

Héritage sédimentologique de la lagune Gbaga dans le complexe fluvio-lagunaire Sud-ouest béninois

Honorin GBINIBOU ANDEMI^{1*}, Gérard A. F. d'ALMEIDA¹, Moussa BIO DJARA¹
et Léandre ACCALOUGOU²

¹Laboratory of Geology, Mines & Environment (Labo, GME), Department of Earth Sciences (DES) (DST)
Abomey-Calavi University of, 01 BP 4256 Cotonou, Bénin

²ACL Consultant : General Engineering Design Office, 09 BP 461 Cotonou, Bénin

(Reçu le 09 Septembre 2022 ; Accepté le 10 Octobre 2022)

* Correspondance, courriel : gbinibouhono@gmail.com

Résumé

Cette étude porte sur la lagune de Gbaga située dans le complexe fluvio-lagunaire Sud-ouest béninois qui assure une communication naturelle entre le cours inférieur du fleuve Mono et le système lagunaire de la zone côtière du Togo. La méthodologie utilisée est basée sur des mesures bathymétriques par échosondeur, des analyses sédimentologiques par tamisage et l'extraction des minéraux lourds. Les résultats des analyses bathymétriques de la lagune indiquent des profondeurs variant de -0,18 à -2,24 m du pont de Zébé à Nikoué-Condji, tandis que ces profondeurs passent brusquement de -2,14 à -3,81 m de Nikoué-Condji et Agbanankin. Le fond lagunaire est tapissé de matériaux sableux et sablo-argileux du centre vers l'aval, tandis que la partie amont encombrée de végétaux divers, enracinés au fond ou flottants, ne reçoit que des particules fines, silto-argileuses et présente les zones les plus profondes de la lagune. La présence des cortèges de minéraux à staurotide, sillimanite, à grenats et zircon en provenance du plateau d'Atitogon qui jouxte la rive nord de cette lagune confirment la provenance de ces sédiments dans la partie avale. L'abondance des minéraux opaques dans la partie amont indique que les particules fines, silto-argileuses de ce secteur sont issues de la vaste plaine d'inondation du Mono. Ces résultats expliquent le processus de comblement de la lagune de Gbaga.

Mots-clés : *mono, lagune, Gbaga, bathymétrie, sédiment.*

Abstract

Sedimentological heritage of the Gbaga lagoon in the southwestern Beninese fluvio-lagoon complex

This study focuses on the Gbaga lagoon located in the south-western Beninese fluvio-lagoon complex, which serves as a natural communication between the lower reaches of the Mono River and the lagoon system of the Togo coastal zone. The methodology used is based on bathymetric measurements using echo sounder, sedimentological analysis is also performed by sieving and extraction of heavy minerals. The results of the bathymetric analyses show that depths of the lagoon indicate depths range from -0.18 to -2.24 m from the Zébé bridge to Nikoué-Condji; while these depths rise sharply from -2.14 to -3.81 m from Nikoué-Condji and

Agbanankin. The bottom of the lagoon is covered with sandy and sandy-clay materials from the centre to the downstream, while the upstream part is cluttered with various plants, rooted to the bottom or floating, and receives only fine, silt-clay particles and presents the deepest zones of the lagoon. The presence of staurotite, sillimanite, garnet and zircon minerals from the Atitogon plateau, which adjoins the northern shore of this lagoon, confirms the origin of these sediments in the downstream part. The abundance of opaque minerals in the upstream part indicates that the fine, silt-clay particles in this sector originate from the vast floodplain of the Mono. These results explain the sediment settlement process of the Gbaga lagoon.

Keywords : *mono, lagoon, Gbaga, Bathymetry, sediment.*

1. Introduction

La lagune de Gbaga, dans le complexe fluvio-lagunaire Sud-ouest béninois est un plan d'eau transfrontalier qui assure une communication naturelle entre le cours inférieur du fleuve Mono et le système lagunaire de la zone côtière du Togo [1]. Cette lagune est aujourd'hui dans sa grande partie complètement comblée et, ne permet plus la jonction et l'écoulement des eaux de Agbanankin (Bénin) à Aného (Togo) comme ce fut le cas dans le passé. En effet, de par sa dynamique hydrosédimentaire, la lagune de Gbaga jouait un rôle important dans la stabilisation des inondations entre le Togo et le Bénin et servait également d'espace d'échange social et économique entre les populations locales riveraines du Togo et du Bénin [2]. Aujourd'hui, ces fonctions socio-économiques et écologiques de la lagune sont anéanties par le remplissage sédimentaire de la lagune et l'envahissement de son lit par les plantes invasives, rendant le milieu non navigable et inhospitalier aux espèces fauniques qui y étaient inféodées. C'est ce qui est à l'origine d'une étude conjointe de faisabilité technique du curage mécanique du chenal Gbaga et de restauration des écosystèmes associés entre par le Ministère de l'Environnement, du Développement Durable et de la Protection de la Nature du Togo et par le Ministère du Cadre de vie et du Développement Durable du Bénin [3]. L'essentiel des différents travaux scientifiques réalisés dans cette lagune par [4 et 5] n'ont porté que sur l'étude de la biodiversité et des aspects environnementaux. Une telle situation ne peut que montrer la nécessité d'appréhender le fonctionnement de ce plan d'eau ce plan d'eau. C'est ce qui justifie la présente étude dont l'objectif général est de caractériser le processus de remplissage sédimentaire de la lagune de Gbaga. Elle constitue une contribution au rétablissement des fonctions socio-économiques et écologiques de la lagune de Grand-Popo en vue de lutter efficacement contre les phénomènes d'inondations des villages en bordure de cette lagune, surtout en période de crue naturelles. Sur la plan géographique, la lagune de Gbaga est localisée entre $6^{\circ}14'24.0''$ et $6^{\circ}17'16.3''$ de latitudes Nord et $1^{\circ}36'27.8$ à $1^{\circ}48'30.5''$ de longitude Est. Elle s'étire d'Est en Ouest, sur une trentaine de kilomètres. C'est un défluent du Mono qui forme d'admirables méandres dont certains se recourent vers Agbanankin [6]. Cette lagune délimite, avec la mer plus au Sud, une bande de terre de moins 1 km de large sur 23 km, de Grand-Popo à la frontière avec le Togo (Hillacondji), constituant le prolongement du territoire béninois, tandis qu'au Nord de la lagune, c'est la République togolaise. Elle fait partie du complexe fluvio-lagunaire Sud-ouest béninois (fleuve Mono - lac Ahémé - lagune côtière), zone humide érigée en site Ramsar 1017 par l'UNESCO ; il rentre au Togo dans un autre complexe comprenant le lac Boko et la lagune d'Aného [7]. Au Bénin, la lagune de Gbaga relève administrativement de la commune de Grand-Popo (Département du Mono) alors qu'au Togo, elle relève de la Préfecture des Lacs présentée dans la *Figure 1*. Sur le plan climatique, la zone d'étude bénéficie d'un climat tropical humide encore appelé climat subéquatorial caractérisée par la succession annuelle de 4 saisons à savoir : une grande saison pluvieuse de mars à juillet, une petite saison sèche de transition en juillet et en août, une petite saison pluvieuse d'août à novembre et une grande saison sèche de novembre à mars. La pluviométrie annuelle varie entre 850 mm et 1250 mm par an [8]. Du point de vue géologique, la lagune de Gbaga est située entre le plateau du Continental terminal de Atitogon (Togo)

sur sa rive nord et le cordon littoral sableux au Sud. Le Continental terminal de ce plateau côtier est constitué d'une formation sablo-argileuse rouge, dominée par du sable quartzeux et de l'argile kaolinitique. Au Sud, une plaine littorale formée de cordons sableux gris bruns interrompus et de dépressions marécageuses vient compléter cet ensemble géologique.

2. Matériel et méthodes

L'approche méthodologique adoptée comprend des campagnes de terrain puis des travaux de laboratoire.

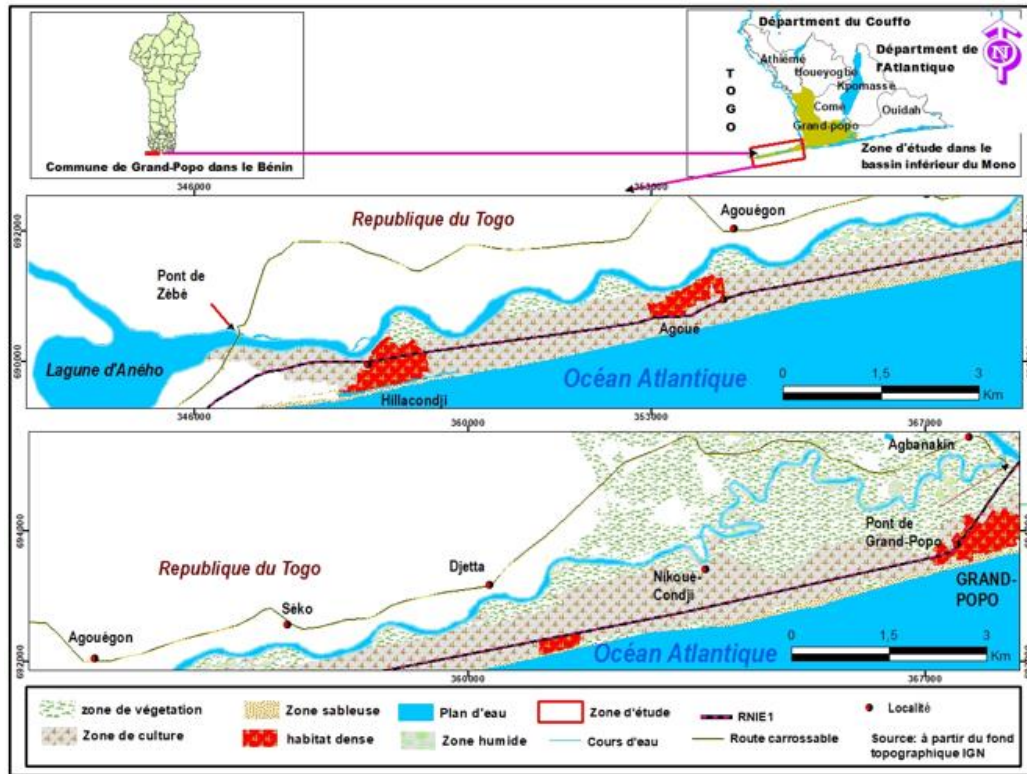


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

2-1. Campagnes de terrain

Elles concernent les mesures bathymétriques et l'échantillonnage des sédiments superficiels.

2-1-1. Mesures bathymétriques

Ces mesures ont été réalisées sur la lagune côtière à l'aide d'un échosondeur à double fréquence monté à bord d'une barque motorisée et fixé contre celle-ci pour effectuer des mesures à l'aide d'un traceur GPS. La sonde détermine ainsi la profondeur correspondante à chaque point lors de son trajet.

2-1-2. Échantillonnage de sédiment superficiel

Le prélèvement des sédiments a été fait avec l'aide d'un plongeur qui descend au fond de la lagune, à chaque point de prélèvement pour échantillonner les sédiments. On a recours à la benne de Eckman dans les zones d'accès difficile, le plus souvent au niveau des stations entièrement couvertes par la végétation où la

technique de plongée s'avère impossible. Dans les deux cas, les sédiments sont d'abord récupérés dans un sceau-maçon préalablement lavé ; ensuite, ils sont décrits sur place en précisant la lithologie (sable, sable vaseux, vase sableuse, vases), la couleur, la présence de coquilles et/ou de débris végétaux, puis sont emballés dans les sachets plastiques transparents et étiquetés. Au total 35 échantillons de sédiments superficiels ont été prélevés dans la lagune de Gbaga répartis dans différents sachets pour les analyses granulométriques. Ces points d'échantillonnages sont présentés par la **Figure 2**.

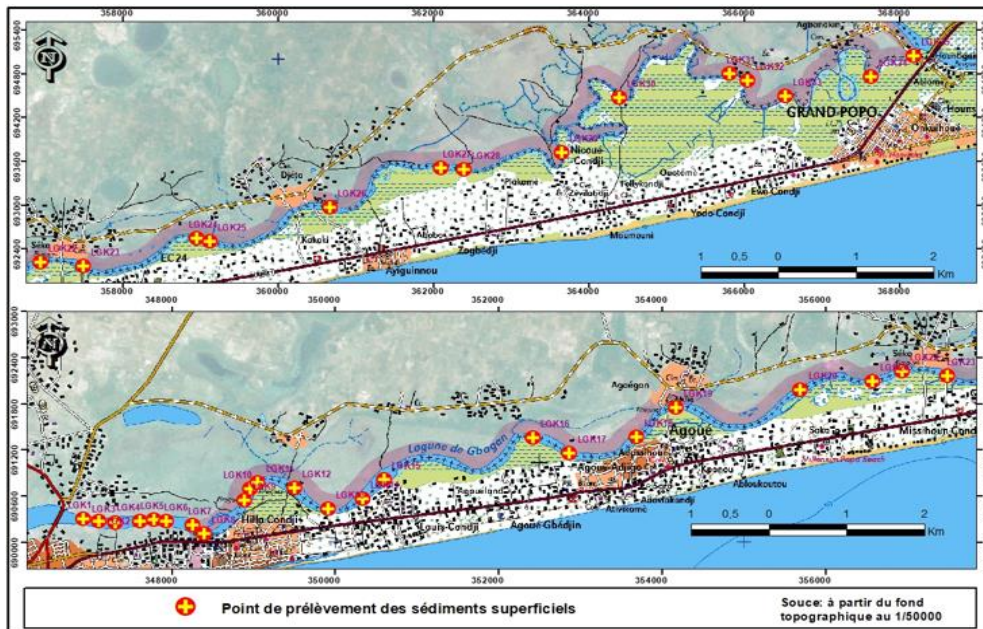


Figure 2 : Carte de positionnement des points d'échantillonnage des sédiments

2-2. Traitement des données

2-2-1. Traitement des données bathymétriques

Dans l'environnement du logiciel ArcGis 10.7, les données bathymétriques ont été projetés sur un fond topographique, à partir duquel les contours de la lagune ont été extraits. Les coordonnées des points de mesures juxtaposées aux données collectées ont permis de réaliser les cartes bathymétriques. La méthode d'interpolation utilisée est le krigeage par autocorrélation spatiale. Cette méthode consiste à estimer la valeur d'attribut pour des secteurs non échantillonnés situés à l'intérieur des limites définies par les positions des points échantillonnés.

2-2-2. Préparation des échantillons et techniques de fractionnement

Les échantillons sont soumis à l'analyse granulométrique au Laboratoire de Géologie, Mines et Environnement (LaboGME) de l'Université d'Abomey-Calavi. Au laboratoire, les échantillons débarrassés des coquilles et débris végétaux ont été étuvés à 60°C pour la déshydratation. Une masse de 200 g a été prélevé, puis passée à un tamisage humide sur un tamis à mailles carrées, d'arêtes égales à 50 µm. Le refus ainsi séché et pesé, subit un tamisage à sec pendant 10 minutes sur une colonne constituée de 6 tamis à mailles carrées de la série AFNOR. Ce temps de tamisage permet de réduire l'erreur relative au poids d'une fraction à moins de 2 % [9]. Les résultats des analyses granulométriques sont présentés sous forme de graphiques à l'aide du logiciel CANEVAS 6 et d'Excel. Il s'agit des courbes cumulatives à ordonnées de probabilité et les histogrammes

de fréquences. L'échelle granulométrique utilisée pour la représentation de ces courbes cumulatives est l'échelle phi (Φ) de Krumbein. C'est une échelle où la valeur en unité phi correspond à $-\log_2$ de la valeur en millimètre (mm). Les diamètres des grains correspondant respectivement à 5 %, 16 %, 50 %, 84 % et 95 % du poids total des grains sont déduits des courbes cumulatives pour calculer les paramètres granulométriques. En vue de déterminer l'origine des particules sédimentaires dans la lagune, une extraction des minéraux lourds a été effectuée sur 05 échantillons de sédiments de l'amont à l'aval. Pour chaque échantillon, les minéraux lourds issus de 03 fractions (0,25 ; 0,125 ; 0,063 μ m ont été étudiés).

3. Résultats

3-1. Caractéristiques bathymétriques de la lagune de Gbaga

Les données bathymétriques de la lagune de Gbaga présentées par la **Figure 3** indiquent des profondeurs variant de -0,18 à -3,81 m L'analyse bathymétrique des fonds a permis d'identifier 3 classes en fonction de la profondeur. Il s'agit :

- Les fonds compris entre -1,29 et -0,18 m de profondeur : ces fonds apparaissent du pont de Zébé au Togo jusqu'à Nikoué-Condji au Bénin et occupent une grande partie de la lagune. Les plus faibles profondeurs de sont identifiés principalement entre le pont de Zébé à Agoué avec à l'intérieur de ce tronçon, quelques poches de plus grande profondeurs. Ils sont également enregistrés de part et d'autre de la localité de Séko. Les fonds de classes variant entre -1,29 et -0,9 m de se retrouvent généralement intercalés avec ceux de plus faibles profondeurs et leur plus grande extension est noté dans la partie aval de la zone d'étude.
- Les fonds compris entre -2,14 et -1,29 m de profondeur : il s'agit des types de fonds qui occupent la partie amont de la lagune Gbaga située entre Nikoué-Condji et Agbanakin. Ils apparaissent cependant en poche dans la partie aval plus précisément à Agouégon et l'Est de Hillacondji. Les plus faibles profondeurs de cette classe (-2,29 et -1,70 m) avec une faible extension apparaissent en poche, principalement à l'Ouest des localités de Hillacondji et de Agoué, et à l'Est de la localité de Djèta.
- Les fonds compris entre -3,81 et -2,14 m de profondeur : ils présentent les plus grandes profondeurs de la lagune. Ils sont avec les précédents, les fonds qui occupent essentiellement la partie amont de lagune entièrement couverte de végétation. Par ailleurs, ces types de fonds également identifiés de part et d'autre de la localité d'Agouégon.

où leur importante profondeur est lié aux activités de dragage industriel qu'a connues la lagune de Gbaga et ont engendré un approfondissement anthropique du fond lagunaire dans ce secteur.

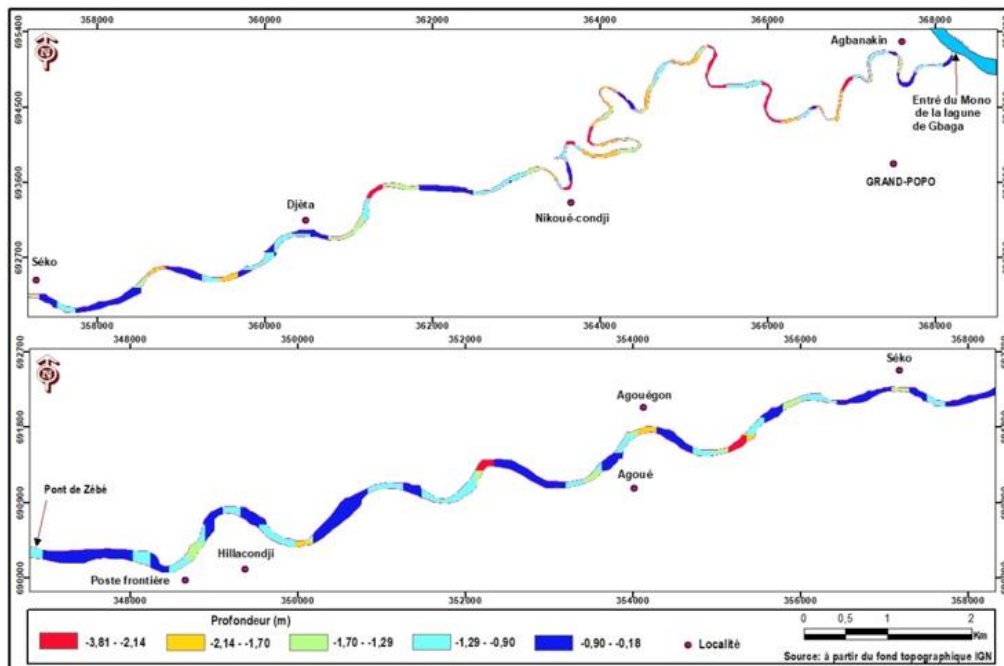


Figure 3 : Carte bathymétrique de la lagune de Gbaga

3-2. Description des faciès de la lagune de Gbaga

Dans la lagune de Gbaga, quatre types de faciès sédimentaires ont été identifiés. Il s'agit des faciès de sables francs, de sables vaseux, de vases sableuses et de vases. Ces différents faciès sont présentés dans la **Figure 4**. La répartition de ces faciès se présente comme suit :

- ✦ **Le sable** : c'est le faciès le plus répandus qui tapissent le fond la lagune de Gbaga. Il est identifié du pont de Zébé jusqu'à jusqu'à Nikoué-Condji. Son prolongement vers l'Est est interrompu par des faciès vaseux au niveau de la clôture du poste frontalier et de part et d'autre de Agouégon. Il est aussi recoupé par le sable vaseux à l'ouest de la localité de Séko. Ce faciès est constitué de sable moyen à fin rarement grossier de couleur gris-sombre renfermant quelques coquilles entières de lamellibranches et parfois de gastéropodes.
- ✦ **Le sable vaseux** : de couleur gris-noirâtre, ce faciès est identifié au niveau de deux localités. Il est enregistré à l'Ouest de la clôture du poste frontalier d'Hillacondji puis à l'Est de la localité de Séko. Son extension est faible.
- ✦ **La vase sableuse** : ce faciès généralement de couleur noirâtre est localement enregistré à l'Est de Nikoué-Condji où il est encadré par des sédiments vaseux. Il est coquillier et renferme de nombreux débris végétaux.
- ✦ **La vase** : il s'agit d'un faciès essentiellement enregistré dans la zone de la lagune où la bathymétrie révèle des profondeurs importantes. C'est le cas des secteurs de la lagune située entre le début de la clôture ouest du poste frontalier et Hillacondji puis de part et d'autre de la localité d'Agouégon où il très bien répandu. De l'Ouest de Nikoué-Condji jusqu'à Agbanakin (point d'entrée du fleuve Mono dans la lagune de Gbaga, il représente une très vaste plaine inondable surmontée de végétations qui comblent cette lagune dans ce secteur.

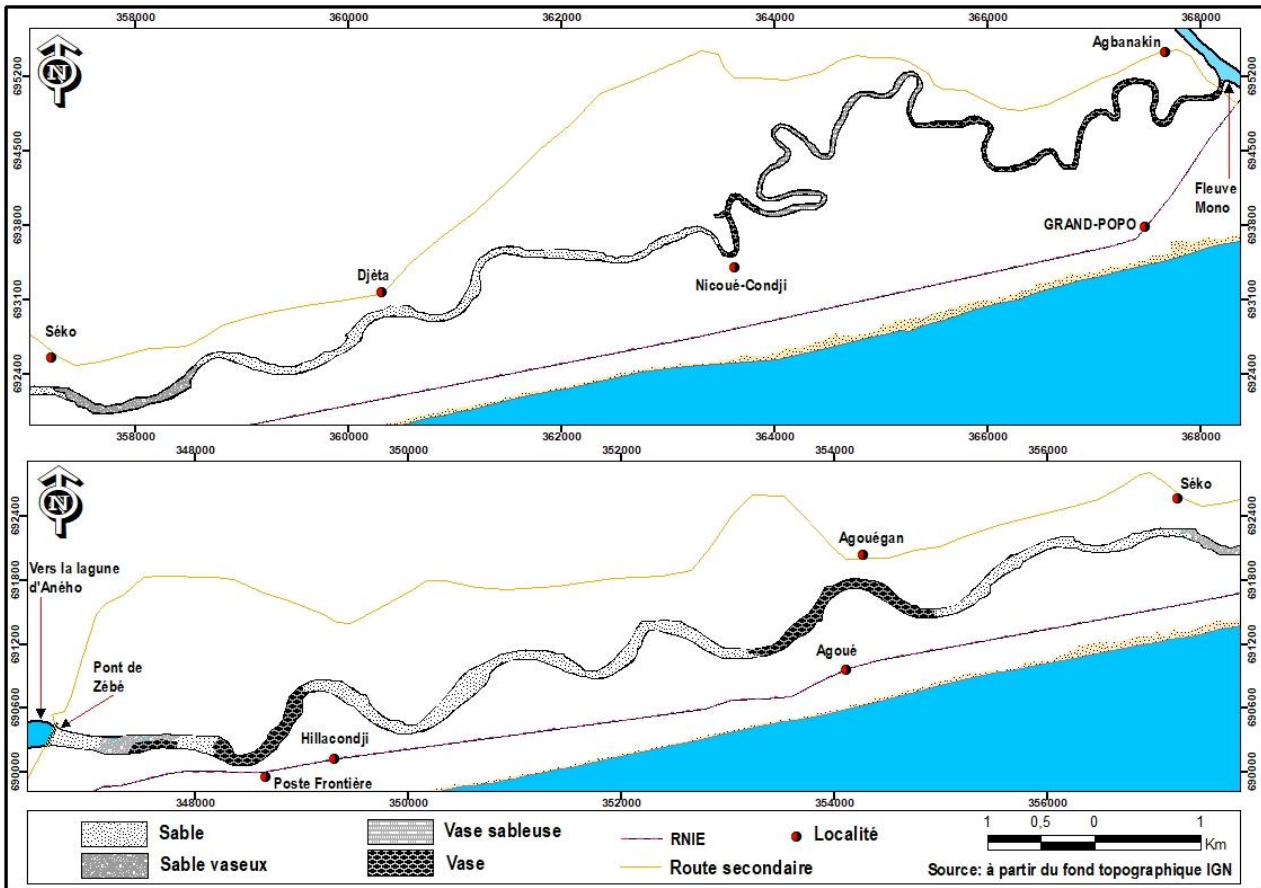


Figure 4 : Carte des lithofaciès de la lagune de Gbaga

En somme, la répartition des sédiments sur le fond lagunaire indique quatre faciès bien distincts. Du pont de Zébé jusqu'à Nikoué-Condji, le fond de la lagune de Gbaga est recouvert essentiellement de sable franc à l'exception des secteurs du poste frontalier, de Agoué et de Séko où ces faciès sont localement interrompus par du sable vaseux et de la vase. La partie est de la lagune de Gbaga, entre Nikoué-Condji et Agbanakin, est entièrement vaseuse. L'absence de sédiment sableux à Agbanakin qui est l'entrée du Mono dans Gbaga, témoigne du fait que les sédiments sableux charriés par le fleuve Mono ne sont pas drainés vers la lagune de Gbaga.

3-3. Distribution granulométrique des faciès sédimentaire de lagune de Gbaga

La répartition granulométrique des faciès sableux de la lagune de Gbaga sont regroupés en trois grands types : les sables moyens, les sables fins et les vases sableuses/sable vaseux.

3-3-1. Sables moyens

La distribution des faciès de sables moyens rarement grossiers représente les faciès les plus répandus dans la lagune. Les faciès sableux qui représente cette répartition granulométrique sont identifiés du pont de Zébé jusqu'au niveau de la clôture du poste frontalier ou ils occupent largement la partie centrale de la lagune. Il se retrouve aussi au niveau des fonds lagunaires situés dans les secteurs de Agouégan et de Séko où ils tapissent largement le fonds lagunaire. Le pourcentage de sable varie de 91,8 et 94,91 % et la distribution est unimodale avec un mode égal à 2Φ . La médiane et la moyenne varient légèrement avec des valeurs comprises respectivement entre 1,3 et 1,69 Φ puis entre 1,33 à 1,69 Φ (Figure 5a). Ces faciès présentent une forte pente montrant ainsi les conditions hydrodynamiques de leur dépôt caractérisées par courant

turbide rapide avec un bon classement des sédiments (**Figure 5b**). Leur sky indiquent des courbes cumulatives asymétrique et grandement étalée du côté de la fraction fine ; ce qui témoigne de la variabilité des conditions hydrodynamiques aux cours de leurs dépôts.

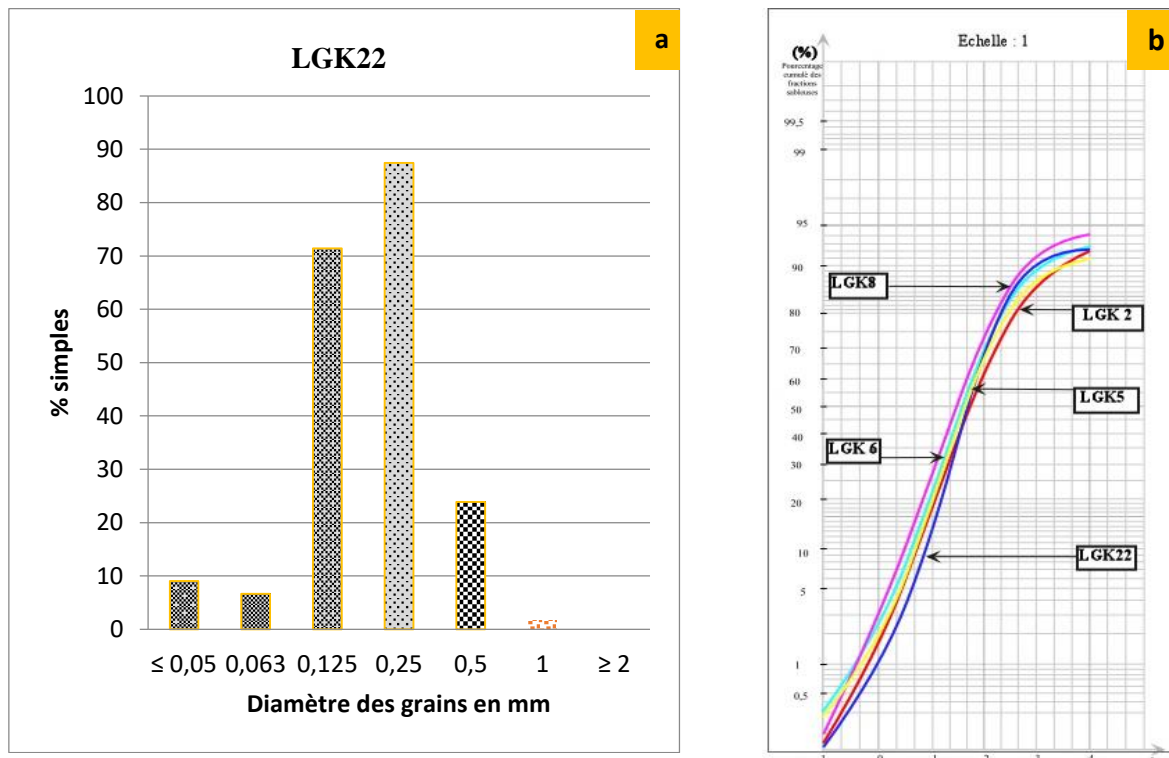


Figure 5 : Histogramme de fréquence (a) et courbes cumulatives (b) d'un échantillon de sable moyen

3-3-2. Sables fins

L'extension de ces faciès restent très faible car ils sont peu représentés dans la lagune. Ils sont enregistrés principalement à l'Est du secteur adjacent au poste frontalier. Ces faciès précèdent les sédiments vaseux et leur présence témoigne de l'affaiblissement du courant responsable de leur dépôt au regard de la grandodécroissance enregistrée avec, la granulométrie qui passe du sable fin à la vase. Le pourcentage en sables est d'environ 79,55 % et la distribution des grains est bimodale comme l'indique la **Figure 6a**. La moyenne granulométrique est 1,4 Φ . Les courbes cumulatives de ces faciès présentant une allure presque sigmoïde (en forme de S) avec de faible pente (**Figure 6b**). Ce sont des faciès déposés par excès de charge lors de la diminution de la compétence du courant de transport. Ils sont transportés par des courant de turbidité faibles ; ce qui témoigne de leur mode de transport en suspension.

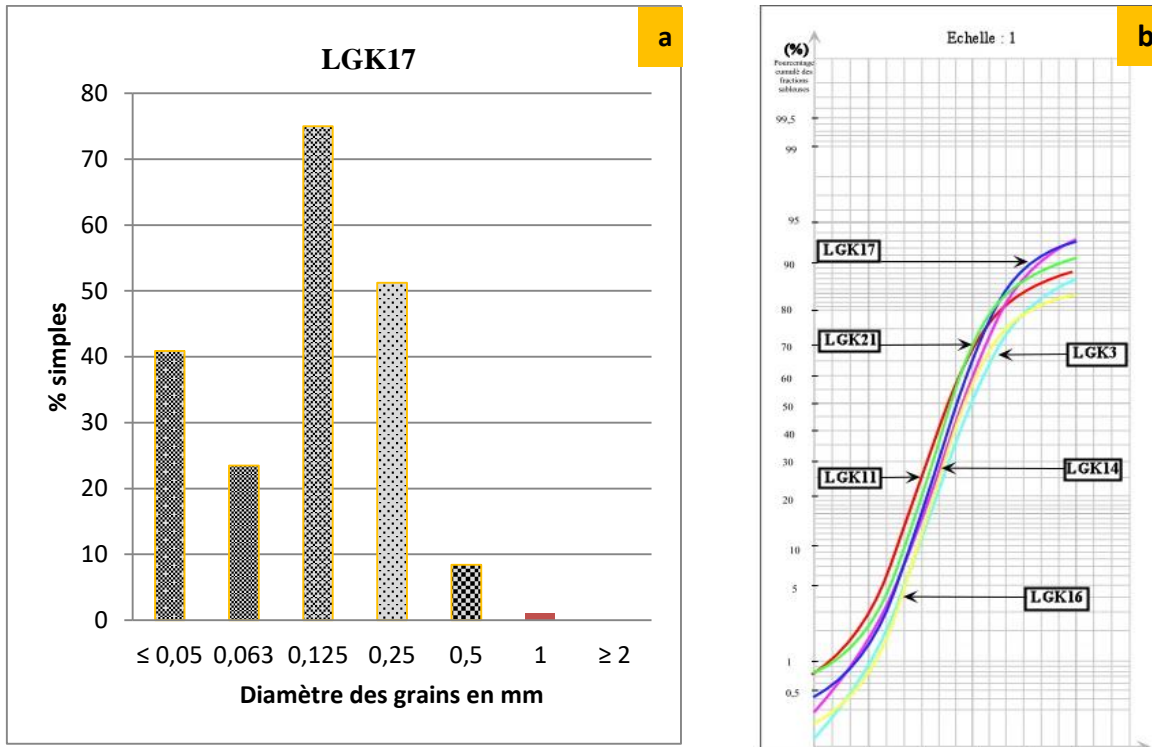


Figure 6 : Histogramme de fréquence (a) et courbes cumulatives (b) d'un échantillon de sable fin

3-3-3. Faciès de sables vaseux/vase sableuse

Les sables vaseux et ou vase sableuse sont principalement identifiés à l'Est de la localité de Nikoué-Condji sur environ quatre kilomètres et intercalé de faciès vaseux. Les pourcentages des sables calculés pour ces faciès varient de 56,40 à 79,65 % de sables. La distribution est bimodale avec une médiane comprise entre 0,97 et 1,44 Φ (Figure 7a). Ce sont des faciès dominés par des fractions argileuses ; caractéristique des milieux calmes favorisant le dépôt des sédiments par décantation (Figure 7b).

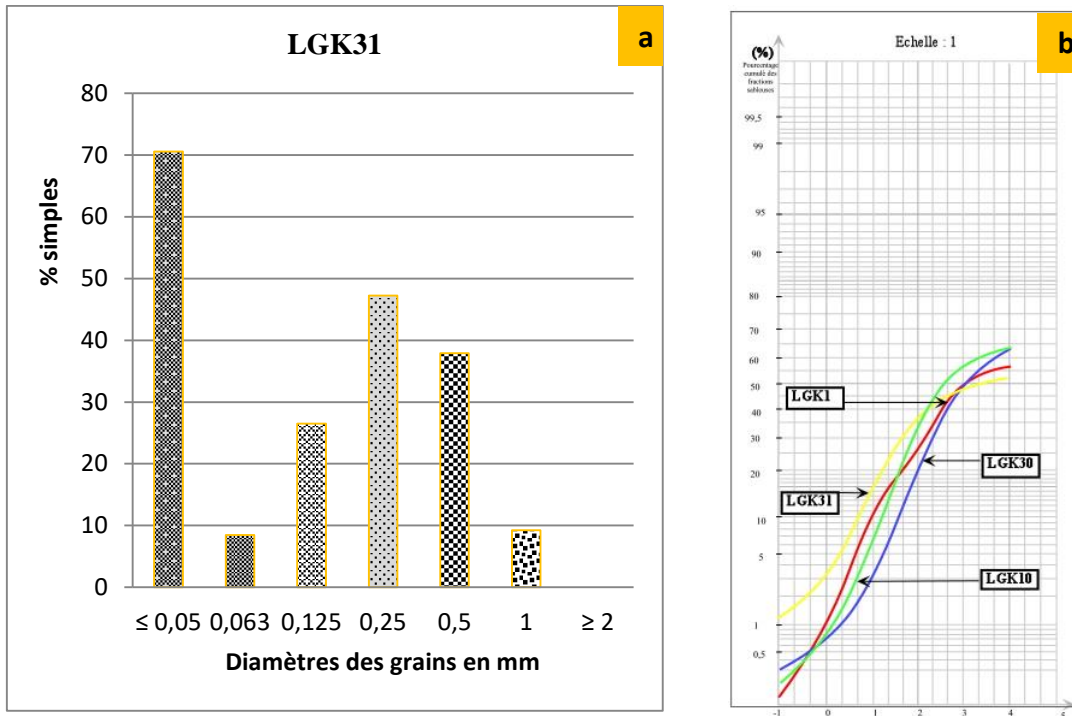


Figure 7 : Histogramme de fréquence (a) et courbes cumulatives (b) d'un échantillon de sable argileux

3-3-4. Analyse des indices granulométriques des faciès sableux

En vue d'apprécier le milieu et les conditions de dépôt des faciès sur toute la lagune, les paramètres granulométriques présentés par le **Tableau 1** ont été calculés à partir de la formule de [10].

Tableau 1 : Calcul des paramètres granulométriques

Echan	Mz	di	Ski	KG	Echan	Mz	di	Ski	KG
LGK1	1,44	- 0,42	6,26	0,13	LGK17	1,91	0,33	2,33	- 0,26
LGK2	1,81	0,43	4,18	-0,13	LGK18	0,91	-0,28	6,62	- 0,07
LGK3	2,22	0,48	2,68	- 0,20	LGK19	1,16	- 0,40	4,43	0,19
LGK4	2,17	0,64	5,06	- 0,10	LGK20	1,86	0,42	5,02	- 0,13
LGK5	1,70	0,40	4,16	- 0,12	LGK21	1,56	0,34	4,56	- 0,12
LGK6	1,69	0,36	0	- 0,24	LGK22	1,06	0,67	- 0,08	1,03
LGK7	-	-	-	-	LGK23	1,92	0,42	2,82	- 0,20
LGK8	1,50	0,39	5,19	- 0,09	LGK24	1,32	0,77	0,01	1,10
LGK10	1,39	- 0,52	3,57	0,22	LGK25	1,89	0,73	-0,08	0,84
LGK11	1,34	0,43	- 0,47	0,00	LGK26	1,86	0,38	2,45	- 0,24
LGK12	1,40	- 0,57	3,09	- 0,24	LGK27	1,06	- 0,47	2,45	- 0,32
LGK13	0,73	- 0,15	- 0,33	0,01	LGK28	1,39	0,80	0,05	1,12
LGK14	1,82	0,35	3,06	- 0,19	LGK29	-	-	-	-
LGK15	1,86	0,56	-1,14	0,01	LGK30	1,22	- 0,43	4,28	- 0,15
LGK16	2,01	0,45	2,45	- 0,23	LGK31	0,98	- 0,19	- 1,14	- 0,00

3-3-5. Mode granulométrique

L'analyse des modes granulométriques des différents échantillons prélevés dans la lagune de Gbaga indique deux types de dépôt :

- un premier type constitué de faciès sableux unimodal avec des modes inférieur ou égale à 0,25 mm . Il s'agit essentiellement des sables moyens qui tapissent le fonds lagunaire de Nikoué-Condji jusqu'au Pont de Zébé. Dans ce secteur, le transport des sédiments est régi essentiellement par la dynamique fluviale probablement la dynamique des courant de marée.
- un deuxième type montrant des faciès sableux bimodaux avec des modes compris entre 0,05 et 0,125 mm . Il s'agit des sables moyens à fin bien représenté dans la lagune et principalement à l'Est de Nikoué-Condji sur environ 4 kilomètres. Le transport des particules est aussi bien régi par les courants fluviaux du Mono qui se retrouvent affaiblir considérablement.

3-3-6. Moyenne granulométrique de l'écart type

Les moyennes granulométriques des sables de la lagune de Gbaga indiquent une variation spatiale avec une prédominance des sables moyen sur toute la lagune. De l'analyse du diagramme de distribution de la moyenne granulométrique (**Figure 8a**), il ressort que l'évolution de la courbes tendance vers les sédiments moyens à grossier en général. Cette tendance explique les conditions l'hydrodynamisme qui prévaut en amont de la lagune caractérisées par des forts courant des eaux du fleuve Mono entrant dans la lagune avant de s'affaiblir progressivement par des méandres. La dispersion des tailles par rapport à la moyenne des échantillons prélevés montre des sédiments présentant un classement modéré à bien classé sur presque toute la lagune (**Figure 8b**). Les sables bien classés à très bien classé sont localisés essentiellement enregistrés entre les localités d'Agouégon et Djeta.

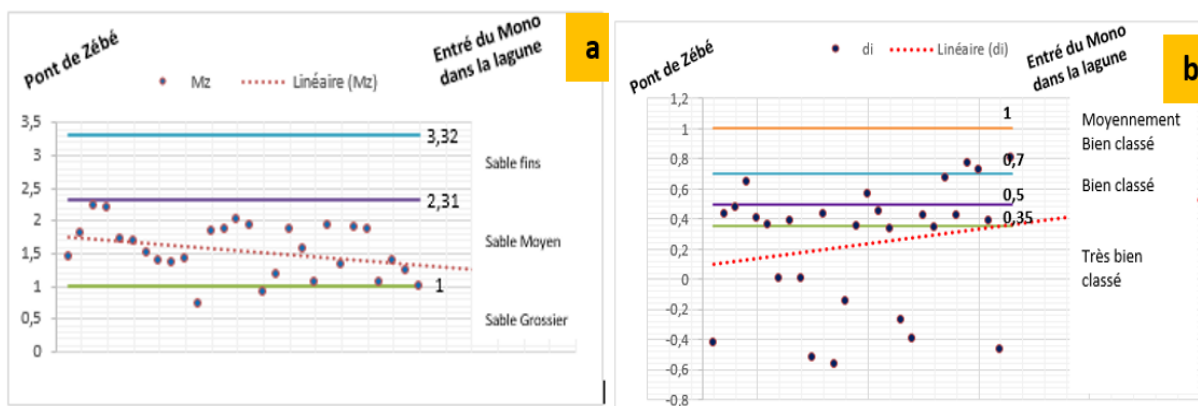


Figure 8 : Distribution de la moyenne granulométrique (a) et l'écart type (b) des sédiments de Gbaga et tendance d'évolution

3-3-7. Indice d'asymétrie et de kurtosis

L'indice d'asymétrie des sédiments le long de la lagune indique principalement des sables à très forte asymétrie vers les fins (**Figure 9a**). Cette forte asymétrie positive enregistrée indique que les dépôts qui tapissent le fond lagune de Gbaga sont constitués essentiellement des sédiments fluviaux enrichis en particules fines. Le diagramme d'indice d'acuité des dépôts lagunaires montre que la fraction sableuse des sédiments sont constitués essentiellement des courbes très platycourtiqes comme l'indique la **Figure 9b**. L'allure de ces courbes témoigne des conditions hydrodynamiques moyenne que connait cette lagune.

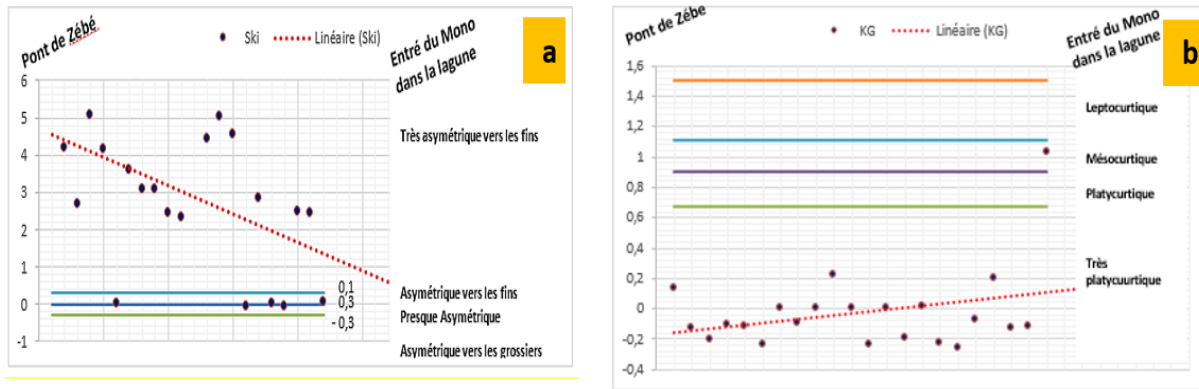


Figure 9 : Distribution de l'indice d'asymétrie (a) et de kurtosis de la lagune et tendance d'évolution (b)

3-4. Etudes des minéraux lourds

Les résultats obtenus sur les différents faciès sédimentaires révèlent la présence d'un cortège de minéraux lourds comprenant : le zircon, le disthène, la staurotite, les Grenats, l'Amphibole, le Quartz et les Minéraux opaques. La prédominance des minerais frais tels que les amphiboles, les staurotides et les disthènes des localités de Nikoué-Condji vers le pont de Zébé indique une source d'alimentation des particulières sédimentaires proche de plateaux d'Atitogon qui jouxte la rive nord de cette lagune. Par contre, de Nikoué-Condji et Agbanankin, la plupart des minéraux observés et présentés dans le **Tableau 2**, sont fortement altérés ou en voie d'altération ; ce qui confirme un apport sédimentaire quasi nul du fleuve Mono vers la partie amont de la lagune de Gbaga qui reste sous l'influence de la plaine alluviale du Mono.

Tableau 2 : Répartition des minéraux lourds dans la lagune de Gbaga

Localités	Agbanankin			Nikoué-Condji			Séko			Agouégan			Pont Zébé		
	250 (mm)	250 (mm)	0,63 (mm)	250 (mm)	125 (mm)	0,63 (mm)	250 (mm)	125 (mm)	0,63 (mm)	250 (mm)	125 (mm)	0,63 (mm)	250 (mm)	125 (mm)	0,63 (mm)
Fraction															
Minéraux lourds															
Zircon	++	+	++	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Disthène	+	+	-	+	+	+	+	+	++	-	+	+	++	+++	+
Calcite	-	-	-	+	-	-	++	+	-	-	-	+	-	-	+
Grenats	++	-	+	+	-	+	-	-	-	-	-	+	++	++	+
Amphibole	-	-	-	-	-	-	++	+++	++	+	++	++	+	++	++
Staurotite	-	+	+	+	-	-	+	+++	+++	+	++	+	-	-	+
Quartz	++	++	++	++	++	++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+	+++	+++
Minéraux opaque	+++	+++	+++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+	+++	+++
LEGENDE															
+++ Minéraux lourds très abondants			++ Minéraux lourds moins abondants			+ Minéraux lourds très peu (très faible quantité)			- Absence de minéraux lourds						

4. Discussion

Les observations de terrain et les analyses granulométriques réalisées sur les échantillons de sédiments superficiels de la lagune de Gbaga couplées au contexte géologique du milieu permet d'expliquer la répartition des sédiments, l'importance des accumulations, l'origine des matériaux et les conditions énergétiques auxquelles sont soumis ces matériaux qui arrivent dans la lagune de Gbaga. En effet, 2 domaines de sédimentation ont été identifiés dans la lagune de Gbaga : le domaine où la fraction fine (vase - silts et argiles) prédomine dans la zone amont, d'Agbanakin jusqu'aux environs de Nikoué-Condji et le domaine où prédominent des sables moyens à fins, à quelques exceptions près de Nikoué-Condji au pont de Zébé dans la partie aval de la lagune. Cette observation semble être en contradiction avec la dynamique hydrologique d'un cours d'eau où on voit généralement les sédiments grossiers en amont et les plus fins en aval [11]. En effet, les matériaux qui atterrissent dans la lagune ont leur source proche de la lagune : la zone amont est entourée d'une zone marécageuse qui alimente la lagune en particules fines tandis que la zone aval est attenante sur sa rive nord au plateau d'Atitogon (au Togo), fait de sable argileux et qui fournit l'essentiel de la fraction grossière au sédiment lagunaire. Cette observation montre aussi le faible écoulement des eaux dans la lagune où la fraction fine de la zone amont est piégée par la végétation et les profondeurs plus importantes qu'en aval. Par ailleurs, l'étude des minéraux lourds réalisée indique la présence des cortèges à staurotide et sillimanite en provenance du socle cristallin par le biais du fleuve volta à travers la plage togolaise et celle des cortèges à grenats et zircon issue de la Terre de barre du plateau d'Atitogon confirment la provenance de ces sédiments. Quant aux fractions fines (sילו-argileuses) qui dominent la partie amont de la lagune, elles proviennent de la vaste plaine d'inondation du Mono sans que ce dernier, bien que pourvoyeur dans la lagune de Gbaga en eau douce n'y apporte pas de sédiments détritiques grossiers. C'est ce qui justifie la présence de cortège à minéraux opaques dans la partie amont et même à l'entrée la lagune Gbaga, alors que les cortèges à staurotide et disthène dans les sédiments grossiers drainés par le fleuve Mono, sont observés dans la lagune de Grand-Popo par [12].

Ces mêmes résultats ont été enregistrés par [13] dans l'étude des minéraux du delta de l'Ouémé. D'après cet auteur, les sédiments caractéristiques des cortèges à staurotide et disthène parviennent essentiellement des formations du socle qui affleurent en centre et au Nord du Bénin. Du point de vue géologie historique, la lagune de Gbaga est issue des dernières oscillations de la transgression holocène comme la lagune de Grand-Popo [14]. Lors du maximum transgressif holocène (6 000 à 5 000 ans BP), la mer a envahi la basse vallée du Mono comme celles des fleuves Couffo et Ouémé, formant de vastes rias au détriment des plateaux du Continental terminal et de Terre de barre. Ces basses vallées formaient de vastes rias (bras de mer) dont les lacs Ahémé et Nokoué sont des reliques pour le Couffo et l'Ouémé [15, 16]. Pour le Mono, une vaste dépression est restée dans la basse vallée où prend naissance la lagune (partie amont du Gbaga, de Gbaga vers Nikoué Condji), tandis que de la partie centrale vers l'aval, la rive nord de la lagune est toujours "protégée" par le plateau de Terre de barre. On comprend alors que la partie amont soit dominée par des sédiments fins (vase ou argile silteuse) issus des rives Nord de la lagune à dominante marécageuse (ancienne ria). La partie aval de la lagune est dominée par le sable issu du proche plateau de la rive Nord de la lagune. Au total, l'origine des matériaux qui encombrant le chenal lagunaire est très proche. La fraction grossière, par sa granulométrie assez homogène (sable moyen à grossier) a son origine dans le plateau du Continental terminal (plateau d'Atitogon) dont l'ablation fournirait l'essentiel des sables qui s'accumulent dans la partie aval de la lagune, d'où un encombrement plus rapide que la partie amont soumise aux particules fines (silts et argiles) apportées par les eaux de ruissellement notamment en période des inondations. Ces pourquoi [17] affirme que les sables charriés par le Mono n'entrent pas dans la lagune qui a d'ailleurs son débouché dans le fleuve surélevé par rapport au lit mineur de ce dernier. On peut affirmer que la dynamique hydrologique du fleuve Mono ne joue pas un grand rôle dans le processus sédimentaire de la lagune de Gbaga.

5. Conclusion

L'étude des échantillons de sédiments superficiels le long de la lagune de Gbaga a permis d'appréhender, au-delà des aspects sédimentologiques, le fonctionnement de ce système lagunaire frontalier entre le Bénin et le Togo. La lagune de Gbaga située entre le cordon littoral actuel au Sud et deux formations sédimentaires opposées sur la rive Nord, à savoir les marais de la plaine d'inondation du Mono en amont et les formations sablo-argileuses du plateau d'Atitogon sur les 4/5 de son cours, du côté aval. Cette dualité du milieu pourvoyeur en sédiments va transparaître dans les caractéristiques sédimentologiques de la lagune. Ce qui a été interprété comme étant le reflet d'un héritage des constituants sablo-argileux du plateau de la rive nord de la lagune, héritage dont la fraction fine a été vannée et transportée plus en aval. En amont, seule la plaine alluviale du Mono nourrit la lagune de ses particules fines essentiellement argileuses. Du coup, la partie amont recevant les éléments fins se comble moins vite que le côté aval où s'accumulent les sédiments grossiers.

Références

- [1] - R. A. LAÏBI, "Dynamique actuelle d'une embouchure fluviale estuarienne à flèche sableuse, la Bouche du Roi, Bénin, Golfe de Guinée : Caractérisation hydrosédimentaire et géomorphologique ". Thèse de doctorat Unique réalisée en alternance entre l'Univ. D'Abomey-Calavi (Bénin) et l'Univ. Littoral côte d'Opale (ULCO, France), (2011) 277 p.+ Annexe
- [2] - M. E. DOSSOU, G. L. HOUSSOU, O. T. LOUGBEGNON, A. H. B TENTE, & J. T. C. CODJIA, "Étude ethnobotanique des ressources forestières ligneuses de la forêt marécageuse d'Agonvè et terroirs connexes au Bénin ", *Tropicultura*, 30 (1) (2012) 41 - 48
- [3] - IGIP AFRIQUE, "Étude de faisabilité technique du curage mécanique du chenal de Gbaga et restauration des écosystèmes associés (Projet AQ 596) ", Rapport partiel du volet sédimentologie et qualité chimique des sédiments, (2022) 40 p.
- [4] - M. F. AHEHEHINNOU YEDO, "Dynamique éco-sédimentaire de la lagune de Gbaga dans le contexte de la variabilité climatique (Afrique de l'Ouest)". Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi(Bénin), Ecole Doctorale pluridisciplinaire "Espace, cultures et développement", (2020) 273 p.
- [5] - P. NEUENSCHWANDER, B. SINSIN & G. GOERGEN, Protection de la nature en Afrique de l'Ouest. Une Liste Rouge pour le Bénin. International Institute of Tropical Agriculture (IITA) : Cotonou, Bénin, (2011) 265 p.
- [6] - J. PLIYA, "La pêche dans le sud-ouest du Benin ; étude de géographie appliquée sur la pêche continentale et maritime ". ACCT, Paris, France, (1980) 296 p.
- [7] - ABE/UICN, "Plan de gestion du site Ramsar transfrontalier du Chenal Gbaga dans le bassin du Mono entre le Bénin et le Togo et son projet de mise en œuvre ", Rapport final. MCVDD/MERF, Cotonou/Lomé, (2017) 70 p. + annexe
- [8] - C. C. AKOTOSSODE, M. E. ACHOH, H. AGADJIHOUEDE, H. M. B. VODOUGNON, A. S. AMADOU & V. I. TCHABI, Etat des ressources naturelles de Djegbadji et de Adounko (site Ramsar 1017) au sud-ouest Bénin (Afrique De l'ouest) dans le contexte actuel de changement climatique. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé*, 20 (2) (2018) 19 - 33
- [9] - J. TRICART et A. CILLEUX, "Cours de géomorphologie ", *Revue de Géographie Alpine*, 47-2/278, (1959) 279 p.
- [10] - R. L. FOLK and W. C. WARD, "Brazos rivers bar : a study in the significance of grain size parameters ", *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 27, N° 1 (1957) 325 - 354
- [11] - R. A. LAÏBI, A. E. GARDEL ANTHONY et L. M. OYEDE, "Apport des séries d'images landsat dans l'étude de la dynamique spatio-temporelle de l'embouchure de l'estuaire des fleuves Mono et Couffo au Bénin, avant et après la construction du barrage de Nangbéto sur le Mono ", 10 (2012) 179 - 188

- [12] - H. GBINIBOU ANDÉMI, G. A. F. D'ALMEIDA, M. BIO DJARA, L. ACCALOUGOU, "Hydro-Sedimentary Dynamics of the Grand-Popo Lagoon Located Upstream of the Mobile Embouchure "Bouche du Roy" in South-Western Benin", *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9 (2021) 98 - 112 <https://www.scirp.org/journal/gep>
- [13] - R. ADECHINA, "Influence des facteurs paléoclimatiques, géologiques et anthropiques sur l'environnement du delta de l'Ouémé (Bénin)" Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi, CIPMA-Chaire UNESCO), (2018) 242 p.
- [14] - L. M. OYEDE, "Dynamique sédimentaire actuelle et messages enregistrés dans les séquences quaternaires et néogène du domaine margino-littoral du Bénin (Afrique de l'ouest)", Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, (1991) 302 p.
- [15] - J. LANG, O. PARADIS et L. M. OYEDE, "Le domaine margino-littoral du Bénin (Golfe de Guinée - Afrique de l'Ouest) : Age holocène et mise en place marine des "sables jaunes" "J.A.E.S., Vol. 7, N° 5/6 (1988) 829 - 833 p.
- [16] - E. J. ANTHONY, J. LANG et M. L. OYÉDÉ, Sedimentation in a tropical, microtidal, wavedominated coastal-plain estuary. *International Association of Sedimentologists, Sedimentology*, 43 (1996) 665 - 675 p.
- [17] - H. KOMBIENI, "Les impacts environnementaux et socio-économiques de l'exploitation du sable lagunaire dans la Commune de Grand-Popo (Bénin)" *Revue de Géographie de l'Université Ouaga I Pr Joseph Ki-Zerbo*, Vol. 2, N°5, 1 (2016) 84 - 200