

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HYDROLOGY

Open Access Online Journal of the International Association for Environmental Hydrology

VOLUME 27

2019

ESTIMATION DES PÉRIODES DE RETOUR DES HOULES DE TEMPÊTES SUR LE LITTORAL DE CÔTE D'IVOIRE

RETURN PERIOD ESTIMATION OF STORMS ON THE IVORIAN COASTLINE

Malé Gbêgbé¹
Kouadio Salomon Yao²
Apie Colette Akobé¹
Sylvain Mondé¹
Jacques Abé²

¹Département de Géosciences Marines UFR-STRM, Université Félix Houphouët-Boigny
²Centre de Recherches Océanologiques, Laboratoire de Physique et de Géologie Marine.

RÉSUMÉ

L'analyse des données de houles des projets ERA-40 et ERA-Intérim a permis de déterminer les périodes de retour des hauteurs significatives (T_r (Hs)) des houles de tempêtes sur le littoral ivoirien, à l'échelle d'un demi-siècle (1958-2015). La méthode utilisée est celle de la distribution statistique de Gumbel ou loi de Gumbel. Cette analyse a mis en évidence 56 événements de houles de tempêtes. Leurs hauteurs significatives varient entre 2,10 et 2,70 m. Elles proviennent principalement des directions sont Sud et Sud-Sud-ouest et leurs périodes moyennes oscillent entre 7 et 15 s. Les périodes de retour calculées montrent que 30 événements ont des périodes de retours (T_r (Hs)) inférieures à 5 ans, 16 événements ont des T_r (Hs) comprises entre 5 et 10 ans, 7 événements entre 10 et 20 ans et 3 événements ont des T_r (Hs) supérieures à 20 ans. L'évolution de leur durée coïncide avec celle des hauteurs significatives.

ABSTRACT

Waves data analysis collected from ERA-40 and ERA-Interim projects, were used to determine return periods off significant heights of storms on the Ivorian coastline during a half-century scale (1958-2015). Gumbel statistical distribution method was used. This study shows 56 events of storms. Their significant heights are between 2.10 and 2.70 m. Storms are originating from South and South-South-West and their average period varies between 7 and 15 s. The results of significant height return period estimation show that 30 events occur less than 5 years, 16 of them between 5 and 10 years, 7 between 10 and 20 years and 3 are more than 20 years. The trend of the time of return period is in line with the one of the significant height of storms.

INTRODUCTION

L'estimation des probabilités d'occurrences des fortes houles est un enjeu majeur pour les études des risques de submersions et de forte érosion du littoral (Andreewski *et al.*, 2014). En Côte d'Ivoire, comme un peu partout dans le Golf de Guinée, le climat de houle constitue l'une des principales causes des changements morphologiques du rivage et les conditions de fortes houles à la côte sont généralement synonymes de dégâts importants (érosion et submersions catastrophiques) (Koffi *et al.*, 2014; Konan *et al.*, 2016).

La connaissance des périodes de retour de ces événements apparaît donc primordiale pour les aménagements littoraux (ingénierie côtière, dimensionnement et sécurisation des ouvrages côtiers), mais également pour la prévention des risques littoraux.

Les études relatives aux événements passés de fortes houles sur le littoral ivoirien se limitent généralement à la caractérisation de leurs impacts.

Cet article se focalise également sur les événements de fortes houles. Indépendamment de l'analyse des impacts, il vise à définir les caractéristiques des houles de tempête sur le littoral ivoirien et déterminer leur période de retour, afin de mettre à la disposition des utilisateurs de cette frange littorale des éléments de prise de décision.

CADRE PHYSIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Situé en Afrique de l'Ouest, entre les longitudes 2°25' et 7°30' W et les latitudes 4°00' et 5°30' N, le littoral ivoirien s'étire sur environ 600 km, du Cap des Palmes (Liberia) à l'Ouest au Cap des Trois Pointes (Ghana) à l'Est.

Cette zone enregistrée, d'Ouest en Est, une variation lithologique des formations géologiques en contact avec l'océan déterminant ainsi deux types de côte géomorphologiquement distincts (figure 1). La côte de plateaux (côte de falaises vives ou mortes) caractérise la zone de socle à l'Ouest, de Tabou à Sassandra. C'est une côte rocheuse en échelon avec des promontoires constitués de formations précambriennes. La dynamique sédimentaire dans cette zone reste stable, en dehors du périmètre littoral portuaire de San-Pédro (Yao, 2012).

De Sassandra à l'extrême Est du littoral, la côte est sableuse. Les formations sédimentaires constituées de sables argileux du continental terminal (mio-pliocène) forment des falaises vives dans les environs de Fresco (Ouest de la passe lagunaire de Fresco). Ces falaises sont relayées, à l'Est de la passe, par les bas cordons sableux quaternaires de faible à forte extension qui isolent de l'océan les systèmes lagunaires. Cette zone apparaît la plus dynamique avec des points critiques à Grand - Lahou, Abidjan, Grand- Bassam et Assinie.

Dans l'ensemble, la côte ivoirienne est précédée d'une plateforme continentale relativement étroite avec un relief assez régulier. Elle est entaillée jusqu'à la côte, au niveau d'Abidjan, par un important canyon " le Trou-Sans-Fond" qui induit un point d'inflexion dans le tracé quasi rectiligne de la côte sableuse (Martin, 1977; Mondé, 1997; Abé, 2005).

Ces caractéristiques morphologiques exposent, par endroit, la côte à une énergie non négligeable des houles déferlantes. Ces houles abordent généralement la côte avec des directions Sud; Sud-Sud-ouest et accessoirement Sud-Sud-est. Leur angle d'incidence varie d'Ouest en Est. Il est de 45° à l'Ouest du littoral, 60° au Centre et de 85° à l'Est (Hinschberger, 1977) (Figure 1).

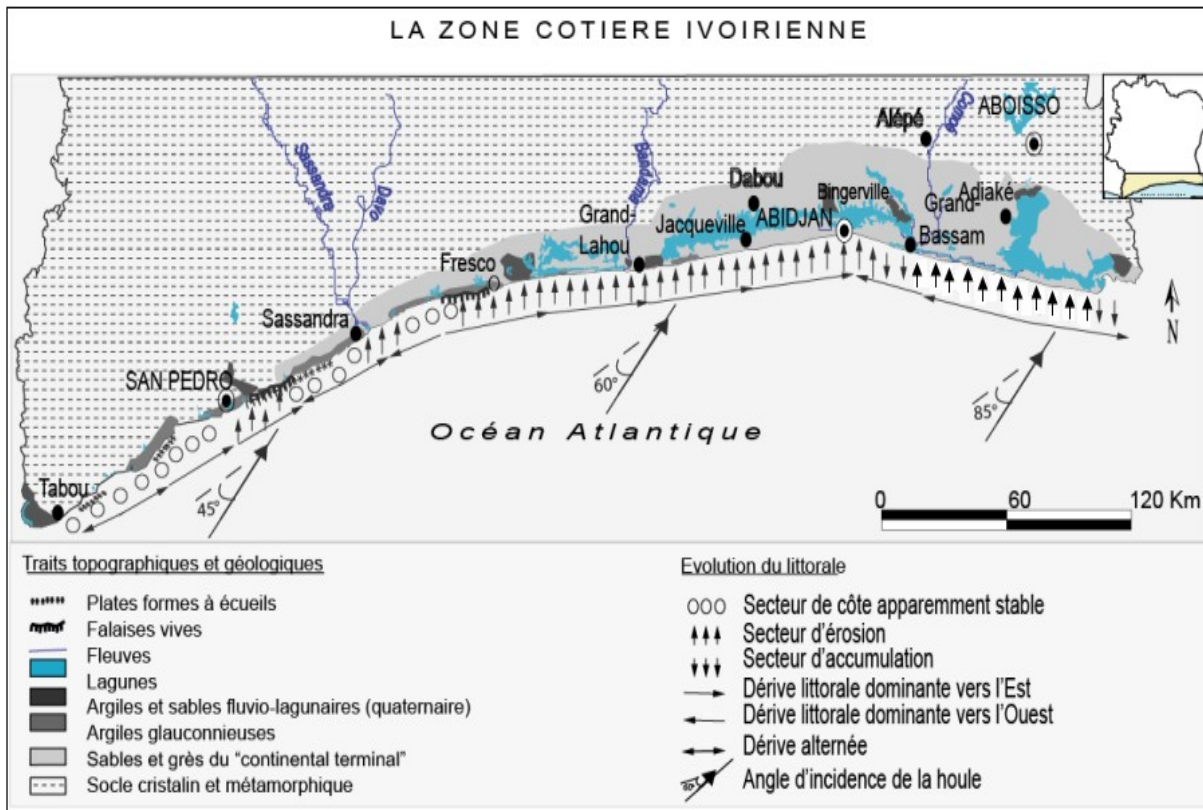


Figure 1. Caractéristiques géologiques et hydrodynamiques du littoral ivoirien (Hinschberger, 1977, modifié)

MATERIEL ET METHODES

DONNÉES DE HOULE

Les données utilisées pour le calcul des extrêmes et des périodes de retour des houles de tempêtes sur la côte ivoirienne sont issues des programmes ERA-40 et ERA-Intérim. Elles sont fournies par le Centre Européen pour la Prévision Météorologique à Moyen Terme (CEPMMT) et utilisées pour l'étude temporelle des caractéristiques (hauteurs significatives (H_s), périodes de pic (T_p) et directions de provenance (D_p) des houles qui déferlent sur la côte ivoirienne. Les pas de grille d'échantillonnage (longitude/latitude) sont respectivement de $1^\circ \times 1^\circ$ pour ERA-40 et de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ pour ERA-Intérim. Ces données sont exportées à partir du site), <http://www.ecmwf.int> puis filtrées et spatialement moyennées sur la surface comprise entre les longitudes $7^\circ 30' W$ et $2^\circ 25' W$ et les latitudes $4^\circ N$ et $6^\circ N$ à l'aide du logiciel MATLAB afin d'obtenir des données assimilables (série chronologique quadri horaires avec un pas de temps de 6 heures). Les points de prélèvement sont suffisamment situés au large de la côte (Sur fonds de 20 m) afin que la houle ne soit pas soumise aux effets locaux (gonflement et réfraction). Les valeurs de H_s , T_p et D_p sont moyennées dans la boîte $7^\circ 30' - 2^\circ 25' W \times 4^\circ - 5^\circ 30' N$ afin d'obtenir une série chronologique quadri journalière avec un pas de temps de 6 heures. La période prise en compte par notre étude s'étend du 01 janvier 1958 au 31 décembre 2015. La validité des données ERA-40 et ERA-Intérim réside dans le fait qu'elles se superposent aux données altimétriques AVISO extraites sur le site <http://www.Aviso.oceanobs.com> le long du littoral ivoirien (Figure 2). Les mesures de H_s de AVISO ont été validées par des comparaisons avec des données in situ, la plupart du temps dans

l'hémisphère Nord autour des côtes de l'Amérique du Nord et en Europe (Queffeuou, 2004; Abdalla *et al.*, 2008).

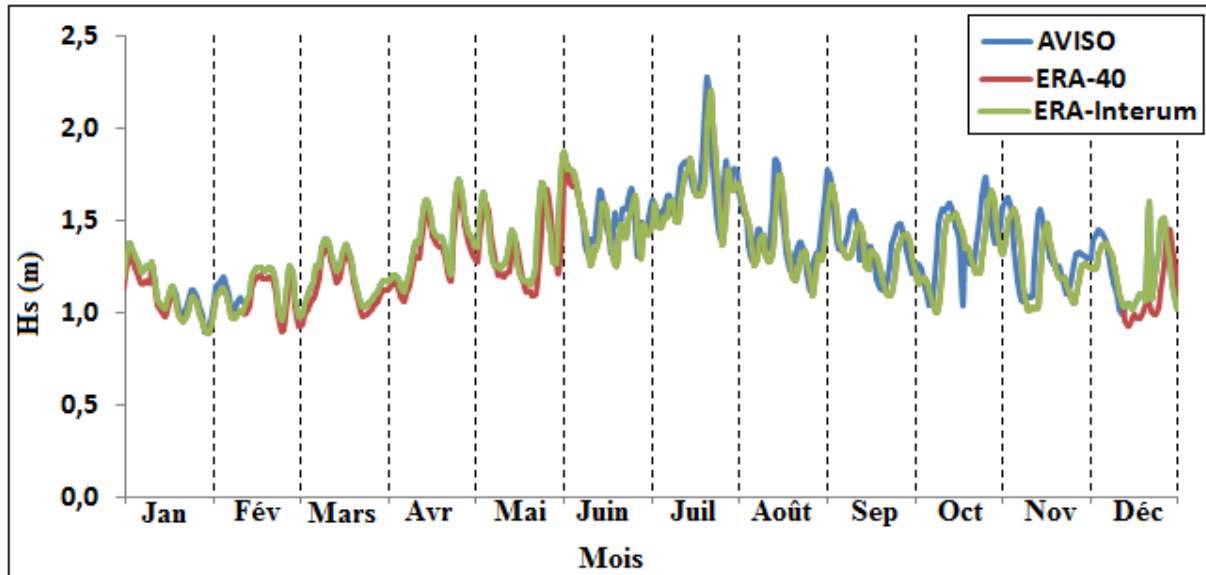


Figure 2. Corrélation entre les données AVISO, EAR-40 et ERA-Intérum de hauteurs significatives de houles en 1990 au large de la Côte d'Ivoire (Gbêgbé *et al.*, 2017, modifié)

METHODE DE CALCUL DES PERIODES DE RETOUR

L'analyse fréquentielle d'une longue série des valeurs maximales permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant (modélisant) le comportement statistique d'un processus Stochastique (Fréchet, 1928; Gumbel, 1960; Cook, 2011). Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

Différents modèles d'analyse des valeurs extrêmes ainsi que leurs périodes de retour notamment POT-Weibull, rmax-Weibull, log normal de distributions et rmax-Gumbel (Martucci *et al.*, 2010). La distribution log-normale peut être représentée par une distribution de rmax-Weibull avec un paramètre réglé à une valeur fixe.

Le modèle fréquentiel utilisé dans ce travail pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes est la distribution statistique rmax-Gumbel (loi double exponentielle ou loi de Gumbel). Nous optons pour cette loi car, la qualité du résultat issu de la méthode POT-Weibull/rmax-Weibull repose sur la définition du seuil de sélection de tempête. Or, bien qu'il existe un certain nombre de tests statistiques afin de guider le choix du seuil, cela reste souvent une décision subjective. L'ajustement d'une loi par la méthode rmax-Gumbel présente l'avantage d'être automatique et de ne pas laisser la place à la subjectivité. De même la méthode rmax-Gumbel permet un bon calage d'une loi paramétrique pour une durée de mesure supérieure à 20 ans (Kergadallan, 2013). La méthode de rmax-Gumbel choisit seulement les plus hautes vagues de l'ensemble de données (valeurs maximales pour chaque année). Ce qui fait d'elle une bonne candidate pour fournir des valeurs de retour des extrêmes plus réalistes (Martucci *et al* 2010).

La fonction de répartition $F(x)$ de la loi rmax-Gumbel est définie par l'expression :

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{x-a}{b}\right)\right] \quad (1)$$

Avec u la variable réduite suivante :

$$u = \frac{x-a}{b} \quad (2)$$

où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel; x la valeur du rang r dans la série des valeurs maximales des Hs classées par ordre croissant.

La distribution s'écrit alors de la manière suivante:

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad (3)$$

et

$$u = -\ln(-\ln(F(x))) \quad (4)$$

De nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition $F(x)$ à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang r . Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen :

$$F(x)_r = \frac{r-0.5}{n} \quad (5)$$

où r est le rang dans la série de données classées par ordre de valeurs croissantes, n est la taille de l'échantillon, $x_{[r]}$ la valeur de rang r .

Le temps de retour ou la période de retour (Tr) d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. La formule de calcul du temps de retour est:

$$Tr = \frac{1}{1 - F_H(x_H)} \quad (6)$$

RÉSULTATS

Caractéristiques des houles de tempêtes

Les houles de tempêtes observées au large de la côte ivoirienne ont des hauteurs significatives maximales comprises entre 2,10 et 2,70 m. Les périodes de pic moyennes de ces houles se situent entre 7 et 15 s. Par ailleurs, proviennent des directions Sud-Sud-est (SSE) et Sud-Sud-ouest (SSW) (Tableau 1). La durée des événements des houles de tempêtes enregistrés en Côte d'Ivoire varie entre 24 et 186 heures. La saison privilégiée des occurrences des houles de tempêtes sur le littoral ivoirien s'étend de mai à septembre. Cette période coïncide avec celle de l'intensification de la mousson ouest africaine favorable à la saison pluvieuse dans le Golfe de Guinée.

Périodes de retour des houles de tempêtes

L'analyse des valeurs des périodes de retour des houles de tempêtes (Tableau 1), au large du littoral ivoirien, met en évidence leur récurrence depuis 1958. On note, en outre, une succession des événements tempétueux, de quelques semaines voire quelques jours d'écart, au cours de la même année, depuis 1992. Il s'agit des périodes 1992-1993, 1996, 1998 - 2000, , 2002, 2006- 2007, 2009 et 2014-2015.

Tableau 1. Synthèse des événements de houles de tempêtes et de leur période de retour (Tr) sur la côte ivoirienne.

Date	Durée (h)	Hs Maxi (m)	Moyenne Tp (s)	Directions de provenance	Tr (ans)
01/08/1958	48	2,43	12,65	SSW	10-20
31/08/1959	36	2,15	12,27	SSW	2-5
11/09/1961	36	2,23	13,35	SSW	2-5
20/07/1962	36	2,20	12,88	SSW	2-5
03/09/1964	60	2,21	12,02	S	2-5
16/07/1965	48	2,18	12,73	SSW	2-5
15/06/1966	54	2,47	12,76	SSW	10-20
21/06/1967	12	2,11	9,78	SSW	1-2
16/06/1974	42	2,12	12,22	S	1-2
16/06/1977	36	2,24	14,13	SSW	2-5
19/05/1980	54	2,37	12,86	S	5-10
10/07/1984	30	2,35	7,46	SSW	5-10
20/07/1990	42	2,22	12,45	S	2-5
10/03/1992	18	2,10	12,47	S	1-2
14/04/1992	48	2,15	11,55	S	2-5
27/05/1992	36	2,10	12,52	S	1-2
27/05/1992	156	2,31	10,50	S	5-10
10/06/1992	186	2,70	12,95	S	50-60
22/06/1992	102	2,41	12,50	S	5-10
08/07/1992	156	2,44	12,49	S	10-20
16/04/1993	108	2,44	12,83	S	10-20
23/04/1993	54	2,44	12,63	SSW	10-20
01/07/1994	66	2,30	11,15	S	5-10
16/08/1995	54	2,31	14,04	SSW	5-10
02/07/1996	12	2,14	12,57	SSW	2-5
25/08/1996	54	2,53	13,52	SSW	10-20
14/09/1996	18	2,10	10,84	S	1-2
28/05/1997	48	2,33	10,83	S	5-10
20/05/1998	42	2,30	13,17	SSW	5-10
30/05/1998	24	2,21	12,72	SSW	2-5
20/07/1999	36	2,14	12,28	S	2-5
12/09/1999	56	2,31	11,3	S	5-10
24/07/2000	18	2,16	12,62	S	2-5
16/09/2000	90	2,28	11,34	S	5-10
03/08/2000	60	2,17	12,25	SSW	5-10
02/09/2000	12	2,10	12,61	SSW	1-2
03/06/2002	6	2,11	8,71	S	1-2
16/05/2002	30	2,10	11,66	S	1-2
21/05/2002	30	2,18	12,86	SSW	2-5
01/08/2002	12	2,10	9,19	SSW	1-2
16/08/2002	84	2,63	11,54	SSE	30-40
02/08/2003	30	2,19	12,22	SSW	2-5
11/10/2006	54	2,38	12,19	S	5-10
18/11/2006	12	2,12	13,31	SSW	1-2
26/06/2007	24	2,17	11,99	S	2-5
30/06/2007	42	2,24	11,99	SSW	2-5
12/08/2007	48	2,30	12,42	S	5-10
11/10/2007	24	2,13	11,77	SSE	2-5
06/05/2009	24	2,18	11,37	SSW	2-5
08/05/2009	18	2,13	12,29	SSW	2-5
24/08/2011	108	2,67	12,74	S	40-50
17/08/2012	48	2,32	12,01	S	5-10
07/08/2013	42	2,44	12,38	SSW	10-20
30/05/2014	42	2,41	13,08	SSW	5-10
25/08/2014	18	2,14	14,03	SSW	2-5
02/06/2015	90	2,34	11,11	S	5-10
27/06/2015	30	2,14	9,87	S	2-5

Trois grandes périodes de retour ont été déterminées:

- Houles de tempêtes de périodes de retour inférieures à 5 ans Les houles de tempêtes de périodes de retour inférieures à 5 ans ont des hauteurs maximales situées entre 2,10 et 2,30 m. Trente (30) événements de ce type ont été identifiés. Ces houles de tempêtes proviennent des directions Sud et Sud-Sud-ouest.

- Houles de tempêtes de périodes de retour comprises entre 5 et 10 ans

Les houles de tempêtes de périodes de retour comprises entre 5 et 10 ans ont des hauteurs significatives de 2,30 à 2,41 m. La direction de provenance dominante de ces houles est la direction Sud. Seize (16) événements ont été identifiés avec une récurrence à partir de 1994.

- Houles de tempêtes de périodes de retour supérieures à 10 ans

Ces événements peuvent être subdivisés en deux groupes : les houles de tempêtes de périodes de retour inférieures à 20 ans et celles de périodes de retour supérieures à 20 ans. Les hauteurs significatives des premières se situent entre 2,42 et 2,53 m alors que les hauteurs significatives des secondes sont comprises entre 2,54 et 2,70 m. Sept (7) houles de tempêtes de période de retour inférieure à 20 ans et trois (3) houles de tempêtes de périodes de retour supérieures à 20 ans ont été enregistrées. Les houles de tempêtes de périodes de retour inférieures à 20 ans proviennent principalement des directions Sud (S) et Sud-Sud-ouest (SSW) tandis que les houles de tempêtes de période de retour supérieures à 20 ans proviennent des directions Sud-Sud-est (SSE), Sud (S) et Sud-Sud-ouest (SSW). La hauteur significative centennale estimée est de l'ordre de 2,79 m.

DISCUSSION

Les directions de provenance des houles de tempêtes restent dans l'ensemble identiques à celles des houles déterminées par Tastet *et al.*, (1985) et Gbêgbé *et al.*, (2017). Les périodes de retour estimées dans cette étude sont des valeurs théoriques basées sur la loi d'ajustement statistique de Gumbel. Les valeurs des périodes de retour obtenues sont des indications qui devraient être utilisées avec beaucoup de circonspection, dans la mesure où les données sur lesquelles reposent le calcul des extrêmes ne prennent pas en compte les variations de niveau d'eau (marée, surcotes) et les courants locaux (disponibles à l'échelle pluri-décennales). Toutefois, la concordance des périodes de retour calculées avec l'avènement des houles de tempêtes entre 2011 et 2015 sur la côte ivoirienne, laisse présager une certaine fiabilité des estimations faites.

CONCLUSION

L'analyse des données de houles des programmes ERA-40 et ERA-Intérum (périodes, durées et directions) sur la période 1958-2015 en Côte d'Ivoire montre que les périodes moyennes des houles de tempêtes en Côte d'Ivoire se situent entre 7 et 14s, tandis que leurs durées sont comprises entre 12 et 186 heures. Les directions de provenance dominantes des houles de tempêtes du littoral ivoirien sont généralement le Sud et le Sud-Sud-ouest (SSW). La durée des périodes de retour des houles évolue dans le même sens que leurs hauteurs significatives. Les périodes de retour estimées varient de 2 à 5 ans pour les houles de tempêtes des hauteurs significatives comprises entre 2,10 et 2,30 m; de 5 à 10 ans pour les houles de tempêtes de hauteurs significatives situées entre 2,31 et 2,41 m. Les houles de tempêtes de hauteurs significatives oscillant entre 2,42 et 2,53 m et entre 2,54 et 2,70 m ont des périodes de retour respectives de 10 à 20 ans et de 20 à 60 ans.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abé, 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; 337 p.
- Abdalla S., Janssen, .P.A.E.M., Bidlot, J.R. (2008). Jason-2 OGDR vent et vagues produits: surveillance, de validation et d'assimilation. *Marine Géodésie* 33, Suppl. 1: 239-255.
- Andreevsky, M., Kergadallan, X., Bernardara, P., Benoit, M., Gaufres, P., Trmal, C. (2014). Comparaison de différentes méthodes d'estimation des niveaux extrêmes en site à fort et à faible marnage. DOI 10.1051/lhb/2014035. *La Houille Blanche*, n° 4, pp. 26-36.
- Cook N. (2011). Comments on Plotting Position in Extrem Value Analysis, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol.50, pp. 255-266.
- Fréchet, M. (1928). Sur les lois de probabilité de l'écart maximum. *Annales de la société polonaise de mathématique*, 6: pp. 93-122.
- Gbêgbé M., Yao K. S., Gbamlé BI .Y. A., Mondé S., Abé, J. (2017). Impact des houles pluri-décennales sur les grands épisodes érosifs du littoral de Côte d'Ivoire. *Bioterre, Rev. Inter. Sci. de la Terre*, Vol. 17, pp. 35-47.
- Gumbel, E.J. (1960). Distribution des valeurs extrêmes en plusieurs dimensions. *Inst.Statist. Univ. Paris*, 9: pp. 171-173.
- Hinschberger, F. (1977). Aspects et problèmes d'aménagement du littoral en Côte d'Ivoire *Cahier nantais*, 1977, n°13, pp. 51-63.
- Kergadallan, X. (2013). Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes : Environnement maritime et estuarien. 179 p.
- Koffi P., Hauhouot A.C., Yao K.S., Dangui N.P., Monde S., Aka K. (2014) Evolution à long terme (quarante dernières années) du trait de côte du périmètre littoral Est de Port-Bouët et projection d'une ligne de recul, *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement* n° 2, PP. 20-27.
- Konan E.K., Abe J., Aka K., Neumeier U., Nyssen J., Ozer, A. (2016). «Impacts des houles exceptionnelles sur le littoral ivoirien du Golfe de Guinée », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 22 – n° 1, pp 105-120.
- Lerma, N. A., Bulteau, T., Lecacheux, S., Idier, D. (2014). Période de retour des houles fortes le long des côtes françaises (Atlantique et Manche). XIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, jul 2014, Dunkerque, France. Editions Paralia CFL. 10p.
- Martin, L. (1977). Morphologie, sédimentologie, paléogéographie au Quaternaire du plateau continental ivoirien. *Travaux et document* n° 61, ORSTOM, Paris, 265 p.
- Martucci G., Carniel S., Chiggiato J., Sclavo M., Lionello P., et Galati M. B. (2010). Statistical trend analysis and extreme distribution of significant wave height from 1958 to 1999 – an application to the Italian Seas. *Ocean Sci.*, 6, pp.525–538.
- Mondé, S. (1997). Nouvelle approche de la cartographie du plateau continental de la Côte d'Ivoire : Aspect morphologiques et sédimentologiques. Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Abidjan, n°253, 175 p.

- Queffeuilou, P. (2004). Validation à long terme des mesures de la hauteur des vagues des altimètres. *Marine Géodésie* 27: 495-510.
- Tastet, J. P., Caillon, L., Simon, B. (1985). La dynamique sédimentaire littorale devant Abidjan : impact des aménagements. Contribution à la compréhension des phénomènes d'érosion et de sédimentation. *Rapp. Min., Marine, Abidjan*, 39 p.
- Yao K.S. (2012). Étude de la dynamique sédimentaire du littoral occidental ivoirien entre Tabou et Sassandra : Approches morpho-bathymétriques, sédimentologiques et exoscopiques. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, 197 p.
- Thiebot, J., LE Cozannet, G., Garcin, M., Pedreros, R., Desramaut, N., Delvalée, E., DE LA Torre, Y., Blangy, A., Oliveros, C. (2010). Caractérisation des états de mer extrêmes dans les environnements soumis à plusieurs régimes de vagues. XIèmes Journées Nationales Génies Côtier- Génie Civil. Les Sables d'Olonne, 22-25 juin. Editions Paralia CFL, pp.137-146.

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

Malé Gbêgbé
Département de Géosciences Marines
UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières
Université Félix Houphouët-Boigny
Abidjan, Cocody
Côte d'Ivoire
Email: malegbegbe@yahoo.fr