

ÉTUDE MORPHOLOGIQUE ET SÉDIMENTOLOGIQUE DE L'ESTUAIRE DE GRAND-LAHOU DE 2011 A 2017 : APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION

**Maffoué Jeanne KOUADIO^{1*}, Konan Ernest KONAN²,
Konan Fansisco YAO² et Eric Valère DJAGOUA¹**

¹ Université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), 22 BP 801 Abidjan22, Abidjan, Côte d'Ivoire

² Université Félix Houphouët Boigny, UFR STRM des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Laboratoire des Géosciences Marines, Abidjan, Côte d'Ivoire

(reçu le 19 Septembre 2022; accepté le 07 Novembre 2022)

* Correspondance, e-mail : maffouejeanne15@gmail.com

RÉSUMÉ

Ce travail a pour objet d'estimer la profondeur de l'estuaire de Grand-Lahou à partir des images satellitaires et d'évaluer le budget sédimentaire de 2011 à 2017. L'estuaire de Grand-Lahou qui s'étend sur une longueur de 50 km sur une superficie de 190 km², est composé de quatre lagunes à savoir les lagunes et du fleuve Bandama, avec son embouchure où s'effectuent les échanges entre eaux fluviales, lagunaires et maritimes et d'un cordon sableux séparant les espaces lagunaires et océaniques. Afin de détecter les changements de morphologie de l'estuaire, des images satellitaires Landsat ETM + et OLI de 2011 et 2017 ont été superposées. Les cartes bathymétriques de 2011 et 2017 ont permis de générer la carte du bilan sédimentaire des fonds lagunaires. Les résultats montrent que l'estuaire de Grand-Lahou est peu profond avec la présence de hauts fonds et de dépressions et que les profondeurs moyennes ont quasiment doublées en six ans. Les dépressions de 6m en 2011 atteignent 10m en 2017 et les hauts fonds ont atteint 1m en 2017. Durant la période d'étude, 9 660 040,82 m³ de sédiments ont été érodés alors que 112 988,71 m³ sont déposés. En six ans, l'embouchure s'est déplacée sur une distance de 1,3 Km occasionnant ainsi une érosion sur environ 107100 m² et un engraissement de 188100 m². L'estuaire de Grand-Lahou qui représente une importante source de subsistances pour les populations nécessite une gestion intégrée. La télédétection satellitaire s'avère donc nécessaire dans la gestion de l'estuaire compte tenu de son accès souvent gratuit, de sa couverture spatiale synoptique et de sa répétitivité.

Mots-clés : *bilan sédimentaire, morphologie, estuaire, Bandama, Grand-Lahou.*

ABSTRACT

Morphology and sedimentology in grand-lahou estuary : remote sensing contribution

The aim of this study is to evaluate sedimentology and morphology of the Grand-Lahou estuary using remote sensing from 2011 to 2017. This estuary, which extends over 50 km and a surface area of 190 km², is made up of four lagoons and the Bandama River, with its mouth where exchanges between river, lagoon and sea water take place. Then, morphology and bathymetry in this area is an issue for the local residents whose main activity is fishing. Landsat ETM+ and OLI satellite images from 2011 and 2017 were processed to detect changes in the morphology of the estuary and the migration phenomenon of the mouth. It also required the overlay of bathymetric maps of 2011 and 2017, in order to generate the map of the sediment balance of the lagoon bottom. Thus, the bathymetric maps of 2011 and 2017 show that the Grand-Lahou estuary is shallow with shallows and depressions. The average depths almost doubled in six years. The same is true for the depressions, from 6m in 2011 they reached 10m in 2017. The shoals, which were about 0,5 m in 2011, were eroded to reach 1m in 2017. As for the sediment balance of the lagoon bottoms from 2011 to 2017, the eroded surfaces were around 3,862,870.14 m² and the deposition surfaces 360,050.12 m². Regarding volumes, 9,660,040.82 m³ of sediment were eroded against 112,988.71 m³ deposited. On the coastline, in six years the mouth has moved over a distance of 1,3 km, causing erosion on about 107,100 m² and an increase of 188,100 m². Grand-Lahou estuary which is an important source of livelihood for the population, requires integrated management. Satellite remote sensing is therefore necessary for his management, its often because of free access, its synoptic spatial coverage and its repeatability

Keywords : *sedimentary balance, morphology, estuary, Bandama, Grand-Lahou.*

I - INTRODUCTION

L'estuaire de Grand-Lahou représente, de par sa diversité écologique et environnementale, une importante source de subsistances et une source de revenus pour les populations riveraines dont la principale activité économique est la pêche artisanale [1 - 3]. Il abrite le parc national d'Azagny, un site exceptionnel de biodiversité classé RAMSAR [4]. Cependant cet estuaire subit une dynamique sédimentaire particulière qui se traduit par la migration de la passe d'Est en Ouest ce qui a pour conséquence la perte de terres habitables sur le littoral. La migration de direction Est-Ouest de l'embouchure, qui selon la littérature, a été initialement observée depuis les années 1912 (Lombardo, 2017).

A ce phénomène s'ajoute une érosion très active qui modèle sans cesse sa morphologie. Elle menace un village de pêcheurs situé sur une bande de terre séparant l'océan atlantique de la lagune Tadjou et faisant face à l'embouchure du fleuve Bandama [5]. L'ampleur de cette érosion induite par l'avancée de la mer est aussi spectaculaire que dramatique (WACA, 2017). L'espace lagunaire de Grand-Lahou est un milieu peu profond qui pose des problèmes de navigation à cause des hauts fonds qui rendent la navigation difficile au niveau de l'embouchure [6]. Ce qui n'est pas sans contrecoups sur les activités de pêche des riverains. Au regard des faits susmentionnés, l'estuaire de Grand-Lahou suscite un intérêt scientifique grandissant. Dès lors il est nécessaire d'avoir des informations sur la profondeur en vue de planifier les activités telles que les travaux d'ingénierie, les opérations de dragage, la pêche, l'aquaculture, etc. [7, 8]. Ainsi, les investigations antérieures menées à l'estuaire de Grand-Lahou se sont intéressées entre autres à l'hydrologie et l'hydrochimie des eaux [9, 10], à la modélisation du fonctionnement hydrodynamique et hydrosédimentaire de l'embouchure du fleuve Bandama. D'autres études ont porté sur l'évolution morphologique du littoral à l'estuaire de Grand-Lahou [11 - 13]. Cependant, l'évolution morphologique du fond ainsi que l'étude morphologique de l'espace littoral à l'estuaire via les données satellitaires restent encore peu étudiées. L'étude de la dynamique sédimentaire et de la migration de la passe peut être menée efficacement à partir de l'analyse diachronique des images satellitaires afin de faire ressortir les tendances évolutives (érosion/engraissement) du littoral à l'estuaire. Ainsi, Cette étude qui a pour objectif d'estimer la profondeur de l'estuaire de Grand-Lahou et d'évaluer le budget sédimentaire traitera de l'évolution morphologique du littoral à l'estuaire et de la migration de la passe et permettra de déterminer les zones d'engraissement et d'érosion.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Présentation de la zone d'étude

L'estuaire de Grand-Lahou, présenté sur la **Figure 1** est compris d'une part entre 4°26' et 5°20' de latitude Nord et d'autre part entre 4° 20 et 5°20 de longitude Ouest. Il s'étend sur une longueur de 50 km et est orienté de l'Est vers l'Ouest sur une superficie de 190 km². Il est composé de quatre lagunes (Nyouzoumou, Tadjou, Mackey, Tagba) selon la nomenclature locale. La lagune Tagba est la plus importante d'entre elles car elle est en contact avec la mer par l'embouchure du fleuve Bandama (Wangoet *al.*, 2017). Trois chenaux sont nettement identifiables à l'embouchure du fleuve Bandama. Ce sont, au Nord le chenal de la lagune Tagba, à l'Ouest de le chenal lagunaire qui draine les eaux de la lagune Nyouzoumou et à l'Est le chenal fluvial (Abe *et al.*, 1993).

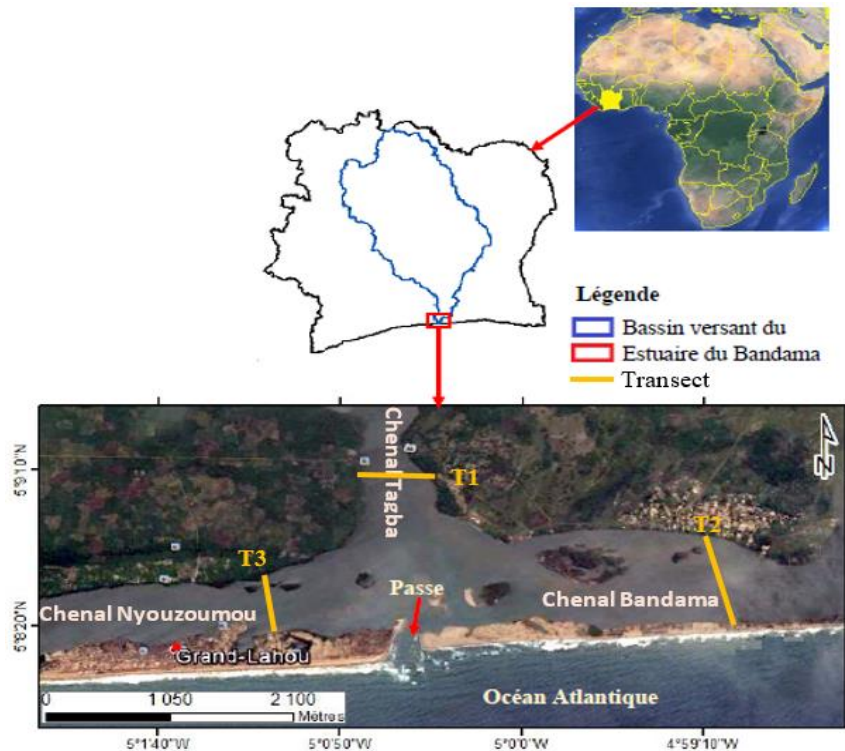


Figure 1 : Localisation de la zone estuarienne de Grand-Lahou et position des transects d'observation des profils bathymétrique [14]

II-2. Matériel

Le matériel d'étude est constitué d'images satellitaires Landsat ETM + et OLI de 2011 et 2017. Elles serviront à l'analyse bathymétrique qui mettra en évidence la morphologie du fond, l'évolution morphologique du littoral à l'estuaire et la migration de la passe. Les cartes bathymétriques physiques de 2011 et 2017 aideront à déterminer les zones d'engrassissement et d'érosion. Les données utilisées pour réaliser les cartes bathymétriques de 2011 et 2017 ont été acquises dans le cadre du projet WACA (West Africa Coastal Area). Elles sont issues de mesures réalisées par échosondeur et comportent 10240 points de sondes et 26624 points de sondes respectivement pour les bathymétries de 2011 et de 2017. Ces mesures couvrent uniformément l'estuaire et ont été effectuées en mars et avril avec une distance moyenne de 10 m entre les mesures.

II-3. Réalisation des cartes bathymétriques

Les transects d'observation des profils bathymétriques ont été positionnés à partir des cartes bathymétriques de 2011 et de 2017. Les profils bathymétriques ont été réalisés avec le logiciel de traitement d'images ENVI 5.1 par le biais

de son outil « Profiles ». Cet outil permet de tracer plusieurs types de profils (X Profile, Y Profile, Z Profile, Additional Z Profile). C'est le type « Arbitrary Profile (Transect) » qui permet de positionner des transects et d'observer le long de ceux-ci les valeurs des pixels (ici les pixels représentent les valeurs des profondeurs interpolées issus de la carte bathymétrique) sous forme de courbes. Comme indiqué sur la figure 1, des transects (T1, T2 et T3 en rouge sur la *Figure 1*) ont été positionnés de manière à traverser les chenaux de Tagba, de Nyouzoumou et du chenal de Bandama.

II-4. Détermination de l'évolution morphologique de l'estuaire

Les bandes du proche-infrarouge (750-900 nm) de Landsat ETM + et Landsat OLI ont été utilisées pour leur contraste sombre/clair (sombre = eau et clair = sols, végétations, bâtis) pour extraire la morphologie de l'estuaire en 2011 et en 2017. Le contraste qu'offre cette bande permet à travers une classification de distinguer l'eau du sol. Une classification non supervisée « IsoData » d'ENVI 5.1 des bandes PIR de Landsat ETM+ et Landsat OLI génère deux images binaires en deux classes : la classe « eau » et la classe « sol ». La vectorisation (l'outil Classification to Vector d'ENVI 5.1) de la classe « eau » génère la morphologie de l'estuaire tandis que la vectorisation de classe « sol » quant à elle génère la morphologie des îlots sur le plan d'eau estuarien. Pour détecter les changements de morphologies, les deux images binaires issues de la classification sont superposées à l'aide de l'outil « Raster Calculator ». Cette opération permet d'identifier les zones restées morphologiquement inchangées ainsi que les zones de changement morphologique (zones immergées ou érodées, zones d'accrétion ou zone de colmatage). Cette opération ne concerne pas la morphologie du littoral à l'estuaire. Le processus de détermination de changement de morphologie de l'estuaire de Grand-Lahou est présenté à la *Figure 2*.

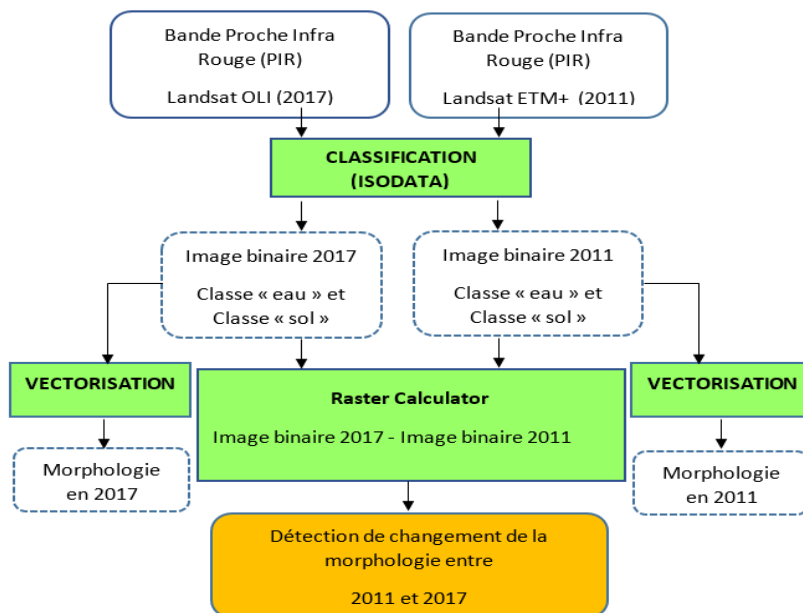


Figure 2 : Procédure de détection de changement de morphologie

II-5. Détermination du bilan sédimentaire

La détermination du bilan sédimentaire a nécessité l'utilisation de l'outil « Cut fill » du module « Spatial Analyst Tools » du logiciel Arcmap 10.8. Cet outil permet de localiser les zones d'érosion et d'accrétion. Il permet en outre la quantification du volume de sédiments érodés ou déposés. L'outil « Cutfill » nécessite comme données d'entrée, deux images matricielles (cartes bathymétriques de deux dates distinctes) de la même région et analogues en termes de résolution spatiale (dimension de cellules identiques, idem pour le nombre de cellules en colonnes et en ligne) afin de générer un raster de localisation des zones en érosion ou en accrétion. Le volume de sédiments déposés ou érodés est le produit de la superficie d'un emplacement (l'emplacement correspond à une cellule de l'image matricielle) donné à deux périodes différentes par la variation de profondeur ΔZ (Équation 1). Les valeurs négatives et positives du volume indiquent respectivement un engraissement et une érosion.

$$\text{Volume} = (\text{aire de la cellule}) \times \Delta Z \quad (1a)$$

$$\text{où } \Delta Z = Z_{\text{ancien}} - Z_{\text{récent}} \quad (1b)$$

ΔZ : la variation de la profondeur ;

Z_{ancien} : la profondeur ou bathymétrie ancienne ;

$Z_{\text{récent}}$: la profondeur ou bathymétrie récente.

III - RÉSULTATS

III-1. Bathymétrie de l'estuaire de Grand-Lahou

La **Figure 3** présente la carte bathymétrique de l'estuaire de Grand-Lahou en 2011. Ces profondeurs n'excèdent pas 6m. Les profondeurs moyennes sont d'environ 1,5 m. Le plan d'eau présente une dépression (dépression d'environ 4 m) dans la partie médiale du chenal de Tagba, au niveau de la zone de confluence (dépression de 4 m) et surtout dans le chenal de Bandama dans la zone adjacente au littoral où les profondeurs peuvent excéder 5 m. Les hauts fonds se rencontrent en face de la passe autour des petites îles ainsi qu'à proximité de la grande île située dans le chenal de Bandama. Ces hauts fonds ne dépassent pas 0,5 m. La Figure 3 montre que l'estuaire de Grand-Lahou est peu profond.

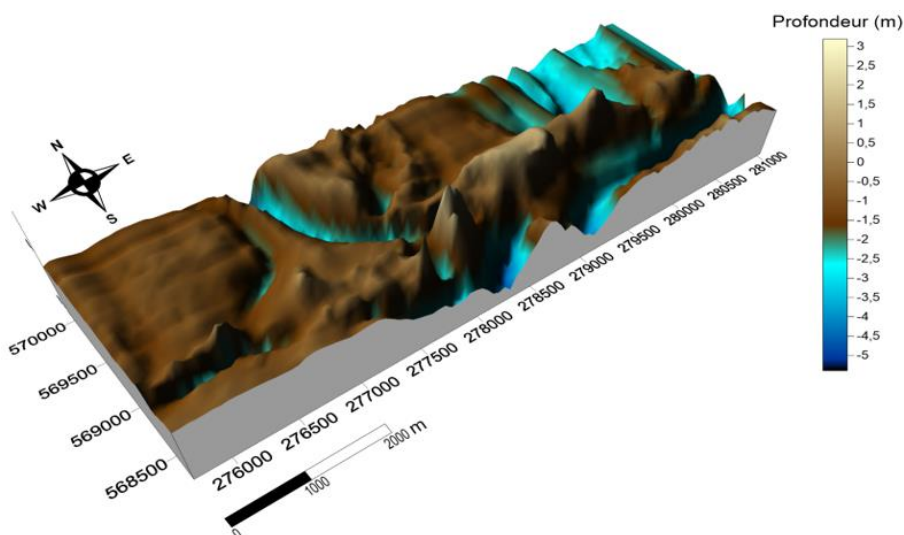


Figure 3 : Bathymétrie de l'estuaire de Grand-Lahou en 2011

La carte bathymétrique de 2017 (**Figure 4**) de l'estuaire de Grand-Lahou présente une morphologie accidentée eu égard à la succession de hauts fonds (0,5 à 1 m) et de dépressions (environ 10 m). On observe principalement cette morphologie accidentée dans le chenal de Bandama et dans la zone de confluence ainsi qu'une partie dans le chenal de Tagba et Nyouzoumou. La carte met en évidence de ce fait, une configuration morphologique nettement distincte de celle de 2011, les profondeurs sont davantage élevées avec une plage de profondeur se situant entre 1 et 10 m. La profondeur moyenne a plus que doublé pour atteindre 3,8 m. Les hauts fonds qui étaient localisés à proximité des îles et dans la zone de confluence ont été érodés, laissant la place ainsi à des profondeurs allant jusqu'à 5 m.

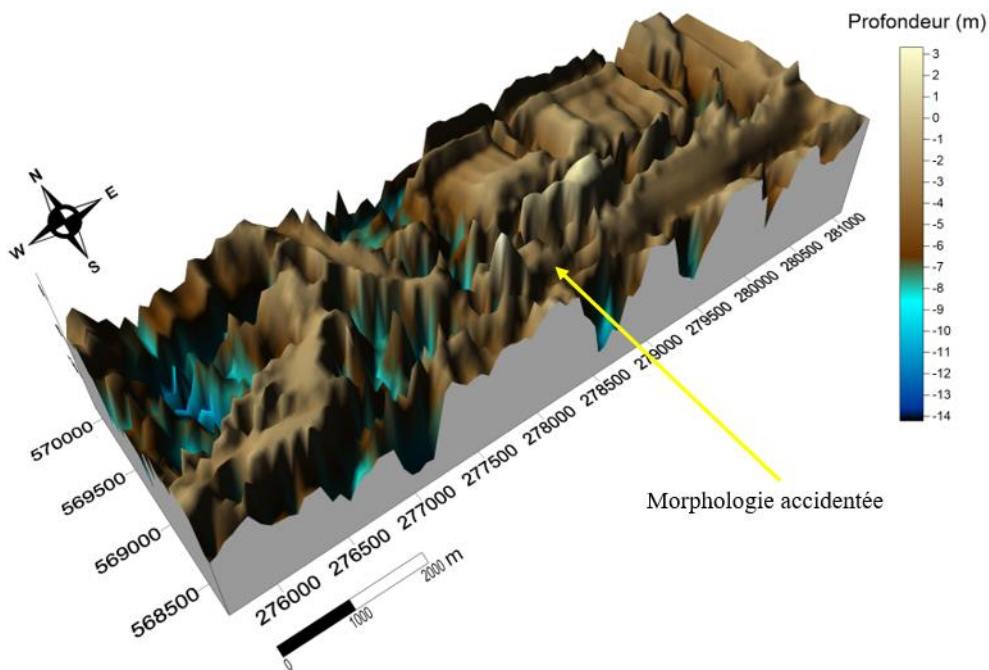


Figure 4 : Bathymétrie 2D du l'estuaire de Grand-Lahou en 2017

III-2. Profils Bathymétriques

L'étude morphologique de l'estuaire de Grand-Lahou a été également effectuée à travers la réalisation de profils bathymétriques. En général, les profils bathymétriques de 2011 se trouvent au-dessus de ceux de 2017. Ce constat atteste l'érosion généralisée des fonds de l'estuaire. Les chenaux en 2011 ont morphologie régulière et présentent des hauts fonds qui n'excèdent pas 0,5 m. Les dépressions n'atteignent pas 5 m. En 2017, les chenaux présentent des morphologies accidentées. Sur tout le long des profils bathymétriques de 2017, on observe des alternances de dépressions et de hauts fonds. Les dépressions peuvent atteindre 8 m tandis que les hauts fonds se sont érodés pour atteindre maintenant 1 m.

III-2-1. Profil bathymétrique du chenal de Tagba

Les profils bathymétriques de 2011 et 2017 (transect T1) se superposent quasiment sur une distance de 420 m, signe d'une stabilité morphologique. A ces deux dates la rive occidentale du chenal est inclinée de 3 %. Sur les 420 m, l'on observe sur les deux profils une convexité qui matérialise un haut fond d'environ 1 m et une concavité qui marque une dépression d'environ 3,8 m (**Figure 5**). Au-delà de cette distance, le profil bathymétrique de 2017 présente une dépression de 7 m de profondeur tandis que celui de 2011 présente un haut fond 1,2 m.

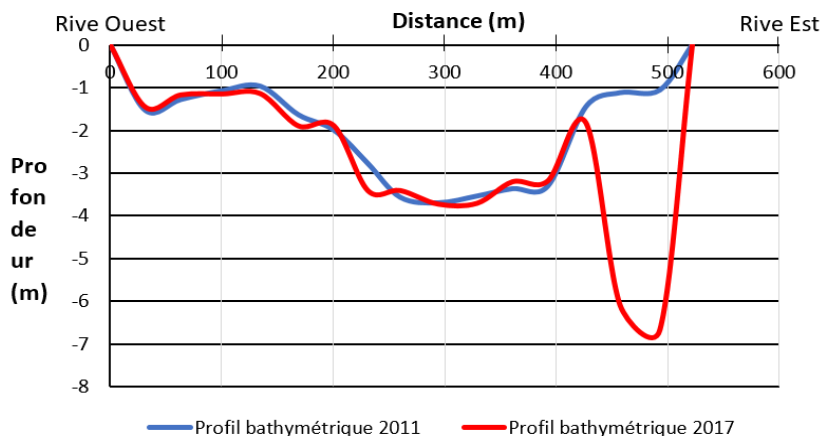


Figure 5 : Profils bathymétriques du chenal de la lagune Tagba en 2011 et en 2017

III-2-2. Profil bathymétrique du chenal du fleuve Bandama

Les profils bathymétriques de 2011 et de 2017 obtenus à partir du transect T2 présentent des pentes abruptes (environ 7 %) sur la rive nord. Ces pentes abruptes débouchent sur dépressions de 3,2 m et 4,2 m respectivement pour le profil bathymétrique de 2011 et celui de 2017. Le profil de 2011 présente une morphologie à double dépression (**Figure 6**). Entre ces dépressions, s’intercale un haut-fond de moins de 0,5 m de profondeur qui s’étend sur environ 120 m. Ce haut-fond s’érode en 2017 et laisse place à des dépressions d’environ 7 m en moyenne. Les profils bathymétriques de 2011 et de 2017 s’affaissent selon une pente d’environ 1,25 % sur une distance de 300 m en gardant les mêmes allures pour déboucher sur une dépression de 4,5 m pour le profil de 2011 et sur des dépressions de 5,8 m et 6,8 m pour le profil bathymétrique de 2017. La rive sud présente une pente moyenne de 3,5 % en 2011, en 2017 la pente de cette rive devient abrupte (environ 7 %).

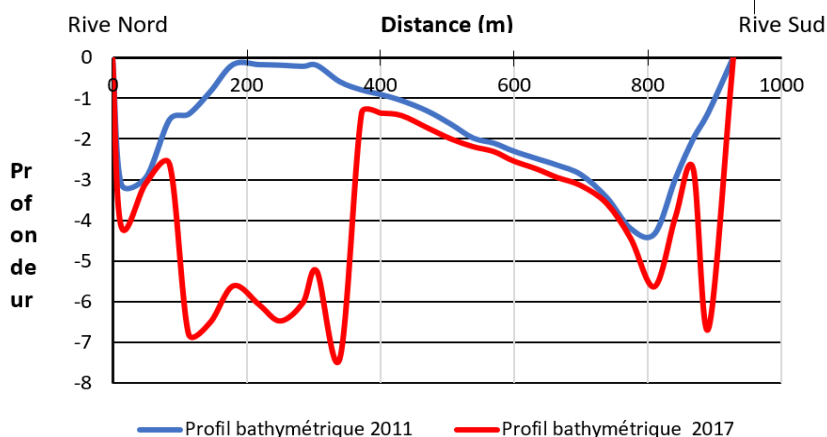


Figure 6 : Profils bathymétriques du chenal du fleuve Bandama en 2011 et en 2017

III-2-3. Profil bathymétrique du chenal de Nyouzoumou

Le tracé du graphe issu du transect T3 produit également un profil bathymétrique à double dépression (**Figure 7**) en 2011. La rive nord du chenal débouche sur la première dépression à travers une pente faible de 0,7 %. Cette dépression en forme de « U » est profonde d'environ 1,2 m. La deuxième dépression également en forme de « U » est profonde de 2,5 m. Une pente d'environ 2,3 % sépare le haut-fond de cette dépression. (Après la double dépression, on observe une morphologie monotone d'environ 1 m de profondeur qui s'étend sur une distance d'environ 620m. La rive sud présente une inflexion et est incliné de 0,33 %. En 2017, les flancs du chenal de Nyouzoumou sont abrupts (**Figure 6**). Le profil bathymétrique présente un aspect accidenté en "dents de scies". A proximité de la rive nord, on observe une première dépression en forme de « V » profonde de 4 m et une seconde de 7 m de profondeur également en forme de « V ». Les deux dépressions sont suivies par un haut fond d'environ qui s'étend sur 350 m. On enregistre sur ce haut fond deux petites dépressions, l'une profonde de 2,5 m et l'autre de 3 m de profondeur. Le haut fond fait la transition entre les deux premières dépressions et la dernière profonde de 8 m et en forme de « U ».

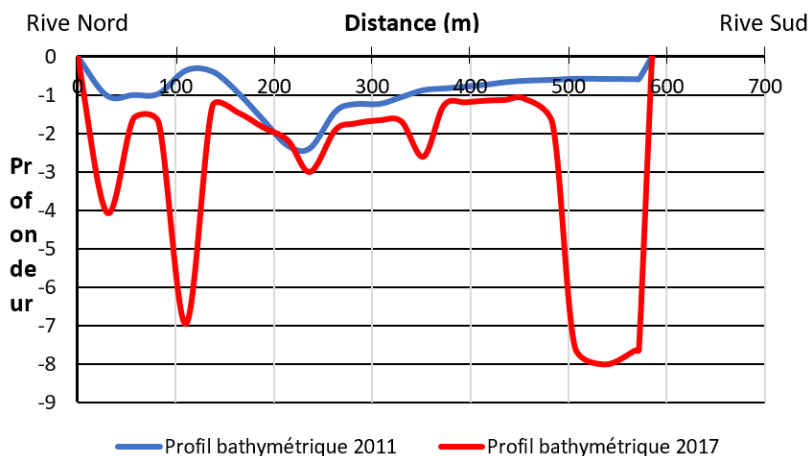


Figure 7 : Profils bathymétriques du chenal de la lagune Nyouzoumou en 2011 et en 2017

III-3. Évolution morphologique de l'estuaire de Grand-Lahou de 2011 à 2017

Sur l'image satellitaire Landsat ETM + de 2011 (**Figure 8a**), le bord Est du cordon littoral présente une flèche sableuse. Le bord Est et Ouest du cordon littoral forment un chenal passablement individualisé d'environ 330 m de large et est orienté selon la direction Nord-Ouest Sud-Est. Quant à l'image satellitaire

Landsat 8 OLI de 2017 (**Figure 8b**), elle présente un chenal nettement individualisé comparativement à celui de 2011. La forme de ce chenal est obtenue grâce à deux flèches formées sur le bord Est et Ouest du littoral. A cette date, la passe a une orientation Nord-Est Sud-Ouest. Elle est rétrécie et vaut à peine 100 m de large.

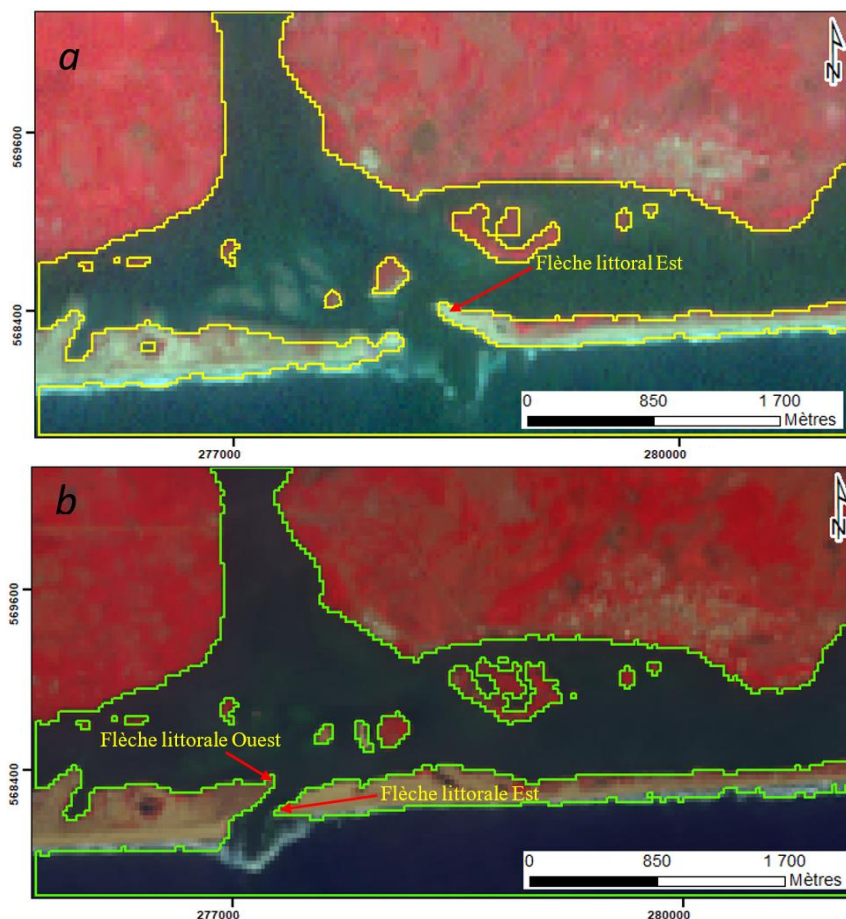


Figure 8 : Morphologie de l'estuaire à Grand-Lahou : (a) en 2011;(b) en 2017

Pendant les six ans la face lagunaire érodée ou engraisée a en moyenne évoluée de 150 m par an alors que la face océanique érodée ou engraisée s'est modifiée en moyenne approximativement deux fois plus vite soit 225 m par an. L'opération « Différence » (comparaison de pixel à pixel) a permis d'appréhender l'évolution morphologique de l'estuaire de Grand-Lahou de 2011 à 2017. Sur la carte (**Figure 9**) issue de l'opération « Différence », les morphologies des chenaux de Bandama, de Tagba et de Nyouzoumou obtenues en 2011 et en 2017 se superposent quasi parfaitement ce qui indique que ces chenaux n'ont pas subi de changements morphologiques notables en six ans.

La migration de la passe d'Est en Ouest observée sur la carte a généré mouvement sédimentaire qui se matérialise par un dépôt de sable sur une superficie de 188100 m² (environ 18Ha) à l'emplacement du chenal de l'embouchure en 2011 et une érosion du littoral sur 107100 m² (10 ha) à Lahou-Kpanda. Deux bancs de sable de 10800 m² et 16200 m² viennent occuper la zone de confluence tandis que l'îlot végétalisé présent dans cette même zone en 2011 a été érodé ou immergé en 2017.

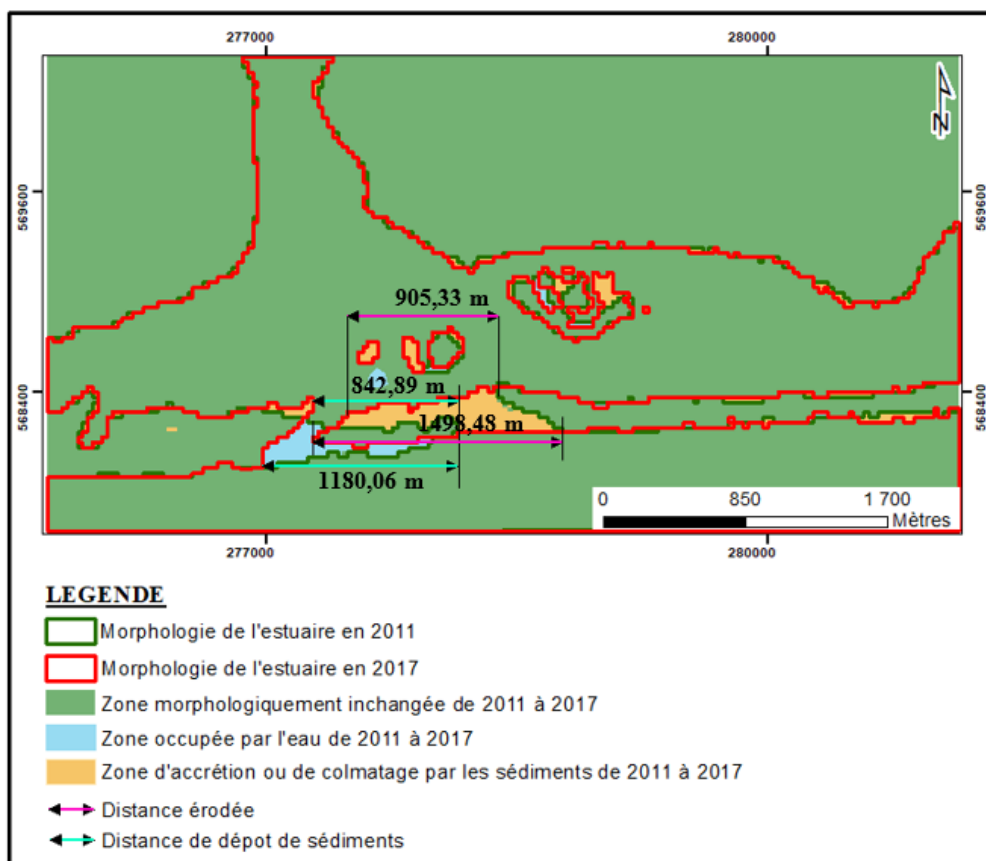


Figure 9 : Détection de changement de morphologie de 2011 à 2017 à l'estuaire de Grand-Lahou

L'analyse de la superposition des morphologies de l'estuaire de 2011 et 2017 montre que les changements opérés en six ans sont importants. Le rivage Est de l'embouchure sur sa face lagunaire a avancé de 905,33 m alors que sa face océanique a avancé de 1498,48 m. Quant au rivage Ouest, la face lagunaire a reculé de 842,89 m pendant que la face océanique a régressé de 1180,06 m. L'axe du chenal de l'embouchure s'est déplacé d'Est en Ouest de 1273,71 m en six ans.

III-4. Bilan sédimentaire de 2011 à 2017

L'analyse qualitative et quantitative de la carte du bilan sédimentaire (**Figure 10**) révèle une tendance à l'érosion des fonds lagunaires sur les six années avec 9 660 040,82 m³ de volume de sédiments érodés contre 112 988,71 m³ déposés. En effet, le fond de la carte du bilan sédimentaire est nettement marqué par les zones d'érosion (les zones en bleu sur la carte). Elles occupent 91,5 % de la surface de la zone d'étude. La superficie érodée est estimée à 3 862 870,14 m². Les 8,5 % de la surface restante de la zone d'étude c'est-à-dire 360 050,12 m² représentent des zones d'accrétion. Elles sont réparties inégalement dans la zone estuarienne avec une importante fraction située dans le chenal de Tagba. Dans ce chenal, le volume de sédiments déposés s'élève à 43 383,97 m³ et occupent une superficie estimée à 172 398,05 m². Le chenal de Bandama présente également quelques zones de dépôts évalués à 30027,09 m³ et s'étendent sur 93742,83 m². D'infimes fractions de dépôts sont observées dans le chenal de Nyouzoumou et dans la zone de confluence, où elles occupent respectivement 12646,96 m² et 81262,27 m² concernant les superficies puis 4239,28 m³ et 35338,38 m³ concernant les volumes.

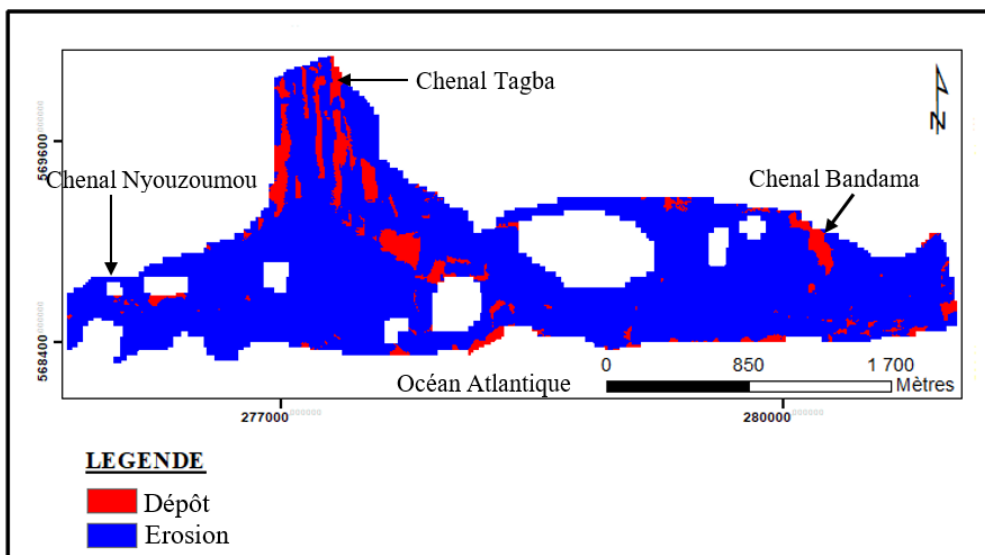


Figure 10 : *Bilan sédimentaire de 2011 à 2017 de l'estuaire de Grand-Lahou*

Le **Tableau** ci-dessous présente pour chaque secteur étudié le bilan sédimentaire en surface et en volume

Tableau 1 : Bilan sédimentaire en surface et en volume des trois secteurs

	Surface (m ²)		Volume (m ³)	
	Erosion	Dépôt	Erosion	Dépôt
Chenal Tagba	544984,19	172398,05	1 552577,09	43383,97
Chenal Nyouzoumou	655145,88	12646,96	1 179158,88	4239,28
Chenal Bandama	1800416,99	93742,83	3648412,04	30027,09
Zone Confluence	862323,08	81262,27	3279892,80	35338,38
Total	3 862 870,14	360 050,12	9 660 040,827	112 988,71

IV - DISCUSSION

IV-1. Morphologie de l'estuaire

L'examen des cartes bathymétriques révèle que l'estuaire de Grand-Lahou est un milieu peu profond dans l'ensemble. En six (6) ans les profondeurs ont nettement augmentées, les profondeurs moyennes ont doublées (de 1,5m les profondeurs moyennes passent à 3,8 m). Les haut-fonds même s'ils ne disparaissent pas, ont tendance à s'éroder pour atteindre environ 1 m de profondeur. Cette évolution morphologique infère une érosion des fonds lagunaires. En dépit du caractère très peu profond du domaine comme le remarquent [1], il existe des dépressions localisées principalement dans les chenaux de Tagba et du fleuve Bandama. La présence de ces dépressions pourrait s'expliquer par les forts courants d'eau qui peuvent empêcher le dépôt des sédiments [15]. En effet, le débit du fleuve Bandama entrant en mer et l'action des marées (la lagune Tagba communique directement avec la mer par le seul exutoire de la lagune de Grand-Lahou agissent comme des courants de chasse des sédiments [3]. Concernant le caractère peu profond de l'estuaire et la présence de hauts fonds, l'on peut supposer qu'entre autres causes de la mise en place de cette morphologie, l'apport constant de sédiments. L'auteur [1] vient conforter cette conjecture car selon leur étude menée à l'estuaire, les sédiments transporté par la dérive littorale contribuent au comblement des fonds lagunaires, faisant ainsi de ce domaine un milieu peu profond et parsemé de hauts fonds. Contrairement aux études menées en milieu côtier ivoirien par les auteurs respectivement dans la lagune de Tagba et de Fresco, qui ont observées des chenaux à morphologie uniforme en forme de « U » ou en forme de « V » [3, 15], les chenaux mis en évidence dans la présente étude ont une morphologie complexe. Globalement, les chenaux observés en 2011 présentent des doubles dépressions en forme de « U ». Les chenaux en forme de "U" traduisent un équilibre d'action entre les agents d'érosion et d'accumulation [15]. Ce constat permet d'affirmer qu'en 2011 les chenaux soumis sont faiblement affectés par l'érosion et morphologiquement stables. Ce qui se

traduit par les pentes moins abruptes des rives et par la morphologie des profils bathymétriques moins accidentée en 2011. Au contraire, les chenaux en forme de "V" résultent d'un processus d'érosion [16]. Ainsi, les profils accidentés en « V » observés dans tous les chenaux en 2017 dénotent une érosion généralisée à cette date. De 2011 à 2017 à l'estuaire de Grand-Lahou, les agents favorisant l'érosion sont plus actifs que ceux qui engendrent la sédimentation. Ce qui prouve en sus que le plan d'eau estuarien est affecté par l'érosion. De l'étude minutieuse des profils bathymétriques, l'on peut dégager globalement les tendances sédimentologiques d'un plan d'eau. En six (6) ans cette érosion a affecté environ 92 % la superficie totale de la zone d'étude. Selon l'auteur [3], la lithologie est un facteur explicatif de ce type de relief, car dérivant de la plus ou moins grande résistance des roches telles qu'elles se présentent dans le relief. L'estuaire de Grand-Lahou se trouve dans le bassin sédimentaire. Cette relative résistance du substratum pourrait dénoter l'érosion généralisée de l'estuaire de Grand-Lahou.

IV-2. Évolution morphologique de l'estuaire

Au niveau de l'embouchure, l'auteur [17] ont montré que le cordon Ouest est en constant érosion. Alors que de 1988 à 2003 la vitesse d'érosion était estimée à 31,64 m/an ; elle est passée de 1993 à 2003 à 45,1 m/an. L'analyse diachronique à travers la superposition des images satellitaires Landsat ETM+ et Landsat OLI acquises respectivement aux dates du 06/01/2011 et du 19/03/2017 fait ressortir explicitement un déplacement de la passe d'Est en Ouest sur environ 1,2 Km en six ans. Cette migration du grau est contre-intuitive car elle se fait dans la direction opposée au transit littoral (Ouest-Est) causée par la houle. Elle a occasionné une perte d'environ 11 hectares de terre habitable (village des pêcheurs sur le littoral). Sachant que le phénomène qui se produit au niveau de Grand-Lahou est spécifique à la zone. En période d'étiage, on observe au niveau de l'embouchure, les rubans de sédiment qui stagnent et sont pièges dans le fleuve, incapable de se déverser dans la mer pour combler le déficit de sédiments causé par le transit sédimentaire. Et ce phénomène d'érosion serait dû à la construction sur le fleuve Bandama de deux barrages hydroélectriques en amont : Kossou en 1972 et Taabo en 1980 est un aléa naturel. Pourtant, ces barrages bloquent en partie les sédiments et freinent ainsi la reconstitution du littoral attaqué par l'océan. Malgré cela, nous avons pu observer une alternance entre l'érosion et l'engraissement.

IV-3. Bilan sédimentaire de l'estuaire

La dynamique sédimentaire ou érosive est plus intense sur la face océanique que sur la face lagunaire. Ceci est dû à l'action particulière des vagues sur les estrans à l'embouchure où l'érosion est active [18]. L'étroitesse du chenal de

l'embouchure (à peine 100 m de large) observée sur l'image Landsat OLI du 19-03-2017 est liée au fait que cette date correspond à la période d'étiage du fleuve Bandama où l'on enregistre une baisse considérable de son régime. Ce qui entraîne le colmatage progressif de l'embouchure par les dépôts marins. Cette morphologie caractéristique du chenal à l'étiage a été enregistrée par Wognin et al., (2016) en 2016, la largeur du chenal valait alors environ 70 m. Les flèches sableuse formées sur les bords de la passe pendant l'étiage sont érodées en période de crue pour faire place à une passe élargie. Cependant, sur l'image Landsat ETM+ acquise en période d'étiage (janvier 2011), la passe est élargie (plus de 300 m de large). Cette morphologie temporaire du chenal peut être due à un marnage suffisant pour que le flot et le jusant assurent un auto dragage de la passe qui échappe à l'obturation. Dans l'ensemble l'estuaire de Grand-Lahou est dominé par une érosion. Cette érosion est liée à des phénomènes naturels, anthropiques et climatiques [11]. Au titre des causes naturelles on peut citer l'élévation du niveau marin, le déficit d'apport sédimentaire, l'instabilité naturelle des pentes, l'absence de structure naturelle capable d'atténuer l'effet de la houle sur l'estran, l'existence de côte basse sableuse A côté de ces causes naturelles, l'intervention de l'Homme telle que la construction d'ouvrages de défense perpendiculaires à la côte, la construction de bâtiments sur les plages, les prélèvements de sable de plage sont tout aussi responsables de l'érosion. En clair l'érosion qui est un ensemble de phénomène qui concourt à l'enlèvement et à l'éloignement de la roche altérée, explique les profondeurs extrêmes retrouvées pouvant atteindre plus de 7m dans cette zone.

V - CONCLUSION

L'estimation de la bathymétrie à partir d'images satellitaires issues des satellites Landsat-7 Landsat-8 de Décembre 2011 et Avril 2017, a montré l'utilité de la télédétection à l'estimation de la profondeur des eaux. Le modèle de Lyzenga a montré une bonne performance des estimations de profondeur dans les eaux côtières peu profondes en donnant des résultats convainquant dans les eaux peu profondes de l'estuaire de Grand-Lahou. L'étude réalisée à l'estuaire de Grand-Lahou a révélé que l'estuaire dans son ensemble est un milieu peu profond. Malgré son caractère peu profond, les fonds ont tendance à s'éroder. La forme accidentée des profils bathymétriques est due à cette érosion. La morphologie de l'estuaire du Bandama est en permanence tributaire des actions de la houle, de la marée du débit fluvial et donc des saisons. Le bilan sédimentaire a montré que les engraisements élevés au niveau de la zone de confluence et du chenal de Bandama influencent la morphologie de l'estuaire qui a pour conséquence la migration de la passe de l'ouest vers l'est.

RÉFÉRENCES

- [1] - J. ABÉ, S. BAKAYOKO, S. B. BAMBA, K. P. KOFFI, Morphologie et hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Bandama. *J. Ivoir. Océan. Limnol.*, 2 (1993) 9 - 24 p.
- [2] - D. MAMA, V. DELUCHAT, J. BOWEN, W. CHOUTI, B. YAO, B. GNON, M. BAUDU, Caractérisation d'un Système Lagunaire en Zone Tropicale : Cas du lac Nokoué (Bénin). *European Journal of Scientific Research*, 56 (4) (2011) 516 - 528
- [3] - T. WANGO, Y. M. N'GUESSAN, K. P. M'BRA, K. B. F. KASSIA, K. AKA, Analyse morphologique de la lagune Tagba de Grand-Lahou (littoral Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 30, N° 1 (2017) 2351 - 8014 p.
- [4] - CEDRIC LOMBARDO WACA, Grand Lahou – Orientations stratégiques et Plan d'investissement multisectoriel, (2017) 72 p.
- [5] - C. MALLET, A. MICHOT, Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte - Rapport BRGM/RP-60616-FR, (2012) 162 p.
- [6] - G. W. BRYAN and W. J. LANGOSTON, Bioavailability, accumulation and effects heavy metals in sediments with special reference to united estuary. *Environ. Pollution*, 76 (1992) 89 - 131
- [7] - K. L. KOUASSI et K. S. KONAN, Modélisation du transport des sédiments fins à l'embouchure du fleuve Bandama ; Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. Acte des XV^{ème} Journées Nationales Génie côtier-Génie Civil. Ed Paralia CFL, (2018) 225 - 233 p.
- [8] - J. TOURNAY et P. QUEMENEUR, La télédétection satellitaire : un outil incontournable pour la mise à jour cartographique du littoral, (2012) 25 - 35 p.
- [9] - K. S. KONAN, K. L. KOUASSI, K. I. KOUAMÉ, A. M. KOUASSI, D. GNAKRI, Hydrologie et hydrochimie des eaux dans la zone de construction du chenal du port de pêche de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 7, (2) (2013) 819 - 831 p.
- [10] - A.V. I. WOGNIN, Caractérisation hydrologique et sédimentologique de l'embouchure du fleuve Bandama. Thèse de doctorat, Univ. de Cocody, (2004) 198 p.
- [11] - DJAGOUA ERIC M. VALERE, BAKAYOKO FATOUMATA, KOUADIO MAFFOUE JEANNE KASSI, A. JEAN-BAPTISTE MOBIO, A. BRICE HERVE, Cartographie de La dynamique Du Trait de côte A Grand-Lahou : Utilisation De L'outil « Digital Shoreline Analysis System (Dsas) ». *European Scientific Journal.*, Vol. 12, N°36 (2016) 327 - 335 p.

- [12] - A. I. V. WOGNIN, A. S. COULIBALY et A. C. AKOBE, Morphologie du littoral et cinématique du trait de côte de vridi à Grand-Bassam (Cote d'Ivoire). *Journal Of Environmental Hydrology, The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology On the World Wide Web* at <http://www.hydroweb.com>, Vol. 21, (2013) 10 p.
- [13] - C. HAUHOUOT, ROBINM et A. MIOSEC, Cinématique du littoral de Grand-Lahou à l'aide d'un SIG. In : îles et littoraux tropicaux-Brest, Ouest éditions, (1997) 269 - 276 p.
- [14] - M. J. KOUADIO, P. B. YAHIRI, A. J-B. KASSI, E. V. DJAGOUA, Characterization of waters in the construction zone of the channel of fishing Port of Grand-Lahou, Cote D'ivoire. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 9, issue 9 (2020) 7992 - 7997 p.
- [15] - Y. A. N'GUESSAN, K. L. ADOPO, E. M. AMANI, K. B. KONAN, M. TOURÉ, S. MONDÉ, K. AKA, Etude bathymétrique, sédimentologique et environnement de dépôt des sables superficiels de la lagune de Fresco. *J. Asian Sci. Res.*, 3 (2013) 308 - 320 p.
- [16] - K. AKA, La sédimentation quaternaire sur la marge de la côte d'ivoire : Essai de modélisation. Doc. Etat es sc. Nat., Université de Cocody, (1991) 233 p.
- [17] - A. I. V. WOGNIN, K. AFFIAN, S. MONDE, A. COULIBALY et K. AKA, Grand-Lahou (Côte d'Ivoire), ville menacée de disparition par l'évolution morpho-sédimentaire de l'embouchure du fleuve Bandama. *Africa Geoscience Review*, Vol. 12, N°4 (2005) 321 - 334 p.
- [18] - A. V. WOGNIN, F. Y. P. ASSALE, Y. M. N'GUESSAN, E. T. DIANGONE, S. MONDE, Hydro-sedimentary characterization and mouth migration process of bandama's river (Côte d'Ivoire). *International Journal of Advanced Research*, Vol. 4, N°11 (2016) 632 - 640 p.