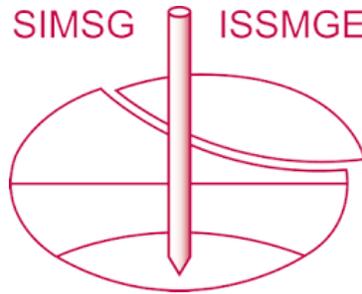


# INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



*This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:*

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

*This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.*

# Résistance au cisaillement des sols remaniés et non remaniés

## Shear Strength of Remoulded and Undisturbed Soils

A. FAGNOUL, *Chargé de cours associé de l'Université de Liège, Belgique*

### SOMMAIRE

L'étude porte sur la résistance au cisaillement de sols limoneux et argileux normalement consolidés en fonction des tensions effectives déterminées sur des sols non remaniés ou remaniés à la limite de liquidité. On montre que le remaniement détruit complètement la cohésion effective  $c'$  mais maintient constant l'angle de frottement effectif  $\phi'$ .

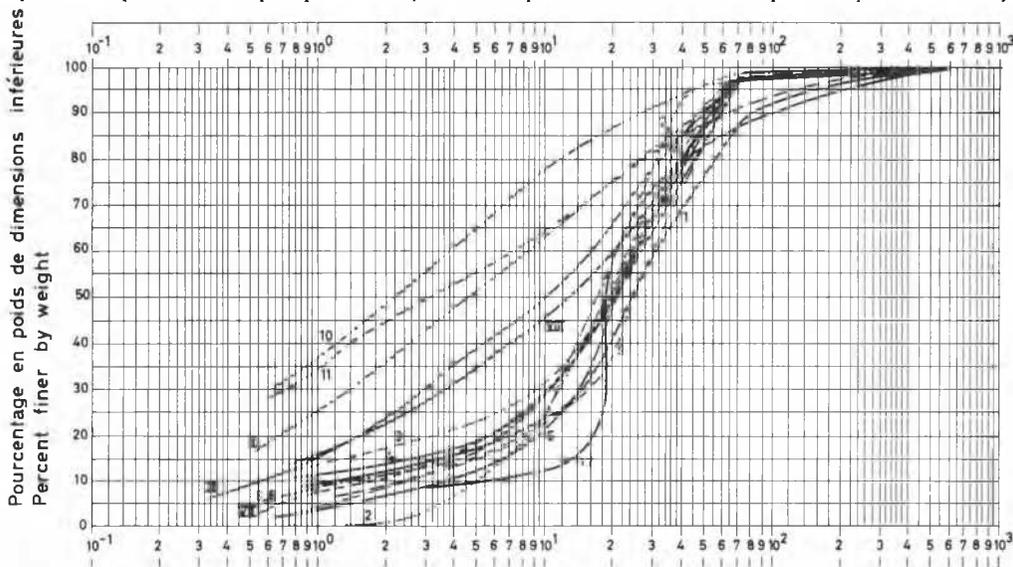
### SUMMARY

The shear strength of normally consolidated silts and clays in terms of effective stress is determined on undisturbed and remoulded soils at the liquid limit. It is shown that remoulding completely destroys the effective cohesion  $c'$  while the effective angle of friction  $\phi'$  remains constant.

LA CONNAISSANCE DE LA RÉSISTANCE au cisaillement d'un sol dans son état naturel est essentielle pour la solution des problèmes géotechniques les plus divers. Malgré les très grands progrès effectués dans la technique des prélèvements, on sait combien il est difficile d'obtenir des échantillons non remaniés c'est-à-dire présentant les propriétés et caractéristiques du sol en place. C'est une des principales raisons qui poussent toute une école de géotechniciens à s'orienter de plus en plus vers la technique des essais mécaniques *in situ* (pressiométriques, scissométriques, pénétrométriques . . .).

Il nous a toutefois paru intéressant d'effectuer des essais comparatifs de détermination de la résistance au cisaillement en fonction des tensions effectives (essais consolidés-drainés  $S$  ou consolidés-non drainés avec mesure des pressions interstitielles) sur des sols non remaniés et remaniés.

Déjà en 1953, le professeur A. Casagrande souhaitait que les résultats obtenus sur des échantillons d'argile non remaniées soient reliés aux caractéristiques de résistance de la même argile à l'état remanié. Dans la littérature, on trouve peu de résultats concernant ce problème que nous avons déjà



Diamètre en microns  
Diameter in  $\mu$

FIG. 1. Courbes granulométriques des sols étudiés.

effleuré lors de travaux effectués en 1961 à l'Université de Harvard. Suite à ces premiers résultats et à une brève étude (Fagnoul, 1963) qui portait essentiellement sur les perturbations structurelles causées par les déformations de cisaillement à la rupture, nous avons entrepris au laboratoire de mécanique des sols de l'Université de Liège une étude comparative systématique. Elle est actuellement en cours et les premiers résultats, dont on rend compte ci-après, paraissent très encourageants.

#### SOLS ÉTUDIÉS

L'étude porte sur des sols limoneux et argileux normalement consolidés. Les courbes granulométriques de ces sols sont représentées à la fig. 1. Leurs principales caractéristiques sont résumées au tableau I. On s'aperçoit qu'il s'agit en général de limons ou d'argiles de faible plasticité, inorganiques, normalement consolidés. Trois sols seulement ont une plasticité importante. C'est dans ce domaine des sols à grande plasticité que va se concentrer essentiellement la suite de la recherche.

#### ESSAIS RÉALISÉS

Sur les échantillons non remaniés, on a réalisé: 1) des essais triaxiaux consolidés-drainés ( $S$ ), en tenant compte de la correction de dilataance (Bishop, 1954), avec contrôle des déformations; 2) des essais triaxiaux consolidés-non drainés ( $R$ ) avec mesure des pressions interstitielles, soit avec contrôle des vitesses ( $v$ ), soit avec contrôle des déformations ( $d$ ), 3) des essais de cisaillement direct consolidés-drainés dans un appareil rectiligne type Casagrande, soit avec contrôle des vitesses ( $v$ ), soit avec contrôle des déformations ( $d$ ).

Sur les échantillons remaniés à la limite de liquidité et présentant une compacité aussi voisine que possible de celle du sol naturel, on n'a réalisé, étant donné la difficulté de préparation d'éprouvettes triaxiales sans occlusion d'air, que des essais de cisaillement direct consolidés-drainés.

La diversité des essais effectués sur les échantillons non remaniés permet toutefois une très bonne comparaison entre les résultats obtenus. D'autre part, les essais de cisaillement

TABLEAU I. DESCRIPTION DES SOLS ÉTUDIÉS

N°	Dénomination des sols	Pourcentage en poids d'éléments inférieurs à 2 microns	Limite de liquidité $w_L$	Limite de plasticité $w_p$	Teneur en eau naturelle $w_n$	Sensitivité $S_t$	Coefficient d'activité (Skempton)	Coefficient de perméabilité $k$ (cm/sec.)	Pression de pré-consolidation $p_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Indice de compression $C_c$	Coefficient d'uniformité $C_u$	Analyse minéralogique qualitative de la fraction argileuse (0-2 microns)
1	Limons de Jemeppe-sur-Meuse, 959-1-3.30	12	27,6	20,7	16	—	0,6	—	—	—	28	—
2	Limons de Jemeppe-sur-Meuse, 959-2-3.10	≈1	27,9	20,2	21	—	9,6	—	—	—	6	—
3	Limons d'Alseberg, 946-F3-0.25	18	32,1	22,2	19	1,2	0,55	$3 \cdot 10^{-8}$	0	0,15	>30	—
4	Limons d'Alseberg, 946-F3-1.00	14	28,8	22,3	20	1,3	0,46	$4 \cdot 10^{-7}$	0	0,16	≈35	—
5	Terre à brique Ans B.3	7	31,2	21,1	21	1,6	1,45	—	≈2	0,03	7	illite-kaolinite + interstratifié
6	Limons des Hauts Sarts, 1055-F3-142	11	32,4	21,9	24	—	0,95	—	0-0,3	0,09	17	illite - vermiculite + interstratifié + vermiculite
7	Limons des Hauts Sarts, 1055-F.1-143	8	34,3	20,7	22	—	1,70	—	0	0,13	7	illite-vermiculite
8	Limons des Hauts Sarts, 1055-F.3-143	11	35,8	21,5	23	1,3	1,30	—	0-0,3	—	17	illite-kaolinite + interstratifié montmorillonite - vermiculite; minéraux gonflants
9	Limons des Hauts Sarts, 1055-F.2-142	10	30,4	20,6	20	—	0,98	—	0	0,18	14,5	illite-kaolinite + vermiculite + illite-vermiculite interstratifiée
10	Argile de Boston	50	42,0	22,0	40,0	4,0	0,40	$1 \cdot 10^{-7}$	2,3-2,7	0,42	≈20	mica - illite
11	Argile de Falmouth	46	36,0	19,8	35,0	9,4	2,70	—	1,5-1,9	0,45	≈20	—
12	Argile de Brighton	11	31,3	41,3	40,0	2,7	3,60	$3 \cdot 10^{-8}$	0,4-0,5	0,89	7	mica, illite, chlorite
I	Argile de Boom, R. 12	37	65,8	24,5	26	≈1	1,12	$1 \cdot 10^{-8}$	0,5-1	0,10	≈24	illite-kaolinite, vermiculite magnésienne abondante
II	Argile de Boom, R. 9.50	20	58,0	24,2	26,0	1,1	1,69	$6 \cdot 10^{-8}$	≈0,5	0,10	≈40	—
III	Limons de Cheratte, 947-F5	—	34	23	23	—	—	—	—	—	—	—
IV	Limons de Cheratte, 947-F8	—	32	19	21	—	—	—	—	—	—	—
V	Limons de Cheratte, 947-F9	—	28	21	24	—	—	—	—	—	—	—
VI	Limons de Cheratte, 947-F10	—	29	21	19	—	—	—	—	—	—	—
VII	Limons des Hauts Sarts	11	34,0	20,6	22	1,1	1,22	—	0-0,3	—	16	illite - kaolinite + interstratifié montmorillonite - vermiculite
VIII	Argile de Boom, R. 15	23	63,5	27,4	24,8	—	1,57	$5 \cdot 10^{-8}$	0,5-1	0,16	≈40	—

TABLEAU II. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

N° sol (voir tableau I)	Domaine des pressions étudiées (kg/cm <sup>2</sup> )	Echantillons non remaniés			Echantillons remaniés		
		$\sigma'_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (degrés)	Type d'essai	$\sigma'_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (degrés)	Type d'essai
1	0-10	0	28,4	$\bar{R}$ triaxial (v) cisailt. (v)	0	29,6	cisaillement (v)
2	0-10	0	29,6	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	29,6	cisaillement (v)
3	0-10	0	24,2 25,8	$\bar{R}$ triaxial (v) cisailt. (v)	0	26,5	cisaillement (v)
4	0-10	0	26,1	$\bar{R}$ triaxial (v) cisailt. (v)	0	27,5	cisaillement (v)
5	0-10	0	25,9	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	25,9	cisaillement (v)
6	0-10	0	27,0	cisailt. (v)	0	27,0	cisaillement (v)
7	0-10	0	28,0	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	29,2	cisaillement (v)
8	0-10	0	24,7	cisailt. (v)	0	24,7	cisaillement (v)
9	0-10	0	27,5 26,6	$\bar{R}$ triaxial (v) cisailt. (v)	0	28,8	cisaillement (v)
10	0-10	0	27,3	$\bar{R}$ triaxial (d) $\bar{S}$ triaxial (d)	0	27,0	cisaillement (d)
11	0-10	0	30,6	$\bar{S}$ triaxial (d)	0	30,6	cisaillement (d)
12	0-10	0	35,8	$\bar{S}$ triaxial (d) $\bar{R}$ triaxial (d)	0	35,8	cisaillement (d)
I	0-15	1,30	19,3	$\bar{R}$ triaxial (v) cisailt. (v)	0	18,8	cisaillement (v)
II	0-15	1,50	18,3	$\bar{R}$ triaxial (v) cisailt. (v)	0	19,8	cisaillement (d)
III	0-5	0,20	26,5	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	26,1	cisaillement (v)
IV	0-5	0,52	23,8	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	24,2	cisaillement (v)
V	0-5	0,29	29,5	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	27,7	cisaillement (v)
VI	0-5	0,30	24,2	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	23,7	cisaillement (v)
VII	0-10	0,25	28,9	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	24,3	cisaillement (v)
VIII	0-15	1,20	16,7	$\bar{R}$ triaxial (v)	0	18,3	cisaillement (v)

direct présentent le grand intérêt d'être simples et facilement réalisables, ce qui est bien dans l'optique de la recherche.

RÉSULTATS

Les résultats obtenus sont résumés au tableau II. On y trouve les caractéristiques ( $c'$ ,  $\phi'$ ) de la courbe intrinsèque de Mohr (en fonction des tensions effectives) qui dans le domaine de pressions étudiées, est une droite.

A titre d'exemple, on trouvera aux figs. 2 et 3 la représentation graphique de tous les résultats obtenus respectivement pour un sol non cohérent (n° 1, limon de Jeneppe-sur-Meuse 959-1-3.30) et un sol cohérent (n° I, argile de Boom, R 12).

Pour tous les sols étudiés, on voit que l'angle de frottement effectif  $\phi'$  est le même, que le sol soit ou non remanié.

Les écarts obtenus sont généralement très faibles pour ne pas dire négligeables et on observe les mêmes différences à l'intérieur d'une même série d'essais portant sur le sol non remanié, ce qui est normal étant donné la nature même de ces échantillons.

En ce qui concerne la cohésion effective  $c'$ , on observe qu'elle est complètement détruite par le remaniement. Il semble donc que la structure initiale du sol ait peu ou pas d'influence sur son angle de frottement effectif  $\phi'$ .

Nous pensons que cela est dû au fait que les déformations de cisaillement soumettent le sol à un remaniement appréciable (Fagnoul, 1963) qui, à la rupture, produit une structure analogue à celle du sol complètement remanié. Au contraire, la cohésion effective  $c'$  serait essentiellement dé-

pendante de la structure du sol et des actions mutuelles entre grains et eau.

Si le remaniement bouleverse complètement la structure, le fait de réaliser les essais sur échantillons remaniés à la limite de liquidité, c'est-à-dire à une teneur en eau nettement plus élevée que la teneur en eau naturelle (qui, pour les sols étudiés, est souvent voisine de la limite de plasticité) modifie certainement d'une manière très importante les forces agissant dans le système sol-eau. A cet effet, il serait certainement intéressant de réaliser des essais sur échantillons remaniés mais dans les mêmes conditions de teneur en eau et de

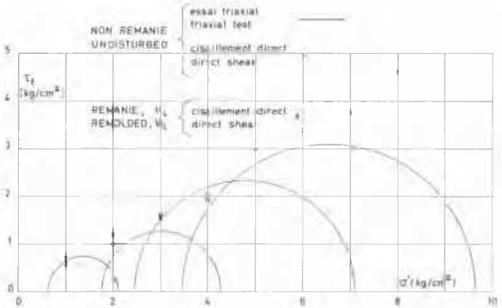


FIG. 2. Résistance au cisaillement:  $\tau_r = c' + \sigma' \tan \phi'$ . Sol non cohérent N° 1.

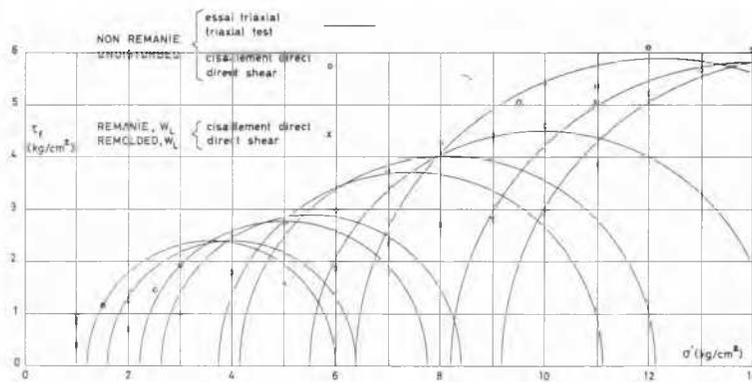


FIG. 3. Résistance au cisaillement:  $\tau_r = c' + \sigma' \tan \phi'$ . Sol cohérent N° I.

compacité que les échantillons non remaniés; nous pensons étudier prochainement ce point.

CONCLUSION

Les résultats actuellement obtenus sont très encourageants. Il apparaît en effet que pour les sols limoneux et argileux normalement consolidés étudiés, si le remaniement à une teneur en eau égale à la limite de liquidité entraîne la disparition complète de la cohésion effective  $c'$ , au contraire l'angle de frottement effectif  $\phi'$  reste constant. Comme il est généralement fort aléatoire de tenir compte de la cohésion dans l'établissement d'un projet, la conclusion obtenue est importante. En effet, il existe toute une série de constructions (barrages, digues, murs de retenue . . .) pour lesquelles le

problème est un problème de résistance et non un problème de déformation. Les résultats obtenus leur sont dès lors directement applicables.

RÉFÉRENCES

BISHOP, A. W. (1954). Discussion on the paper by Penman. *Géotechnique*, Vol. 4.  
 CASAGRANDE, A. (1953). Theories and hypotheses of general character, soil properties, classification, engineering geology. *Rapport général, Compte-rendus du 3<sup>ème</sup> Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondations* (Zurich), Vol. 3, pp. 111-18.  
 FAGNOUL, A. (1963). Etude de la résistance au cisaillement de sols argileux saturés non remaniés. *Mémoires du C.E.R.E.S.*, Nouvelle série, No 4.