

Caractérisation physique de sables silteux au Togo

Kossi Bollanigni AMEY^{1*}, Kouma NEGLO¹, Seni TAMBA², Ampah Kodjo Christophe JOHNSON³,
Yaovi E. KOUTO⁴ et Ezoba NAYO⁴

¹*Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé, BP: 1515, Lomé, Togo*

²*Département génie civil, Ecole Polytechnique de Thiès, BP A10, Thiès, Sénégal*

³*Département des Sciences de la Terre, Université de Lomé, BP: 1515, Lomé, Togo*

⁴*Institut Universitaire de Formation Technique (FORMATEC), BP. 20436, Lomé, Togo*

* Correspondance, courriel : ameykoss3@yahoo.fr

Résumé

Le sable est l'un des matériaux les plus utilisés dans la réalisation des ouvrages de génie civil au Togo, notamment dans la confection du béton ainsi que du mortier. La présente étude est destinée à analyser certains gisements de sables silteux du Togo dans le but de déterminer leurs propriétés granulaires. 72 échantillons de sables silteux ont été prélevés dans 16 sites d'extraction et soumis aux essais en laboratoire. Il ressort des résultats que les sables silteux étudiés sont globalement très fins ($M_f \sim 1,966$), de catégorie « f_3 », de classe granulaire 0/1 ($d \sim 0,08\text{mm}$), mal gradués (SP), de granulométrie serrée, très mal classés ($S_i \sim 9,119$), de forte asymétrie vers les petites tailles ($S_k \sim 0,451$) et légèrement argileux ($E_S \sim 66,32$). Globalement inadaptés comme granulats pour bétons classiques, les carrières prises individuellement regorgent de sables silteux dont les qualités sont adaptées soit aux bétons classiques dont la résistance est exigée, soit aux bétons dont la facilité de mise en œuvre est plus recherchée.

Mots-clés : *sables silteux, Togo, propriétés granulaires, propreté.*

Abstract

Physical characterization of silted sands in Togo

The sand is one of the most used materials in civil engineering constructions in Togo, especially for concretes and mortars. This study aims to analyze silted sands in Togo in order to determine their granular properties. 72 samples of silted sands from 16 extraction sites, have been tested in laboratory. The results show that globally the analyzed silted sands contain lot of fine aggregates ($M_f \sim 1,966$), belong to the category « f_3 » with granularity 0/1 ($d \sim 0,08\text{mm}$); they are badly stepped (SP), have compact granulometry with a very bad sorting ($S_i \sim 9,119$), a high small grains content ($S_k \sim 0,451$) and slightly clayed ($E_S \sim 66,32$). Globally, analyzed silted sands are not good for classic concretes, but individually some of the studied sites display material adapted for high resistance concretes or special concretes for which the facility of construction is more indicated.

Keywords : *silted sands, Togo, granular properties, cleanness.*

1. Introduction

Au Togo comme ailleurs en Afrique, on distingue plusieurs types de sables : les sables de mer, les sables des rivières, les sables issus de concassage de roches et les dunes continentales. Pendant longtemps, pour répondre aux besoins en sables à Lomé et ses environs, l'on a souvent eu recours aux sables du littoral, alors qu'à l'intérieur du pays on n'utilise que les sables des lits de rivières ou des dunes continentales. Depuis 2011, avec l'acuité de l'érosion côtière, l'état togolais par arrêté interministériel n°031/MME/MERF du 5 mai 2011 avait interdit le prélèvement du sable du littoral, dans le souci de protéger le littoral contre l'érosion. Le choix des constructeurs s'est alors rabattu sur les gisements des sables de l'intérieur. Ainsi plusieurs carrières d'extraction ont vu le jour dans la partie sud du Togo en plus de celles déjà existantes à l'intérieur du pays.

Comparativement aux sables du littoral togolais qui sont des sables globalement moyens ($M_f \sim 2,656$) et très propres ($ES \sim 100 > 80$) donc très adaptés au béton de qualité [1] [2], les sables silteux présentent un aspect fin et donnent l'impression de comporter parfois des éléments argileux. La question est donc de savoir si ces matériaux peuvent être utilisés comme granulats dans la confection du béton à des fins de construction, sans toutefois engendrer des modifications importantes sur la qualité de l'ouvrage à obtenir. Les sables silteux de 16 carrières en exploitation au Togo sont caractérisés à travers la détermination de leurs paramètres granulaires (les distributions différentielle et cumulative, les indices, le fuseau enveloppe, les coefficients de Hazen et de courbure, la classe granulaire et le module de finesse), de leurs paramètres de propreté et de densités. Ceci permettra de définir les potentialités des sables silteux et de mettre à la disposition des concepteurs (ingénieurs, techniciens, bureau d'études) et surtout des constructeurs, des données sur ce matériau, destiné aux usages de construction au Togo.

2. Matériel et méthodes

Le matériel utilisé pour les essais et l'expérimentation est composé d'une étuve, un jeu de tamis de la série AFNOR, de mailles 0,08 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm et 5 mm, un appareil vibrant, une balance, un appareil d'équivalent de sable (appareil d'agitation automatique et les accessoires), un conteneur cylindrique étanche de 1l, des éprouvettes et autres accessoires. Des échantillons de sables sont prélevés dans seize (16) carrières d'extraction dans la zone sud et la zone nord du Togo, repartis en huit (8) carrières par zone à raison de 4 ou 5 échantillons par carrière ; soit un total de 72 échantillons. La **Figure 1** indique les zones de prélèvement.

Les sables prélevés sont séchés dans une étuve à une température de 105°C pendant 20h. Les échantillons secs sont soumis aux essais suivants :

- tamisage sur les tamis de mailles 0,08 mm, 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm et 5 mm ;
- densité apparente à l'aide du conteneur cylindrique ;
- densité absolue par la méthode de l'éprouvette graduée ;
- propreté par l'équivalent de sable ;

Ensuite, les paramètres granulaires ont été calculés.

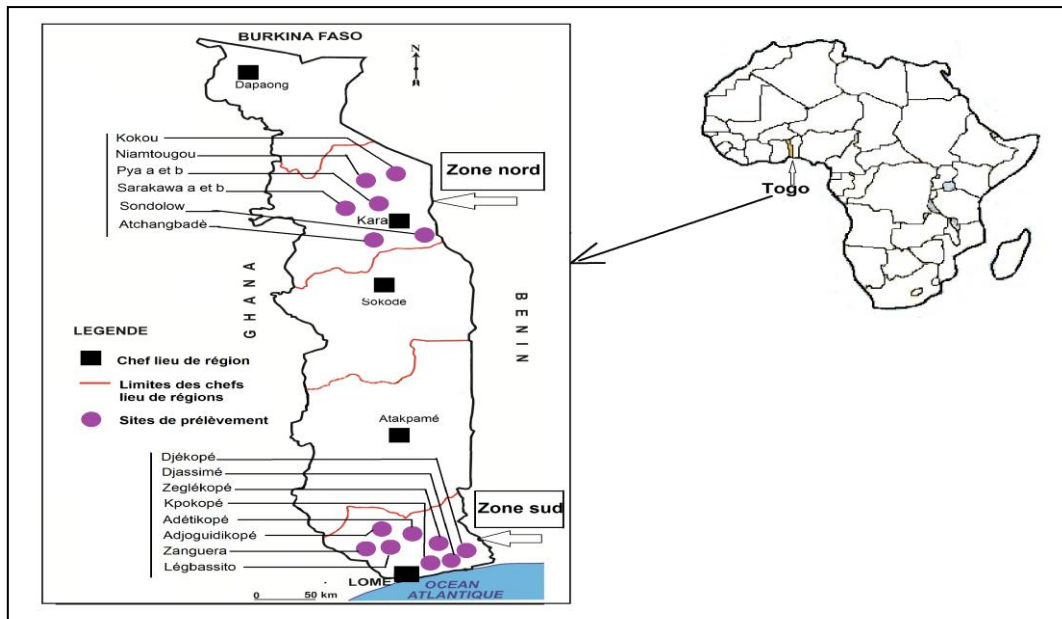


Figure 1 : Position du Togo et des zones de prélèvement

2-1. Equations de base des paramètres granulaires étudiés

Les paramètres granulaires permettant l'analyse des sables étudiés sont : les distributions différentielles et cumulatives, le fuseau granulaire, le module de finesse, le coefficient d'uniformité et de courbure, la classe granulaire, les indices et l'équivalent de sable.

2-1-1. Descriptions mathématiques des distributions différentielles et cumulatives

Les expressions des distributions différentielles ($q_r(x)$) et cumulatives ($Q_r(x)$) à partir des masses retenues sur les différents tamis sont données par *les équations (1) et (2)* et la *Figure 2* illustre leurs variations [3]:

$$Q_{r,i} = \sum_{v=1}^i \Delta Q_{R,v} = \sum_{v=1}^i \bar{q}_{r,v} \Delta x_v \tag{1}$$

avec $1 \leq v \leq i \leq n$

$$q_r(x) = \frac{dQ_r(x)}{dx} \tag{2}$$

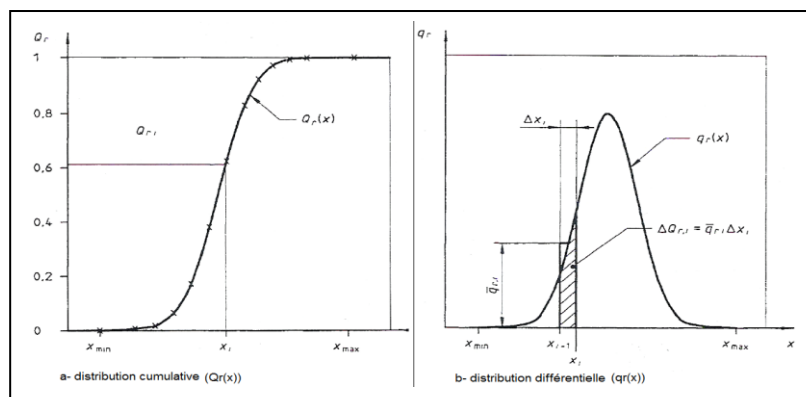


Figure 2 : Courbes des distributions cumulative et différentielle [3]

2-1-2. Description mathématique du fuseau granulaire

Le fuseau granulaire est la zone limite dans laquelle la courbe granulométrique d'un sable peut varier. Les limites du fuseau enveloppe (granulaire) d'un sable sont données par:

$$\begin{cases} X_f = X - 2\sigma \\ X_s = X + 2\sigma \end{cases} \quad (3)$$

Dans ces équations, X_f et X_s sont les valeurs spécifiques inférieure et supérieure ; X la moyenne des passants; et σ l'écart type des passants, donné par l'équation (4) suivante:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X)^2}{N - 1} \quad (4)$$

où X_i désigne la donnée mesurée au rang i et N le nombre d'échantillons.

Le fuseau de spécification d'un sable réputé convenir à tous bétons classiques est donné par la **Figure 3**.

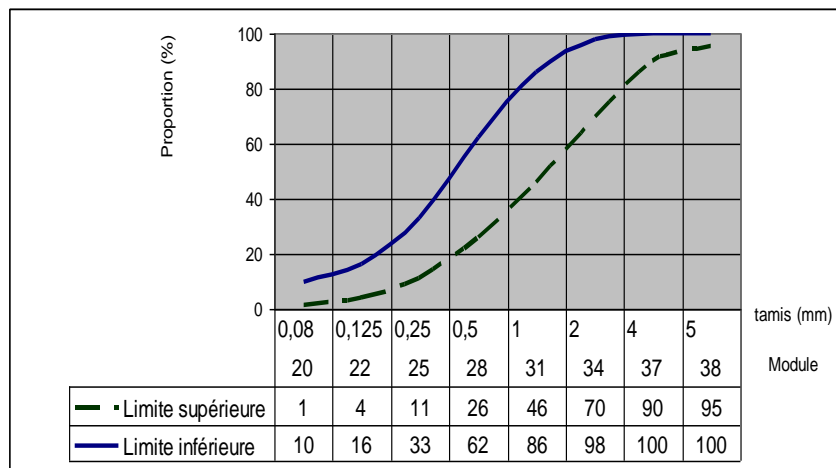


Figure 3 : Fuseau de spécification du sable pour bétons classiques

2-1-3. Description mathématique du module de finesse

Le module de finesse est le 1/100 de la somme des refus cumulés (distributions cumulatives), exprimés en pourcentage, sur les tamis de la série 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm et 4 mm [6]. Son expression est :

$$Mf = \frac{Q_r(0,125) + Q_r(0,25) + Q_r(0,5) + Q_r(1) + Q_r(2) + Q_r(4)}{100} \quad (5)$$

L'appréciation d'un sable par son module de finesse est donnée par le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Domaine d'utilisation des sables en fonction de leur module de finesse

Utilisation dans du béton	Nature du sable	Module de finesse	Observations
Sables non autorisés	Sable trop fin	< 2,1	
Sables admissibles	Sable un peu trop fin	2,1 à 2,5	Sables utilisables si l'on recherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance
	Sable moyen (préférentiel)	2,5 à 3,1	Sables qui conviennent bien pour obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance avec des risques de ségrégation limités
	Sable un peu trop grossier	3,1 à 3,5	Sables utilisables pour rechercher des résistances élevées, mais mauvaise ouvrabilité et risque de ségrégation
Sables non autorisés	Sable trop grossier	> 3,5	

2-1-4. Présentations des coefficients d'uniformité et de courbure

L'étendue granulaire d'un sable peut se mesurer par les coefficients d'uniformité C_u (équation (6)) et de courbure C_c (équation (7)) dont les expressions sont données par [7]:

$$C_u = \frac{x_{60}}{x_{10}} \tag{6}$$

$$C_c = \frac{(x_{30})^2}{x_{10} \times x_{60}} \tag{7}$$

où x_{60} , x_{30} et x_{10} désignent respectivement les tamis correspondant à Q_{r60} , Q_{r30} et Q_{r10} .

Suivant les valeurs de C_u et C_c les sédiments peuvent être classés conformément aux **Tableaux 2 et 3**.

Tableau 2 : Classification des matériaux selon les coefficients de Hazen (d'uniformité)

Appréciation	Intervalles
matériau à granulométrie très serrée	$C_u < 2$
matériau à granulométrie serrée	$2 \leq C_u < 5$
matériau à granulométrie semi serrée	$5 \leq C_u < 20$
matériau à granulométrie étalée	$20 \leq C_u < 200$
matériau à granulométrie très étalée	$C_u \geq 2$

Tableau 3 : Identification de la graduation des matériaux

Appréciation	Intervalles
Cas des graviers	
matériau propre bien gradué (GW)	$C_u > 4$ et $1 < C_c < 3$
matériau mal gradué (GP)	$C_u \leq 4$ ou $C_c \leq 1$ ou $C_c \geq 3$
Cas de sable	
matériau propre bien gradué (SW)	$C_u > 6$ et $1 < C_c < 3$
matériau mal gradué (SP)	$C_u \leq 6$ ou $C_c \leq 1$ ou $C_c \geq 3$

2-1-5. Description de la classe granulaire

Les granulats sont aussi caractérisés par le diamètre du plus petit grain « d » et celui du plus gros grain « D » et leurs classes granulaires sont désignées par d/D. Pour les sables, compte tenu de la valeur très petite de d, la norme NF EN 933-1 recommande de prendre $d=0$ [8]. Les valeurs de d et D sont données à partir de critères d'acceptation d'un granulat illustrés par le système d'équations (8)[2]:

$$\begin{cases} q_r(D) + q_r(0,63d) \leq \begin{cases} 15\% & \text{si } D > 1,56d \\ 20\% & \text{si } D \leq 1,56d \end{cases} \\ q_r(1,56D) = 0 \\ 100 - Q_r(0,63d) \leq \begin{cases} 3\% & \text{si } D > 5 \text{ mm} \\ 5\% & \text{si } D \leq 5 \text{ mm} \end{cases} \end{cases} \quad (8)$$

Les caractéristiques générales de granularité d'un sable pour béton sont données par le critère suivant [9]:

- Passant au tamis 2D : 100%
- Passant au tamis 1,4D : 95 à 100%
- Passant au tamis D : 85 à 99%

2-2. Paramètres d'analyse des indices

Les quartiles d'ordre n, ou les fractiles, sont les valeurs du caractère (la taille) qui partagent l'effectif total de la série en n groupes dont les effectifs sont égaux. Les centiles partagent alors la série en cent groupes d'effectifs égaux. Ils se calculent à l'aide de l'équation (9) suivante :

$$c_{p\%} = x_i + a \frac{p\% - r_c(x_i)}{q_r(x_i)} \quad (9)$$

Avec :

$$a = x_i - x_{i-1} \text{ et } r_c(x_i) = \sum_{x_i}^{x_{\max}} q_r(x_i) \quad (10)$$

Dans ces formules les paramètres sont définis par :

a : l'amplitude de la classe ;

x_{i-1} et x_i : les valeurs inférieure et supérieure de la classe du centile; ils sont donnés par les mailles des tamis ;

- $c_{p\%}$: le centile ;
- $p\%$: le pourcentage auquel on veut calculer le centile ;
- $q_i(x_i)$: le pourcentage de refus sur tamis x_{i+1} (distribution différentielle) correspondant à la classe du centile ;
- $r_c(x_i)$: le pourcentage de refus cumulés sur tamis x_i ;
- x_{max} : la plus grande valeur de la classe du centile; elle est donnée par la maille du plus grand tamis.

Les indices de caractérisations des granulats sont:

- le grain moyen qui donne une idée très globale de la texture de l'échantillon ; son expression est donnée par :

$$gm = \frac{c_{16\%} + c_{50\%} + c_{84\%}}{3} \tag{11}$$

- le sorting index qui est un indice de tri ; son expression est donnée par *l'équation (12)* alors que le **Tableau 4** donne ses intervalles de confiances ;

$$Si = \frac{c_{84\%} - c_{16\%}}{4} + \frac{c_{85\%} - c_{5\%}}{6,6} \tag{12}$$

Tableau 4 : Intervalles de confiance du sorting index

Intervalles	Appréciation
$0,00 \leq Si < 0,35$	Très bien classé/strié
$0,35 \leq Si < 0,50$	Bien classé
$0,50 \leq Si < 0,71$	Assez bien classé
$0,71 \leq Si < 1,00$	Moyennement classé
$1,00 \leq Si < 2,00$	Médiocrement classé
$2,00 \leq Si < 4,00$	Très mal classé.

- le skewness qui est un indice exprimant l'asymétrie de la courbe des fréquences séparées par rapport à une distribution gaussienne ; l'expression du Skewness est donnée par *l'équation (13)* et le **Tableau 5** donne ses intervalles de confiance.

$$Sk = \frac{c_{84\%} + c_{16\%} - 2c_{50\%}}{2(c_{84\%} - c_{5\%})} + \frac{c_{95\%} + c_{5\%} - 2c_{50\%}}{2(c_{95\%} - c_{5\%})} \tag{13}$$

Tableau 5 : Intervalles de confiance du Skewness

Intervalles	Appréciation
$-1,0 \leq Sk < -0,3$	Forte asymétrie vers les grandes tailles
$-0,3 \leq Sk < -0,1$	Asymétrie vers les grandes tailles
$-0,1 \leq Sk < 0,1$	Symétrie granulométrique
$0,1 \leq Sk < 0,3$	Asymétrie vers les petites tailles
$0,3 \leq Sk < 1,0$	Forte asymétrie vers les petites tailles

2-3. Description de l'équivalent de sable

C'est la propriété d'un sable déterminé à partir de l'appareil d'équivalent de sable [10-11]. L'appréciation de la propriété d'un sable est donnée par le **Tableau 6**.

Tableau 6 : Valeurs recommandées pour l'équivalent de sable [8].

ES à piston	Nature du sable	Qualité du sable
ES < 30	Sable purement argileux	A rejeter pour la confection du béton. Risque de retrait ou de gonflement.
30 < ES < 60	Sable argileux	A rejeter pour les bétons de qualité.
60 < ES < 70	Sable légèrement argileux	Propriété admissible pour béton de qualité courant quant on ne craint pas particulièrement le retrait.
70 < ES < 80	Sable propre	Faible pourcentage de fines argileuses. Convient pour béton de haute qualité.
ES > 80	Sable très propre	Absence presque totale de fine argileuse. Risque d'entraîner un défaut de plasticité.

3. Résultats

Les résultats de la détermination des paramètres granulaires et des propriétés physiques des sables silteux sont donnés dans le **Tableau 7**. Ces résultats sont basés sur la moyenne de 4 ou 5 prélèvements effectués dans 16 sites d'exploitation de sables.

Tableau 7 : Propriétés physiques des sables silteux

zone	numéro d'ordre	localité de prélèvement	nombre d'échantillons	coefficient de courbure	coefficient d'uniformité	grain moyen	sorting index	skewness	petit grain	gros grain	module de finesse	équivalent de sable	densité apparente	densité absolue
			n	Cc	Cu	gm	si	sk	d	D	Mf	ES	dap	dab
sud	1	adétikopé	4	1	4	10,292	9,534	0,605	0,08	1	2,183	87,65	1,53	2,63
	2	zanguera	4	1	4	10,336	9,815	0,600	0,08	1	1,635	64,73	1,52	2,44
	3	légbassito	4	1	4	11,010	8,850	0,348	0,08	1	1,845	58,75	1,50	2,61
	4	kpokopé	4	1	4	10,436	9,776	0,557	0,08	1	1,860	71,99	1,57	2,92
	5	djékotoé	4	1	4	9,353	9,428	0,701	0,08	1	1,855	65,10	1,56	2,91
	6	djassimé	4	2	2	8,620	8,856	0,681	0,08	1	1,933	32,85	1,43	2,90
	7	zeglekopé	4	1	4	9,646	9,700	0,699	0,08	1	1,836		1,51	2,91
	8	adjoguidikopé	4	1	4	9,933	9,933	0,360	0,08	1	1,804		1,58	2,92
nord	1	atchangbadè	5	2	2	8,484	8,447	0,791	0,08	1	2,086	79,69	1,38	2,63
	2	kokou	5	3,125	3,125	9,369	7,585	0,416	0,063	0,5	1,216	63,61	1,45	2,69
	3	niamtougou	5	2	2	9,023	7,209	0,491	0,063	1	1,444	61,97	1,40	2,64
	4	pya a	5	1	16	10,877	5,573	-0,734	0,08	4	3,104	70,07	1,44	2,64
	5	pya b	5	2	2	8,319	7,222	0,692	0,08	0,5	1,465	60,18	1,52	2,69
	6	sarakawa a	5	0,5	2	10,133	9,020	0,639	0,08	1	1,971	68,88	1,53	2,63
	7	sarakawa b	5	0,5	8	10,589	6,232	-0,467	0,08	1	3,250	65,38	1,61	2,67
	8	sondow	5	0,5	2	11,347	10,660	0,680	0,08	1	1,973	77,58	1,49	2,75
Valeurs moyennes-min-max	sud	moyenne		1	4	10,368	9,268	0,500	1	4	1,869	63,51	1,52	2,78
		min		1	2	8,620	8,850	0,348	0,08	1	1,635	32,85	1,43	2,44
		max		2	4	11,010	9,933	0,701	0,08	1	2,183	87,65	1,58	2,92
	nord	moyenne		1	4	10,861	7,932	0,363	1	4	2,064	68,42	1,48	2,67
		min		1	2	8,319	5,573	-0,734	0,063	0,5	1,216	60,18	1,38	2,63
		max		3,125	16	11,347	10,660	0,791	0,08	4	3,250	79,69	1,61	2,75
	général	moyenne		1	4	11,293	9,119	0,451	0,08	1	1,966	66,32	1,50	2,72
		min		1	2	8,319	5,573	-0,734	0,063	0,5	1,216	32,85	1,38	2,44
		max		3,125	16	11,347	10,660	0,791	0,08	4	3,250	87,65	1,61	2,92

Les **Figures 4 à 9** donnent les fuseaux enveloppes des distributions cumulatives, les modules de finesse et les classes granulaires des sables étudiés.

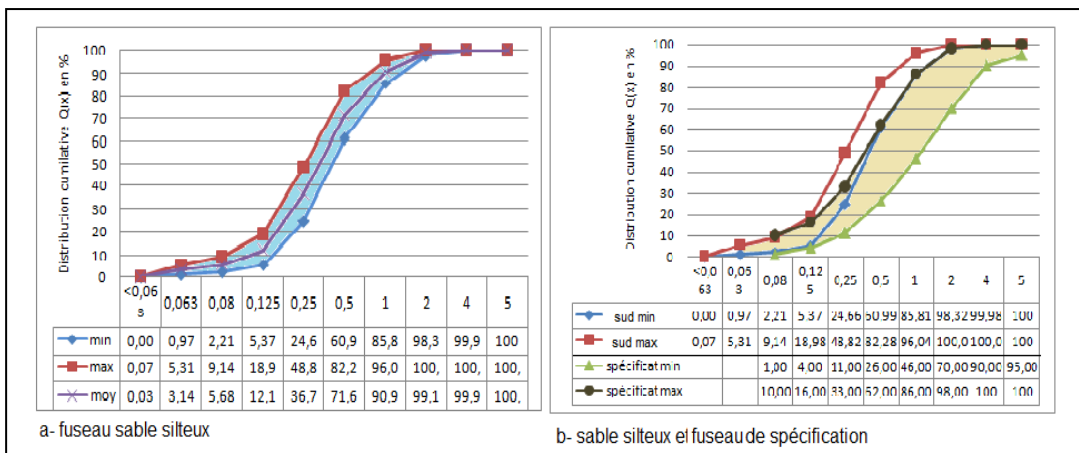


Figure 4 : Distributions cumulatives des sables silteux de la zone sud

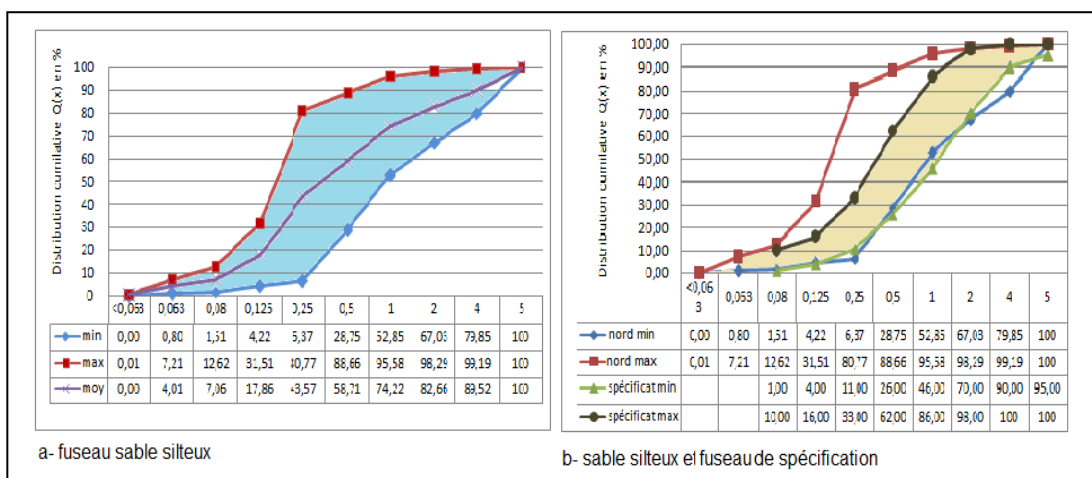


Figure 5 : Distributions cumulatives des sables silteux de la zone nord

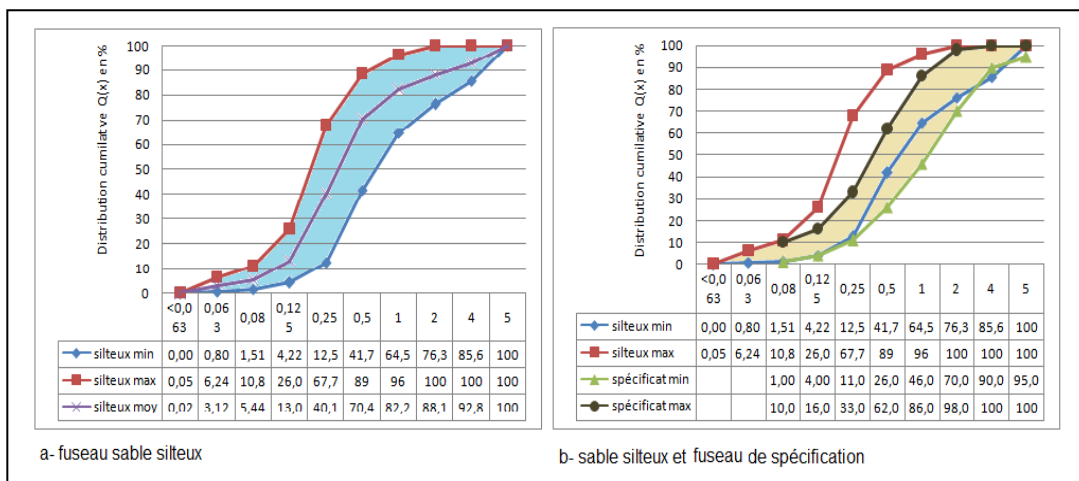


Figure 6 : Distributions cumulatives globales des sables silteux

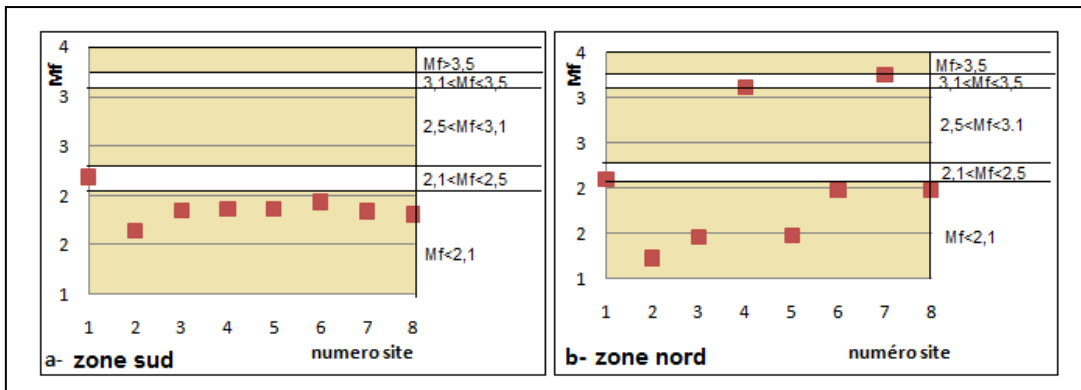


Figure 7 : Module de finesse des sables silteux des différents sites

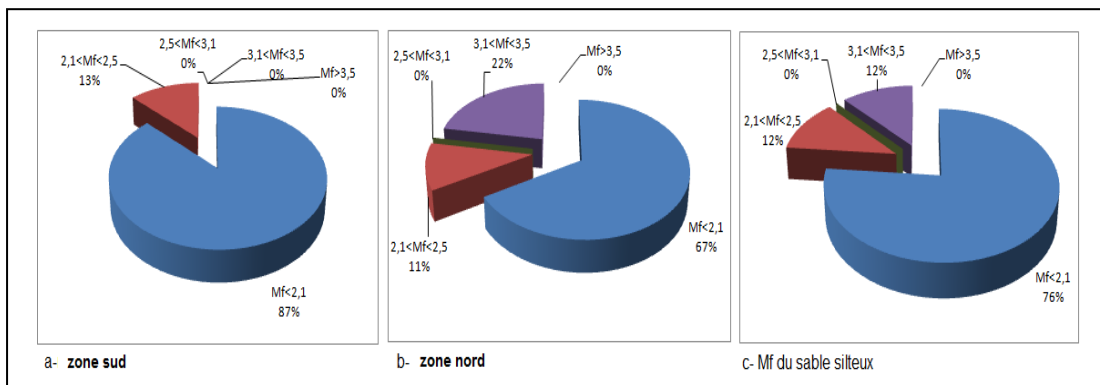


Figure 8 : Répartition du Module de finesse en fonction des qualités des sables silteux

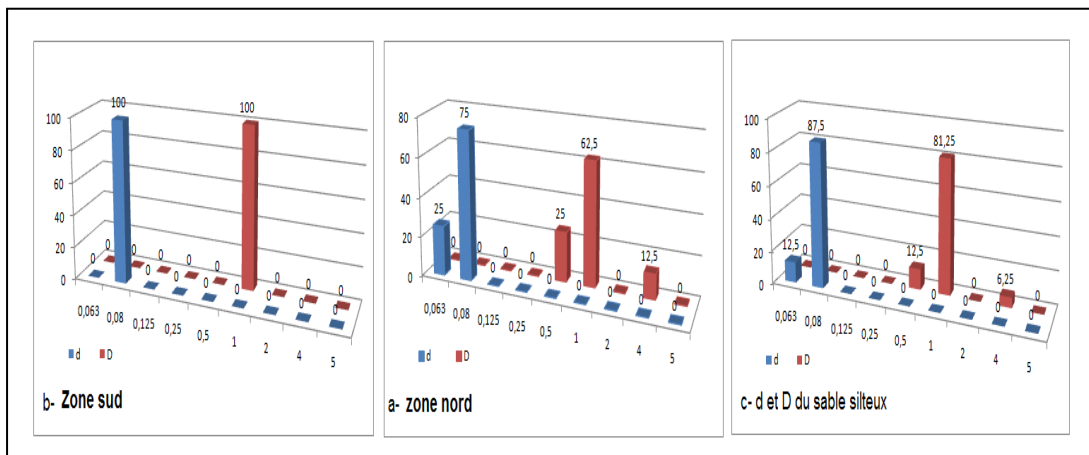


Figure 9 : Répartition de d/D

Il ressort des **Figures 4 à 9** que:

- les sables silteux de la zone sud sont très fins avec 99,1% de grains inférieurs à 2mm (**Figure 4**), alors que la zone nord regorge de sables moyens à sables très fins avec 89,52% de grains inférieurs à 4mm (**Figure 5**). D'une façon globale, le Togo dispose de sables silteux de granulométrie moyenne et très fine dont les grains ont 92,8% de taille inférieure à 4mm et de catégorie « f₃ » [7] (**Figure 6**);

- tous les sables prélevés dans la zone sud ont un module de finesse inférieur à 2,1 ($Mf \sim 1,869$) donc très fins sauf la carrière de Adéticopé qui a des sables un peu trop fins ($2,1 < Mf \sim 2,183 < 2,5$) ; la zone sud dispose donc de 13% de sables un peu trop fins et 87 % de sables trop fins ; quant aux prélèvements effectués dans la zone nord, ils montrent trois (3) catégories de sables : 67% de sables très fin ($Mf < 2,1$), 11% de sables moyens ($2,5 < Mf < 3,1$) et 22 % de sables un peu trop grossiers ($3,1 < Mf < 3,5$) ; globalement les sables silteux togolais comportent 76% de sables trop fins, 12% de sables un peu trop fins et 12% de sables un peu trop grossiers. Ces sables ne comportent pas d'éléments trop grossiers ($Mf > 3,5$) (**Figure 8**);
- 100% des sites de la zone sud et 75% des carrières de la zone nord offrent un $d = 0,08\text{mm}$ alors que 100% des sites de la zone sud et 62,5% des carrières de la zone nord donnent $D = 1\text{mm}$; globalement 87,5% des sables ont $d = 0,08\text{mm}$ et 81,25% ont un $D = 1\text{mm}$; la classe granulatoire d/D des sables silteux du Togo est donc de 0/1 avec $d = 0,08\text{mm}$ (**Figure 9**).

Le calcul des coefficients de courbure et d'uniformité et des indices (**Figures 10 à 13**) permettent de faire les constats suivants :

- tous les sables de la zone sud sont de granulométries serrées et mal graduées (SP) alors que 87,5% des sites de la zone nord sont faits de sables mal gradués (SP) et 12,5% bien gradués (SW) ; 25% de ces sables ont une granulométrie semi serrée et 75% serrée ; Globalement 93,75% des sites sont faits de sables mal gradués (SP) et 6,25% bien gradués (SW) alors que 12,5% ont une granulométrie semi serrée et 87,5% serrée (**Figures 10 et 12**);
- les grains moyens sont presque similaires pour les 16 sites (valeurs comprises entre 8 et 11) (**Figure 13**);
- tous les sites des deux zones ont des sables très mal classés (**Figure 14**).
- tous les sables prélevés dans la zone sud et 75% de ceux de la zone nord sont d'une forte asymétrie vers les petites tailles ; les autres 25% de la zone nord sont d'une forte asymétrie vers les grandes tailles ; les sables sont globalement à 88% de forte asymétrie vers les petites tailles et de 12 % de forte asymétrie vers les grandes tailles (**Figure 16**).

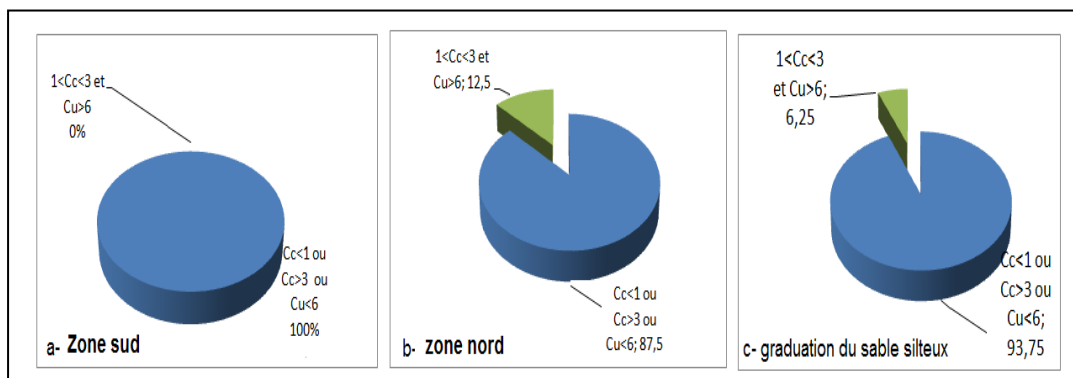


Figure 10 : Répartition de la gradation des sables silteux

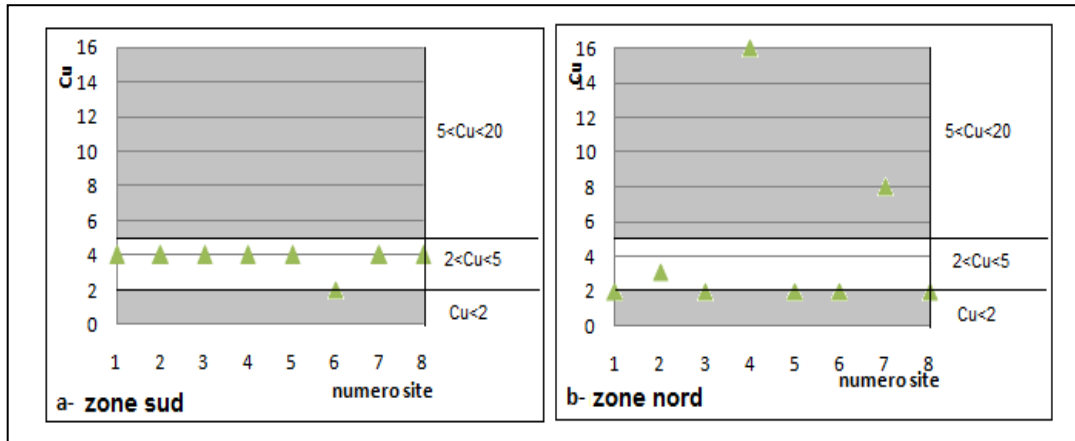


Figure 11 : Coefficient de Hazen des sables silteux des différents sites

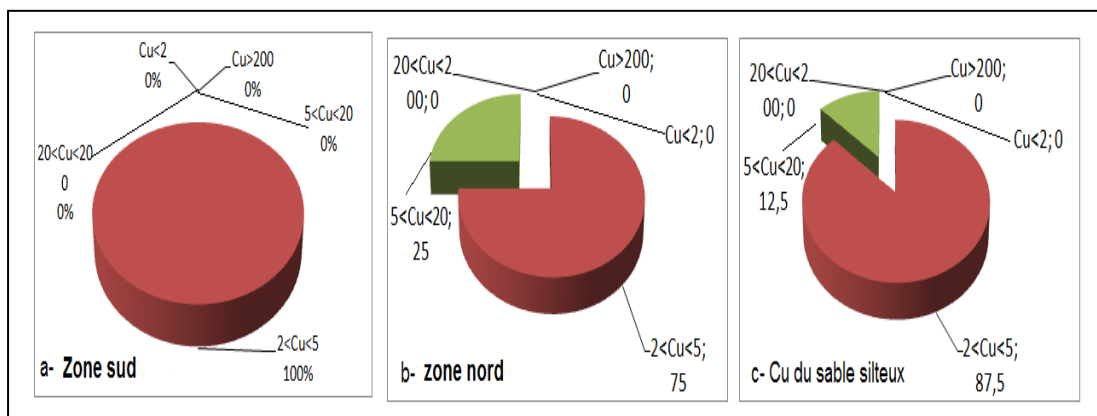


Figure 12 : Répartition du coefficient de Hazen des sables silteux

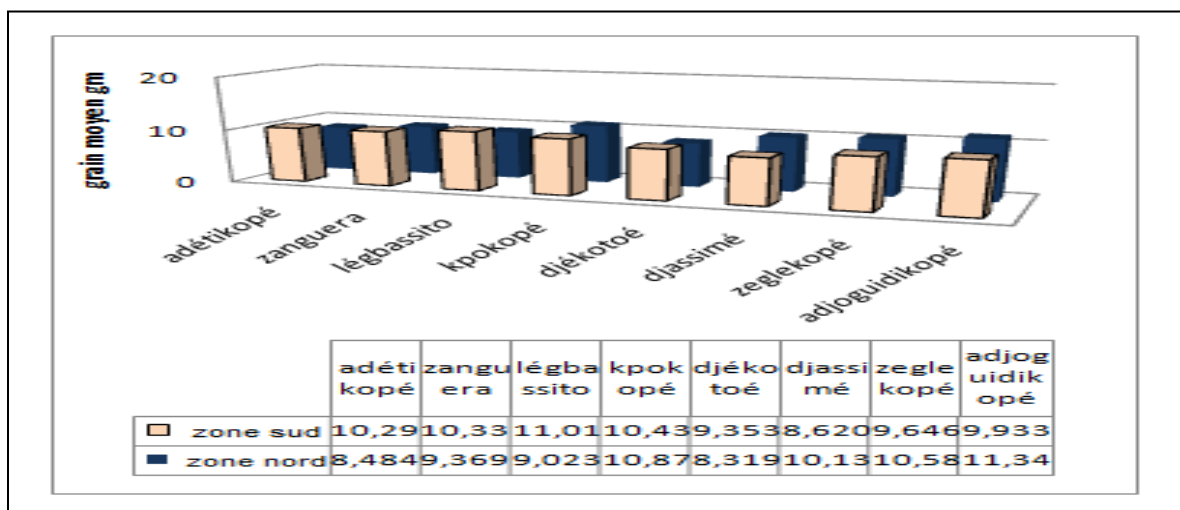


Figure 13 : Grains moyens des sables silteux

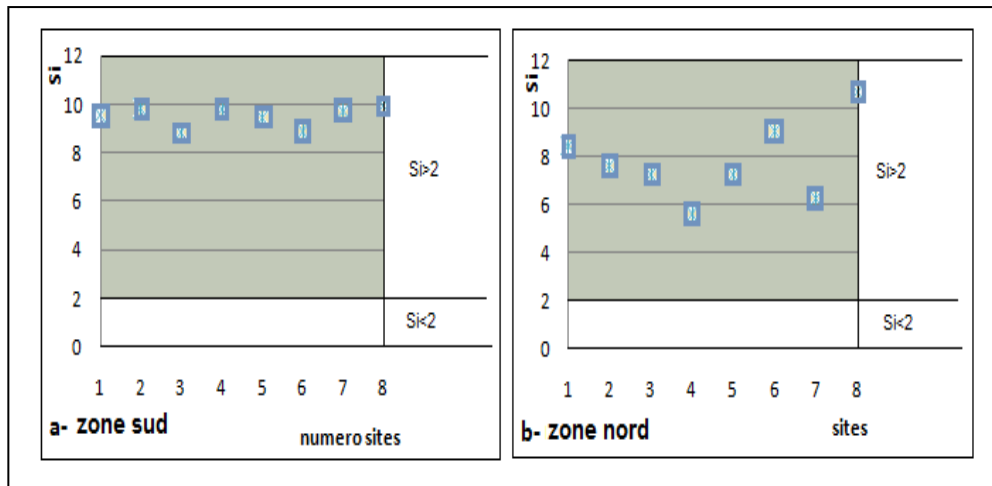


Figure 14 : Sorting index des sables silteux des différents sites

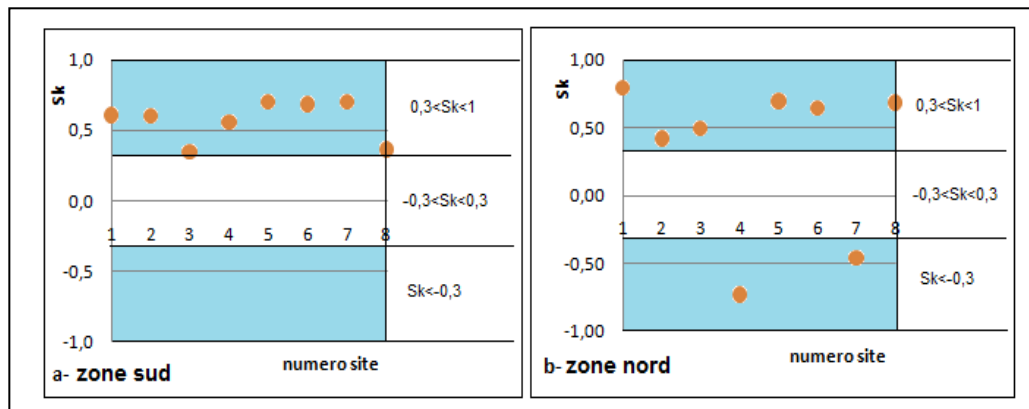


Figure 15 : Skewness des sables silteux des différents sites

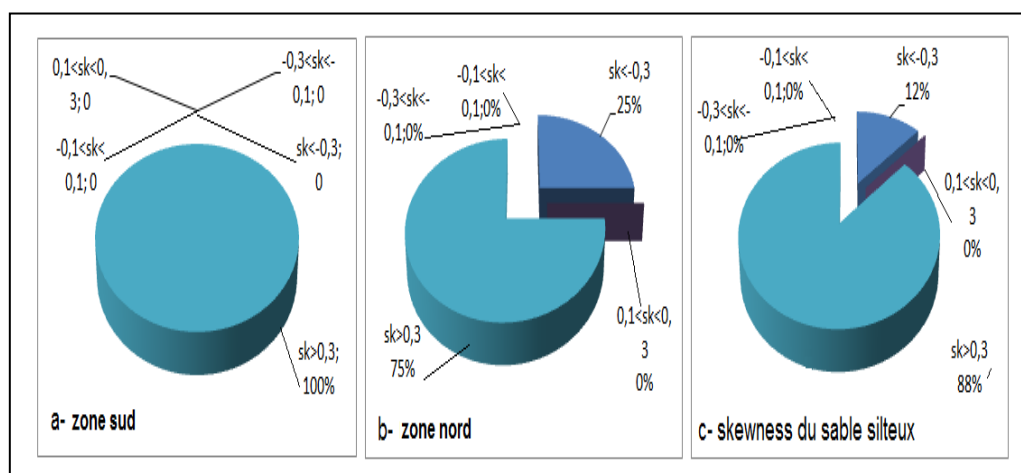


Figure 16 : Répartition du skewness des sables silteux

L'analyse de la propreté des sables a donné les résultats suivants (Figures 17 et 18):

- pour la zone sud, 33% des sites ont des sables argileux ; 33% légèrement argileux, 17% propres et les 17 % restants sont très propres (Figures 17a et 18a);

- les sites de la zone nord ont donné 62% de sables légèrement argileux et 38% propres (Figures 17b et 18b).

Globalement 14% des sites donnent des sables argileux ; 50% légèrement argileux ; 29% propre et 7% très propre (Figure 18c).

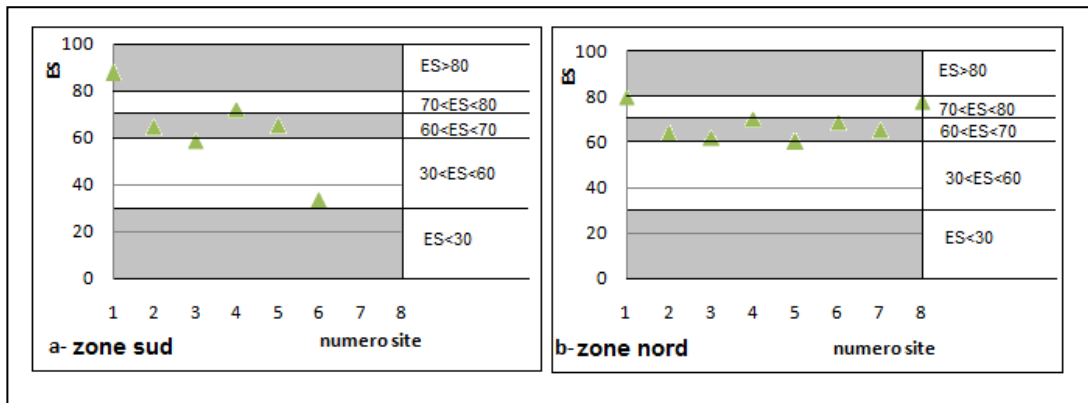


Figure 17 : Equivalent de sable des sables silteux des différents sites

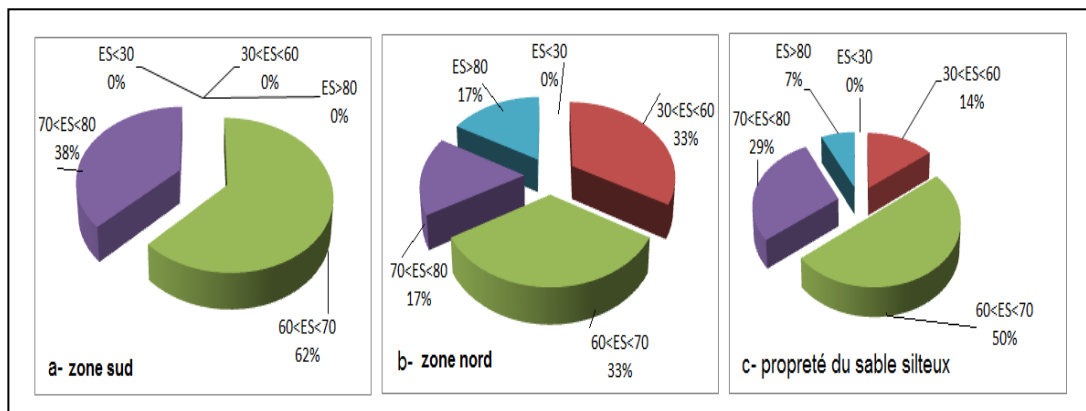


Figure 18 : Répartition de l'équivalent de sable des sables silteux

4. Discussions

A partir de ces résultats, il ressort que les sables silteux étudiés sont globalement des sables fins ($M_f \sim 1,966 < 2,1$ à 76%), très mal classés ($S_i \sim 9,119 > 2$ à 100%), de forte asymétrie vers les petites tailles ($S_k = 0,451 > 0,3$ à 88%), de classe granulaire « 0/1 » ($d = 0,08\text{mm}$ à 87,5% et $D = 1\text{mm}$ à 81,25%) et n'ont pas les caractéristiques générales de granularité d'un sable pour béton. Ils sont légèrement argileux ($ES \sim 66,32 < 70$ à 50%). Les propriétés de ces sables sont pour la plupart contraires à celles des sables siliceux du littoral togolais qui sont des sables de granulométries moyennes ($2,1 < M_f = 2,656 < 3,5$), très mal classés ($S_i = 0,158 < 0,35$) d'une symétrie parfaite ($1 < S_k = -0,096 < -1$), de classe granulaire 0/3,15 ($d = 0,2$) et très propre ($ES = 100 > 80$) [1][2]. Les deux types de sables sont de granulométrie serrée ($2 \leq C_u < 5$ à 87,5% pour le sable silteux), mal gradués (SP) ($C_u \leq 6$ et $C_c \leq 1$ à 93,75% pour le sable silteux) [1][2][11].

Contrairement aux sables de mer qui bénéficient de l'aspect dynamique de l'eau de mer donc très propres dépourvus d'éléments fins [1], les sables silteux ne bénéficient pas de ce phénomène. Ils sont de plus couverts de terres végétales souvent fines et argileuses qui contribuent à les enrichir en éléments fins et argileux provenant du phénomène d'entraînement par les eaux pluviales qui s'infiltrent dans les sols. Le mode d'extraction contribue aussi à la pollution de ces sables par un mauvais dégagement de la couverture végétale avant extraction. Du point de vue utilisation de ces sables dans les bétons, leurs propriétés les écartent des bétons classiques. Par contre ils sont adaptés aux bétons dont la facilité de mise en œuvre est plus recherchée au détriment probable de la résistance et quand le retrait n'est pas à craindre (les enduits sur murs en maçonneries de béton ou mortiers par exemple). Néanmoins il existe :

- des sables de granulométrie moyenne ($2,1 < M_f < 3,5$) (sites de Adétikopé, Pya-a et Sarakawa-b), de fortes asymétries vers les grandes tailles ($-1 < S_k < -0,3$) (sites de Pya-a et Sarakawa-b), propres bien gradués (SW) (Site de Sarakawa-b), semi serrés ($5 < C_u < 20$) (sites de Pya-a et Sarakawa-b) et propres ou très propres ($M_f > 70$) (sites de Adétikopé, Kpokopé, Atchagbadè, Pya-a et Sondolow). Ces sables offrent pour la plupart la possibilité d'être utilisés dans les travaux de bétons classiques dont la résistance est recherchée (béton armé, mortier pour mur en maçonnerie notamment) ;
- des sables argileux qui présentent un grand risque de retrait ou de gonflement ($ES < 60$) ; c'est le cas de la carrière de Djassimé qui doit être évitée comme granulats pour bétons classiques sans un traitement particulier.

5. Conclusion

L'objectif de cette étude est de caractériser les sables silteux du Togo ; 72 échantillons sont prélevés dans 16 sites d'exploitation et soumis à des essais de laboratoire. Le calcul des paramètres granulaires montre que les sables étudiés sont globalement des sables fins ($M_f \sim 1,966$), de catégorie « f_3 », très mal classés ($S_i \sim 9,119$), de forte assymétrie vers les petites tailles ($S_k \sim 0,451$) et de classe granulaire 0/1 ($d = 0,08\text{mm}$). Ils sont légèrement argileux ($ES \sim 66,32$), de granulométrie serrée, mal gradués (SP).

De ces résultats, il ressort que le Togo dispose de sables silteux de potentialités granulaires énormes. On peut ainsi noter:

- des sables adaptés aux travaux de bétons classiques dont la résistance est recherchée (béton armé, mortier pour mur en maçonnerie notamment) ; c'est le cas par exemples des carrières d'Adétikopé, Atchagbadè, Pya-a et Sarakawa ;
- des sables adaptés aux travaux de bétons dont la facilité de mise en œuvre est plus recherchée au détriment probable de la résistance ; c'est le cas des autres carrières sauf celle de Djassimé;
- des sables à rejeter pour les bétons classiques (carrière de Djassimé).

Références

- [1] - K.B. AMEY, K. BEDJA et K. NEGLO, " *Etude de l'évolution transversale des distributions différentielle et cumulative et de la classe granulaire des granulats marins du littoral togolais*", *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), série E 7(2) (2005) 13-20*
- [2] - K.B. AMEY, " *Caractérisation des sédiments sableux du littoral togolais : expérimentation et détermination d'une formule de sable normal*", Thèse de Doctorat unique en science de l'ingénieur (2006)
- [3] - Normes NF EN 933-1, " *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 1 : Détermination de la granularité — Analyse granulométrique par tamisage*", AFNOR (1997)
- [4] - Normes NF EN 933-2, " *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 2 : Détermination de la granularité — Tamis de contrôle, dimensions nominales des ouvertures*", AFNOR (1996)
- [5] - Normes NF ISO 9276-1, " *Représentation de données obtenues par analyse granulométrique - Partie 1 : Représentation graphique*", AFNOR (1998)
- [6] - B. LEFEU et O. FRANCY, " *Module de finesse d'un sable*", Fiche technique de CERIB (1999)
- [7] - J.M. TCHOUANI NANA et M. CALLAUD, " *Cours de mécanique des sols : Tome I - Propriétés des sols*", (2004), www.almohandiss.com
- [8] - G. DREUX, " *Nouveau guide de béton*", Ed. Eyrolles, Paris (1978)
- [9] - R. DUPAIN, R. LANCHON et J.C. SAINT-ARROMAN, " *Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire*", Ed. CASTEILLA, Paris (2004)
- [10] - Normes NF EN 933-8, " *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 8 : Evaluation des fines —équivalent de sable*", AFNOR (1999)
- [11] - Normes NF EN 12620, " *Granulats pour béton*", AFNOR (2002)
- [12] - K. B. AMEY, K. BEDJA et K. NEGLO, " *Distribution longitudinale de la granulométrie du sable du littoral togolais : grain moyen, sorting index et skewness*", *Journal des Sciences Pour l'Ingénieur*, (8) (2007) 1-8