

Évaluation de la morphobathymétrie selon les normes de l'organisation hydrographique internationale (OHI) de certains environnements à forçage naturel et anthropique : cas des chenaux lagunaires de Bassam-Île Vitré et Koumassi, Côte d'Ivoire

**Aka Ferdin KOUAME*, Ané Maurice AKA, Charles Albéric AKA,
Valérie Ama WOGNIN et Sylvain MONDE**

Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire de Géosciences Marines, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

* Correspondance, courriel : ferdinaka@gmail.com

Résumé

Ces travaux ont porté sur la récente analyse morpho-bathymétrique de certains chenaux de lagune Ebrié soumis à des forçages naturel et anthropique. La méthodologie d'acquisition des données est l'échosondage suivant des radiales N-S et E-W. Ces données ont été traitées et validées selon les normes OHI où l'ordre 1 leur a été attribué. Ainsi les résultats obtenus mettent respectivement en évidence les profondeurs maximales de -6,7 m et -21,6 m et des profondeurs moyennes de -2,6 m et -4 m. pour les chenaux de Bassam-Île Vitré et Koumassi. Ces chenaux présentent deux types de profils. Un profil intermédiaire qui traduit un équilibre entre les agents d'érosion et les agents d'accumulation dans un environnement à forçage naturel. Par ailleurs, on note également un profil en « V » traduisant la prédominance de la phase érosive sur la phase d'accumulation de sédiments dans la baie de Koumassi à forçage anthropique. Cependant, cette forme en « V » dans le chenal de Koumassi est le résultat des activités de dragage modifiant la morphologie du chenal donc l'hydrodynamisme et détruisant les zones de frayères. Pour une gestion rationnelle de ces milieux, il est envisageable de mener des études complémentaires. Il s'agit entre autres :

- de réaliser une étude d'impact environnemental et social des activités de dragage ;
- de cerner l'hydrodynamisme dans ces environnements.

Mots-clés : *morpho-bathymétrie, chenal, forçage, profil, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Evaluation of morphobathymetry according to the standards of the international hydrographic organization (IHO) of certain environments with natural and anthropogenic forcing : case of lagoon channels at Bassam-Île Vitré and Koumassi, Côte d'Ivoire

This work focuses on the recent morpho-bathymetry of some natural and anthropogenic forcing environments of the Ebrié Lagoon. For its realization, a boat was used on which was fixed an echosounder following N-S and E-W radials to obtain the data. They have been processed and validated according to IHO standards where order 1 has been assigned to them. This work highlights the maximum depths of 6.7 m and 21.6 m

respectively for the "Bassam-Île Vitré" and "Koumassi" channels; average depths of 2.6 m and 4 m. The channels have two types of profiles. An intermediate profile that reflects a balance between erosion agents and build-up agents in a natural forcing environment. In addition, there is also a "V" profile reflecting the predominance of the erosive phase on the sediment accumulation phase in the Koumassi Bay with anthropogenic forcing. However, this "V" shape in the Koumassi Channel is the result of dredging activities modifying the morphology of the channel, thus hydrodynamic and destroying the spawning grounds. For rational management, it is imperative to assess the environmental impact of dredging activities and the hydrodynamics in these environments.

Keywords : *morpho-bathymetry, channel, forcing, profile, Ebrie lagoon.*

1. Introduction

La production de cartes bathymétriques dans le monde remonte au début du XXe siècle. Les premières cartes bathymétriques ont été obtenues en mesurant la profondeur par la plongée d'une corde plombée et jalonnée par des marqueurs de profondeur [1]. L'avènement de l'électronique a permis de produire les plus récentes cartes bathymétriques à l'aide d'échosondeur de précision centimétrique. Ces avancées technologiques requièrent la mise à jour des anciennes cartes bathymétriques selon les normes hydrographiques afin de corriger les éventuelles erreurs dues à l'imprécision. Ces nouvelles cartes permettent d'évaluer les facteurs de forçage naturel et anthropique [2]. En Côte d'Ivoire, les travaux de [3] ont permis de réaliser la première carte bathymétrique dans la lagune Ebrié. Cependant, compte tenu de son échelle, certaines zones comme le chenal de Bassam-Vitré influencé par la lagune Adjin et le fleuve Comoé ne présentent aucune information sur la morphologie des fonds. A cela, s'ajoute la croissance des activités anthropiques dans les baies lagunaires notamment la baie de Koumassi. En outre, les phénomènes naturels (marée, érosion, variation du niveau des eaux) et les phénomènes anthropiques (urbanisation principalement) entraînent une perpétuelle évolution de sa morphologie [4 - 8]. Ces changements exigent l'identification des pressions d'origine humaine et leurs impacts dans ces chenaux. En effet, les activités humaines comme le dragage de sable apportent de façon générale une consommation des ressources naturelles et un changement dans le fonctionnement des écosystèmes qui les entourent [9 - 12]. Par ailleurs, les nouvelles connaissances sur la morpho-bathymétrie de ces environnements peuvent contribuer à une gestion plus efficace afin de concilier au mieux protection de la biodiversité et activités de dragage à des fins économiques [13]. L'objectif de la présente étude vise à utiliser les récentes normes de [14] en vigueur pour la détermination de la récente morpho-bathymétrie des environnements lagunaires de Bassam-Vitré et Koumassi (**Figure 1**). Elle permettra de réaliser la première carte bathymétrique de Bassam - Vitré pour une meilleure navigation par les usagers dans ce chenal lagunaire. Il s'agira également d'apprécier l'influence des forçages anthropique et naturel (fleuve Comoé) au niveau de la dynamique sédimentaire de ces environnements lagunaires.

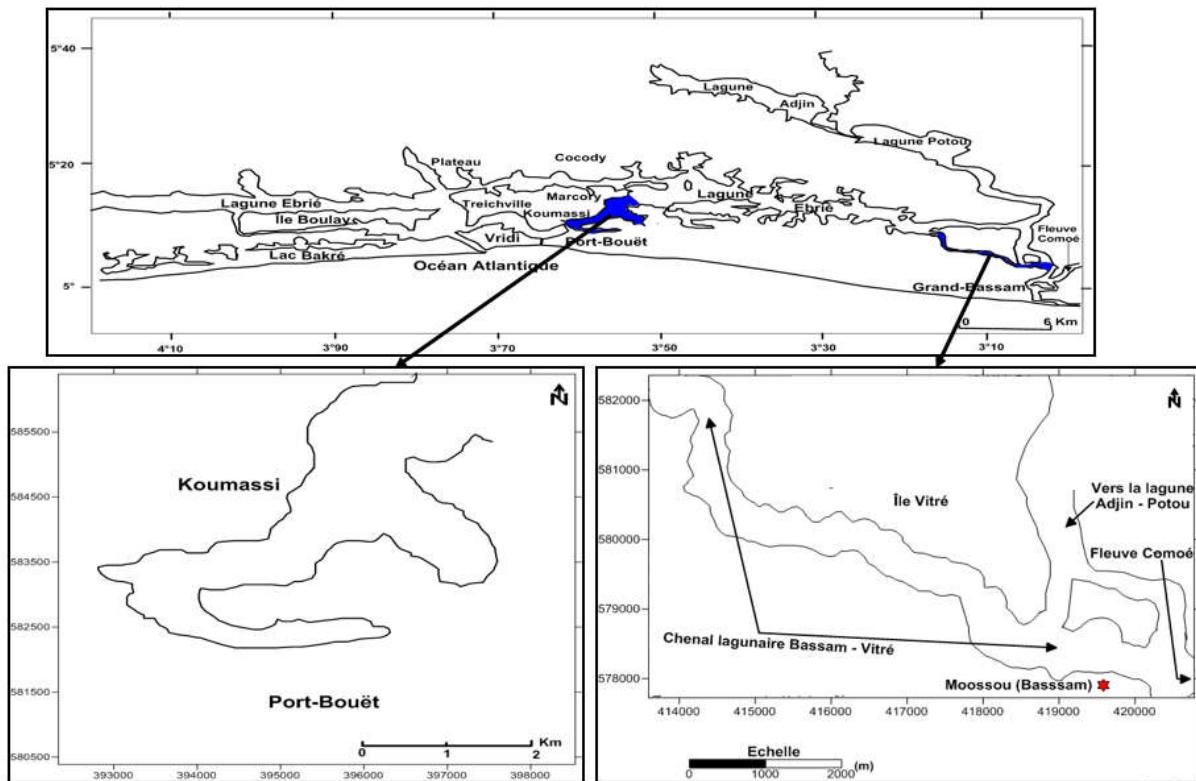


Figure 1 : Localisation des chenaux de Koumassi et Bassam -île Vitré de la lagune Ebrié

2. Matériel et méthodes

2-1. Levé bathymétrique

L'échosondeur Lowrance Elite 4X a permis de réaliser le levé bathymétrique selon les recommandations internationales sur la distance entre les radiales et le pas d'échantillonnage des sondes. Un GPS de type Garmin de précision 2 m a servi également à relever les coordonnées UTM sur les berges pour procéder au rattachement de ces données bathymétriques par rapport au niveau zéro de la mer. Le chenal Bassam-Vitré a une superficie de 5210 Ha. L'espacement recommandé est de 150 m entre les radiales. Dans la baie de Koumassi, sur une superficie de 590 Ha, la distance entre les radiales est en moyenne 100 m.

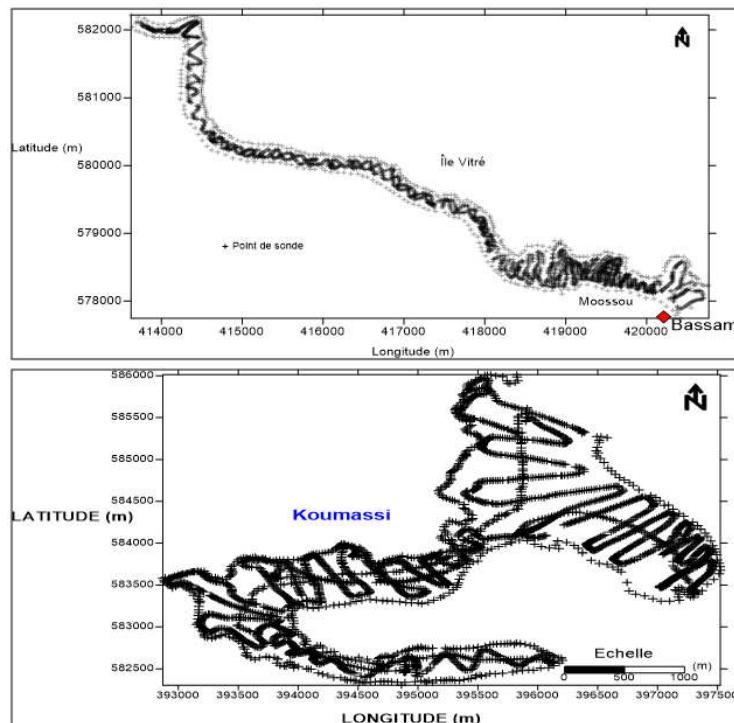


Figure 2 : Cartes de positionnement des sondes dans les chenaux de Bassam et Koumassi

2-2. Validation des données

Elle se fait en deux étapes :

- la première sert à épurer les données par filtrage manuel [15]. Ce filtrage consiste à éliminer les sondes fausses par rapport aux critères de tri (sondes isolées).
- la deuxième s'appuie sur les recommandations de l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI). Selon [14] trois composantes sont pris en compte dans la classification des données bathymétriques. Ce sont le type de couverture, la précision horizontale et la précision verticale. Dans notre cas, la couverture est totale (c'est-à-dire couvrant toute la zone) et se fait selon des radiales espacées de 150 mètres au maximum.

2-2-1. Filtrage manuel des sondes bathymétriques

La courbe traduit l'évolution des sondes brutes selon la latitude dans le chenal lagunaire de Bassam (**Figure 3**). Ces sondes fausses sont mises en évidence en fonction des celles situées dans l'environnement immédiat. On note de ce fait une variation brusque de la profondeur. Elles seraient dues soit à la présence d'éléments flottants, soit à la variation de la vitesse de l'embarcation. Ces sondes fausses sont simplement éliminées pour ne conserver que les vraies.

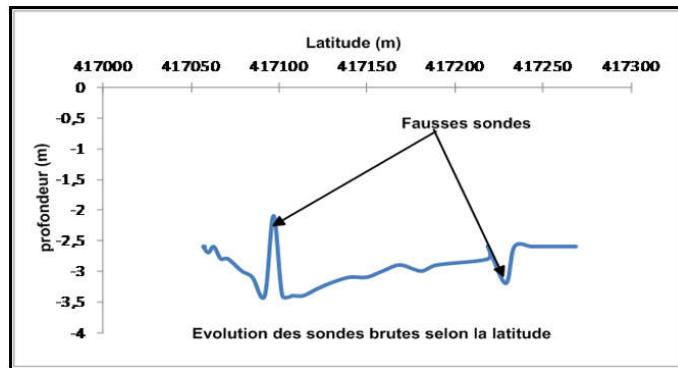


Figure 3 : Évolution des sondes brutes dans le chenal lagunaire de Bassam

2-2-2. Validation des données bathymétriques

2-2-2-1. Précision horizontale des données

La précision horizontale concerne la précision de la position d'un point de sonde. Ces positions sont rapportées au système géodésique mondial (WGS 84). L'analyse statistique de l'erreur de position porte sur un niveau de confiance de 95 %. Concernant le chenal de Bassam-Vitré, la statistique montre que 90 % des 175 points croisés ont un écart de position inférieur ou égal à 5 m. L'erreur de position varie entre 3,36 m et 3,44 m. Sur la baie de Koumassi, 100 % des 60 points croisés ont un écart inférieur ou égal à 5 m. L'erreur de position se situe entre 2,2 m et 2,6 m (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Estimation de l'erreur de position (m) pour un niveau de confiance à 95 %

ΔX ou ΔY	Effectif (Bassam-Vitré)	Effectif (Koumassi)
0	13	7
1	21	5
2	20	15
3	22	21
4	43	10
5	38	2
6	13	0
7	5	0
Total	175	60
Moyenne	3,4	2,4
Ecart-type	0,3	0,9
Intervalle de confiance	$3,4 \pm 0,04$ m	$2,4 \pm 0,2$ m

2-2-2-2. Précision des sondes

L'analyse statistique montre que, pour le chenal de Bassam-Vitré 63 % des données recoupées ont un écart de profondeur (ΔZ) nul et 96 % une différence de 0,10 m. L'erreur totale comprenant l'erreur constante (0,1) et l'erreur de terrain (0,03 - 0,04) varie entre 0,13 m et 0,14 m. Dans la baie de Koumassi, environ 50 % de ces sondes ont un écart de profondeur de 0 m et 85 % de 0,10 m. De même, l'intervalle de confiance à 95 % varie entre 0,06 et 0,12 m. L'erreur totale lors de ce levé se situe entre 0,16 et 0,22 m (*Tableau 2*). L'ordre 1 est ainsi attribué aux données de positionnement car l'erreur de positionnement est inférieure à 5m et l'ordre « spécial » aux sondes bathymétriques (précision verticale). Ce qui permet d'affirmer que les levés bathymétriques ont été correctement exécutés selon les normes de [14]. Les données bathymétriques sont donc valables pour la réalisation des cartes bathymétriques des chenaux lagunaires de Bassam-Île Vitré et Koumassi.

Tableau 2 : Estimation de l'erreur sonde (m) pour un niveau de confiance à 95 %

ΔZ (m)	(Bassam-Vitré) Effectif	(Koumassi) Effectif
0	110	29
0,1	58	22
0,2	6	4
0,3	1	2
0,4	0	2
0,5	0	0
0,6	0	0
0,7	0	1
Total	175	60
Moyenne	0,04	0,09
Ecart-type	0,023	0,11
Intervalle de confiance	$0,09 \pm 0,02$ m	$0,09 \pm 0,03$ m

2-3. Interpolation des données corrigées

Le logiciel « Surfer 11 » a servi à la réalisation des cartes bathymétriques. La méthode d'interpolation retenue est le krigeage. Cette méthode utilise la modélisation d'un variogramme qui est une appréciation graphique de la variance en fonction de la distance entre les sondes [16]. Cette méthode d'interpolation est considérée comme la plus représentative des sondes d'un point de vue statistique [17]. En utilisant la méthode de Krigeage, le logiciel génère une grille ou « Grid » qui est un ré-échantillonnage de la zone étudiée à intervalle régulier pour une meilleure répartition des sondes dans le but d'obtenir de cartes bathymétriques lissées.

2-4. Évolution de la dynamique sédimentaire

Le suivi bathymétrique d'une zone donnée intégrant les processus d'apports et de perte de sédiments nécessite deux relevés bathymétriques effectués à des dates distinctes, si possible avec les mêmes conditions d'acquisition (méthodologie, précision du matériel, etc.). L'estimation du volume de sédiments de comblement ou d'érosion passe par le calcul de la différence de profondeur pour chaque point sur ces deux cartes [18]. Dans cette étude, on utilise les modèles numériques de terrain (MNT) pour évaluer la tendance évolutive de la dynamique sédimentaire. Il s'agit des MNT de 1975 réalisé par [3] et de 2015 produite par [19]. La carte des mouvements sédimentaires résultante des MNT permet d'apprécier la répartition spatiale des zones érodées ou engrangées. Le taux d'accumulation ou d'érosion annuel est exprimé en (mm.an^{-1}). Il résulte du rapport du volume total de sédiments (déposés) par la surface de la lagune affectée par la sédimentation. La valeur de ce rapport exprimé en millimètre (mm) est divisée par le temps en année (an) écoulé entre ces deux relevés bathymétriques [20]. Par analogie, le taux d'érosion exprimé (mm.an^{-1}) est le rapport entre le volume total de sédiments érodés et sa surface d'érosion du fond de la baie par le nombre d'années.

3. Résultats et discussion

3-1. Morpho-bathymétrie du chenal lagunaire de Bassam

Le lit du chenal lagunaire de Bassam-Vitré est une entaille étroite et peu profonde dans le bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. Il a une superficie de $52,1 \text{ km}^2$ pour un périmètre de $21,9 \text{ km}$. La largeur varie entre 385 m (vers Abidjan) et 820 m (vers la confluence des Adjin- Potou et lagune Ebrié). Ce chenal est long de 9,30 km et sinueux. L'altitude de la surface du plan d'eau lagunaire est 6 m. La carte bathymétrique (*Figure 4*) est

donc rattachée à cette altitude par rapport au niveau marin. Les profondeurs varient de - 6,7 m (profondeur maximale) et - 0,2 m. (profondeur minimale). La moyenne est de - 2,5 m. Les profondeurs les plus importantes se rencontrent à Moossou au niveau de sa confluence avec fleuve Comoé et la lagune Adjin-Potou. Ces dépressions traduisent une prédominance de l'action érosive sur l'action de sédimentation (*Figure 5*).

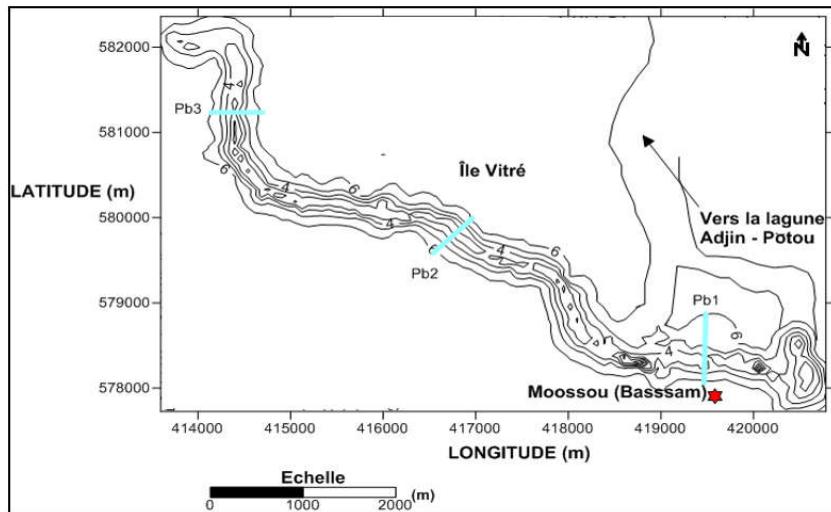


Figure 4 : Carte bathymétrique rattachée du chenal de Bassam-Vitré

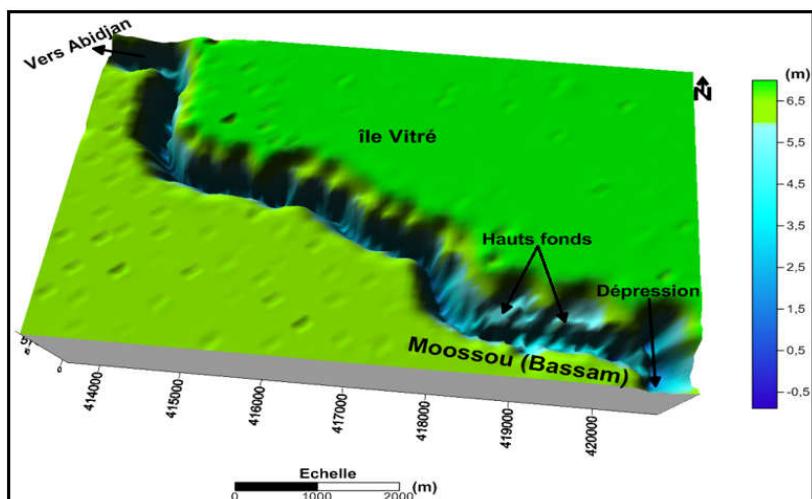


Figure 5 : Modèle numérique de terrain de Bassam-Vitré

La morphologie du fond se comporte différemment au niveau de la confluence de la lagune Adjin-Potou et le fleuve Comoé. A ce niveau, on note des hauts fonds traduisant un phénomène de sédimentation avec de faibles profondeurs (1 à 2,5 m). Par contre, la morphologie du chenal de la zone de confluence à l'extrême ouest de l'île vitré est marquée par une forme singulière en « V ». L'action des agents d'érosion serait prépondérante sur les agents d'accumulation de sédiments. L'action du courant serait importante dans le chenal. Les profils bathymétriques réalisés (pb1, pb2, pb3) perpendiculairement au sens d'écoulement mettent en évidence la morphologie du chenal. Le profil (pb1) (situé à la confluence de la lagune Adjin-Potou et le fleuve Comoé) a une forme intermédiaire (entre la forme en V et en U) avec une morphologie irrégulière. Ce profil pourrait traduire un équilibre entre les agents d'érosion et les agents d'accumulation qui façonnent le chenal. Par contre, les profils bathymétriques (pb2 et pb3) sont concaves avec une forme en « V » (*Figure 6*). Ils indiqueraient que les agents d'érosion exercent une action prépondérante sur les agents d'accumulation.

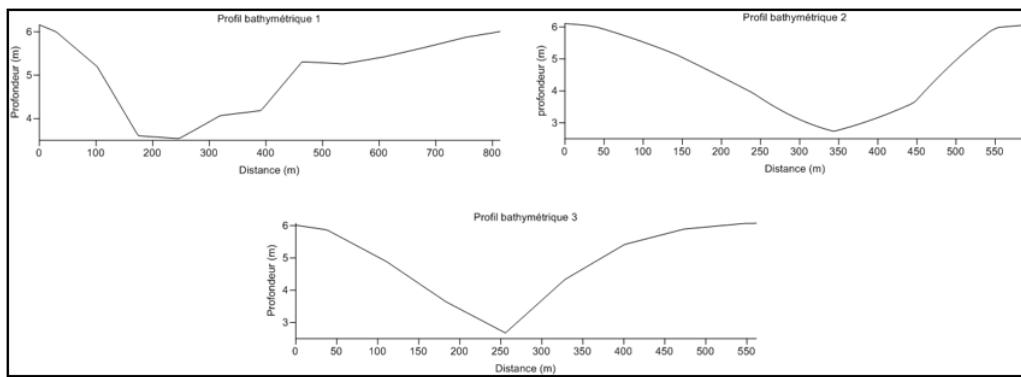


Figure 6 : Profils bathymétriques du chenal lagunaire Bassam - Vitré

Le chenal lagunaire Bassam - Île Vitré présente en général de faibles pentes comprises entre 0,2 et 2,8° (**Figure 7**). C'est un chenal peu accidenté.

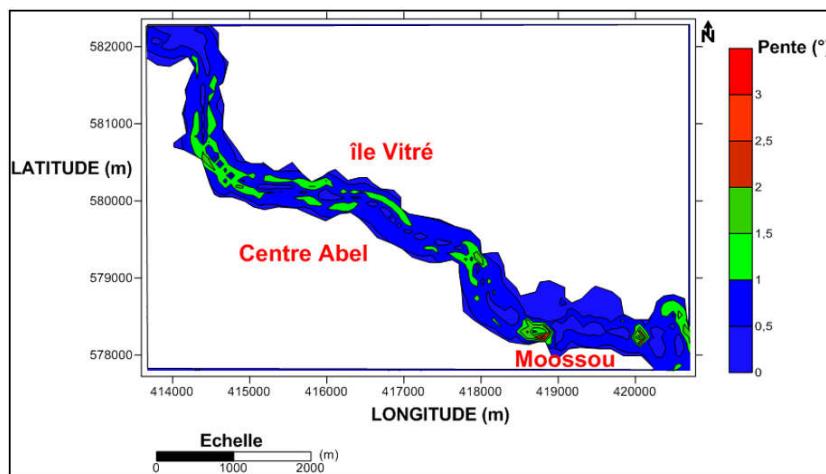


Figure 7 : Carte des pentes du chenal Bassam - île Vitré

3-2. Morpho-bathymétrie du chenal de la baie de Koumassi

La baie de Koumassi est située sur la rive Sud de la lagune Ebrié. Elle couvre une superficie 5,9 km² pour un périmètre de 23,6 km. L'altitude de la surface du plan est 4 m, l'équidistance entre les isobathes est de 1 m (**Figure 8**).

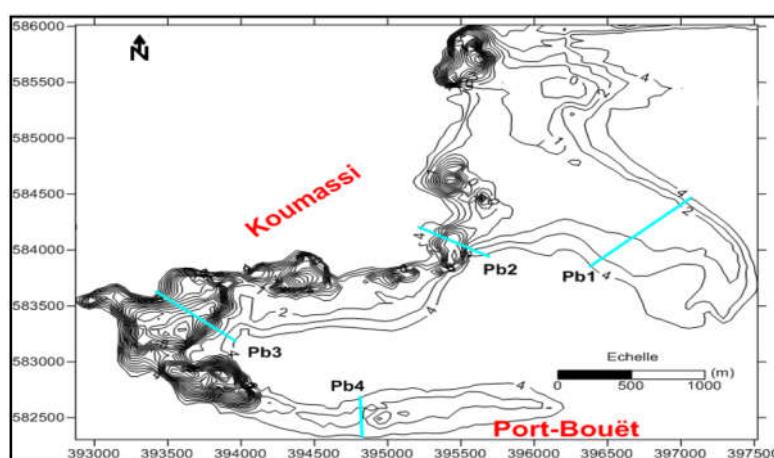


Figure 8 : Carte bathymétrique rattachée du chenal de la baie de Koumassi (27/08/2015)

On a donc réalisé sur la carte bathymétrique quatre (04) radiales qui mettent en exergue la forme du chenal. Ainsi, les profils bathymétriques qui résultent sont de forme « intermédiaire » et en « V ». Ce sont :

- les profils bathymétriques intermédiaires (pb1 et pb4) présentent une morphologie régulière et dissymétrique. Ils mettent en exergue une forme « intermédiaire » du chenal (**Figure 9**). Ils présentent à la fois des caractéristiques du chenal en « V » et en « U ». Ainsi, les agents d'accumulation et d'érosion ne s'équilibrent pas.
- les profils bathymétriques en « V » (pb2 et pb3) présentent une morphologie régulière et symétrique. On les observe au niveau du chenal principal ayant subi d'intenses actions anthropiques (**Figure 9**). La forme du chenal en « V » traduit l'impact de ces actions anthropiques sur la morphologie du fond.

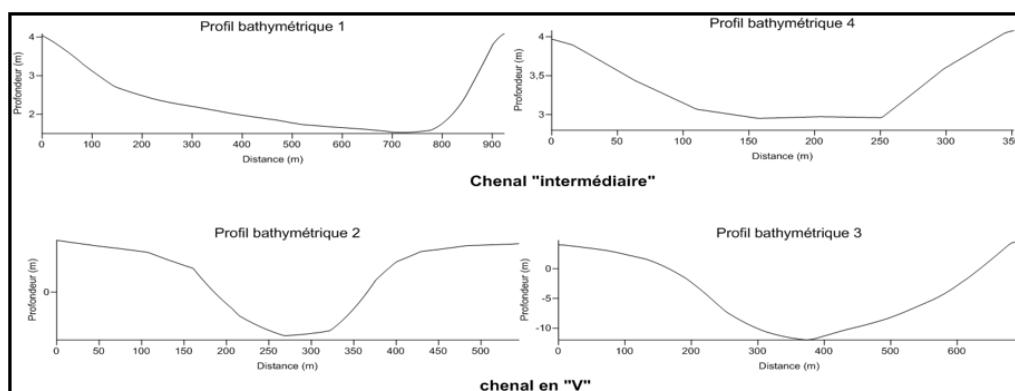


Figure 9 : Typologie du chenal de la baie de Koumassi

Le modèle numérique de terrain expose la topographie du fond de la baie de Koumassi (**Figure 10**). La profondeur maximale est -25,6 m et la profondeur moyenne est de -4 m. Dans cette baie, on note une morpho-structure comprenant des dépressions de 5 à 21,6 m de profondeur. L'importante modification de la morpho-bathymétrie est causée par des activités intenses de dragage de sable. Ce sable permet le remblayage des berges de Koumassi pour la construction d'habitations d'une part et est utilisé à des fins économiques. Par ailleurs, ces pressions anthropiques induisent la dégradation de l'environnement par la destruction des habitats écologiques, par la modification la morphologie des chenaux. En outre, l'autre morpho-structure est marquée par des hauts fonds situés en dehors des zones draguées à -2 m de la surface du plan d'eau et traduisant une accumulation de sédiments.

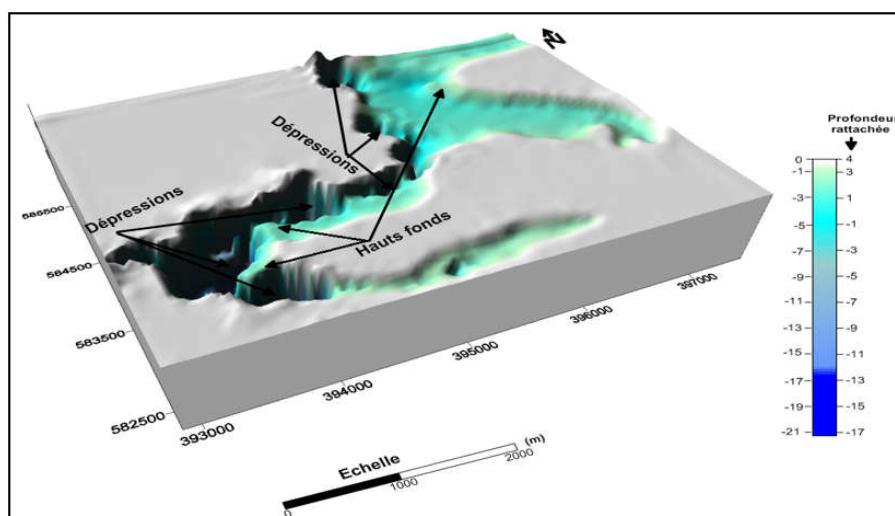


Figure 10 : Modèle numérique de terrain de la baie de Koumassi

La carte de la baie de Koumassi présente des pentes oscillant entre 0 et 14°. Les pentes très faibles (0 - 5°) sont visibles au niveau des bras de la baie et dans la partie Est du chenal principal. Les pentes modérées (5 - 8°) et les fortes pentes (8 - 14°) sont enregistrées sur les flancs des dépressions causées par les dragages (**Figure 11**).

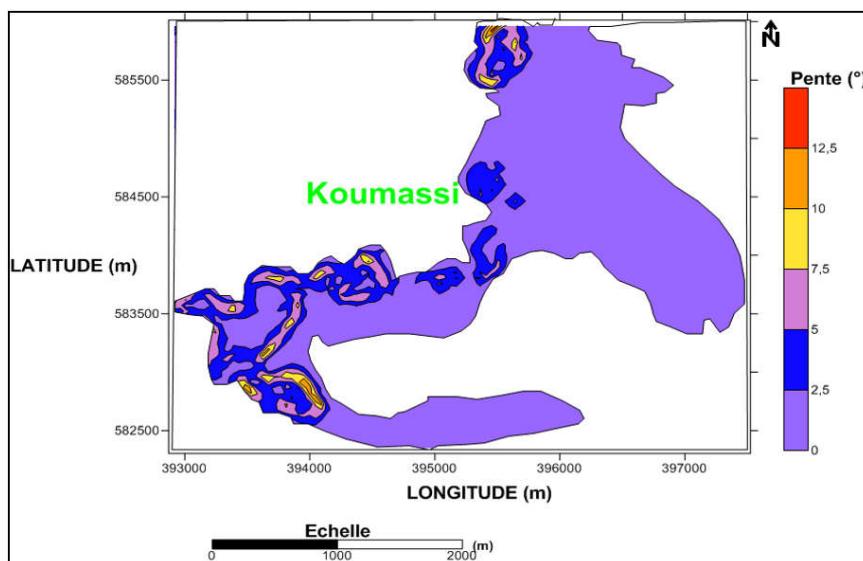


Figure 11 : Carte de pentes de la baie de Koumassi

3-3. Tendance évolutive sédimentaire du chenal de la baie de Koumassi

Les modèles numériques de terrain du chenal de la baie de Koumassi permettent de connaître la tendance évolutive sédimentaire à partir des paramètres morphologiques, le volume et la vitesse de sédimentation.

3-3-1. Paramètres morphométriques

Les paramètres morphométriques du chenal de la baie de Koumassi portent sur le périmètre, la superficie, la profondeur et la pente (**Tableau 3**). Le périmètre de la baie a augmenté de 0,67 km en 2015 par rapport au périmètre en 1975 qui était de 20,97 km. S'agissant de l'aire de la baie, elle s'est réduite. Ainsi en 1975, la surface qui était de 6,95 km² est actuellement 5,97 km² soit une réduction de 1 km² du fait du remblayage de la berge Ouest. La profondeur maximale qui était de -12 m en 1975 est passée en 2015 à -21,6 m, soit un creusement de 9 m. La profondeur moyenne passe de -2,6 m à -4 m pendant la même période. En effet, les fortes profondeurs observées au cours de la récente bathymétrie de 2015 sont liées aux actions anthropiques (dragage de sable). Les pentes faibles et modérées de 1975 sont devenues fortes (14°) en 2015.

Tableau 3 : Caractéristiques morphométriques de la baie de Koumassi en 1975 et 2015

	Chenal en 1975	Chenal en 2015
Périmètre (km)	20,30	20,97
Superficie (km ²)	6,95	5,97
Profondeur maximale (m)	-12 m	-21,6
Profondeur moyenne (m)	-2,6 m	-4
Pente (°)	1 à 8	1 à 14

Des aspects géomorphologiques marqués par des dépressions et des hauts fonds sont observés dans le chenal (**Figures 12 et 13**). En 1975, le chenal présentait une configuration relativement homogène du fond avec des dépressions de -12 m. En 2015, le chenal met en évidence des hauts fonds situés à -2 m par rapport à la surface du plan d'eau qui traduisent le processus de comblement et des dépressions de -21,6 m dues au dragage de sédiments.

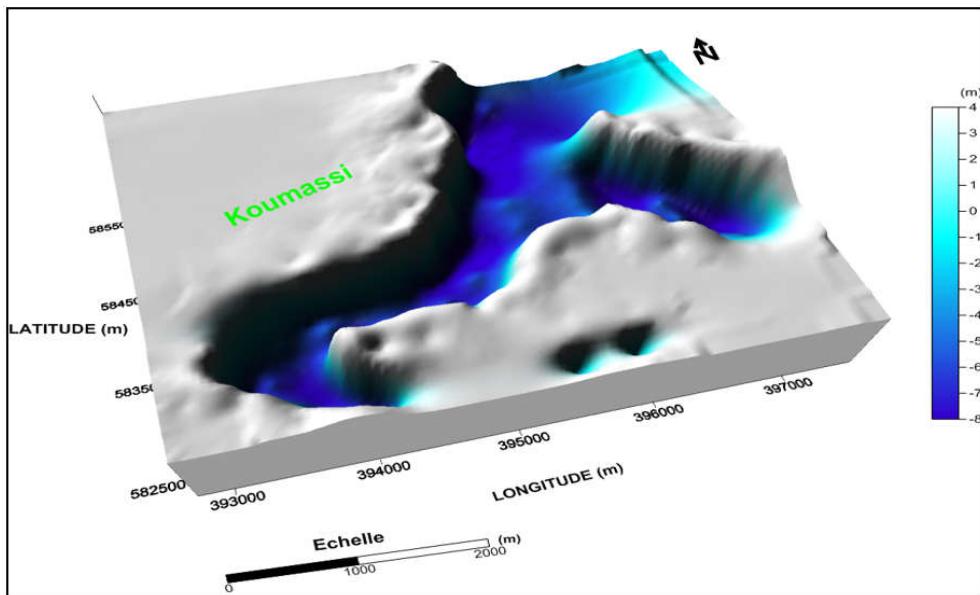


Figure 12 : MNT du chenal de la baie de Koumassi en 1975

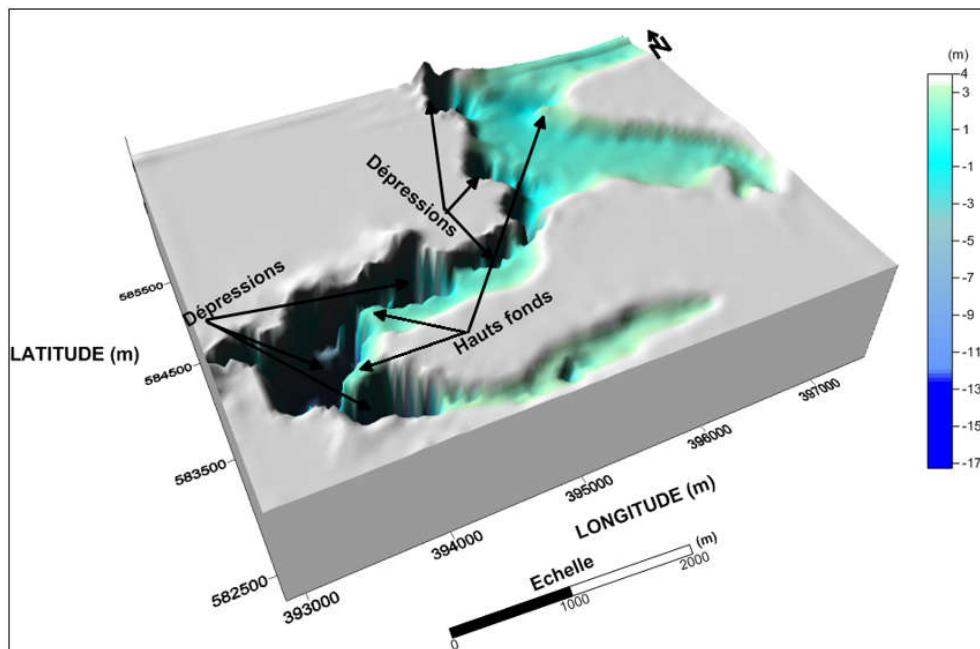


Figure 13 : MNT de la baie de Koumassi en 2015

3-3-2. Volume et vitesse de sédimentation dans la baie de Koumassi

La carte résiduelle met en évidence l'inégale répartition des sédiments dans le chenal de la baie de Koumassi. L'épaisseur des sédiments déposés varie entre 0 et 6 m pendant que celle des sédiments érodés ou enlevés se situe entre 0 et 14 m. L'épaisseur importante de sédiments érodés serait due aux activités anthropiques développées dans le chenal (*Figure 14*). Par ailleurs, le volume de sédiments accumulés dans la baie est de +11 798 837, 91 m³ et le volume de sédiments érodés est estimé à -8 167 482, 52 m³. Il en résulte un budget sédimentaire de 3 631 355, 29 m³. La vitesse de sédimentation évaluée serait estimée environ à 23 mm/an. Ce milieu est donc propice au dragage de sédiments pour entretenir les voies d'accès à la navigation.

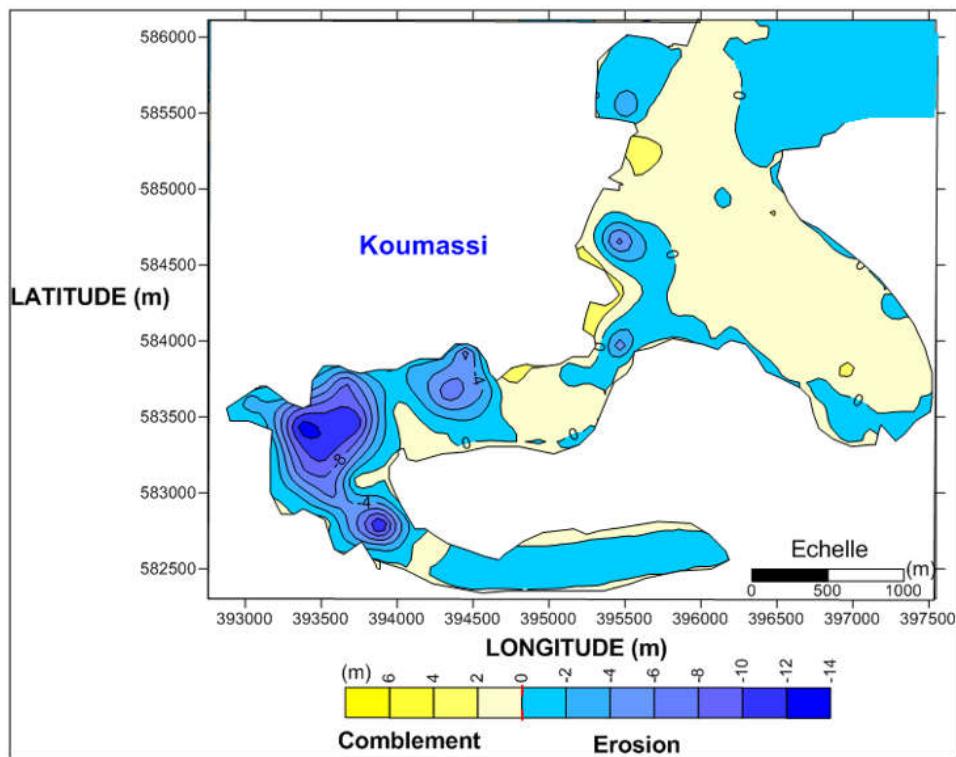


Figure 14 : Epaisseur des mouvements sédimentaires de la baie de Koumassi entre 1975 et 2015

3-4. Discussion

Les cartes bathymétriques des chenaux lagunaires de Bassam et Koumassi ont été réalisées suivant les normes [14]. Selon les recommandations de l’OHI, l’ordre 1 est indiqué pour le levé bathymétrique. A l’issu des travaux, l’ordre 1 a été attribué aux données de positionnement et l’ordre spécial sondes bathymétriques. Ces données normalisées ont permis d’obtenir la morpho-bathymétrie de ces environnements. La morphologie actuelle du chenal de Bassam-île Vitré est le résultat des courants du fleuve Comoé et de la lagune Adjin-Potou [21] donnant deux formes. La forme en « V » qui selon [22] traduit une prédominance des agents d’érosion sur les agents d’accumulation alors que la forme « intermédiaire » montre l’équilibre entre les agents d’érosion et d’accumulation. Ce chenal est donc sous l’influence de forçage naturel. S’agissant du chenal de la baie de Koumassi, les mêmes formes en « V » et « intermédiaire » s’observent avec une signification scientifique différente. Si la forme « intermédiaire » conserve son explication scientifique, la forme en « V » quant à elle est le résultat d’activités de dragage donc sous l’influence de forçage anthropique. Les pressions anthropiques liées à ces activités ont d’importants effets sur les écosystèmes lagunaires [23 - 25] : destruction d’habitats, appauvrissement de stock de poisson, pollution [23, 26, 25] et une modification de l’hydromorphologie et de l’hydrodynamisme. La croissance urbaine est un des principaux facteurs de dégradation de cet écosystème [27 - 31]. En effet, le contexte mondial de forte densité humaine sur le littoral est vérifié sur de nombreuses côtes. Ce phénomène est loin de s’enrayer car on constate plutôt une accélération continue et rapide de l’aménagement des berges des plans d’eau essentiellement provoquée par les secteurs résidentiel, récréatif et touristique [32] à partir des sédiments dragués. Il est impérieux pour une gestion durable de ces milieux à influence anthropique inclure une étude d’impact environnemental et une réglementation pour le suivi.

4. Conclusion

Dans ce travail, les données bathymétriques ont été classées dans l'ordre 1 et validées selon les normes OHI. Ces données ont permis de réaliser les cartes bathymétriques. Les profondeurs maximales sont respectivement -6,7 m et -21,6 m et les profondeurs moyennes de -2,6 m et -4 m pour les chenaux de Bassam-Île Vitré et Koumassi. Dans le chenal de Bassam-Île Vitré sous l'influence de forçage naturel, un profil intermédiaire traduisant un équilibre entre les agents d'érosion et les agents d'accumulation et un profil en « V » traduisant la prédominance de la phase érosive ont été mis en évidence. Cependant, la forme en « V » dans le chenal de Koumassi est le résultat des pressions anthropiques (dragage de sédiments). Cette étude également montre que ces pressions anthropiques détruisent les écosystèmes lagunaires par la disparition des espèces aquatiques, modifient l'hydromorphologie et l'hydrodynamisme des chenaux. Il faut donc pour une gestion durable de ces milieux inclure une étude d'impact environnemental et une réglementation pour le suivi.

Références

- [1] - P. JUHEL, Histoire de l'acoustique sous-marine, L'acoustique sous-marine déclare la guerre aux sous-marins, coll. Inflections, Coéd. Adapt/Vuibert, (2005) 46 - 48 p.
- [2] - M. HAKKOU, A. BENMOHAMMADI, B. CASTELLE et H. AZIDANE, suivi des activités d'extraction de sable marin au Maroc, (2016)
- [3] - J. P. TASTET, L'environnement physique du système lagunaire Ebrié. Université Abidjan. Série Documentation. Département Sciences de la Terre, N° 11, 2 t, (1975) 28 p.
- [4] - D. PIMENTEL, R. ZUNIGA and D. MORRISON, Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52 (2005) 273 - 288
- [5] - M. LARSON, M. CAPOBIANCO, H. JANSEN, G. RÓZYŃSKI, H. N. SOUTHGATE, M. STIVE, K. M. WIJNBERG and S. HULSCHER, Analysis and modeling of field data on coastal morphological evolution over yearly and decadal time scales. Part 1: Background and linear techniques. *Journal of Coastal Research*, (2003) 760 - 775
- [6] - S. COLAS, Un quart du littoral recule du fait de l'érosion un_quart_du_littoral_recule_du_fait_de_l_erosion_01.pdf, (2006)
- [7] - S. Y. LEE, R. J. K. DUNN, R. A. YOUNG, R. M. CONNOLLY, P. E. R. DALE, R. DEHAYR, C. J. LEMCKERT, S. MCKINNON, B. POWELL, P. R. TEASDALE and D. T. WELSH, Impact of urbanization on coastal wetland structure and function. *Austral Ecology*, 31 (2006) 149 - 163
- [8] - R. BUCHET, Mise en œuvre de la surveillance pour la directive Cadre européen sur l'eau dans les Départements d'Outre-Mer, Centre de Nantes, DYNECO, (2013) 13 - 17 p.
- [9] - M. SCHEFFER, S. CARPENTER, J. A. FOLEY, C. FOLKE and B. WALKER, Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413 (2001) 591 - 596
- [10] - W. N. ADGER, T. P. HUGHES, C. FOLKE, S. R. CARPENTER and J. ROCKSTRÖM, Social Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science*, 309 (2005) 1036 - 1039
- [11] - E. BENNETT, S. CARPENTER, S. CORK, G. PETERSON, G. PETSCHEL-HELD, T. RIBEIRO and M. ZUREK, Scenarios for ecosystem services : rationale and overview. *Ecosystems and human well-being : scenarios*, 2 (2005)
- [12] - S. R. CARPENTER, E. M. BENNETT and G. D. PETERSON, Scenarios for ecosystem services: an overview. *Ecology and Society*, 11 (2006) 29
- [13] - E. A. RICHARDSON, M. J. KAISER, G. EDWARDS-JONES and H. P. POSSINGHAM, Sensitivity of Marine-Reserve Design to the Spatial Resolution of Socioeconomic Data. *Conservation Biology*, 20 (2006) 1191 - 1202
- [14] - ORGANISATION HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONALE, Normes OHI pour les levés hydrographiques. Publication S44 -5ème édition, Monaco Bureau hydrographique international, (2008) 36 p.

- [15] - E. POULLAIN, Mode opératoire du logiciel de traitement de données bathymétriques : CARAIBES. Création d'un modèle numérique de terrain à partir de mesures acquises par sonarinterférométriques GEOSWATH à l'aide du logiciel CARAIBES. Note technique IRSN/DEI/SECReN°2010-00406, (2010) 31 p.
- [16] - S. ALLEAUME, C. LANOISELEE et C. AGILLIER, Bathymétrie des plans d'eau (protocole d'échantillonnage et descripteurs morphométriques) Cemagraf, Sciences et territoires, (2010) 24 p.
- [17] - Y. GRATTON, Le Krigeage : La méthode optimale d'interpolation spatiale. Les articles de l'institut d'Analyse Géographique, juin 2002, www.iag.asso.fr, (2002)
- [18] - J. CASTAINGS, Etat de l'art des connaissances du phénomène de comblement des milieux lagunaires. Rapport de Master, Université de Montpellier, (2008) 100 p.
- [19] - A. F. KOUAME, Apports de la morphobathymétrie dans la caractérisation de la dynamique sédimentaire des environnements fluvio-lagunaires de Côte d'Ivoire au cours des quatre dernières décennies (1975 - 2015). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, (2017) 209 p.
- [20] - C. KEFFAL, K. R. EFFEBI, A. GHRABI, H. JUSIN et J-M. VASEL, Évaluation des taux d'accumulation et de production de boue dans des bassins de stabilisation sous climat méditerranéen : étude de cas en Tunisie, Revue des sciences de l'eau, Vol. 24, N°1 (2011) 63 - 76 p.
- [21] - K. L. ADOPPO, Caractérisation du fonctionnement hydro-sédimentaire d'un environnement estuarien en zone tropicale : cas de l'embouchure du fleuve Comoé à Grand-Bassam (sud-est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody, (2009) 179 p.
- [22] - M. AMANI, Essais de modélisation hydrodynamique de la circulation des masses d'eau et la dispersion saline dans un environnement côtier peu profond de la lagune Digboué (San-Pédro, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, (2012) 200 p.
- [23] - B. S. HALPERN, S. WALBRIDGE, K. A. SELKOE, C. V. KAPPEL, F. MICHELI, C. D'AGROSA, J. F. BRUNO, K. S. CASEY, C. EBERT, H. E. FOX, R. FUJITA, D. HEINEMANN, H. S. LENIHA, E. M. P. MADIN, M. T. PERRY, E. R. SELIG, M. SPALDING, R. STENECK and R. WATSON, A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. Science, 319 (2008) 948 - 952
- [24] - N. C. BAN, H. M. ALIDIN and J. A. ARDRON, Cumulative impact mapping: Advances, relevance and limitations to marine management and conservation, using Canada's Pacific waters as a case study. Marine Policy, 34, (2010) 876 - 886
- [25] - F. MICHELI, B. S. HALPERN, S. WALBRIDGE, S. CIRIACO, F. FERRETTI, S. FRASCHETTI, R. LEWISON, L. NYKJAER and A. A. ROSENBERG, Cumulative Human Impacts on Mediterranean and Black Sea Marine Ecosystems: Assessing Current Pressures and Opportunities. PLoS ONE, 8, e79889, (2013)
- [26] - S. B. OLSEN, G. G. PAGE and E. OCHOA, The analysis of governance responses to ecosystem change: a handbook for assembling a baseline, GKSS Research Centre, LOICZ International Project Office, Institute for Coastal Research, (2009)
- [27] - T. H. SUCHANEK, Temperate Coastal Marine Communities: Biodiversity and Threats. American Zoologist, 34 (1994) 100 - 114
- [28] - M. J. KENNISH, Environmental threats and environmental future of estuaries. Environmental Conservation, null, (2002) 78 - 107
- [29] - O. S. KNOTTNERUS, History of human settlement, cultural change and interference with the marine environment. Helgoland Marine Research, 59 (2005) 2 - 8
- [30] - H. K. LOTZE, H. S. LENIHAN, B. J. BOURQUE, R. H. BRADBURY, R. G. COOKE, M. C. KAY, S. MKIDWELL, M. X. KIRBY, C. H. PETERSON and J. B. C. JACKSON, Depletion, Degradation, and Recovery Potential of Estuaries and Coastal Seas. Science, 312, (2006) 1806 - 1809
- [31] - H. K. LOTZE, Historical reconstruction of human-induced changes in US estuaries. Oceanography and Marine Biology : An Annual Review, 48 (2010) 267 - 338
- [32] - L. AIROLDI and M. W. BECK, Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. Oceanography and Marine Biology : an annual review, 45 (2007) 345 - 405