

La cinématique du trait de côte au Togo vue par télédétection

Moving of the Togo shoreline detected by remote sensing

¹BLIVI A. B. et ADJOUSI P.

Abstract : This study on the continuous coastal erosion of Togo, especially in the 25 km coastal drift cell that is not protected by construction works¹, relies on the use of new shoreline measuring techniques. The methods used are basically geomatic. Two Landsat TM imageries of January 1986 and of ETM+ of April 2001 have been acquired and the data treated according to the diachronic method. The results from these analyses have been reinforced by the positioning of the shoreline carried out in 2003 through GPS FX 312. The whole lot has been graded by monthly follow-ups for surveying the sector situated between the port and the village of Afiadégnigba, a distance of 15 km. The graphs show a major retreat of the shoreline which indicates the continuing erosion at an average speed of 6 to 8 m per year. The results of these survey follow-ups proved the intensification of the sedimentary crisis due not only to the progressive blockage towards the east of the sediments transfer in the profile by the beach-rock but, above all, to the draining of the sub-current sands deposits of the continental shelf. The construction of series of short ridges does not reduce the problem. On the other hand, a breakwater added to the beach-rock and/or the covering of the beach by a lot of gabions associated with the beach-rock will be appropriate for the stabilization of the shoreline and the only solution for resolving the problem of erosion.

Key words : Togo - coastal erosion - Remote sensing

Résumé : Cette étude sur la continuité de l'érosion côtière au Togo s'appuie sur l'utilisation de nouvelles techniques de mesure du trait de côte, spécialement dans la cellule de dérive de côte de 25 km non protégée par des ouvrages¹. Les méthodes utilisées sont fondamentalement basées sur la géomatique. Deux images Landsat TM de janvier 1986 et ETM+ d'avril 2001 ont été acquises et les données traitées selon une approche diachronique. Les résultats issus de cette analyse ont été renforcés par le positionnement du trait de côte effectué en 2003 au GPS FX 312. Le tout a été étalonné par un suivi mensuel par arpentage du secteur situé entre le port et le village d'Afiadégnigba, sur une distance de 15 km. Les graphiques montrent un important recul du trait de côte qui marque la poursuite de l'érosion avec une vitesse de 6 à 8 m en moyenne par an. Les résultats des suivis par arpentage prouvent l'accentuation de la crise sédimentaire due non seulement au blocage progressif vers l'est du transfert des sédiments dans le profil par le beach-rock, mais surtout à la vidange des dépôts sableux subactuels du proche plateau continental. La construction d'une batterie d'épis courts n'atténuerait pas le phénomène comme les applications de Kpémé et Aného constituent un bon exemple ; par contre, un brise-lames en appui sur le beach-rock et/ou un revêtement de plage par gabions en continuité topographique avec le beach-rock seraient indiqués pour la stabilisation du trait de côte, seuls recours à ce problème côtier.

Mots-clés : Togo - Erosion côtière - Télédétection

¹Togo's coast, which is 50 km in length, is made up of three segments: the 12 km western segment (between the Togo - Ghana border and the port) is under sedimentation and is stable; the 25 km central segment around the beach-rock is under erosion and the last segment, 13 km, which starts from the phosphate wharf of Kpémé to the Togo - Benin border is protected by breakwaters.

¹La côte du Togo, 50 km de long, comporte trois segments : le segment ouest de 12 km (entre la frontière Togo - Ghana et le port) en sédimentation et en équilibre ; le segment central de 25 km en érosion avec le beach-rock et le dernier, de 13 km, à partir du wharf de phosphates de Kpémé jusqu'à la frontière Togo - Bénin, protégé par des brise-lames.

¹ Centre de Gestion Intégrée du Littoral et de l'Environnement Université de Lomé

¹ Tél. 00 228 221 68 17 ; E-mail. adoblivi@hotmail.com

INTRODUCTION

Les côtes basses et sableuses du golfe du Guinée connaissent un rythme d'évolution rapide, avec des vitesses variables entre 5 et 15 m/an, à cause d'une violente érosion. Cette situation demeure très inquiétante depuis la construction d'ouvrages maritimes dans les années soixante et du fait de l'importance des interventions humaines dans la frange côtière. Ce phénomène génère de sérieux problèmes aux aménagements existants et aux projets de développement en zone côtière. Sur la côte du Togo, le problème d'érosion fait suite à la construction du port de Lomé en 1967 et continue de se poser avec acuité. Des ouvrages en enrochement ont été construits entre 1987 et 1988 protégeant les segments de côte de Kpémé-Gumukopé et d'Aného sur 13 km de long.

Le bilan sédimentaire dans le segment non protégé reste déficitaire d'où la continuité de la cinématique négative du trait de côte. Les incidences des processus hydrodynamiques et sédimentaires sur les infrastructures côtières sont réelles : destruction de la route côtière et des habitats, mutations socioéconomiques, etc. Au-delà de la situation normale, les perspectives d'oscillations du niveau marin, d'après le modèle de BRUNN (1962) et les récents calculs effectués à partir des données marégraphiques de Takoradi au Ghana (BLIVI, 2000), avec pour corollaire le renforcement de l'érosion des plages, ont nécessité la mise en place d'un système de suivi et de contrôle de la côte basé sur les outils géomatiques afin de mieux maîtriser les différents processus en jeu et de développer un système d'information géographique qui permettrait une meilleure prise de décisions pour le développement de la côte. Les travaux menés depuis 2 ans à partir de nouvelles techniques, complétant les données déjà acquises, permettent une synthèse des précisions apportées par l'image satellitaire.

LE PROFIL GEOMORPHOLOGIQUE

La côte du Togo est une façade maritime atlantique de 50 km de long. Elle se situe entre 1°17'-1°74' E et 6°10'-6°25' N (fig .1). Ce paysage géographique se place dans le géosystème du golfe du Bénin constitué d'une série de bassins sédimentaires, post-orogénèse panafricaine, de dimensions et de géométries variables. Les travaux de SLANSKY (1962), JOHNSON (1987), ROSSI (1989), BLIVI (1993) ont permis de disposer d'une connaissance assez précise sur ces bassins dont le plus important est le bassin sédimentaire côtier d'âge Tertiaire. Il est situé entre le delta du Niger et celui de la Volta, couvrant le sud-est du Ghana, entièrement le sud du Togo et du Bénin et le sud-ouest du Nigéria (HOUESSOU et LANG, 1979).

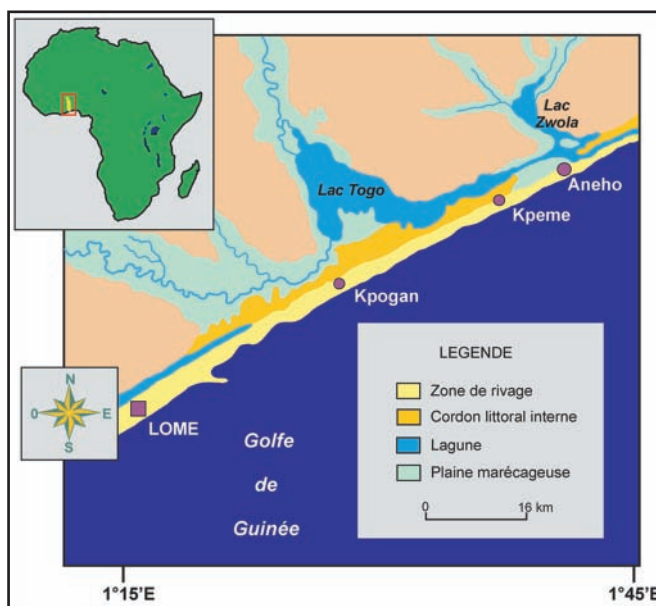


Fig. 1: situation de la zone côtière du Togo

La bande côtière, comprise entre les embouchures de la Volta et du Mono, est un ensemble morphologique peu complexe, une zone de juxtaposition de cordons littoraux dont l'édification répond à certaines conditions hydrodynamiques liées aux changements climatiques et corrélativement aux variations du niveau marin (SALL et DIOP, 1977 ; TASTET, 1981 ; VERSTRAETE, 1989 ; OYEDE, 1991 ; WARRICK, 1996 ; ANTHONY et BLIVI, 1999). Schématiquement, deux cordons principaux se dégagent : le cordon récent, à 5 m au-dessus du niveau marin et le cordon ancien à 7 m (respectivement externe et interne dans la topographie). Entre ces unités morphologiques holocènes s'intercalent un système de lagunes côtières (GUILCHER, 1954 ; BLIVI, 1993 ; ADAM, 1998).

Le cordon interne, orienté d'ouest en est, se situe de part et d'autre du système lagunaire et est constitué d'un faciès de sable jaune. Dans la partie ouest du paysage côtier, il s'adosse contre les formations de la "terre de barre" et est séparé du cordon externe par la lagune de Lomé. Le cordon interne est constitué de sables-argileux, jaune-clair, de taille granulométrique moyenne de 0,315 à 0,6 mm (BLIVI, 1993 ; ADAM, 1998). Dans le secteur compris entre Kélégougan et Gumukopé, le cordon interne ferme les rias du « Lac Togo » et se trouve directement rattaché au cordon externe, en zone côtière . Ce cordon, entièrement sableux, constitue une unité sédimentaire du subactuel à l'actuel. Son édification a été favorisée par des conditions hydrodynamiques dominées par la composante marine. Sa largeur varie suivant les différents segments de côte. Le long de la plage, figurent des assemblages de dalles de roches sédimentaires plus ou moins épaisses sur le bas de l'estran, issus de la cimentation in-situ des sables. Le beach-rock joue un rôle dans la dynamique côtière (GUILCHER, 1961 ; BLIVI, 1998).

Cet ensemble, qui jouit d'un climat subéquatorial à quatre saisons, 2 sèches et 2 humides, est densément occupé par la population, 300 à 500 hbts/km², et couvert d'une végétation de type savanicole.

METHODOLOGIE

L'étude de photo-interprétation a été effectuée à partir de la couverture photographique verticale en couleur au 1/10.000 réalisée par l'I.G.N., Mission TOG BEN 1985 et Mission GHA 1986, entre Cotonou et Accra. Seule, la série couvrant la côte du Togo a été considérée.

Les images satellitaires utilisées sont fournies par Landsat sur support DVD et CD-ROM. Trois scènes 192/056 multispectrales et multidates du satellite d'observation de la terre Landsat, sont exploitées. Il s'agit d'une scène MSS de 1973, d'une scène TM du 13 janvier 1986 et d'une scène TM d'avril 2001 d'une résolution de 30 m, (fig.2). Toutes les scènes ont subi un pré-traitement radiométrique et géométrique. Le géoréférencement a été fait dans le système géodésique mondial, WGS84.

Une compilation d'informations relatives aux paramètres de pré-traitement et des caractéristiques fondamentales des images, nombre de bandes, heure et date de prise de vue, etc., a été faite et sauvee dans un fichier avec extension (.Hdr). Ces données multidates ont autorisé l'analyse diachronique du trait de côte par superposition d'images.

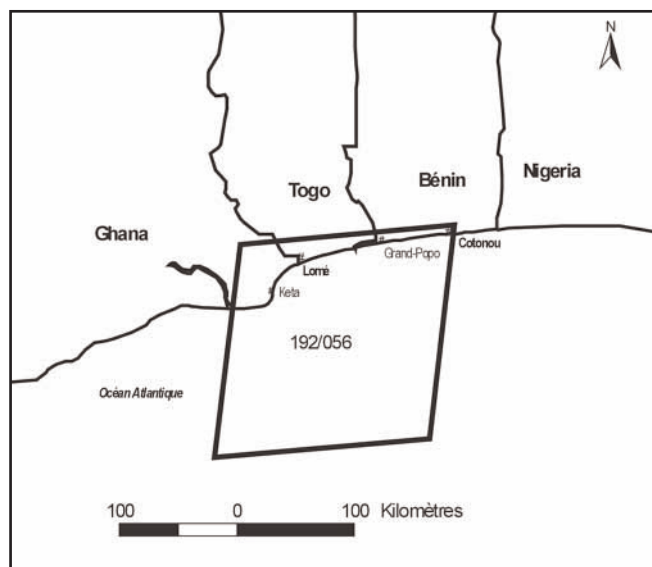


Fig. 2: localisation des scènes Landsat

Les travaux de levés du trait de côte au GPS

L'opération a duré cinq jours. Le matériel utilisé était un récepteur parallèle GPS FX 312 avec une erreur circulaire probable (ECP) de l'ordre 25 m en mode autonome. Les levés ont été faits en mode autonome cinématique avec la technique "Stop&Go". L'opération d'initialisation a été faite en mode statique rapide et les acquisitions ont débuté à la borne frontière (PK0) entre le Ghana et le

Togo pour finir à la passe lagunaire d'Aného (PK48). Les nœuds du trait de côte étaient positionnés en fonction de l'allure du trait. Dans un cas linéaire, les nœuds étaient positionnés tous les 200 m; au cas contraire, ils étaient rapprochés et pris en fonction des courbures du trait. 281 nœuds ont été

acquis en trois dimensions. Le transfert de données du GPS vers l'ordinateur s'est réalisé à l'aide du logiciel PMS, WAYPOINTS, ROUTES, 6.00. Ces points ont été projetés dans le système de référence WGS84 de l'image Landsat. Ce qui d'ailleurs n'a posé aucun problème d'autant plus que le système GPS utilise le même ellipsoïde.

Les travaux de levés du trait de côte par arpentage

Ce travail a été mené entre le village de Katanga et celui d'Afiadégnigba, distant de 12 km, afin de disposer d'une donnée d'étalonnage des résultats issus de l'approche géomatique. Il a servi au contrôle du recul de la côte observé à partir de l'imagerie satellitaire. Pour se faire, un suivi mensuel a été entamé depuis novembre 2003. Les levés sont effectués chaque début de mois à l'aide d'un ruban de 100 m de long. Le principe du levé est illustré par la figure 3.

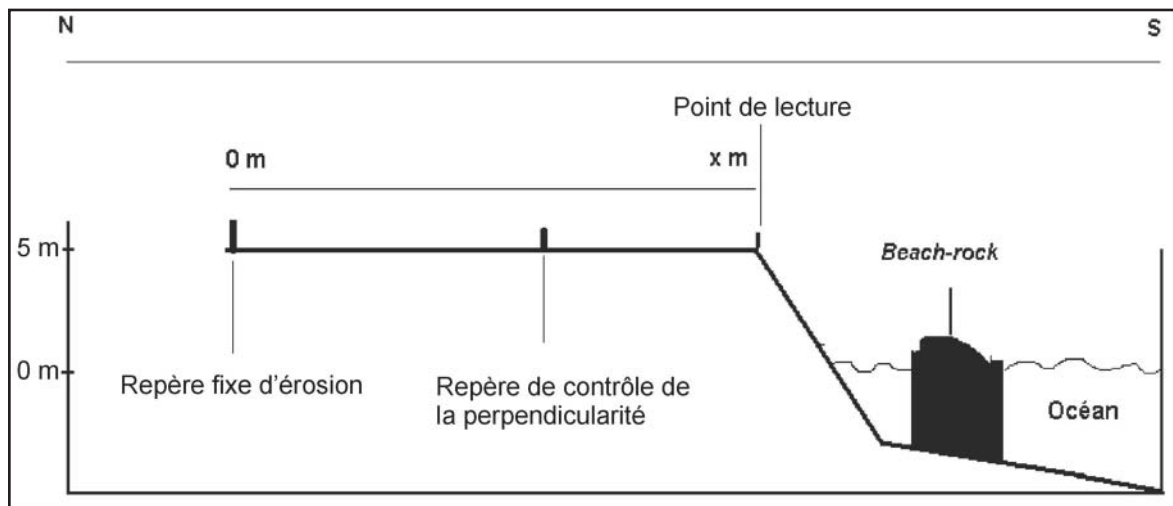


Fig. 3: principe du levé de trait de côte par arpentage

Sur les stations expérimentales sont fixés un ensemble de "repères d'érosion" alignés. La base de mesures est contrôlée par un repère d'érosion fixe situé à distance variable du trait de côte. Il est généralement constitué d'ouvrages bien ancrés dans le sol, qui peuvent être des murs ou angles de maisons, de routes, etc. Chaque point fixe est marqué d'une croix en peinture rouge et est bien contrôlé afin de garantir la fiabilité des mesures. Chaque mesure étant effectuée perpendiculairement au trait de côte, une station de contrôle de perpendicularité est placée entre le repère fixe et le point de lecture. Cette station permet également de maintenir les points de lecture au même emplacement durant toute l'opération. Autrement dit, ce repère de contrôle permet de faire les observations au même point. Quatre stations expérimentales ont été ouvertes à Katanga-Gbétsogbé (PK10,5-12), Baguida (PK13,5), Agodéka (PK18) et Afiadégnigba (PK24). Les données collectées puis analysées indiquent une information sur le recul moyen du trait de côte, estimé à 2-5 m par an.

ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse diachronique des images

Les positionnements du trait de côte sur les images Landsat de 1986 et 2001 ont permis de dégager des résultats très intéressants. On observe un net recul du trait de côte entre la contre jetée du port et le village de Kpémé (PK36). Le secteur entre les villages de Katanga et Gbétsogbé est très sensible à l'érosion. Il en est de même du segment Kpogan-Afiadégnigba. Il s'agit de la zone de départ des sédiments de la cellule, source d'alimentation de la dérive littorale. Dans l'ensemble, tout le secteur est sous forte érosion. A l'ouest de la jetée principale, les images montrent un processus

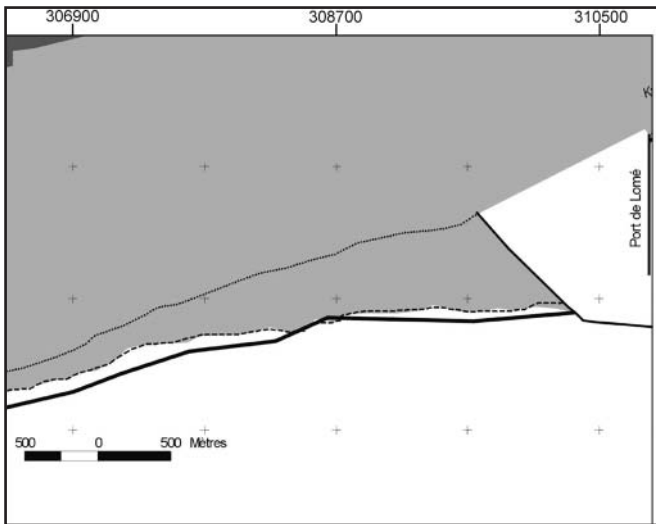


Fig. 4: secteur d'accumulation en progradation de Lomé

inverse marqué par la progradation des dépôts successifs sédimentaires. Ces résultats sont confirmés par le levé au GPS de juin 2003 (fig.4).

Le levé au GPS

L'opération de positionnement du trait de côte par GPS visait à actualiser la cinématique du trait de côte par rapport à la situation référentielle de 1986, mise à jour par l'image de 2001. La méthodologie décrite a permis, au moyen de l'équipement GPS FX 312, l'acquisition de données sur la position du trait de côte au Togo en juin 2003. 281 points ont été acquis par la méthode de positionnement autonome en mode cinématique, "Stop&Go". Ils ont été projetés sur carte pour lecture et interprétation (fig.5a et 5b).

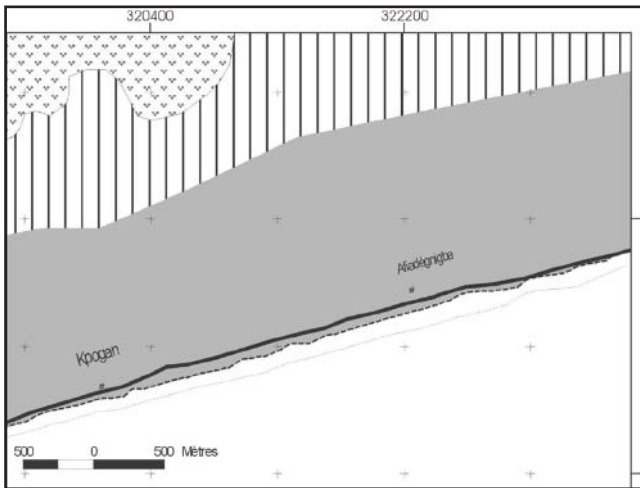


Fig. 5a: positionnement du trait de côte au GPS en juin 2003 exemple du secteur de Kpogan

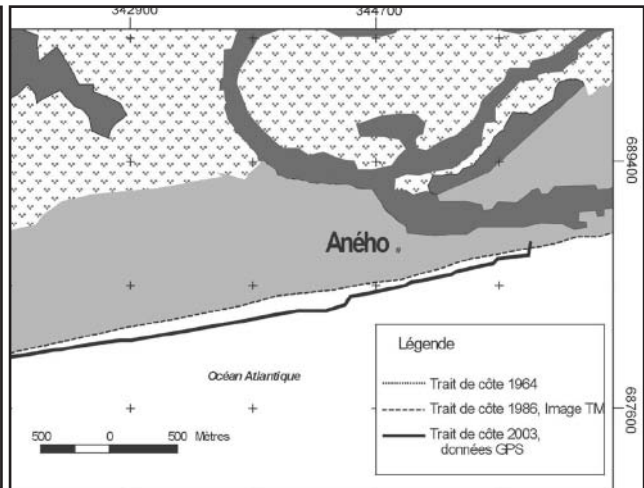


Fig. 5b: positionnement du trait de côte au GPS en juin 2003 exemple du secteur d'Aného

Les résultats de l'interprétation des images rendent compte de l'évolution polychronologique du rivage dans le segment terminal de la cellule de dérive côtière de Kéta, allant du PK0 à la jetée principale du port de Lomé (PK10). La cellule, entre le port et Aného (PK48), est toujours marquée par un recul du trait de côte ; dans certains sites, la vitesse est très impressionnante, 12m/an à Agbodrafo (PK35) en 2000. Ainsi, les reculs sont variables autour d'une moyenne. Dans le segment suivi, le recul est très important entre Katanga et Afiadégnigba atteignant 120 m (fig.5a). Le bon fonctionnement des ouvrages de protection à Kpémé-Gumukopé, et Aného est attesté par "l'engraissement" de ces secteurs (fig.5b).

Le positionnement du trait de côte de 2003 par rapport au système imager de 2001 montre la poursuite de l'érosion. En fait, l'image d'avril 2001, d'un écart temporel de 2 ans par rapport à l'opération GPS de juin 2003, confirme la situation. Des écarts significatifs -2 à -5 m observés en 2 ans dans les localités de Doévi, Afiadégnigba, Adisséou, Agbodrafo, traduisent l'importance du recul. Ces résultats issus d'approches géomatiques ont été étalonnés par un suivi par arpentage.

L'étalonnage par arpentage

L'arpentage a été entamé en novembre 2003 et a porté sur 3 segments : Katanga-Gbétsoché, Afiadégnigba et Baguida, soit une longueur de côte de 15 km. Sur le premier segment, 70 points fixes ont été installés à une distance variable, de 4,4 m à 72 m, du trait de côte.

Le premier segment connaît un fort recul. En 15 mois d'observation, ce segment de côte de la contre-jetée au village de Gbétsoché a reculé en moyenne de 3 m. Ce taux masque l'inégalité des amplitudes et la complexité des mouvements verticaux de plage par secteur. La figure 6 indique la vitesse de recul par stations d'observation.

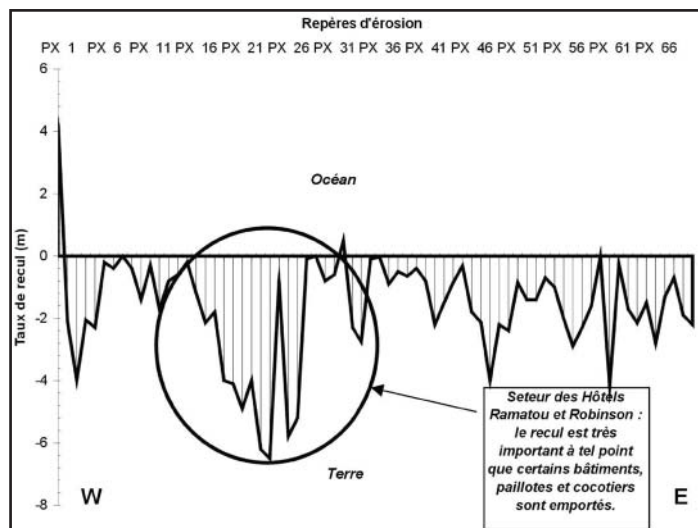


Fig. 6: évolution du trait de côte sur le segment de Katanga - Gbétsoché

Les pics de recul s'observent en divers points. Les stations 2 à 5 situées dans le village de Katanga indiquent un recul de 2,05 à 4 m/an. La zone d'extension de ce retrait comparée à celle enregistrée dans le secteur de l'hôtel Robinson est moindre. L'érosion a sérieusement entamé cette cellule située entre les stations 19 à 27 avec des taux variables entre 1 et 6 m/an. A cette vitesse, l'hôtel (bâtiment principal) disparaîtra en 2010 si aucune structure de protection n'est mise en place. En 2007, probablement la paillole (à 12 m du rivage) sera sapée par les vagues. Déjà une bonne partie des équipements est emportée par la mer.



Fig. 7: situation de plage due à l'érosion côtière en novembre 2003 à l'hôtel Ramatou

La cellule du Beach Hôtel connaît un recul assez faible. Toutes les stations ont un taux de recul inférieur à 1 m/an sauf la station 34 qui présente un pic à 2 m/an. La cellule de l'Hôtel Ramatou, station 35 à 49, ne présente que 5 stations ayant des reculs supérieurs à 1 m/an, les 9 autres stations ont des taux inférieurs ou égaux à 1 m/an. La concentration en un seul endroit des 5 stations à recul important traduit l'existence d'un troisième pic d'érosion. Le quatrième se situe dans le village de Gbétsogbé entre les stations 55 et 60. Le site de passage du gazoduc (West African Gaz Pipeline)² connaît également un recul significatif. Les vestiges d'habitations constitués de hangars abandonnés qui servaient de repères sont à moitié détruites et disparaîtront d'après les estimations déduites de la vitesse d'érosion actuelle.

La tendance générale du segment marque un déficit sédimentaire ; toutefois, les observations de la première station, montrant un léger équilibre de plage, voire une avancée, s'explique par le dépotoir de déchets et d'ordures ménagères qui constitue un point dur, passager, dans le profil de plage. L'érosion est bien mise en évidence sur le segment par les images et l'interprétation photographique.

Le cumul évolutif annuel masque de nombreuses disparités mensuelles. En effet, considérés à l'échelle mensuelle, les taux de reculs ne sont pas les mêmes. A un mois très érosif, succède un mois d'accumulation. Il résulte que les conditions hydrodynamiques sont très variables au cours de l'année, animées par de vents forts. Les périodes de recharge de la dérive littorale par mobilisation importante de sédiments disponibles sur la plage correspondent aux fortes énergies des vagues (fig.8).

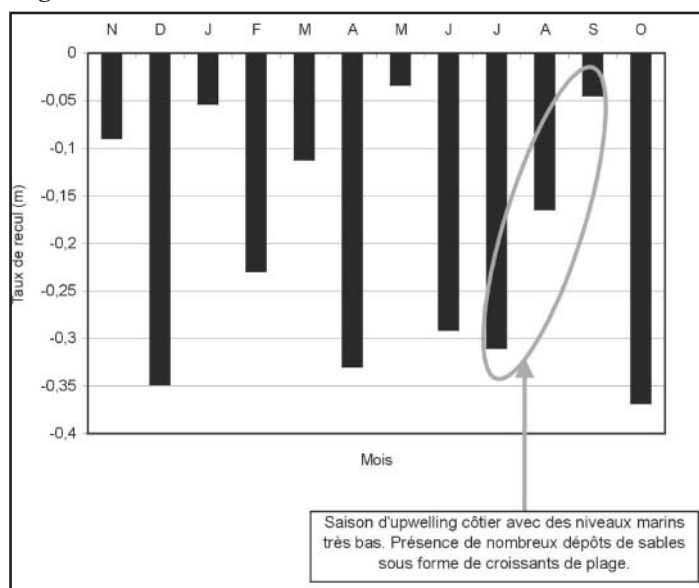


Fig. 8: évolution mensuelle des taux de recul sur le segment de côte entre Katanga et Gbétsogbé

Ainsi, les mois d'octobre, décembre, février, avril, juin, juillet, ont enregistré les plus forts taux de recul au cours de la période de suivi. Les autres mois enregistrent de faibles taux indiquant une courbe de mobilisation décroissante des sédiments à la dérive littorale ; les faibles capacités sont enregistrées en janvier, mai et septembre. C'est au cours de ces mois que le niveau marin est bas et des dépôts importants sont observés sur tout le segment avec un volume important au mois de mai aussitôt emporté en juin. Ces mouvements verticaux du flux sédimentaire sont également liés à l'importance des dépôts sur la plage sous-marine. En principe, à une plage aérienne en érosion correspond une plage sous-marine en accumulation et vice-versa. D'après BRUNN

(1962), ces échanges s'arrêtent à la profondeur de fermeture dont l'importance est variable en fonction des types de plages et de la pente du plateau continental.

L'érosion sur le premier segment de côte n'est pas linéaire. Elle varie en fonction des stations et des mois. Cet état est dû à la présence de points de sensibilité différente liée à plusieurs facteurs. Mais le principal facteur expliquant la sectorisation de l'érosion est le beach-rock. En fait cette unité morphologique, datée de l'Holocène, joue un rôle de brise-lames naturel protégeant la côte en

² Le Projet du Gazoduc de l'Afrique de l'Ouest concerne le Bénin, le Togo, le Ghana à partir du gaz naturel du Nigeria. Ce gaz devrait alimenter la Centrale thermique de Lomé, située à 800 m du trait de côte. Le gazoduc passera par fond marin puis dans le cordon externe. La zone de passage du Gazoduc sur la côte au Togo est sous une forte érosion et nécessite une stabilisation afin de protéger les infrastructures à but économique important.

dissipant l'énergie des vagues violentes. Les observations de terrain permettent d'établir une relation entre les pics d'érosion et les zones de beach-rock à faible altitude. En fait, en observant les pics d'érosion du premier segment, on remarque que ces pics se situent dans la continuité topographique d'une zone d'affaissement du beach-rock. L'érosion marine des dalles du beach-rock, parsemé de diaclases et de cavités de géométrie variable, par processus d'éboulement des fragments en porte-à-faux, occasionne à certains endroits l'abaissement de la cote. C'est par ces points de faiblesse que se concentre le plus souvent l'énergie des houles peu dissipées qui viennent saper la plage.

Le segment de Gbétsogbé à Baguida a subi une évolution similaire. Mais les taux de recul ont été les plus importants dans le secteur d'Afiadégnigba. Le suivi de ce secteur à recul très critique a été fait pendant 15 mois. La proximité de la route internationale qui se situe à 150-200 m du trait de côte a augmenté l'intérêt. Des 32 repères d'érosion observés et suivis dans ce secteur considéré comme l'un des pics actuels de l'érosion, il ressort que les taux de recul varient énormément d'une station à l'autre et se situent au-delà de 1 m/an sauf aux stations 18, 23, 25, 27, et 31 où des taux compris entre -0,3 m et -0,65 m/an ont été enregistrés. Le maximum d'érosion a été observé à la station 3 avec un recul de 8 m/an. Le recul à Kpogan-Afiadégnigba paraît plus important qu'à Katanga-Gbétsogbé (fig.9).

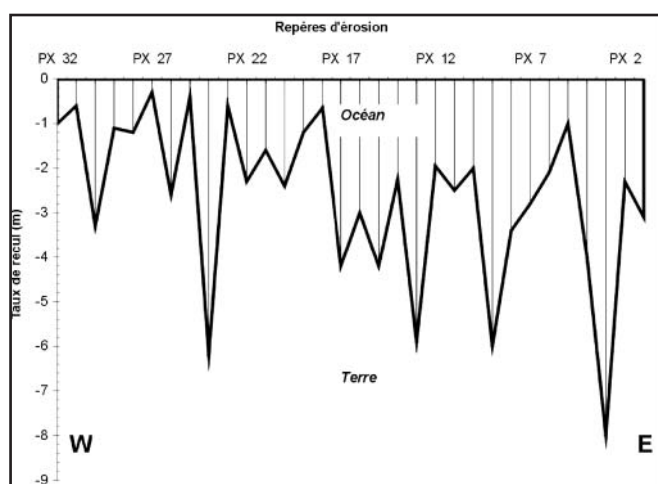


Fig. 9: évolution du trait de côte sur le segment Kpogan - Afiadégnigba

On y observe respectivement des taux de recul annuel moyens de l'ordre de 4 à 5 m/an et 3 à 4 m/an. Cette nuance serait due à la différence des cotes d'arase du beach-rock dans ces deux secteurs.

A Afiadégnigba, par exemple, la cote du beach-rock n'est pas aussi importante qu'à Katanga (+1m au-dessus du niveau moyen de la mer), qui malgré sa grande ouverture aux houles SW d'énergies élevées diffractant à partir de la pointe de la jetée du port de Lomé, bénéficie de la protection naturelle partielle du beach-rock. Hormis l'effet des faibles valeurs des cotes d'arase du beach-rock sur l'évolution du secteur de Kpogan, l'extraction artisanale de sable et de gravier de plage constitue également un

argument explicatif de la vitesse du recul de la côte. Signature anthropique, cette activité, marque de certaines mutations socioéconomiques, y est très développée. Des tas importants de sable et de gravier (non estimé), ramassés sur l'estran, sont déposés sur le haut de plage en attendant leur chargement. Il est certes évident que l'extraction de sable, se substituant à l'activité de pêche, bien que faisant vivre les couches féminines les plus démunies, cause de nombreux dégâts à l'environnement. D'après les prévisions, sur base de la vitesse d'érosion dans le secteur, la portion de route Lomé-Aného, entre Kpogan et Afiadégnigba, serait menacée en 2020-2025.

A travers ces exemples de suivi effectués par télédétection confirmés par l'arpentage, il est très important de relever les facteurs explicatifs nouveaux qui s'attachent à la cause mère qu'est l'effet de la jetée principale du port de Lomé sur le flux sédimentaire de dérive littorale. Le beach-rock, bloquant par secteurs les échanges dans le profil, favorisant par secteurs l'érosion de la plage à cause de sa cote d'arase assez basse ou de la segmentation structurale, joue un rôle dans le mécanisme hydrosédimentaire aboutissant à un ralentissement ou à une accélération des effets sur la plage. La forte capacité des échanges observés dans les profils de plages aérienne et sous-marine intègre également les facteurs explicatifs de l'importance de l'érosion sur la côte observée. Un autre argument pertinent de ce déficit sédimentaire général est la vidange des dépôts accumulés sur le proche plateau continental ; ceci est attesté par le profil bathymétrique profond, concave aux

abords du beach-rock, permettant de puissantes vagues d'énergies élevées près de la côte. Les plongées effectuées par le SHOM³ sur le proche plateau continental montrent les affleurements de beach-rock recouverts par les dépôts subactuels. Les concentrations de houles qui entraînent des érosions ponctuelles, notamment entre Kpémé et Agbodrafo (PK35 et PK36), s'expliquent par un processus de remaniement et de décapage des sédiments de couverture des vallées sous-marines.

Au regard de cette dynamique marquée par une reprise des actions hydrodynamiques sur le proche plateau continental, un système d'information géographique est en cours de développement afin de faire des simulations de l'évolution future du trait de côte et de maîtriser quantitativement et qualitativement les superficies et les classes d'occupation des sols les plus menacées.

LES ORIENTATIONS DE GESTION

Face aux dégâts causés par l'érosion et les mutations socioéconomiques consécutives observés sur la côte du Togo (ROSSI, 1989 ; BLIVI, 1993, 2000) et les tendances actuelles, les orientations de gestion du phénomène se placent dans la vision des travaux déjà réalisés pour la protection de côte à Kpémé-Gumukopé et à Aného. L'installation d'un revêtement de haut de plage et une batterie de brise-lames courts en association avec le beach-rock atténuerait l'érosion.

Le revêtement de protection de Katanga

Dans le secteur de Katanga, la proposition porte sur le prolongement du brise-lames en enrochement installé depuis 1989 à partir de la contre-jetée du port de Lomé. Ce mur protégera le linéaire de côte entre Katanga et Robinson stabilisant le rivage dans sa position à la date d'installation de l'ouvrage. La figure 10 indique la structure de l'ouvrage préconisé. Des gravillons seront recouverts de roches moyennes, les deux niveaux ainsi constitués seront à leur tour chargés de gros blocs de gneiss. L'ouvrage s'étendra du mur existant à l'ouest du village de Katanga jusqu'à la limite est du domaine de Robinson, soit 500 m. Cet aménagement permettra de créer un plan d'eau calme entre la côte stabilisée et le beach-rock.

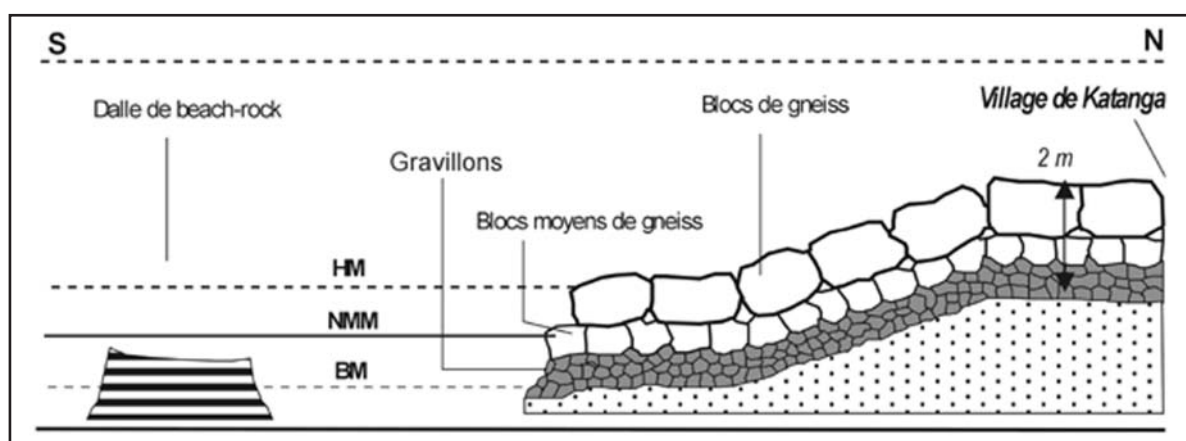


Fig. 10: vue en section de la structure du mur de protection pour Katanga - Robinson

Protection par épis : un choix inadapté

L'expérience d'épis réussie dans le segment Kpémé-Aného en 1988 peut sembler être une mesure de protection dans ce cas de côte en érosion. Mais pour le secteur Katanga-Gbétsogbé, partie amont de la cellule de dérive de côte, on a une zone de départ de sédiments ; dans ce cas, tout

³ Service hydrographique et océanographique de la marine française ; mission Laplace 2002 et 2004 sur la sécurité de navigation maritime et contrôle des fonds marins aux abords des infrastructures.

ouvrage installé sera confronté au processus de sapement des sables à sa base. Il se produira la déstabilisation de la structure ; d'où l'échec du plan d'aménagement et de protection de la côte : les épis ne fonctionneront jamais dans ce secteur (fig.11). Plusieurs actions de ce genre ont été menées dans la crique de Cotonou (fig.12) avec des échecs répétés (BLIVI, 1995). Dans ce même système de côte à Lagos, le remblayage régulier par sable issu de pompage en haute mer stabilise de façon précaire la plage de "Bar beach". La cadence de la fourniture était, jusqu'en 1998, de 2 ans. En 2002, les travaux de remblaiement ont fait progresser la plage de 10 à 15 m avec un volume de sables de 2000 m³, pour un coût de 1 million de dollars (2 milliards de Naïra).

Protection par brise-lames en association avec le beach-rock

Le type de protection adapté au linéaire de côte avec beach-rock affleurant est le brise-lames court (50 mètres de long) en série (fig.13) ; un mur de géométrie variable en enrochement de calibre très important surajouté au beach-rock ou en appui sur le beach-rock selon la configuration du site

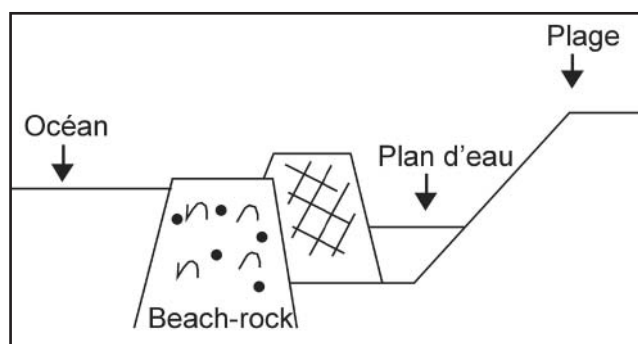


Fig. 13: protection par association de brise-lames et beach-rock

choisi pour la construction. Tout le secteur Katanga-Gbétsogbé, qui dispose en arrière plan du domaine de la zone franche industrielle et le secteur Kpogan-Afiadégnigba, PK 20 au PK 24, devraient être protégés de la sorte pour sauvegarder les villages de Kpogan, d'Agbavi et la route internationale côtière Lomé-Cotonou qui n'est qu'à 150-200 m du trait de côte en 2004.

Le dimensionnement d'un tel ouvrage en vue d'installer un beach-club à 100 m du trait de côte de 2004, entre PK16 et PK18, est en relation avec le financement des opérations. Il est proposé un ouvrage de 150 m ou trois ouvrages de 50 m espacés de 20 m en face du beach-club, avec des géométries variables : A1, la largeur du toit, A2, la hauteur et A3, la base de l'ouvrage (fig.14). L'ouvrage de 600 m³ a été évalué à 21 000 000 Fcfa (32 000 Euros) en 2004.

Protection par revêtement en gabions avec le beach-rock

Une autre forme de protection adaptée est le revêtement par gabions (le matériel fabriqué en cage, rempli de blocs de roche) ; ceux-ci sont disposés en escalier, bien géométrisés, recouvrant le profil de plage établi pour la construction de l'ouvrage (différent du profil initial, beaucoup plus abrupt). Ce type de structure sur plage s'appuie sur le beach-rock en discordance ; ce qui donne la puissance de résistance à l'ouvrage dont le front en escaliers dissipe et écrase l'énergie des vagues (fig.15). Les escaliers servent en même temps de siège pour les visiteurs de plage.

Ces options de protection partielle permettront de sauver le domaine industriel du Port Autonome de Lomé, les sites hôteliers et touristiques et autres infrastructures dont la route côtière sérieusement menacée au PK 24.

CONCLUSION

L'analyse diachronique par télédétection de l'évolution de la côte du Togo depuis 1986, corroborée par les résultats des suivis par arpentage, démontre la perturbation accrue de l'équilibre dynamique de cette portion de côte du golfe du Bénin. Ce résultat marque la poursuite de l'érosion dans le segment de côte non protégée sur 25 km. Les prévisions avaient soutenu, avec l'exhumation du beach-rock, qu'un équilibre dynamique devrait être obtenu à long terme (ROSSI, 1988). Les données sur la géométrie de la structure sédimentaire et surtout sur sa résistance à l'écrasement obtenue à partir des carottes prélevées au PK18 (Tropicana) démontraient que le beach-rock ne serait pas dégradé



Fig. 11: Schématisation du système de protection inadapté pour le secteur de Katanga - Gbetsogbé

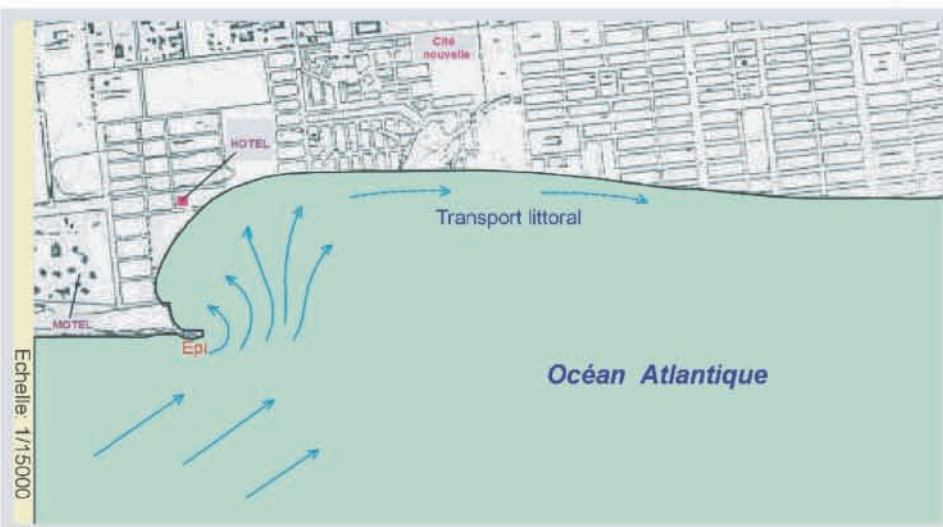


Fig. 12: Diffraction des vagues autour de l'épi; érosion sur 4/5 km

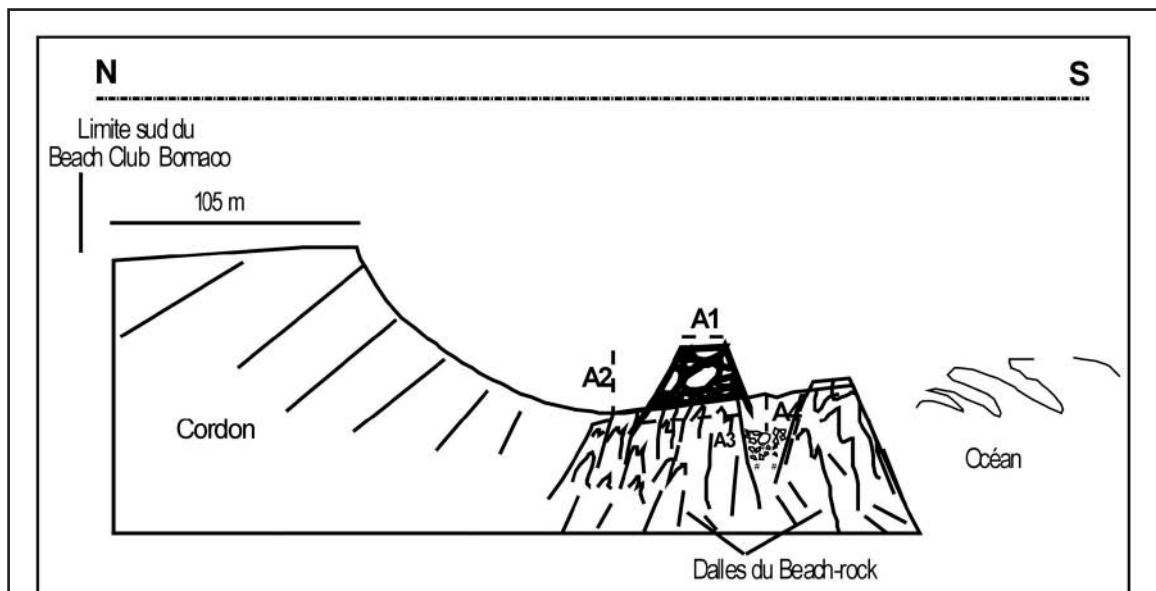


Fig. 14: schéma transversal de plage par brise-lames surajouté au beach-rock

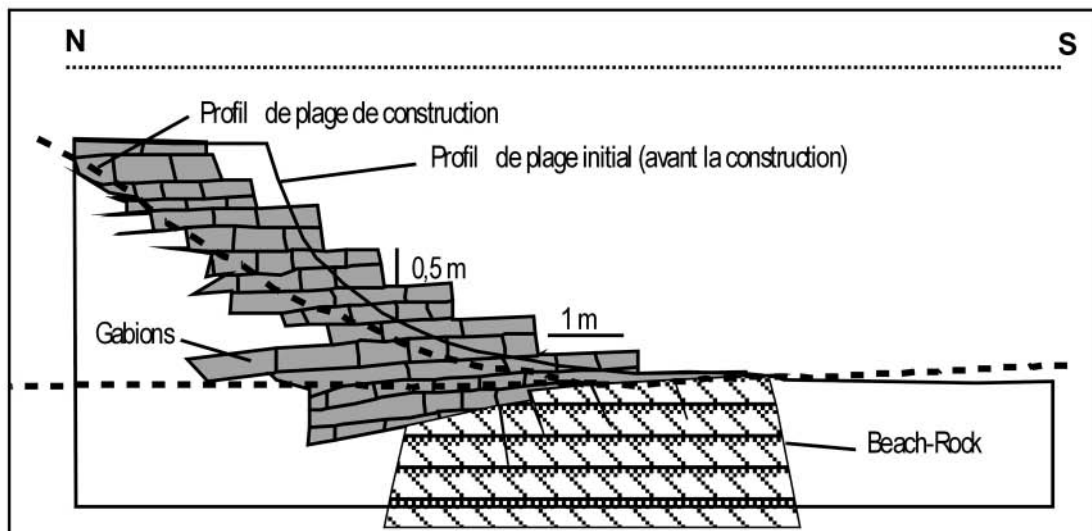


Fig. 15: schéma transversal de plage: protection par gabions

par érosion mécanique, dissipant continuellement l'énergie des vagues de la côte ; d'où un état de plage assez stable. Dans le temps et suite aux pressions mécaniques répétées des vagues, le beach-rock s'est fragmenté en grands segments, constituant des couloirs de train de vagues vers la plage. Le beach-rock continue de se briser ; l'érosion se poursuit emportant les installations humaines. La série d'orientations de gestion proposée permettrait de stabiliser et de protéger les secteurs socio-économiques par l'utilisation conjointe des techniques, entre autres épis, brise-lames courts et gabions associés au beach-rock ; ce qui favoriserait le piégeage des sédiments dans le profil et en transit par courants de chasse générés lors de marées hautes et de tempêtes. Cette démarche de suivi montre également la nécessité de développer un système d'information géographique très applicatif sur la cinématique du trait de côte, pour mieux maîtriser les prévisions du recul de ce dernier. Elle s'inscrit dans le plan d'aménagement littoral sur base de la définition des risques et des niveaux de vulnérabilité.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM, K. S., 1998. L'évolution géomorphologique de la plaine côtière dans le golfe du Bénin. In: Nearshore dynamics and sedimentology of the gulf of Guinea ; 143-150.
- ADJOUSSE, P., 2001. Impact du prélèvement du sable marin sur l'évolution du trait de côte à Yoff : essai d'étude de vulnérabilité, presqu'île du Cap Vert, (Sénégal). Mémoire de DEA, Univ. Cheikh Anta Diop de Dakar, 71 p, 14 fig., 11 tableaux + Annexes.
- ANTHONY, E. J., BLIVI, A., 1999. Morphosedimentary evolution of a delta-sourced, drift-aligned sand barrier-lagoon complex, western Bight of Benin. *Marine Geology* 158: 161-176.
- AFFATON, P., 1987. Le bassin des Volta (Afrique de l'ouest, une marge passive d'âge protérozoïque supérieur tectonisée au Panafricain ; 600 +/- 50 Ma). Thèse de Doctorat ès Sciences en Géologie, Fac. Sci. Tech. St Jérôme Vol. 1 et 2. Marseille, 470 p.
- BONN, F., CHARBONNEAU L., BROCHU R., 1989. Analyse de l'utilisation du sol à partir des données SPOT et TM : aspects méthodologiques . *Téledétection en Francophonie*, AUPELF-UREF : 83-92.
- BLIVI, A., 1993. Géomorphologie et dynamique actuelle du littoral du Golfe du Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne, Bordeaux, 458 p.
- BLIVI, A., 1995. Projet pilote de contrôle de l'érosion côtière au Bénin. Rapport final, 47 pages avec annexes (PNUE/OUA)
- BLIVI, A., 1995. Le delta de la volta, de l'holocène à l'actuel. *Ann. Univ. Bénin*, Sér. Lett., T. XV: 109-125.
- BLIVI, A., 1998. Quelques aspects du beach-rock dans le golfe du Bénin : le cas du Togo. *Rev. CAMES - Série B*, vol.10 : 43-56.
- BLIVI, A., 2000. - Vulnérabilité de la côte togolaise à l'élévation du niveau marin : une analyse de prévision et d'impact. Collection "Patrimoines n°11", 2 : 643-660.
- BLIVI, A., 2001. Impact de l'érosion côtière et éléments d'étude de vulnérabilité : exemple du Togo (Golfe de Guinée). *Revue de l'Université de Moncton*, 32, 1-2 : 289-308.
- GUILCHER, A., 1954. Dynamique et morphologie des côtes basses sableuses de l'Afrique Atlantique. *Cahiers d'Info. Géog.* 1 : 57-68.
- GUILCHER, A., 1961. Le beach-rock ou grès de plage. *Ann. de Géog.*, 378, LXX année : 115-125.
- JOHNSON, C., 1987. Le bassin sédimentaire à phosphates du Togo (Maastrichtien-Eocène moyen). Université de Bourgogne et Université de Lomé, Thèse de Doctorat, 360p.
- HOUESOU, A., LANG, J., 1979. La "Terre de Barre" dans le Bénin méridional (Afrique Occidentale). *Bull. Ass. Sénégal. pour l'Etude du Quaternaire Africain*, 56-57, 49-59.
- OYEDE, 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). Université de Bourgogne-Université nationale du Bénin, 302p. (Thèse de Doctorat-Géol. Marine).
- ROSSI, G., 1988. Un exemple d'utilisation d'une défense naturelle contre l'érosion littorale ; le grès de plage. *Revue de géomorphologie dynamique*, XXXVIIè, 1 : 1-10.
- ROSSI, G., 1989. L'érosion du littoral dans le Golfe du Bénin : un exemple de perturbation d'un équilibre morphodynamique. *Z. Géomorph.* N. F. Suppl-Bd. 73: 139-165.
- SALL, M., DIOP, E. S., 1977. Géomorphologie et évolution des lignes de rivage holocène dans les îles du Saloum. *Bull. ASEQUA*, 50: 51-58.
- SLANSKY, M., 1962. Contribution à l'étude géologique du bassin sédimentaire côtier du Dahomey et du Togo. *Bull. des Recherches Géologiques et Minières*, 11, 170p.
- TASTET, J.P., 1981. Morphologie des littoraux sédimentaires liées aux variations du niveau de la mer : exemple du golfe de Guinée. *Océanis*, 7, 4: 455-472.
- VERSTRAETE, J. M., 1989. Le niveau de la mer le long des côtes de l'Afrique de l'Ouest. Série doc. COMARAF, UNESCO, 4 : 5-43.
- WARRICK, R. A. et al., 1996. Changes in sea level. In Houghton et al. Eds. "Climate change 1995. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the IPCC". Cambridge University Press, Cambridge, 358-405.