

Influence des houles exceptionnelles sur un cordon littoral étroit ivoirien à Azzureti

Exceptional waves influence on ivorian coast in Azzureti

KONAN K. E.¹, N'GUESSAN Y.A.², DJAGOUA E. M. V.² & AFFIAN K.²

Abstract : This study estimates the sensibility of the beaches along the coast of Azzureti (east of Abidjan) on arrival swells strong energy through those that occurred Aug. 14, 2007. Based on extensive fieldwork, method leans on a set of topographic profiles. From the overlapping of topographic profiles obtained, a quantitative approach to sediment is used to measure scale of the backward movement of the coastline. The application of these methods shows that contrary to some parts of the ivorian coastline which are very sensitive, the beaches of Azzureti are stable except the berms which undergo real morphological changes. This study highlights that the coast studied, which undergoes in a general way an erosion, presents a lower sensibility to the waves of strong energy.

Keys words: Coastal erosion, Fattening, Exceptional waves, Coast, Earthquake

Résumé : Cette étude estime la sensibilité des plages du cordon littoral d'Azzureti (à l'est d'Abidjan) à l'arrivée de houles de forte énergie comme celles intervenues le 14 août 2007. Basée sur un travail de terrain, la méthode s'appuie sur une série de profils topographiques. A partir de la superposition de ces profils topographiques obtenus, une approche quantitative des sédiments est utilisée pour mesurer l'ampleur du recul du trait de côte. L'application de ces méthodes montre que contrairement à certaines parties du littoral ivoirien qui sont très sensibles, les plages d'Azzureti sont stables, en dehors des bermes qui subissent de véritables modifications morphologiques. Cette étude met en exergue que le cordon littoral étudié, qui subit de façon générale une érosion, présente une sensibilité moins élevée aux vagues de forte énergie.

Mots-clés: Erosion côtière, Engraissement, Houles exceptionnelles, Littoral, Séisme

INTRODUCTION

L'érosion côtière constitue une préoccupation majeure des pays ayant une façade maritime. La moitié des côtes dans le monde recule. Les trois-quarts du littoral ivoirien sont sableux. Ce qui explique dès lors l'intérêt porté à ce phénomène par la recherche scientifique en Côte d'Ivoire. Dans le contexte climatique actuel, l'érosion côtière est présentée comme responsable, au moins en partie, de la déstabilisation des côtes de l'Afrique de l'Ouest. De nombreux travaux de recherche ont été consacrés à la dynamique du littoral en Côte d'Ivoire, en particulier sur des secteurs sensibles comme Grand-Lahou, Abidjan et Assinie (TASTET *et al.*, 1985; KOFFI *et al.*, 1993, PASKOFF, 1993; HAUHOUOT, 2000 et 2008; WOGNIN, 2004; ABE, 2005; KONAN *et al.*, 2009; KONAN, 2011). La tendance évolutive de ce littoral est en général connue. Cependant, la zone littorale d'Azzureti reste encore méconnue en cas de houles de fortes énergies (tempêtes, tsunamis, etc...). Certaines seraient d'origine sismique comme celles qui ont submergé puis érodé une partie de la côte ivoirienne dans la nuit du 13 au 14 août 2007

L'objectif de cette étude est de souligner le rôle des houles exceptionnelles dans l'évolution saisonnière de ce cordon littoral ivoirien à partir des houles de fortes énergies enregistrées sur les plages ivoiriennes en août 2007. Le littoral d'Azzureti qui s'étend sur environ une dizaine de kilomètres est occupé essentiellement par une population villageoise et des rangées de cocotiers (Figure 1).

⁽¹⁾ Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan, 29 Rue des Pêcheurs BP V 18 Abidjan (Côte d'Ivoire)

⁽²⁾ Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, 22 BP 522 Abidjan 22, (Côte d'Ivoire)



Figure 1: Littoral de la Côte d'Ivoire et localisation de la zone d'étude.

Marée et houle

Sur les côtes ivoiriennes, la marée est de type semi-diurne; le marnage dépasse rarement 1,5 m en vives eaux et peut descendre jusqu'à 0,4 m en mortes eaux (MARTIN, 1977). La houle à la côte, principal agent hydrodynamique de la mobilité des sédiments, est caractérisée sur le littoral ivoirien par une amplitude généralement inférieure à 2 m (TASTET *et al.*, 1985, TASTET, 1987). On distingue 3 sortes de houle dont les caractéristiques sont précisées dans les tableaux I et II.

Tableau I: Fréquence (%) annuelle des différentes houles (TASTET *et al.*, 1985)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Faible	45	28	18	24	12	6	17	36	45	34	51	58
Moyenne	45	62	59	53	42	53	55	48	41	53	44	37
Forte	10	10	23	23	46	41	28	16	14	13	5	5

Tableau II: caractéristiques de la houle devant Abidjan (par fonds de 20 m) (TASTET *et al.*, 1985)

Houle	Amplitude (m)	Période(s)	Direction au large	Fréquence annuelle	Période de dominance
Faible	0,8 – 1	7 - 11	S – SW	30 %	Nov. Dec. Jan.
Moyenne	0,8 – 1 et 1 - 2	10	S – SW	50 %	Toute l'année
forte	1,8 - 2	10 - 20	S - W	20 %	Mai - juin

On a cependant observé à plusieurs reprises des houles pouvant atteindre 7 m de hauteur de période supérieure à 20s. Les tempêtes et ces «grosses houles» ont une fréquence très faible pendant l'année, cependant elles entraînent une profonde modification du paysage littoral (par exemple, houles de juillet 1984 et de mars 1986; TASTET *et al.*, 1985). En l'absence d'éléments (lacune d'enregistrement du houlographe de Takoradi au Ghana consulté le 13 décembre 2013) [http://www.glosssealevel.org/data/africa_and_west_indian_ocean/#.UrlOvvu0uHc%C2%A0] permettant de caractériser les houles du 14 août 2007, celles-ci enregistrées par la station géophysique de LAMTO et survenues à la suite d'un séisme peuvent être qualifiées "d'exceptionnelles" compte tenu des dégâts importants et de l'impact morphogène considérable qu'elles ont occasionnés sur

l'ensemble du littoral ivoirien (KONAN *et al.*, 2009; KONAN, 2011, 2012; YAO *et al.*, 2010). Les valeurs des caractéristiques seraient supérieures à la valeur normale maximale observée dans le tableau I et pourraient faire partie des houles exceptionnelles observées sur les warfs qui atteignent 7 m de hauteur.

Origine des vagues exceptionnelles du 14 août 2007

Dans la nuit du 13 au 14 août 2007 s'est produit un séisme de magnitude 4,8 sur l'échelle de Richter dans l'océan Atlantique sud, à 1800 km des côtes ivoiriennes. Il a été détecté par les réseaux sismique et infrasonique de la station géophysique LAMTO en Côte d'Ivoire et par l'USGS (United States Geological Survey) des Etats Unis d'Amérique (earthquake.usgs.gov/earthquakes/map). Les messages d'alerte de ces deux centres internationaux ont précisé les coordonnées de l'épicentre à proximité de l'île de l'Ascension (7,783° S; 13,642° O) dans l'océan Atlantique avec une profondeur de l'hypocentre vers 10 km (earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/). La valeur seuil pour engendrer un tsunami étant de 6,3 selon le catalogue de tsunamis de NOAA, cette magnitude de 4,6 est suffisante pour déclencher des vagues à la surface de l'océan, mais ne peut donc pas provoquer un tsunami. Le dépouillement des relevés effectué par les chercheurs de la station internationale géophysique LAMTO en Côte d'Ivoire montre qu'une surcote a été engendrée à l'endroit du séisme et s'est dirigée vers la côte ivoirienne. Elle a submergé l'ensemble du littoral ivoirien (KONAN *et al.*, 2009; KONAN, 2011; YAO *et al.*, 2010). Des houles exceptionnelles aux conséquences aussi catastrophiques (dégâts matériels importants) que celles d'août 2007 ont été signalées dans la baie de Port-Bouet (Abidjan) depuis 1944, dont les origines ne sont pas connues (Tableau III).

MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

Les effets des vagues ont été suivis après plusieurs campagnes de levés de profils topographiques de plage effectuées sur ce cordon littoral. Ces profils topographiques sont réalisés à l'aide d'un niveau de chantier de marque Kern Swiss GK1-A, d'un tachéomètre de type Wild RDS associés chacun à une mire graduée de quatre mètres (4 m) de hauteur, d'un GPS MAP Garmin 76 CXs. Les profils sont alignés sur un minimum de trois repères pour garder identique la direction et sur des zéros locaux pris à l'arrière plage pour la superposition des courbes enveloppes. Les mesures sur terrain ont permis de restituer la morphologie de la plage sous forme de courbes enveloppes représentant les profils de plage à différentes dates à l'aide des logiciels Excel et Kaleidagraph. La superposition des profils renseigne sur la dynamique (érosion ou engraissement) de la plage.

Afin de quantifier les sédiments mobilisés, la méthode des moindres carrés appliquée aux trapèzes et aux triangles a été utilisée pour déterminer les surfaces d'érosion et d'engraissement (BRABANT, 2003). Les volumes de sédiments déplacés ou mobilisés sont estimés à partir de la détermination de ces superficies érodées ou engraisées.

RESULTATS ET DISCUSSION

Effets des houles d'août 2007 sur le cordon littoral Azzureti

Les bermes larges de plus de 17 m développées pendant les mois de mars à mai 2007, signe un engraissement sur ces plages, sont emportées par les vagues d'août 2007. Ce recul brusque de l'estran, consécutif à l'arrivée des vagues confère aux profils une allure concave avec des talus d'érosion abrupts (Photos 1 a et b). Cette régression importante n'a pas entaillé le trait de côte sur le segment de plage d'Azzureti, mise à part la profonde modification de l'estran. De fait, la plage au niveau d'Azzureti enregistre une stabilité du trait de côte (Figure 2).

Tableau III: Mémoire des catastrophes à Abidjan (TOURE *et al.*, 2012 modifié)

Date	Phénomènes observés	Dommages	Source
1er octobre 1905	Glissement de terrain	Engloutissement d'un petit wharf dans le secteur de Toviato	ROBIN <i>et al.</i> , 2004
1906	Glissement de terrain	Affaissement de la jetée ouest	DIABATÉ, 1996
1er mai 1908	Glissement de terrain à l'endroit de l'actuel Palm Beach	Engloutissement d'un wharf	KOFFI <i>et al.</i> , 1993
7 mai 1944	Fortes houles	Digue ouest rasée sur 27 m (20 000 t de matériaux déplacés)	PASKOFF, 1993 DIABATÉ, 1996 KOFFI <i>et al.</i> , 1993 HAUHOUOT, 2000
Du 23 au 24 juin 1944	Fortes houles	Digue ouest rasée sur 35 m (35000 t de matériaux déplacés)	
Du 9-10 juillet 1954	Fortes houles	5 000 tonnes d'enrochement de la digue Est sont déplacées	
Du 19-21 juin 1960	Fortes houles	Digues du canal de Vridi endommagées	
1968	Fortes houles	Dégâts sur les canalisations de la Société Ivoirienne de Raffinage	
Juillet 1984	Fortes houles	Dégâts multiples : routes coupées (route du phare de Port-Bouet), habitats détruits, installations de la SIR affectées	
Juillet 1986	Fortes houles	Route de ballade coupée au phare,	ABE, 2005
20 juillet 1989	Fortes houles	Destruction du phare de Grand-Lahou	N'DOUFOU, 2012
13-14 août 2007	Déferlement de vagues d'origine sismique	Dizaines d'habitats détruits	KONAN <i>et al.</i> , (2009)

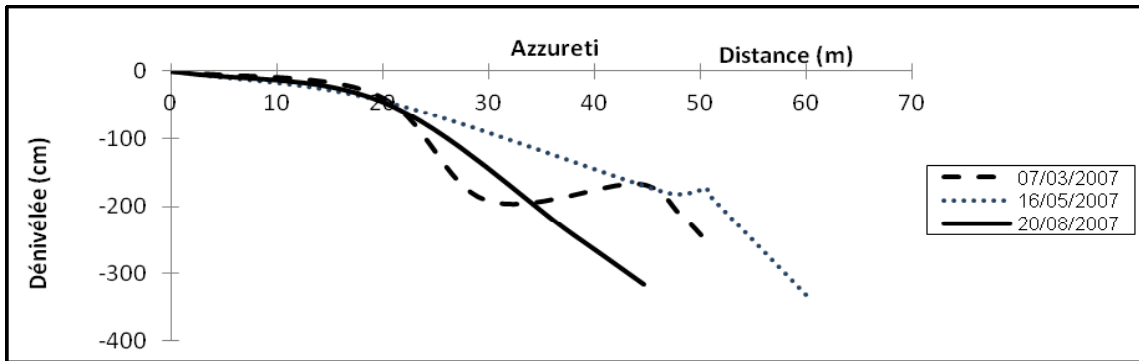


Figure 2: Evolution morphologique des plages d’Azzureti et de Mondoukou (entre mars 2007 et août 2007)



Photos 1: Effet des houles d’août 2007 et réduction de la berme (photos Ernest KONAN, 20/08/2007).



Photo 2: Ré-engraissement de la plage formation de berme et occupation du littoral (photo Ernest KONAN, mars 2009).

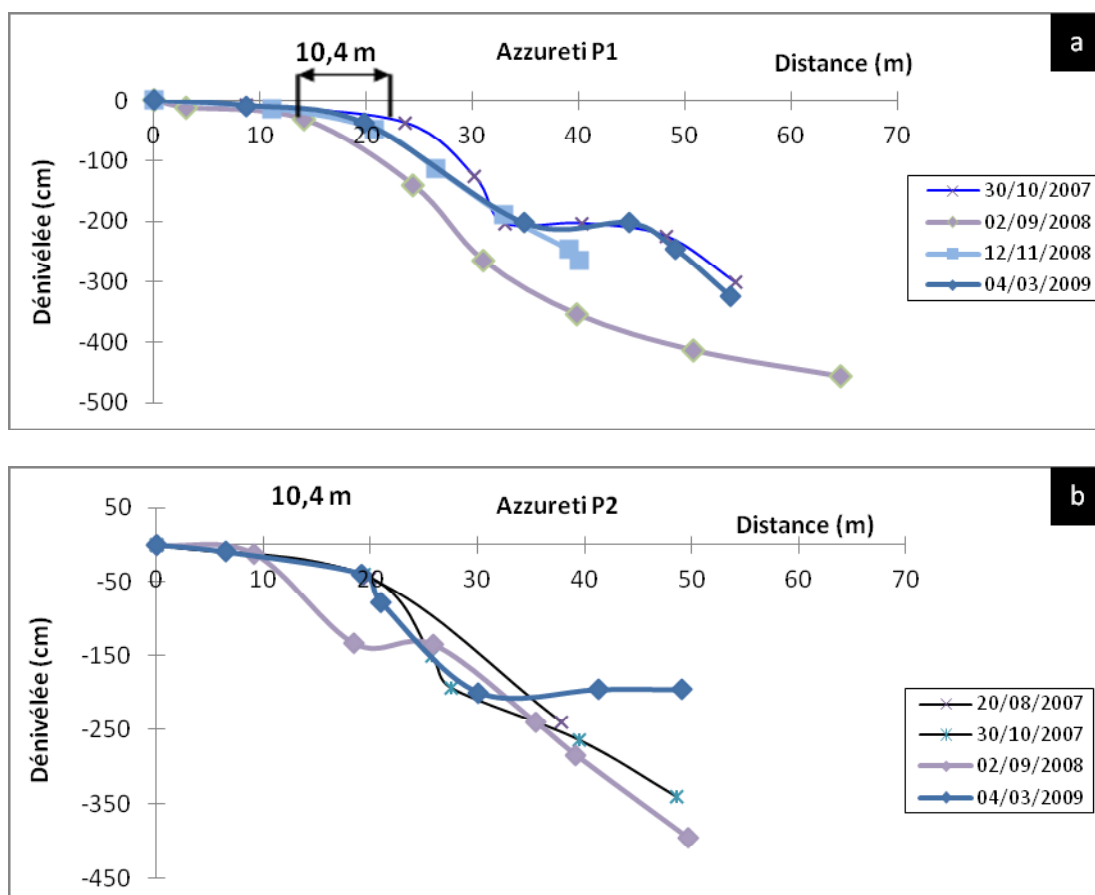


Figure 3: Evolution morphologique de la plage à Azzureti.

Evolution du trait de côte après l'arrivée des houles d'août 2007

Les houles de forte énergie d'août 2007 ont déclenché l'érosion, provoqué ou accéléré le recul du trait de côte sur une plage qui était auparavant en équilibre ou en engraissement. Après leur passage, elle a laissé les plages dans un déficit sédimentaire accentué.

Au P1 (Figure 3a), la période de mai 2008 à septembre 2008 (post-crise érosive d'août 2007) est marquée par un départ massif de sédiments avec un recul de 10,4 m. Bien avant ce recul, le trait de côte est resté stable. Le recul sur cette plage de 5,7 m est moindre comparativement au recul (10,4 m) du profil précédent (P2) de la période allant de juillet à septembre 2008. A partir de septembre 2008, l'estran entame un engraissement. Cette dernière étape se poursuit jusqu'en mars 2009 et se matérialise par la formation d'une berme de 19,4 m située à 35 m du repère (Photo 2). Le bilan des mouvements sédimentaires est négatif sur ce site. Le recul global au P1 est 10,4 m sur les 2 années d'étude allant de 2007 à 2009 (Figure 3).

Après cette période de forte houle, l'évolution des profils de P2 (Figure 3b) met en relief une alternance d'érosion et d'engraissement du haut vers le bas estran, aboutissant à une accentuation de sa concavité au mois de septembre 2008. Les mouvements sédimentaires sont presque en équilibre d'août 2007 à juillet 2008 autour d'un profil d'équilibre qui est celui d'octobre 2007. Ce segment de côte enregistre une importante évolution régressive de la ligne de rivage de 10,4 m entre juillet 2008 et septembre 2008. Il amorce ensuite une phase de ré-engraissement jusqu'en mars 2009 avec apparition d'une longue berme de 19 m située à 30 m du repère (Photo 2).

Bilan des sédiments déplacés

Le budget sédimentaire mobilisé sur la période d'étude montre l'impact morphogène important de l'arrivée des houles exceptionnelles. Nous enregistrons un volume supérieur au double enregistré sur 2 ans de la même zone, soit 3083 m³ contre 1427 m³ sur 2 ans (mars 2007-mars 2009). Les plages d'Azzureti sont érodées durant cette période marquée par le passage des houles de forte énergie, mais l'impact s'est limité au niveau des mi-et bas-estrans. En effet une analyse des volumes de sédiments déplacés et des réalités de terrain avec les levés topographiques montre que le volume de sédiments déplacés (érosion ou engraissement) n'est pas nécessairement en relation avec la mobilité du trait de côte.

DISCUSSION

Le trait de côte du cordon littoral d'Azzureti est resté stable avec l'arrivée des houles exceptionnelles d'août 2007 qui ont érodé dans l'ensemble une grande partie du littoral ivoirien. Les études ont montré (KONAN *et al.*, 2009; KONAN 2011; YAO *et al.*, 2010) que ces houles enregistrées sur les côtes ivoiriennes ont fait reculer le trait de côte de 15 m au phare de Port-Bouet, 18 m au Km 26, 6,8 m à Assinie et 2,3 m à Aforenou. A la différence du secteur d'Azzureti, le segment de plage de Mondoukou à Grand-Bassam est influencé par la tempête survenue le 14 août 2007. Ces houles exceptionnelles ont provoqué la disparition brusque d'une berme de 13 m, déraciné des cocotiers et menacé plusieurs rangées de cocotiers. Cette dynamique, bien spectaculaire, a imprimé un recul faible du trait de côte, de l'ordre de 1,5 m.

Aussi, avons-nous remarqué que sur une même station, les profils présentent des états différents, c'est-à-dire l'un érodé et l'autre engraisé durant la même période. Nous avons donc affaire à des cellules d'érosion, ou un déplacement des croissants de plage qui s'effectue d'ouest vers l'est suivant la direction dominante de la dérive littorale.

En effet, il arrive que les 3/4 des mouvements de sables ou de sédiments se déroulent seulement aux mi-estran et bas-estran sans faire bouger la ligne de rivage. Cependant, il est un indicateur appréciable de la tendance de la mobilité des sédiments sur une plage et d'une évolution probable du trait de côte.

Les travaux de recherche consacrés à la dynamique du littoral en Côte d'Ivoire ont montré la tendance évolutive des secteurs très sensibles à l'érosion comme les zones littorales de Grand-Lahou, Abidjan et Assinie (HAUHOUOT, 2000, 2008; ABE, 2005, TOURE *et al.*, 2012, N'DOUFOU 2012) liée aux aménagements qui ont ignoré certains événements essentiels (crise érosive) qu'on pourrait qualifier "d'exceptionnels" dans l'évaluation de cette tendance. Cette étude montre un secteur stable dans un contexte d'érosion avancée sur le segment de côte dont fait partie cette plage (Abidjan-Mondoukou) selon les études de KONAN (2012) et TOURE *et al.*, (2012).

CONCLUSION

La plage d'Azzureti qui a fait l'objet d'étude de la dynamique morpho-sédimentaire a révélé une plage relativement stable. Ce segment de côte, présente dans l'ensemble, une stabilité relative avec l'arrivée des événements exceptionnels, dans un contexte général d'érosion du littoral ivoirien, avec quelques submersions qui font balancer de temps en temps la ligne de rivage. Leur connaissance est donc indispensable aux aménagements littoraux. En dehors des houles exceptionnelles qui représentent une cause majeure d'instabilité de l'espace littoral et pré-littoral; cette partie du littoral ivoirien serait mieux indiquée pour les aménagements touristiques et des aménagements urbains.

REMERCIEMENTS

Nous voudrions exprimer nos sentiments de profonde gratitude pour l'attention et l'intérêt que Dr Bamba S. Barthélémy (Directeur du C.R.O, ex ORSTOM), Dr Abé Jacques (C.R.O), Prof. Jan Nyssen (Université de Gand) et Prof. André Ozer (Université de Liège) ont accordé à ce travail. Leurs remarques et suggestions nous ont permis d'améliorer le contenu de ce texte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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 Sc. Nat., Univ. Cocody (Côte d'Ivoire); 337 p.
- BRABANT M., 2003. – Maîtriser la topographie: Des observations au plan, 2^e édition Eyrolles, 539 p.
- DIABATÉ A. 1996 – Les conséquences de l'ouverture du canal de Vridi sur l'érosion géomorphologique du littoral : érosion et ensablement. *Cahiers de Géographie Tropicale*, 4 : 26-43.
- HAUHOUOT C., 2000. - Analyse et cartographie de la dynamique du littoral et des risques naturels côtiers en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat Unique, Université Nantes (France): 289p.
- HAUHOUOT C., 2008. – Morphologie et dynamique du trait de côte en Côte d'Ivoire in *Géographie du littoral de Côte d'Ivoire*. Eléments de réflexion pour une politique de gestion intégrée, CNRS-LETG UMR 6554, Géolittomer (France) et IGT-Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 37-50.
- KOFFI K. P., ABE J., S. BAKAYOKO, & BAMBA S., 1993. - Morphologie et hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Bandama» *J. Ivoir. Océanol. Limnol. Abidjan* 2, (2): 9-24.
- KONAN K. E, 2011. - Impacts des vagues géantes d'aout 2007 sur le cordon littoral ivoirien: cas du littoral d'Abidjan à Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). Mémoire de Master, Université Liège (Belgique), 60 p.
- KONAN K. E. 2012 - Etude morpho-dynamique et sensibilité aux événements "exceptionnels" du cordon littoral sableux ivoirien à l'est d'Abidjan (Abidjan-Aforenou), Thèse Unique de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, 206p.
- KONAN K. E., BAMBA S.B., ABE J., & AKA K., 2009. - Impact des tempêtes récurrentes sur le modèle du périmètre littoral de Vridi Port Bouet. *European Journal of Scientific Research*, 28, (2): 186-192.
- MARTIN L. (1977) - Morphologie, sédimentologie et paléogéographie au Quaternaire récent du plateau continental ivoirien. Trav. Doc. ORSTOM, 61, 266 p.
- N'DOUFOU G. H. C. 2012 - Contribution morpho-sédimentologique et exoscopique à l'évolution du secteur du littoral ivoirien entre Sassandra et Abidjan, Thèse Unique de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan; 190p.
- PASKOFF R., 1993. - Côtes en danger, collection. «Pratiques de la Géographie», Paris, Edition Masson, 250 p.
- ROBIN M., HAUHOUOT C., AFFIAN K., ANOH P., ALLA DELLA A. & POTTIER P. 2004 – Les risques côtiers en Côte d'Ivoire. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 3 : 298-314.
- TASTET J.P. 1987 - Effets de l'ouverture d'un canal d'accès portuaire sur l'évolution naturelle du littoral d'Abidjan (Afrique de l'ouest), Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, 41, 177-190.
- TASTET J.P., CAILLON L. & SIMON B., 1985. - La dynamique sédimentaire littorale devant Abidjan: Impact des aménagements. Université nationale de Côte d'Ivoire; PAA, 39 p.
- TOURE B., KOUAMÉ K. F., SOULEYE W., COLLET C., AFFIAN K., OZER A., RUDANT J. P. & BIÉMI J., 2012-L'influence des actions anthropiques dans l'évolution historique d'un littoral sableux à forte dérive sédimentaire: la baie de Port-Bouët (Abidjan, Côte d'Ivoire), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3 : 113-126.
- WOGNIN A.V., 2004. - Caractérisation hydrologique et sédimentologique de l'embouchure du fleuve Bandama. Thèse unique. Univ. Coc. Abidjan (Côte d'Ivoire); 195 p.
- YAO K.S., ABE J., BAMBA S.B., KONAN K.E. & AKA K. 2010. - Dynamique d'un périmètre littoral portuaire: la côte de San-Pedro, sud-ouest de la Côte d'Ivoire. *Paralia*, 3 : 2.2-2.1

Bibliographie en ligne

- Caractéristiques des houles (houlographe de Takoradi au Ghana), 2007: http://www.gloss-sealevel.org/data/africa_and_west_indian_ocean/#.UrlOvvu0uHc%C2%A0 (consulté le 13 décembre 2013).
- USGS, 2011: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map> (consulté le 10 septembre 2011).