

INFLUENCE DE LA NATURE CHIMIQUE DES EAUX SUR LE GONFLEMENT DES ARGILES

Kebaïli Nabil

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'sila, Mostaghanem, In salah, ... sont touchées par ce phénomène.

L'estimation du potentiel de gonflement des sols expansifs, mesurable au biais de procédures expérimentales directes (essais oedométriques) 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 de l'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'sila, Mostaghanem, 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 civiles: 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 Aménas (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 «argile» 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 (I_p) et l'indice de retrait (I_R). 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.

3- CARACTERISATION ET CLASSIFICATION DES ARGILES TESTEES

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



Fig.1. Photo d'échantillons d'INAS

Tableau .1. Résultats des essais de laboratoire

		min.	max	moy.
Teneur en eau (%) NFP 98-250		2,67	2,93	2,88
Poids volumique (kN/m ³)	Sec	18,6	18,8	18,7
	humide	19,1	19,4	19,2
Limites d'Atterberg	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	Silicates	84,10	86,2	85,10
	Sulfates	0,02	0,05	0,03
	Carbonates	1,25	1,33	1,30
	Chlorures	0,04	0,06	0,05

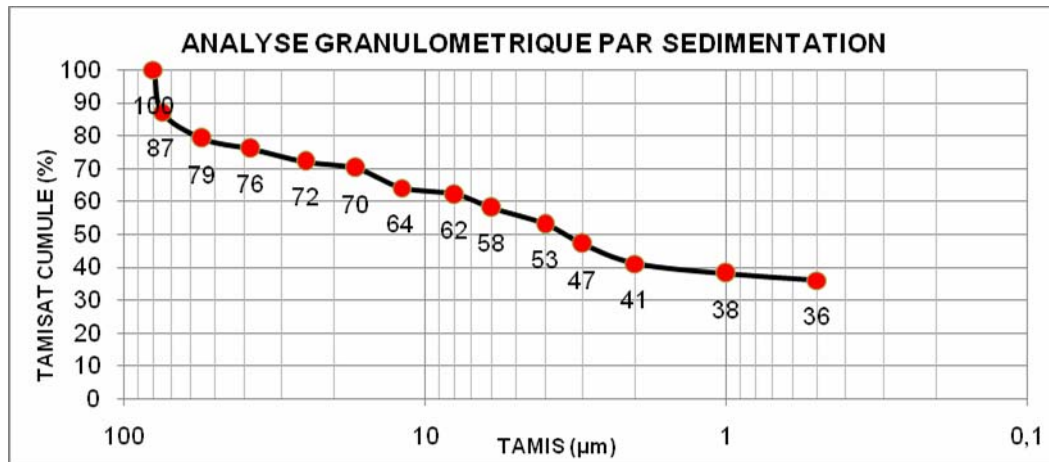


Fig.2. Courbe granulométrique moyenne des échantillons d'INAS testés

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 ($\approx 3\%$) reflétant l'état de sécheresse dont se trouvent ces sols,
- dominance des silicates, sous forme de silice ($> 85\%$) avec faibles teneurs en sulfates et en chlorures,
- W_L : $27 < W_L < 36$, I_p : $15 < I_p < 22$. 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 Costet,
- à potentiel de gonflement faible à moyen, suivant Sneten et al.

4- SOLUTIONS D'HYDRATATION

Des prélèvements d'eau sont effectués juste à l'amont du château de distribution d'eaux potables 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 (voir tableau 11).

Tableau 2: Composition chimique de l'eau d'In amenas

	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

* l'eau distillée en bouteille provenant de l'usine de Ghardaïa.

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.

Tableau.3. Concentration moyenne min. et max. des éléments de base

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

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 modifiés 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.

Tableau .4. Combinaisons des concentrations des solutions d'hydratation

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

5- RESULTATS ET INTERPRETATIONS

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 des limites d'Atterberg relativement aux 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 W_L 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.

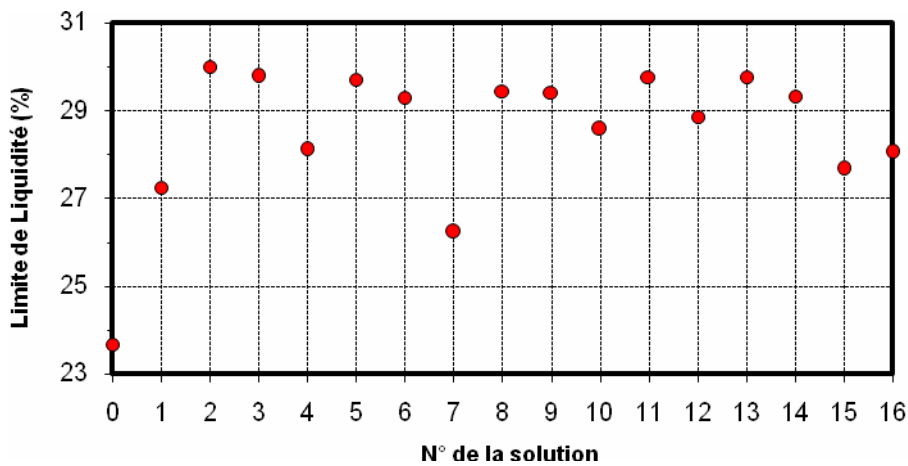


Fig.3. Evolution de W_L selon les différentes solutions

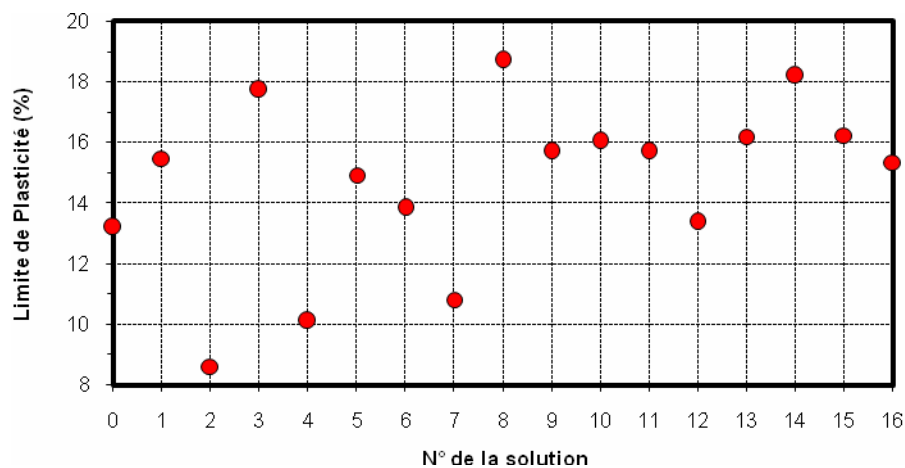


Fig.4. Evolution de W_P selon les différentes solutions

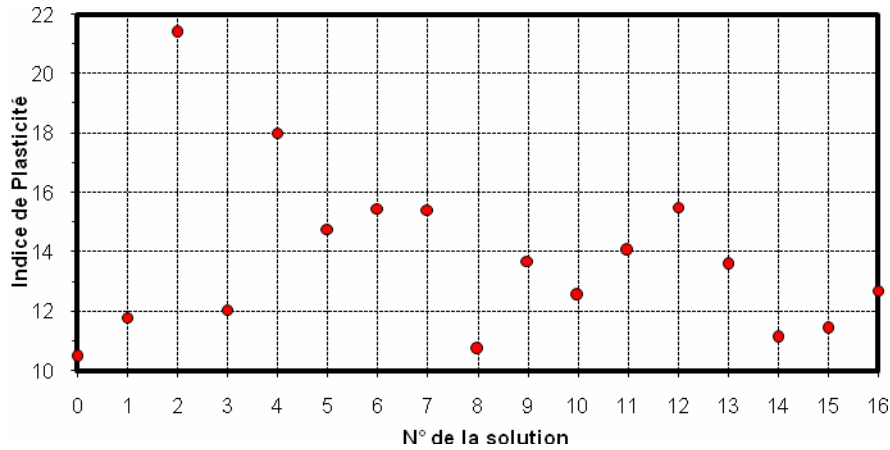


Fig.5. Evolution de Ip selon les différentes solutions

❖ 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 l' 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A. L. Hafsi, Contribution à la modélisation numérique et expérimentale du gonflement des argiles non saturées, application aux argiles d'In amenas 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, 3^{ème}. 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. Kebaïli (1990) « Mise en oeuvre et interprétation des essais standard A.S.T.M sur les argiles gonflantes » Thèse d'Ingénieur USTHB, Alger.

M. Kebaïli (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. Kebaïli (2006) «Etude des argiles d'In amenas et de Hassi messoud 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)