Tlemcen, M'ila, Mostaganem, In Salah ... are affected by this phenomenon.

The estimation of swelling potential of expansive soils, measurable through direct experimental procedures (oedometer test) often difficult, long and expensive, can be evaluated by indirect techniques based on identification tests. The latter, although dependent of soil investigated, are good indicators, convenient, fast and economical.

Among the identification tests which are most representative of fine soils, the consistencies tests or Atterberg limits test is the best test to predict the mechanical behavior of clays in the presence of water.

This communication aims to evaluate the influence of the chemical nature of the water on the swelling of clays in the region of In Amenas through measurement of parameters of consistency (liquid limit and plastic limit) view that the plasticity and swelling potential vary in the same direction.

At the end of achieved study, numerous appreciable aspects are underlined.

KEYWORDS: *Swelling clay, Atterberg Limits Plasticity, Swelling, and Concentration.*

1. Introduction

Le gonflement de quelques types de sols est la cause de nombreux dommages causés aux structures de génie civil: soulèvement de bâtiments, destruction de chaussées, fissurations des ouvrages, ... L'estimation de l'intensité du gonflement du sol est un paramètre clef dans le dimensionnement et la conception des ouvrages. En effet, seront considérées les dispositions constructives selon l'amplitude évaluée du gonflement.

La quantification du potentiel de gonflement des sols peut se faire soit par des méthodes directes ou indirectes.

Les techniques expérimentales directes, de mesure du potentiel de gonflement, sont souvent dépendantes de l'approche d'investigation. Les résultats qui en découlent sont parfois incomparables, ces méthodes, bien que pragmatiques, présentent l'inconvénient de la lourdeur des moyens requis pour leur mise en œuvre.

La simplicité et signification physique des méthodes indirectes d'évaluation du potentiel de gonflement basées sur des indices tels que fraction argileuse, surface spécifique, densité sèche, teneur en eau, ... ont incité à leur développement technique et analytique.

La prise en compte de la plasticité d'un sol expansif exprimée au moyen des limites d'Atterberg, en parallèle avec le pourcentage de gonflement, montre des possibilités de relation entre ces deux paramètres. Le degré d'expansivité de même que les limites d'Atterberg étant sensibles à la nature de l'eau utilisée dans l'essai, la présente publication constitue une approche à l'étude de l'influence des cations Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ se trouvant dans l'eau sur la plasticité des argiles d'In Amenas (INAS), le but ultime est de parvenir à réduire le gonflement par diminution de leur plasticité.

2. Limites d'Atterberg et gonflement des argiles

Nombreuses sont les nomenclatures relatives aux argiles. Plusieurs auteurs ont tenté de donner une définition plus ou moins globale au terme «argiles» mais celle-ci est restée souvent liée à un aspect spécifique: granulométrique, minéralogique, comportemental. Dans ce qui suit, on adopte la définition donnée par Giroud et Bottero, 1972.

«Un sol argileux est un sol dont le comportement mécanique est essentiellement fonction des propriétés physico-chimiques de ses particules».

De nombreux auteurs ont relié le potentiel de gonflement des sols expansifs aux limites d'Atterberg ou à des grandeurs dérivées, telles que l'indice de plasticité (IP) et l'indice de retrait (IR). La plasticité, estimée par l'essai aux limites, est caractérisée par le fait qu'une argile peut être déformée de façon permanente sous volume constant sans affecter sa

cohésion interne, tandis que le potentiel de gonflement désigne à la fois le pourcentage de gonflement et la pression de gonflement.

Les tableaux ci-dessous présentent des avis de plusieurs auteurs relatifs aux corrélations entre les caractéristiques de consistance du sol et le potentiel de gonflement selon un ordre chronologique.

- Altmeyer (1955) établit une première relation entre le potentiel de gonflement et la limite de retrait (W_p) stipulant que le premier diminue lorsque la seconde augmente (tableau 1).

W_p (%)	Potentiel de gonflement
< 10	Fort
10 - 12	Critique
> 12	Faible

Tableau 1 : Relation entre le potentiel de gonflement et W_p (selon Altmeyer, 1955)

- Holtz et Gibs (1956) affirment que l'indice de plasticité et la limite de liquidité permettent d'estimer les caractéristiques de gonflement de la plupart des argiles.
- Woodward et Lundgren (1957) attestent que seul l'indice de plasticité peut être un indice préliminaire du caractère gonflant de plusieurs types d'argiles. Ces auteurs établissent une formule empirique permettant d'évaluer le potentiel de gonflement:

$$S = 60 \cdot K \cdot (I_p)^{2,44}$$

S : % de gonflement

K : constante

- Salas et Serratos (1957) mettent en relation la variation de volume du sol et sa limite de retrait (tableau 2). Cette classification englobe celle d'Altmeyer avec un élément d'information supplémentaire : le gonflement probable

Limite de Retrait W_p	Gonflement probable (%)	Variation de Volume
< 10	> 1,5	Critique
10 - 12	0,5 - 1,5	Moyennement faible
> 12	< 0,5	Négligeable

Tableau 2 : Relation entre le gonflement et la limite de retrait (d'après Salas et Serratos, 1957)

- Ranganathan et Saranarayan (1965) estiment le potentiel de gonflement à partir de l'indice de retrait pour des sols naturels compactés à l'OPM (tableau 3). Le potentiel de gonflement croît avec l'indice de retrait, ce qui est vraisemblable en considération de la définition de la limite de retrait.

$$I_R = W_L - W_p \quad (\%)$$

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

Tableau 3 : Classification du gonflement (selon Ranganathan et Saranarayan 1965)

- Dakshnamurthy et Raman (1973), en s'inspirant du diagramme de plasticité de Casagrande (1948), établissent une classification du gonflement en six niveaux (tableau 4).

W_L (%)	Taux de gonflement
0 - 20	Non gonflant
20 - 35	Faible
35 - 50	Moyen
50 - 70	Elevé
70 - 90	Très élevé
> 90	Extrêmement élevé

Tableau 4 : Classification du gonflement (selon Dakshnamurthy et Raman, 1973)

L'augmentation du taux de gonflement avec la limite de liquidité est logique car une grande limite de liquidité signifie une grande absorption d'eau. Notons qu'une grande limite de liquidité ne peut être possible qu'en présence d'un sol fin à très fin.

- Sneath et al (1977) proposent (tableau 5) le rapport de plasticité ($R_p = I_p/W_p$) comme critère qualitatif du taux de gonflement.

R_p (%)	Gonflement (%)	Classification
< 0,6	< 3	Faible
0,6 - 1,0	3 - 10	Moyen
1,0 - 2,0	10 - 50	Elevé
> 3,0	> 50	Très élevé

Tableau 5 : Critères qualitatifs du taux de gonflement (selon Sneath et al 1977)

- Sneath et al (1977) classifient le potentiel de gonflement en fonction de la limite de liquidité et l'indice de plasticité (tableau 6). Le potentiel de gonflement augmente avec W_L et avec I_p .

W_L (%)	I_p (%)	Potentiel de gonflement
20 - 49	15 - 24	Faible à moyen
50 - 70	24 - 46	Elevé
> 70	> 46	Très élevé

Tableau 6 : Classification du potentiel de gonflement (d'après Sneath et al 1977)

- Selon Sanglerat et Costet (1981), le gonflement d'une argile est fonction de l'indice de plasticité (I_p). Le tableau 7 présente la classification de ces auteurs. D'après ce tableau, l'indice de plasticité

et le potentiel de gonflement varient dans le même sens. Le potentiel le plus élevé correspond à I_p le plus grand. Les frontières proposées par ces auteurs sont les résultats d'essais sur des sols analysés. Leur généralisation à tous les sols gonflants ne semble pas évidente.

I_p (%)	Potentiel de gonflement
0 - 10	Faible
10 - 25	Moyen
25 - 55	Elevé
> 55	Très élevé

Tableau 7 : Classification du gonflement selon l'indice de plasticité (d'après Sanglerat et Costet, 1981)

- Sanglerat (1981) propose une autre classification du gonflement du sol suivant la pression de gonflement de celui-ci (tableau 8). Ce dernier montre que l'amplitude de gonflement augmente avec la pression de gonflement. Notons que la définition de cette dernière n'est pas très bien définie.

σ (bar)	0,5	1,5 - 2,5	2,5 - 5	> 10
Type de gonflement	Faible	Moyen	Fort	Très fort

Tableau 8 : Types de gonflement (d'après Sanglerat, 1981)

- Mouroux et al, (1988) relient le potentiel de gonflement à l'indice de plasticité comme montré dans le tableau 9, celui-ci ressemble au tableau 8 proposé par Sanglerat et Costet (1980) avec de légères différences au niveau des intervalles de l'indice de plasticité.

I_p (%)	Gonflement (%)	Classification
0 - 10	0 - 1,5	Faible
10 - 20	1,5 - 5,0	Moyen
20 - 35	5,0 - 25	Elevé
> 35	> 25	Très élevé

Tableau 9 : Evaluation du gonflement selon l'indice de plasticité (d'après Mouroux et al 1988)

D'après les tableaux 1 à 9, il existe une forte liaison reliant le gonflement aux limites d'Atterberg notamment avec l'indice de plasticité. En effet, une argile gonflante possède toujours des indices de plasticité importants.

3. Caractérisation et classification des argiles testées

La région d'In Aménas est localisée au Sud-Est Algérien, à 1600 Km d'Alger. Elle est limitée par la longitude 8°45' et 9°85' Est et par la latitude 27°80' et 28°30' Nord. La ville s'étend sur 25 000 km² environ, elle est réputée pour ses puits et installations pétroliers.

Le climat étant désertique, les précipitations sont rares et inférieures à 30 mm/an.

Les argiles d'INAS testées sont friables, rougeâtres à légèrement sombres. Ce sont des argiles surconsolidées souvent fissurées (fig.1). Les prélèvements ont été effectués, en période estivale, sur la tranche superficielle (0 à 2,0m). Les résultats des essais de caractérisation géotechniques sont regroupés dans le tableau 10

		min.	max.	moyn.
Teneur en eau (%) NFP 98-230		2,67	2,93	2,88
Poids volumique (kN/m ³) NFP 94-064	Sec	18,6	18,8	18,7
	humide	19,1	19,4	19,2
Limites d'Atterberg NFP 94-051	W _L	27,58	35,8	30,30
	W _p	08,57	18,4	13,21
	I _p	15,63	22,3	18,09
Analyse Chimique Sommaire (%)	Silicates	84,19	86,2	85,19
	Sulfates	0,07	0,05	0,03
	Carbonates	1,25	1,33	1,30
	Chlorures	0,04	0,06	0,05

Tableau 10: Résultats des essais de laboratoire



Figure 1 : Photo d'échantillons d'INAS

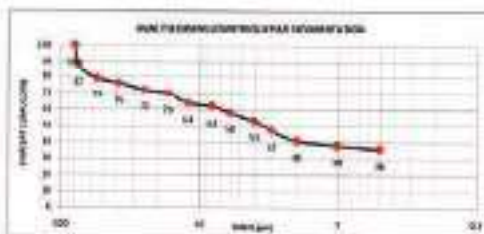


Figure 2 : Courbe granulométrique moyenne des échantillons d'INAS

Les résultats des différents essais réalisés sur les échantillons d'INAS montrent que :

- constitution : 30% (sable fin) + 30% (limon) + 40% (argiles),
- teneurs en eau faibles (<3%) reflétant l'état de sécheresse où se trouvent ces sols,
- dominance des silicates, sous forme de silice (> 85%) avec faibles teneurs en sulfates et en chlorures,

- WL: 27<WL<36, Ip: 15<IP<22. Par référence au diagramme de Casagrande, ceux-ci sont classés comme argiles minérales de moyenne plasticité,

Compte tenu des résultats obtenus, les échantillons d'INAS testés sont :

- à plasticité élevée, selon Atterberg;
- de moyenne plasticité, selon Burmister;
- à potentiel de gonflement moyen, d'après Sanglerat et Coste;
- à potentiel de gonflement faible à moyen, suivant Snenen et al.

4. Solutions d'hydratation

4.1. Aspect chimique des eaux d'inondation

Des prélèvements d'eau sont effectués juste à l'arrivé du château de distribution d'eau potable d'INAS. Les analyses ont été réalisées au Centre de Recherche et Développement CRD à Hassi Messaoud. Les résultats obtenus montrent que les teneurs en Calcium (Ca) et Magnésium (Mg) sont dominantes (tableau 11).

	Concentration (mg/l)			
	[Ca]	[Mg]	[K]	[Na]
eau d'INAS	243,29	186,05	32,0	22,0
eau distillée*	< 0,36	< 0,13	00	< 3,80

* eau distillée en laboratoire provenant de l'eau de Hassi Messaoud.

Tableau 11 : Composition chimique de l'eau d'In. Anassas

4.2. Préparation des solutions d'hydratation

Des solutions hydratantes à base d'éléments Magnésium (Mg), Calcium (Ca), Sodium (Na) et Potassium (K) sont préparées pour servir aux essais de limites envisagés. Les concentrations des solutions d'essais sont fixées selon un système ordonné de combinaisons en éléments de base (Mg, Ca, Na et K), ceux-ci sont obtenues en associant respectivement chaque valeur extrême (min. ou max.) d'un élément à chaque valeur extrême (min. ou max.) des autres éléments. Le tableau 12 expose les concentrations minimale et maximale de chaque élément de base.

Concentration	[Mg]	[Ca]	[Na]	[K]
minimale (mg/l)	40	125	210	15
maximale (mg/l)	80	250	420	30

Tableau 12 : Concentration moyenne min. et max. des éléments de base

Les concentrations min. et max. reportées sur le tableau 12 sont choisies sur la base de l'analyse chimique des eaux prélevées au niveau de la localité d'étude. Les concentrations des solutions en éléments de base (Ca, Mg, K, Na) sont modifiées volontairement pour étudier leur influence sur les limites d'Atterberg.

Le tableau 13 indique la composition chimique de chaque solution préparée par combinaison à partir des quatre éléments de base.

N° Solution	Concent. en éléments (mg/l)			
	Mg	Ca	Na	K
01	40	125	210	15
02	80	125	210	15
03	40	250	210	15
04	80	250	210	15
05	40	125	420	15
06	80	125	420	15
07	40	250	420	15
08	80	250	420	15
09	40	125	210	30
10	80	125	210	30
11	40	250	210	30
12	80	250	210	30
13	40	125	420	30
14	80	125	420	30
15	40	250	420	30
16	80	250	420	30

Tableau 13 : Combinaisons des concentrations des solutions d'hydratation

5. Résultats et interprétations

5. 1. Résultats obtenus

Dans ce qui suit, seront exposés les résultats des essais aux limites d'Atterberg réalisés sur les échantillons de sols d'INAS. L'essai étant repris chaque fois avec l'une des solutions ioniques préparées. Une analyse numérique des résultats obtenus est entreprise dans l'objectif de mettre en évidence l'importance des cations échangeables pour les paramètres étudiés.

Les résultats numériques obtenus sur les limites d'Atterberg en fonction des différentes solutions préparées sont exposés graphiquement sur la figure 3 relative à la limite de liquidité, figure 4 pour la limite de plasticité et la figure 5 pour la variation de l'indice de plasticité.

5. 2. Interprétation des résultats

Limites de liquidité

D'après la figure 3, les résultats relatifs aux limites de liquidité sont situés au-dessus de celle relative à l'eau distillée (solution 0), ce qui implique une déformabilité réduite du sol. La réduction de la déformabilité du sol favorise la stabilité de ce dernier au gonflement. Cette observation est en relation avec le pouvoir osmotique de l'argile en question. Elle était prévisible

car le pouvoir absorbant de toute substance est plus fort lorsque la solution absorbée est diluée : le sol absorbe plus d'eau distillée que d'eau ionisée. La limite de liquidité du sol en présence d'eau ionisée est donc augmentée.

Mise à part la solution (0), la majorité des résultats sont compris dans l'intervalle [26%, 30%]. La variation absolue de la limite de liquidité est de 3,76%, ce qui représente un taux relativement faible. La limite de liquidité est jugée peu sensible à la composition cationique de la solution hydratante, du moins dans l'intervalle de concentrations considérées.

La similitude des résultats de la limite de liquidité pour la solution 3, 5, 11 et 13 laisse supposer que lorsque le taux de (Mg) est minimum la limite de liquidité augmente. En effet, la concentration [Mg] est de 40 mg/l dans les quatre solutions indiquées. A l'opposé, les résultats des solutions 4, 10, 12 et 16 tendent à soutenir cette hypothèse ; les concentrations initiales de ces solutions en (Mg) sont au niveau maximum.

Les solutions 01 et 07 correspondent aux WL les plus faibles, identifiées comme étant relatives aux faibles et aux fortes teneurs en (Ca) et en (Na). Les solutions 15 et 16, ayant engendrées également des limites de liquidité faibles, correspondent aux solutions ayant les plus fortes concentrations en éléments Ca, Na et K.

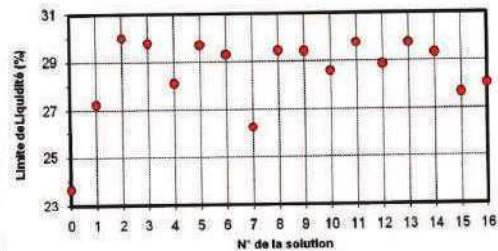


Figure 3 : Evolution de WL selon les différentes solutions

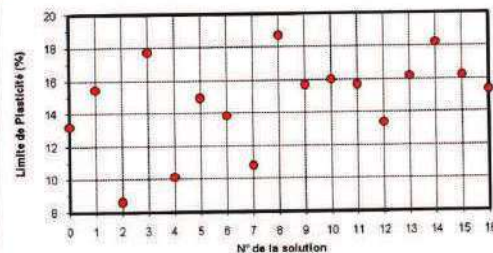


Figure 4 : Evolution de WP selon les différentes solutions

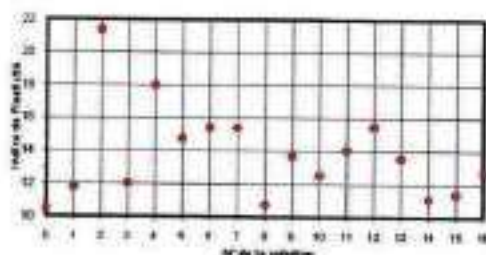


Figure 5 : Evolution de I_p selon les différentes solutions.

Limites de plasticité

Les résultats représentatifs W_p montrent une visible dispersion. Les valeurs extrêmes passent du simple au double. Les résultats obtenus peuvent être interprétés comme suit :

- 56% des résultats sont compris dans la bande [14%, 16%], qui est proche de la limite de plasticité de la solution neutre.
- Les résultats max. enregistrés pour les solutions 3, 8 et 14 ne semblent pas avoir de paramètres communs. De même, les résultats min. en 2, 4 et 7 ne présentent aucun aspect de similitude dans les compositions des solutions. Ceci laisse supposer l'une des deux alternatives :
 - les effets des éléments de base sont mutuellement interactifs;
 - la limite de plasticité est peu dépendante des concentrations en éléments de base utilisés.

Indices de plasticité

Comme celles des limites de plasticité, les valeurs de l'indice de plasticité sont assez dispersées du fait de la dépendance de I_p des deux grandeurs (W_L et W_P).

Un pic de I_p est observé pour la solution 2. A l'opposé, les solutions 1, 3, 8, 14 et 15 présentent des valeurs visiblement basses de l'indice de plasticité. Compte tenu des différentes combinaisons ioniques des solutions, l'élément responsable de la réduction de la limite de liquidité au droit des solutions précitées reste ambigu.

6. Conclusion

A la fin de cet exposé, il s'avère qu'un nombre important de points peuvent être énumérés.

En premier lieu, une dépendance qualitative a été montrée, comme d'ailleurs exposée dans les travaux bibliographiques consultés, la plasticité de l'argile d'In Amenas est sensiblement influencée par la nature chimique de l'eau comme montré à travers les essais réalisés, cette influence se résume comme suite :

• Limites de liquidité

- W_L atteint 14% pour les solutions a concentrations élevées en Na et K;
- le potassium possède une influence nette sur W_L ;
- l'augmentation de Mg n'a pas d'effet significatif sur W_L .

• Limites de plasticité

- la variation de W_p peut atteindre $\pm 20\%$ selon la solution ajoutée;
- W_p augmente lorsque Ca augmente et Na diminue simultanément.

• Indices de plasticité

- l'écart absolu entre les résultats de I_p est d'environ 11%;
- l'écart relatif atteint 100% entre les indices de plasticité;
- la diminution de K fait augmenter I_p .

A l'issue de la présente étude et au vu des résultats peu concluants, quelques éléments d'interprétation peuvent être recherchés dans d'autres paramètres tels que la composition minéralogique de l'argile d'In Amenas ou le temps nécessaire d'interaction de celle-ci avec les solutions hydratantes.

D'autre part, l'augmentation dans la base de données, par la multiplication des essais, ainsi qu'une approche statistique adéquate sont recommandées pour toute approche visant à trouver des corrélations entre l'aspect chimique des eaux et le potentiel de gonflement.

7. Bibliographie

A. L. Hafsi, Contribution à la modélisation numérique et expérimentale du gonflement des argiles non saturées, application aux argiles d'In Aménas et de Touggourt, Thèse de magister ENTP, Alger, 1996.

F.H. Chen, « Foundations on expansive soils » Editions ELSIVIER 198

G. Sanglerat, J. Costel (1983). «Cours pratiques de mécanique des sols », tome 1 et 2, 3ème. Editions DUNOD.

Journées d'étude sur les sols gonflants de la région d'In-Aménas, (JESGLIA), Université Kasdi Merbah Ouargla, 29-30 Octobre 2002

M. Kebaili (1990), « Mise en oeuvre et interprétation des essais standard A.S.T.M sur les argiles gonflantes » Thèse d'Ingénieur USTHB, Alger.

M. Kebaili (1993), «Evaluation de technique de prédiction du gonflement des argiles expansives», Thèse de magister E.N.P, Alger.

M. Tass (1992), «Influence des procédures expérimentales sur la précision du gonflement .thèse de magister ENTP .ALGER

N. Kebaili (2006), «Etude des argiles d'In Aménas et de Hassi Mcssaoud en relation avec leur limites de consistances » Thèse de magister, université Kasdi Merbah Ouargla.

S. Azam, N. Sahel, « Effects of calcium sulfate on swelling potential of an expansive clay » geotechnical testing journal vol , 23, N°4 December 2000 pp 389-403 (1995)