

Évolution du trait de côte du littoral béninois de 2011 à 2014

DEGBE C. Georges E.¹, SOHOU Zacharie.¹, OYEDE L. Marc², ADJE Christian¹, DU PENHOAT Yves³, BOURLES Bernard³, CHUCHLA Rémi³, ALMAR Rafael³

Résumé

Cette étude qui a pour objectif d'étudier la morphologie et de suivre l'évolution du trait de côte du littoral béninois pour mieux appréhender le phénomène de l'érosion côtière au Bénin, a été menée en utilisant la méthode directe basée sur les mesures de levés topographiques effectuées de 2011 à 2014 dans des zones sensibles du littoral béninois.

Les résultats obtenus nous amènent à observer des mouvements verticaux et horizontaux des profils de plage qui nous permettent de distinguer des périodes d'érosion dominante de mai à septembre et des périodes d'accumulation dominante de novembre à avril. Pendant les premières périodes, les profils tendent à passer de la forme convexe à la forme concave, tandis qu'au cours de la deuxième période, ils tendent à passer de la forme concave à la forme convexe. Les secteurs côte les plus menacés par le recul du trait de côte sont situés à l'Est de Cotonou avec une vitesse moyenne du recul du trait de côte d'environ $-9 \pm 0,03$ m/an à Donatin et d'environ de $-30 \pm 0,03$ m/an un peu plus à l'Est au niveau du pont péage, à Djondji avec $-2 \pm 0,03$ m/an et ceux situés entre Hillacondji et Agoué avec $-5 \pm 0,03$ m/an. Les secteurs de côte en équilibre dynamique ou en accretion sont le secteur de côte situé à l'Ouest du port de Cotonou avec une vitesse de $+4 \pm 0,03$ m/an et celui entre Ayiguéno et Grand-Popo qui est stable. Le trait de côte du littoral béninois connaît une évolution saisonnière.

Mots-clés : Littoral béninois, dynamique du trait de côte, érosion côtière, engraissement, profil de plage, levés topographiques, sédiments.

Abstract

This study, which aims to study the morphology and to follow the evolution of the coastline of the coast of Benin to better understand the phenomenon of coastal erosion in Benin, was carried out using the direct method based on measurements of Topographic surveys carried out from 2011 to 2014 in sensitive areas of the Benin coast.

The obtained results bring us to observe vertical and horizontal movements beach profiles which enable us to distinguish periods of dominant erosion from May to September and from the periods of dominant accumulation from November to April. For the first period the profiles tend to pass from the convex form to the concave form, while with the course the second period, they tend to pass from the concave form to the convex form. The coastal sectors most threatened by the retreat of the coastline (erosion) at the East of Cotonou with a mean velocity approximately -9 ± 0.03 m/year at Donatin and approximately -30 ± 0.03 m/year at the East at the level of the bridge toll, the sectors of Djondji with -2 ± 0.03 m/year and the sectors between Hillacondji and Agoué with -5 ± 0.03 m/year. The Sectors of coast which are in dynamic balance or accretion are the sector of coast located at the west of the port of Cotonou with a speed of $+4 \pm 0.03$ m/year and the sector between Ayiguéno and Grand-Popo which is stable. The coastline of the Benin littoral knows a seasonal evolution.

Keywords: Benin littoral, dynamic of the coastline, coastal erosion, fattening, profile of beach, topographical surveys, sediments.

¹ Institut de Recherches Halieutiques et Océanologiques du Bénin (IRHOB/CBRSI)

² Laboratoire de Géologie, Mines et Environnement de l'Université d'Abomey-Calavi (DST/FAST/UAC) du Bénin.

³ Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

Correspondence: gdegebe@yahoo.fr; Tel.: +229 95 05 69 21

BOURLES Bernard, bernard.bourles@ird.fr - DU PENHOAT Yves penhoat@ird.fr - ADJE Christian, adjechristian@yahoo.fr - OYEDE L. Marc, oyede_marc@yahoo.fr - SOHOU Zacharie zsohou@yahoo.fr - CHUCHLA Rémi, remi.chuchla@ird.fr - ALMAR Rafael, rafael.almar@ird.fr

1. Introduction

Long de 125 km, le littoral béninois est caractérisé par un étroit cordon de sables grossiers et moyens, par un fort transit littoral ($1\,500\,000$ m³/an) et par une forte pression démographique, ce qui en fait une côte essentiellement fragile (Ceda, 1998). L'un des problèmes environnementaux auxquels est confronté le Bénin est l'érosion côtière. Il ressort des observations que le taux de recul de la ligne de rivage est relativement important, pouvant atteindre 10 à 15 m par an par endroits (Abé, 2005). Des hôtels, des habitations, des routes et des villages ont été détruits.

La côte béninoise constitue un géosystème hérité des dernières oscillations marines, mais dont la stabilité morphodynamique est bouleversée ces dernières années aussi bien par des causes naturelles (construction de ports, construction du barrage de Nangbéto et des ouvrages de protection de la côte). Les deux dernières décennies semblent montrer une accélération très sensible du phénomène présentant par segments de côte, des

schémas divers.

L'insuffisance du suivi et de la compréhension de l'ampleur et des causes du phénomène de l'érosion côtière pourraient constituer un des principaux freins à la gestion intégrée de la zone. La meilleure connaissance de la dynamique de la ligne de rivage est une donnée nécessaire à l'élaboration du schéma directeur du littoral et à la définition de lignes de repli en cas de catastrophe.

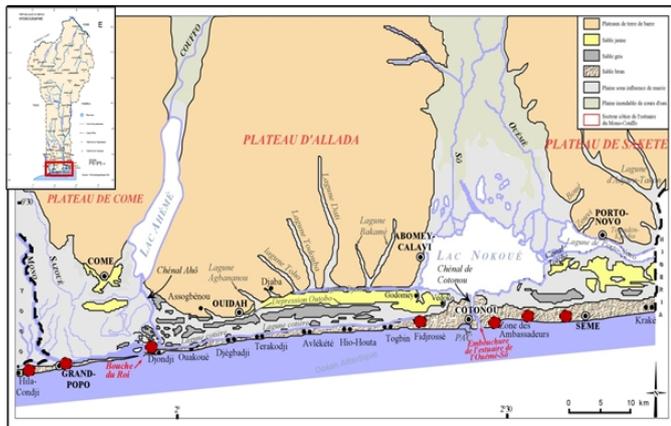
La composante "Recherche et Développement" doit donc permettre de renforcer les connaissances en matière d'érosion côtière et de l'étude de l'évolution du trait de côte afin de pouvoir en assurer un meilleur contrôle. Cela permettra également de disposer de données nécessaires à une meilleure maîtrise des causes et de l'ampleur du phénomène de l'érosion côtière. Il est donc important de mieux connaître le comportement de cette frange côtière dans le temps.

C'est à ces différentes préoccupations, que ce travail qui a pour objectif d'étudier la morphologie et de suivre l'évolution

du trait de côte du littoral béninois pour mieux appréhender le phénomène de l'érosion côtière au Bénin, tentera d'apporter quelques approches de réponses.

2. Cadre d'étude

La zone d'étude est le littoral béninois où ont été identifiés sept (07) secteurs critiques en fonction de leur spécificité (fig. 1)



● Site de mesure

Figure 1 : Le littoral béninois avec les sites de mesures topographiques

Le littoral béninois est le domaine margino-littoral compris entre les parallèles 6°10' et 6°25' de latitude Nord et les méridiens 1°40' et 2°45' de longitude Est (fig. 1). Sa façade Sud ou façade atlantique s'étend sur 125 km sur le Golfe de Guinée.

Il s'inscrit dans le bassin sédimentaire côtier du Golfe de Guinée. Le climat est de type subéquatorial avec deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses altérées

La marée au Bénin est de type semi-diurne. Les marnages extrêmes observés sont +1,95 m et -0,50 m. Les houles arrivent du Sud-ouest. Il y a deux types de houles observés dans la zone: une longue liée aux tempêtes de l'Atlantique Sud, avec une longueur d'onde entre 160 et 220 m avec une période de 10 à 12 s ; une courte due au vent locaux, avec environ 50 m de longueur d'onde. Il existe deux principaux courants: les courants équatoriaux de surface et le contre-courant sub-équatorial. Il y a aussi le courant de dérive, de vitesse comprise entre 0,50-0,80 m/s et de direction Ouest-est, généré par les vagues et les courants de marée (Ibé et Qennelec, 1989). Ce dernier joue un rôle important dans la dynamique sédimentaire le long de la côte ouest-africaine.

3. Matériel et méthodes

La méthode utilisée ici est la méthode directe basée sur des levés topographiques effectués à l'aide d'un théodolite.

Dans cette étude le haut de la dune de plage (crête de dune) est utilisé comme marqueur du trait de côte. Il est localisé à la jonction entre la pente relativement abrupte du front dunaire et celle de la haute plage qui est beaucoup plus douce (Guillén *et al.* 1999). Les levés topographiques ont été effectués sur la période de 2011 à 2014.

Avec les données topographiques nous avons tracé les profils de plage. Les distances d'évolution du trait de côte à chaque point de mesure sont calculées en faisant la différence entre les positions des crêtes des bermes des profils de plage entre les sorties successives. (fig. 2).

Sur chaque site d'observation, il a été implanté trois stations de mesure matérialisées par des bornes distantes l'une de l'autre de 100 m.

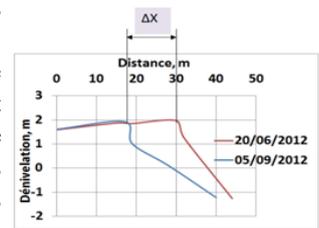


Figure 2 : Détermination de la distance d'évolution du trait de côte

Figure 2 : Détermination de la distance d'évolution du trait de côte

Le levé consiste à déterminer à partir d'un point fixe (borne-repère), les distances et les altitudes de certains points choisis judicieusement en progression vers la mer (photo 1).



Photo1 : Séance de mesures topographiques

Les profils de plage ont été tracés en utilisant une échelle relative, le zéro, tant vertical (dénivellation) qu'horizontal (distance), étant le point fixe de chaque profil. En effet, le très grand éloignement des points repères par rapport aux bornes du réseau national de nivellement (Zéro hydrographique de l'Institut Géographique National (IGN)), n'a pas permis de déterminer la dénivellation absolue des points repères. A défaut de raccorder ces bornes au système de l'IGN, elles ont été raccordées au zéro hydrographique du Service français Hydrographique et océanographique Marine (SHOM). Le Zéro Hydrographique (Z.H.) au Bénin correspond théoriquement aux marées astronomiques les plus basses. Le Z.H. à Cotonou est de 0,53 m au-dessous du niveau de datum national du Bénin qui s'appelle le Zéro IGN. Par conséquent, la relation entre les références est : $IGN = Z. H. + 0,53 m$. Les mesures des profils de plage ont été faites au moment de la basse marée.

La détermination de la quantité de sable s'est faite à partir des surfaces d'érosion ou d'engraissement en superposant deux profils de plage de deux sorties successives (méthode de trapèze). Il faut signaler que la quantité de sable calculée concerne le domaine intertidal (Estran) et non le domaine subtidal (Plage sous-marine), puisque que des mesures bathymétriques n'ont pas été faites.

La forme du profil de la plage aérienne est décrite en utilisant la terminologie de Sonu et Van Beek (1971) qui distingue trois grandes formes : concave, rectiligne et convexe, avec ou sans berme. Les formes induisent des modifications de pente

qui aboutissent à des profils difficiles à classifier.

Estimations de la marge d'erreur

Les principales sources d'imprécision estimables sont celles induites par la précision du théodolite et celles relatives aux opérations des mesures topographiques.

L'erreur totale estimée, en sommant les erreurs relatives au théodolite et aux opérations des mesures topographiques, nous donne pour :

- Les angles en azimut sont mesurés à 2 grades près
- Les distances sont mesurées à 0,3 cm près
- Les dénivelés sont mesurés à 0,4 cm près.

4. Résultats et discussions

4.1. Résultats obtenus

Pour les mesures d'évolution du trait de côte, les valeurs positives indiquent une avancée du trait de côte par un apport de sédiments (progradation) et les valeurs négatives indiquent un recul du trait de côte c'est-à-dire un départ de sédiments (érosion).

Les résultats obtenus nous permettent de répartir la côte béninoise en quatre secteurs :

- **Secteur de côte situé à l'Est de Cotonou**, où nous avons trois sites d'observation (plages de Donatin, au niveau des villas CEN-SAD à Agblangandan et au niveau du Pont péage à Ekpè)

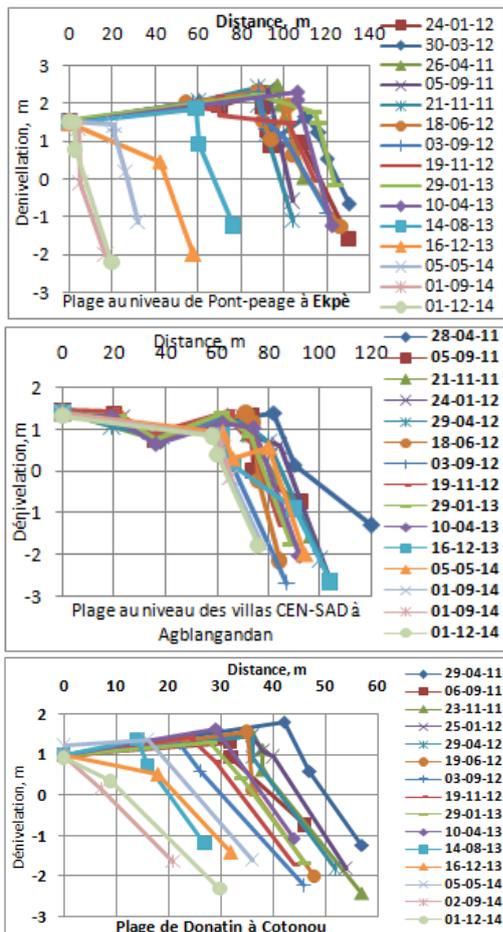


Figure 3: Profils de plage au niveau des sites d'observation situés à l'Est de Cotonou

Au niveau de la plage de Donatin, Les profils de plage présentent une allure intermédiaire d'avril 2011 à janvier 2012. On observe un recul important de la berme du haut de plage d'avril à septembre 2011, témoignant d'une forte érosion de la côte et suivi d'une petite avancée de la berme avec un petit engraissement du haut de plage. L'allure des profils devient concave en avril et juin 2012 sans déplacement de la berme mais avec un départ de sédiments sur l'estran. Cette allure devient convexe de septembre 2012 à août 2013 avec un recul de la berme à chaque fois, montrant ainsi que la zone est en érosion continue. Cette allure est maintenue inchangée jusqu'à mai 2014, mais avec un relèvement du profil.

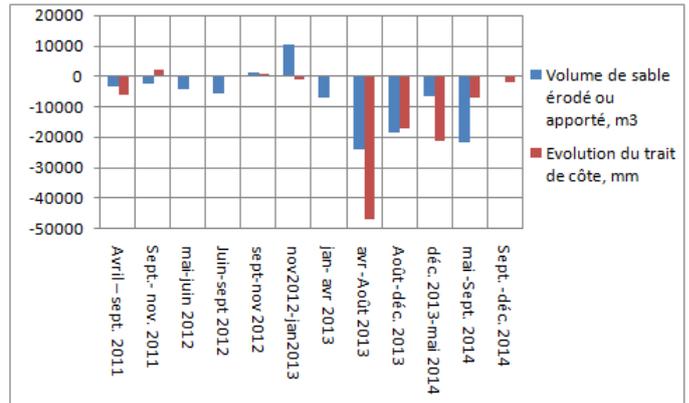


Figure 4: Evolution du trait de côte et volumes de sédiments érodés ou déposés par période d'observation à la plage du Pont péage

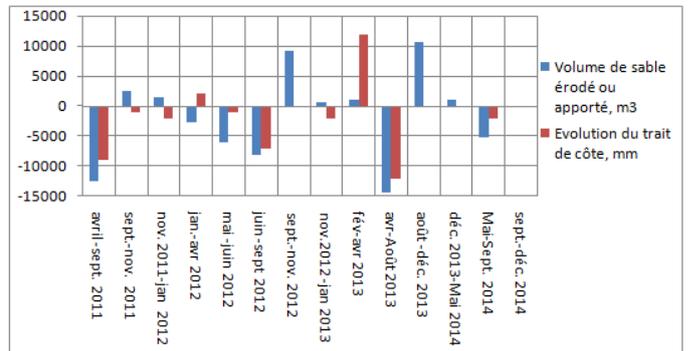


Figure 5: Evolution du trait de côte et volumes de sable érodé ou déposés par période d'observation à la plage à hauteur des villas CEN-SAD

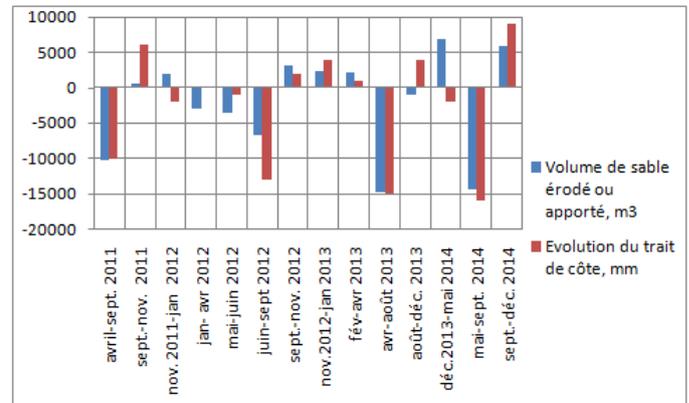


Figure 6: Evolution du trait de côte et volumes de sédiments érodés ou déposés par période d'observation à la plage de Donatin

Du 30 avril au 09 septembre 2011 on a noté un recul du trait de côte de $-10 \pm 0,3$ m, avec un important départ de sédiments de $-10181,25$ m³. Après il s'en est suivi du 10 septembre au 24 novembre 2011 une avancée du trait de côte de $+6 \pm 0,3$ m avec

un faible apport de sédiments de $+600 \text{ m}^3$. Le recul du trait de côte de $-2\pm 0,3 \text{ m}$ est à nouveau observé du 25 novembre 2011 au 30 janvier 2012 accompagné d'un apport de sédiments de $+1996,875 \text{ m}^3$ sur le bas de plage. Après cela, il y a eu une stabilité du trait de côte mais avec un départ de sédiments de $-2906,26 \text{ m}^3$ du 31 janvier au 30 avril 2012. Ce recul du trait de côte a continué pendant la deuxième année d'observation, du 01^{er} mai au 05 septembre avec un taux de $-14\pm 0,3 \text{ m}$, accompagné d'un fort départ de sédiments de $-10406,25 \text{ m}^3$. Du 06 septembre 2012 au 12 avril 2013, le trait de côte a avancé de $+7\pm 0,3 \text{ m}$ avec un apport de sédiments de $+7537,5 \text{ m}^3$. On a observé par la suite jusqu'en août 2013 un important recul du trait de côte de $15\pm 0,3 \text{ m}$, avec un départ de sédiments d'environ 14975 m^3 . Ensuite la côte a avancé de $4\pm 0,3 \text{ m}$ d'août à décembre 2013 de $+4\pm 0,3 \text{ m}$, suivi d'un recul de $-2\pm 0,3 \text{ m}$ jusqu'au 01^{er} septembre 2014, accompagné d'un départ de sédiments d'environ 10025 m^3 . Il a été observé par la suite jusqu'en décembre 2014, une avancée de la plage de $+6\pm 0,3 \text{ m}$ et un apport de sédiments d'environ $+8755 \text{ m}^3$ (fig. 6).

- **Secteur de côte situé à l'Ouest du Port de Cotonou:** la forme convexe des profils de plage à Djako à Fidjorssé est restée la même durant toute la période d'observation suivie souvent d'une augmentation de la longueur des profils. Ce qui montre que la zone est en engraissement (fig. 7).

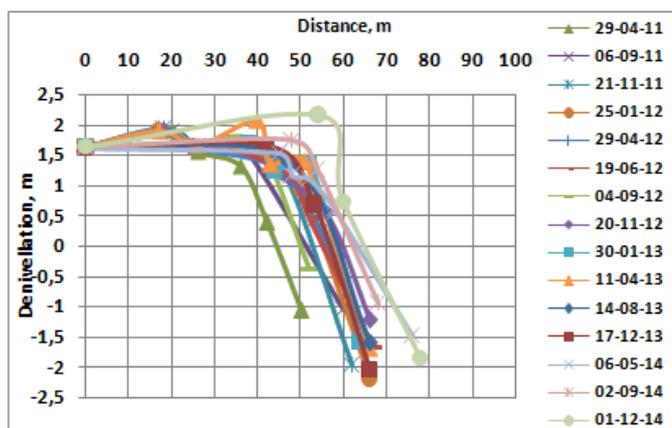


Figure 7: Profils de plage à Djako-plage à Cotonou

La forme convexe des profils de plage est restée la même durant toute la période d'observation suivie souvent d'une extension de leur longueur. Ce qui montre que la zone est en engraissement (fig. 7).

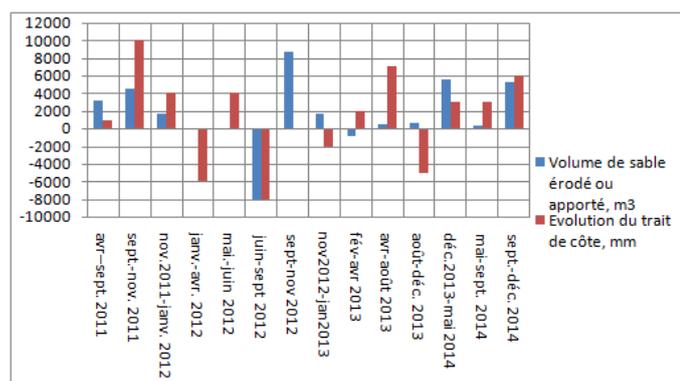


Figure 8 : Evolution du trait de côte et volumes de sédiments érodés ou déposés par période d'observation à Djako-plage

Pour cette zone située tout juste à l'ouest du port de Cotonou, pendant la première année d'observation, comme le montre la figure 8, on a observé du 30 avril 2011 au 30 janvier 2012 une avancée significative du trait de côte de $+15\pm 0,3 \text{ m}$ avec un apport de sédiments de $+9393 \text{ m}^3$. Puis du 31 janvier au 30 avril 2012, la côte a reculé de $-6\pm 0,3 \text{ m}$. Au début de la deuxième année d'observation, c'est-à-dire du 1^{er} mai au 20 juin 2012, le trait de côte a connu une avancée de $+4\pm 0,3 \text{ m}$ avec un faible départ de sédiments de $-180,5 \text{ m}^3$. Il s'en est suivi, du 21 juin 2012 au 31 janvier 2013 un recul du trait de côte de $(-10\pm 0,3) \text{ m}$, entrecoupé par une stabilité du 6 septembre au 21 novembre 2012. Pendant ce temps, on a observé un départ de sédiments de $-8031,25 \text{ m}^3$ du 21 juin au 05 septembre 2012 et un apport de sédiments de $+10446,25 \text{ m}^3$ du 06 septembre 2012 au 31 janvier 2013. L'avancée du trait de côte a repris avec une distance de $+9\pm 0,3 \text{ m}$ du 01^{er} février au 14 août 2013 accompagnée d'un faible départ de sédiments de $-241,25 \text{ m}^3$. Du 15 août au 16 décembre 2013, on a assisté à un recul du trait de côte de $-5\pm 0,3 \text{ m}$, avec un faible départ de sédiments d'environ -525 m^3 . Il s'en est suivi, jusqu'en décembre 2014, une avancée de la côte de $12\pm 0,3 \text{ m}$ et un apport de sédiments d'environ 11550 m^3 (fig. 8).

- **Secteur de l'embouchure du fleuve Mono au niveau de Djondji :** cette zone est caractérisée par le fait qu'elle est sous l'influence des apports fluviaux du fleuve Mono par l'embouchure appelée « Bouche du Roi » ($100\,000 \text{ m}^3$ par an de sédiments (Rossi, 1989)) et le transit littoral venant de l'Ouest édifiant ainsi une flèche filiforme à l'amont et une érosion spectaculaire de proche en proche à l'aval. Le profil obtenu au niveau de la plage de Djondji présente une forme particulière (fig 9). Cela demande une étude spécifique pour mieux comprendre les phénomènes morphodynamiques dans cette zone.

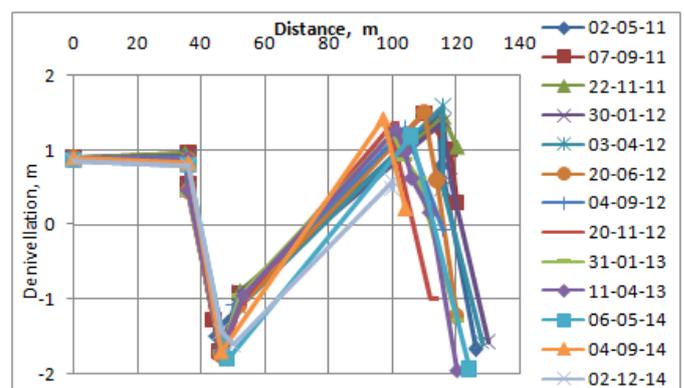


Figure 9: Profils de plage au niveau de Djondji

La figure 10 montre que la côte a reculé de $-4\pm 0,3 \text{ m}$ du 30 avril au 09 septembre 2011, suivi d'une avancée de $+6\pm 0,3 \text{ m}$ du 10 septembre au 24 novembre 2011. Ensuite, on a observé une stabilité de la côte du 25 novembre 2011 au 30 janvier 2012. Le retrait de la côte a repris du 31 janvier au 30 avril 2012 avec une distance de $-6\pm 0,3 \text{ m}$. Ce retrait a continué pendant la deuxième année d'observation, du 1^{er} mai au 21 novembre 2012, de $-12\pm 0,3 \text{ m}$, qui par la suite, a avancé du 22 novembre 2012 au 05 mai 2014 d'une distance de $+10\pm 0,3 \text{ m}$. Il s'en est suivi jusqu'en décembre 2014, un recul de la côte de $16\pm 0,3 \text{ m}$. Cette situation s'explique par le fait que la mobilité de la bouche du roi vers l'Est définit en amont de

la dérive littorale un puits des sédiments venant de l'Ouest et une source de sédiments en aval de la dérive littorale qui alimente l'Est de la cote. Ce puits de sédiments se présente sous une forme de flèche sableuse

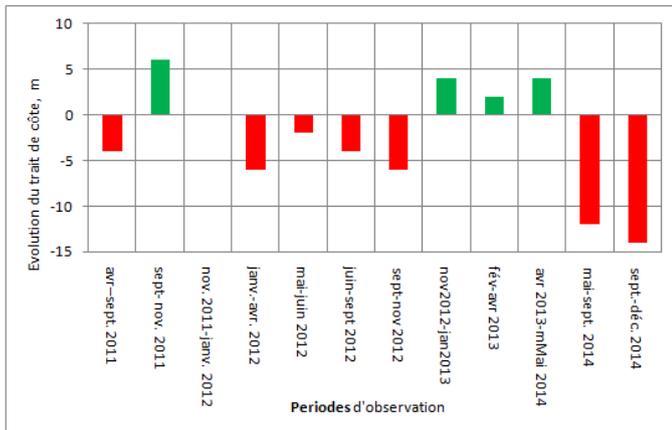


Figure 10 : Evolution du trait de côte par période d'observation à la plage de Djondji

Cette zone est sous l'influence des apports fluviaux du fleuve Mono par la Bouche du Roi et le transit littoral venant de l'Ouest.

- **Secteur de côte situé entre Grand-Popo et Hillacondji (deux sites d'observation):** Au niveau de la plage d'Hillacondji, le profil de plage qui a une allure convexe en avril 2011 est passé à un profil de forme concave en septembre 2011. Ce qui montre que durant cette période la partie de la côte a enregistré un départ de sédiments. Cette allure redevient convexe en novembre 2011, entraînant ainsi un engraissement de la côte. L'allure est restée la même jusqu'en avril 2012 pour devenir intermédiaire en juin 2012 avec un recul de la berme entraînant ainsi un départ de sédiments. De juin 2012 à novembre 2012, la plage a pris une allure concave pour redevenir convexe de novembre 2012 à avril 2013. L'allure est passée à nouveau concave en août 2013 et qui est maintenue inchangée jusqu'en mai 2014, avec un recul de la plage (fig.11)

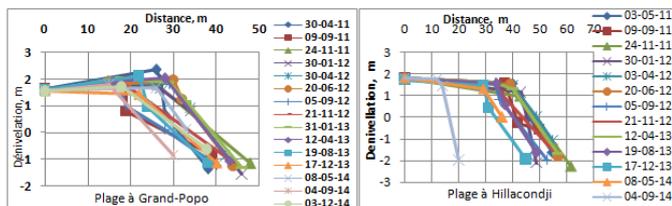


Figure 11: Profils de plage dans le secteur de côte entre Grand-Popo et Hillacondji

Sur la figure 12 on observe, du 30 avril au 09 septembre 2011, un recul du trait de côte de $-8\pm 0,3$ m avec un départ de sédiments de $-2918,75$ m³ et une avancée du trait de côte de $+9\pm 0,3$ m avec apport de sédiments de $+3803,125$ m³ du 10 septembre 24 novembre 2011 et un départ de sédiments de $-1685,5$ m³ du 25 novembre 2011 au 30 janvier 2012. Du 31 janvier au 30 avril 2012 le trait de côte a reculé de $-3\pm 0,3$ m accompagné d'un apport de sédiments de $+411$ m³.

Pendant la deuxième année, le trait de côte a avancé de $+1\pm 0,3$ m avec un départ de sédiments de $-2481,25$ m³ du 1^{er} mai au 20 juin 2012, suivi d'un retrait de la côte de $-6\pm 0,3$ m avec départ de sédiments de $-3401,625$ m³ du 21 juin au

05 septembre 2012. La côte a connu, du 06 septembre 2012 au 12 avril 2013 une avancée de $+6\pm 0,3$ m intercalée d'une stabilité de la côte du 22 novembre 2012 au 31 janvier 2013. Pendant cette période la plage a enregistré un apport de sédiments de $+5522,8125$ m³. Du 13 avril au 16 décembre 2013, on a observé un recul du trait de côte de $-11\pm 0,3$ m, avec un départ de sédiments d'environ $-14550,25$ m³. Une stabilité de la côte de a été enregistrée, du décembre 2013 au 05 mai 2014, suivi à nouveau d'un recul de la cote de $-17\pm 0,3$ m, avec un départ de sédiments d'environ -24550 m³, du 06 mai au 1^{er} septembre 2014 (fig. 12).

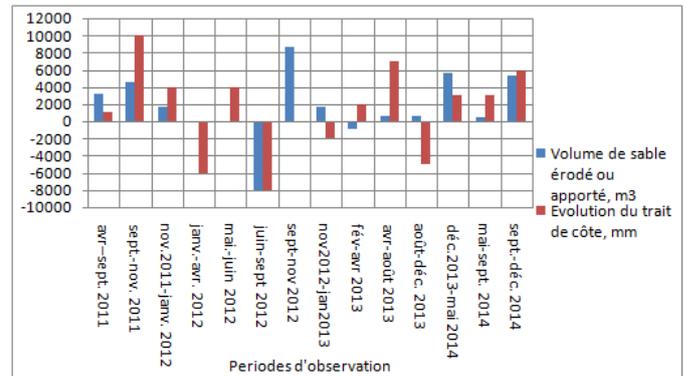


Figure 12 : Evolution du trait de côte et volumes de sédiments érodés ou déposés par période d'observation à la plage de Grand-Popo

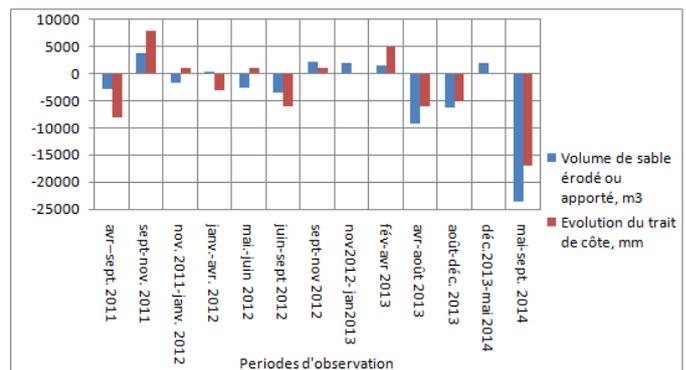


Figure 13 : Evolution du trait de côte et volumes de sédiments érodés et déposés par période d'observation à la plage d'Hillacondji

4.2. Discussions

En considérant les mouvements verticaux et horizontaux des profils, il est possible de distinguer une période d'érosion dominante qui s'étend de mai à septembre et une période d'accumulation dominante de novembre à avril.

Néanmoins, ce constat ne veut pas dire qu'au sein d'une période d'une tendance donnée, on observe pas ponctuellement, le long du littoral, la tendance inverse. Des études effectuées sur des plages de la côte ouest des Etats-Unis ont montré que le climat des houles a une signature saisonnière très remarquable (Sallenger *et al.*, 1985). Mais, cette théorie a été critiquée, quand des études de ce type ont été faites sur d'autres côtes du monde où les houles, très énergétiques, ne répondent pas forcément à une répartition saisonnière. Il est actuellement suggéré de distinguer entre profils de forte énergie et profils de faible énergie (Sallenger *et al.*, 1985) d'une part et d'autre part, la variabilité spatio-temporelle de l'évolution morphologique des plages observée ailleurs (Larson et Kraus, 1994) et en particulier sur les côtes nigérianes (Ibe, 1986). Il

faut remarquer que les passages d'une tendance à l'autre ne se traduisent pas, comme cela a été décrit par les australiens (Short, 1999 ; Wright *et al.*, 1979) ou les japonais (Sunamura et Horikawa, 1974)), par un changement de la nature des plages ; celles-ci conservent leurs caractéristiques de plages réflexives et peuvent donc être considérées comme des plages réflexives modales (Wright et Short, 1984).

Les trois types de mouvements verticaux déduits de la comparaison des profils de plage obtenus sont des mouvements d'érosion, d'accumulation ou de compensation. Les mouvements de compensation sont des mouvements combinés d'érosion et d'accumulation le long d'un profil. Cela donne un bilan global presque nul et traduit un échange sédimentaire le long de la plage aérienne. Ces catégories de mouvements induisent des modifications morphologiques de la plage très diverses, les plus fréquemment observées et représentées dans les figures 3, 7 et 11. L'évolution morphologique d'une plage dépend essentiellement de la forme de départ d'une part ; ce qui a été déjà signalé par différents auteurs (Sunamura et Horikawa, 1974 ; Short, 1979 ; Wright et Short, 1983 et 1984), d'autre part aussi de la répartition le long de la plage des zones d'accumulation et d'érosion. En général, les mouvements d'accumulation entraînent toujours un rehaussement du profil et une tendance à l'augmentation de la pente, tandis que les mouvements d'érosion produisent un abaissement du profil accompagné d'une tendance à la diminution de la pente de la plage. Les mouvements de compensation conduisent à des variations inverses du niveau des parties haute et basse de la plage, avec des évolutions diverses de la pente du profil de plage. Il apparaît clairement que la forme d'un profil de plage ne peut être considérée comme un indice fiable d'une tendance érosionnelle ou accrétionnelle de la plage. Un profil de plage est la résultante de la conjonction de plusieurs facteurs.

L'ensemble du littoral béninois ne se comporte pas de la même manière du point de vue dynamique. Ainsi, de l'Ouest vers l'Est et au vu des résultats obtenus pendant cette étude, nous pouvons distinguer trois secteurs de côte:

- **Le secteur de côte située à l'est de l'épave de Sifato**, où sont localisés les sites d'observations sur les plages du pont péage, des villas CEN-SAD à Agblangandan et à Donatin à la Citée vie nouvelle. On observe sur ce secteur une accélération du retrait de la côte (érosion), avec une vitesse moyenne de $-9\pm 0,03$ m/an à Donatin, de $-7\pm 0,03$ m/an au niveau des villas CEN-SAD et de $-30\pm 0,03$ m/an au pont péage (fig. 14) avec des bilans sédimentaires négatifs de $10294,63$ m³/an à Donatin, de $-7447,52$ m³/an au niveau des villas CEN-SAD et de $-21644,47$ m³/an au pont péage pendant les trois années d'observation (fig. 15). Ce recul important du trait de côte observé dans cette partie de la côte peut s'expliquer par le blocage des sédiments venant de l'Ouest, par les ouvrages de protection du Port de Cotonou et l'épave de Sifato. Il est à signaler qu'après l'installation de nouveaux ouvrages de protection à l'Est de l'épave de Sifato depuis 2013, l'érosion de la côte s'est accentuée à l'aval du dernier épave, avec une vitesse

de $-30\pm 0,03$ m/an. Les sédiments venant de l'Ouest étant bloqués en amont par les ouvrages mis en place, cette zone devient alors une source d'alimentation du transit littoral vers l'Est. Toute la zone située entre le dernier épave et la frontière avec le Nigéria devait être considérée aujourd'hui comme en érosion avec des taux d'érosion décroissant d'Ouest en Est.

- **Le secteur de côte situé à l'Ouest du port de Cotonou** (site d'observation Djako-plage) : une avancée du trait de côte est observée dans ce secteur avec une vitesse moyenne de $+3\pm 0,03$ m/an (accrétion) et un bilan sédimentaire positif de $+2144,54,25$ m³/an (zone d'accumulation) (fig 14 et 15) ; Cela est dû à l'arrêt des sédiments venant de l'Ouest par l'épave érigé au Port de Cotonou.
- **La zone située à l'embouchure du fleuve Mono** (site de Djondji plage) : c'est un secteur qui est sous l'influence des apports fluviaux du Mono par l'embouchure appelée « Bouche du Roi » et le transit littoral venant de l'Ouest édifiant une flèche et une érosion (Laïbi, 2011). La vitesse moyenne de recul de trait de côte obtenue pendant les trois années d'observation est de $-2\pm 0,03$ m/an.

Avant la construction de ce barrage de Nangbéto, la Bouche du Roi était une embouchure temporaire caractérisée par des cycles d'ouvertures et de fermetures ; les ouvertures n'étant pas toujours naturelles (Guilcher, 1959 ; Pliya, 1976 ; Oyédé, 1991). Ces cycles d'ouvertures et de fermeture de la Bouche du Roi se traduisaient par d'intenses phénomènes de remaniement de plages toutefois limités en face de l'île de Kouéta. On parle d'une relative stabilité de position (Laïbi, 2011). La construction du barrage de Nangbéto a créé sur la côte un déficit d'apport fluviaux d'environ $100\ 000$ m³ retenu en amont (Kaki *et al.*, 2001). Après la mise en service du barrage en 1987, la Bouche du Roi est devenue une embouchure permanente qui effectue une migration sans cesse dans le sens de la dérive littorale, à une vitesse pouvant atteindre 700 m/an. Cette mobilité de l'embouchure s'accompagne de violents phénomènes d'érosion qui détruisent littéralement les plages (Laïbi 2011).

- **Le secteur de côte situé entre Grand-Popo et Hillacondji** (frontière avec le Togo) : nous avons deux sous-secteurs, celui de Hillacondji à Agoué, qui connaît un retrait de côte (érosion) de vitesse moyenne de $-5\pm 0,03$ m/an avec un bilan sédimentaire négatif et celui de Ayiguéno à Gbèkon (Grand-Popo), où nous observons une stabilité du rivage (zone de transition) (fig. 14 et 15). Dans ce sous-secteur de côte qui appartient à la ville de Grand-Popo où les épisodes successifs de 1900 à 1905 ; 1922 et 1944 ont entraîné les premières destructions de la ville, la mer a avancé continuellement jusqu'en 1982. Mais de 1982 à nos jours, on note un engraissement sensible parfois interrompu par des épisodes d'érosion

(Guilcher, 1959 ; Pliya, 1976 ; Oyédé, 1991). Ce que nos résultats confirment avec une stabilité du sous-secteur. En effet, avec les travaux de protection effectués à Anêho, nous assistons à un déficit de sédiments venant du Togo. Ce qui occasionne des phénomènes d'érosion qui s'étendent d'Hillacondji à Agoué (zone source), zone au-delà de laquelle on observe une stabilité du rivage (zone de transition) entre Ayiguénou et Grand-Popo ville. En 2012, la réhabilitation des épis d'Anêho, du côté Est de la côte togolaise, a occasionné le blocage systématique d'une bonne partie du budget sédimentaire en transit vers la côte béninoise, ce qui a accentué depuis lors les phénomènes d'érosion côtière sur les plages d'Hillacondji et d'Agoué. Un autre facteur aggravant du risque est la construction d'autres infrastructures de défense côtière (épis) projetée par le gouvernement togolais à quelques dizaines de mètres de la frontière béninoise.

A l'analyse des figures 16 et 17, on peut dire qu'au cours des deux années d'observation, de mai à août voir même septembre sur presque tous les sites d'observation une accentuation du recul du trait de côte et un important départ de sédiments (érosion) et de septembre à avril une certaine stabilité ou une progradation de la côte. Ce qui montre une évolution saisonnière du trait de côte sur l'ensemble du littoral béninois.

Conclusion

Les profils obtenus sur chaque site ne présentent pas les mêmes allures pendant la période d'observation. Elles changent avec le temps. Ainsi, apparaissent des profils avec des allures concaves, convexes et parfois intermédiaires.

De la comparaison des profils de plage, il se dégage trois types de mouvements: les mouvements d'érosion, d'accumulation et de compensation.

La majorité des profils des plages situées à l'Est de Cotonou, c'est-à-dire au niveau des plages du Pont-péage à Sèmè, de CEN-SAD à Agblangandan et à Donatin à Cotonou comme à Hillacondji ont un bilan érosionnel. La tendance inverse, c'est-à-dire accrétionnelle est observée sur les plages de Djako-plage, zone située à l'Ouest du port de Cotonou qui connaît une accumulation de sédiments. On pourrait signaler l'état d'équilibre relatif des plages situées à Grand-Popo.

La dynamique du littoral béninois ne se comporte pas globalement de la même manière. Ainsi, on observe des secteurs de côte en érosion (à l'Est de Cotonou, Djondji et d'Hillacondji), des secteurs en accrétion ou en équilibre (à l'Ouest du port de Cotonou et de Grand-Popo)

Les résultats de l'étude ont montré que le trait de côte du littoral béninois connaît une évolution saisonnière : de mai à août voire septembre, on observe une accentuation du recul du trait de côte (érosion) et de septembre à avril une certaine stabilité ou une progradation de la côte.

Références bibliographiques

1. Abe J. (2005) – Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral ivoirien (cas du littoral d'Abidjan) : essais de modélisation en vue d'une gestion rationnelle. Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences naturelles, spécialité: Océanologie.
2. Adam K. S. (1988) – L'évolution géomorphologique de la plaine côtière dans le Golfe du Bénin. Cahiers géologiques, n°III, 1988, Université P. M. Curie, 75005 Paris. 935-943 pp.
3. Adam K. S. (1990) - Le littoral du Golfe du Bénin, atout stratégique. Colloque international "Défense de côte et protection du littoral". Université nationale du Bénin. 15 p.
4. Blivi A. (1993) – Erosion côtière dans le golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest : exemple du Togo. Université d Lomé. 9p
5. Ceda (1998).- Profil de la zone côtière du Bénin. 93p.

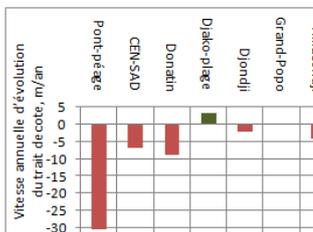


Figure 14: Vitesse annuelle d'évolution du trait de côte de 2011 à 2014 sur chaque site d'observation

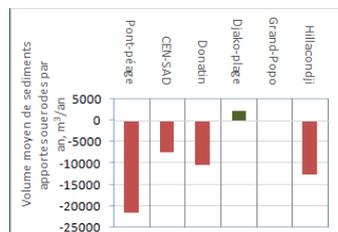


Figure 15: Volume de sédiments apportés ou érodés de 2011 à 2014 sur chaque site d'observation

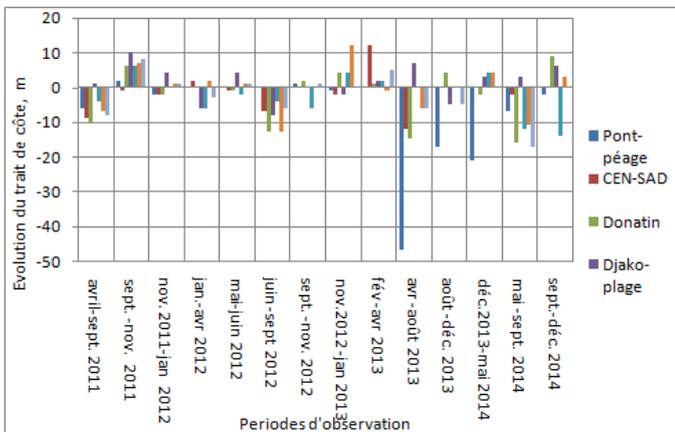


Figure 16: Evolution du trait de côte par période sur chaque site d'observation

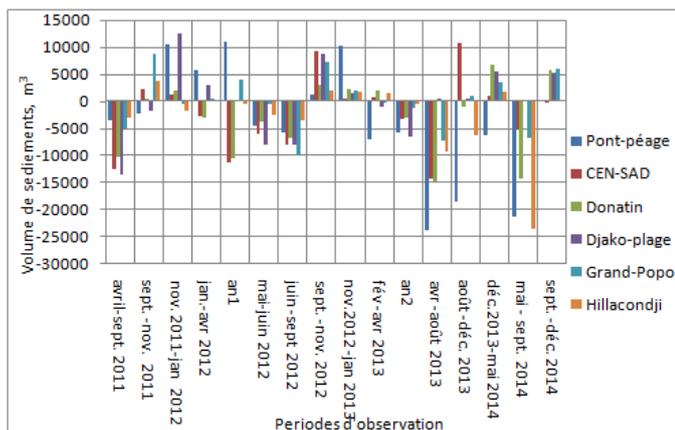


Figure 17: Volume de sédiments érodés ou apportés par période sur chaque site d'observation

6. Commission des Communautés Européennes (1989).- Erosion côtière dans le Golfe de Guinée : Aspects nationaux et régionaux.
7. Dègbé C. G. E., (2009)- Géomorphologie et érosion côtière en Afrique de l'Ouest, Mémoire de master 2 (DEA). 100p.
8. Guilcher, A. (1959). La région côtière du Bas-Dahomey occidental. *Bull. IFAN, t. XXI, n°3 et 4*, 357-424.
9. Ibé A. C., Queleu R. E. (1989). Méthodologie d'inventaire et de contrôle de l'érosion côtière dans la région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport études des mers régionales n°107. 107 p.
10. Ibé, A. C. (1986). Harbour Development Related Erosion at Victoria Island, Lagos. *International Geomorphology 1986, Part 1, V. Gardiner John Wiley and Sons Ltd.*, 165-181.
11. Guilcher, A. (1959). La région côtière du Bas-Dahomey occidental. *Bull. IFAN, t. XXI, n°3 et 4*, 357-424.
12. Kaki C., Oyédé L. M. - Dynamique littorale et environnement : l'érosion côtière et les mesures de défense contre la mer au Bénin (Afrique de l'Ouest). Département des Sciences de la terre, Université nationale du Bénin. 19p.
13. Laïbi R., (2011) - Dynamique actuelle d'une embouchure fluviale estuarienne à flèche sableuse, la Bouche du Roi, Bénin, Golfe de Guinée : Caractérisation hydrosédimentaire et géomorphologique. Thèse de doctorat. 307p.
14. Larson M. and Kraus N. C. (1994). Temporal and spatial scales of beach profile change, Duck, North Carolina. *Marine geology*, 117, 75-94.
15. Oyédé L. M. (1991). Dynamique sédimentaire actuelle et messages enregistrés dans les séquences quaternaires et néogènes du domaine margino-littoral du Bénin (Afrique de l'ouest). Thèse pour l'obtention du Doctorat en Géologie sédimentaire. Université de Bourgogne, Paris, 302 p.
16. Pliya J. (1976). La pêche continentale et maritime dans le Sud-Ouest de la République du Bénin. Thèse de Doctorat de 3e cycle de Géographie Appliquée. Univ. Paris X - Nanterre. 308 p.
17. Portman J. E., et al. (1989). Etat du milieu marin : Région de l'Afrique de l'ouest et du Centre. PNUE : rapports et études des mers régionales n°108.
18. Rossi G. (1989). - L'érosion du littoral dans le Golfe du Bénin : un exemple de perturbation d'un équilibre morphodynamique. *Z. Geomorph. N. F., Suppl. Bd. 73, Berlin Stuttgart*, 139-165
19. Sallenger R. A., Holman, Birkemeier, W. A. (1985). Storm induced response of a nearshore bar system. *Marine Geology*, 64: 237 - 257.
20. Short A. D. (1999). Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Wiley, USA, 1st edition
21. Sonu C. J., Van Beek, J. L. (1971). Systematic beach changes on the outer banks, North Carolina. *Journal of Geology*, vol. 79, N°4, 416-426.
22. Sunamura T. Horikawa K. (1974). Two-dimensional beach transformation due to waves, Proceedings of 14th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, 920 - 938.
23. Tastet J.-P. (1972).- Quelques considérations sur les classifications des côtes. La morphologie côtière ivoirienne. *Annales de l'Université d'Abidjan - Série (Sciences) - Tome VIII, 2*. 135-162 pp.
24. Wright L. D., Short A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56, 93 - 118