

Etude des paramètres de compressibilité et de cisaillement de l'argile-sableuse de la région de Douala au Cameroun

HIENG I. O.

ENSET

RESUME

La connaissance du comportement des sols est l'un des aspects du programme de recherche du département de génie civil de l'École Normale Supérieure de l'Enseignement Technique de l'Université de Douala. Dans cette optique, des études de sols ont été conduites dans le but de déterminer les différents paramètres du sol du campus II, qui est le domaine pressenti pour recevoir les infrastructures futures de l'Université de DOUALA. Aussi, des prélèvements d'échantillons intacts ont-ils été exécutés sur le site. Ces prélèvements ont permis l'exécution en laboratoire des différents types d'essais. Le but de ces essais était d'obtenir les caractéristiques d'état, de compressibilité et de cisaillement du sol. Les résultats obtenus ont permis de comprendre la nature du sol, son comportement sous l'effet des chargements à l'œdomètre et son comportement sous l'action de cisaillement au triaxial dans les conditions de non drainage. Ainsi donc, les résultats de la présente étude alimentent la base de données géotechniques utilisables dans le dimensionnement des ouvrages enterrés. Par ailleurs, un bref rappel de la géologie de la région et un aperçu bibliographique relatifs aux paramètres géotechniques des sols argileux sableux rencontrés dans la région, ont permis de cadrer les résultats obtenus au cours de cette étude. Les essais ont été exécutés avec la collaboration du laboratoire d'essais de DOUALA, qui relève du « LABOGENIE », le Laboratoire National du Génie Civil.

Mots clés: Pédologie, échantillons, cisaillement, compressibilité, identification, argile sableuse, contrainte de préconsolidation, indice des vides, poids spécifique, teneur en eau, angle de frottement.

ABSTRACT

The knowledge of the behaviour of soils is one of the aspects of the research programme in the civil engineering department of ENSET at Douala University. In this aspect, studies have been carried out with the aim of determining the different parameters of the soils on campus II, which is the proposed site on which future infrastructures of the University of Douala are to be built. Undisturbed samples intact have been collected from the site. These samples have undergone different types of tests in the laboratory. The aim of these tests was to obtain the characteristics of the state, compressibility and shearing of the soil. The results obtained permitted us to understand the nature of the soil, its behaviour under the effect of loading by the mean of an odometer and its short term behaviour when submitted to shearing by a triaxial test in non-drained conditions. The results of the present study are included in a geotechnical data base usable in dimensioning the underground or buried buildings. A brief recall of the geology of the region and a bibliographical review related to the geotechnical parameters of the sandy clays in the region permitted us to frame the results obtained in this study. This study was carried out with the collaboration of the tests laboratory of Douala, being of "LABOGENIE", the National Laboratory for Civil Engineering.

Key words: Pedology, samples, shearing, compressibility, identification, sandy-clays, preconsolidation stress, void indices, specific weight, water content, frictional angle.

I - INTRODUCTION

L'équipe de recherche du département de Génie civil de l'École Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) de l'Université de Douala a entrepris en collaboration avec le « LABOGENIE » (Laboratoire National du Génie Civil) l'exécution des essais en laboratoire sur des échantillons intacts des sols en vue d'en déterminer les caractéristiques géotechniques.

La zone choisie pour la présente étude est le domaine du futur campus universitaire. C'est un vaste domaine de plusieurs hectares (18 ha environ) situé dans le quartier de la ville de DOUALA dénommé « NDOGBONG » au CAMEROUN. La figure 01

montre le plan de masse de la zone de prélèvement des échantillons. Le choix de cette zone obéit au double souci qui est celui de connaître la structure du sol sous-jacent, et aussi, la quantification de diverses grandeurs géotechniques pouvant servir au dimensionnement des futurs ouvrages enterrés (*fondations, murs de soutènement, etc.*). L'étude des caractéristiques rhéologiques du sol portait plus précisément sur la détermination des paramètres géotechniques de cisaillement et de compressibilité à partir des échantillons non remaniés.

Pour ce faire, il a été nécessaire de prélever des échantillons intacts et, de procéder ensuite à une série d'essais en laboratoire.

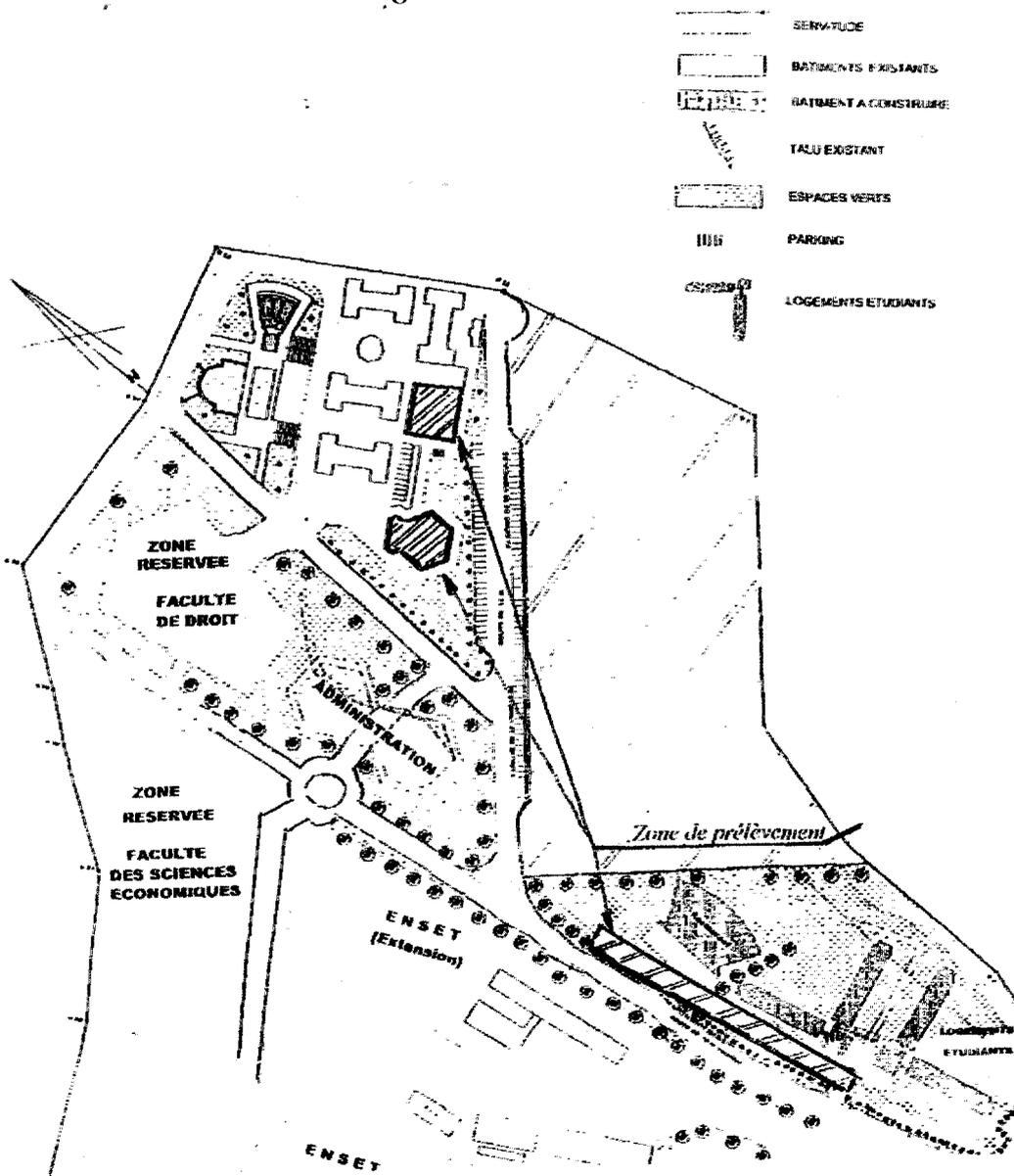


Fig. 1: Plan de masse de la zone de prélèvement des échantillon (échelle : 1/25000)

Dans ce qui suit, il va être question d'un bref aperçu de la pédologie et la topographie de la zone de prélèvement, et ensuite, de la présentation des résultats d'essais en laboratoire.

II - APERCU GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE :

La figure 02a et 2b montrent la répartition spatiale des points de sondage répartis en deux groupes :

- le groupe 01 concerne les points des sondages 1 à 6 ;
- le groupe 02 est formé des points des sondages 7 à 11.

La zone de prélèvement est contenue dans l'un des quartiers de la ville de Douala appelé Ndogbong. Douala est située dans un grand bassin sédimentaire de la ville de Douala. Ce bassin sédimentaire est constitué de dépôts de la période qui se situe entre la fin de l'ère tertiaire (miocène, pliocène) et le début du quaternaire. A ce jour, il subsiste une forte altération physico-chimique des sols constitutifs des dépôts. Et la conséquence de cette activité est la formation des sols argileux de différents types avec une présence plus ou moins importante d'une fraction des sables (*source : LABOGENIE*).

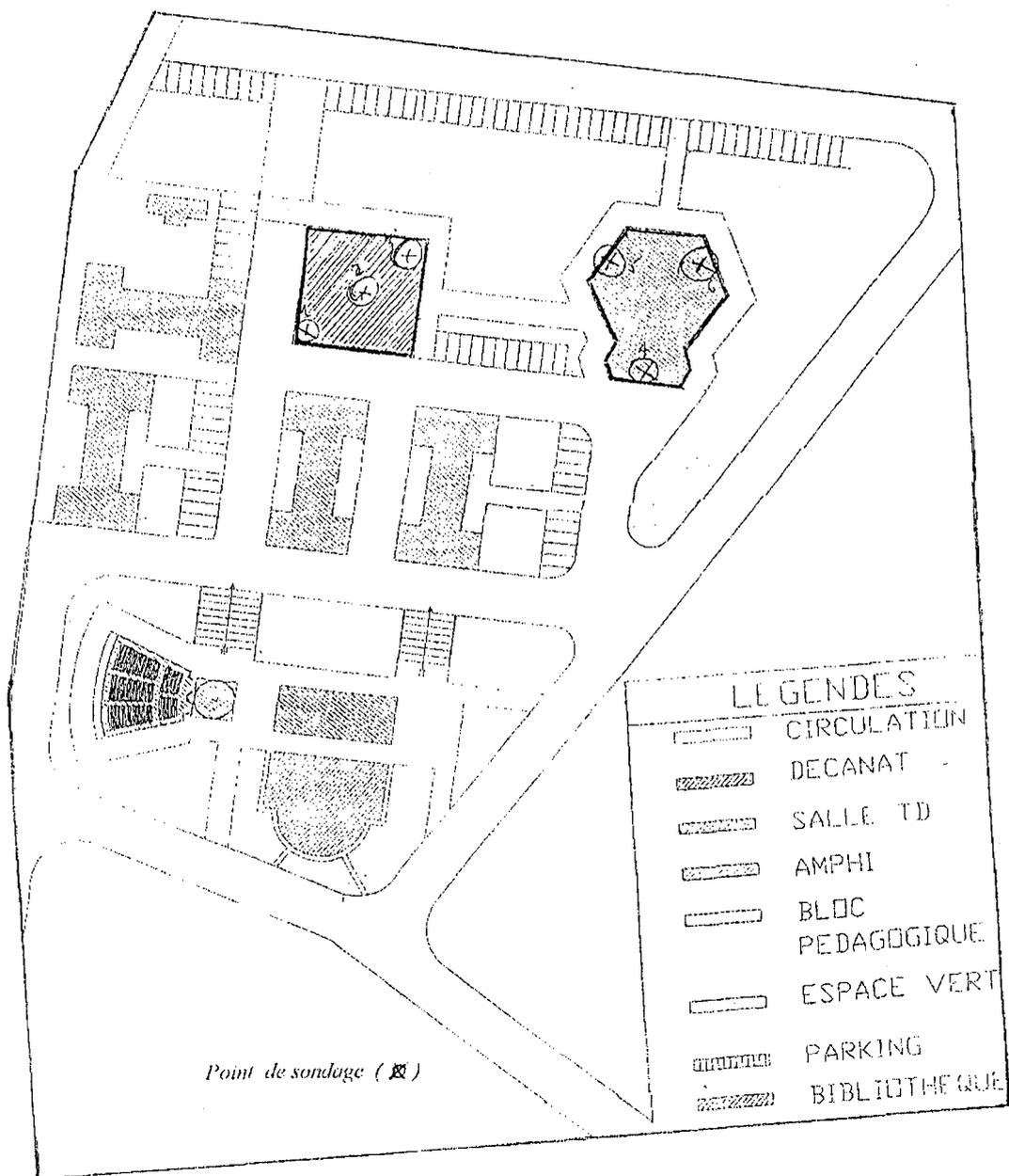


Fig. 2a: Plan de répartition des points de sondages (échelle : 1/1000è)

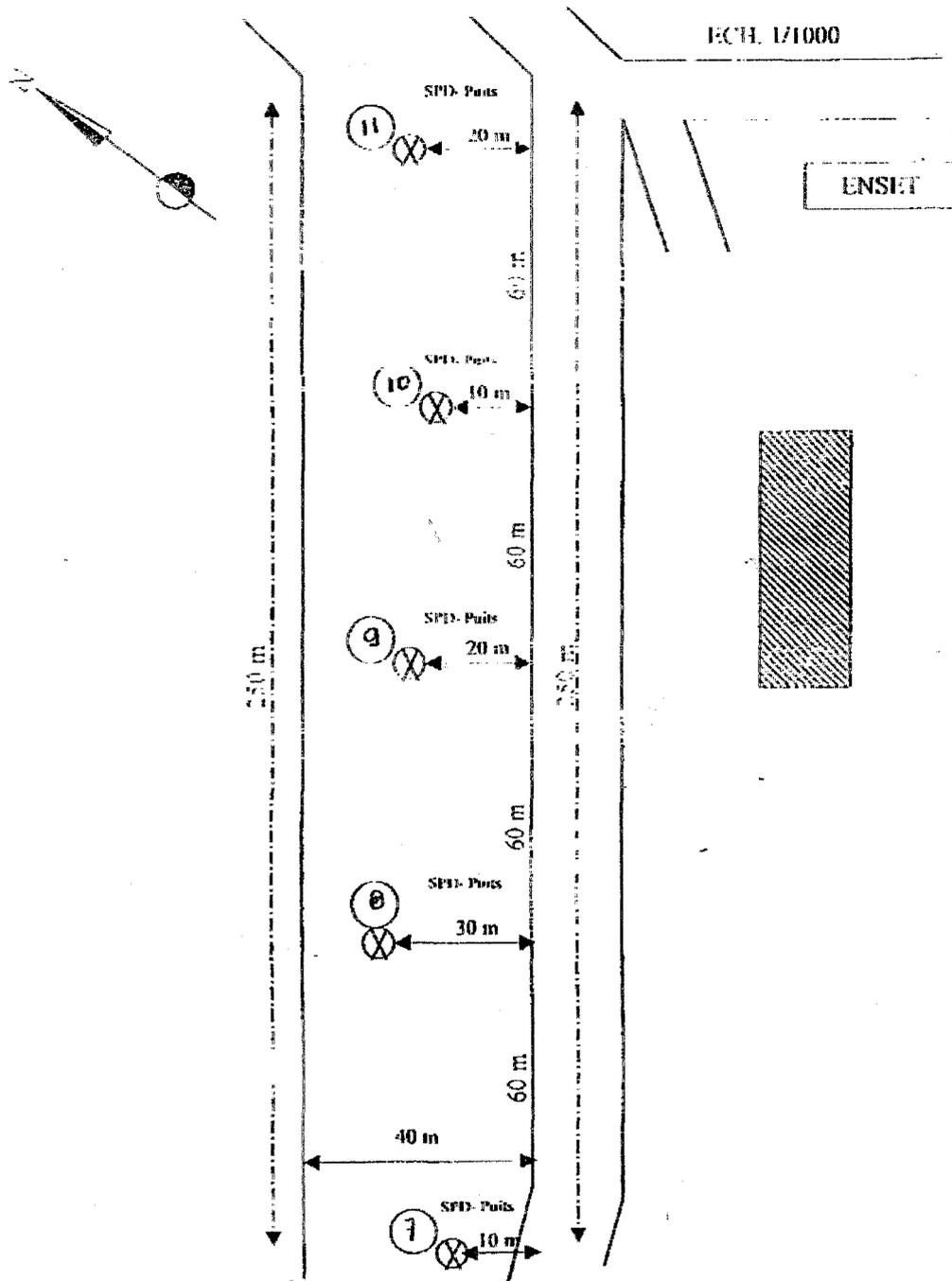


Fig. 2b: Plan de répartition des points de sondages (échelle : 1/1000)

A travers les coupes de terrain contenues dans les pénétrographes, les logs stratigraphiques révèlent les couches superficielles suivantes (source : *Rapports des Etudes de Sol relative au Projet d'aménagement du Campus 2 phase 1 de l'Université de Douala des 14/11/2000 et 06/12/2000*) :

- A l'emplacement du groupe 01 des points de sondage 1, 2 et 3, on observe par endroit la présence en surface la présence d'une couche de terre végétale d'épaisseur variant entre 0.20

et 0.30 mètres. Au-delà 0.30 mètres de profondeur jusqu'à 4.00 mètres, on trouve une argile sableuse jaunâtre.

- A l'emplacement du second groupe des points de sondage, on remarque la présence de la couche de terre végétale d'épaisseur 0.20 à 0.30 mètres et celle de la couche d'argile jaunâtre repérée entre 0.30 et 3.0 mètres de profondeur. Au-delà de 3.0 mètres se trouve la couche de sable argileux bariolé.

On note par ailleurs, qu'au cours des essais in situ la présence d'une nappe d'eau souterraine a été décelée entre 7.50 et 8.50 mètres de profondeur à l'emplacement des points de sondage du groupe 01. Cette nappe d'eau se trouve entre 2.00 et 5.00 mètres de profondeur à l'emplacement des points de sondage du groupe 02 soit une différence de 5.50 mètres. Cette différence de niveau de la nappe phréatique peut s'expliquer d'une part, par la différence des altitudes entre les points de sondage, et de l'autre, par le phénomène d'écoulement d'eau dans le sol.

Le rapport d'analyse d'un échantillon d'eau prélevé dans cette nappe d'eau souterraine fait état de la présence des germes aérobies du type acinéto-bacter qui sont des agents de surinfections. Comparés aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les résultats obtenus montrent l'existence d'importantes proportions de substances indésirables et toxiques. On relève des taux de fer et de phosphate trop élevés. Ceux-ci sont respectivement de 3.13 mg/l pour un maximum admissible de 0.3 mg/l et de 20.364 mg/l pour un maximum admissible de 5 mg/l. Il va sans dire que cette eau est de mauvaise qualité bactériologique et chimique. En l'état, elle est impropre à la consommation.

Deux prélèvements d'échantillons intacts ont été exécutés entre 1.50 et 1.90 mètres de profondeur en plein dans la couche d'argile sableuse jaunâtre à l'emplacement des deux zones des points de sondages.

Sur le plan topographique, le site est accidenté. On enregistre entre certains points du premier groupe une dénivellée de près de 1.90 mètres. Quant aux points du second groupe on enregistre des écarts d'altitude de l'ordre de 1.30 mètres.

III - ESSAIS EN LABORATOIRE, RESULTATS ET COMPARAISONS

Deux (02) sondages carottés par puits manuels avec prélèvement de quatre échantillons intacts ont fait l'objet d'essais de laboratoire. Chaque sol prélevé a fait l'objet d'une identification visuelle afin de confirmer sa nature. Les essais réalisés en laboratoire sur chaque échantillon sont :

- Les essais d'identification ;
- Les essais de cisaillement et de compressibilité;
- L'analyse granulométrique ;

Les figures 03 et 04 montrent les courbes des essais de cisaillement à l'appareil triaxial, tandis que, la figure

05 présente les courbes des essais de compressibilité à l'œdomètre. En ce qui concerne l'analyse granulométrique effectuée sur les échantillons de sol intact, l'allure des courbes présentées sur la figure 06 montre une granulométrie uniforme des grains de cette argile.

Le tableau 01 ci-après donne l'ensemble des résultats d'essais. L'analyse des valeurs des différents paramètres présentés dans ledit tableau montre que tous ces échantillons de sol intact ont des entités rhéologiques semblables.

Ce qui permet donc de retenir pour ceux-ci les valeurs moyennes présentées dans le tableau 02.

Comme il a été précisé plus haut, on rencontre dans le bassin sédimentaire de Douala diverses formations de sols avec des proportions variables d'argile et de sable. Des études géotechniques antérieures font état dans cette région (*cf: Divers Rapports d'Etudes de Sols au LABOGENIE*) :

- des argiles sableuses jaunâtres ;
- des argiles grisâtres contenant des débris végétaux ;
- des sables argileux jaunes avec des éléments de graves plus ou moins friables ;
- des sables argileux blanchâtres ;
- des vases compactes ;
- des argiles blanches kaoliniques ;
- des sables argileux jaunes rougeâtres, etc ...

S'agissant des seules argiles sableuses de la région de Douala pour lesquelles des essais en laboratoire ont déjà été conduits, les valeurs moyennes des caractéristiques géotechniques pour les profondeurs de prise comprises entre 1.00 mètre et 2.75 mètres sont :

° - La teneur en eau (W_{nat} %) varie entre 17.6 et 20.8 avec une moyenne de 20.8 qui est très proche de celle obtenue au cours de cette étude soit 19.8.

° - Le poids spécifique (γ_h (kN/m³) varie entre 25.3 et 27.3 avec une moyenne de 26.3, valeur aussi très proche de celle obtenue qui est de 26.55.

° - La contrainte de préconsolidation p_p (kPa) qui varie de 34 à 81 donne une valeur moyenne de 50 bien supérieure aux valeurs trouvées dans le site qui sont de 32 et 33.

° - L'indice de vide e_o (%) varie de 0.824 à 1.04 avec une valeur moyenne de 0.958 supérieure à la moyenne obtenue au cours de cette étude qui est de 0.78.

Tableau 01 : Résultats d'essais

N° de Prélèvement	PEI 1	PEI 2
Profondeur de prélèvement (m)	1,5 à 1,8	1,5 à 1,90
w _{nat} (%)	19,8	20,4
γ_h (kN/m ³)	18,60	18,51
Poids spécifique (kN/m ³)	26,55	26,76
Préconsolidation σ_o (kPa)	33	32
Indice des vides e_o	0,755	0,80
Compressibilité (Cc)	0,224	0,252
C_v (cm ² /s)	$7,684 \times 10^{-3}$	$6,15 \times 10^{-3}$
C_u (kPa)	20	51
φ_u (°)	13,3	5,7
Perméabilité k_v (cm/s)	$2,121 \times 10^{-3}$	$1,70 \times 10^{-4}$
% < 80 μ	37,4	34,6
% < 0,315 mm	55,0	53,6
% < 1 mm	89,4	93,3
% < 2 mm	98,5	99,4

Tableau 02 : Valeurs de certaines caractéristiques géotechniques de l'argile sableuse

Valeurs moyennes des caractéristiques géotechniques		
1	γ_h (kN/m ³)	8,5
2	Cu (kPa)	35
3	φ_u (°)	9
4	Cc compressibilité	0,24
5	Indice des vides e_o	0,78
6	Contrainte de préconsolidation σ_o (kPa)	32

Argile sableuse jaunâtre

Essai triaxial UU :

- Profondeur de prélèvement : entre 1,50 et 1,80 mètres
- W_{nat} : 19,8 % γ_h : 18,60 kN/m³ φ_p : 24,3
- vitesse de cisaillement : 1,00 mm/mn
- Cu = 20 kPa $\varphi_u = 13,3^\circ$

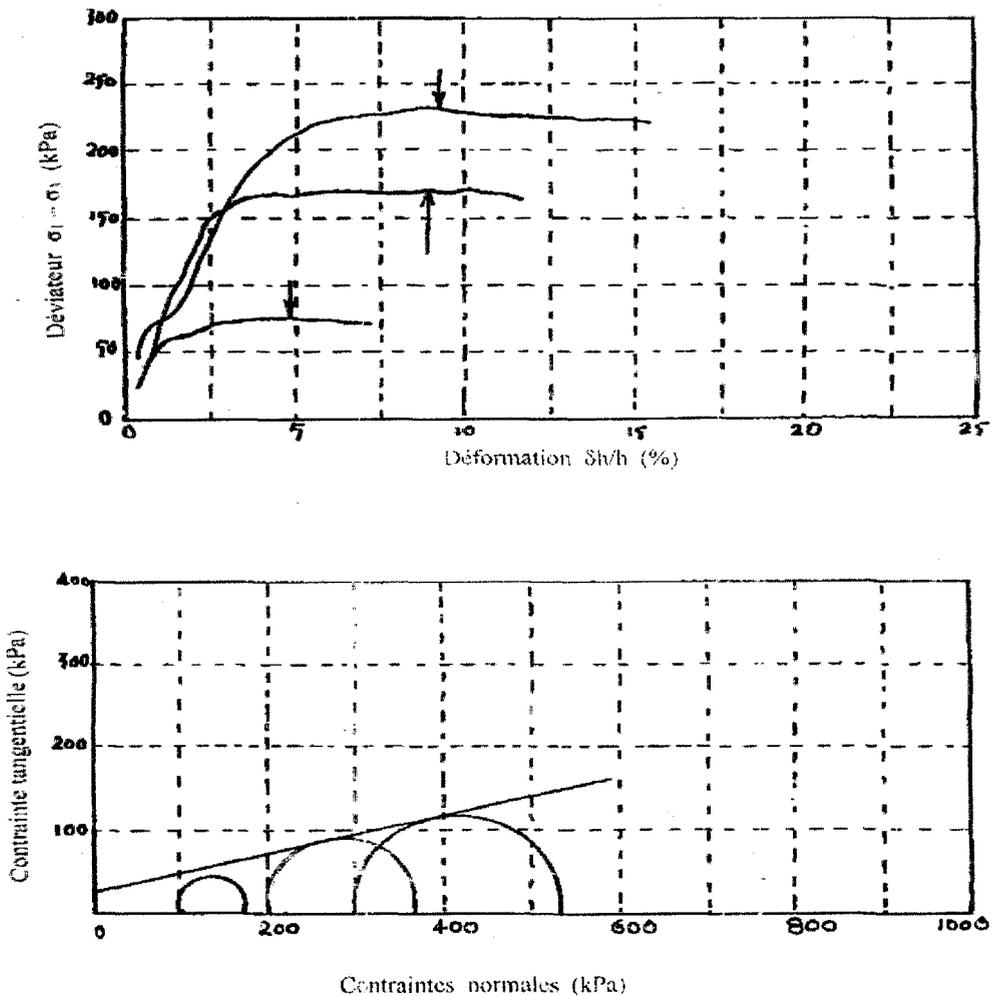


Fig. 3: Courbes cisaillement à l'appareil <triaxial>

Argile sableuse jaunâtre

Essai triaxial UU

- Profondeur de prélèvement : entre 1,60 et 1,90 mètres
- $W_{nat} : 20,4\%$ $\gamma_h : 18,51 \text{ kN/m}^3$
- vitesse de cisaillement : 1,00 mm/mn
- $C_u = 51 \text{ kPa}$ $\phi_{cu} = 5,7^\circ$

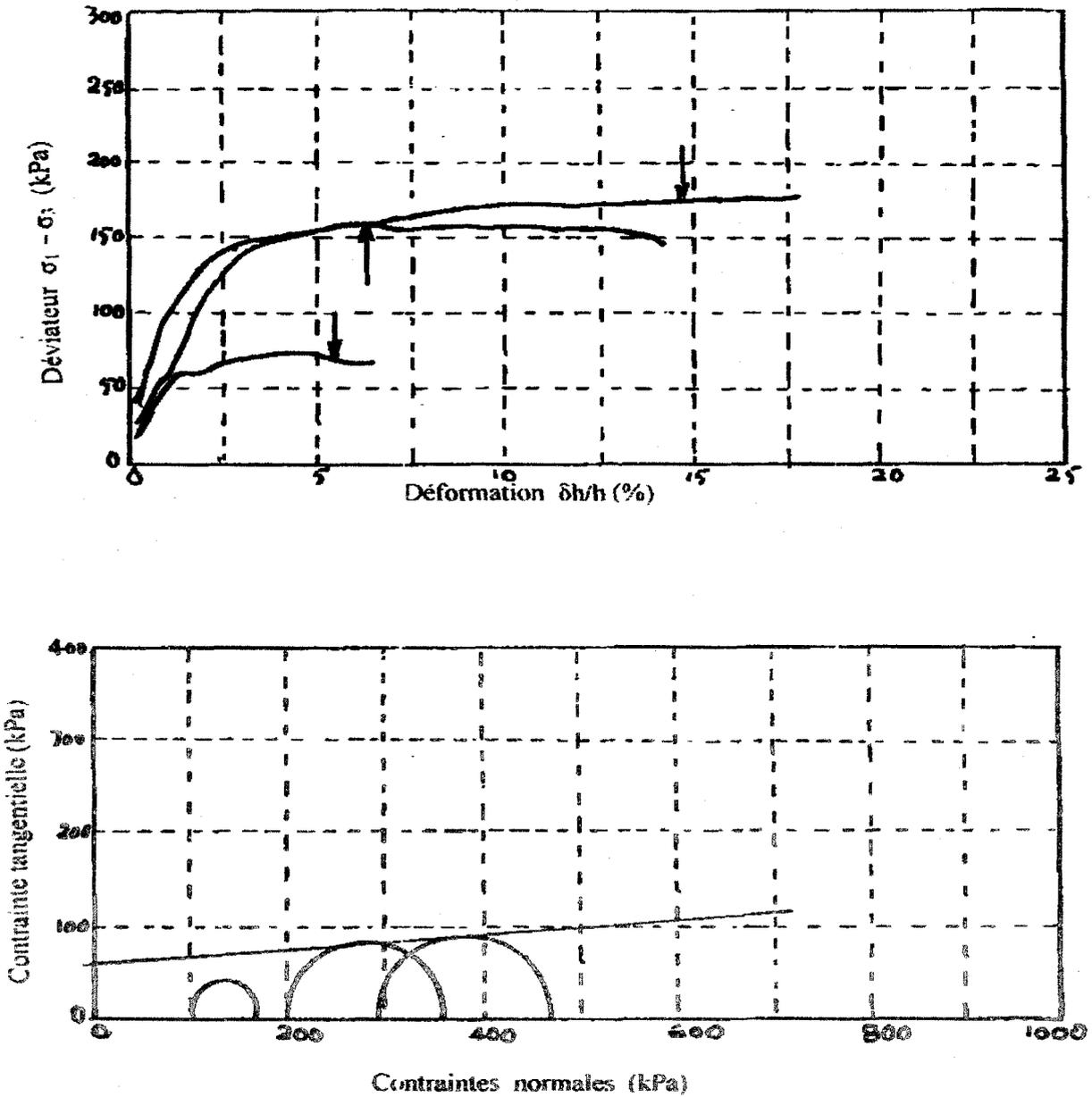
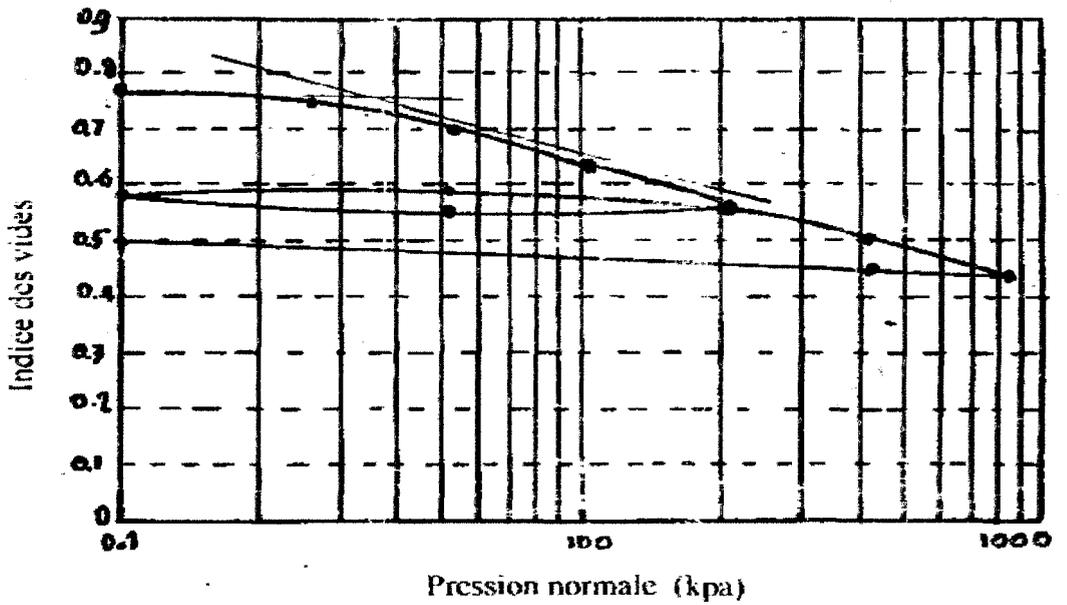


Fig. 4: Courbes cisaillement à l'appareil <triaxial>

Argile sableuse jaunâtre

(Essai de compressibilité)

$e_0 = 0,755$ $\sigma'_v = 33 \text{ kPa}$
 $c_c = 0,224$ $k_v = 2,12 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$



Argile sableuse jaunâtre

(Essai de compressibilité)

$e_0 = 0,80$ $\sigma'_v = 32 \text{ kPa}$
 $c_c = 0,252$ $k_v = 1,70 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$

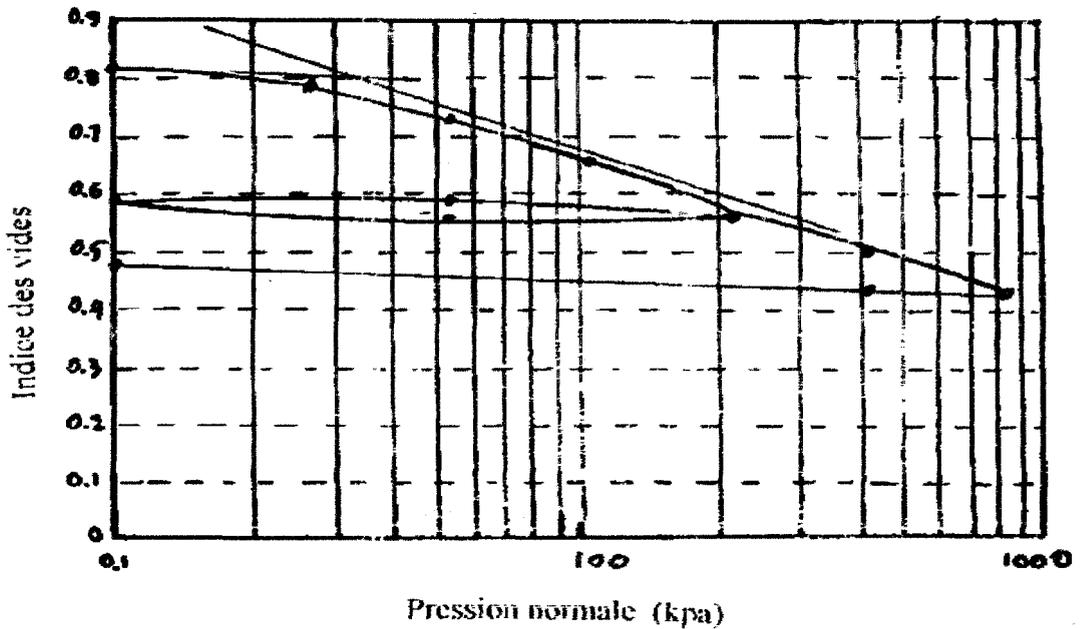
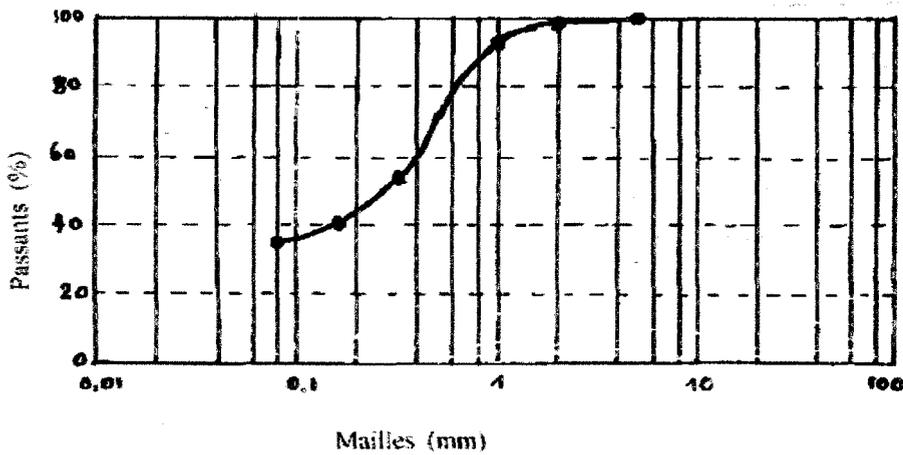


Fig. 5: Courbes de compressibilité à l'appareil <oedomètre>

Argile sableuse jaunâtre

Analyse granulométrique :

- Profondeur de prélèvement : entre 1,60 et 1,90 mètres
- W_{nat} : 20,4 % γ_h : 15,37 kN/m³ IP = 24



Argile sableuse jaunâtre

Analyse granulométrique :

- Profondeur de prélèvement : entre 1,60 et 1,90 mètres
- W_{nat} : 19,8 % γ_h : 15,51 kN/m³ IP = 24,3

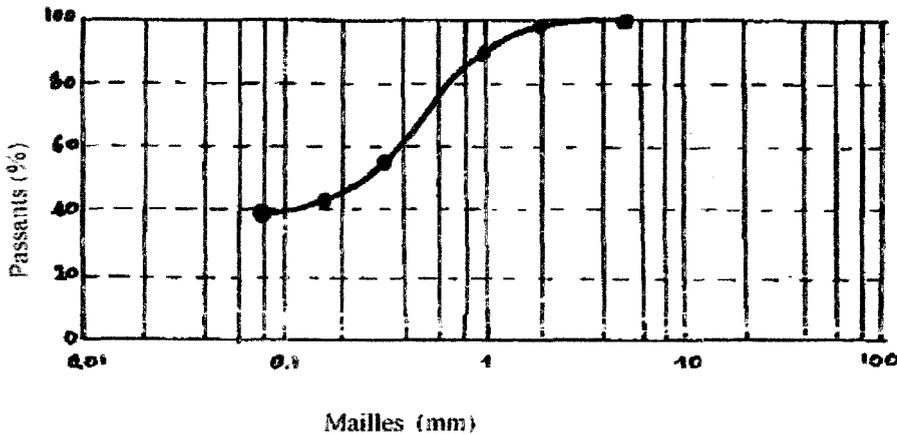


Fig. 6: Courbes de l'analyse granulométrique

° - La pente de compressibilité C_c (%) des argiles sableuses de la région de Douala se situe entre 0,21 et 0,33 avec une moyenne de 0,28 très voisine à la valeur obtenue soit 0,24.

° - la cohésion non drainée C_u (kPa) de la région est de l'ordre de 22 et 43 avec une moyenne de 29,3 tandis que celle obtenue est de 35 tout en remarquant une forte différence des valeurs des deux essais soient 20 et 51.

° - Enfin, l'angle de frottement ϕ_u (°) des argiles sableuses de la zone de Douala varie entre 15 et 19 avec une moyenne à 16,6 qui est à comparer

avec la valeur moyenne obtenue qui est de 9. Encore une fois, il y a lieu de noter la très grande différence des valeurs qui existent entre les deux essais effectués 5,7 et 13,3. on peut raisonnablement penser que la valeur 13,3 de l'angle de frottement est à considérer pour ce sol.

Dans la continuité de ce travail de recherche, une autre série d'essais a été réalisée sur un site voisin. Les résultats obtenus corroborent ceux déjà obtenus. Les valeurs moyennes des caractéristiques géotechniques obtenues sont données dans le tableau 03 ci-après.

Tableau 03 : Valeurs de certaines caractéristiques géotechniques de l'argile sableuse

Valeurs moyennes des caractéristiques géotechniques		
1	Teneur en eau (W_{nat} %) :	19
2	Poids spécifique (γ_h (kN/m ³) :	26.75
3	Indice de vide e_o (%) :	78
4	Pente de compressibilité C_c (%) :	0.282
5	Cohésion non drainée C_u (kPa) :	23.5
6	Angle de frottement φ_u (°)	9.0

V - CONCLUSION

L'étude dont il a été rendu compte dans le présent article a permis de connaître la nature du sol du site étudié et de comprendre certains aspects de son comportement rhéologique à court terme. Bien au-delà de la quantification des valeurs de certains paramètres géotechniques, cet apport scientifique constitue une base utile qui, à partir des résultats obtenus, permet le dimensionnement des différentes structures telles que les fondations, les tassements, etc ...

Toutefois, au regard de la grande étendue du domaine, le programme des essais in situ et en laboratoire devrait se poursuivre afin d'avoir la totale connaissance du comportement géotechnique du site.

BIBLIOGRAPHIE

CAQUOT A. et KERISEL J. (1966) TRAITE DE MECANIQUE DES SOLS, 4^e édition, Gauthier - Villars, Paris, 509 p.

COSTET J., SANGLERAT G., (1975) "COURS PRATIQUE DE MECANIQUE DES SOLS"

- o Tome 1 : Plasticité et calcul des tassements, Dunod, Paris, 263 p
- o Tome 2 : Calculs des ouvrages, Dunod, Paris, 352 p.

GIELLY J., LAREAL P. et SANGLERAT . (1969) : "Correlation Between in Situ Penetrometer Tests and Compressibility Characteristics of Soils" Conf. On in situ Invest. In soils and rock , London, pp. 13-16

HIENG I. O. (1992) : "Résistance au cisaillement d'une argile raide (cas de l'argile des Flandres-France)" - Technologies et Développement - (Revue Scientifique du Centre Universitaire de Douala).

HIENG I.O. (1992) : "Etude des modules de déformation d'une argile raide (cas de l'argile des Flandres-France)" - Technologies et Développement (Revue Scientifique du Centre Universitaire de Douala).

HIENG I. O., LEMBE D.D., ABESSOLO D., WANDEU J.D. (2001) : « Amélioration des paramètres géotechniques des matériaux par la technique des mélanges pondéraux de deux sols » - Sciences, Technologies et Développement - (Revue Scientifique de l'Université de Douala – Volume 8, n°1, Septembre 2001, pp. 53 - 62) ;

HIENG I.O. LEMBE D.D., ABESSOLO D. (2002) : « Essais de reconnaissance géotechnique au pénétromètre dynamique du sol argileux de la région de Douala-Cameroun » - - Sciences, Technologies et Développement - (Revue Scientifique de l'Université de Douala – Volume 9, n°1, 2002, pp. 61 - 73) ;

HIENG I. O., LEMBE D.D., DANWE R. (2003) : "Etude en laboratoire des caractéristiques géotechniques de compressibilité et de cisaillement de l'argile-sableuse jaunâtre de Ndogbong dans la région de Douala-Cameroun" - UNESCO African Journal of Science and Technology (AJST) – Science and Engineering Series – Nairobi-KENYA, Vol : 3, N° 2, pp. 84-95

LABORATOIRE NATIONAL DE GENIE CIVIL (LABOGENIE), de 1978 à 2003 : « Différents Rapports des Etudes Geotechniques »

LAREAL P., SANGLERAT G. et GIELLY J. (1976) : "Comparaison des Essais de Pénétration Effectives avec Différents Penetrometres"

Received: 03/03/03
Accepted: 25/08/03