

Caractéristiques des hauteurs significatives et des périodes de retour des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée

[Significant storm swells heights and recurrence periods characteristics in the Gulf of Guinea]

Kouadio Salomon Yao¹, Anoumou René Tano², Malé Gbegbe³, Sylvain Monde³, and Jacques Abe¹

¹Laboratoire de Physique et de Géologie Marine, Centre de Recherches Océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Physique Fondamentale et appliquée, UFR Sciences Fondamentales et Appliquées (UFR-SFA) Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Énergétiques UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The statistical analysis of 58 years of observation of waves data from the ERA-40 and ERA-Interim programs, covering the period 1958-2015, were used to understand significant storm swells heights and recurrence periods characteristics in the Gulf of Guinea. Results show that the storm swells recorded in the Gulf of Guinea have significant heights between 2.10 and 3.10 m, while their periods are between 7 and 16 s. As for the main directions of origin, they are South and South-South-West on the West African coasts; South-South-West and South-West on the Cameroon coast in Central Africa. the application of Gumbel's theory reveals that the recurrence periods of storm swells are between 2 and 5 years, 5 and 10 years, 10 and 20 years, 20 and 40 years then between 40 and 60 years. These recurrence periods change from coast to coast. as do the estimated significant heights for different recurrence periods. in the last case, these heights also vary over time. the estimated significant storm swells heights of 100 years are of the order of 2.78 m in Côte d'Ivoire, 3.13 m in Ghana, 3.25 m in Togo, 3.22 m in Benin, 3.08 m in Nigeria and 2.91m in Cameroon.

KEYWORDS: Analysis, statistics, swell, storm, Gulf, Guinea.

RESUME: L'analyse statistique de 58 années d'observation des données de houles des programmes ERA-40 et ERA-Intérim, couvrant la période 1958-2015, a permis d'appréhender les caractéristiques des hauteurs significatives et des périodes de retour des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée. Elle révèle que les houles de tempêtes enregistrées dans le Golfe de Guinée ont des hauteurs significatives comprises entre 2,10 et 3,10 m, alors que leurs périodes de pic se situent entre 7 et 16 s. Quant aux directions de provenance principale, elles sont Sud et Sud-sud-ouest sur les côtes ouest africaines; Sud-sud-ouest et Sud-ouest sur la côte Camerounaise en Afrique centrale. Il ressort de l'application de la loi de Gumbel que les périodes de retour des houles de tempêtes sont comprises entre 2 et 5 ans, 5 et 10 ans, 10 et 20 ans, 20 et 40 ans puis entre 40 et 60 ans. Ces périodes de retour varient d'une côte à l'autre, tout comme les hauteurs significatives estimées pour différentes périodes de retour. Dans ce dernier cas, ces hauteurs varient également dans le temps. Les valeurs centennales sont de l'ordre de 2,78 m en Côte d'Ivoire, 3,13 m au Ghana, 3,25 m au Togo, 3,22 m au Bénin, 3,08 m au Nigéria et 2,91m au Cameroun.

MOTS-CLEFS: Analyse, statistique, houle, tempête, Golfe, Guinée.

1 INTRODUCTION

La détermination des caractéristiques des fortes houles et de leurs périodes de retour, est un enjeu majeur pour les études des risques de submersions marines et d'érosion du rivage. Dans le Golfe de Guinée, l'occurrence répétée des fortes houles constitue l'une des principales causes du fort taux de recul du trait de côte. Ces fortes houles sont donc généralement sources de dégâts importants dans la zone côtière (érosion et submersions catastrophiques) [1], [2], [3], [4], [5]. La mise en évidence des périodes de retour de ces événements apparait primordiale pour les travaux d'ingénierie côtière, le dimensionnement et la sécurisation des ouvrages côtiers ainsi que la prévention des risques littoraux.

Cet article vise à définir les caractéristiques des houles de tempête sur le littoral du Golfe de Guinée et à déterminer leur période de retour, afin de mettre à la disposition des utilisateurs de cette frange littorale des éléments de prise de décision.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le Golfe de Guinée est l'espace maritime et continental contiguë aux littoraux ouest-africains et centre-africains. Il s'étend sur la côte occidentale d'Afrique depuis le cap des Palmes (frontière du Libéria et de la Côte d'Ivoire), jusqu'au cap Lopez au Gabon (Afrique centrale).

Les pays du Golfe de Guinée choisis pour la présente étude sont: la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin, le Nigéria et le Cameroun (figure 1). Cette zone est située entre les longitudes 8°W et 10°E. Elle part du Cap des Palmes à la frontière ivoiro-libérienne et s'étend jusqu'à l'embouchure du fleuve Ntém à la frontière du Cameroun et de la Guinée Équatoriale. Les pays concernés par l'étude s'ouvrent tous vers le Sud sur l'océan Atlantique avec une longueur totale de côte estimée à près de 2 486 km. Cette aire dispose, par ailleurs, de 14 villes portuaires qui sont San-Pedro et Abidjan (Côte d'Ivoire), Accra, Sekondi-Takoradi et Téma (Ghana), Lomé (Togo), Cotonou (Bénin), Lagos, Warri, Calabar et Port Harcourt (Nigeria), Douala, Kribi et Limbé (Cameroun). Ces villes portuaires concentrent la majeure partie des infrastructures et des activités économiques des pays concernés par l'actuelle étude.

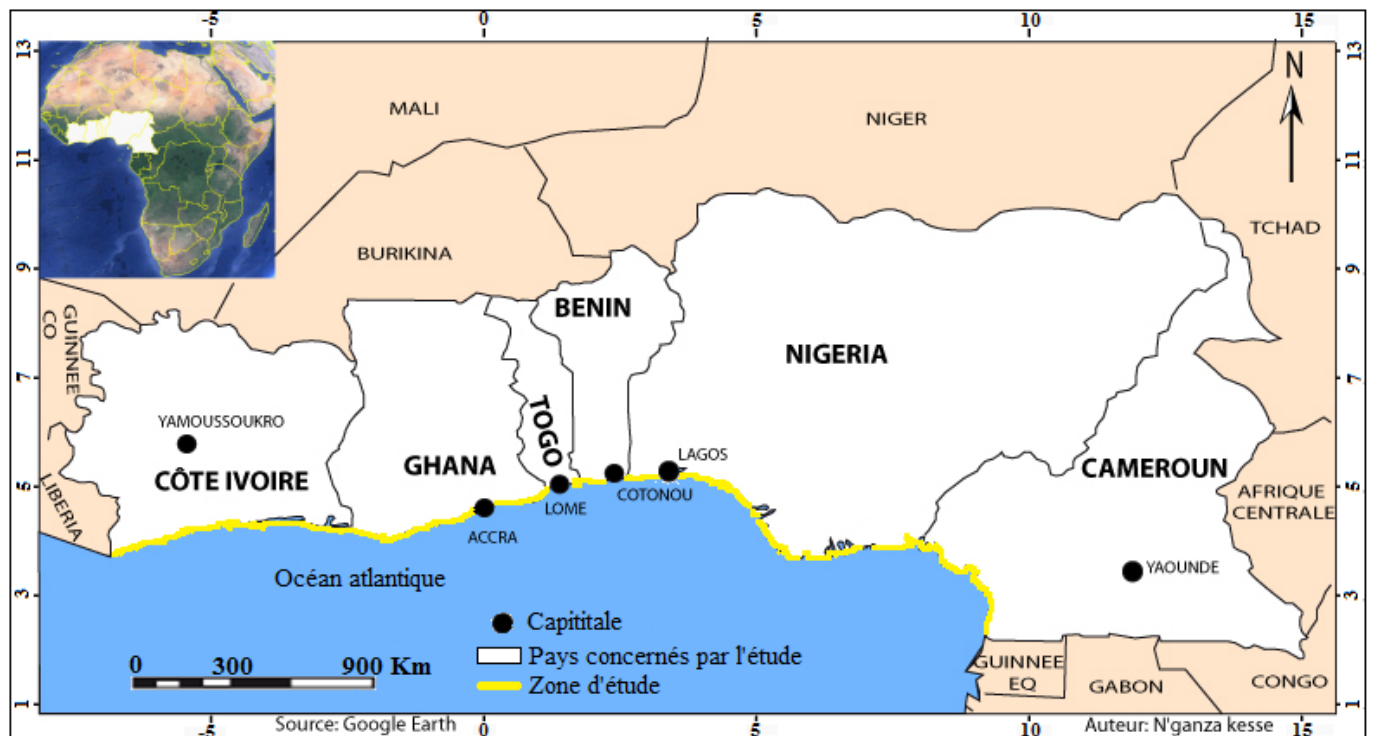


Fig. 1. Zone d'étude dans le Golfe de Guinée

2.2 DONNÉES DE HOULE

Les données de re-analyses ERA-40 et ERA-Intérim ont été utilisées pour le calcul des extrêmes et des périodes de retour des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée. Ces données proviennent du Centre Européen pour la Prévision Météorologique à Moyen Terme

(CEPMMT) et sont disponible sur le site, <http://www.ecmwf.int>. Elles sont utilisées pour l'étude temporelle des caractéristiques (hauteurs significatives (Hs), périodes de pic (Tp) et directions de provenance (Dp) des houles qui déferlent sur les côtes de la zone d'étude. Les pas de grille d'échantillonnage (longitude/latitude) sont respectivement de 1°x1° pour ERA-40 et de 1,5°x1,5° pour ERA-Intérim, avec des points de prélèvement situés suffisamment au large des côtes (sur fonds de 20 m). Les valeurs de Hs, Tp et Dp sont spatialement moyennées dans les boîtes 7°30'-2°25'W x 4°-5°30'N en Côte d'Ivoire; 2°25'-1°W x 4°-6° N au Ghana; 1°-1°5' W x 4°-6° N au Togo; 1°5'-3°5' W x 4°-6°N au Bénin, 9°30'-2°45'E x 1°37'-6°21'N au Nigéria et 8°29'-9°51'E x 4°07'-1°10'N au Cameroun, à l'aide du logiciel MATLAB, afin d'obtenir une série chronologique quadri journalière avec un pas de temps de 6 heures qui s'étend de janvier 1958 à 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 [6]. Aussi; les mesures de Hs de AVISO ont-elles 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 [7], [8].

2.3 MÉTHODE DE CALCUL DES PÉRIODES DE RETOUR ET D'ESTIMATION DES HAUTEURS SIGNIFICATIVES

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 [9], [10], [11]. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

Il existe plusieurs modèles d'analyse des valeurs extrêmes ainsi que leurs périodes de retour; notamment POT-Weibull, rmax-Weibull, rmax-Gumbel et la distribution log-normale qui peut être représentée par une distribution de rmax-Weibull avec un paramètre réglé à une valeur fixe [12].

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. Ainsi, l'ajustement d'une loi par la méthode rmax-Gumbel présente l'avantage d'être automatique et ne fait pas de place à la subjectivité. En plus, la méthode rmax-Gumbel permet un bon calage d'une loi paramétrique pour une durée de mesure supérieure à 20 ans [13]. Elle permet aussi, de faire des prévisions de qualité, de plus de 100 ans, pour une période d'observations de 25 ans [14]. Cette méthode choisit seulement les plus hautes vagues de l'ensemble de données (valeurs maximales pour chaque année) permettant ainsi de fournir des valeurs de retour des extrêmes plus réalistes [12].

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

$$F(x) = \exp[-\exp(-(x-a)/b)] \quad (1)$$

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, avec u la variable réduite suivante:

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

La distribution s'écrit alors de la manière suivante:

$$F_x = \exp[-\exp(-u)] \quad (3)$$

$$\text{Et : } u = -\ln[-\ln(F(x))] \quad (4)$$

Il existe 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 croissant, n la taille de l'échantillon et 0,5 la constante d'Euler.

Le temps de retour ou la période de retour (T_r) d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Il a pour expression:

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

Les hauteurs significatives de la houle sont calculées à partir de la formule suivante:

$$H = a + b.u \quad (7)$$

a et b sont les paramètres de la loi de Gumbel

u: variable réduite de Gumbel

2.4 TESTS STATISTIQUES JUSTIFIANT LE CHOIX DE LA LOI DE GUMBEL

Le choix de la loi de Gumbel repose sur la détermination d'un intervalle de confiance. Par définition, l'intervalle de confiance est l'intervalle de valeurs qui contient toutes les valeurs qui sont des valeurs acceptables de la vraie valeur de la moyenne ou de la proportion pour un degré de confiance donné.

Dans cette étude, l'analyse statistique portera sur un niveau ou degré de confiance de 95 %. L'intervalle de confiance (IC) à 95% est un intervalle de valeurs qui a 95% de chance de contenir la vraie valeur du paramètre estimé. La loi de Gumbel est donc retenue si, 95% des valeurs maximales des houles observées sont incluses dans les intervalles de confiances déterminés. L'intervalle de confiance est calculé par la méthode delta. La formule qui permet de l'estimer, s'écrit:

$$IC = [\mu \pm 1,96 \sqrt{Var(X)}] \quad (8)$$

Avec : μ : la moyenne; $Var(X)$: la variance; 1,96 est la constance qui permet d'obtenir probablement 95 % des valeurs estimées.

Par ailleurs, la loi de Gumbel peut être retenue pour le calcul des périodes de retour des houles lorsque, la droite d'ajustement graphique de loi de Gumbel (de représentation graphique des valeurs maximales observées), ne présente pas de queues de distribution. En d'autres termes, lorsque la droite d'ajustement graphique passe par au moins un des quatre derniers points de la représentation graphique des maxima annuels observés [13], [14].

Du fait de la complexité des mesures de hauteurs des vagues, une incertitude doit être considérée pour les différents calculs.

La marge d'erreur dans l'intervalle de confiance est définie par l'expression:

$$Mae = 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

avec: σ l'écart type et n la taille de l'échantillon.

3 RÉSULTATS

3.1 FIABILITÉ DE LA MÉTHODE UTILISÉE

Les bornes des intervalles de confiances et les marges d'erreur calculées sont consignées dans le tableau 1 ci-dessous. Les intervalles à l'intérieur desquels, on est certain de trouver à 95 % les valeurs exactes des hauteurs significatives maximales observées pendant les événements de houles de tempêtes sont [1,76; 2,54] en Côte d'Ivoire, [1,65; 2,78] au Ghana, [1,72; 2,90] au Togo, [1,72; 2,90] au Bénin, [1,61; 2,72] au Nigéria et [1,72; 2,60] au Cameroun.

Dans chacune des zones, 95% des valeurs maximales des hauteurs significatives enregistrées pendant les événements de houles de tempêtes sont à l'intérieur des différents intervalles de confiance déterminés. Ceci nous permet d'opter pour le choix de la loi de Gumbel.

En outre, l'ajustement graphique de la loi de Gumbel corrobore l'intervalle de confiance mentionné ci-dessus (figure 2). Il montre un nombre plus important d'observations à l'intérieur de l'IC à 95%. L'ajustement graphique du modèle ne présente pas de queue de distribution empirique. Trois des quatre derniers points appartiennent à la droite d'ajustement de la loi de Gumbel. Par conséquent, le modèle statistique de Gumbel est donc approprié pour estimer les périodes de retour des hauteurs significatives maximales observées au cours des événements de houles de tempêtes.

Tableau 1. Bornes des intervalles de confiance déterminées par la méthode delta

Zone	Moyenne (μ)	Variance (σ^2)	Borne inférieure IC à 95% (m)	Borne supérieure IC à 95% (m)	Marge d'erreur (Mae)
Côte d'Ivoire	2,15	0,04	1,76	2,54	$\pm 0,05$
Ghana	2,22	0,08	1,65	2,78	$\pm 0,07$
Togo & Benin	2,31	0,09	1,72	2,90	$\pm 0,07$
Nigéria	2,17	0,08	1,61	2,72	$\pm 0,07$
Cameroun	2,16	0,05	1,72	2,60	$\pm 0,05$

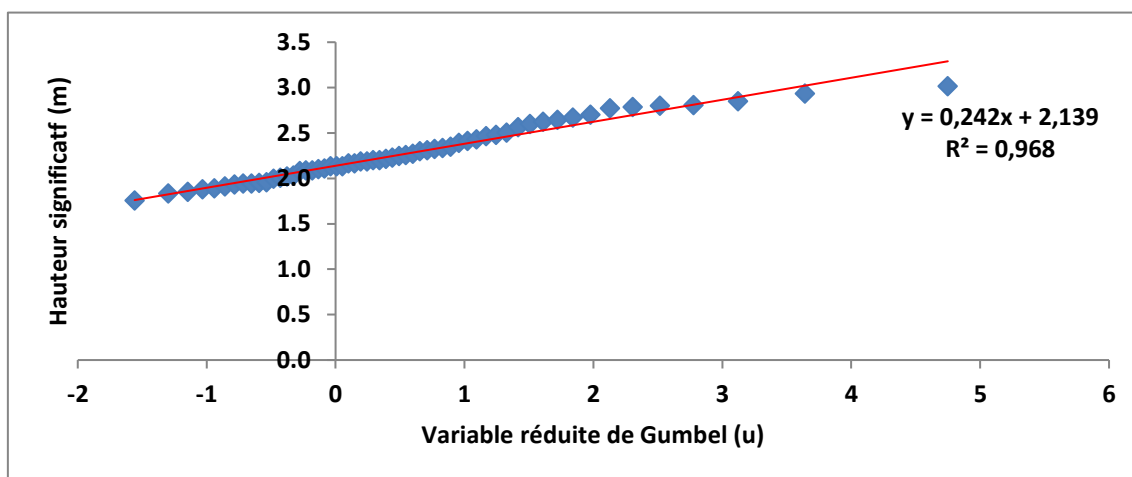


Fig. 2. Ajustement graphique du modèle de Gumbel

3.2 CARACTÉRISTIQUES DES HOULES DE TEMPÊTES

Les houles de tempêtes observées au large des côtes du Golfe de Guinée ont des hauteurs significatives comprises entre 2,10 et 3,10 m. Les périodes de pic moyennes de ces houles se situent entre 7 et 16 s. Elles proviennent généralement des directions Sud (S) et Sud-sud-ouest (SSW) sur les côtes ouest africaines et des directions Sud-sud-ouest (SSW) et Sud-ouest (SW) au Cameroun en Afrique centrale. La durée des événements de houles de tempêtes enregistrée dans le Golfe de Guinée varie entre 18 heures et 3 jours. La saison privilégiée des occurrences des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée 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.

En Côte d'Ivoire, les valeurs maximales des Hs des événements de houles de tempêtes observés au large de la côte se situent entre 2,1 et 2,27m; 2,28et 2,41 m; 2,42et 2,50 m; 2,51 et 2,70 m. Les périodes de retour de ces événements de houles de tempêtes sont comprises respectivement entre 2 et 5 ans, 5 et 10 ans, 10 et 20 ans puis entre 30 et 60 ans.

Au Ghana, ces valeurs sont comprises entre 2,12 et 2,37m; 2,43 et 2,60 m; 2,61 et 2,68 m puis entre 2,83 et 2,95 m pour les périodes de retour qui se situent entre 2 et 5 ans; 5 et 10 ans; 10 et 20 ans et entre 20 à 40 ans.

Au Togo et au Bénin, les périodes de retour observées au Ghana caractérisent respectivement les valeurs des hauteurs significatives maximales des événements de fortes houles enregistrées. Ces valeurs se situent entre 2,10 et 2,50 m; 2,51 et 2,58m; 2,62 et 2,81 m et 2,85 et 3,10 m.

Au large de la côte nigériane, les hauteurs significatives maximales observées sont comprises entre 2,10 et 2,29; 2,30et 2,55 m et 2,60 et 2,70 m, puis de 2,71 et 2,84 m pour des périodes de retour comprises entre 2 et 5 ans; et 5 et10 ans; 10 et 20 ans puis entre 20 et 30 ans.

Sur la côte camerounaise, les maxima des hauteurs significatives observées au cours des événements de houles de tempêtes, se situent entre 2,10 et 2,35 m; 2,36 et 2,59 m et entre 2,60 et 2,61 m. Les périodes de retour calculées au large de la côte camerounaise sont comprises entre 2 et 5 ans,5 et 10 ans, 10 et 20 ans.

Dans l'ensemble, l'analyse des périodes de retour des houles de tempêtes observées suggère que chaque deux ans, l'on peut s'attendre à un événement de houle de hauteur significative supérieure à 2,10 m. Aussi, les occurrences interannuelles de ces houles

permettent de définir deux périodes distinctes. La période 1958-1991, est caractérisée par des faibles taux d'apparition des houles de tempêtes. Celle de 1992-2015 est marquée par une recrudescence des houles de tempêtes avec une augmentation de leur fréquence annuelle et de leur intensité de 2001 à 2015 (figures 3 et 4).

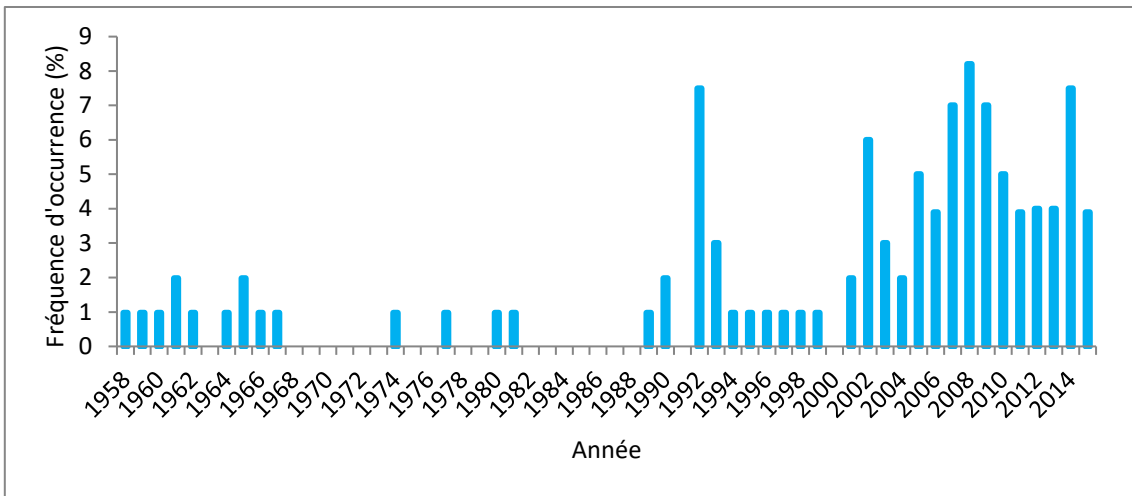


Fig. 3. Fréquence d'occurrence interannuelle des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée

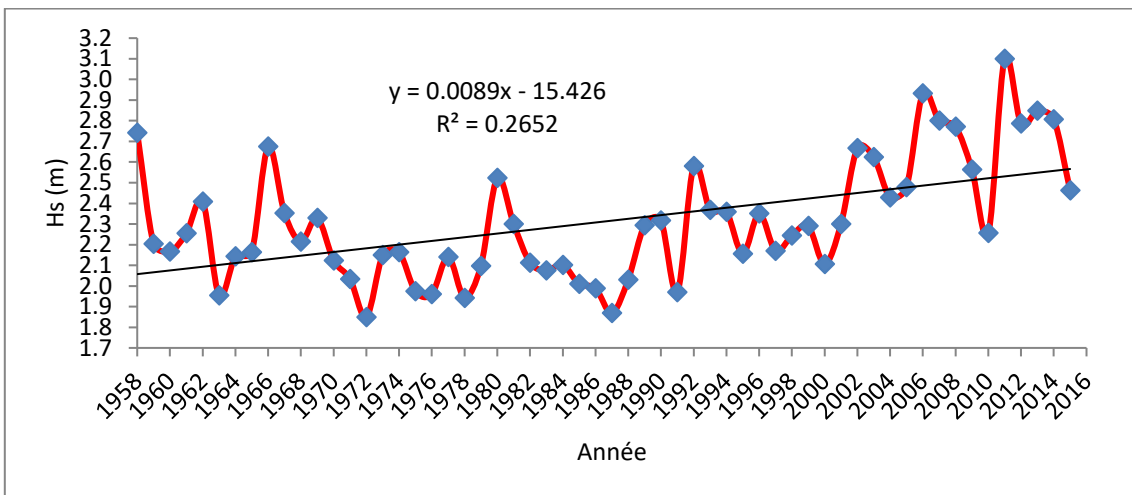


Fig. 4. Variation des hauteurs significatives maximales annuelles des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée

3.3 HAUTEURS SIGNIFICATIVES ESTIMÉES DES HOULES DE TEMPÊTES DANS LE GOLFE DE GUINÉE

Les hauteurs significatives (Hs) sont estimées par la relation linéaire définie par l'équation 7. Les valeurs des différents temps de retour estimés sont contenues dans le tableau 2 ci-après.

L'analyse des valeurs maximales des hauteurs significatives estimées sur les différentes côtes du Golfe de Guinée montre que les maximas qui ont des périodes de retour faibles sont de l'ordre de 2,10 m en Côte d'Ivoire, au Nigéria et au Cameroun. Ils sont de l'ordre de 2,13 m, au Ghana, 2,16 m au Togo et 2,18 m au Bénin. Ces valeurs constituent les valeurs des hauteurs significatives auxquelles on peut s'attendre chaque année sur ces côtes. Ces maxima évoluent progressivement dans le temps pour les périodes de retour annuelles de 1 à 5 ans puis décennales de 10 à 100 ans.

Les hauteurs significatives centennales estimées sont 2,78 m, 3,13 m, 3,25 m, 3,22 m, 3,08 m et 2,91 m respectivement en Côte d'Ivoire, au Ghana, au Togo, au Bénin, au Nigéria et au Cameroun. Les valeurs des Hs maximales les plus élevées s'observent au Togo pour les différentes périodes de retour, alors que les valeurs les plus faibles s'observent en Côte d'Ivoire.

Tableau 2. Estimation des valeurs extrêmes des houles de tempêtes pour différentes périodes de retour dans le Golfe de Guinée

Période de retour (en année)	Hauteurs significatives estimées (m)					
	Côte d'Ivoire	Ghana	Togo	Bénin	Nigéria	Cameroun
100	2,78	3,13	3,25	3,22	3,08	2,91
90	2,77	3,11	3,23	3,2	3,06	2,89
80	2,75	3,08	3,2	3,17	3,03	2,87
70	2,73	3,05	3,17	3,14	3,01	2,85
60	2,71	3,02	3,13	3,1	2,96	2,82
50	2,68	2,98	3,08	3,06	2,92	2,78
40	2,64	2,92	3,03	3	2,87	2,74
30	2,6	2,86	2,96	2,94	2,8	2,69
20	2,53	2,76	2,86	2,85	2,71	2,61
10	2,42	2,6	2,68	2,69	2,55	2,47
5	2,3	2,42	2,5	2,52	2,38	2,33
4	2,26	2,36	2,44	2,46	2,32	2,29
3	2,2	2,29	2,36	2,38	2,24	2,22
2	2,12	2,16	2,23	2,26	2,12	2,12
1	2,10	2,13	2,16	2,18	2,10	2,10

4 DISCUSSION

Les hauteurs significatives des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée varient dans l'ensemble d'une côte à l'autre. Cette variation pourrait être attribuée à la variation des conditions locales, notamment le régime de marée et des vents. L'analyse des événements de houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée montre une augmentation de leur fréquence et de leur intensité en Afrique de l'Ouest sur la période 1990-2015. Ces résultats confirment ceux de [15], [16] qui indiquent une augmentation de la fréquence et de la durée des événements houlographiques en Afrique de l'Ouest. Ces auteurs attribuent cette augmentation aux événements extrêmes, notamment les épisodes de précipitations intenses, les dépressions et les tempêtes tropicales, en relation avec le réchauffement climatique global. L'augmentation du nombre d'événements des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée serait donc la conséquence de la recrudescence des cyclones dans l'Atlantique Sud. En effet, les travaux de [17] relatifs au climat de houle, ont montré que l'augmentation du nombre de cyclones de catégorie 4 dans l'hémisphère nord suite au réchauffement climatique global, a entraîné la recrudescence des houles de tempêtes sur les côtes de l'Atlantique nord.

Le raccourcissement des temps de retour des houles de tempêtes dans le Golfe de Guinée ces dernières années serait ainsi dû à la recrudescence des cyclones dans l'Atlantique sud. Ce fait est favorable à l'augmentation de la vitesse du recul du trait de côte observée dans le Golfe de Guinée au cours de ces dernières décennies.

Par ailleurs, la fiabilité des résultats du calcul de périodes de retour par la loi de Gumbel repose sur le fait que 95% des valeurs maximales des hauteurs de houles observées sur la période d'étude se trouvent à l'intérieur des intervalles de confiance déterminés. Aussi, l'ajustement graphique de la loi de Gumbel ne présente-t-elle pas de queues de distribution empirique. Ces résultats corroborent ceux de [14].

5 CONCLUSION

La loi de Gumbel apparaît la méthode statistique la mieux indiquée pour le calcul des périodes de retour des houles de tempête dans le Golfe de Guinée.

Ces houles de tempêtes qui déferlent sur les côtes du Golfe de Guinée proviennent des directions Sud (S) et Sud-sud-ouest (SSW) sur les côtes ouest africaines et des directions Sud-sud-ouest et Sud-ouest sur la côte camerounaise en Afrique centrale. Elles ont des amplitudes comprises entre 2,10 et 3,01m et leurs périodes de retour varient entre 2 et 60 ans.

L'analyse de la fréquence d'occurrence de ces houles a permis de définir deux périodes distinctes dans le Golfe de Guinée: la période 1958-1991 caractérisée par des faibles fréquences d'occurrences de houles de tempêtes et la période 1992-2015 marquée par des fréquences d'apparitions annuelles élevées. Les houles de tempêtes observées sur les côtes ivoirienne, nigériane et camerounaise ont des effectifs moins élevés que celles observées sur les côtes ghanéennes, togolaise et béninoise.

Les estimations des hauteurs significatives maximales pour différentes périodes de retour indiquent une variabilité spatio-temporelle des valeurs de H_s . Les valeurs les plus élevées s'observent au Togo tandis que les plus faibles sont observées en Côte d'Ivoire.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos profondes gratitude au Laboratoire de Physique Fondamentale et appliquée de l'Université Nangui Abrogoua et au Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques de l'Université Félix Houphouët-Boigny, pour leur collaboration, l'attention et l'intérêt qu'ils ont accordés à ce travail.

REFERENCES

- [1] J. P. Tastet, L. Caillon, B. Simon, 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., 1985.
- [2] A Osinowo, E C Okogbue, EO Eresanya., OS Akande, Extreme significant wave height climate in the Gulf of Guinea, African Journal of Marine Science, 40: 4, pp. 407-421, 2018.
- [3] Ph. Koffi, A. C. Hauhouot, K. S. Yao, N.P. Danguï, S. Monde, K. Aka. 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, 2014.
- [4] E.K. Konan, J. Abe, K. Aka, U. Neumeier, J. Nyssen, A. Ozer « Impacts des houles exceptionnelles sur le littoral ivoirien du Golfe de Guinée », Géomorphologie: relief, processus, environnement, vol. 22 – n° 1, pp 105-120, 2016.
- [5] K. S. Yao, N. P. Danguï, M. Gbegbe, J. Abe Caractéristiques du climat de houle au large de la côte ivoirienne entre 1985 et 2015: impacts sur l'évolution morphodynamique du rivage. XV èmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, La Rochelle, 29 - 31 mai 2018, DOI: 10.5150 / jngcgc.2018.035 © Editions Paralia CFLg, 2018, disponible en ligne – <http://www.paralia.fr> – available online.
- [6] E. Toualy, A. Aman, Ph. Koffi, F. Marin, T.E. Wango. Ocean swell variability along the northern coast of the Gulf of Guinea. African Journal of Marine Science. 37 (3). pp. 353- 361, 2015.
- [7] P. Queffeuilou Validation à long terme des mesures de la hauteur des vagues des altimètres. Marine Géodésie 27: 495-510, 2004.
- [8] S. Abdalla, P.A.E.M Janssen, J.R. Bidlot. Jason-2 OGDR vent et vagues produits: surveillance, de validation et d'assimilation. Marine Géodésie 33, Suppl. 1: 239-255, 2008.
- [9] M. Fréchet Sur les lois de probabilité de l'écart maximum. Annales de la société polonaise de mathématique, 6: pp. 93-122; 1928.
- [10] E. J. Gumbel Distribution des valeurs extrêmes en plusieurs dimensions. Inst. Statist. Univ. Paris, 9: pp. 171-173, 1960.
- [11] N. Cook Comments on Plotting Position in Extrem Value Analysis, journal of Applied Meteorology and Climatology, vol.50, pp. 255-266, 2011.
- [12] G. Martucci, S. Carniel, J. Chiggiato, M. Sclavo, P. Lionello, et M. Galati B. 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, 2010.
- [13] X. Kergadallan Analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes: Environnement maritime et estuarien. 179 p., 2013.
- [14] M. Andreevsky, X. Kergadallan, P. Bernardara, M. Benoit, P. Gaufres, C. Trmal 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, 2014.
- [15] X. Wang, F. Zwiers, V. Swail North Atlantic Ocean wave climate scenerios for the twenty-first century. Journal of climate, 17: 12 p, 2004.
- [16] S. Caires, V. Swail, X. Wang Projection and analysis of extreme wave climate. Journal of climate, 19 (21): pp. 5581-5605, 2006.
- [17] P. J. Webster, G. J. Holland, J. A. Curry, A. R. Chang. Changes in tropical cyclone number, duration, and - intensity in a warming environment, Science, Vol. 309. no. 5742. pp. 1844 – 1846, 2005.