

CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DU SABLE SILTEUX UTILISE EN COUCHE DE CHAUSSEE AU SUD DU TOGO ET DU BENIN

P'KLA A. *, AMEY K. B. et NEGLO K.
Département de Génie Civil, ENSI-UL, Tel : 90 10 38 75,

(*) Auteur correspondant : e-mail : a_pkla@yahoo.fr

(Reçu le 10 Juillet 2016 ; Révisé le 23 Août 2016 ; Accepté le 07 Septembre 2016)

RESUME

Le sable silteux ou limoneux n'est pas un matériau conventionnel en géotechnique routière en zone tropicale comparativement à la latérite, la grave concassée, etc. Le présent travail a pour objectif de déterminer les performances mécaniques en termes de portance CBR, de résistance en compression et en traction des sables silteux du Togo et du Bénin afin d'envisager la possibilité d'utilisation de ce matériaux dans les couches d'assise des routes. 24 échantillons prélevés au sud du Togo et du Bénin sont soumis à des essais en laboratoire. Il ressort que ce matériau, à l'état naturel et convenablement compacté, est utilisable en plate-forme de catégories PF2 à PF4 selon la classification GTR ($20 < CBR_{95} < 40$). Le sable silteux amélioré au ciment à un taux 2% peut être utilisé en couche de fondation ($CBR_{95} > 60$) alors qu'au taux d'amélioration de 3% et au-delà, il est utilisable en couche de base ($CBR_{95} > 160$) avec comme résistances à la compression (R_c) et traction par fendage minimales respectivement de 1,52MPa et 0,178MPa.

Mots clés : sable silteux, Togo, Bénin, CBR, résistance en compression, traction.

ABSTRACT

The silty sand or loamy sand is not a conventional material that can be used in road geotechnology in tropical area compared with laterite, crushed gravel, etc. The present work aims at determining mechanical performances in terms of CBR lift, compressive resistance and tensile resistance of silty sand from Togo and Benin in order to consider the possibility of using this material in the road base layers. 24 samples from southern Togo and Benin are subjected to laboratory tests. The results show that this material, in its natural and properly compacted state, can be used in platform of categories PF2 to PF4 according to the GTR classification ($20 < CBR_{95} < 40$). The silty sand mixed with cement at a rate 2% may be used in foundation layer ($CBR_{95} > 60$), whereas at an improved rate of 3% and beyond, it can be used in base layer ($CBR_{95} > 160$) with a minimal compressive resistance (R_c) and splitting tensile resistance of 1.52MPa and 0.178MPa respectively.

Keywords: silty sand, Togo, Benin, CBR, compressive resistance, tensile resistance.

1. INTRODUCTION

Dans tous les domaines de construction génie civil, il est courant de mettre à profit les matériaux existant dans l'environnement immédiat du projet. Leur utilisation à l'état naturel ou amélioré est conditionnée par des performances techniques requises pour une tenue de l'ouvrage tout au long de sa durée de vie.

Le sable silteux ou sable limoneux a fait l'objet de beaucoup d'hésitation de la part de la maîtrise d'œuvre pour son utilisation en matière de route, compte tenu de son manque de cohésion et de son caractère non grenu. La latérite, disponible sur tous les territoires togolais et béninois a donc été pendant longtemps utilisée. Les emprunts latéritiques de bonne qualité au regard des prescriptions techniques, sont devenus rares dans les

régions côtières du Togo et du Bénin. Les cubatures importantes de remblai des projets routiers ces dix (10) dernières années dans ces milieux (route inter état Aflao vers Hilacondji, les travaux de la voirie de Lomé, etc.) a imposé l'utilisation du sable silteux dans son état naturel ou amélioré.

Il est par ailleurs constaté que l'adaptation des prescriptions techniques (longtemps relatives à la latérite) au sable silteux n'est pas aisée compte tenu de la méconnaissance de ce matériau à court ou à long terme.

Signalons que les travaux effectués par Amey (Amey, 2014) ont montrées que le sable silteux a un taux de fines relativement important mais non plastique ($ES > 30$ parfois). Il est ainsi différent du sable argileux dont l'indice de plasticité IP est non nul. Ces sols sont, la majorité des cas, de catégorie B5 de la classification GTR (NFP 11-300, 1992), de symbole SL (sable limoneux) dans la classification USCS (ASTM D2487-83, 1985), de catégorie A3 dans celle de HRB (ASTM D3282, 2004). Il est donc important de procéder à une caractérisation physiques et mécaniques des paramètres géotechniques de ce matériau et contribuer ainsi à l'élaboration des spécifications y relatives.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Matériel

Les matières premières et le matériel suivants sont utilisés pour cette étude :

- des sables silteux prélevés sur vingt-deux (22) sites d'extraction de sable répartie sur huit (8) localités de la région maritime du Togo et sur deux (2) sites dans la localité de Zinvo au sud du Bénin (Figure 1) ;
- une balance électronique de marque Kern (EW) de charge maximale de 3000 g et de précision 0,01 g pour les essais d'analyse granulométrique ;
- une balance électronique de marque KERN de charge maximale de 10 kg et de précision 0,1 g pour les pesés

d'échantillons ;

- un agitateur électrique de marque MERZ à 90 ± 1 cycles en 30 seconde pour les essais d'équivalent de sable ;
- Les étuves sont de marque IGM avec une température maximale de 230°C ;
- un appareil pour analyse granulométrique avec une série de tamis AFNOR d'ouvertures (mm) : 0,08- 0,5-2 et 2,5 (Figure 2) ;
- des moules d'élanement 2 de hauteur 20 cm et de diamètre 10 cm pour les essais de compression ;
- des moules d'élanement 1 de hauteur 15,2 cm et de diamètre 15,2 cm pour les essais de
- fendage ;
- des moules d'élanement 1 de hauteur 15,2 cm et de diamètre 15,2 cm pour la détermination du CBR ;
- une cuve à eau pour la conservation des éprouvettes (Figure 4) ;
- une presse à anneau pour poinçonnement CBR et de compression et d'essai brésilien (Figure 4) de 50 ou 100 kN.

1.2 Méthode

Les sables silteux prélevés sur les 24 sites des neuf localités (Gounoukopé, Abatekopé, Assiamegblé, Batikopé, Aképé, Dalavé, YodoToumé, Sanguéra, Avéta au Togo et de Zinvo au Bénin) (Figure 1) ont subi des essais d'identification conformément aux normes AFNOR (Normes NF EN 933-1, 1997 ; NF EN 933-2, 1996 ; NF ISO 9276-1, 1998 ; NF EN 933-8, 1999 ; NF EN 12620, 2002 ; NF P 94-093). Les essais effectués sont l'équivalent de sable, la granulométrique, l'essai Proctor Modifié et le CBR.

Caractérisation géotechnique du sable silteux utilisé en couche de chaussée au sud du Togo et du Bénin.

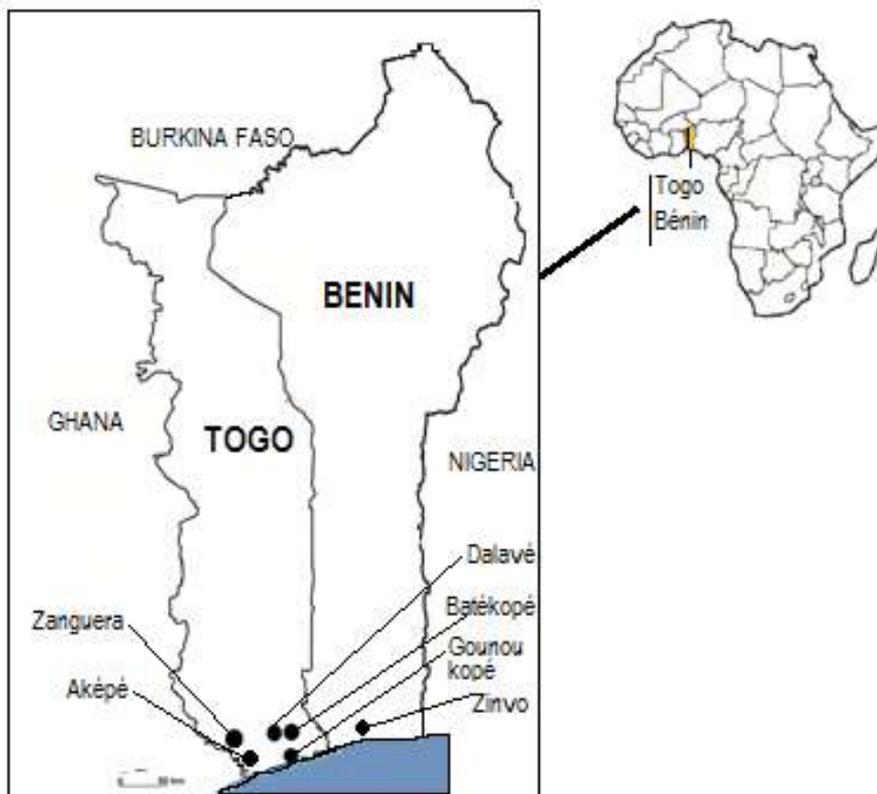


Figure 1 : Localisation des sites de prélèvement

Pour la recherche des résistances mécaniques que peut offrir les matériaux, des essais sont effectués avec des stabilisations au ciment, l'essai de portance CBR (California Bearing Ratio) après immersion a été réalisé sur les matériaux naturels et améliorés au ciment et les essais de compression et traction (par fendage) sur des éprouvettes des matériaux améliorés au ciment (à des taux variables généralement entre 2,5 et 5%).

Les éprouvettes testées sont fabriquées dans des moules de diamètre 15,2 cm et de hauteur 15,2 cm. Après les 04 jours d'imbibition (Figure 2b), elles sont poinçonnées à l'aide d'une presse à anneau dynamométrique (Figure 3a) de 50 ou 100 kN selon le niveau de

résistance du matériau muni d'un piston cylindrique de diamètre $49,6 \pm 0,1$ mm à une vitesse d'enfoncement de 1,27 mm/mn. Il est noté deux forces $F_{2,5}$ et F_5 (kN) correspondant aux enfoncements conventionnels respectifs de 2,5 mm et 5 mm. L'indice CBR ou le CBR est égal à la valeur maximale en pourcentage de ($F_{2,5}/13,35$ et $F_5/19,93$) déterminée pour une densité d'éprouvette de l'ordre de 95% de celle de l'optimum proctor d'où la notation CBR_{95} .

D'autres éprouvettes de matériaux améliorés au ciment et testées en compression (Figure 3b) à l'aide de la même presse que précédemment, sont d'élançement 2 (hauteur 20 cm et diamètre 10 cm) et d'élançement 1 (15,2 cm diamètre et 15,2 cm hauteur) pour l'essai de traction par

fendage (Figure 3c).

Les essais mécaniques sont réalisés sur des éprouvettes ayant subi deux modes de conservation :

- Le premier mode à 3 jours de conservation à l'air (enveloppé dans un film plastique) suivi de 4 jours d'imbibition dans l'eau. Sur ces éprouvettes sont réalisées un essai de compression simple afin d'obtenir la valeur R'_c .
- le second mode à 7 jours de conservation à

l'air enveloppé dans du film plastique (Figure 2a). Les éprouvettes ayant subi ce mode de conservation sont testées en compression simple pour obtenir R_c et en traction par fendage pour obtenir R_t .

Le rapport R'_c/R_c permet d'apprécier la sensibilité à l'eau des éprouvettes de sol amélioré au ciment et doit être au minimum égal à 0,75 dans la pratique.



Figure 2 : Dispositif expérimental de préparation des éprouvettes

La détermination des résistances en compression et au fendage sont données par les expressions suivantes :

- Pour la compression des éprouvettes chargées par une force P et de face circulaires de diamètre D :

$$\sigma_c = \frac{4P}{\pi D^2} \quad (1)$$

- Pour résistance au fendage sur un contact linéaire h sur les deux faces opposées et de diamètre D , soumise à une charge P :

$$\sigma_d = \frac{2P}{\pi h D} \quad (2)$$



Figure 3 : Dispositif expérimental de détermination de propriétés mécaniques

3- RESULTATS ET DISCUSSION

3-1 Résultats

Les résultats obtenus à l'issu des identifications physiques et mécaniques sur le sable silteux à l'état naturel sont consignés dans le tableau I.

Tableau I : Résultats géotechniques du sable silteux à l'état naturel

N°	Provenance	Y_{dopt}/W_{opt}	$\leq 80\mu m$	ES	CBR ₉₅	Classe HRB	Classe GTR
1	Gounoukope1	2,07/9,10	14	*	23-37	A3	B5
2	Gounoukope2	2,03/10,3	25	16	33	A2-4	B5
3	Abatekope1	2,02/8,6	12	*	35	A3	B5
4	Abatekope2	1,98/9,9	15	*	30	A3	B5
5	Assiamegble	1,99/9,6	18	42	40	A3	B5
6	Batikope	1,94/10,2	12	*	41	A1-b	B5
7	Akepe	2,06/7,3	34	20	26-31	A3	B5
8	Dalave1	1,97/8,5	15	42	30	A3	B5
9	Dalave2	1,89/11,5	11	49	32	A1-b	B5
10	Dalave3	2,01/7,5	16	69	49	A3	B5
11	Yobo Toume	1,96/7,25	24	19	30	A3	B5
12	Goumoukope 3	2,03/6,6	18	*	27	A3	B5
13	Goumoukope 4	2,04/9,5	15	16	37	A3	B5
14	Sanguera	1,94/9,6	20	39	41	A3	B5
15	Goumoukope 5	1,92/12	29	20	40	A3	B5
16	Goumoukope 6	1,8/9,5	16	23	25	A3	B5
17	Dalave 4	1,97/8,7	17	26	35	A3	B5
18	Goumoukope7	2,07/10	14	18	45	A1a	B5
19	Goumoukope 8	1,89/9,2	14	20	40	A1a	B5
20	Goumoukope 9	1,95/11	*	*	28	A3	B5
21	Aveta	1,91/11	*	18	39	A3	B5
22	Goumoukope 9	1,99/10	12	15	47	A3	B5

Il ressort des essais sur le matériau à l'état naturel que :

- les passants à 80 microns sont compris entre 11 et 40%. Ces matériaux sont en majorité de catégorie A3 de la classification HRB. On retrouve toutefois des catégories A1 et A2-4. Ils sont par contre tous de catégorie B5 dans le système de classification de sol GTR.

- l'équivalent de sable (ES) est compris entre 15 et 49 ce qui justifie leur caractère compactable. Il arrive cependant pour des exceptions de sable silteux d'avoir des valeurs ES de l'ordre de 60 mais compactable (Amev, 2014) ;

- la valeur de la densité à l'optimum proctormodifié (Y_{doptm}) est comprise entre 1,80

et 2,06 pour des teneurs en eau optimales variant entre 7 et 11% ;

- les matériaux concernés par la présente étude ont, à l'état naturel, un CBR₉₅ compris entre 23 et 49.

Les tableaux III et IV donnent les résultats

géotechniques du sable silteux du Togo et du Bénin amélioré au ciment. Quant au tableau II, il donne les prescriptions sur les matériaux améliorés au ciment en couche de chaussée (CEBTP, 1984)

Tableau II : Prescriptions sur les matériaux améliorés au ciment en couche de chaussée (CEBTP, 1984)

Paramètres	CEBTP (trafic T4-T5)		CEBTP (trafic T1-T3)	
	Base	Fondation	Base	Fondation
CBR min	160	80	--	60
Rc7 jrs air (MPa)	1,8 - 3	≥ 1,00	--	0,5
R'c/Rc	--	≥0,5	--	0,5
Rt 7 jrs air	≥ 0,3	--	--	-

Tableau III : Résultats géotechniques du sable silteux prélevés au Togo amélioré au ciment

% ciment CBR ₉₅	CBR95				
	Gounoukope 2	Abatekope	Akepe	Gounoukope 4	Yobo Toume
0	33	35	26	37	30
2	93	*	115	*	*
2,5	150	*	150	300	*
3	164	175	165	310	213
3,5	177	260	275	325	*
4	*	300	*	*	*

*paramètres non mesurés

Caractérisation géotechnique du sable silteux utilisé en couche de chaussée au sud du Togo et du Bénin.

Tableau IV : Résultats géotechniques du sable silteux prélevés au Bénin amélioré au ciment

site de prélèvement	% ciment	CBR ₉₅	R _c , MPa (97% Y _{dopm})	R' _c , MPa	R _t , MPa
Zinvo (1)	0	48			
	2,5	188	1,37	1,01	0,15
	3	200	1,52	1,17	0,18
	3,5	245	1,98	1,49	0,20
	4	265	2,25	1,58	0,22
	4,5	290	2,55	2,01	0,25
	5	315	2,83	2,22	0,33
Zinvo (2)	0	55			
	4	284,5	2,28	1,45	0,25
	4,5	297,5	2,76	1,76	0,28
	5	353	2,74	2,20	0,33

*paramètres non mesurés

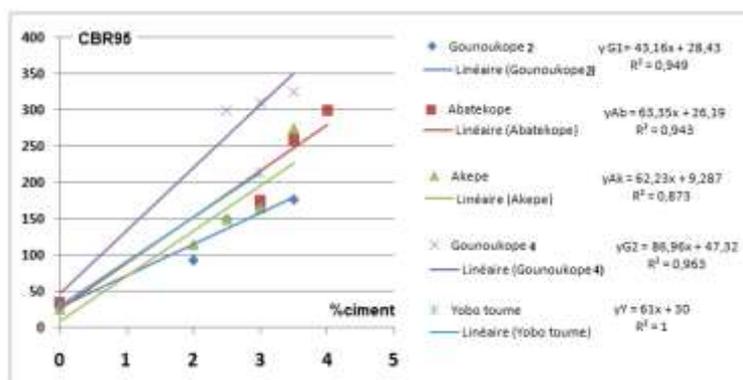


Figure 4 : Evolution des CBR en fonction du taux de ciment

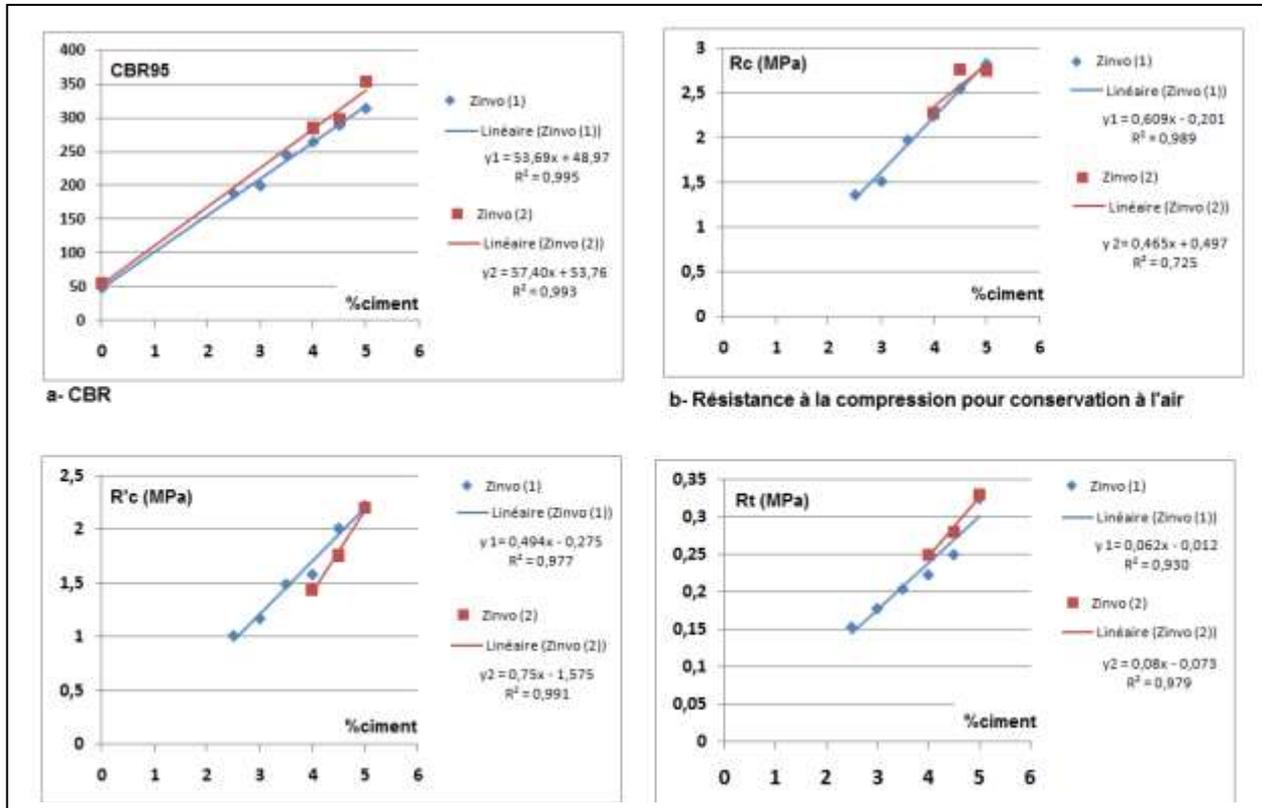


Figure 5 : Evolution des propriétés mécaniques en fonction du taux de ciment

Caractérisation géotechnique du sable silteux utilisé en couche de chaussée au sud du Togo et du Bénin.

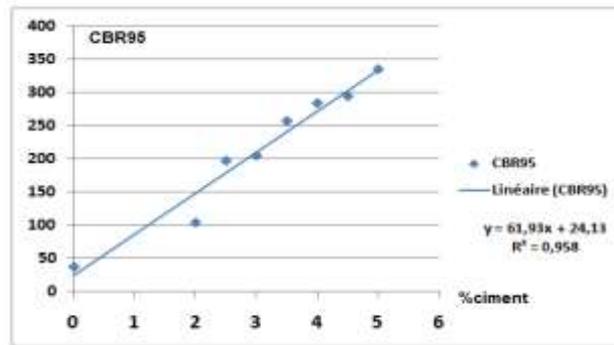


Figure 6 : Evolution du CBR moyen en fonction du taux de ciment

Il ressort des résultats que :

- les valeurs des CBR vont de 93 à 353 selon le taux (2 à 5%) et la nature du ciment avec des croissances linéaires ; la courbe de lissage du CBR moyen en fonction de la teneur en ciment est donnée par l'équation :

$$CBR = 61,93C + 24,13 \text{ avec } R^2=0,958$$

Dans cette équation, C désigne la teneur en ciment en masse.

- les résistances en compression R_c à 7 jours conservées à l'air vont de 1,37 à 2,83MPa et celle conservé dans l'eau R'_c de 1,01 à 2,22 MPa selon le taux de ciment variant de 2,5 à 5% avec des évolutions linéaires ;

- la résistance à la traction varie de 0,153 à 0,32MPa soit un rapport R_c/R_t moyen de 9.

Le ciment contribue remarquablement à l'amélioration des propriétés mécaniques des sables silteux à savoir : le CBR, la résistance à la compression et à la traction par fendage.

3-2 DISCUSSION

De façon générale, les spécifications techniques en matière de remblai exigent un CBR_{95} minimum de 10 et de 20 pour les PST (partie supérieure de terrassement) selon les projets (DESTOMBES et al., 2003). Ce qui correspond approximativement à des modules EV_2 minimaux de 50 et 100 MPa selon la règle

de $E=5 \times CBR$.

Il est aisé d'observer que ce matériau, à l'état naturel et convenablement compacté, se situe dans les catégories de plateforme PF2 à PF4 selon la classification GTR (DESTOMBES et al., 2003) vu son CBR_{95} qui va de 20 à 40. Il est donc utilisable en plateforme.

Le sable silteux amélioré au ciment à un taux minimum de 2% permet d'obtenir un CBR_{95} de 93. Ces caractéristiques permettent, en fonction du type de trafic, son utilisation en couche de fondation ($CBR_{min}=60$) selon le guide pratique du dimensionnement de chaussée pour les pays tropicaux (CEBTP, 1984). Il est utilisable en couche de base pour une amélioration au taux de ciment de 3% ($CBR_{95}=163 > CBR_{min}=160$).

Signalons au passage que les prescriptions du CEBTP pour certains matériaux sont moins exigeantes et demeurent très minimales vis-à-vis de la méthode rationnelle actuellement utilisée via le logiciel ALIZEE.

4- CONCLUSION

Le sable silteux est un récent matériau utilisé pleinement dans le domaine routier et du terrassement en général. L'hésitation à l'utiliser réside dans le fait qu'il n'est pas assez connu sur le plan géotechnique et mécanique. L'objectif de cet article était de déterminer les caractéristiques mécaniques de ce matériau stabilisés au ciment afin d'apprécier ses

potentialités géotechniques. Des échantillons prélevés sur 24 sites d'extractions sont soumis aux essais mécaniques après leur stabilisation au ciment. Il ressort des résultats que les sables silteux étudiés sont utilisables à l'état naturel en plate-forme ; stabilisé au ciment à 2%, ils sont utilisables en couche de fondation et à 3% et plus en couche de base.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements aux laboratoires LABTP, LNBTP, à l'Entreprise CECO BTP, au groupement de bureaux STUDI/SETEM BENIN et à leurs Responsables qui ont mis à notre disposition les banques de données des résultats relatifs aux projets cités dans l'article.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AMEY K. B., NEGLO K., TAMBA S., JOHNSON A. K. C., KOUTOY. E., NAYO E., 2014. « Caractérisation physique de sables silteux au Togo ». Afrique Science 10(2) 53 - 69 53 ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>.
2. DESTOMBES A. M. et al., 2003. Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Iles de France, Direction régionale d'équipement d'iles de France.
3. CEBTP, 1984. Guide pratique du dimensionnement de chaussée pour les pays tropicaux.
4. NFP 11-300, 1992. Norme de classification des sols.
5. ASTM D3282-93, 2004. Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.
6. ASTM D2487-83, 1984. Classification of soils for engineering purposes.
7. NFP 94-056, 1996. Sols : reconnaissance et essai ; Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à sec après lavage.
8. NFP 94-078, 1997. Sols : reconnaissance et essai ; Indice CBR après immersion.
9. NFP 94-093, 1999. Sols : reconnaissance et essai ; Détermination des référence de compactage d'un sol. Essai Proctor Pormal-Essai Proctor Modifié.
10. NFP 18-598, 1991. Granulats - Equivalent de sable.
11. AFNOR ; Normes NF EN 933-1, 1997 ? " Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 1 : Détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage".
12. AFNOR ; Normes NF EN 933-2, 1996. " Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 2 : Détermination de la granularité - Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures".
13. AFNOR ; Normes NF ISO 9276-1, 1998, " Représentation de données obtenues par analyse granulométrique - Partie 1 : Représentation graphique".
14. AFNOR ; Normes NF EN 933-8, 1999, " Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 8 : Evaluation des fines - équivalent de sable".