

Identification des sols affaissables basée sur les limites d'Atterberg

Tahar AYADAT
Maître de conférences à l'Université de M'sila
Salim OUALI
Ingénieur en Génie civil

Cette note technique est une contribution à l'identification empirique des sols affaissables. L'étude propose une classification des sols, soit basée directement sur les limites d'Atterberg, soit en utilisant d'autres paramètres liés à ces limites tels que : l'activité, l'indice de liquidité, l'indice de consistance et l'indice de maniabilité.

1. Introduction

Le mécanicien de sol doit être capable d'identifier correctement les sols qui peuvent s'effondrer et d'indiquer le taux d'affaissement résultant. Parfois, il est concerné par le temps requis pour l'affaissement.

Pour une meilleure évaluation des propriétés des sols susceptibles d'affaissement, différentes méthodes ont été adoptées et établies par plusieurs chercheurs. Ces méthodes peuvent être regroupées en trois grandes familles : méthodes empiriques, méthodes expérimentales et méthodes théoriques.

Les méthodes empiriques consistent à vérifier des critères ou des relations établies en fonction des caractéristiques des sols telles que la densité sèche, la teneur en eau, le degré de saturation, la granulométrie, etc. Cependant, la littérature contient un nombre limité d'approches empiriques, pour évaluer la susceptibilité à l'effondrement, basées sur les limites d'Atterberg [1-3].

L'objectif de cette recherche, effectuée sur 11 sols affaissables, est d'étudier l'influence de la limite de liquidité et de l'indice de plasticité, ainsi que celle de quelques paramètres liés aux limites d'Atterberg (activité, indice de consistance, indice de liquidité et pour la première fois indice de maniabilité), sur le comportement des sols affaissables.

2. Matériaux, matériels et essais

Les essais ont été menés sur 11 sols reconstitués, composés de sable et de particules fines en différentes proportions, pour lesquels l'application des différents critères d'effondrement, rapportés par Ayadat et Belili [4], montrent que ceux-ci sont affaissables.

Les caractéristiques du sable, des particules fines (<80 µm) et des sols reconstitués sont données dans le tableau I.

Le principe consiste à reconstituer et à placer, dans le moule de l'oedomètre, un sol ayant une certaine teneur en eau et une certaine densité sèche. La fabrication des éprouvettes et la procédure d'exécution des essais sont décrites dans Ayadat et Belouahri [5].

Les essais de compressibilité sont effectués selon la procédure de Jennings et Knight [6], sur les différents sols avec une énergie de compactage de 20 coups (8×10^{-3} kJ) et des teneurs en eau de 3 et 6 %.

3. Résultats et analyse

3.1. Mise en évidence de l'effondrement des sols

Les résultats obtenus montrent une tendance manifeste à l'effondrement des différents sols qui correspond, dans la classification de Jennings et Knight [6] à des potentiels CP, classés dans l'ordre pour les sols S_0 jusqu'au sol S_{10} allant de 1,05 à 20,05 %, pour une teneur en eau $w = 3$ %, et allant de 1,33 à 18,5 % pour une teneur en eau $w = 6$ %. Ceci correspond aux rubriques allant de « troubles modérés » à « troubles sévères ou très sévères ».

TABLEAU I Caractéristiques des sols utilisés.

Matériaux	Caractéristiques											
Sable	- Granulométrie comprise entre 0,08 et 2 mm dont 3,0 % inférieures à 0,08 mm - Coefficient d'uniformité de 1,78 - Coefficient de courbure de 0,81 - Équivalent de sable : 71,87 %											
Particules fines (< 80 µm)	- Le pourcentage des particules fines inférieures à 2 µm est de 24,3 % - Limite de liquidité : $w_L = 47,2$ % - Limite de plasticité : $w_p = 29,6$ % - Densité spécifique : $G_s = 2,74$ %											
Sol reconstitué	Notation	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
	% sable	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	% < 80 µm	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	w_L (%)	\	16,5	19,7	21,2	23,4	27,7	32,3	37,0	39,9	47,3	47,7
	w_p (%)	\	15,1	15,6	16,8	19,3	22,6	26,2	28,8	31,4	33,5	35,1

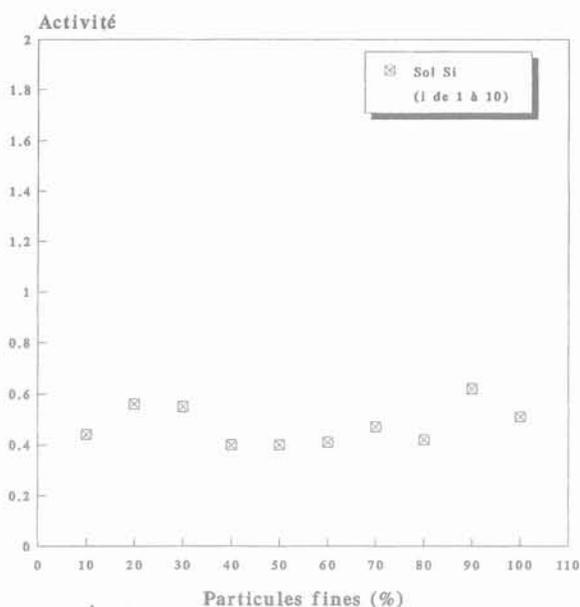


FIG. 1 Variation de l'activité en fonction du pourcentage de particules fines (< 80 µm).

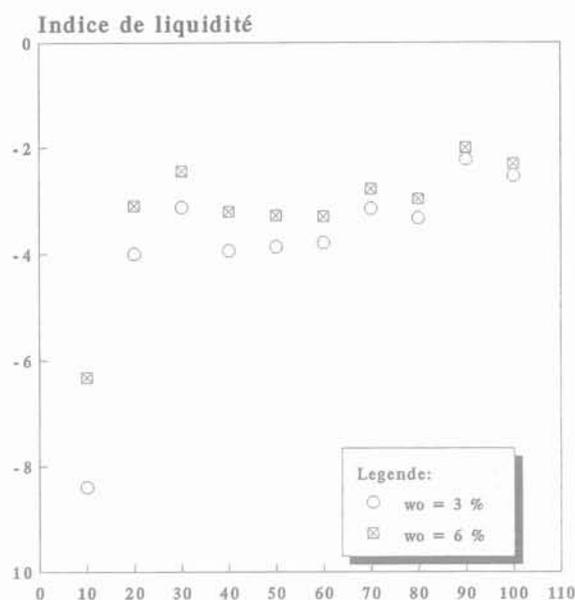


FIG. 2 Variation de l'indice de liquidité en fonction des particules fines (< 80 µm).

3.2. Influence de quelques paramètres, liés aux limites d'Atterberg, sur l'affaissement des sols

3.2.1. Activité

Par définition, l'activité A_c est le rapport de l'indice de plasticité IP à la teneur en argile exprimée en pourcent :

$$A_c = \frac{IP}{\%PF < 2\mu m}$$

Les valeurs de l'activité des différents sols sont représentées dans la figure 1. Il est clair, d'après cette figure, que l'activité des sols affaissables étudiés est toujours inférieure à 1 (A_c < 1). Ce résultat confirme la constatation de Ayadat et Belouahri [5], qui stipulent que la plupart des sols affaissables sont inactifs.

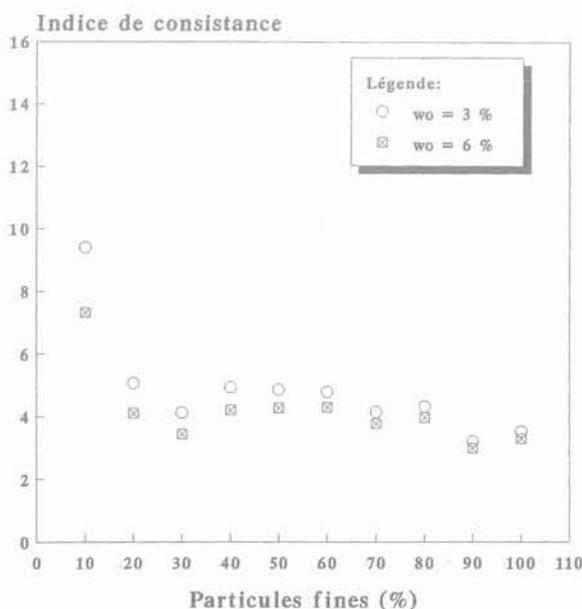


FIG. 3 Variation de l'indice de consistance en fonction du pourcentage de particules fines (< 80 µm).

3.2.2. Indice de liquidité

L'indice de liquidité I_L est donné par la relation :

$$I_L = \frac{W_0 - W_P}{IP}$$

où w₀ : la teneur en eau naturelle ;

w_p : la limite de plasticité.

Les résultats obtenus par cette relation, pour les différents sols aux différentes teneurs en eau, sont représentés dans la figure 2. On note bien qu'un sol est sujet au phénomène de « collapse » (effondrement) si son indice de liquidité est négatif (I_L < 0). Ceci concorde et confirme les travaux de Prikonskij [1].

3.2.3. Indice de consistance

L'indice de consistance est déterminé par la relation :

$$I_c = \frac{W_L - W_0}{IP}$$

avec w_L : limite de liquidité.

En utilisant les résultats du paragraphe précédent (§ 3.2.2) et en écrivant I_c = 1 - I_L, on peut conclure qu'un sol est susceptible d'affaissement si son indice de consistance est supérieur ou égal à 1 (I_c > 1), ce qui est confirmé par la figure 3, représentant les valeurs de cet indice, déterminées par la relation précédente pour les différents sols aux différentes teneurs en eau.

3.2.4. Indice de maniabilité

On définit l'indice de maniabilité I_w comme étant le rapport entre la teneur en eau initial et l'indice de plasticité. Il est exprimé par la relation suivante :

$$I_w = \frac{W_0}{IP}$$

La variation de I_w en fonction du pourcentage de particules fines, pour les différents sols affaissables étudiés, est montrée sur la figure 4. On peut dire que, généralement, un sol est probablement affaissable si son indice de maniabilité est inférieur ou égal à 1 (I_w ≤ 1), surtout s'il a une faible teneur en eau et contient une grande proportion d'argile (un grand pourcentage de particules fines < 2 µm).

Pour vérifier et valider ces résultats, nous avons recensé un certain nombre de sols affaissables connus de différentes régions du monde (tableau II). Il s'avère que la plupart de ces sols sont caractérisés par une activité (A_c < 1), un indice de liquidité (I_L < 0) ou un indice de consistance (I_c > 1) et un indice de maniabilité (I_w ≤ 1).

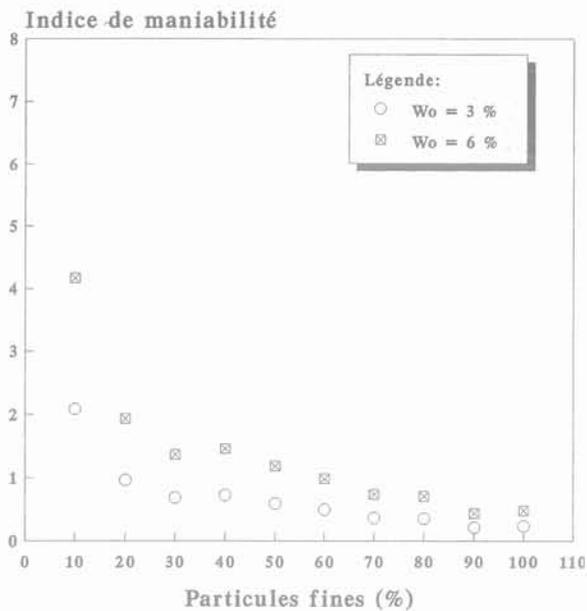


FIG. 4 Variation de l'indice de maniabilité en fonction du pourcentage des particules fines (<math>< 80 \mu\text{m}</math>).

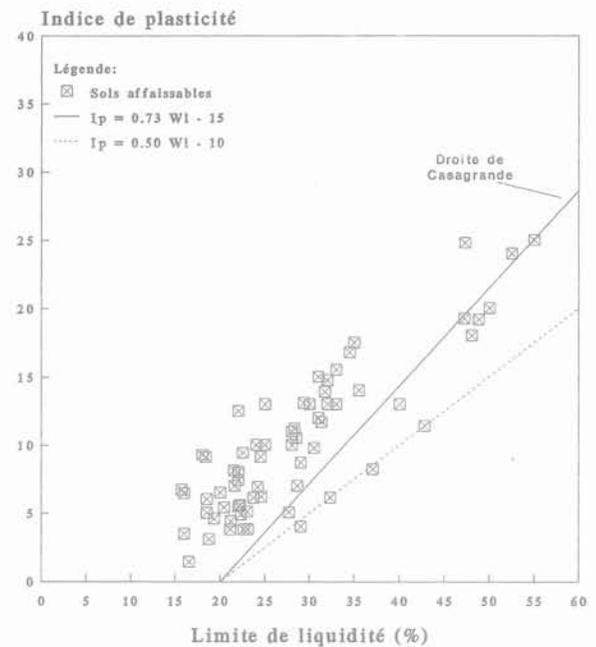


FIG. 5 Variation de IP en fonction de W_L pour différents sols affaissables.

TABLEAU II Quelques exemples des sols affaissables avec leurs caractéristiques.

Références	W_L (%)	W_p (%)	W_0 (%)	% <math>< 2 \mu\text{m}</math>	A_c	I_c	I_L	I_w
Ayadat et Belouahri (1996), RFG n° 76, p. 25-34.	18,5	13,5	2	6,2	0,8	3,3	-2,3	0,4
	16	12,5	2	5,3	0,66	4,0	3,0	0,57
Ayadat et Gherabli (1995), Annales ITBTP, n° 530, p. 34-43.	18,5	13,5	4	5	1,0	2,9	-1,9	0,2
Ayadat, Dahili et H.A. Maiz (1998), à paraître dans la RFG.	18,4	9,3	6	10	0,91	1,36	-0,36	0,66
Ayadat, Belouahri et Ait Ammar (1998), RFG, n° 83.	15,7	9	4	4,17	1,6	1,74	-0,74	0,6
	21,5	13,4	4	7,3	1,1	2,17	-1,17	0,5
	28,5	18	4	10,43	0,96	2,33	-1,33	0,4
Ayadat, Bensalem et Benkerri (1996), RFG, n° 77.	20,4	15,4	2	9,0	0,55	3,68	-2,68	0,4
Ayadat, Benkadja, Mohamadi et Arbouche, remis au Bulletin de Liaison de LPC.	16,5	10,3	4	12,41	1,98	2,0	1,0	0,64
Maswoswe (1985), Ph. D. thesis, Imperial College, London Univ.	25	12	11,1	17	0,76	1,07	-0,07	0,85
Zur et Wieseman (1973), Proc. 8th ICSMFE, Moscow, vol. 2, p. 265-269.	31	16	15	\	\	1,06	-0,06	1,0
Charles, Earles et Burford (1978), Clayfill Inst. of Civil Eng., p. 63-72.	28	17	7	19	0,58	1,91	-0,91	0,63
R.A.A. Soemitro (1994), Thèse de doctorat, École centrale de Paris.	34,5	19,2	6,8	\	\	1,81	-0,81	0,4
			11,9			1,48	-0,48	0,7
Y.M. Abelev et M.Y. Abelev, traduit du russe par J.-P. Magnan (1986), T. et D. Lavoisier, p. 25 et 41.	33	17,5	12,7	14 à 25	0,66 à 1,18	1,30	-0,3	0,77
Ferreira, Pérès et Monteiro (1987), Proc. Int. Geot. Eng. of Soft Soil, Mexico, p. 39-44.	21	13	10	22,2	0,36	1,37	-0,37	1,25

3.3. Influence de la limite de liquidité et l'indice de plasticité sur l'affaissabilité des sols

Dans le domaine de la prévision empirique des sols effondrables, les paramètres précédents ainsi que d'autres liés aux limites d'Atterberg et quelques caractéristiques des sols [1-3], sont très utiles. Cependant, une identification basée seulement sur les limites d'Atterberg, similaire à celle proposée pour les sols gonflants [7, 8], s'avère nécessaire.

Dans ce but, on a étudié la variation de l'indice de plasticité (IP) en fonction de la limite de liquidité pour la plupart des sols affaissables essayés par nous ou mentionnés dans la littérature (Fig. 5). Cette figure montre que la plupart des sols considérés, reconnus affaissables, ont un indice de plasticité $IP \leq 20$ et une limite de liquidité comprise entre $15\% \leq w_L \leq 35\%$. Sachant que l'affaissement est causé par la migration des particules fines à travers la matrice du sol d'un horizon à un autre [9], on peut dire que ces limites ou ces inégalités (tirées de la figure 5) sont confirmées et vérifiées par l'abaque de classification des sols susceptibles à l'érosion (Fig. 6) proposé par US Bureau of Reclamation [10].

On a aussi essayé, dans la figure 5, de proposer une limite séparant les sols affaissables et non affaissables. Cette limite est une droite ayant pour équation :

$$IP = 0,5 w_L - 10$$

Enfin, on peut dire que dans les travaux de génie civil, ces critères sont facilement applicables et avantageux pour identifier les sols effondrables puisqu'ils n'exigent pas d'échantillons non remaniés. Un sol est susceptible à l'effondrement, seulement si son indice $IP \leq 20$ et si sa limite de liquidité est $15\% \leq w_L \leq 35\%$. L'effondrement de ce sol devient très probable si, par exemple, son indice de maniabilité $I_w \leq 1$.

4. Conclusion

Les conclusions principales qu'on peut tirer de cette étude se résument comme suit :

1) Un sol est susceptible à l'effondrement si, au moins, l'un des critères suivants est vérifié :

$$A_c < 1, I_c < 0 \text{ ou } I_c > 1 \text{ et } I_w \leq 1.$$

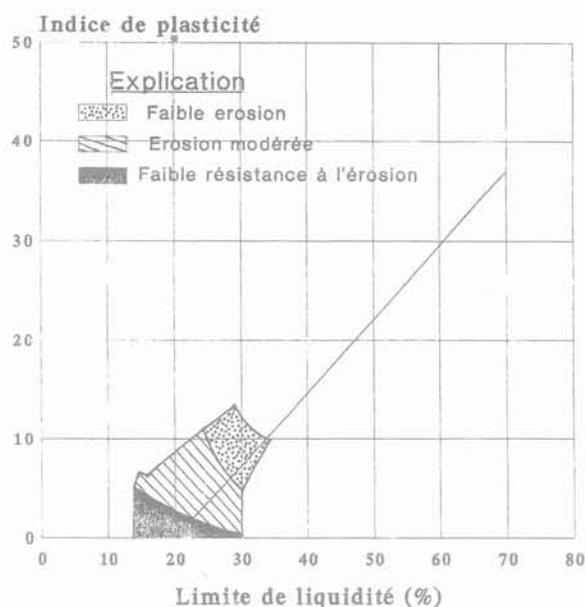


FIG. 6 Abaque de classification des sols susceptibles au phénomène de l'érosion (US Bureau of Reclamation [10]).

- 2) Les sols affaissables sont, généralement, caractérisés par :
 - un indice de plasticité : $IP \leq 20$,
 - et une limite de liquidité : $15\% \leq w_L \leq 35\%$.
- 3) L'effondrement d'un sol devient très probable s'il vérifie, en plus de la classification citée au deuxième point, le critère :

$$I_w \leq 1.$$

- 4) La droite d'équation : $IP = 0,5 w_L - 10$ a été proposée comme la limite séparant les sols affaissables et des sols non affaissables.

Bibliographie

- [1] Prikonskij V.A. - « Gruntovedenie Vtoriaia Chast » (Soil Science II) Gasgedizdat, Moscow, 1952, p. 371.
- [2] Gibbs H.J. - « Properties which divide loose and dense uncemented soils ». Earth Lab., Rep. N° EM-608, US Dept. of the interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1961.
- [3] Feda J. - « Colloidal activity : shrinking and swelling of some clays ». Proceedings of the soils mechanics seminar, Loda, 1946, p. 531-546.
- [4] Ayadat T., Bellili F. - « Sols susceptibles d'affaissement : identification, mécanismes et traitement ». *Algérie-Équipement*, n° 20, juillet-août 1995, p. 18-23.
- [5] Ayadat T., Belouahri B. - « Influence du coefficient d'uniformité sur l'amplitude et le taux d'affaissement des sols ». *Revue française de Géotechnique*, n° 76, 3^e trimestre 1996, p. 25-34.
- [6] Jennings J.E., Knight K. - « A guide to construction on or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain-structure ». Proc. 6th Regional Conf. for Africa on SMFE, Durban, South Africa, 1975, p. 99-105.
- [7] Holtz W.G., Gibbs H.J. - « Engineering properties of expansive clay ». Trans. of ASCE, vol. 121, 1956.
- [8] Snethen D.R. - « Evaluation of expedient methods for identification and classification of potentially expansive soils ». Proc. 5th Int. Conference of Expansive soil, Adelaide, 1984.
- [9] Ayadat T., Belouahri B., Ait Ammar R. - « La migration des particules fines comme approche d'explication du mécanisme de l'effondrement des sols ». *Revue française de Géotechnique*, n° 83, 2^e trimestre 1998, p. 73-81.
- [10] Gibbs H.J. - « A study of erosion and tractive force characteristics in relation to soil mechanics properties ». Soils Engineering Report N° EM-643, US Department of Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1962.