



Numéro spécial

Evolution récente du trait de côte dans le golfe du Bénin. Exemples du Togo et du Bénin.

Recent evolution of the coastline in the Bight of Benin. Example of Togo and Benin

Pierre OZER^{1,2}, Yvon-Carmen HOUNTONDI³ & Florence DE LONGUEVILLE⁴

Abstract: The land-sea interface is an extremely fragile environment. On a global scale, coastlines are threatened by a multitude of factors sometimes natural and mostly anthropogenic. Thus, in addition to the disruptions to coastal areas by port facilities, dams, sediment sampling on the beach or urban sprawl, there are the consequences of climate change, including rising sea levels. The objective of this study is to assess recent trends (between 2000 and 2015) of the coastline in Togo and Benin where more localized studies show that sandy beaches are experiencing major changes (accretion or erosion) in recent decades. Coastal dynamics are analyzed using very high spatial resolution images available in open access on *Google Earth*; the coast is studied by section of 1 km on a coastline of 170 km by calculating the average change in meter per year since 2000. Analysis of coastal Togo and Benin shows that only 34% of the coastlines (most of the time protected) are stable and that accretion is recorded only upstream of harbor infrastructures (14%). Elsewhere, coastlines undergo erosive processes (52%), sometimes exceeding annual average retreats of 10 meters per year. In such conditions, villages have disappeared during the past decade and a large number of people have been displaced.

Keywords: Shoreline erosion, *Google Earth*, Gulf of Guinea, Togo, Benin.

Résumé : L'interface terre-mer est un environnement extrêmement fragile. De par le monde, les littoraux sont menacés par la combinaison d'une multitude de facteurs parfois naturels et le plus souvent anthropiques. Ainsi, aux perturbations locales occasionnées aux zones côtières par les infrastructures portuaires, les barrages, les prélèvements de sédiments à même la plage ou encore l'extension urbaine, s'ajoutent les conséquences globales des changements climatiques, dont l'élévation certaine du niveau des océans et l'amplification probable de conditions météo-marines dévastatrices. Cet article évalue la récente évolution du trait de côte au Togo et au Bénin où plusieurs études localisées démontrent que les plages sableuses connaissent des modifications (accumulation ou érosion) majeures ces dernières décennies. Dans le but d'avoir une vision globale de la dynamique côtière sur les 170 kilomètres de plages de ces deux pays d'Afrique de l'Ouest, des images satellitaires à haute définition spatiale disponibles en *open access* sur *Google Earth* sont utilisées de manière diachronique. Dans cette étude exploratoire, nous analysons l'évolution du trait de côte par section de 1 kilomètre de façon annuelle entre 2000 et 2015. Globalement, il appert que si certaines sections connaissent une accumulation (14%), c'est exclusivement dû au fait que celles-ci se trouvent en amont d'un obstacle majeur, comme la jetée d'un port. Les sections relativement stables (34%) sont essentiellement liées à la présence d'ouvrages de maintien du trait de côte par des techniques dures qui sont tantôt transversaux (épis), tantôt longitudinaux (enrochements), ou encore des brise-lames. Partout ailleurs (52%), les littoraux subissent un processus érosif pouvant être impressionnant avec des reculs moyens pouvant dépasser les 10 mètres par an. Dans ces conditions, de nombreux villages côtiers ont disparu au cours de la dernière décennie engendrant le déplacement forcé de nombreuses personnes.

Mots clés : Erosion littorale, *Google Earth*, Golfe de Guinée, Togo, Bénin.

¹ The Hugo Observatory, Université de Liège, Liège, Belgique

² Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Arlon, Belgique

³ Université de Parakou, Parakou, Bénin

⁴ Département de Géographie, Université de Namur, Namur, Belgique

INTRODUCTION

L'interface terre-mer est un environnement extrêmement fragile. A l'échelle globale, BIRD (1985) estimait déjà – il y a plus de trois décennies – que de l'ordre de 70% des côtes sableuses étaient soumises à des processus érosifs. Ce processus devrait s'amplifier dans les décennies à venir en réponse à l'élévation du niveau des océans des suites du réchauffement climatique (IPCC, 2014).

Les littoraux attirant une fraction de plus en plus significative de la population mondiale (NEUMANN *et al.*, 2015 ; GÜNERALP *et al.*, 2015), les conséquences multiples de l'élévation du niveau des océans et de l'érosion côtière auront un coût humain (santé publique, migrations, etc.) et économique (pêche, tourisme, industries, inondations, intrusion d'eau saline, etc.) considérable (MCGRANAHAN *et al.*, 2007 ; BLACK *et al.*, 2011 ; GEMENNE, 2011 ; HINKEL *et al.*, 2014) nécessitant de très lourds efforts de planification territoriale, souvent difficiles à mettre en œuvre (NICHOLLS, 2011). Aux conséquences globales du changement climatique, des perturbations anthropiques locales et/ou régionales occasionnées par les infrastructures portuaires, les barrages, les prélèvements de sédiments dans les cours d'eau et à même la plage, la disparition des mangroves ou encore l'extension urbaine amplifient – voire créent – les processus érosifs (PONTEE, 2013 ; ANTHONY *et al.*, 2014). Dans ce contexte, cet article analyse l'évolution récente (2000-2015) du trait de côte sur le littoral du Togo et du Bénin, dans le golfe du Bénin.

CONTEXTE

Les littoraux du Togo et du Bénin se trouvent au centre d'un géosystème continu et uniforme de cordons dunaires et de lagunes dans le golfe du Bénin (golfe de Guinée, Afrique de l'Ouest, Fig. 1) qui s'étend – d'ouest en est – du delta du fleuve Volta, au Ghana, à la façade occidentale du delta du fleuve Niger, au Nigeria (BLIVI, 1993). Jusqu'il y a peu, les plages sableuses du Togo et du Bénin étaient principalement alimentées par les apports sédimentaires des fleuves Volta et Mono redistribués ensuite au travers d'une puissante dérive littorale ouest-est (ROSSI, 1989). Depuis 6.000 B.P., le trait de côte a connu une certaine progradation suivie d'une relative stabilisation (BLIVI *et al.*, 2002). A partir des années 1960, l'équilibre de ce géosystème côtier a été totalement bouleversé suite à des actions anthropiques.



Figure 1 : Zone d'étude (en vert) et localisation des principaux barrages, embouchures et ports.

Les apports sédimentaires fluviaux ont été considérablement réduits suite à la construction de barrages sur les deux principaux fleuves alimentant les côtes du Togo et du Bénin. BOATENG *et al.* (2012) estiment que, suite à l'érection du barrage d'Akosombo – le plus grand lac artificiel au monde – sur le fleuve Volta en 1964 à 60 km de l'embouchure, les apports solides sont progressivement passés de $71 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$ à $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$. Il en a résulté une très importante érosion côtière à l'embouchure qui a impacté le delta du fleuve Volta, et par voie de conséquence, la côte est vers le

Togo où une érosion moyenne de $5,5 \text{ m.an}^{-1}$ a été mesurée entre 1895 et 2002 (BOATENG, 2012) et de 10 à 12 m.an^{-1} après la construction du barrage d'Akosombo (ROSSI, 1991b). Le barrage de Nangbeto, inauguré en 1987 à 180 km de l'embouchure (ROSSI, 1996), a lui modifié le régime hydrologique dans le bassin inférieur du fleuve Mono (AGO *et al.*, 2005). Les apports de sable du fleuve Mono, estimés à $100.000 \text{ m}^3.\text{an}^{-1}$ avant la mise en service du barrage, décroissent progressivement et deviendront nuls (c'est-à-dire avec un apport sableux inefficace pour la dynamique côtière) d'ici 2037 (BLIVI, 2000).

La construction des ports en eau profonde de Lomé et de Cotonou a fortement perturbé le transit sédimentaire littoral. Très rapidement après la réalisation du port de Lomé entre 1964 et 1966 (HAYES, 1985), un engraissement a été observé en amont du port (à l'ouest) : celui-ci correspondait à 100 m.an^{-1} entre 1964 et 1967, 70 m.an^{-1} entre 1967 et 1972, 50 m.an^{-1} entre 1972 et 1980, et 20 m.an^{-1} entre 1980 et 1985 (ROSSI, 1989). A l'aval (à l'est) du port, une érosion régulière a par contre été enregistrée avec un recul annuel moyen de 8 mètres dans les premiers kilomètres (HAYES, 1985 ; ROSSI, 1989). En 1985, l'ensemble du littoral togolais situé à l'est du port présentait une érosion (ROSSI, 1989). Ceci a provoqué l'abandon puis la destruction de nombreux villages de pêcheurs ainsi que le déplacement – à trois reprises – de la route côtière vers l'intérieur des terres (HAYES, 1985 ; ROSSI, 1991a). Le port de Cotonou a, quant à lui, été construit entre 1959 et 1965 (SIREYJOL, 1977). A l'époque, trois types de ports ont été préalablement examinés : « (i) un port-îlot construit en mer et n'interrompant pas le transit littoral sur le rivage auquel il aurait été relié par un simple appontement ; (ii) un port à transit artificiel de sable. Dans cette solution, le sable dont la construction du port provoque le dépôt à l'ouest du port, est repris par un matériel de dragage qui le refoule à l'est du port grâce à des canalisations terrestres ; et (iii) un port à accumulation dans lequel la saillie du port par rapport à l'alignement général du rivage est suffisante pour que les matériaux du transit littoral qui se déposent à l'ouest du port puissent être stockés pendant une longue période sans risquer de pénétrer dans le port ou dans ses accès » (SIREYJOL, 1964: p. 583). Un avant-projet sommaire permettant de faire des comparaisons de coûts a conduit à retenir définitivement l'option du port à accumulation (SIREYJOL, 1977). Les conséquences de ce choix ne se sont pas fait attendre. Une très rapide accumulation de sédiments a été observée à l'ouest du port et une forte érosion – par ailleurs prévue lors des études préliminaires d'impacts (SIREYJOL, 1964) – a été enregistrée à l'est du port avant même son inauguration (JANIN, 1964). L'érosion du trait de côte atteignait déjà 250 mètres à l'est de l'épi Est (ou épi de Safiato) en 1976 (SIREYJOL, 1977), puis 400 mètres en 1987, 500 mètres en 1994 et 570 mètres en 2000 (CODJIA, 1997 ; KAKI *et al.*, 2011).

A ces grands bouleversements littoraux dus à l'installation d'infrastructures importantes s'ajoutent d'autres paramètres naturels ou humains qui influencent également l'évolution du trait de côte. Localement, les prélèvements de sédiments à même la plage ont accéléré l'érosion littorale (DOSSOU & GLEHOUE-DOSSOU, 2007 ; RUTTEN, 2011 ; KAKI *et al.*, 2011). Si l'exploitation de ces carrières littorales de sable pour satisfaire une demande sans cesse grandissante de matériau de construction (le plus souvent à proximité des villes côtières qui connaissent un essor démographique extrêmement rapide) a été réglementée – le plus souvent interdite – dans les années 2000, certains observateurs ont des doutes sur le respect de ces lois. En réalité, cette exploitation semble être plus confidentielle que dans le passé (AYENAGBO *et al.*, 2011).

La destruction de la mangrove est également hautement problématique localement, notamment à l'ouest du littoral béninois (ADAM, 1992). En effet, cette formation végétale tend à stabiliser le trait de côte ou, à tout le moins de freiner fortement l'érosion côtière. Or, la mangrove est au Bénin – comme dans de nombreuses autres contrées – dans un état avancé de dégradation. De 1980 à 2005, sa superficie a été divisée par deux, passant de 21 à $11,5 \text{ km}^2$ (PNUE, 2007).

Finalement, conséquence directe du réchauffement climatique, l'élévation du niveau des océans aura des conséquences évidentes sur l'érosion côtière dans les décennies à venir. Il est ainsi estimé, à l'échelle globale, que le niveau des mers puisse augmenter entre 26 et 82 cm en 2100 en fonction de différents scénarii de réchauffement (IPCC, 2014). A Cotonou, de 1993 à 2012, il a été récemment calculé que l'augmentation moyenne du niveau de la mer a été de $3,2 \text{ mm.an}^{-1}$ (MELET *et al.*, 2016), ce qui est proche des valeurs globales obtenues sur une période analogue (IPCC, 2014).

OUTILS ET MÉTHODES

L'étude de la dynamique du trait de côte du Togo et du Bénin s'appuie sur l'analyse des images d'archives disponibles à partir du logiciel libre *Google Earth* qui permet une visualisation de la Terre avec un assemblage d'images satellitaires et de photographies aériennes, le plus souvent récentes (quinze dernières années) et à (très) haute résolution. Selon les zones géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises et/ou nombreuses mais offrent fréquemment de nouvelles perspectives d'applications (OZER, 2014 ; MAHDAVI-AMIRI *et al.*, 2015). Ainsi, les villes sont le plus souvent parfaitement couvertes, ce qui permet un suivi assez précis de différents processus tels que l'étalement urbain ou les modifications environnementales majeures et rapides. De cette manière, les images diachroniques extraites de *Google Earth* ont été utilisées pour le suivi de l'érosion côtière (OZER, 2012 ; COMOÉ & OZER, 2017), de l'érosion ravinante (MAKANZU IMWANGANA *et al.*, 2015), des glissements de terrain (VALAGUSSA *et al.*, 2017) ou encore le risque d'inondation en zone urbaine (CHOKPON *et al.*, 2017). Etant donné l'accès libre à ce logiciel et à ces données, *Google Earth* est largement utilisé comme outil éducationnel dans les écoles et les universités (DEMIRCI *et al.*, 2013) de même que pour sensibiliser les décideurs aux problématiques de la nécessaire adaptation durable aux changements climatiques et environnementaux (STOCKER *et al.*, 2012).

Dans le cadre de cette étude, le littoral du Togo et du Bénin a été segmenté en 170 sections de un kilomètre, notées de PK1 à l'ouest du Togo à la frontière avec le Ghana à PK170 à l'est du Bénin à la frontière avec le Nigeria. L'analyse couvre la période 2000-2015 quand cela était possible car certaines sections ne présentent qu'une seule image satellitaire ou des images trop rapprochées qui ne permettent pas une analyse diachronique de l'évolution du trait de côte. Pour être étudiée (retenue), une section doit être couverte par deux images qui ont été prises avec un intervalle minimal de 5 ans. Tout le littoral du Togo (49 km) a ainsi pu être suivi. Par contre, 33 sections du littoral béninois sur les 121 kilomètres de côte (soit 27%) ne sont pas suffisamment couvertes par les images multi-temporelles disponibles sur *Google Earth*. Au final, 137 sections de littoral ont été retenues dans ce travail (soit 81% du littoral de ces deux pays) et couvrent – en moyenne – une période de 140 mois.

Pour chaque section, quand cela était possible – en fonction du nombre de points de repère – dix transects perpendiculaires à la plage ont été mesurés en mètres en estimant systématiquement l'évolution moyenne en mètre par an calculée en fonction du nombre de mois écoulés entre les deux images utilisées. Un exemple est présenté à la figure 2.

RESULTATS ET DISCUSSION

L'évolution du trait de côte (170 km) du Togo et du Bénin a été suivie pour 137 sections de un kilomètre entre 2000 et 2015. Les résultats sont présentés à la figure 3 et les pourcentages ci-après sont relatifs aux 137 sections étudiées.

Globalement, il apparaît que les quelques sections qui connaissent une accumulation (14%) se trouvent exclusivement en amont (à l'ouest) des ports en eau profonde de Lomé sur une distance de huit kilomètres et de Cotonou sur une distance de onze kilomètres (voir illustration de l'impact du port de Cotonou sur le trait de côte – jadis linéaire avant la construction de l'infrastructure portuaire (SIREYJOL, 1964) – à la figure 4).

Les sections relativement stables pour lesquelles l'évolution du trait de côte est inférieure à ± 1 m.an⁻¹ représentent 34% du littoral analysé. Elles sont souvent liées à la présence d'ouvrages de maintien du trait de côte par des techniques dures qui sont tantôt transversaux (épis), tantôt longitudinaux (enrochements), ou encore des brise-lames construits avant la période d'étude. Ceci est particulièrement observé dans la partie orientale du littoral togolais. Cette stabilité du trait de côte est également observée, sans intervention humaine cette fois, dans une partie du littoral occidental du Bénin.

Partout ailleurs (52%), les littoraux subissent un processus érosif pouvant être très important avec des reculs moyens pouvant dépasser les 10 m.an⁻¹ pour sept sections. C'est le cas en aval (à l'est) des infrastructures portuaires de Lomé sur 22 kilomètres et de Cotonou jusqu'à la frontière avec le Nigéria, soit sur 30 kilomètres (voir illustration de l'impact du port de Cotonou à la figure 4). Cela est également observé en aval des ouvrages de protection côtière (épis, enrochements, etc.), ainsi qu'à l'embouchure de certains cours d'eau.

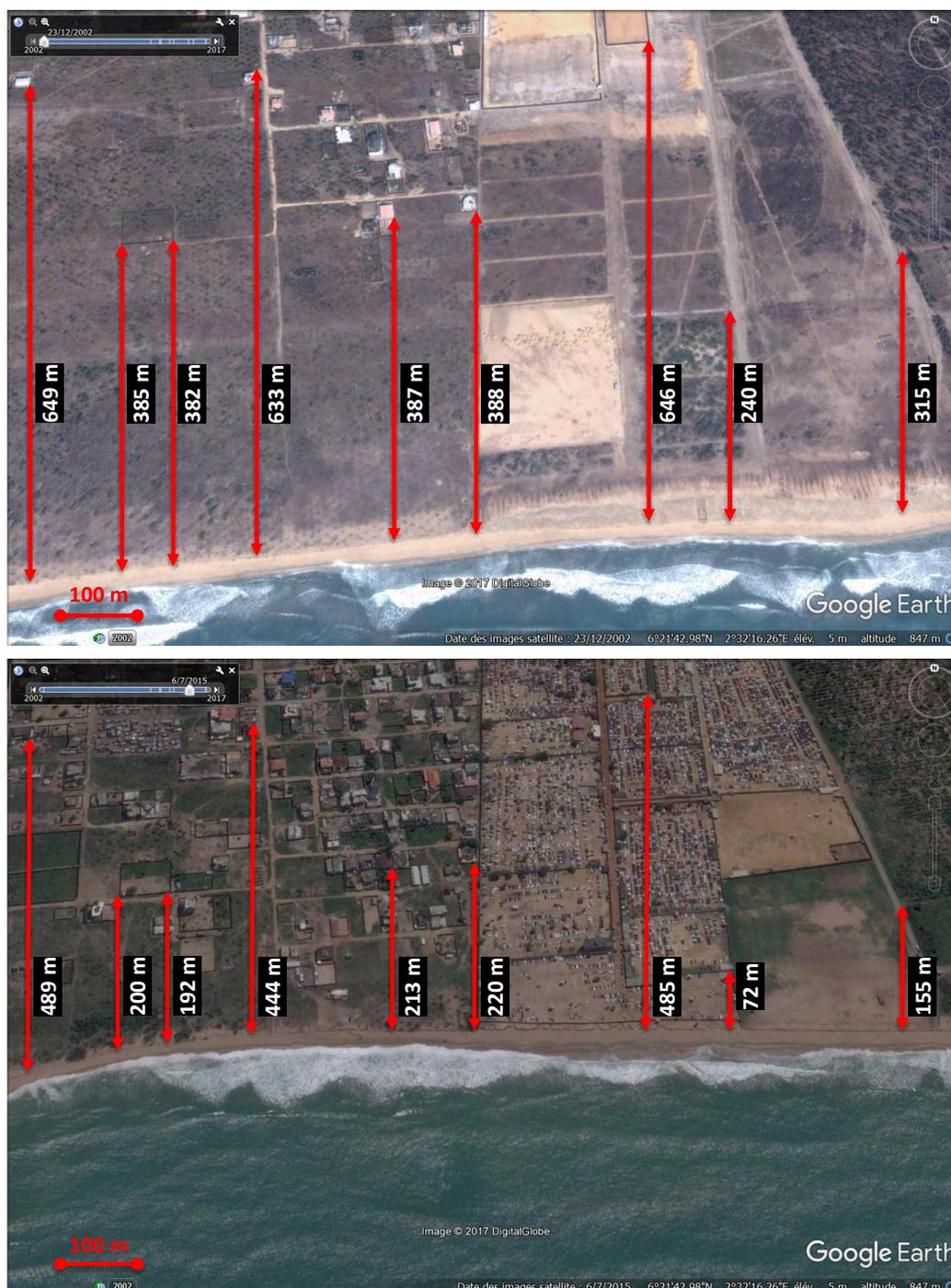


Figure 2 : Exemple du mesure de l'évolution du littoral (est du Bénin) sur une section de un kilomètre entre le 23 décembre 2002 et le 6 juillet 2015 à l'aide de neuf transects perpendiculaires à la plage.

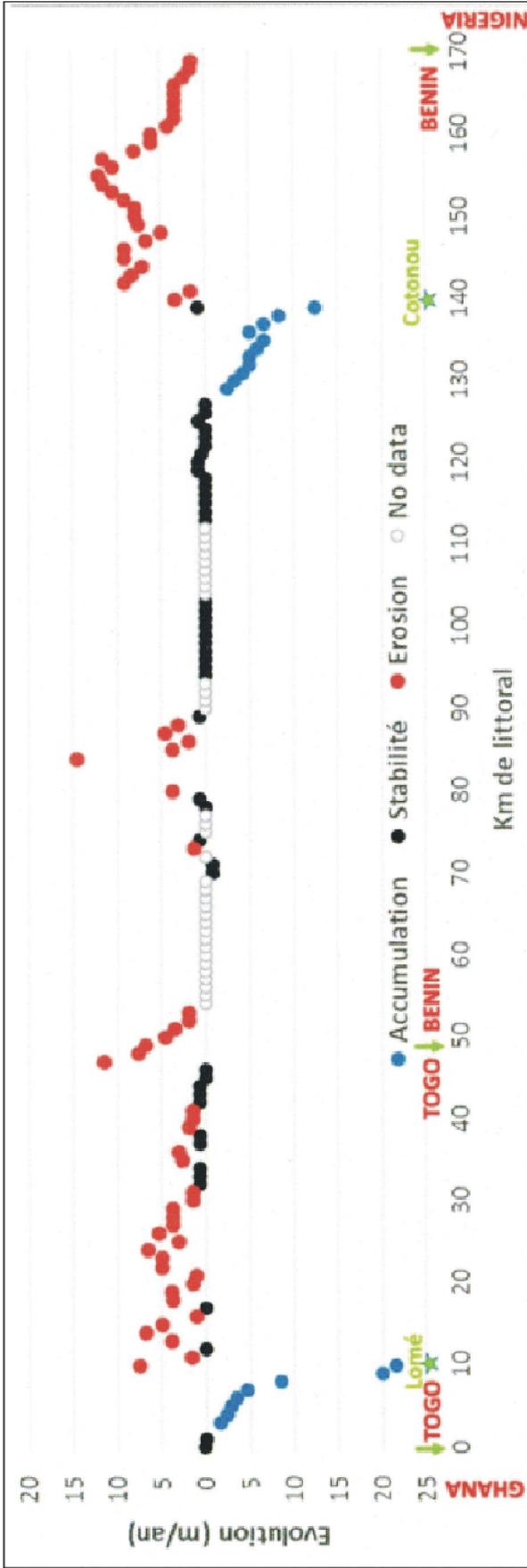


Figure 3 : Evolution du trait de côte (en m/an), par section de un kilomètre linéaire au Togo et au Bénin de 2000 à 2015.

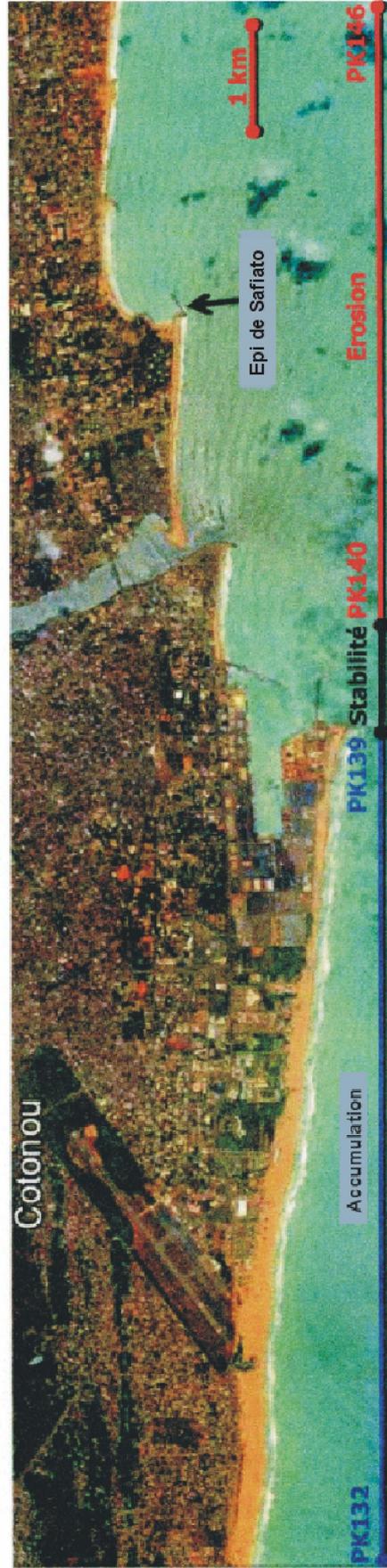


Figure 4 : Illustration du littoral actuel de Cotonou [Fig. 2, Pk132 à Pk146] (jadis linéaire avant la construction du port en eau profonde) avec profil en accumulation en amont (ouest) et en érosion en aval (est). Image Google Earth, 12 septembre 2015

Au total, sur la base des 137 sections retenues pour cette analyse, le trait de côte a reculé de 1,8 m.an⁻¹ en moyenne sur tout le profil, dont -1,0 m.an⁻¹ (ce qui correspond à la disparition de 4,9 ha.an⁻¹) au Togo et -2,2 m.an⁻¹ (soit une perte de territoire de 19,4 ha.an⁻¹) au Bénin entre 2000 et 2015.

Nos résultats ne concernent qu'une quinzaine d'années (2000-2015) mais montrent, globalement, une érosion du littoral. Cette dernière est moins prononcée au Togo qu'au Bénin. Cela est dû à différents facteurs, notamment au fait que l'érosion littorale à l'aval du port de Lomé ait, dès 1975, progressivement exhumé un beach-rock qui – dissipant l'énergie des vagues – a ralenti la célérité de l'érosion côtière, avec un recul de 0,5 m.an⁻¹ observé durant les années 1980 (BLIVI, 1998). Dès l'apparition du beach-rock, il a d'ailleurs été pensé que ce grès de plage continu pouvait jouer le même rôle que des ouvrages anthropiques de protection des plages (ROSSI, 1988). Cependant, dès le début des années 1990, deux phénomènes ont entaillé cette protection naturelle. D'une part, sous les effets incessants des vagues, le grès de plage n'a pas longtemps résisté aux pressions et aux chocs qui ont provoqué des entailles, des cassures profondes et des décollements des dalles supérieures à partir des joints de stratification (BLIVI, 1998). D'autre part, le beach-rock continu entravait les activités de pêche artisanale empêchant la remontée des filets, blessant des hommes et rendant difficile le départ et le retour des pirogues (FIAGAN, 2013). Dès lors, les populations locales ont creusé des entailles à travers le grès de plage qui ont lourdement fragilisé cette protection naturelle (BLIVI, 1998). Le résultat de ces deux processus est clairement visible ces dernières années puisque la plage stabilisée durant les années 1980 enregistre maintenant un recul souvent de l'ordre de 5 mètres par an dans les 15 kilomètres à l'aval du port de Lomé. La figure 5 illustre l'aspect continu du beach-rock en 2006 et son aspect discontinu en 2015 qui se traduit par une plus forte érosion au niveau de la côte.

Par ailleurs, le Togo s'est doté d'un mécanisme de suivi de la dynamique littorale plus tôt que le Bénin et a procédé à une protection de son trait de côte à divers endroits, notamment à l'est – jusqu'à la frontière avec le Bénin voisin – pour des raisons économiques et politiques dès 1987 (ROSSI, 1991a). Ces ouvrages ont bien fonctionné, moyennant une maintenance régulière et la construction de structures additionnelles (SPEKKER *et al.*, 2010). L'évolution du littoral présente en effet un recul moyen inférieur à 1 mètre par an (2002-2015) sur les dix derniers kilomètres de la côte orientale du Togo [Fig. 3, PK38 à PK47]. La figure 6 illustre la relative stabilité du trait de côte au Togo entre les épis construits à la fin des années 1980. Cependant, ROSSI (1991a) rapporte que le Bénin a alors fait part de ses inquiétudes quant à un transfert des processus érosifs sur son littoral. La tension étant alors vive entre les deux pays voisins (Togo et Bénin), une étude a été commanditée par le Togo, le Bénin et la France à la fin des années 1980 à un laboratoire français spécialisé en modélisation sédimentaire pour estimer les conséquences prévisibles de tels aménagements côtiers à l'est du Togo. Les résultats des modèles ont alors démontré qu'à échéance de 25 ans, les impacts seront faibles pour le littoral béninois.

Cependant, la réalité est très différente car ces aménagements ont bel et bien déplacé le problème de l'alimentation des plages vers l'est et ont accéléré, sinon créé, l'érosion littorale sur la façade occidentale du Bénin, située en aval de ces ouvrages. On y observe en effet un recul moyen supérieur à 5 mètres par an entre 2002 et 2015 dans les cinq premiers kilomètres du littoral béninois. Notons ici que l'étude la plus récente sur le littoral du golfe du Bénin produite par LAÏBI *et al.* (2014) estime que cette portion de littoral est présumée stable. Ce recul du littoral a eu comme conséquence la disparition de villages entiers de pêcheurs (Fig. 7). La question des déplacements forcés de populations et des pertes économiques induits par cette érosion littorale est hautement problématique en Afrique de l'Ouest (GEMENNE *et al.*, 2017) et ailleurs dans le monde (HANSON *et al.*, 2011). Elle devrait prendre de l'ampleur dans les décennies à venir avec la conjonction, d'une part, de l'attractivité démographique des côtes et, d'autre part, l'augmentation du niveau des océans des suites du réchauffement climatique. C'est d'autant plus interpellant dans les villes d'Afrique de l'Ouest où rien ne semble être mis en œuvre pour planifier l'utilisation du territoire côtier à long, moyen, voire même court termes (OULD SIDI CHEIKH *et al.*, 2007; DOSSOU & GLEHOUEYOU-DOSSOU, 2007; OZER *et al.*, 2013) afin d'éviter les affres – pourtant attendus – de la maladaptation (MAGNAN *et al.*, 2016)



Figure 5 : Evolution récente du trait de côte (2006-2015) à l'est du port de Lomé [Fig. 3, PK15], Togo.

Par rapport aux études antérieures relatives aux évolutions du littoral du Togo et du Bénin, cette analyse apporte de nouvelles informations relatives aux 'points d'équilibre des littoraux'. En effet, KAKI *et al.* (2011) ont montré que l'érosion a été significative de 1963 à 1995 à l'aval du port de Cotonou jusqu'à 7 kilomètres à l'est de l'épi de Safiatio [Fig. 3, PK143 à PK149]. Le reste du littoral vers le Nigéria [de PK150 à PK170, Fig. 3] était alors en nette accrétion. De 1995 à 2005, par contre, la côte présentait encore une érosion jusqu'à 4 kilomètres à l'est de l'épi de Safiatio [Fig. 3, PK143 à PK146], puis un certain équilibre pendant les 6 kilomètres suivants [Fig. 3, PK147 à PK152] pour enfin connaître une érosion des 10^e au 19^e kilomètres à l'est de l'épi de Safiatio [Fig. 3, PK153 à PK162]. Plus récemment, LAÏBI *et al.* (2014) ont pour leur part considéré que l'influence du port de Cotonou sur l'érosion littorale n'était significative que sur les dix premiers kilomètres en aval du port [Fig. 3, PK143 à PK152] ; le reste du trait de côte vers le Nigéria étant présumé stable [Fig. 3, PK153 à PK170]. Nos résultats montrent que le point d'équilibre actuel du littoral se trouve au-delà de la frontière entre le Bénin et le Nigéria. Depuis 2000, tout le littoral à l'est de Cotonou enregistre un

recul moyen de l'ordre de 7 m.an^{-1} . Il y a fort à parier que les sept récents épis construits jusqu'au PK 150 (Fig. 3) vont accélérer l'érosion vers le Nigéria. Cela pourrait donner lieu à des tensions entre les deux pays puisque toute érosion entrainera indéniablement le déplacement de populations de plus en plus concentrées sur le littoral du Nigéria. Ces tensions pourraient par ailleurs être exacerbées dans le futur puisque le Bénin ambitionne de se doter d'un deuxième port à hauteur de Sèmè-Kpodji (Fig. 3, PK158), à seulement 12 kilomètres de la frontière avec le Nigéria (LIHOUSSOU, 2014).

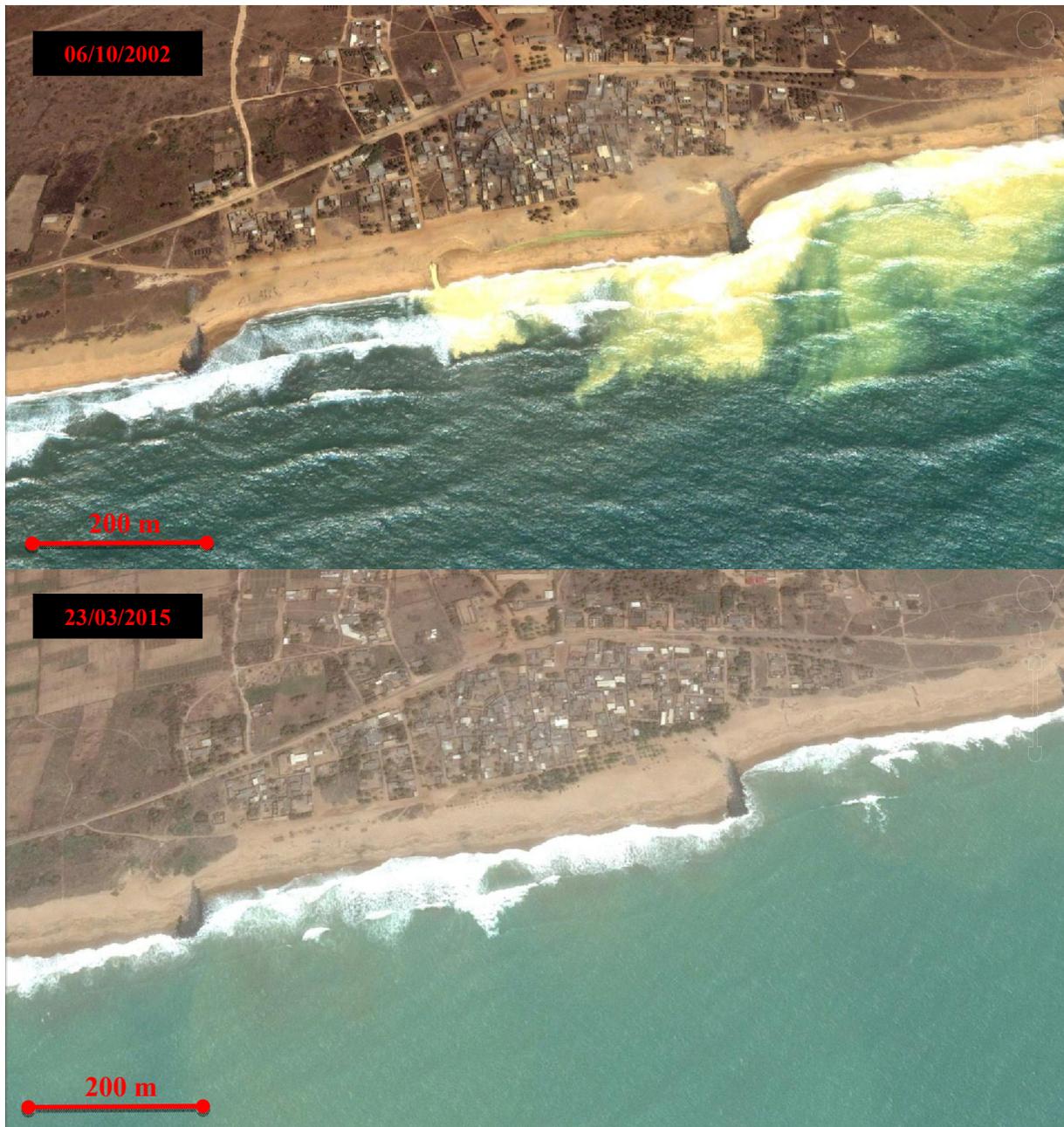


Figure 6 : Evolution récente du trait de côte (2002-2015) à Kpémé [Fig. 3, PK38], Togo.

CONCLUSION

Grâce à l'analyse minutieuse d'images satellitaires à haute définition spatiale disponibles dans *Google Earth*, nous avons pu estimer de manière précise l'évolution des côtes du Togo et du Bénin sur la récente période 2000-2015. Il appert que les décisions du passé (construction de barrages et de ports) ont un impact sur le long terme. Une fois l'équilibre côtier déstabilisé, il devient difficile de

corriger la tendance à l'érosion, et toute nouvelle action ponctuelle sur le littoral pour préserver un enjeu économique ou politique a pour conséquence l'accélération de l'érosion ailleurs.



Figure 7 : Evolution récente du trait de côte (2002-2015) dans l'extrême ouest du Bénin, à la frontière avec le Togo [Fig.3, PK 50].

Il a longtemps été pensé que la construction des ports en eau profonde de Lomé et de Cotonou avaient été construits sans en connaître les impacts environnementaux potentiels et que ces érosions littorales à l'aval des ports n'étaient pas prévisibles. Pourtant, les travaux –jamais cités– de SIREYJOL (1977), Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, Chef de la division Ports et Voies navigables au B.C.E.O.M. (Bureau central d'études pour les équipements d'Outre-Mer) concluaient –par rapport à la construction du port de Cotonou– qu'à l'est de l'épi de Safiatio, « on constate une importante érosion qui atteint dès maintenant 250 mètres. Comme il faut bien que se reconstitue le transit littoral interrompu par la construction du port, on ne fait rien pour lutter contre cette érosion, peu gênante puisqu'il s'agit de terrains de très faible valeur. On a donc créé, avec la construction du port, un état de déséquilibre à caractère permanent qui se traduit par une sédimentation à l'ouest du port et une érosion à l'est de l'épi de Safiatio. Il s'agit bien entendu d'une facilité que l'on a admise pour

favoriser le projet, facilité qui ne serait guère pensable dans un pays développé où les terrains en bord de mer ont toujours une grande valeur » (p. 407).

Actuellement, les temps ont changé. Les littoraux sont pris d'assaut par les populations rurales de l'intérieur du pays –voire de la sous-région– puisque c'est là que se développe une grande partie de la richesse des pays côtiers et ces terres n'ont plus une « très faible valeur », bien au contraire. Et il semble très simpliste de blâmer les effets du changement climatique pour 'justifier' toutes les 'victimes' de l'érosion côtière. Cette dernière pourrait, par ailleurs, mener à des tensions entre pays ; que ce soit entre le Togo et le Bénin ou entre le Bénin et le Nigéria.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM, K.S., 1992. La cartographie d'inventaire, un outil pour la gestion du littoral ouest-africain: le cas du golfe du Bénin. *Espace Géographique*, 21: 333-342.
- AGO, E.E., PETIT, F. & OZER, P., 2005. Analyse des inondations en aval du barrage de Nangbeto sur le fleuve Mono (Togo et au Bénin). *Geo-Eco-Trop*, 29: 1-14.
- ANTHONY, E.J., MARRINER, N. & MORHANGE, C., 2014. Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: from progradation to destruction phase? *Earth-Science Reviews*, 139: 336-361.
- AYENAGBO, K., KIMATU, J.N., GONDWE, J. & RONGCHENG, W., 2011. The transportation and marketing implications of sand and gravel and its environmental impact in Lome-Togo. *Journal of Economics and International Finance*, 3: 125-138.
- BIRD, E.C.F., 1985. *Coastline changes: a global review*. John Wiley and Sons, New York, NY, USA, 219 p.
- BLACK, R., ADGER, N., ARNELL, N.W., DERCON, S., GEDDES, A. & THOMAS, D., 2011. The effect of environmental change on human migration. *Global Environmental Change*, 21: 3-11.
- BLIVI, A., 1993. Morphology and current dynamics of the coast of Togo. *Geo-Eco-Trop*, 17: 25-40.
- BLIVI, A., 1998. Quelques aspects du beach-rock dans le golfe du Bénin : le cas du Togo. *Revue CAMES, série B*, 00: 43-56.
- BLIVI, A., 2000. Effets du barrage de Nangbeto sur l'évolution du trait de côte: une analyse prévisionnelle sédimentologique. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université du Bénin (Togo)*, 4: 29-41.
- BLIVI, A., ANTHONY, E.J. & OYEDE, L.M., 2002. Sand barrier development in the bight of Benin, West Africa. *Ocean & Coastal Management*, 45: 185-200.
- BOATENG, I., 2012. An application of GIS and coastal geomorphology for large scale assessment of coastal erosion and management: a case study of Ghana. *Journal of coastal conservation*, 16: 383-397.
- BOATENG, I., BRAY, M. & HOOKE, J., 2012. Estimating the fluvial sediment input to the coastal sediment budget: a case study of Ghana. *Geomorphology*, 138: 100-110.
- CHOKPON, A.E., DE LONGUEVILLE, F. & OZER, P., Risque d'inondation en périphérie du Lac Nokoué (Cotonou, Bénin): effet du changement climatique ou problème d'aménagement du territoire ? *Geo-Eco-Trop* : soumis.
- CODJIA, C.L., 1997. Application de la télédétection à l'étude des changements urbains et des transformations du littoral à Cotonou (Bénin). In DUBOIS, J.M.M., DONNAY, J.P., OZER, A., BOIVIN, F. & LAVOIE A. (Eds.), *Télédétection des milieux urbains et périurbains*. AUPELF-UREF, Sherbrooke, Canada : 299-306.
- COMOE, R. & OZER, P., Le déguerpissement en réponse au risque d'érosion côtière. Cas de la commune de Port-Bouët à Abidjan. *Geo-Eco-Trop* : soumis.
- DEMIRCI, A., KARABURUN, A. & KILAR, H., 2013. Using *Google Earth* as an educational tool in secondary school geography lessons. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 22: 277-290.
- DOSSOU, K.M. & GLEHOUEYOU-DOSSOU, B., 2007. The vulnerability to climate change of Cotonou (Benin) the rise in sea level. *Environment and Urbanization*, 19: 65-79.
- FIAGAN, K.A., 2013. L'impact de l'érosion côtière sur la pêche artisanale maritime au Togo. *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, 2: 1-13.
- GEMENNE, F., 2011. Climate-induced population displacements in a 4 C+ world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369: 182-195.

- GEMENNE, F., BLOCHER, J., DE LONGUEVILLE, F., VIGIL DIAZ TELENTI, S., ZICKGRAF, C., GHARBAOUI, D. & OZER, P., 2017. Changement climatique, catastrophes naturelles et mobilité humaine en Afrique de l'Ouest. *Geo-Eco-Trop*, 41, 3 : 317-337
- GÜNERALP, B., GÜNERALP, İ. & LIU, Y., 2015. Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. *Global Environmental Change*, 31: 217-225.
- HANSON, S., NICHOLLS, R., RANGER, N., HALLEGATTE, S., CORFEE-MORLOT, J., HERWEIJER, C. & CHATEAU, J., 2011. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic change*, 104: 89-111.
- HAYES, M.O., 1985. Beach erosion. In CLARK, J.R. (Ed.), *Coastal resources management: Development case studies*. Renewable Resources Information Series. Coastal Management Publication No. 3, pp. 67-200.
- HINKEL, J., LINCKE, D., VAFEIDIS, A.T., PERRETTE, M., NICHOLLS, R.J., TOL, R.S., MARZEION, B., FETTWEIS, X., IONESCU, C. & LEVERMANN, A., 2014. Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111: 3292-3297.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [C.B., FIELD, V.R., BARROS, D.J., DOKKEN, K.J., MACH, M.D., MASTRANDREA, T.E., BILIR, M., CHATTERJEE, K.L., EBI, Y.O., ESTRADA, R.C., GENOVA, B., GIRMA, E.S., KISSEL, A.N., LEVY, S., MACCRACKEN, P.R., MASTRANDREA & L.L., WHITE (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.
- JANIN, B., 1964. Le nouveau port de Cotonou. *Revue de géographie alpine*, 52: 701-712.
- KAKI, C., LAIBI, R.A. & OYEDE, L.M., 2011. Evolution of Beninese coastline from 1963 to 2005: causes and consequences. *British Journal of Environment & Climate Change*, 1: 216-231.
- LAÏBI, R.A., ANTHONY, E.J., ALMAR, R., CASTELLE, B., SENECHAL, N., & KESTENARE, E., 2014. Longshore drift cell development on the human-impacted Bight of Benin sand barrier coast, West Africa. *Journal of Coastal Research*, 70: 78-83.
- LIHOUSSOU, M., 2014. Ports et désenclavement territorial: cas de l'arrière-pays du port de Cotonou. Thèse de doctorat, UMR IDEES 6266 du CNRS/ CIRTAI, Université du Havre, France. 461 p.
- MAGNAN, A.K., SCHIPPER, E.L.F., BURKETT, M., BHARWANI, S., BURTON, I., ERIKSEN, S., GEMENNE, F., SCHAAR, J., & ZIERVOGEL, G., 2016. Addressing the risk of maladaptation to climate change. *WIREs Climate Change*, 7: 646-665.
- MAHDAVI-AMIRI, A., ALDERSON, T. & SAMAVATI, F. (2015). A survey of digital earth. *Computers & Graphics*, 53: 95-117.
- MAKANZU IMWANGANA, F., VANDECASTEELE, I., TREFOIS, P., OZER, P. & MOEYERSONS, J., 2015. The origin and control of mega-gullies in Kinshasa (D.R. Congo). *Catena*, 125: 38-49.
- MCGRANAHAN, G., BALK, D. & ANDERSON, B., 2007. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and urbanization*, 19: 17-37.
- MELET, A., ALMAR, R. & MEYSSIGNAC, B., 2016. What dominates sea level at the coast: a case study for the Gulf of Guinea. *Ocean Dynamics*, 66: 623-636.
- NEUMANN, B., VAFEIDIS, A.T., ZIMMERMANN, J. & NICHOLLS, R.J., 2015. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. *PloS one*, 10: e0118571.
- NICHOLLS, R.J., 2011. Planning for the impacts of sea level rise. *Oceanography*, 24: 144-157.
- OULD SIDI CHEIKH, M.A., OZER, P. & OZER, A., 2007. Risques d'inondation dans la ville de Nouakchott (Mauritanie). *Geo-Eco-Trop*, 31: 19-42.
- OZER, P., 2012. Is the fishing village of Phan Thiet victim of climate change? *Geo-Eco-Trop*, 36: 29-38.
- OZER P., 2014. Catastrophes naturelles et aménagement du territoire: de l'intérêt des images Google Earth dans les pays en développement. *Géo-Eco-Trop*, 38: 209-220.
- OZER, P., HOUNTONDI, Y.C., DE LONGUEVILLE, F., BESSAN, M.V., & THIRY, A., 2013. Impact de l'érosion littorale dans les villes côtières africaines: de la procrastination des pouvoirs publics à la migration forcée des plus précaires. Cas de Cotonou, Bénin. Papier présenté à *Territoires périurbains : développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud*. Université de Liège, Gembloux, 19 décembre 2013. <http://hdl.handle.net/2268/156894>
- PONTEE, N., 2013. Defining coastal squeeze: a discussion. *Ocean & Coastal Management*, 84: 204-207.
- PNUE, 2007. Les mangroves de l'Afrique de l'Ouest et centrale. Programme des Nations Unies pour l'Environnement – Programme pour les mers régionales & Centre Mondial de Suivi de la Conservation, Cambridge, Royaume-Uni, 88 p.

- ROSSI, G., 1988. Un exemple d'utilisation d'une défense naturelle contre l'érosion littorale : le grès de plage. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 37: 1-10.
- ROSSI, G., 1989. L'érosion du littoral dans le Golfe du Bénin: un exemple de perturbation d'un équilibre morphodynamique. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 73: 139-165.
- ROSSI, G., 1991a. Erosion littorale et acteurs sociaux. L'exemple du Togo. *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 68: 225-233.
- ROSSI, G., 1991b. Evolution d'un front deltaïque et actions anthropiques: le cas du delta de la Volta (Ghana). *Cahiers d'Outre-Mer*, 44: 333-343.
- ROSSI, G., 1996. L'impact des barrages de la vallée du Mono (Togo-Benin). La gestion de l'incertitude. *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement*, 2: 55-68.
- RUTTEN, G.L., 2011. Interactions between beachrock formations and shoreline evolution. Case study: Togo. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands. 95 p.
- SIREYJOL, P., 1964. Communication sur la construction du port de Cotonou (Dahomey). In *Proceedings of Ninth Conference on Coastal Engineering, Lisbon, Portugal, June 1964*. American Society of Civil Engineers, New York, USA : 580-595.
- SIREYJOL, P., 1977. Transit littoral et conception des ports: l'exemple du port de Cotonou. *La Houille Blanche*, 5-6: 401-408.
- SPEKKER, H., AMMERMANN, K., GUILLART, D., & LANKENAU, D., 2010. Küstenschutzmaßnahmen in Togo—Stabilisierung erosionsgefährdeter Strandabschnitte und Schutz des Containerterminals Lomé durch den Neubau einer Buhne. *Bautechnik*, 87: 311-317.
- STOCKER, L., BURKE, G., KENNEDY, D. & WOOD, D., 2012. Sustainability and climate adaptation: using *Google Earth* to engage stakeholders. *Ecological Economics*, 80: 15-24.
- VALAGUSSA, A., FRATTINI, P., CROSTA, G.B., VALBUZZI, E., & GAMBINI, S., 2017. Regional landslide susceptibility analysis following the 2015 Nepal Earthquake. In MIKOŠ, M., TIWARI, B., YIN, Y., SASSA, K. (Eds.), *Advancing culture of living with landslides, Vol 2: Advances in landslide science*, Springer, Cham, pp. 1035-1042.

