

Effets du réchauffement climatique sur les paramètres de houle au large de la Côte d'Ivoire entre 1985 et 2022

Effects of global warming on wave parameters of Côte d'Ivoire between 1985 and 2022.

¹DANGUI Nadi Paul

Résumé

Les forçages du vent, de la marée et de la houle définissent pour l'essentiel l'hydrodynamique des systèmes littoraux. Sur la côte ivoirienne, le marnage se réduit à quelques décimètres. La dynamique des sédiments est principalement impulsée par un régime de houle. L'étude du régime de houle est donc indispensable pour la compréhension de l'évolution morphologique des plages. A cet effet, l'objectif de cet article est d'étudier l'impact du réchauffement climatique sur les paramètres de houle le long de la zone côtière de la Côte d'Ivoire entre 1985 et 2022. Les données relatives aux paramètres, fournis par le Centre Européen de Prévision à Moyen Terme (CEPMMT), ont été analysées au moyen de méthodes statistiques en vue de montrer l'impact du réchauffement climatique sur le climat des vagues le long de la côte Ivoirienne. Les résultats montrent que la variabilité interannuelle des paramètres de houle de 1985 à 2022 est caractérisée par une extension des fortes houles ($2 \text{ m} < \text{HS}$) d'avril à octobre avec de fortes fréquences et de nouvelles directions. Sur les 37 ans d'observation (de 1985 à 2022), les proportions de houles très fortes ou exceptionnelles varient de 0 % à 8% soit une moyenne annuelle de 0,21%. Les pourcentages de houle de longue fréquence demeurent faibles (0 % à 1%) de 1985 à 2022 pour une moyenne annuelle de 0,03%. Les houles de direction ouest varient de 0% à 3,46% avec une moyenne annuelle de 0,09%. Les effets du réchauffement climatique sur la dynamique des littoraux sont avérés par l'amplification des houles exceptionnelles qui sont à l'origine du recul brutal du trait de côte.

Mots-clefs : Côte Ivoire ; Forçage ; Houle, Réchauffement climatique.

Abstract

The forcings of wind, tide and swell essentially define the hydrodynamics of coastal systems. On the Ivorian coast, the tidal range is reduced to a few decimeters. The dynamics of the sediments are mainly driven by a wave regime. The study of the swell regime is therefore essential for the understanding of the morphological evolution of beaches. To this end, the objective of this article is to study the impact of global warming on swell parameters along the coastal zone of Côte d'Ivoire between 1985 and 2022. Parameter data, provided by the European Centre for Medium-Range Forecasting (ECMWF), were analysed using statistical methods to show the impact of global warming on the wave climate along the Ivorian coast. The results show that the interannual variability of wave parameters from 1985 to 2022 is characterized by an extension of strong swells ($2 \text{ m} < \text{HS}$) from April to October with high frequencies and new directions. Over the 37 years of observation (from 1985 to 2022), the proportions of very strong or exceptional swells vary from 0% to 8%, i.e. an annual average of 0.21%. The percentages of long-frequency swells remain low (0% to 1%) from 1985 to 2022 for an annual average of 0.03%. The westerly swells vary from 0% to 3.46% with an annual average of 0.09%. The effects of global warming on coastal dynamics are evidenced by the amplification of exceptional swells which are at the origin of the sudden retreat of the coastline.

Keywords: Côte Ivoire; Forcing; Shoe, Global warming.

Introduction

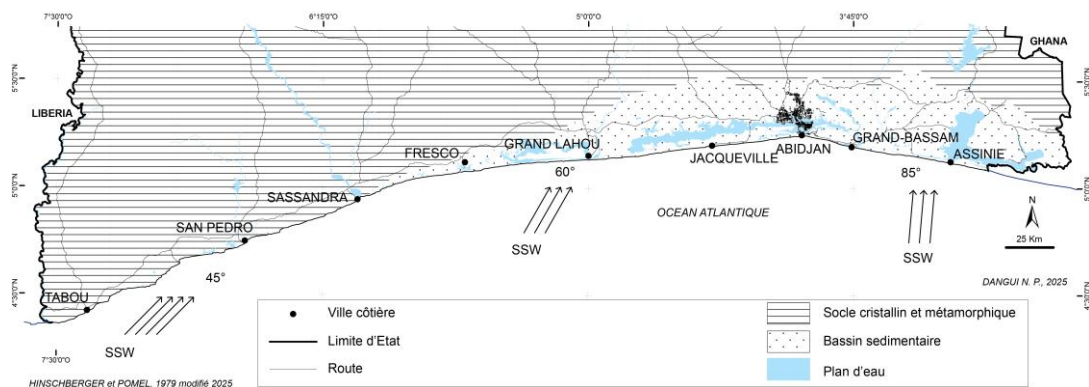
La surface des mers et des océans est agitée en permanence par les vagues et la houle faisant varier son niveau de quelques centimètres à plusieurs mètres. Le constat actuel est qu'il apparaît souvent des vagues violentes (I. YOUNG et A. RIBAL ; 2019, p 548) qui perturbent l'équilibre du littoral à travers les phénomènes d'érosion côtière et de submersions marines

En Afrique de l'Ouest, les submersions marines et l'érosion côtière affectent annuellement plus de 500000 riverains de la ligne de côte et détruisent des infrastructures et des activités côtières et des villages entiers. En Côte d'Ivoire, on enregistre des pertes des infrastructures hôtelières, routières et d'habitations dues au recul brutal du trait de côte (K. N'GANZA ; 2021 p. 180). A cela s'ajoute l'inondation temporelle des villages et l'intrusion saline due au déversement de l'eau de mer dans les lagunes. Au cours de ces dernières années, l'on a assisté à l'accentuation de la dégradation de la zone côtière (N. P. DANGUI, 2011 p201;) en raison de l'intensification de ces vagues énergétiques le long de la côte. L'objectif de cet article est d'étudier l'évolution des paramètres de houle incluant la hauteur significative, la période et la direction sur la période allant de 1985 à 2022 afin d'identifier les modifications dues au réchauffement climatique sur le climat de houle qui lessivent la Côte ivoirienne.

1. Présentation de la zone d'étude

Le littoral ivoirien s'étend du cap des Palmes à l'Ouest (frontière ivoiro-libérienne) au cap des Trois Pointes à l'Est (frontière ivoiro-ghanéenne). C'est une étroite bande charnière constituée du socle et du bassin sédimentaire qui se déploie sur 566 km de long. L'Influence tectonique du rivage ivoirien détermine trois secteurs selon son alignement (J. P. TASTET, 1972, p 143). ; Le contact entre ces secteurs et les vagues créent des angles d'incidence qui interviennent dans la dynamique sédimentaire (Figure 1).

Figure 1 : Carte du littoral Ivoirien.



2. Méthodologie de l'étude du régime de la houle

2.1. Acquisition, extraction et traitement des données de la houle

2.1.1. Acquisition des données de houle

Les données de la houle proviennent du programme européen de réanalyse (ERA-Intérum) et accessible sur la base de données du CEPMMT à l'adresse (<http://www.ecmwf.int>).

Ces données sont fournies par une succession d'instruments satellitaires, complétée par de nombreuses observations faites par des avions, des navires, des bouées océaniques, des radars, des stations météorologiques et aussi par des plates-formes de surface

2.1.2. Extraction des données de houle

Les paramètres de houle sont extraits de la base de données des enregistrements altimétriques des paramètres de la houle d'ERA-Intérum sur la période -1985 à 2022. Ces données de la houle composées des hauteurs significatives (Hs), des périodes de pic (P) et des directions de provenance (D) sont fournies par intervalle de 6 heures par jour. Les valeurs de Hs, P et D sont des moyennes issues des boîtes $2,^{\circ} 5' W - 7,^{\circ} 5' W$ et $2,^{\circ} 5' N - 5,^{\circ} 5' N$. Le logiciel MATLAB est utilisé pour les extraire en série chronologique quadri journalières à pas de 6 heures.

2.1.3. Traitement des paramètres de houle

En utilisant le logiciel EXCEL, l'on construit des graphes du spectre des paramètres de houle à partir des relevés journaliers. Une étude statistique a permis de définir les classes de hauteurs significatives, de périodes et de directions de houle. L'analyse de ces classes a permis d'identifier la variabilité annuelle de chaque paramètre de houle.

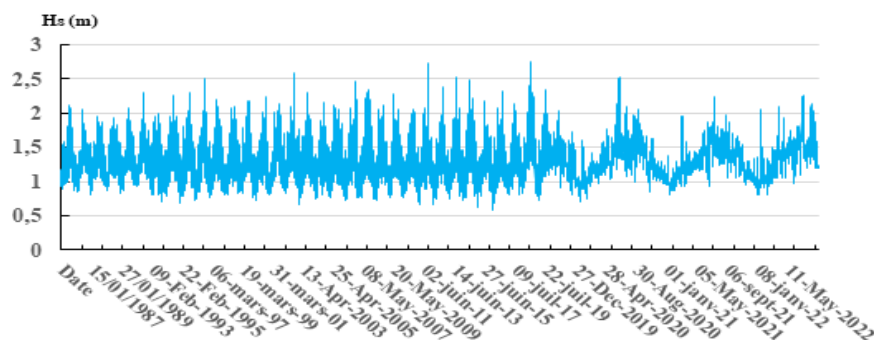
3. Résultats

3.1. Analyse des paramètres de la houle

3.1.1. La hauteur significative de houle

Le diagramme du spectre des hauteurs significatives (Hs) journalières des vagues détermine majoritairement les vagues dont les hauteurs significatives varient de 0,5 m à 1,98 m de 1985 à 2022 (Figure 2).

Figure 2 : Spectre des valeurs journalières des hauteurs significatives (Hs) de vague de 1985 à 2022.



Source : ERA-40

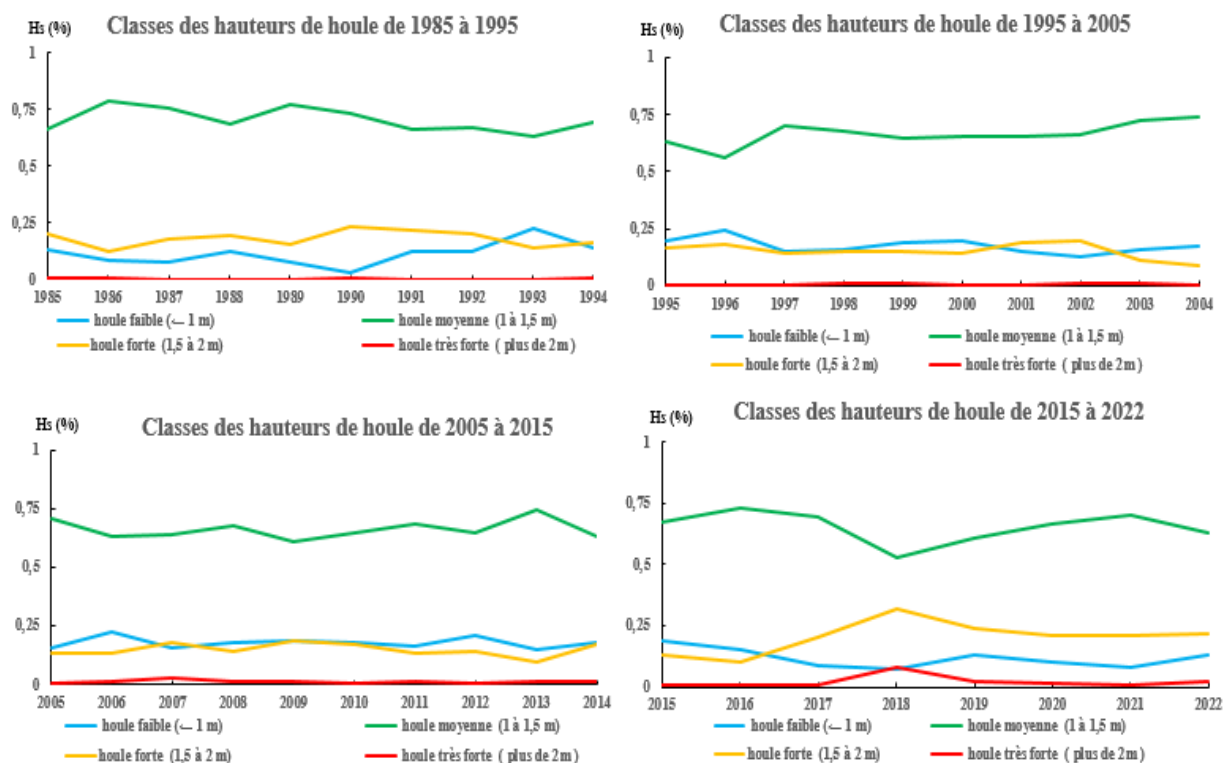
Toutefois, des valeurs exceptionnelles de Hs comprises entre 2,01 m et 2,74 m sont observées sur la période d'avril à octobre.

La totalité des effectifs de vagues (74293) étudiés fait l'objet d'une classification selon les valeurs des hauteurs significatives. Ainsi, constate-t-on quatre classes :

- la classe de houles faibles ($H_s \leq 1,0$ m) représente 9894 valeurs ;
- la classe de houles moyennes ($1,0 \text{ m} < H_s \leq 1,5$ m) est la plus élevée avec 49937 valeurs
- la classe de houles fortes ($1,5 \text{ m} < H_s \leq 2,0$ m) ont 13656 valeurs ;
- la classe de houles très fortes ou exceptionnelles ($H_s > 2,0$ m) a une proportion faible soit 806 valeurs. Toutefois, la répartition de ces houles fortes ou exceptionnelles à l'échelle décennale conduit aux observations suivantes : 48 valeurs de houles fortes entre Juillet et Août de 1985 à 1995. De 1995 à 2005, on observe 200 valeurs entre avril et septembre, de 2005 à 2015, les mois avril à octobre enregistrent 173 valeurs et, de 2015 à 2022, les mois d'avril à octobre enregistrent 494 valeurs de houles très énergétiques.

L'analyse des classes de houle de 1985 à 2022 montre que la classe de houle moyenne est dominante sur la côte ivoirienne (figure 3).

Figure 3 : Courbe du rapport d'évolution annuelle des hauteurs significatives de vague de 1985 à 2022



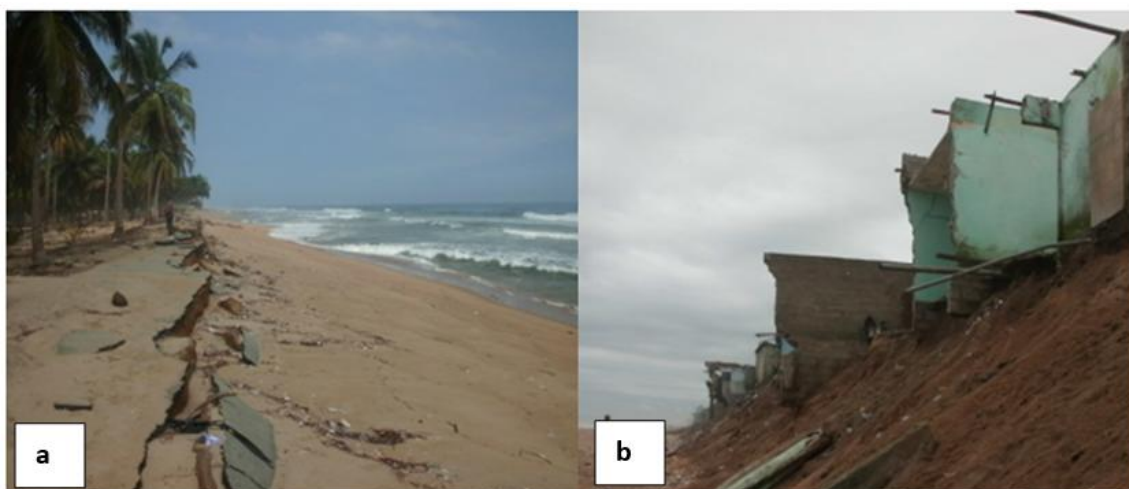
Source : ERA-40

La variabilité interannuelle de la hauteur significative de houle de 1985 à 2022 est caractérisée par des proportions de houles faibles dont le pourcentage varie de 7 à 13% de 1985 à 1995 ; de 13 à 24% de 1995 à 2005 ; 14 à 20% de 2005 à 2015 et de 7 à 18% de 2015 à 2022. Celles des houles moyennes évoluent de 66 à 77% de 1985 à 1995 ; de 56 à 74% de 1995 à 2005 ; 60 à 74% de 2005 à 2015 et de 53 à 73% de 2015 à 2022. Les proportions de houles fortes varient de 15 à 20 % de 1985 à 1995 ; de 9 à 19% de 1995 à 2005 ; 10 à 19 % de 2005 à 2015 et de 10 à 31% de 2015 à 2022 ; et, celles des proportions de houles très fortes ou exceptionnelles sont de 0 à 0,8 % de 1985 à 1995 ; de 0,4 à 1 % de 1995 à 2005 ; 0,8 à 2 % de 2005 à 2015 et de 0,5 à 8% de 2015 à 2022.

La moyenne annuelle de houle exceptionnelle sur les 37 ans est de 0,21% sur la période de 1985 à 2022.

Les effets du réchauffement climatique sur la dynamique des littoraux sont avérés par l'amplification des houles exceptionnelles qui sont à l'origine du recul brutal du trait de côte (planches 1 et 2).

Planche 1 : Recul spectaculaire du trait de côte lors de la marée de tempêtes du 02 septembre 2011 à Mondoukou (a) et Port-Bouet (b)



Source : Dangui, 2011

Planche 2 : Recul spectaculaire du trait de côte après la marée de tempête du 09 juillet 2018 Vridi (c) et Port-Bouet Phare (d)

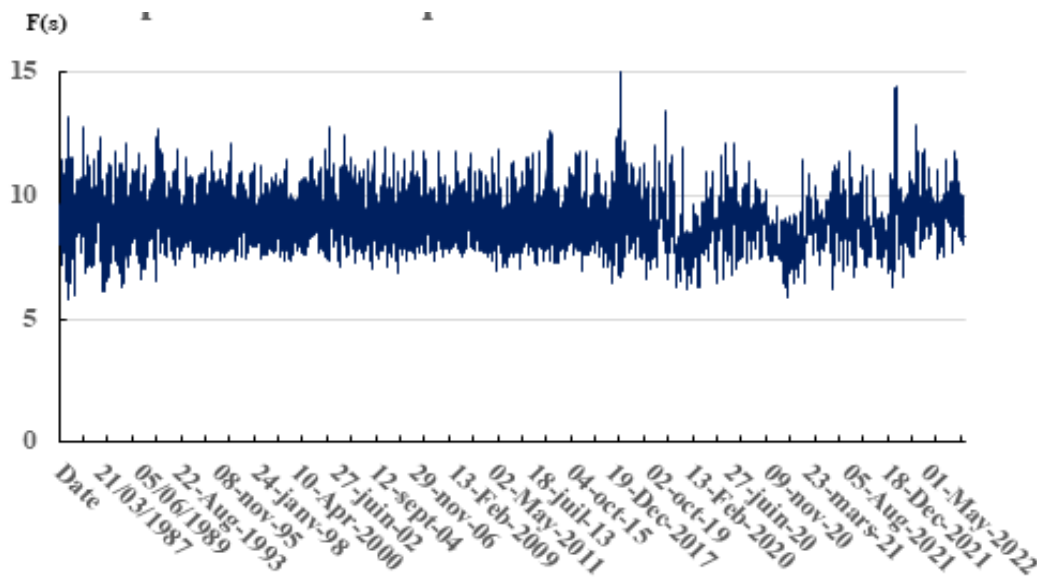


Source : N'ganza, 2018

3.1.2. La fréquence de la période de pic de houle

Le diagramme du spectre des valeurs journalières de la période de pic des vagues dégage une tendance d'évolution semblable à celui de la hauteur significative de 1985 à 2022 (Figure 4).

Figure 4 : Spectre des valeurs journalières des fréquences de houle sur la période 1985-2022



Source : ERA-40

Sur la totalité des effectifs de vagues (74293) la fréquence des pics est établie entre 6,42 s à 15 s. La plus forte période de pic (15 s) est enregistrée le 09 juillet 2018 sur la durée de 37ans. La classification des fréquences de houle a permis de déterminer les 4 classes :

- la classe de fréquence courte ($F \leq 8,0s$) enregistre 11279 valeurs ;
- la classe de fréquence moyenne ($8,0s < F \leq 10s$) a 54052 valeurs ;
- la classe de fréquence longue ($10,0s < F \leq 12,0s$) représente 8736 valeurs ;

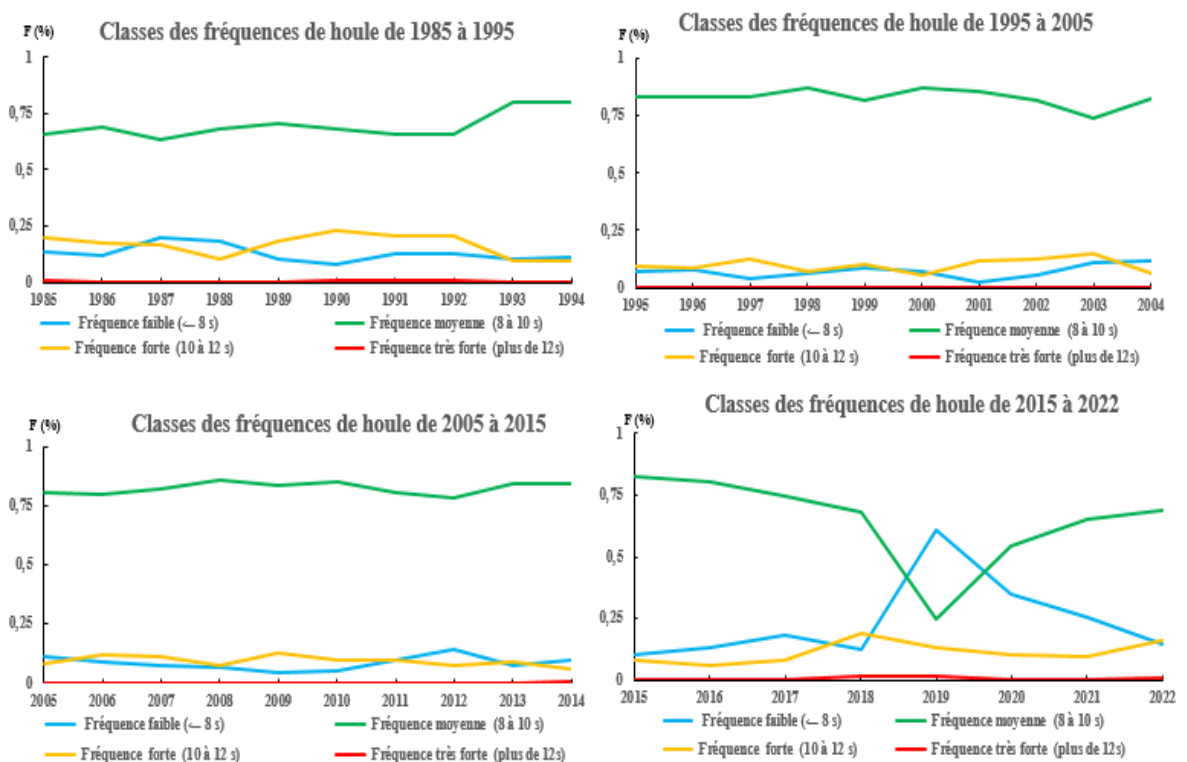
- la classe de fréquence très longue ($F > 12,0s$) a 226 valeurs.

La variabilité interannuelle des fréquences de houle de 1985 à 2022

L'évolution décennale de ces fréquences se présente comme suit (figure 5):

- les pourcentages de la classe de fréquence courte varient de 8 à 13% de 1985 à 1995 ; de 2 à 12 % de 1995 à 2005 ; 4 à 14 % de 2005 à 2015 et de 9 à 60% de 2015 à 2022.
- les pourcentages la classe de fréquence moyenne se situent entre 63 et 80 % de 1985 à 1995 ; de 73 et 87% de 1995 à 2005 ; 78 et 85% de 2005 à 2015 : de 24 et 82 % de 2015 à 2022.
- les pourcentages la classe de fréquence longue varient de 9 à 23 % de 1985 à 1995 ; de 5 à 15% de 1995 à 2005 ; 5 à 12 % de 2005 à 2015 et de 6 à 19% de 2015 à 2022.
- les pourcentages la classe de fréquence très longue sont de 0 à 0,8 % de 1985 à 1995 ; de 0 à 0,5 % de 1995 à 2015 et de 0 à 1% de 2015 à 2022.
- Les pourcentages de très longue fréquence de houle demeurent faibles de 0 % à 1% de 1985 à 2022 pour une moyenne annuelle de 0,027%.

Figure 5 : Courbe du rapport d'évolution des fréquences de houle sur la période 1985 à 2022.



Source : ERA-40

3.1.3. Direction de houle de 1985 à 2022

L'analyse des valeurs journalières de la direction des vagues de 1985 à 2022 montre que cette direction s'étale majoritairement sur la portion Sud sud-est et Sud-sud-ouest entre 150° et

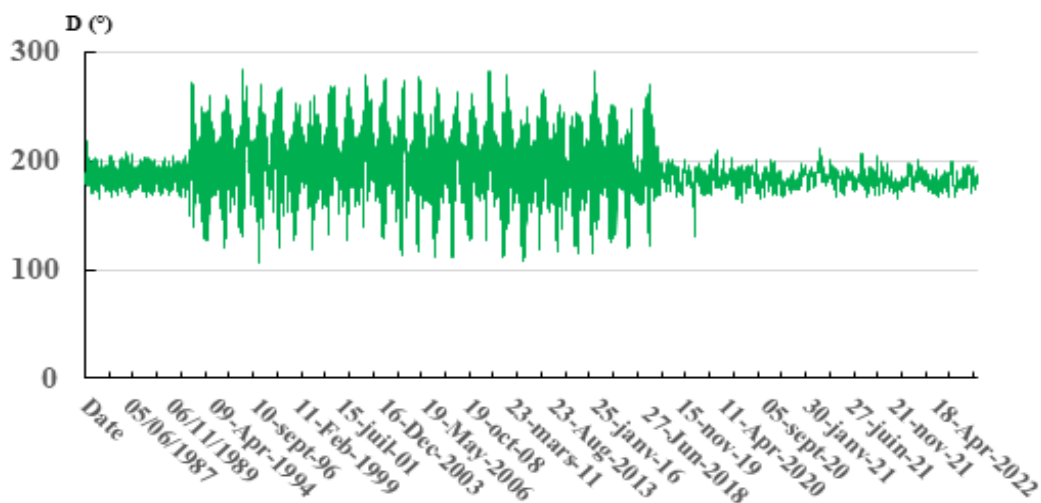
240° du cercle trigonométrique. Cependant la période de 1993 à 2019, enregistre des houles de direction sud-est (90°-150°) et ouest (240° -283°).

L'analyse de la direction des houles nous a conduit à classer les 74293 valeurs de houle en 4 directions principales :

- 9 valeurs de houle de direction est ;
- 18635 valeurs de houle de direction sud sud-est ;
- 53079 valeurs de houle de direction sud-sud-ouest ;
- 2575 valeurs de houle de direction ouest.

Le rapport des directions de houle de 1985 à 2022 donne respectivement 0,1 % de direction est ; 25% de de direction sud sud-est ; 71,44% de direction sud-sud-ouest 3,47% de direction ouest de 1985 à 2022. Les houles de direction ouest varient de 0% à 3,46% avec une moyenne annuelle de 0,093%.

Figure 6 : Spectre des valeurs journalières des directions brutes de houle sur la période 1985-2022



Source : données ERA-40

4. Discussion

Les fortes valeurs de hauteur significative de houle de plus de 2 m ont été majoritairement enregistrées durant l'hiver austral (aout 2007 ; aout 2011 ; juillet 2018) avec des périodes de pic comprises entre 9 et 15. Ces constats corroborent les études de (E. KADIO, 2011, p. 76) et de (E. TOUALY., 2015, p. 352) qui ont observé des houles énergétiques le long de la section de côte comprise entre Abidjan et Assinie sur la période 2005-2007. Celles-ci ont permis de confirmer l'origine australe des houles exceptionnelles qui lessivent sur la côte ivoirienne durant l'hiver austral. Ils ont aussi montré que les vagues de hauteurs significatives inférieures à 2,25 m avaient une période prédominante comprise entre 9 et 14 secondes. Les houles

moyennes demeurent importantes et interviennent durant toute la période d'observations de 1985 à 2022 (37 ans). Ce résultat est conforme à ceux de F. Varlet (1958, p. 208), et A. R. Tano (2017, p 160) montrant que les houles moyennes s'aperçoivent toute l'année. J.P. TASTET (1972, 156) montre que les mois mai et juillet sont des mois où l'on observe les taux élevés d'occurrences des houles très énergiques en Côte d'Ivoire. Nos résultats indiquent que les forts taux des houles énergiques s'obtiennent majoritairement de mai à septembre dans le Golfe de Guinée. On note une augmentation des hauteurs significatives qui atteignent des valeurs maximales en juin et une extension de la saison des fortes houles. Cette extension de la saison des houles énergiques a été montrée dans les travaux de (P. KOFFI, 2017, p. 138). L'extension de la saison des fortes houles aux mois d'avril et d'octobre serait le fait des effets des changements climatiques. Nos résultats confirment ces observations en montrant une augmentation progressive du nombre de houles exceptionnelles sur les 37 ans d'observations. L'analyse des fréquences de pic des houles montre que sur la totalité des effectifs de vagues (74293), la fréquence des pics est établie entre 6,42 s à 15 s. Ce résultat sont proches des conclusions des travaux de (M. GBEGBE, 2019, p. 180) où les fréquences de houle se situent entre 5,22 et 15,25 s de 1959 à 2015.

Les principales composantes de vagues sont du secteur Sud SSE-SSW entre 150° et 210° et représentent plus de 70 % des effectifs relevés. Ces résultats confirment les conclusions de nombreuses études antérieures relatives aux conditions d'agitations de houle le long du littoral ivoirien (F. VARLET, 1958, p 208 ; J.P. TASTET, 1972, p156 ; R. TANO, 2017, p. 160 ; M. GBEGBE, 2019, p. 190 ; K. N'GANZA, 2021, p. 235).

Conclusion

L'analyse de 74294 données sur les paramètres de houles le long de la côte ivoirienne montre que la hauteur significative et la période de pic des vagues augmentent sensiblement sur la période 1985-2022. Il apparait des houles très fortes de plus en plus violentes qui causent plus de dommages sur la côte ivoirienne. Ainsi l'amplification des paramètres de houle sur les 37 ans est avérée par les proportions de houles très fortes ou exceptionnelles qui varient de 0 % à 8% de 1985 à 2022 soit une moyenne annuelle de 0,21%. Les pourcentages de très longue fréquence de houle qui sont compris entre 0 % à 1%, avec une moyenne annuelle estimée à 0,027%, demeurent faibles sur la période allant de 1985 à 2022. Les houles de direction ouest varient de 0% à 3,46% avec une moyenne annuelle de 0,093%. Les effets du réchauffement climatique dans la dynamique des littoraux sont avérés par l'amplification des houles exceptionnelles qui sont à l'origine du recul brutal du trait de côte.

Références bibliographiques

DANGUI Nadi Paul. (2014). *Evolution récente du littoral d'Abidjan à Grand-Bassam*. Thèse Unique Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, 264p.

GBEGBE Malé. (2019). *Evolution semi-séculaire (1958-2015) du climat de houle et son implication sur les équilibres sédimentaires côtiers dans le Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin, Nigéria et Cameroun)* Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan ; 238 p.

IAN YOUNG ET AGUSTINUS RIBAL ; 2019. « Les vagues et les vents océaniques deviennent de plus en plus puissants » ; notre-planete.info Vol 364, Issue 6440 pp. 548-552

KADIO A.B., DJAGOUA E.B., KOUAME A.K.D., MOBIO A.B., ADOPO L.K. et N'GUESSAN A.Y. (2011). « Etude de la houle de la zone est du littoral ivoirien à partir des données in situ des années 2005 à 2007 ». *Africa Géoscience Review* 18 : 75–83.

KOFFI Koffi Philibert. (2017). *Etude de l'évolution morpho-sédimentaire du littoral ivoirien : remaniement sédimentaire à l'échelle multi-temporelle*, Thèse de Doctorat, Université Felix Houphouët Boigny-Abidjan, 322 p.

N'GANZA Kesse. (2021). *Étude du modèle morphodynamique du littoral de Port-Bouët à Mondoukou : réponse morpho-sédimentaire de la plage au forçage de l'énergie des vagues*. Thèse de Doctorat. U.F H. B. ; 313 p.

TANO Anoumou René. (2017). *Etude de la vulnérabilité de la zone côtière de la Côte d'Ivoire à partir de paramètres environnementaux et anthropiques*. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny ; 177 p.

TASTET Jean Pierre. (1972). « Quelques considérations sur les classifications des côtes. La morphologie côtière », *Annales de l'Université d'Abidjan, Série c, Tome. VIII, 2, p 135-162*

TOUALY Elisée., Aman, A., Koffi, P., Marin, F., & Wango, T. (2015). «Ocean swell variability along the northern coast of the Gulf of Guinea». *African Journal of Marine Science*, 37(3), 353–361. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2015.1074940>

VARLET François. (1958). « Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan. Etudes Eburnéennes, » vol. VII, p. 101-220

Auteur

¹Enseignant-Chercheur, Laboratoire de traitements d'images et de géomatique, IGT, Université Felix HOUPHOUËT-BOIGNY (Côte d'Ivoire) ; danguinadi@yahoo.fr