



Rechercher

OK

Numéros

- Vol.12, N°4 (2016)
- Vol.12, N°3 (2016)
- Vol.12, N°2 (2016)
- Vol.12, N°1 (2016)
- Vol.11, N°6 (2015)
- Vol.11, N°5 (2015)
- Vol.11, N°4 (2015)
- Vol.11, N°3 (2015)
- Vol.11, N°2 (2015)
- Vol.11, N°1 (2015)
- Tous les numéros

Index

- Par auteurs
- Par mots clés
- Géographique

Présentation

- Comité de Rédaction
- Instructions aux Auteurs
- INDEX - ABSTRACT
- Editorial
- Comité scientifique
- CHANGEMENT DE PERIODICITE
- Accueil

Vol.12, N°2 (2016)



Article

Caractérisation physico-mécanique des sols argileux de la dépression d'Issaba au Sud-Est du Bénin

Koffi Judicaël AGBELELE, Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou, République du Bénin. Email : agbeleleoffi@yahoo.fr

Gérard Léopold GBAGUIDI AÏSSE, Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou, République du Bénin

Abalo P'KLA, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs (ENSI) de l'Université de Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo

Gérard DEGAN, Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou, République du Bénin

Date de publication : 1 mars 2016

Résumé

Les problèmes occasionnés par le gonflement des sols argileux sont à l'origine d'énormes dégâts dans les ouvrages de génie-civil. Ce phénomène constitue une situation très complexe et particulièrement menaçante pour les différents projets de construction dans les régions de climat semi-aride dont le Bénin. Cet article présente essentiellement les résultats issus des essais d'identification et mécaniques effectués sur les argiles prélevées à différentes profondeurs sur neuf (09) sites de la zone d'étude en vue de leur caractérisation et d'une proposition de solution pour une bonne tenue des ouvrages. Les résultats obtenus nous ont permis de conclure qu'en partie, les sols étudiés au niveau de tous les sites sont composés d'un très fort pourcentage de particules argileuses très plastiques, de la famille d'illite et de montmorillonite ayant un potentiel de gonflement « élevé » et « très élevé » avec une activité d'argile majoritairement inactifs et un risque pathologique allant de grand à très grand.

Pour citer cet article

Koffi Judicaël AGBELELE, Gérard Léopold GBAGUIDI AÏSSE, Abalo P'KLA et Gérard DEGAN. «Caractérisation physico-mécanique des sols argileux de la dépression d'Issaba au Sud-Est du Bénin». Afrique Science, Vol.12, N°2 (2016), 1 mars 2016, <http://www.afriquescience.info/document.php?id=6079>. ISSN 1813-548X.



Document précédent



Début du document



Caractérisation physico-mécanique des sols argileux de la dépression d'Issaba au Sud-Est du Bénin

**Koffi Judicaël AGBELELE¹, Gérard Léopold GBAGUIDI AÏSSE¹, Abalo P'KLA²
et Gérard DEGAN¹**

¹*Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC),
Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 2009 Cotonou, République du Bénin*

²*Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs (ENSI) de l'Université de Lomé (UL), BP 1515 Lomé, Togo*

* Correspondance, courriel : agbeleleoffi@yahoo.fr

Résumé

Les problèmes occasionnés par le gonflement des sols argileux sont à l'origine d'énormes dégâts dans les ouvrages de génie-civil. Ce phénomène constitue une situation très complexe et particulièrement menaçante pour les différents projets de construction dans les régions de climat semi-aride dont le Bénin. Cet article présente essentiellement les résultats issus des essais d'identification et mécaniques effectués sur les argiles prélevées à différentes profondeurs sur neuf (09) sites de la zone d'étude en vue de leur caractérisation et d'une proposition de solution pour une bonne tenue des ouvrages. Les résultats obtenus nous ont permis de conclure qu'en partie, les sols étudiés au niveau de tous les sites sont composés d'un très fort pourcentage de particules argileuses très plastiques, de la famille d'illite et de montmorillonite ayant un potentiel de gonflement « élevé » et « très élevé » avec une activité d'argile majoritairement inactifs et un risque pathologique allant de grand à très grand .

Mots-clés : *gonflement, sols argileux, risque pathologique, Issaba.*

Abstract

The problems caused by swelling clay soils are causing enormous damage in the civil engineering works. This phenomenon is a very complex and particularly threatening situation for the various construction projects in semi-arid regions including Benin. This article mainly results from identification and mechanical tests of swelling clays collected at different depths in nine (09) sites in the study area for their characterization and a proposed solution for holding books. The results allowed us to conclude that, on average, soils studied at all sites are composed of a very high percentage of clay particles of the family of illite, kaolinite and montmorillonite with a swelling potential "high" and "very high" with a "very active" clay activity and pathological risk "great" and "very great".

Keywords : *swelling, clay soils, pathological risk, Issaba.*

1. Introduction

L'instabilité des sols due au phénomène de gonflement se trouve entre autres à l'origine d'énormes dégâts dans les ouvrages de génie-civil, tels les déformations, les fissurations, les arrachements, l'usure de la surface de roulement et la destruction des fondations observées au niveau des infrastructures (logements, centres sociocommunitaires, chaussée revêtue ou non), causant, pour [1] des désordres considérables qui imposent des reprises considérables en sous œuvre très coûteuses et dont la réalisation n'est souvent pas maîtrisée. Ce phénomène est une situation très complexe et particulièrement menaçante pour les différents projets de construction, dans bien des régions du monde où ces types de sols sont rencontrés et au niveau desquels on enregistre des dégradations précoces des ouvrages. [2] définissent ces sols comme des sols non saturés présentant la particularité de pouvoir changer de leur état de contraintes total sans qu'il n'y ait changement dans le chargement extérieur. Et que tout changement dans l'environnement hydrique du sol conduit à une modification des pressions interstitielles régnant en son sein. Selon [3] les sols argileux sont le siège de déformations de retrait-gonflement qui évoluent en fonction des variations hydriques saisonnières. En se développant sous la forme de tassements/ soulèvements différentiels, ces déformations peuvent s'avérer néfastes aux constructions fragiles. Au Bénin, cette forme de tassements/ soulèvements différentiels engendrant des dégradations précoces au niveau des infrastructures s'observe en grande partie au niveau des vertisols qui se trouvent être logés en majorité dans la dépression de la Lama situé au Sud du Bénin. Il urge alors de prendre des dispositions particulières lors de la réalisation des infrastructures.

Cette dépression de la Lama a particulièrement intéressé certains chercheurs qui y ont consacré des études. Ainsi [4] a fait des études stratigraphiques très précises sur le bassin côtier du Dahomey d'alors et une étude synthétique détaillée de l'ensemble du bassin sédimentaire côtier du Togo et du Dahomey. Après un nombre élevé de puits forés, il a abouti à la conclusion que le bassin reçoit du quartz et des minéraux argileux où la kaolinite est très largement dominante. Aussi note-t-on la présence d'attapulgite et de montmorillonite. [5] travaillant sur l'établissement des critères constructifs de l'argile de la dépression de la Lama a abouti dans ses conclusions que la zone comporte de la Kaolinite, de montmorillonite et de l'illite. Les résultats de la composition chimique par fluorescence X des travaux de [6] sur l'argile d'Onigbolo, situé dans la dépression Est de la Lama font apparaître une forte proportion de silice (45 %) comparée à celle de l'alumine (17 %), valeurs comparables à celles des illites et des montmorillonites. En 2008 [7] a étudié les sols gonflants de la dépression de la Lama et conclut que tous les sols étudiés sont constitués d'argiles de type Kaolinite et montmorillonite. Son travail reste cependant à parfaire, vu le nombre très limité de points de prélèvement dans toute la dépression de la Lama et les écarts observés dans les résultats issus des essais réalisés. Suite aux travaux de [7, 8] ont étudié les sols gonflants de la dépression de la Lama. Sur les six points de prélèvement effectués au niveau de ladite dépression, seulement deux points à Onigbolo et Issaba-Sud ont été réalisés à l'Est de la Lama. Les essais ont permis de conclure que tous les sols étudiés sont constitués d'argiles de type Kaolinite et montmorillonite et que le pourcentage en minéraux gonflants à Onigbolo est également très important avec une activité normale tandis que l'argile obtenu à Issaba a une activité faible. Bien que l'étude sur toute la zone de la dépression de la Lama s'avère très intéressante, nous circonscrivons notre travail seulement à la zone Est (l'une des trois parties de la dépression) pour mieux l'appréhender et être plus précis dans nos résultats. La présente étude vise une amélioration du comportement physico-mécanique de ces sols argileux et une proposition de solutions préventives pour la bonne tenue des ouvrages.

2. Méthodologie

2-1. Milieu d'étude

Les sites, objet de la présente étude, se situent dans la dépression d'Issaba à l'Est de la dépression de la Lama. Selon [9] cité par [6] cette dépression de la Lama est formée par une bande orientée WSW - ENE de largeur maximale 25 km. Elle couvre une aire qui s'étend de l'est (Pobè, Issaba, etc.) à l'ouest (Allada, Toffo, etc.) et est estimée à une superficie de plus de 3000 km². La dépression de la Lama forme un vaste sillon d'une longueur de 130 km et d'une largeur variable de 5 km (Tchi) à 25 km (Issaba). Elle est divisée en trois zones à savoir la dépression d'Issaba à l'est, dépression de Ko au centre et dépression de Tchi à l'ouest [10].

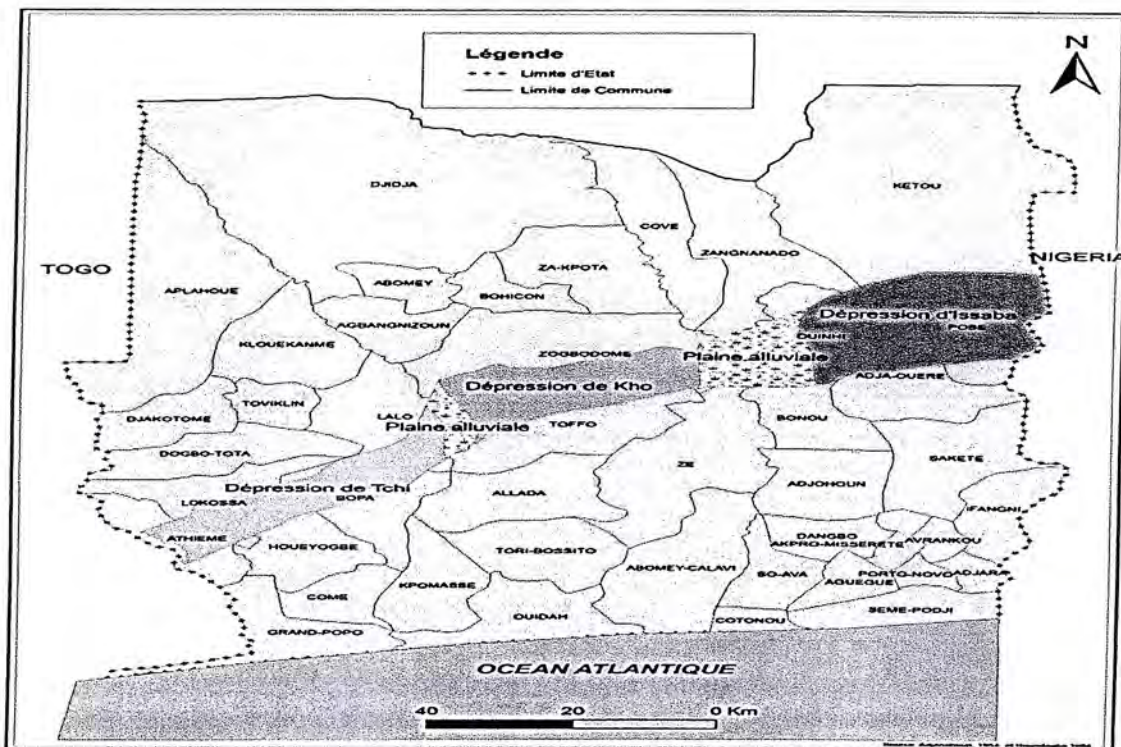


Figure 1 : Carte régionale méridionale du Bénin

2-2. Echantillonnage

La méthodologie utilisée lors cette étude est basée d'abord sur la recherche documentaire, ensuite les travaux de terrain enfin les essais de laboratoire et leur traitement. L'objectif principal de cette recherche documentaire est de faire une synthèse bibliographique afin de recenser en général les documents abordant les études sur les argiles et en particulier ceux liés à notre zone d'étude. En ce qui concerne les travaux de terrain, nous avons dans un premier temps fait l'échantillonnage dans le milieu d'étude, dans second temps de localiser les sites de prélèvement par un GPS pour enfin passer en un troisième temps aux différents prélèvements. Ainsi, pour une meilleure compréhension du comportement physico-mécanique des sols localisés dans la dépression Est d'Issaba, nous avons réalisé des prélèvements sur neuf (09) sites (Figure 2). Sur chaque site, des échantillons remaniés et intacts ont été extraits de 0 m à 0,40 m ; 0,40 m à 1,00 m ; 1,00 m à 2,0 m et de 2,00 m à 3,00 m de profondeur.

Le Centre National des Essais et Recherches en Travaux Publics (CNERTP) du Bénin, le laboratoire LAB-TP de Lomé au Togo et le Laboratoire des Sciences du Sol Eaux et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) ont servi de cadre pour la réalisation des différents essais d'identifications et mécaniques sur les échantillons. Les résultats de ces essais ont fait l'objet d'analyses et de discussions.

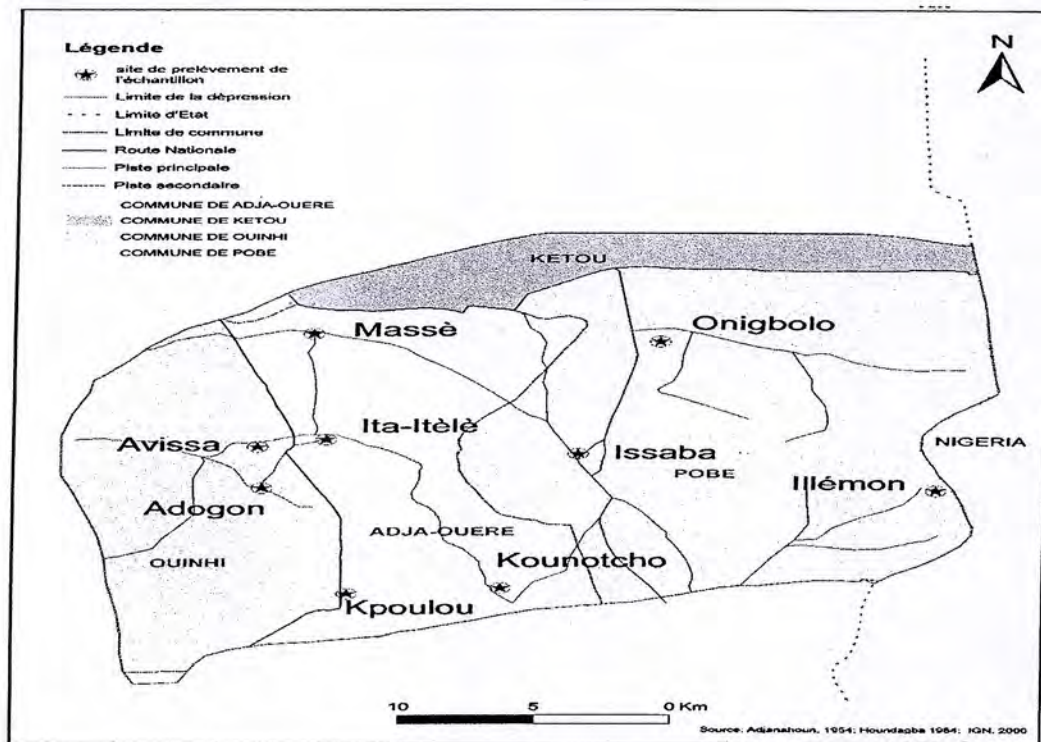


Figure 2 : Localisation des sites de prélèvement

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques physiques et classification

3-1-1. Analyses granulométriques par tamisage

Elle est réalisée suivant la norme NF P 94-056 et nous a permis de déterminer le pourcentage de passants au tamis (< 80 μm)

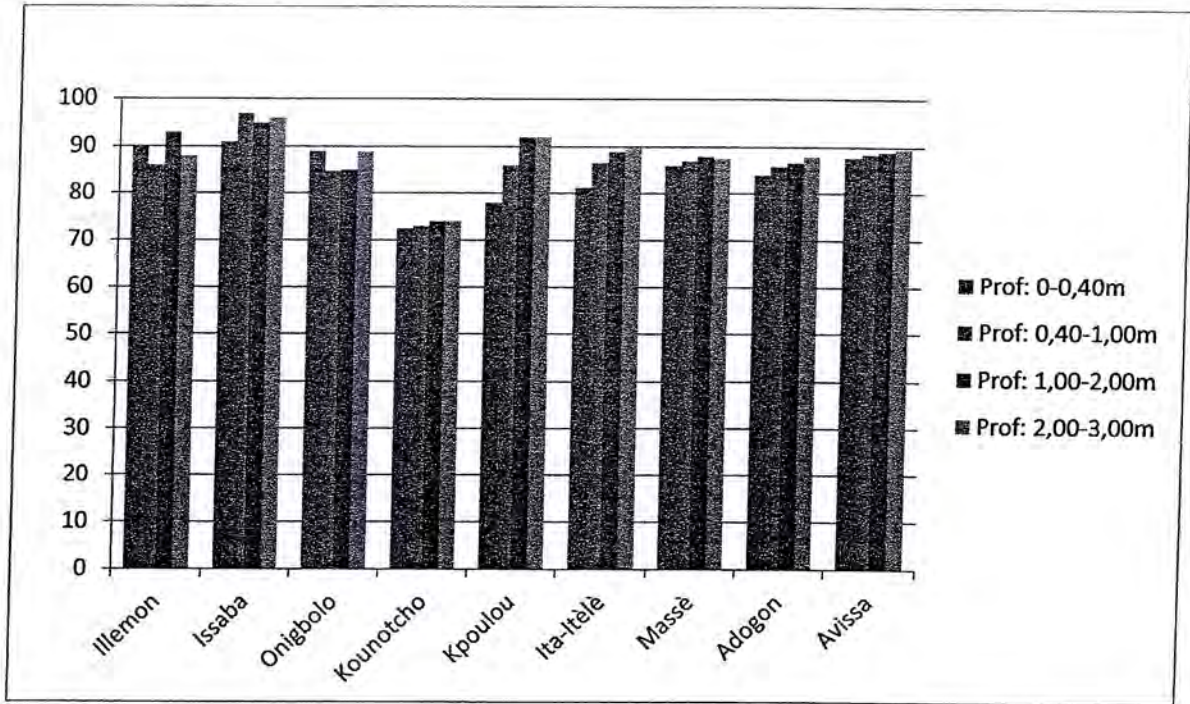


Figure 3 : Passants au tamis 80 µm

On remarque un pourcentage de passants au tamis (< 80 µm) élevé variant de 72,50 à 97 %. Cette analyse laisse conclure, pour chaque site, la présence jusqu'à une profondeur de trois (03) mètres d'un matériau composé essentiellement de particules fines (< 80 µm) pour chaque site. Nous ferons donc une analyse granulométrique par sédimentation pour chaque échantillon pour connaître la portion de particules argileuses.

3-1-2. Analyses granulométriques par sédimentation

Cet essai a été conduit suivant la norme NF P 94-057 pour déterminer la distribution pondérale des particules fines présentes dans les échantillons de sol étudié.

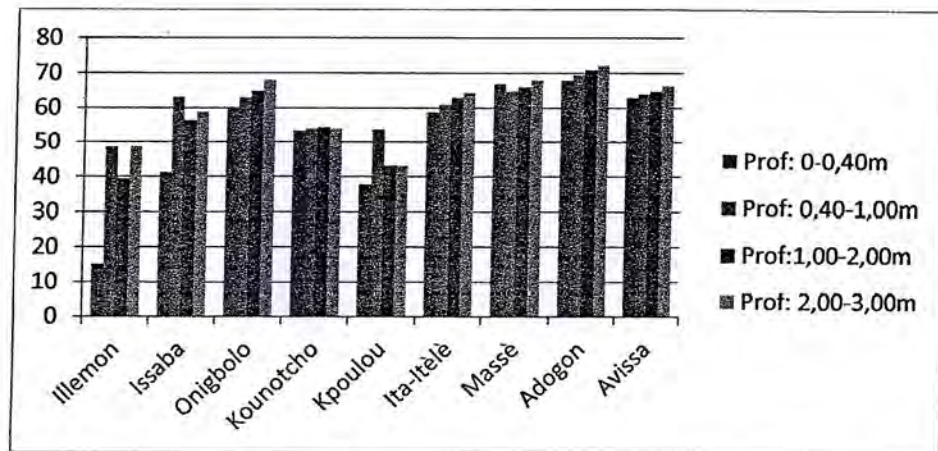


Figure 4 : Passants au tamis 2 µm

Sauf pour le site d'Illemon où le taux d'argile est de 15 % à la profondeur de 0,40 m, on note que le taux d'argile pour tous les échantillons aux différentes profondeurs varie de 38 à 72 %. Il se dégage donc que nos échantillons contiennent des particules argileuses.

3-1-3. Poids spécifiques

Le poids spécifique des grains solides a été déterminé selon la norme française NFP 94 - 054. Les valeurs trouvées sont résumées sur le graphe de la **Figure 5**.

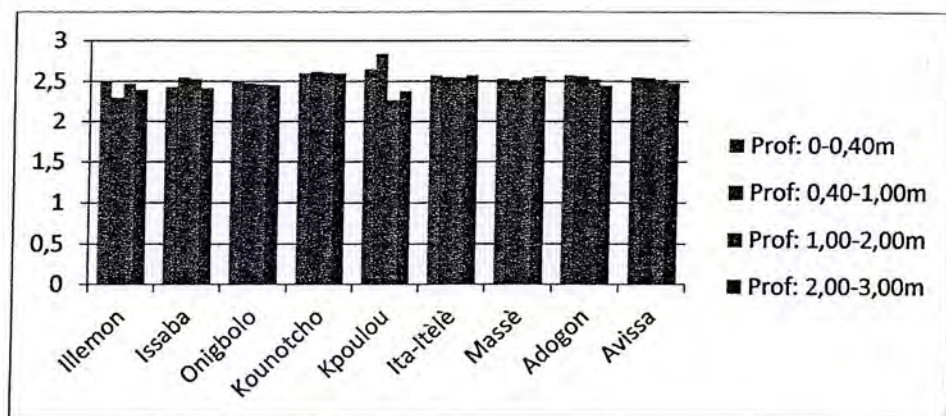


Figure 5 : Poids spécifiques

Les valeurs trouvées sont de l'ordre de 2,27 à 2,84 et nous permettent de conclure que les échantillons prélevés sont de nature argileuse [11].

3-1-4. Matières Organiques

La teneur en matières organiques (MO) est le quotient de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon de sol par la masse totale des particules solides. Les résultats obtenus sont consignés sur le graphe de la **Figure** ci-dessous:

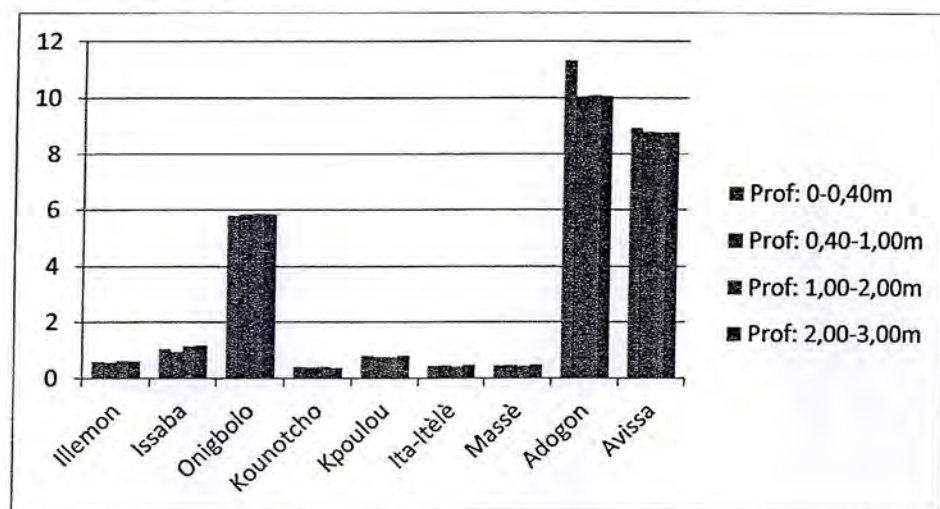


Figure 6 : Matières organiques

A travers ces fluctuations, nous constatons une variation allant de (0,39 à 11,3). Nous pouvons donc dire que les sols des sites de Illemon, Issaba, Kounotcho, Ita-Itèlè et Massè sont non organiques avec, à Issaba, une teneur en matières organiques maximale de $1,187 < 3$. Les sols des autres sites (Onigbolo, Adogon et Avisso) sont faiblement organiques hormis la profondeur de 0,00m-0,40m d'Adogon, moyennement organique (Confère **Tableau** ci-dessous).

Tableau 1 : Classification des sols en mécanique des sols selon leur teneur en matières organiques [12]

Teneur en Matières Organiques (%)		Qualificatif
$C_{MO} \leq 3$	non organique	
$3 < C_{MO} \leq 10$	Faiblement organique	
$10 < C_{MO} \leq 30$	Moyennement organique	à matrice organique amorphe
		à matrice organique semi-fibreuse
		à matrice organique fibreuse
$C_{MO} > 30$	Très organique	à matrice organique amorphe
		à matrice organique semi-fibreuse
		à matrice organique fibreuse

3-1-5. Essai au bleu de méthylène

D'après le Guide des Terrassements Routiers (GTR 92) français [13], six catégories de sol sont définies selon la valeur au bleu de méthylène.

Tableau 2 : Valeur au bleu de méthylène d'après le GTR

Valeur de bleu de méthylène (V_{BS})	Catégorie de sol
$V_{BS} < 0,1$	sol insensible à l'eau
$0,2 \leq V_{BS} < 1,5$	sol sablo limoneux, sensible à l'eau
$1,5 \leq V_{BS} < 2,5$	sol sablo argileux, peu plastiques
$2,5 \leq V_{BS} < 6$	sol limoneux de plasticité moyenne.
$6 \leq V_{BS} < 8$	Sol argileux.
$V_{BS} > 8$	Sol très argileux.

Les résultats de l'essai au bleu de méthylène sur les sites sont récapitulés sur le graphe de la **Figure** ci-dessous.

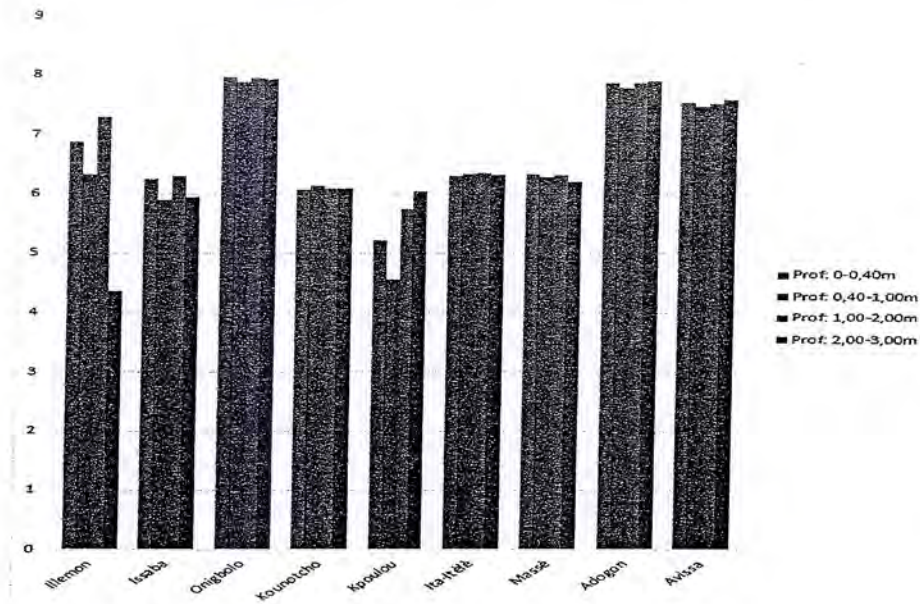


Figure 7 : Valeur de bleu de méthylène

D'après le tableau de classification selon la valeur du VBS issue du guide français de terrassement notifié plus haut, nous pouvons conclure que les sols des sites d'Onigbolo, de Kounotcho, d'Ita-Itèlè, de Massè, d'Adogon et d'Avissa sont des sols argileux ($6 < V_{BS} < 8$). Par contre les sols des sites d'Illemon, d'Issaba et de Kpoulou sont un mélange de sol argileux et limoneux à plasticité moyenne. Illemon par exemple présente des sols argileux jusqu'à une profondeur de 2,00 m et du limon à plasticité moyenne de 2,00 m à 3,00 m.

3-1-6. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

✓ Limites de liquidité

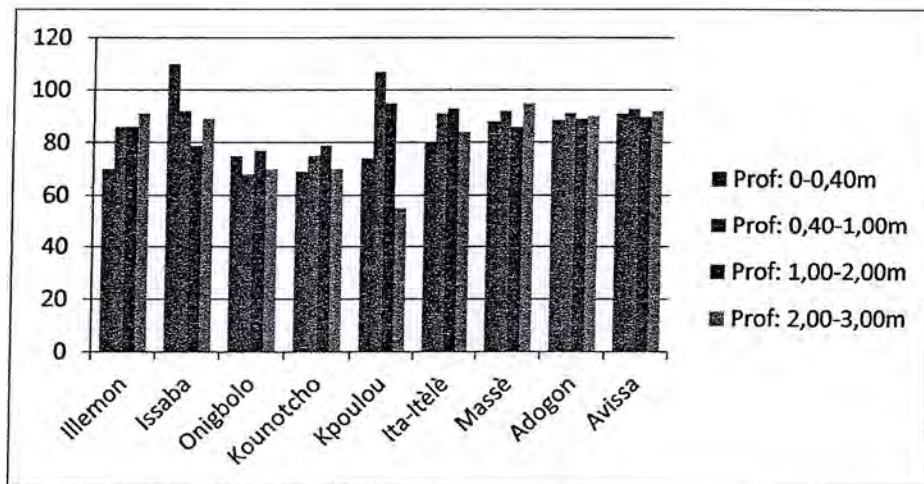


Figure 8 : Limites de liquidité

Les limites de liquidité pour les sols étudiés varient de 47 à 110 %.

✓ *Indice de plasticité*

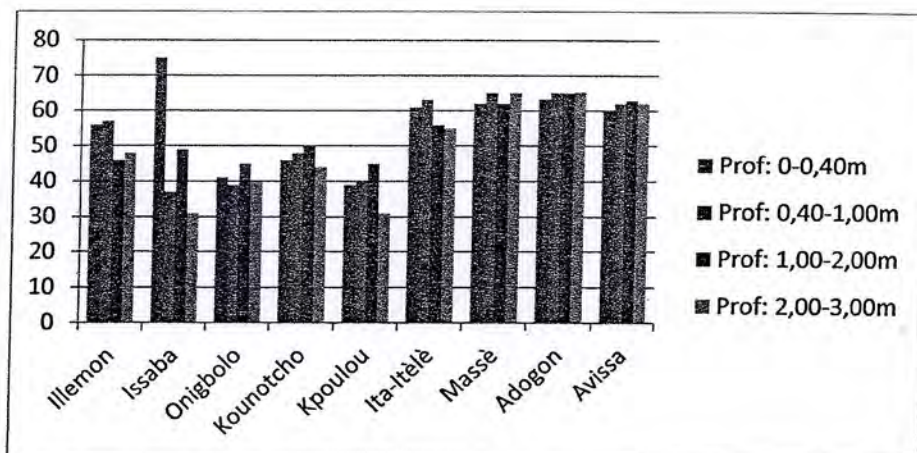


Figure 9 : *Indice de plasticité*

Quant aux indices de plasticité les valeurs obtenues vont de 30 à 75 %.

3-1-7. Classification AASHTO

Tableau 3 : *Classification AASHTO (1978)*

Sites	AG	Limites		Sous-groupe (AASSTO)
		WL	IP	
Illemon	90	70	43	A-7-6
	86	86	57	A-7-6
	93	86	46	A-7-5
	88	91	48	A-7-5
Issaba	91	110	75	A-7-5
	97	92	37	A-7-5
	95	79	49	A-7-5
	96	89	31	A-7-5
Onigbolo	89	75	41	A-7-5
	84,7	68	39	A-7-5
	85	77	45	A-7-5
	88,9	70	40	A-7-5
Kounotcho	39,92	69	46	A-7-6
	40,78	75	48	A-7-6
	41,54	79	50	A-7-6
	38,76	70	44	A-7-6
Kpoulou	78	74	39	A-7-5
	86	107	40	A-7-5
	92	95	45	A-7-5
	92	55	31	A-7-6
Ita-Itèlè	81,33	80	61	A-7-6

	86,6	91	63,2	A-7-6
	89	93	56	A-7-6
	89,7	84	55	A-7-6
Massè	86	88	62	A-7-6
	87	92	65	A-7-6
	87	86	62	A-7-6
	87,5	95	65	A-7-5
Adogon	71	46,4	26,3	A-7-5
	72,5	50	27	A-7-5
	72	45	26,8	A-7-5
	76	50	25	A-7-5
Avisa	87,8	91	60	A-7-6
	88,5	92,7	62	A-7-6
	89	89,78	63	A-7-6
	89,5	92	62	A-7-6

Il ressort de cette classification que tous les échantillons prélevés sont des sols argileux de A-7-5 et A-7- 6.

3-1-8. Abaque de plasticité de Casagrande

Casagrande a suggéré une démarche simplifiée, basée sur les limites de liquidité et de plasticité. Cet abaque de plasticité permet d'avoir autant de renseignements pertinents que les essais d'identification minéralogique [14].

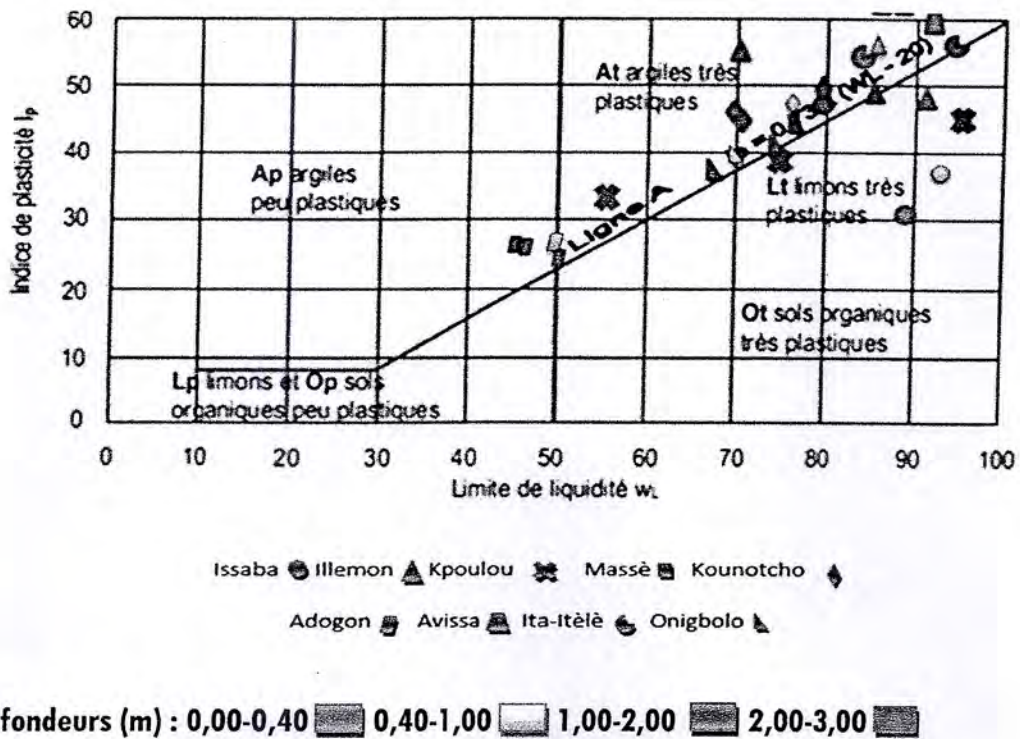


Figure 10 : Abaque de plasticité de Casagrande (1953)

D'après cet abaque, les sols des sites d'Onigbolo, de Massè, d'Ita-Itèlè, de Kounotcho, d'Adogon et d'Avissa se trouvent au-dessus de la Ligne A ; donc sont de l'argile très plastique. Les sols des sites d'Issaba, d'Illemon et de Kpoulou sont un mélange d'argile et de limon très plastiques parce que ces échantillons sont à la fois au-dessus et en dessous de la ligne A. Ce qui confirme les résultats de la valeur bleu de méthylène.

3-1-9. Activité de l'argile

Le coefficient d'activité « A » d'un granulat (connu sous le nom de coefficient de SKEMPTON) fut défini en 1953 par SKEMPTON, comme étant le rapport de l'indice de plasticité (IP) de ce granulat à sa teneur en éléments de diamètres inférieurs à 2 micromètres (2 μm) « la fraction argileuse (FA) » [15].

$$A = \frac{I_p}{\%<2\mu m} \tag{1}$$

Où A est l'activité du granulat et IP est l'indice de plasticité.

Tableau 4 : Activités des principales familles d'argiles (Skempton, 1953).

Activité Ac	Type de sol
0,50 – 0,75	Sol inactif
0,75 – 1,25	Sol normal
1,25 – 2,00	Sol actif
> 2	Sol très actif

Le diagramme ci - dessous présente les résultats de l'activité de l'argile des différents prélèvements étudiés.

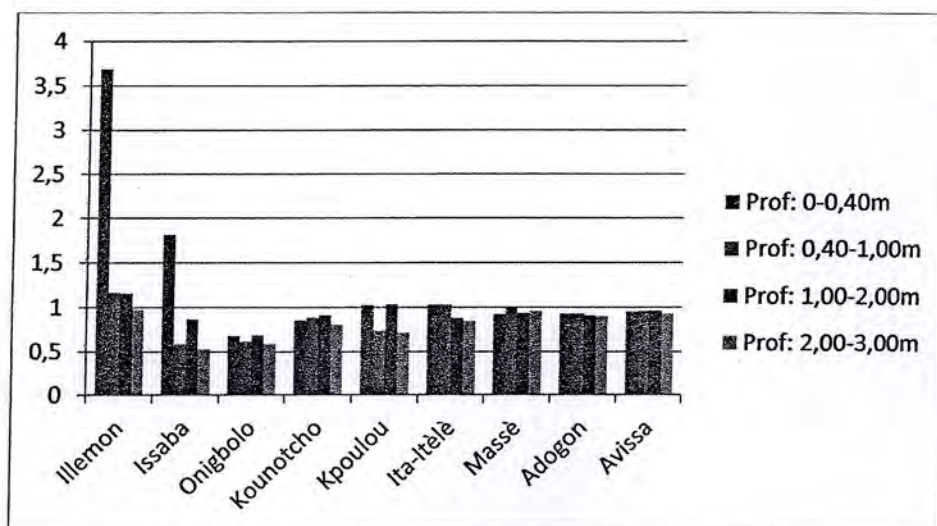


Figure 11 : Activité de l'argile

Il se dégage de ces résultats que tous les sols prélevés jusqu'aux profondeurs de 3,00 mm sont inactifs (Ac < 0,75) sauf au niveau de 0 à 0,40 m pour celui d'Issaba où l'argile est active et très active pour Illemon toujours pour la même épaisseur.

3-1-10. Potentiel de gonflement

Tableau 5 : Classification de SANGLERAT[16]

Potentiel de gonflement	IP (%)
Faible	< 15
Moyen	15 – 25
Elevé	25 – 55
Très Elevé	> 55

En se référant à la *Figure 9*, les valeurs des IP sont entre 31 et 75 %. D'après l'abaque de Guy SANGLERAT, nous pouvons conclure que les argiles étudiées ont un potentiel de gonflement « Elevé à Très Elevé ».

Tableau 6 : Classification du gonflement des différents sols étudiés selon l'Abaque de G. SANGLERAT[16]

Sites	PROFONDEURS (m)			
	0,00-0,40	0,40-1,00	1,00-2,00	2,00-3,00
Type de gonflement				
Illemon	Très Elevé		Elevé	
Issaba	Très Elevé	Elevé		
Onigbolo, Kounotcho, Kpoulou	Elevé			
Ita-Itèlè, Massè, Adogon, Avissa	Très Elevé			

3-2. Caractéristiques mécaniques

3-2-1. Cisaillements directs

Des résultats de l'essai de cisaillement direct pour les sols des sites étudiés, nous avons fait une classification de ces derniers en fonction de la contrainte admissible

Tableau7 : Classification des sols suivant la contrainte admissible

Sites	PROFONDEURS (m)			
	0,00-0,40	0,40-1,00	1,00-2,00	2,00-3,00
Contrainte Admissible du Sol				
Illemon	Très Faible	Faible	Faible	Faible
Issaba, Onigbolo	Faible			
Kounotcho	Très Faible	Très Faible	Très Faible	Très Faible
Kpoulou	Faible			Très Faible
Ita-Itèlè, Massè, Adogon, Avissa	Très Faible			

3-2-2. Essais œdométriques

Les résultats obtenus au cours des essais œdométriques sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Récapitulatif des résultats des essais œdométriques

Sites	Profondeur (m)	Indice de compression C_c	Indice des vides	Indice de gonflement C_g	Contrainte de préconsolidation (daN/cm ²)	$\frac{c_c}{1 + e_0}$
Illemon	0,00-0,40	0,820	0,840	0,060	1,400	0,470
	0,40-1,00	0,352	1,028	0,028	0,980	0,170
	1,00-2,00	0,359	0,902	0,027	1,000	0,190
	2,00-3,00	0,357	0,856	0,026	0,980	0,192
Issaba	0,00-0,40	0,345	0,757	0,032	1,000	0,196
	0,40-1,00	0,355	0,590	0,026	0,900	0,160
	1,00-2,00	0,327	0,860	0,022	0,920	0,176
	2,00-3,00	0,340	0,970	0,020	0,950	0,172
Onigbolo	0,00-0,40	0,560	1,103	0,017	1,172	0,270
	0,40-1,00	0,490	1,087	0,018	1,175	0,235
	1,00-2,00	0,590	1,098	0,016	1,173	0,281
	2,00-3,00	0,480	0,980	0,0165	1,175	0,240
Kounotcho	0,00-0,40	0,270	0,857	0,024	0,910	0,140
	0,40-1,00	0,310	0,744	0,023	0,930	0,180
	1,00-2,00	0,320	0,783	0,024	0,960	0,180
	2,00-3,00	0,290	0,731	0,023	0,980	0,167
Kpoulou	0,00-0,40	0,375	1,020	0,023	1,320	0,185
	0,40-1,00	0,358	0,906	0,022	0,980	0,170
	1,00-2,00	0,363	0,957	0,024	0,950	0,185
	2,00-3,00	0,416	0,912	0,021	0,960	0,220
Ita-Itèlè	0,00-0,40	0,280	0,933	0,012	0,880	0,145
	0,40-1,00	0,270	0,945	0,013	0,920	0,140
	1,00-2,00	0,250	0,892	0,014	0,950	0,132
	2,00-3,00	0,270	0,905	0,011	0,980	0,142
Massè	0,00-0,40	0,290	0,975	0,012	0,890	0,147
	0,40-1,00	0,280	0,912	0,013	0,920	0,146
	1,00-2,00	0,260	0,868	0,015	0,940	0,140
	2,00-3,00	0,280	0,857	0,010	0,980	0,150
Adogon	0,00-0,40	0,310	1,430	0,0092	1,070	0,127
	0,40-1,00	0,290	1,162	0,009	1,080	0,134
	1,00-2,00	0,330	1,510	0,009	1,060	0,131
	2,00-3,00	0,350	1,340	0,0094	1,100	0,150
Avisa	0,00-0,40	0,280	1,523	0,0047	0,980	0,110
	0,40-1,00	0,285	1,433	0,0051	0,950	0,120
	1,00-2,00	0,300	1,311	0,005	0,970	0,130
	2,00-3,00	0,297	0,980	0,0053	0,985	0,150

3-2-2-1. Indice de compression C_c **Tableau 9 :** *Indice de compression de quelques minéraux argileux par COSTET et SANGLERAT [16]*

Sable	$0,01 < C_c < 0,1$
Argile raide (kaolinite)	$0,1 < C_c < 0,25$
Argile moyenne (illite)	$0,25 < C_c < 0,80$
Argile molle (montmorillonite)	$0,80 < C_c < 2,5$

Du **Tableau 9**, nous pouvons déduire que le sol est de nature "argile moyenne (illite)" à Kpoulou, Issaba, Massè, Kounatcho, Adogon, Avissa, Ita-Itèlè et Onigbolo. Mais à Illèmon le sol n'est pas uniforme. De 0 à 0,40m on rencontre de l'argile molle (montmorillonite)" et de 0,40 m à 3,00 m le sol est de nature "argile moyenne (illite)".

3-2-2-2. Contrainte de pré consolidation

L'état de consolidation joue un rôle important dans le phénomène de gonflement.

Tableau 10 : *Nature de consolidation en fonction de la contrainte de pré consolidation [16]*

Contrainte de pré consolidation	Nature de la consolidation
< 1	Sous consolidé
$= 1$	Normalement consolidé
> 1	Sur consolidé

Tableau 11 : *Classification des sols étudiés suivant les contraintes de pré consolidation*

Sites	PROFONDEURS (m)			
	0,00-0,40	0,40-1,00	1,00-2,00	2,00-3,00
	Type de consolidation			
Illemon	Sur consolidé	Sous consolidé	Normalement consolidé	Sous consolidé
Issaba	Normalement consolidé	Sous consolidé	Sous consolidé	Sous consolidé
Onigbolo et Adogon	Sur consolidé			
Kounatcho, Kpoulou, Ita-Itèlè, Massè et Avissa	Sous consolidé			

3-2-2-3. Formule de PHILIPPONAT $\frac{C_c}{1+e_0}$ [17]**Tableau 12 :** *Risque pathologique en fonction de $\frac{C_c}{1+e_0}$*

$\frac{C_c}{1+e_0}$	Risque pathologique
$< 0,015$	Faible
$0,015 < \frac{C_c}{1+e_0} < 0,05$	Moyen
$0,05 < \frac{C_c}{1+e_0} < 0,2$	Grand
$> 0,2$	Très grand

Tableau 13 : Tableau traduisant le risque pathologique des sols étudiés suivant la formule de PHILIPPONAT [17]

Sites	PROFONDEURS (m)			
	0,00-0,40	0,40-1,00	1,00-2,00	2,00-3,00
	Risque pathologique			
Illemon	Très grand	Grand		
Issaba, Kounotcho, Ita-Itèlè, Massè, Adogon, Avissa	Grand			
Onigbolo	Très grand			
Kpoulou	Grand			Très grand

3-3. Propositions pour une bonne tenue des ouvrages

Les sols étudiés étant de l'argile constituée essentiellement de Montmorillonite et d'illite avec un gonflement élevé et très élevé occasionnant ainsi un risque pathologique de la plage « Grand – Très Grand », nous suggérons :

- **Pour les constructions routières :** Un décapage général du sol sur au moins une épaisseur de 40 cm. Remplacer la partie de sol décapé par des matériaux sélectionnés dont les caractéristiques répondent aux normes permettant une bonne tenue de la route. Isoler la couche de fondation du sol support par des matériaux comme les géotextiles et les géogrilles pour éviter la remontée de l'eau.
- **Pour les bâtiments :** S'agissant des structures légères, vu le caractère gonflant de l'argile avec une pression de gonflement variable à toutes les profondeurs étudiées, nous recommandons un décapage du sol argileux et son remplacement par des matériaux adéquats. Les fondations seront donc ancrées dans un sol bicouche : c'est un système de semelles isolées reposant sur un remblai en matériaux pulvérulents (sable granulaire) qui feront office de matelas répartiteur de contraintes. Pour les grandes constructions, nous conseillons la conception des fondations profondes sur pieux à ancrer sur le bon sol. Le maximum de profondeur atteinte pour les prélèvements dans le cadre de cette étude n'étant que de trois (03) mètres, une analyse des sols en plus grande profondeur s'avère indispensable pour mieux apprécier leurs natures en vue de faire les meilleures options.

4. Conclusion

La présente étude rapportée dans cet article nous a permis de tirer des conclusions sur les sols de nos sites de recherche. Les sols de tous les sites étudiés sauf Illemon sont constitués de limon et d'argile de la famille de l'illite et de montmorillonite, ayant un potentiel de gonflement de « élevé » à « très élevé » avec une activité de l'argile variant de « inactif » à « très actif ». A Illemon, le sol est constitué uniquement d'argile de la famille des montmorillonites, dont l'activité est « active » avec un potentiel de gonflement « Très Elevé ». Les essais mécaniques ont confirmés nos conclusions faites à partir des essais d'identification. Kpoulou, Massè, Ita-Itèlè, Avissa et Kounotcho sont caractérisés par un sol d'argile « moyenne » avec une contrainte de pré consolidation « sous consolidé ». Les sols de Illemon, Issaba contiennent de l'argile « molle » et « moyenne » avec une contrainte de pré consolidation allant de « sur consolidé » à « sous consolidé ». Par contre les sols d'Adogon et Onigbolo contiennent de l'argile « moyenne » avec une contrainte de consolidation « sur consolidé ». Quant au risque pathologique, en fonction de la de la formule de Philipponat, les sols étudiés ont un risque pathologique allant de « grand » à « très grand ».

Références

- [1] - Y. MOKEDDEM et A. BERGA, Caractérisation du potentiel de gonflement de l'argile de la région d'Abadla - Guir Lotfi. *Journal of Science Research NI*, Vol. 1, p. 42-47, 2011.
- [2] - H. MOBAREK et Z. DERRICHE, Argile de Béjaïa : Succions et changement de volumes. 21^{ème} Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, (2013).
- [3] - A. ABALO, Caractérisations minéralogique et géotechnique des sols gonflants de trois formations géologiques au SUD-TOGO : Impacts sur les bâtiments. Thèse de doctorat à l'Université de Lomé, (2012).
- [4] - M. SLANSKY, Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du DAHOMEY et du TOGO. Technip, Paris, France, (1962).
- [5] - A. ADJATI, Etablissement des critères constructifs de l'argile de la Lama : Contribution à l'étude du gonflement. Thèse d'agrégation de l'Enseignement Supérieur de l'Université libre de Bruxelles, Belgique, (1986).
- [6] - Y. KIKI, Contribution à la mise au point de méthodes de stabilisation des sols gonflants : application aux sols argileux de la région de la Lama (Bénin). Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle de l'Ecole supérieure Polytechnique de THIES, (2003 - 2004).
- [7] - K. HENDRIKS, Etude et analyse des sols gonflants au Bénin. Travail de fin d'études en vue de l'obtention du grade d'Ingénieur Civil des Constructions. Université de Liège. Université d'Abomey-Calavi - Laboratoire d'Essais et de Recherche en Génie Civil, (2008).
- [8] - V. GBAGUIDI et al, Etude du phénomène de gonflement des sols argileux du bassin sédimentaire côtier au Bénin, (2010).
- [9] - I. Mouinou, W. Ulrich (2000) - Géologie et géomorphologie du sud Bénin.
http://www.uni-hohenheim.de/~atlas308/c_benin/projects/c2_1_1/html/french/btext_fr_c2_1_1.htm
- [10] - A. BIO YESSOUFOU, Analyse organisationnelle de la fédération béninoise de football : stratégie des acteurs, (2002).
- [11] - J. LERAU, Géotechnique, Tome 2, (2006).
- [12] - P. REIFFSTECK, Les sols gonflants en génie-civil. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, (1999).
- [13] - Le Guide des Terrassements Routiers (GTR 92).
- [14] - R. HOLTZ, W. KOVACS et T. SHEAHAN, Introduction à la géotechnique, Montréal, Editions de l'Ecole polytechnique de Montréal, 1991.
- [15] - O. COUSSY, Mécaniques des milieux poreux, Editions Technip, Paris. (1981).
- [16] - J. COSTET et G. SANGLERAT, Cours pratique de mécanique des sols, Tome 1 : Plasticité et calcul des tassements, 3^{ème} édition, Dunod, Paris, (1981).
- [17] - G. PHILIPPONNAT et B. HUBERT, fondations et ouvrages en terre, 3^{ème} édition, Eyrolles, Paris, (1997).