

## ETUDE DE L'EVOLUTION TRANSVERSALE DES DISTRIBUTIONS DIFFERENTIELLE ET CUMULATIVE ET DE LA CLASSE GRANULAIRE DES GRANULATS MARINS DU LITTORAL TOGOLAIS

AMEY K. B., BEDJA K et NEGLO K.

Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs, Université de Lomé,  
BP : 1515 Lomé (Togo)

(Reçu le 23 mars 2005 ; Révisé le 15 septembre 2005 ; Révisé le 10 octobre 2005)

### RESUME

Le but de cette étude est de déterminer les distributions différentielle et cumulative et la classe granulaire des granulats marins du littoral togolais et d'observer la loi de leurs distributions transversales. Une analyse de la composition granulométrique des échantillons de sédiments du littoral togolais depuis la frontière Togo-Ghana jusqu'à la frontière Togo-Bénin a permis constater que les granulats marins du littoral togolais sont des sables de granulométrie serrée avec une classe granulaire de 0/3,15. Ces sables sont constitués de 79,9 % de grains de tailles 0,25 mm et 0,5 mm avec une absence d'éléments de taille inférieure à 0,08mm et supérieure à 4 mm. Une tendance est en suite dégagée pour la distribution granulométrique transversale des différentes tailles des grains et de la classe granulaire.

Mots clés : granulat marin, littoral togolais, granularité, distribution différentielle, distribution cumulative, classe granulaire.

### ABSTRACT

The beach sand is used in Lomé for concrete, pavements, drains and filters. There is a big quantity of this sand in Lomé but its granulometry is very variable.

As the use of a sand depends on the granulometry, this study concerns differential and cumulative distribution laws as well as the granulometric class of the sea sand in Togo.

We take specimens of sea sand in Togo from Ghana border to Bénin border. The analysis of its granulometry permit to find a law for transversal distribution of the granulometry.

Key words : sea sand in Togo, transversal distribution law, differential distribution law, cumulative distribution law, granulometry.

### INTRODUCTION

Les granulats marins comprennent les sables et graviers à dominance siliceuse et des sables calcaires. Les granulats constitués de roche inerte [5], sont utilisés dans la réalisation des ouvrages en bétons. Selon Pautot dans "Le grand Atlas de la mer" [9], les granulats marins de la côte du golfe de guinée sont essentiellement du sables siliceux. Pour les villages environnant de la côte togolaise, ce sont ces granulats qui sont utilisés dans la réalisation des ouvrages de génie civil. En effet, ces granulats, très propre, sont constitués de grains de silice d'une dureté très élevée. Quant à leur granulométrie, elle est très variable alors que le choix des grosseurs des granulats conditionne leurs utilisations [2]. Béton étanche, résistant aux chocs, aux usures, à la compression, à la

traction, aux impacts, béton perméable, aspect des parements de l'ouvrage réalisé, ouvrabilité du béton, sont les propriétés qu'on peut rechercher d'un béton. Si les propriétés précitées dépendent de la composition du béton et de sa mise en œuvre, elles dépendent en grande partie de la qualité de ses composantes : liant, eau, granulat. Parmi les propriétés des granulats, la granulométrie figure en première place. Ainsi les normes prescrivent pour tous les domaines d'utilisation des granulats, les propriétés obligatoires à satisfaire.

Nous allons dans cette étude rechercher la loi de distribution granulométrique transversale des sédiments du littoral togolais à travers les distributions différentielles et la classe granulaire.

Situé en Afrique Occidentale, le Togo est limité au Nord par le Burkina -Faso, au Sud par l'Océan

Atlantique, à l'Ouest par le Ghana et à l'Est par le Bénin (Figure 1). La granulométrie d'un sable étant un paramètre fondamental qui influence la résistance du béton, nous avons entrepris de déterminer la

répartition transversale de la distribution transversale de la granulométrie et de la classe granulaire des granulats marins du littoral togolais en vue d'identifier les zones les plus propices à un emprunt.

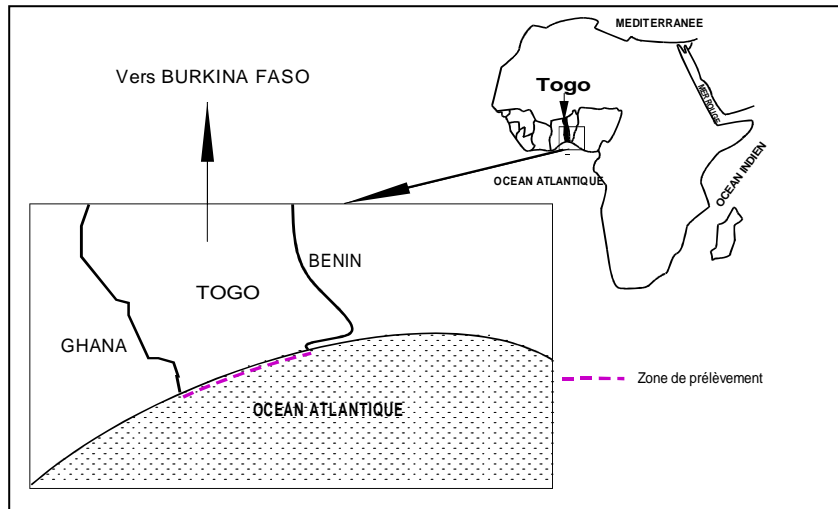


Figure 1 : Localisation de la plage togolaise

### MATERIEL ET METHODE

Nous avons prélevé des échantillons de granulats marins sur trente cinq (35) profils depuis la frontière Togo-Ghana jusqu'à la frontière Togo-Bénin. Le tableau I indique les numéros des profils étudiés ainsi que leur distance par rapport à la frontière avec le Ghana (PK 0).

Sur chacun des profils, les prélèvements ont été faits sur le bas-estran (échantillon Bas-E), le mi-estran (échantillon Mi-E), le haut-estran (échantillon Haut-E)

et sur la plage aérienne à 5m du haut-estran (échantillon Début -PA), à 10m du haut-estran (échantillon Mi-PA) et à la fin de la plage aérienne (échantillon Fin-PA) (Figure 2). Les deux cent dix (210) échantillons prélevés ont été rincés, séchés à 105°C et tamisés à travers des tamis de mailles 0,08 ; 0,125 ; 0,25 ; 0,5 ; 1 ; 2 ; 4 ; 5mm [8]. Les différents refus obtenus nous ont permis de déterminer les distributions différentielle et cumulative et la classe granulaire de ces granulats.

Tableau I : Positions géographiques des différents profils

Profil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Distances : PK (en km)	0	2	4	5	6	7	8	9	10	12	16	18	20	24	28	29	30	32
Profil	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	-
Distances : PK (en km)	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	-

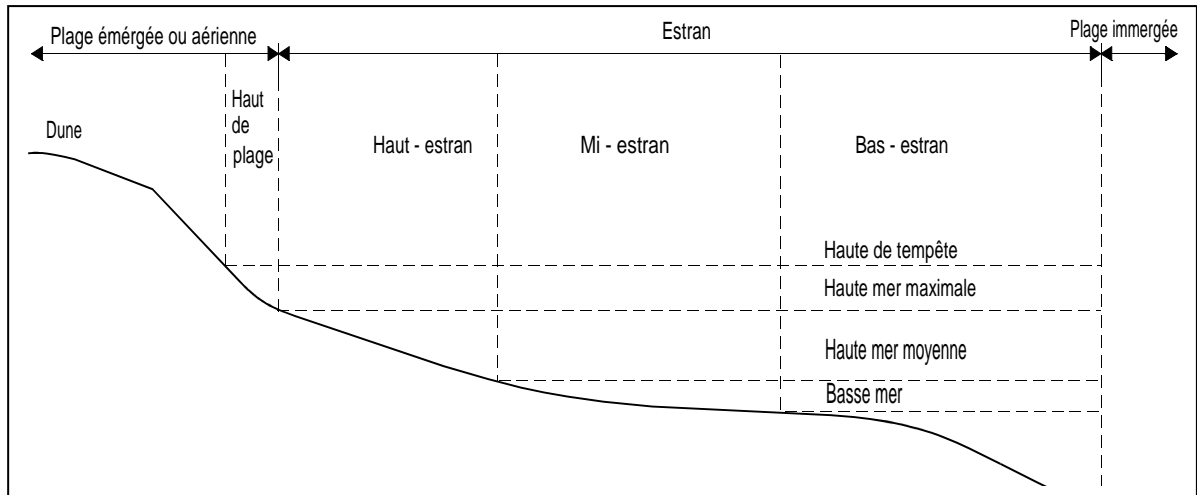


Figure 2 : Profil en travers d'une plage

**EQUATIONS DE BASE**

La distribution cumulative normée typique  $Q_r(x)$  d'une distribution illustrée par la figure 3a s'étend entre 0 et 1, c'est-à-dire entre 0% et 100%. Son expression est donnée par l'équation suivante:

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

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

La distribution différentielle  $q_r(x)$  s'obtient à partir de l'équation:

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

La distribution cumulative  $Q_r(x)$  s'obtient alors à partir de la distribution différentielle  $q_r(x)$  par intégration

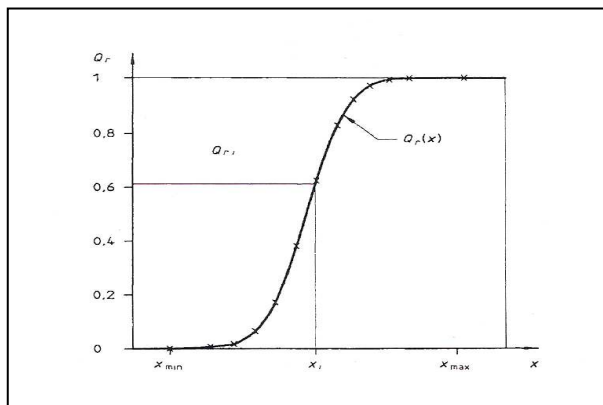
lorsque la variable  $x$  est continue:

$$Q_r(x_i) = \int_{x_{\min}}^{x_i} q_r(x) dx \quad (3)$$

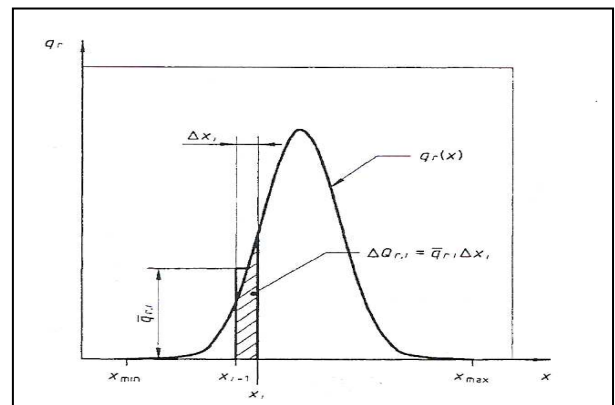
Pour des valeurs discrètes de la distribution différentielle  $q_r(x)$ , la distribution cumulative est donnée par la formule suivante :

$$Q_r(x_i) = \sum_{x_{\min}}^{x_{i-1}} q_r(x) \quad (4)$$

La figure 3b donne le tracé de la distribution différentielle  $q_r(x)$ .



a- Distribution cumulative  $Q_r(x)$



b- Distribution différentielle  $q_r(x)$

Figure 3 : Courbes de la distribution cumulative et différentielle [3]

La classe granulaire d'un granulat est la limite de la grosseur des grains d'un granulat dont " d " désignera la grosseur du plus petit grain et " D " celle du plus gros grain [1]. La désignation est donc donnée par d/D. Pour les sables, compte tenu de la valeur très petite de d, la norme NF recommande d'écrire 0/D [7].

La désignation d/D ne veut pas dire qu'aucun grain du matériau testé ne doit pas avoir des grains inférieurs à d et supérieurs à D. Car il est pratiquement impossible que cette condition soit respectée. C'est pour cette raison que les normes prévoient des critères d'acceptation d'un granulat donnés par la condition (5) suivante [7]:

les refus sur les tamis de maille D et les tamisats sous le tamis de maille d doivent être inférieurs à :	15 %	si $D > 1,56d$
	20 %	si $D \leq 1,56d$
les refus sur le tamis de maille 1,56D doivent être égaux à :	0 %	
les tamisats sous le tamis de maille 0,63 d doivent être inférieurs à :	3%	si $D > 5 \text{ mm}$
	5%	si $D \leq 5 \text{ mm}$

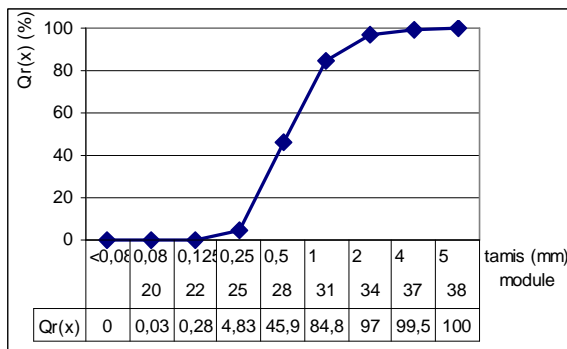
## RESULTATS ET ANALYSES

### Sédiments de la côte togolaise

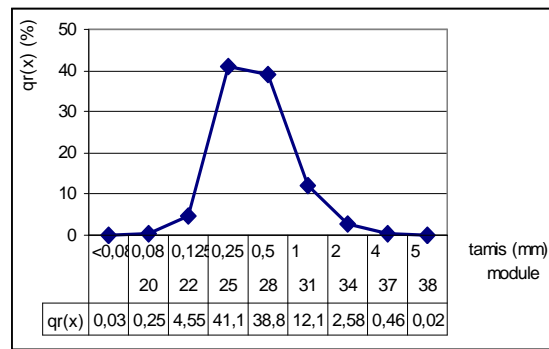
Les sédiments de la plage immergée sont constitués des sables gros grains voir même des graviers et des coquilles qui sont extraits par des femmes. Ainsi plusieurs postes d'extraction et de ventes de ces produits se rencontrent tout au long du littoral togolais de la zone de Baguida aux environs du PK 11, jusqu'aux environs d'Aného (PK48). Dans les carrières de vente de sable, à Lomé et à Gumukopé, le chargement des camions se fait dans la plage immergée si le fournisseur recherche des sables gros grains. Quant aux grains moyens, leurs chargements sont faits dans le bas-estran et les sables fins s'obtiennent dans la plage aérienne.

### Distributions transversales de la granulométrie

Une analyse des courbes de la figure 4 donnant les distributions différentielle et cumulative, montre que les courbes des distributions différentielle et cumulative donnent une allure tendant vers celle de la loi normale.



a- Distribution cumulative



b- Distribution différentielle

Figure 4 : Distributions cumulative et différentielle des granulats marins du littoral togolais

La figure 5 donne l'évolution des distributions différentielles  $q_r$  en fonction des zones de prélèvement (Bas-E, Mi-E, Haut-E, Debut-PA, Mi-PA et Fin-PA). Il ressort des courbes de la figure 5 que :

- Les granulats marins ne contiennent pratiquement pas d'éléments fins de tailles inférieures à 0,08 mm (proportion : 0,46%) et d'éléments grosses tailles supérieures à 4 mm (proportion : 0,25%), alors que 79,9% des grains sont de tailles 0,25 mm et 0,5 mm à proportion égale (Figures 4 et 5a).
- les grains de taille moyennement grosse (1, 2 et 4

mm) sont de proportions décroissantes du bas estran au haut-estran et croissantes ensuite jusqu'à la plage aérienne (Figures 5c et 5d) :

- les grains de taille moyennement faible (0,125 et 0,25 mm) sont de proportions globalement décroissantes de la plage aérienne au bas-estran (Figures 6b et 6d) ;
- les grains de taille moyenne (0,5 mm) sont de proportions globalement constantes de la plage aérienne au bas-estran (Figure 5b).

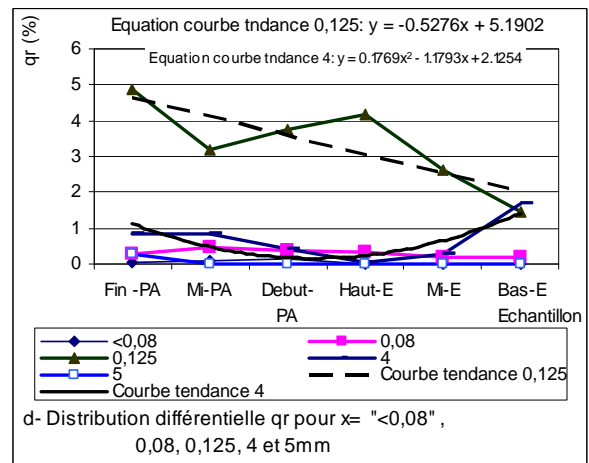
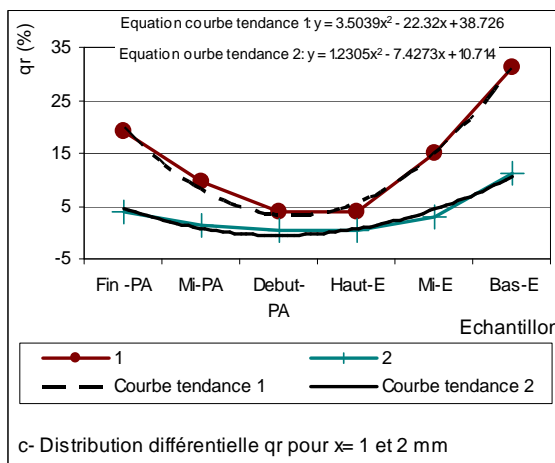
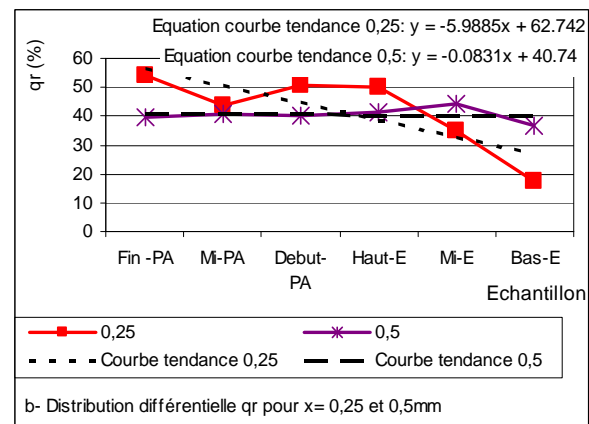
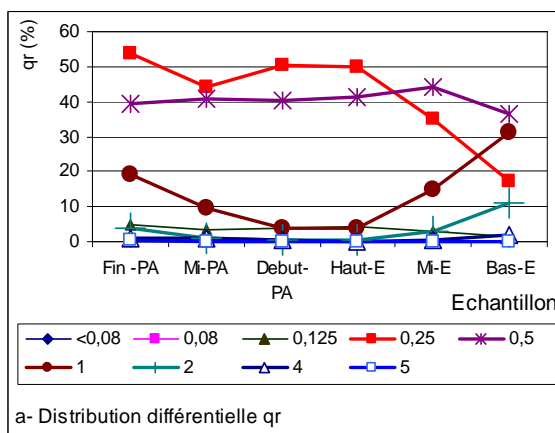


Figure 5: Evolution de la distribution différentielle de la granulométrie du bas-estran à la plage aérienne

### Répartition transversale de d et D

La figure 6 donne les courbes exprimant les valeurs de d et D en fonction des zones de prélèvement.

Il ressort de cette figure 6 que:

- les gros grains D décroissent du début de la plage aérienne (Début-PA) à la mi-plage aérienne (Mi-PA) et deviennent constants jusqu'au bas- estran (Bas-E) ;
- les valeurs de d sont constantes de la plage aérienne (Debut-PA) à la mi-estran (Mi-E) et croissent ensuite jusqu'au bas-estran (Bas-E) ;

A partir des valeurs de d et D obtenues pour chaque échantillon, nous avons estimé en pourcentage, le nombre de fois que chacun de d et D prennent les mêmes valeurs dans les 210 échantillons. Ceci nous a permis de tracer le graphe de la figure 7.

A partir de ce graphe, nous constatons que :

- 27,62 % des profils ont d = 0,125 mm et 70,48 % de profils ont d=0,2 mm ;
- 8,57 % des profils ont D = 1,25 mm, 26,67 % ont D = 2,5 mm tandis que 60,95 % ont D = 3,15 mm.

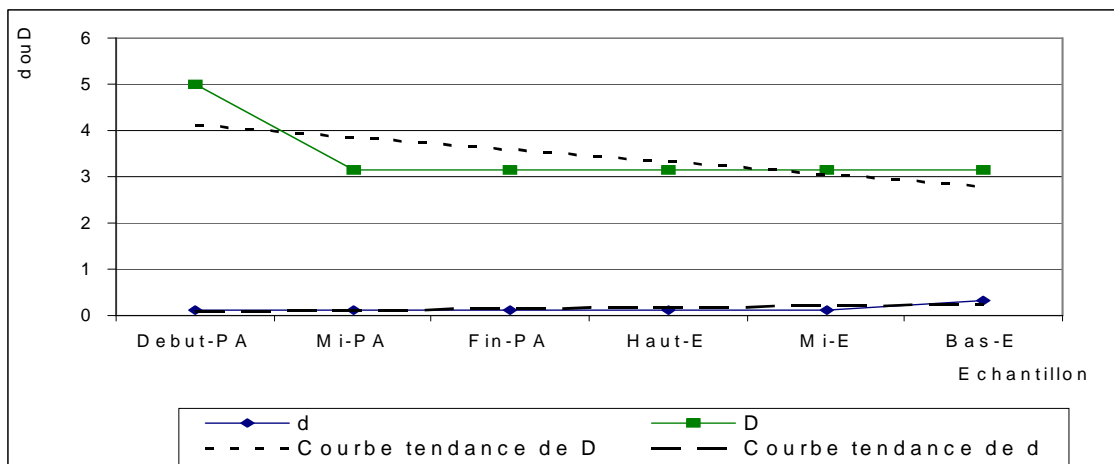


Figure 6: Répartition transversale de d et D

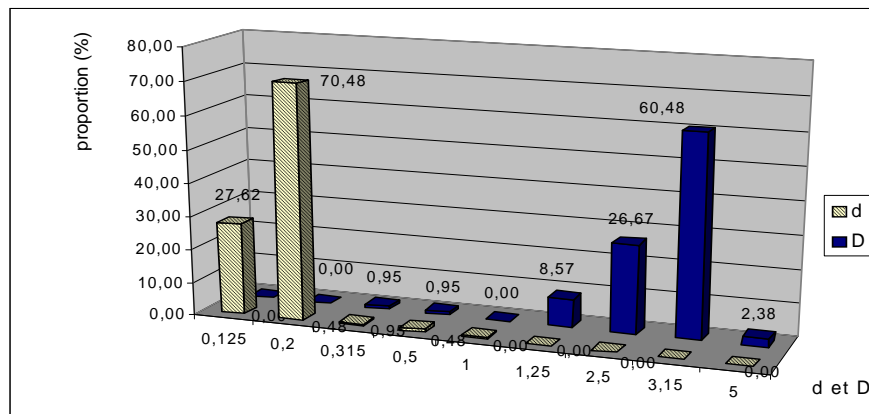


Figure 7: Représentation graphique des apparitions de d et D

Selon Pareto [10], pour un problème, si un faible pourcentage (de 20 %) de causes entraîne un fort pourcentage (de 80%) de conséquences, les 20% des causes peuvent être considérés comme les causes réelles du problème. En exploitant cette théorie de Pareto, il ressort que les sédiments du littoral togolais sont de désignation  $d/D$  donné par  $0,2/3,15$ . Ce qui s'exprime par  $0/3,15$  compte tenu de la valeur de  $d$  qui est inférieure à  $0,5$  mm.

## DISCUSSION

A partir des précédents résultats, nous pouvons dire que :

- les granulats marins du littoral togolais ne contiennent pratiquement pas de grains de tailles faibles (inférieures à  $0,08$  mm) et de grosses tailles, supérieures à  $4$  mm (proportions respectives  $0,46$  et  $0,25\%$ ) ;
- les grains de taille moyennement grosse ( $1,2$  et  $4$  mm) sont de proportions décroissantes du bas-estran au haut-estran et croissantes ensuite jusqu'à la plage aérienne ; ceux de taille moyennement faible ( $0,125$  et  $0,25$  mm) sont de proportions globalement décroissantes de la plage aérienne au bas-estran (respectivement de  $4,88$  à  $1,43\%$  et de  $53,91$  à  $17,5\%$ ). Quant aux grains de taille moyenne ( $0,5$  mm), ils sont de proportions globalement constantes de la plage aérienne au bas-estran (proportion moyenne égale à  $38,8\%$ ) ;
- les sédiments du littoral togolais ont une granulométrie ouverte au début de la plage aérienne. Cette granulométrie devient serrée de la mi-plage aérienne au bas-estran. Globalement, la granulométrie des granulats marins est de plus en plus serrée de la plage aérienne au bas-estran ;
- La classe granulaire  $d/D$  des granulats du littoral togolais est  $0/3,15$  avec  $d=0,2$  mm.

L'absence des éléments fins (inférieurs à  $0,08$  mm) sur la côte togolaise est due au fait que leur transport par l'eau s'effectue par suspension [6]. La mer étant permanemment en mouvement grâce aux vagues, le dépôt de ces éléments en suspension dans l'eau sur la côte est difficile.

Les éléments gros (supérieurs à  $4$  mm) transporté par

charriage grâce à l'énergie importante des vagues [6], se déposent dans le bas-estran qui est la fin de la zone de déferlement où les vagues se brisent et perdent une grande partie de leur énergie, réduisant ainsi la capacité de transport de ces éléments gros vers la mi-estran. La présence des éléments gros dans la plage aérienne est probablement due au balayage des éléments fins des sédiments par le vent.

## CONCLUSION

A partir de cette étude, il ressort que les sédiments du littoral togolais (granulats marins) sont des sables, conformément aux études de Pautot [9], dont la classe granulaire  $d/D$  est de  $0/3,15$  avec  $d=0,2$ . Néanmoins quelques graviers (éléments de grosseurs supérieures à  $4$  mm) y sont aussi observés. Ces sables qui ne contiennent pratiquement pas de grains de tailles faibles inférieures à  $0,08$  mm et de grosses tailles supérieures à  $4$  mm sont d'une granulométrie serrée dont  $79,9\%$  des grains sont de tailles  $0,25$  et  $0,5$  mm. Alors que les grains de tailles  $0,5$  mm sont de proportions constantes, ceux de tailles  $0,125$  et  $0,25$  mm sont de moins en moins important de la plage-aérienne au bas-estran. Quant aux tailles  $1, 2$  et  $4$  mm, elles sont de moins en moins importantes du bas-estran au haut - estran et de plus en plus important du haut-estran à la plage aérienne.

Pour les travaux de béton, nous pouvons dire que :

- le béton de sable exigeant une proportion de sable fin de taille inférieure à  $0,08$  mm, d'au moins de  $12\%$  [4], les granulats marins du littoral togolais ne peuvent pas être utilisé sans ajout d'éléments fins ;
- les sables moyens et grossiers, plus adaptés pour la fabrication des bétons peuvent s'obtenir dans le bas-estran ;
- quant aux sables de la plage aérienne et du haut et mi estran, d'une granulométrie parfois fine et moyenne, ils seront adaptés aux travaux de revêtement et de béton ;
- du gravier marin (taille supérieure à  $4$  mm) s'observe parfois dans le bas-estran et surtout dans la plage immergée.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AFNOR, 1997.- Normes NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats, Partie 1 : Détermination de la granularité. *Analyse granulométrique par tamisage*, pp 6-9.
2. AFNOR, 2002.- Normes NF EN 12620 : *Granulats pour béton*, pp 5-9.
3. AFNOR, 1998.- Normes NF ISO 9276-1. Représentation de données obtenues par analyse granulométrique - Partie 1 : *Représentation graphique*, pp 4-7.
4. AFNOR, 1995.- Normes NF P 18-500 : Béton - *Béton de sable*, p 5.
5. AFNOR, 2001.- Normes NF X 11-630 : *Granulométrie - Vocabulaire*, 19 p.
6. BLIVI A., 1993.- *Géomorphologie et dynamique actuelle du littoral du Golfe du Bénin (Afrique de l'Ouest)*. Thèse Doct., Université Michel de Montaigne, Bordeaux, pp 289-302.
7. DREUX G, 1996 - *Nouveau guide de béton*. Eds. Eyrolles, Paris, pp 36-37.
8. MAILLARD J-L. et LEFEU B., 1999.- Granulométrie des granulats. *CERIB, Fiche 143*, p 4.
9. PAUTOT G., 1989.- Les ressources de la mer : Les ressources minérales et les énergies nouvelles - Les granulats maris et les placers. Le Grand Atlas de la mer. *Encyclopaedia Universalis*, pp 160-161.
10. ANONYME, 2005.- Programme pour la mise en place d'un système d'accréditation, de normalisation et de promotion de la qualité au sein de l'UEMOA. *Atelier de restitution des formations et réunions régionales sur le management de la qualité dans le secteur BTP-Document de synthèse*, pp 19.