

DISCUSSION de l'article
« Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie »
par G. PHILIPPONNAT
Revue française de géotechnique n° 57

E. FLAVIGNY

Institut de Mécanique de Grenoble*
Laboratoire « 3 S » : Sols, Solides, Structures

Rev. Franç. Géotech. n° 59, pp. 75-78 (avril 1992)

G. PHILIPPONNAT présente une caractérisation du retrait des matériaux argileux naturels à partir d'un essai de retrait sur des échantillons intacts qui sont soumis à une dessiccation. La discussion présentée ci-dessous aborde quatre points : le mode opératoire, la définition du coefficient de retrait linéaire R_1 , le rôle de l'état initial sur l'évolution du retrait et enfin l'isotropie du retrait. Il est nécessaire de souligner auparavant que la définition d'une limite de retrait effective W_{RE} telle que celle de l'auteur peut prêter à confusion dans la mesure où le terme de « limite de retrait » se réfère à une des limites d'ATTERBERG W_R (normalisée, cf. ASTM D 427) effectuée sur un matériau remanié alors que l'essai présenté dans cette communication concerne un matériau intact soumis à la dessiccation depuis sa teneur en eau naturelle. Les termes entre () renvoient au texte original de l'auteur tandis que les { } concernent cette discussion.

1. MODE OPÉRATOIRE

L'essai présenté est un essai au mercure pour la mesure du volume de l'échantillon. On peut noter qu'il est aussi possible d'utiliser la méthode d'évaluation du volume au toluène ou au Carbowax telle que développée par PELISSIER (1991). La mesure directe du retrait linéaire telle qu'elle est envisagée en figure (6) est aussi une solution. Le problème essentiel dans l'établissement des courbes de retrait présentées en figures (3) et (4) concerne l'homogénéité de l'échantillon : soumis à dessiccation dans l'atmosphère du laboratoire, il s'établit, surtout au début du séchage, un gradient de teneur en eau à l'intérieur de l'échantillon et les valeurs mesurées ne représentent qu'une valeur moyenne. Un procédé de séchage utilisant un dessiccateur avec une humidité contrôlée permettrait de

laisser l'équilibre hydrique de l'échantillon s'établir mais corrélativement augmenterait considérablement la durée de l'essai.

Par rapport à la détermination classique de la limite de retrait, la détermination de la limite de retrait effective W_{RE} suppose la mesure d'un nombre de points suffisant sur les deux branches de la courbe de retrait. Dans la détermination de la limite de retrait au sens d'ATTERBERG, on suppose qu'il n'y a plus de retrait pour une teneur en eau inférieure à W_R et les différences entre les valeurs de W_{RE} et W_R présentées en figure (3) à (6) peuvent être partiellement dues à cette cause : ceci est schématisé en figure {1a} et {1b}.

On peut aussi signaler que STAMATOPOULOS et KOTZIAS (1987) définissent un essai de gonflement sur un matériau intact mais partant d'un état desséché et en effectuant l'humidification. Ils définissent ainsi un indice FSI (Free Swell Index) qui est l'homologue du coefficient R_1 .

2. COEFFICIENT DE RETRAIT LINÉAIRE

Le coefficient de retrait linéaire R_1 est en fait lié aux caractéristiques de teneur en eau et de poids volumique sec initiaux du sol : on peut montrer que le coefficient de retrait linéaire est, dans les hypothèses de l'auteur, c'est-à-dire pour un sol initialement saturé et le restant dans la phase de définition du coefficient R_1 .

$$R_1 = \frac{\gamma_d}{3\gamma_w} \quad [1]$$

γ_d et γ_w désignant le poids volumique sec du sol et le poids volumique de l'eau.

* BP 53 X, 38041 Grenoble Cedex.

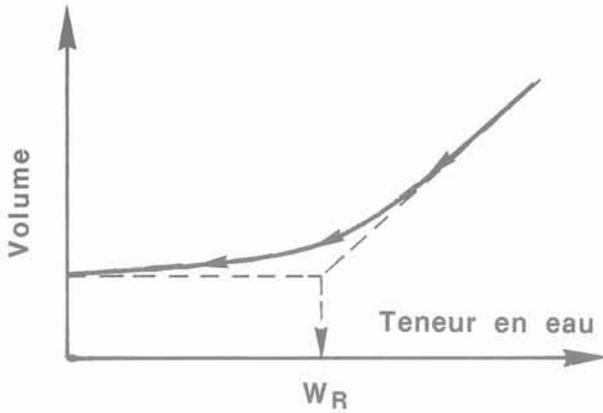


Fig. 1a. — Définition de la limite de retrait (ATTERBERG).
Fig. 1a. — Definition of the shrinkage limite (ATTERBERG).

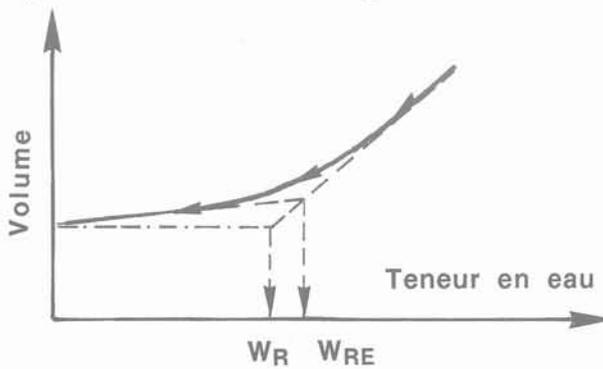


Fig. 1b. Définition de la limite de retrait effective.
Fig. 1b. — Definition of the effective shrinkage limit.

On peut aussi exprimer le retrait linéaire en fonction de la teneur en eau (pour un sol initialement saturé et restant saturé jusqu'à \$W_{RE}\$) par :

$$R_1 = \frac{1}{3} \frac{\gamma_s}{\gamma_w + \gamma_s w} \quad [2]$$

\$\gamma_s\$ désignant le poids volumique des grains (pris ici à 26,5 kN/m³).

Le tableau [I] donne, pour les quatre essais présentés avec détermination de \$R_1\$, la comparaison entre la formule [1] et les résultats mesurés ; les différences peuvent être imputables soit à des imprécisions de mesure, soit à la non-homogénéité des échantillons. Les valeurs du coefficient de retrait linéaire sont donc reliées aux caractéristiques physiques initiales de l'échantillon. Pour un sol donné, tant qu'il est resté saturé, la valeur du coefficient \$R_1\$ est dépendante de son état initial lorsqu'il décrit la courbe de retrait.

3. RÔLE DE L'ÉTAT INITIAL

On part dans l'essai de retrait d'un échantillon dans son état initial avec un volume \$V_0\$, une hauteur \$h_0\$ et un rayon \$r_0\$. Au cours de l'essai, les déformations dues au retrait sont importantes (près de 40 % en volume d'après la figure (3.2)). L'estimation du retrait linéaire devrait alors être effectuée en utilisant des déformations logarithmiques, c'est-à-dire en référant une variation de volume \$dV\$ ou une variation de longueur \$dh\$ au volume actuel ou à la longueur actuelle \$V\$ ou \$h\$ et non plus aux conditions initiales \$V_0\$ et \$h_0\$. Dans ces conditions, les déformations axiale et radiale s'expriment par

$$\epsilon_1 = - \int_{h_0}^h \frac{dh}{h} = \text{Log} \frac{h_0}{h} \quad [3] \quad [4]$$

$$\text{et } \epsilon_3 = - \int_{r_0}^r \frac{dr}{r} = \text{Log} \frac{r_0}{r}$$

on peut démontrer que le retrait linéaire défini localement vaut :

$$R_1 = \frac{dh}{h} = \frac{\gamma_d}{3\gamma_w} \quad [5]$$

Par intégration de la relation [5] entre l'état initial indicé « o » et l'état actuel, la relation entre la hauteur de l'échantillon et sa teneur en eau est :

$$\frac{h}{h_0} = \left[\frac{\gamma_w + \gamma_s w}{\gamma_w + \gamma_s w_0} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [6]$$

La relation [6] permet alors de calculer pour un échantillon à une teneur en eau initiale \$w_0\$ soit un retrait linéaire :

$$\epsilon_1 = \frac{h_0}{h} \quad [7]$$

soit le retrait linéaire en grande déformation défini par :

$$\epsilon_1 = \text{Log} \frac{h_0}{h} \quad [8]$$

En fait, dans la gamme de teneur en eau considérée, les différences sont suffisamment faibles pour ne pas être significatives. Ceci ne serait pas le cas pour des matériaux à teneur en eau élevée (vases ou boues à haute limite de liquidité).

Tableau I. — Coefficients de retrait linéaire.

Lieu	Saint-Fargeau	Saint-Fargeau	Saint-Fargeau	Bussy-Saint-Georges
Profondeur	0,40/0,60 m	2,40/2,9 m	3,5/4,0 m	3,0/3,5 m
Teneur en eau	34	39,7	32,1	24,2
Poids vol. initial (kN/m ³)	13,94	12,91	14,32	16,15
Rl Mesuré	0,46	0,47	0,43	0,55
Rl Calculé	0,465	0,430	0,477	0,538
Ecart (%)	1,00	- 8,42	10,99	- 2,16

On a dressé le tableau [II] à partir de la formule [6]. On a considéré des échantillons A à I initialement saturés ayant des teneurs en eau de 60 à 20 %. Pour ces différents sols, le coefficient de retrait linéaire R_1 calculé par la relation [1] varie de 0,34 à 0,58.

Si l'on considère maintenant l'échantillon A ayant une teneur en eau initiale de 60 %, le tableau [II] donne les valeurs de retrait linéaire lorsque sa teneur en eau passe de 60 % à 20 % : la courbe de retrait linéaire peut alors être tracée en figure [2]. Cette courbe de

Tableau II. — Retrait linéaire pour des échantillons saturés de teneurs en eau initiale différentes.

Echantillon w (%)	A 60	B 55	C 50	D 45	E 40	F 35	G 30	H 25	I 20
γ_d (kN/m ³)	10,23	10,78	11,4	12,09	12,86	13,75	14,76	15,94	17,32
retraitlin [1]	0,341	0,359	0,38	0,403	0,429	0,458	0,492	0,531	0,577
W actuel	60 %	55 %	50 %	45 %	40 %	35 %	30 %	25 %	20 %
W initial 60.A	0	0,017	0,035	0,054	0,073	0,094	0,115	0,137	0,161
W initial 55.B		0	0,018	0,037	0,057	0,078	0,099	0,122	0,146
w initial 50.C			0	0,019	0,04	0,061	0,083	0,106	0,13
w initial 45.D				0	0,021	0,042	0,064	0,088	0,113
w initial 40.E					0	0,022	0,045	0,069	0,094
w. initial 35.F						0	0,023	0,048	0,074

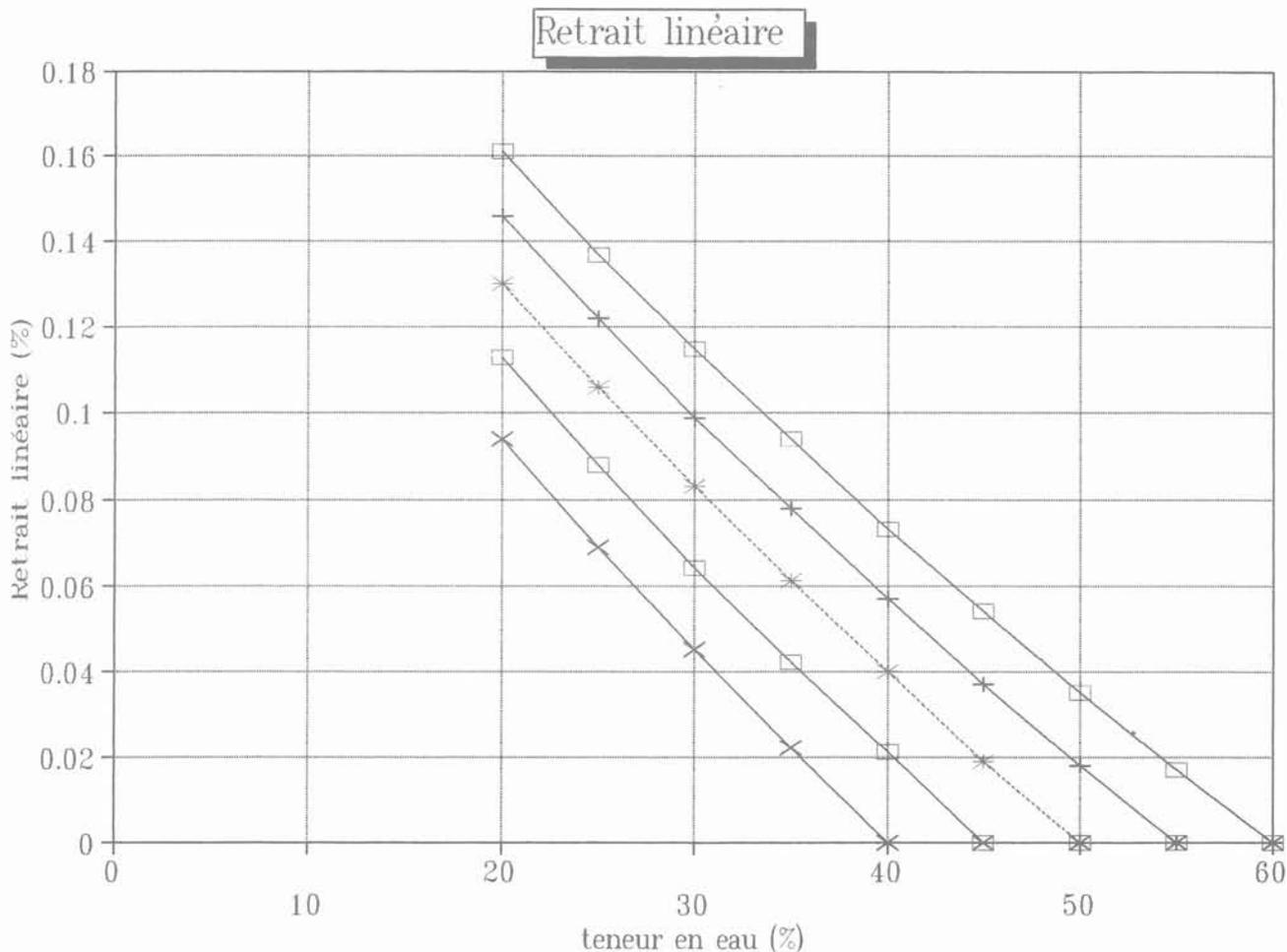


Fig. 2. — Courbes de retrait linéaire pour des échantillons de différentes teneurs en eau initiales.

Fig. 2. — Linear shrinkage vs water content for specimens of different initial water contents.

retrait est analogue aux figures (3). La pente de cette courbe (qui est le coefficient de retrait linéaire R_1 [5]) varie de 0,34 lorsque la teneur en eau est de 60 %, à 0,58 pour une teneur en eau de 20 % : ces variations de pente sont cependant peu visibles à l'échelle de la figure [2]. La valeur du coefficient de retrait linéaire varie donc lors du retrait.

Si l'on avait effectué un essai sur un échantillon à une teneur en eau initiale plus faible (cas du même sol mais ayant déjà subi du retrait en place), on aurait obtenu la série de courbes en figure [2] correspondant aux échantillons A à E pour des teneurs en eau initiales variant de 60 à 40 %. Même si ces courbes peuvent sembler linéaires et parallèles entre elles, elles correspondent à des coefficients de retrait R_1 variables entre la valeur initiale obtenue en début de dessiccation et une valeur maximale obtenue lorsque la désaturation apparaît : l'analyse présentée ici n'est alors plus valable.

L'état initial du sol conditionne donc la valeur du coefficient de retrait linéaire. Ce dernier évolue au cours du retrait.

4. ISOTROPHIE DU RETRAIT ?

La formule (2) de l'auteur suppose implicitement que le retrait est isotrope. Elle correspond à un formalisme en grandes déformations, ce qui explique que la

courbe tracée en figure (5) ne soit pas linéaire. L'hypothèse d'isotropie est une supposition très forte que des mesures séparées du rayon et de la hauteur de l'échantillon permettrait de vérifier. L'examen attentif de la figure (5) montre que pour l'un des échantillons présentés, on s'écarte de cette isotropie, le retrait vertical étant supérieur au retrait horizontal. La mesure directe du retrait linéaire apparaît donc comme indispensable pour une application à des calculs de tassement de fondation. Ce retrait « vertical » ne peut être déduit des paramètres physiques initiaux du sol.

Ces quelques remarques montrent l'intérêt des mesures de retrait sur des échantillons argileux naturels. G. PHILIPPONNAT présente une étude très intéressante et l'on espère que cette discussion apporte une contribution à l'étude du comportement des sols rétractables.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTM : *Standard test method for shrinkage factors of soils*, n° 427.
- PELISSIER J.P. (1991). — *The toluence and Wax-freezing method of determining volumetric free swell*. *Geotechnical Testing Journal*, vol. 14, n° 3, september 1991, pp. 309-314.
- STAMATOPOULOS A.C., KOTZIAS P. (1987), *Free swell test on undisturbed clay*, 6th International Conf. on expansive soils, New-Dehli 1987, vol. 1, pp. 111-115.