

## **DEDICACE**

 **Au créateur,**

Dieu le père tout puissant et à toute la cour céleste pour leur protection et assistance au quotidien. Gloire et louange à vous.

## **HOMMAGES**

### **À nos juges**

#### **Monsieur le président de jury.**

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous faites, en acceptant de présider notre jury de soutenance.

#### **Distingués membres du jury.**

Vous nous faites un grand honneur en acceptant de perfectionner la qualité du présent thème et de contribuer à son amélioration.

Nous sommes persuadés que vos remarques, critiques et suggestions contribueront grandement à améliorer la qualité scientifique de ce travail.

Homages respectueux

### **À nos maîtres de mémoire**

**Professeur Victor S. GBAGUIDI**

**Docteur KIKI TANKPINOU Yvette Sèdjro**

**A tous, un sincère Merci !!!**

Paulin DJIMONNAN.



## REMERCIEMENTS

Au Tout-Puissant, Créateur de toute chose à Qui revient toute gloire et honneur. Pour avoir permis la concrétisation de cette œuvre, Grand Merci. J'exprime ma profonde gratitude aussi :

A mes encadreur : le Professeur Victor S. GBAGUIDI et le Docteur Yvette KIKI, épouse TANKPINOU, pour avoir assuré l'encadrement de ces travaux malgré vos multiples occupations et pour l'attention particulière y accordée, vous avez mes sincères remerciements.

A tout le corps professoral de l'Université d'Abomey-Calavi et particulièrement au :

- 🇳🇬 **Pr. da CRUZ Maxime**, Recteur de l'Université d'Abomey-Calavi ;
- 🇳🇬 **Pr. Antoine VIANOU**, Directeur de l'Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur, pour le cadre et les moyens mobilisés pour notre formation ;
- 🇳🇬 **Pr Mohamed M. SOUMANOU**, Directeur de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi ;
- 🇳🇬 **Dr HOUINOU Gossou**, Chef du Département de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi ;
- 🇳🇬 **Pr Nadia SAIYOURI**, pour avoir acceptée venir en mission de la France, nous encadrer pour le cours de stabilité des talus et ouvrages de soutènement de cette première promotion de

master en Géotechnique et Infrastructures Immobilières (G2I)  
;

🚧 **Dr Léopold DEGBEGNON**, Maître-assistant des universités, qui a suivi mes pas depuis mon insertion dans le milieu universitaire jusqu'à ce jour.

🚧 **Dr Ezéchiel ALLOBA**, Maître-assistant des universités, qui au-delà du rôle d'enseignant a tout aussi joué le rôle de père en me rappelant le plus souvent qu'« aux âmes biens nés, la valeur n'attend point le nombre des années » ;

🚧 **Pr. Gérard Léopold GBAGUIDI AISSE**, Maître de Conférences des Universités ;

🚧 **Pr Adolphe TCHEHOUALI**, Maître de conférences des universités ;

🚧 **Pr Ing. Mohamed GIBIGAYE**, mon maître de mémoire, pour avoir accepté d'encadrer ce travail et de le conduire jusqu'au bout. Ce document n'aurait pu être réalisé sans ses conseils, sa disponibilité, son enthousiasme son esprit d'écoute, son soutien sans pareils et surtout cette confiance qu'il a placée en nous ;

🚧 **Pr. François de Paule CODO**, Maître de conférences des universités ;

🚧 **Pr. Crépin ZEVOUNOU**, Maître de conférences des universités ;

🚧 **Pr. Edmond ADJOVI**, Professeur titulaire en Sciences de L'Ingénieur ;

🚧 **Dr. Agapit K. HOUANOU**, pour votre sens de responsabilité ;

🚧 **Dr. Macaire AGBOMAHENAN**, pour votre sens de responsabilité ;

- 🏗️ **Dr Christian AKOWANOU**, Maître-assistant des universités;
- 🏗️ **Dr HOUINOU Agathe SOUROU**, Docteur Ingénieur en Mécanique des sols ;
- 🏗️ **Dr Codjo Luc ZINSOU**, Docteur Ingénieur en Mécanique des sols ;
- 🏗️ **Dr. Jean-Louis FANNOU**, Maître-assistant des universités;
- 🏗️ **Dr Valéry DOKO KOUANDETE**, pour votre assistance académique ;
- 🏗️ **Pr Nicaise YALO**, Maître de conférences des universités ;
- 🏗️ Tous les autres enseignants de l'Université d'Abomey-Calavi, en particulier ceux de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi;

***Il est dit : « Chaque enfant qu'on enseigne est un homme qu'on gagne ». Vous avez toute ma profonde reconnaissance.***

♥ A mon feu père **Jérôme DJIMONNAN**, qui, après huit ans d'éducation et de suivi, a été rappelé par le Seigneur Tout Puissant.

♥ A ma mère **Célestine ADJOVI, épouse DEGBEGNON**, pour ses soutiens moraux et conseils de mère dont j'ai bénéficié.

♥ A mes frères et sœurs **DEGBEGNON Léopold, Bernadette, Louise, Adèle, Alice, Diane, Bénédicte, Pascal, Richard, et DJIMONNAN Yao**, pour leur affection fraternelle, leur amour ;

♥ A tous ceux qui ont su être présents, m'ont conseillé, encouragé, bousculé... Merci beaucoup pour le temps et l'attention que vous m'avez consacrés.

♥ A tous ceux qui d'une quelconque manière ont œuvré directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail notamment les agents du LERGC et du CNERTP, le Directeur Général du laboratoire ATS, puisse l'Eternel vous en donné d'avantage.

♥ A tous mes proches, mes collègues chercheurs qui, sous une forme ou une autre, m'ont aidé tout au long de ce travail, qui m'ont offert une ambiance propice à mon essor.

♥ Je rends un hommage sincère et plus que mérité à l'ensemble du corps professoral de l'EPAC et en particulier à l'Ecole Doctorale des Sciences de L'Ingénieur (ED-SDI).

La liste n'est certainement pas exhaustive. De ce fait, j'exprime mes vifs remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, moralement et ou matériellement ont contribué de quelque manière que ce soit, à l'aboutissement de ce mémoire.

***Que Dieu vous bénisse !***

## **RESUME**

Le présent travail est une contribution à l'étude d'évaluation des propriétés physiques et mécaniques des sols argileux de la dépression de la Lama : Cas du sol argileux d'Issaba. Au total, trois (03) sondages pressiométriques (manuels) de cinq (05) mètres de profondeur chacun suivis de l'essai pressiométrique ont été effectués. Des échantillons intacts et remaniés ont été prélevés dans le cadre de ce rapport de stage. Des essais d'identification, physiques et mécaniques ont été faits sur les matériaux dans deux (02) laboratoires de Génie Civil à savoir : le Laboratoire d'Essais et de Recherches en Génie Civil (LERGC), et le Centre National d'Etude et de la Recherche des Travaux Publics (CNERTP).

Une méthode indirecte à partir des données pressiométriques a permis d'évaluer certaines propriétés physiques et mécaniques. Certains essais réalisés au laboratoire ont permis de confirmer que la méthode par corrélation donne des résultats semblables.

Les résultats issus de ces différents essais montrent que les propriétés physiques et mécaniques varient non seulement dans le sens de la profondeur mais aussi d'un sondage à un autre. De façon générale, nous pouvons retenir, que sur une profondeur de 5 mètres, la variation de certaines propriétés se présente comme suit :

- Le module d'élasticité : 90,00 à 241,00 bars ;
- La cohésion non consolidée non drainée : 0,377 à 1,425 bars ;
- La résistance à la compression simple : 0,754 à 2,850 bars ;

- La capacité portante : 1,292 à 4,883 bars ;
- La contrainte de préconsolidation : 1,104 à 3,976 bars ;
- La granularité à 2 mm et 0,08 mm sont respectivement : 100 et 99.
- L'indice de plasticité : 59 à 70 ;
- La valeur au Bleu de Méthylène : 6,79 à 7,52 ;
- La teneur en matière organique : 4,38 à 5,25 % ;
- Le poids spécifique : 14 kN/m<sup>2</sup> à 17 kN/m<sup>2</sup>
- La teneur en eau pondérale : 19,87 à 40,16% ;

Cette étude a permis d'évaluer les propriétés physiques et mécaniques des sols argileux d'Issaba. Les résultats obtenus seront consignés dans une base de données afin d'aider les concepteurs en génie civil d'en tenir compte dans le dimensionnement des ouvrages.

- **Mots clés** : sols argileux, paramètres physiques et mécaniques, le module d'élasticité, l'angle de flottement.

## **ABSTRACT:**

The present work is a contribution to the survey of assessment of the physical and mechanical properties of the clayey soils of the depression of the Lama: Case of the clayey soil of Issaba. To the total, three (03) polls pressiométriques (manual) of five (05) meters of depth each follow-ups of the test pressiometrique have been done. Of the intact samples and revised have been appropriated. Of the tests of identification, physical and mechanical have been made on the materials in two (02) laboratories of Civil Genius to know: the Laboratory of tests and Research in civil Genius (LERGC), accredited according to the ISO/CEI norm 17025 Version 2005, (ACCREDITATION N°1-2382 AVAILABLE RANGE ON WWW.COFRAC.FR) and the National Center of survey and the Public Work Research (CNERTP).

An indirect method from the data pressiométriques permitted to value some physical and mechanical properties. Some tests achieved at the laboratory permitted to confirm that the method by interrelationship gives approximate results.

The results descended of these different tests show that the physical and mechanical properties not only vary in the sense of the depth but also of a poll to another. In a general way, we can keep, that on a depth of 5 meters, the variation of some properties present itself as follows:

- Modulates it of springiness : 90,00 to 241,00 bars;
- The non strengthened cohesion non drained : 0,377 to 1,425 bars;
- The resistance to the simple compression : 0,754 to 2,850 bars;

- The structural capacity : 1,292 to 4,883 bars;
- The constraint of preconsolidation : 1,104 to 3,976 bars;
- The granularity to 2 mm and 0,08 mm is respectively : 100 and 99.
- The indication of malleability : 59 to 70 ;
- The value to the Bruise of Méthylène : 6,79 to 7,52;
- The content in organic matter : 4,38 to 5,25%;
- The specific weight : 14 kN/m<sup>2</sup>s in 17 kN/m<sup>2</sup>s
- The content in water ponderale : 19,87 to 40,16%;

This survey permitted to value the physical and mechanical properties of the clayey soils of Issaba. The gotten results will be consigned in a data base in order to help the inventors in civil genius to take account of it in the dimensionality of the works.

Key Words: clayey soils, physical and mechanical parameters, the module of springiness, the angle of wavering.

## SOMMAIRE

DEDICACE .....	i
HOMMAGE.....	ii
REMERCIEMENTS .....	ii
RESUME.....	vii
ABSTRACT .....	ix
TABLE DES MATIERES.....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xv
LISTE DES FIGURES.....	xvii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES .....	xviii
LISTE DES COUPES GEOLOGIQUES.....	xviii
LISTE DES NOTATIONS .....	xix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS.....	xx
LISTE DES ANNEXES.....	xxi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
<b><i>Partie 1: Revue bibliographique.....</i></b>	<b>6</b>
<b><i>Chapitre 1:</i></b> Synthèses bibliographiques.....	7
<b><i>Chapitre 2</i></b> : Généralités sur les argiles.....	15
2.1 Définition de l'argile.....	17
2.2 Définition thématique.....	17
2.3 Interactions physico-chimiques entre eau et l'argile.....	21
2.4 Principaux types d'argiles.....	23
2.5 Les propriétés de l'argile.....	27

2.6 Localisation des sols argileux au Bénin.....	27
<b>Chapitre 3</b> : Généralités sur les essais pressiométriques.....	30
3.1 Essai au pressiomètre Ménard.....	31
3.2 Réalisation de l'essai pressiométrique (NF P 94-110-1).....	31
3.3 Types de pressiomètre.....	34
3.4 Caractéristiques pressiométriques.....	36
3.5 Evaluation de la pression limite.....	37
3.6 Evaluation directe.....	38
3.7 Le module pressiométrique.....	38
3.8 Pression de fluage.....	39
3.9 Pression limite pressiométrique nette $P_l^*$ et pression de fluage pressiométrique nette $p_f^*$ .....	39
3.10 Contrainte dans le terrain au repos.....	39
<b>Partie 2</b> : <i>Milieu d'étude, Matériaux-Matériels et méthodologie de recherche</i> .....	42
<b>Chapitre 4</b> : Milieu d'étude.....	43
<b>Chapitre 5</b> : Matériels et méthodologie de recherche.....	47
5.1 Méthodologie de recherche.....	48
5.2 Prélèvement de l'échantillon.....	49
<b>Partie 3</b> : <i>Résultats, analyses et interprétations</i> .....	51
<b>Chapitre 6</b> : Essais d'identifications des propriétés physiques .	52

6.1 Essai d'analyse granulométrique .....	53
6.1.1 Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056).....	53
6.1.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie (NF P 94-057).....	55
6.2 Limites d'Atterberg (NF P 94-051).....	55
6.3 La valeur au Bleu de Méthylène (NF P 94-068).....	58
6.4 Détermination de la teneur pondérale en matière organique (NF P 94-055).....	58
6.5 Détermination du poids spécifique des grains solides (NF P 94-054).....	58
6.6 Teneur en eau pondérale (NF P 94-050).....	59
<b><u>Chapitre 7:</u></b> Essai d'identification des propriétés mécaniques à partir de l'essai pressiométrique.....	60
7.1 Relevé des essais pressiométriques (NF P 94-110-1).....	61
7.2 Evaluation du module d'élasticité.....	62
7.3 Evaluation de la cohésion non consolidée non drainée.....	62
7.4 Evaluation de la compression simple.....	63
7.5 Evaluation de la capacité portante.....	63
7.6 Evaluation de la contrainte de préconsolidation.....	64
<b><u>Chapitre 8:</u></b> Essai d'identification des propriétés mécaniques à partir de l'essai œdométrique (NF P 94-090-1).....	65
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	70

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	73
ANNEXE.....	78

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II-1</b> : Caractéristiques microscopiques des principales argiles.....	27
<b>Tableau 6-1</b> : Résultat d'analyse granulométrique par tamisage.....	55
<b>Tableau 6-2</b> : Analyse granulométrique par tamisage (1 <sup>ère</sup> couche).....	55
<b>Tableau 6-3</b> : Analyse granulométrique par tamisage (2 <sup>ème</sup> couche).....	56
<b>Tableau 6-4</b> : Résultat limites d'Atterberg.....	60
<b>Tableau 6-5</b> : Résultat teneur en eau pondérale.....	61
<b>Tableau 7-1</b> : Récapitulatif des résultats du sondage pressiométrique SP1.....	63
<b>Tableau 7-2</b> : Récapitulatif des résultats du sondage pressiométrique SP2.....	63
<b>Tableau 7-3</b> : Récapitulatif des résultats du sondage pressiométrique SP3.....	63
<b>Tableau 7-4</b> : Evaluation du module d'élasticité en fonction des sondages .....	64
<b>Tableau 7-5</b> : Evaluation de la cohésion non consolidée non drainé en fonction des sondages.....	65
<b>Tableau 7-6</b> : Evaluation de la compression simple en fonction des sondages.....	65

## **LISTE DES TABLEAUX SUITE**

<b><u>Tableau 7-7</u></b> : Evaluation de la capacité portante fonction des sondages.....	66
<b><u>Tableau 7-8</u></b> : Evaluation de la contrainte de préconsolidation..	66
<b><u>Tableau 8-1</u></b> : Résultats des paramètres et courbe oedométrique (SP1).....	69
<b><u>Tableau 8-2</u></b> : Résultats des paramètres et courbe oedométrique (SP3).....	70
<b><u>Tableau 8-3</u></b> : Récapitulatif de quelques paramètres oedométriques .....	71
<b><u>Tableau 8-4</u></b> : Comparaison des résultats de la contrainte de préconsolidation .....	71

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 2-1</b> : Structure générale des phyllosicates (white,1999)...	19
<b>Figure 2-2</b> : Tétraèdre de silice couche tétraédrique .....	20
<b>Figure 2-3</b> : Octaèdre centré sur l'aluminium couche octaèdre..	20
<b>Figure 2-4</b> : Représentation schématique de quelques groupes de minéraux argileux TO(1-1) et TOT(2:1).....	21
<b>Figure 2-5</b> : Différents niveaux structuraux des sols gonflants...	22
<b>Figure 2-6</b> : Mécanisme d'absorption de l'eau sur les surfaces argileuses attraction par osmose attraction par dipolaire .....	23
<b>Figure 2-7</b> : Structure élémentaire du réseau cristallin de la kaolinite.....	24
<b>Figure 2-8</b> : Structure élémentaire du réseau cristallin de l'illite..	26
<b>Figure 2-9</b> : Représentation schématique de la structure d'un feuillet de type 1/1.....	27
<b>Figure 2-10</b> : Représentation schématique de la structure d'un feuillet de type 2/1.....	28
<b>Figure 2-11</b> : Situation géographique de la dépression de la lama au Sud du Bénin .....	30
<b>Figure 3-1</b> : Pressiomètre G-AM type Ménard.....	36
<b>Figure 3-2</b> : Pressiomètre TEXAM.....	37
<b>Figure 3-3</b> : Pressiomètre TRI-MODE.....	37
<b>Figure 3-4</b> : Courbe de fluage pressiométrique.....	40
<b>Figure 4.1</b> : Carte de l'Afrique de l'Ouest (SANOFI Afrique de l'Ouest,2007-2016).....	46
<b>Figure 4.2</b> : Les grands types de sols dominants au Bénin.....	47
<b>Figure 4.3</b> : Carte du village d'Issaba, commune de Pobè.....	48

## **LISTE DES PHOTOGRAPHIES**

<b>Photo 3.1</b> : Appareil pressiométrique de type Médard.....	32
<b>Photo 5.1</b> : Vue montrant du village Issaba.....	50
<b>Photo 5.2</b> : Vue montrant l'EPP de Issaba.....	50
<b>Photo 5.3</b> : Déformation sur le sol sur plus d'un mètre.....	50
<b>Photo 5.4</b> : Déformation sur le sol sur plus de 0,80 m de profondeur.....	50
<b>Photo 5.5</b> : Sondages avant prélèvements.....	51
<b>Photo 5.6</b> : Découpage du tuyau avant prélèvements.....	51
<b>Photo 5.7</b> : Battage du tuyau.....	52
<b>Photo 5.8</b> : Echantillons intacts prélevés.....	52
<b>Photo 5.9</b> : Récupération des échantillons.....	52

## **LISTE DES COUPES GEOLOGIQUES**

Annexe A-1: Coupe géologique du sondage ST1

Annexe A-2: Coupe géologique du sondage ST2

Annexe A-3: Coupe géologique du sondage ST3

Annexe A-4: Profil pressiométrique SP1

Annexe A-5: Courbes pressiométriques SP1

## LISTE DES NOTATIONS

$\sigma$ :	Contrainte totale
$\sigma_e$ :	Contrainte extérieure
$\sigma_{vs}$ :	contrainte totale verticale
$\sigma_{hs}$ :	contrainte horizontale totale
$\sigma'_p$ :	contrainte de préconsolidation
$\sigma_{vo}$ :	contrainte effective
$\nu_{vo}$ :	coefficient de Poisson
$\nu$ :	
$e_o$ :	indice des vides
$c_v$ :	coefficient de consolidation
$C_s$ :	indice de gonflement
$I_p$ :	indice de plasticité
$W_L$ :	limite de liquidité
$W_p$ :	limite de plasticité
$Pl$ :	pression limite
$C_c$ :	indice de compression
$E$ :	module d'élasticité
$Pl^*$ :	pression limite pressiométrique nette
$Pf^*$ :	pression de fluage pressiométrique nette

$\emptyset$  : l'angle de frottement

$D_r$  : densité relative

$\delta I$  : déplacement relatif

$K_o$  : coefficient de pression des terres au repos

$C_{uu}$  : cohésion non consolidée non drainée

$Q_p$  : capacité portante

$V_s$  : volume de la cellule centrale de la sonde

## **LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS**

Dr : Docteur

Prof : Professeur

CO : Couche octaédrique

CT : Couche tétraédrique

LERGC : Laboratoire d'Essais et de Recherches en Génie Civil

CNERTP : Centre National d'Essais et de Recherches des Travaux Publics

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

EPAC : Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi

ED-SDI : Ecole Doctorale des Sciences de l'Ingénieur