

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES,
TECHNOLOGIES ET GEOSCIENCES
(CRFD/STG)

Email : crfd_stg@uy1.uninet.cm
Site web : www.uy1researchstg.cm



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

POSTGRADUATE SCHOOL OF
SCIENCES,
TECHNOLOGY AND GEOSCIENCES
(CRFD/STG)

Email: crfd_stg@uy1.uninet.cm
Site web: www.uy1researchstg.cm

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES

Laboratoire de Géosciences des Formations Superficielles
Laboratory of Geosciences of Superficial Formations

**MINERALOGIE ET GEOCHIMIE DES SEDIMENTS DE SURFACE DE
LA ZONE DE MANGROVE DU SECTEUR D'EBOUNDJA (Kribi, Sud-
Cameroun)**

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences de la Terre et de
l'Univers*

Spécialité : Géologie des Formations Superficielles
Option : Géologie Minière et Ressources Pétrolières

Par

MALOUME MAPOURE Youssouf

Matricule : 17E2450

Licencié ès - Sciences



Sous la direction de

NGUEUTCHOUA Gabriel

Maître de Conférences

Université de Yaoundé I

Année académique 2022 - 2023

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

À
mes parents

MAPOURE Dairou et PEMBOURA Awawou

REMERCIEMENTS

Toute ma gratitude va à l'endroit du SEIGNEUR DIEU TOUT PUISSANT, sans qui, rien n'est possible et dont la Grâce m'accompagne tous les jours.

Je voudrais remercier Pr NGUEUTCHOUA Gabriel, Maître de Conférences à l'Université de Yaoundé I pour sa patience à mon égard. Grâce à ses conseils, il a stimulé en moi l'esprit scientifique et le sens de la recherche.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements au Pr NDJIGUI Paul-Désiré, Chef du Département des Sciences de la Terre, pour m'avoir accordé l'autorisation de recherche et en tant que professeur pour ses enseignements théoriques et pratiques.

J'exprime ma vive reconnaissance à tout le corps enseignant du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Yaoundé I pour leur disponibilité à rendre service aux étudiants et en particulier à moi, il s'agit entre autres des professeurs : NZENTI Jean Paul, YONGUE FOUATEU Rose, NKOUMBOU Charles, NDAM Jules Rémy, ONANA Vincent Laurent, TCHOUANKOUE Jean Pierre, EKOMANE Emile, GANNO Sylvestre, NGO BIDJECK Louise Marie, Elisé SABABA, des docteurs : MOUAFO Lucas, NGO BELNOUN Rose, EYONG John TAKEM, MBESSE Cécile, NTSAMA ATANGANA Jacqueline, METANG Victor, ANABA Achille.

Je remercie particulièrement Dr EKOBA BESSA Armel Zacharie qui n'a jamais cessé de m'encourager.

Je remercie mes aînés académiques, notamment KWEWOUE Annick, TSANGA Duviol Arcange, AMBASSA Bela, NJOYA Aliyou, pour leurs encouragements et multiples conseils.

Mes camarades de promotion, avec qui j'ai travaillé en collaboration pour leurs connaissances et leurs encouragements. Je pense particulièrement à AINON Dieudonné Bloutin, ETOUNDI Yanick, ABOUMA Joseph Jourdain.

J'adresse des remerciements particuliers à ma famille, mes frères et sœurs MANJIA Ladifatou, JAWOU Séfatou, CHABOUT Mariama, NJILIE MAPOURE Sabiratu, NJIKAM

Zoukifirou, NJIKAM Soulémane, KITU MOUNCHILI Youchaou, NSANGO Adamou, NJOYA FONCHA Hamed Nasser, FAGNI Oumi Salamatou, NCHOUTPOUON Hassan, FIFEN Sabine pour leur amour, leur soutien inconditionnel et intarissable, et leurs encouragements consentis à mon égard.

Merci à ma grand-mère adorée pour son soutien et encouragement dans tout ce que j'entreprends.

Tous ceux ou celles, de près ou de loin qui ont contribué à la réalisation de ce travail et dont les noms ne sont pas mentionnés, je tiens à leur exprimer mes sincères remerciements.

SOMMAIRE

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	viii
RESUME	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : MILIEU NATUREL	3
I.1. CADRE GEOGRAPHIQUE.....	3
I.1.1. Localisation la zone d'étude	3
I.1.2. Climat	3
I.1.3. Végétation et faune	4
I.1.4. Sols	5
I.1.5. Géomorphologie	6
I.1.5.1. Orographie	6
I.1.5.2. Hydrographie	6
I.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE	7
I.2.1. Géologie régionale.....	7
I.2.2. Géologie locale	8
CHAPITRE II : GENERALITES ET TRAVAUX ANTERIEURS.....	10
II.1. GENERALITES SUR LES SEDIMENTS.....	10
II.1.1. Sédiments	10
II.1.2. Origine des sédiments	10
II.1.3. Types de sédiment.....	10
II.2. Mangrove.....	10
II.4. MINERALOGIE DES SEDIMENTS	12
II.5. GEOCHIMIE.....	12
II.5.1. Comportement des éléments majeurs.....	12
II.5.2. Comportement des éléments traces	13
II.5.3. Comportement des terres rares	14

II.5.4. Maturité et degré d'altération	14
II.5.5. Provenance	16
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES	19
III.1. MATERIELS DE TERRAIN	17
III.2. METHODES D'ETUDE SUR LE TERRAIN	17
III.3. ETUDE EN LABORATOIRE	17
III.3.1. Analyse minéralogique par diffractométrie aux rayons X	18
III.3.2. Analyse géochimique	19
III.4. INTERETS DES ANALYSES EFFECTUEES	20
CHAPITRE IV : RESULTATS	21
IV.1. PRESENTATION ET LOCALISATION DES ECHANTILLONS	21
IV.2. MINERALOGIE	22
IV.3. GEOCHIMIE	23
IV.3.1. Distribution des éléments majeurs	23
IV.3.2. Comportement des éléments majeurs	24
IV.3.3. Comportement des éléments traces	27
IV.3.4. Normalisation des éléments traces	27
IV.3.5. Normalisation des éléments terres rares	31
CHAPITRE V : INTERPRETATION ET DISCUSSION	34
V.1. MINERALOGIE	34
V.2. GEOCHIMIE	34
V.2.1. Classification des sédiments	34
V.2.2. Degré d'altération et maturité	35
V.2.3. Provenance	37
V.2.4. Environnement tectonique	38
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation la zone d'étude	3
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1957) rapporté aux données météoriques de Kribi.	4
Figure 3 : Vue partielle de la végétation de la zone d'étude.	5
Figure 4 : Carte orographique du secteur d'étude.	6
Figure 5 : Carte de réseau hydrographique de la zone d'étude.	7
Figure 6 : Carte géologique de la Région du Sud Cameroun.	8
Figure 7 : a) Carte géologique de la Région du Sud Cameroun et de la Zone d'étude (Maurizot <i>et al.</i> , 1985 ; Shang <i>et al.</i> , 2010) ; b) Carte géologique de la zone d'étude.	9
Figure 8 : Principe de diffraction des rayons X.	19
Figure 9 : Diffractomètre de rayon X qui a servi à la réalisation des diffractogrammes.	19
Figure 10 : Carte des points d'échantillonnage	22
Figure 11 : Diffractogrammes des rayons X des échantillons de sédiments de mangrove de la localité d'Eboundja	23
Figure 12 : Spectres des éléments traces par rapport au PAAS.	28
Figure 13 : Spectres des éléments traces par rapport à l'UCC	29
Figure 14 : Spectres des éléments traces par rapport à la Chondrite.....	29
Figure 15 : Spectres des terres rares normalisés par rapport à la Chondrite.	32
Figure 16 : Spectres des terres rares normalisés par rapport au PAAS	32
Figure 17 : Spectres des terres rares normalisés par rapport l'UCC.	33
Figure 18 : Classification des sédiments d'Eboundja.	35
Figure 19 : Diagramme de type A-CN-K des sédiments d'Eboundja.....	36
Figure 20 : Diagramme des sédiments ICV vs CIA	37
Figure 21 : Le diagramme TiO_2 vs Al_2O_3 (Vosoughi <i>et al.</i> , 2016), Zr vs TiO_2	38
Figure 22 : Tectonique des sédiments d'Eboundja en fonction de SiO_2 -(K_2O/Na_2O) d'après Roser et Korsch (1986). PM = marge passive ARC = arc insulaire océanique ACM= marge continentale active.....	39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données climatiques de Kribi et ses environs sur une période de 18 ans	4
Tableau 2 : Laboratoires associés et types d'analyses effectuées	18
Tableau 3 : Localisation des échantillons	21
Tableau 4 : Teneurs en éléments majeurs (%) dans les échantillons	24
Tableau 5 : Matrice de corrélation	26
Tableau 6 : Teneurs (en ppm) des éléments traces dans les échantillons	27
Tableau 7 : Proportions des différents éléments terres rares en ppm des échantillons.	30

LISTE DES ABREVIATIONS

CIA	: Chemical Index of Alteration
DRX	: Diffractométrie des Rayons X
HREE	: High Rare Earth Elements
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
ICV	: Indice de variation compositionnel
IRGM	: Institut de Recherches Géologiques et Minières
GPS	: Global Positioning System
l.d	: Limite de detection
LOI	: Loss On Ignition
LREE	: Light Rare Earth Elements
M	: Moyenne
PAAS	: Post Archean Australian Average Shales
PIA	: Plagioclase Index of Alteration
REE	: Rares Earth Elements
UCC	: Upper Continental Crust

RESUME

Les sédiments de surface étudiés ont été prélevés dans la mangrove d'Eboundja, Région du Sud-Cameroun, Département de l'Océan, Arrondissement de Kribi I^{er}. Eboundja est situé à environ 12,1 km au sud de Kribi. Il appartient au domaine de basse altitude. La géologie du secteur Eboundja est liée à l'ouverture de l'Atlantique Sud. Les sédiments superficiels du site d'étude ont fait l'objet d'une étude minéralogique et géochimique en vue de déterminer leur provenance, le degré d'altération des sédiments et leur maturité et l'environnement tectonique des zones sources. Le cortège minéralogique par diffractométrie des rayons X a montré la présence des minéraux tels que le quartz, les feldspaths, le rutile, la muscovite, la calcite, l'illite et la goethite. Ces minéraux proviendraient des roches magmatiques. Les analyses géochimiques révèlent que les sédiments étudiés ont des proportions élevées en SiO_2 (60,69 - 78,05 %), des teneurs modérées en Al_2O_3 (12,15 - 28,54 %) et Fe_2O_3 (4,38 - 6,16 %). L'indice chimique d'altération (CIA) élevé (70,59 - 90,38 %) et l'indice d'altération des plagioclases (PIA) élevé (73,33 - 93,10 %) indiquent une intense altération des sédiments et des roches sources. L'indice de variabilité compositionnel (ICV) est compris entre 0,39 et 1,08 ce qui traduit que les sédiments d'Eboundja sont matures à immatures. Le diagramme de classification chimique des sédiments de Herron range ces sédiments majoritairement dans le domaine des sables ferrifères et des argiles ferrifères. Les valeurs du rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ sont comprises entre 10,14 et 19,45 indiquant une signature de roches felsiques à intermédiaires. L'analyse tectonique des zones sources indique le domaine des marges passives et actives. Les sédiments d'Eboundja proviennent d'une intense altération des roches magmatiques et métamorphiques. Ils ont des teneurs modérées et plus enrichis en terres rares légères qu'en terres rares lourdes.

Mots clés : Eboundja, sédiments de surface, minéralogie, géochimie, mangrove.

ABSTRACT

The surface sediments studied were collected from the mangrove of Eboundja, South Cameroon Region, and Ocean Department. Eboundja is situated 12.1 km south of Kribi. It belongs to the low-altitude domain. The geology of the Eboundja sector is linked to the opening of the South Atlantic. The surface sediments of the study site were the subject of a mineralogical and geochemical study to determine their origin, the degree of weathering of the sediment and their maturity and tectonic environment of the source areas. The X-ray diffractometry mineralogical procession showed the presence of minerals such as quartz, feldspars, rutile, muscovite, calcite, illite and goethite. These minerals would come from magmatic rocks. Geochemical analyses reveal that the sediments studied have high proportions of SiO_2 (60.69 - 78.05 %), moderate contents of Al_2O_3 (12.15 - 28.54 %) and Fe_2O_3 (4.38 - 6.16 %). The high chemical weathering index (CIA) (70.59 - 90.38 %) and the high plagioclase alteration index (PIA) (73.33 - 93.10 %) indicate intense weathering of the sediments and the source rock. The compositional variability index (CLI) is between 0.39 and 1.08, which indicates the Eboundja sediments are mature to immature. Herron's sediment chemistry diagram classifies these sediments mainly in the domain of iron sands and iron clays. The values of the $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ ratio are between 10.14 and 19.45 indicating a signature of felsic to intermediate rocks. The tectonic analysis of the sources areas indicates the domain of passive and active margins. The sediments of Eboundja come from intense alteration of magmatic and metamorphic rocks. They have moderate contents and are more enriched in light rare earths than in heavy rare earths.

Keywords: Eboundja, surface sediments, mineralogy, geochemistry, mangrove.

INTRODUCTION GENERALE

Les sédiments sont des dépôts continentaux ou marins constitués de particules, qui proviennent de l'altération des roches préexistantes et de la précipitation de matière en suspension qui transitent dans la colonne d'eau (Ramaroson, 2008). Ces dépôts peuvent être transportés par l'eau ou par le vent et sont déposés dans les points bas (bassins sédimentaires) où ils se transformeront en roches sédimentaires si les conditions de diagénèse sont favorables (Scordia, 2008). Notre préoccupation est celle de savoir la provenance et l'environnement de dépôt des sédiments. L'étude de la composition chimique et minéralogique des sédiments est sans doute importante pour la connaissance de leur provenance et de l'environnement de dépôt. La mangrove est une zone de transition entre le milieu terrestre et le milieu marin, d'une grande originalité structurale et fonctionnelle (Betoulle, 1998). Elle constitue un écosystème bien défini. Cet écosystème d'interface constitué par l'association des plantes arborescentes ou arbustives regroupées sous le terme de palétuviers se développe dans la zone intertidale des régions intertropicales (Kathiresan *et al.*, 2001). Il existe donc un dépôt dans la mangrove qu'on appelle sédiments de mangrove. Ces sédiments de mangrove sont décrits comme réducteurs, riches en sulfures, hydromorphes, salés et ayant une activité microbiologique importante (Alongie 2005 ; Jacinthe et Groffman 2006 ; Lee *et al.* 2008). Ce travail a pour optique de faire une étude minéralogique et géochimique des sédiments superficiels de la mangrove d'Eboundja. Pour cela, on déterminera la provenance, le degré d'altération des sédiments et des roches sources, la maturité de ces sédiments et l'environnement tectonique de l'arrière-pays. Les sédiments superficiels de mangrove ont fait l'objet de plusieurs études antérieures comme : Marius, C., Lucas, C., 1982. Evolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance). Pheaktra THLANG, 2010. Impact des eaux usées domestiques sur les teneurs en éléments traces, éléments majeurs, azote et carbone au milieu de Mangrove (Malamani, Mayotte). Mais reste toutefois peu connu à l'échelle nationale. C'est pourquoi les objectifs suivants ont été fixés :

Objectif général :

Déterminer la provenance et l'état d'altération des roches sources des sédiments de mangrove de la localité d'Eboundja ainsi que l'environnement tectonique des zones sources.

Objectifs spécifiques :

- déterminer les caractéristiques minéralogiques et géochimiques des sédiments de la mangrove d'Eboundja :

- estimer l'état d'altération des roches et des zones sources ;
- déterminer la nature des roches sources ;
- caractériser l'environnement tectonique des zones de provenance les sédiments.

Le présent travail comporte cinq grands chapitres encadrés par une introduction et une conclusion générale :

- le premier chapitre présente le milieu naturel ;
- le deuxième chapitre traite des généralités et travaux antérieurs ;
- le troisième chapitre décrit le matériel et les méthodes d'étude ;
- le quatrième chapitre repose sur les résultats ;
- le cinquième chapitre porte sur l'interprétation et discussion.

CHAPITRE I : MILIEU NATUREL

climat a été faite à partir du diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) de la Figure 2.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25,75 °C et les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 2831 mm/an (Tableau 1).

Le diagramme ombrothermique appliqué aux données de Kribi indique l'alternance de deux saisons réparties ainsi qu'il suit :

- une longue saison de pluie allant de mars à novembre ;
- une petite saison sèche allant de décembre à février.

Tableau 1 : Données climatiques de Kribi et ses environs sur une période de 18 ans (2004-2022).

Mois.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juil.	Aou.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.	Total
P (mm)	82	98	188	249	321	270	124	205	502	505	210	77	235,92	2831
T (°C)	27	27	27	27	26	25	24	24	25	25	26	26	25,75	-

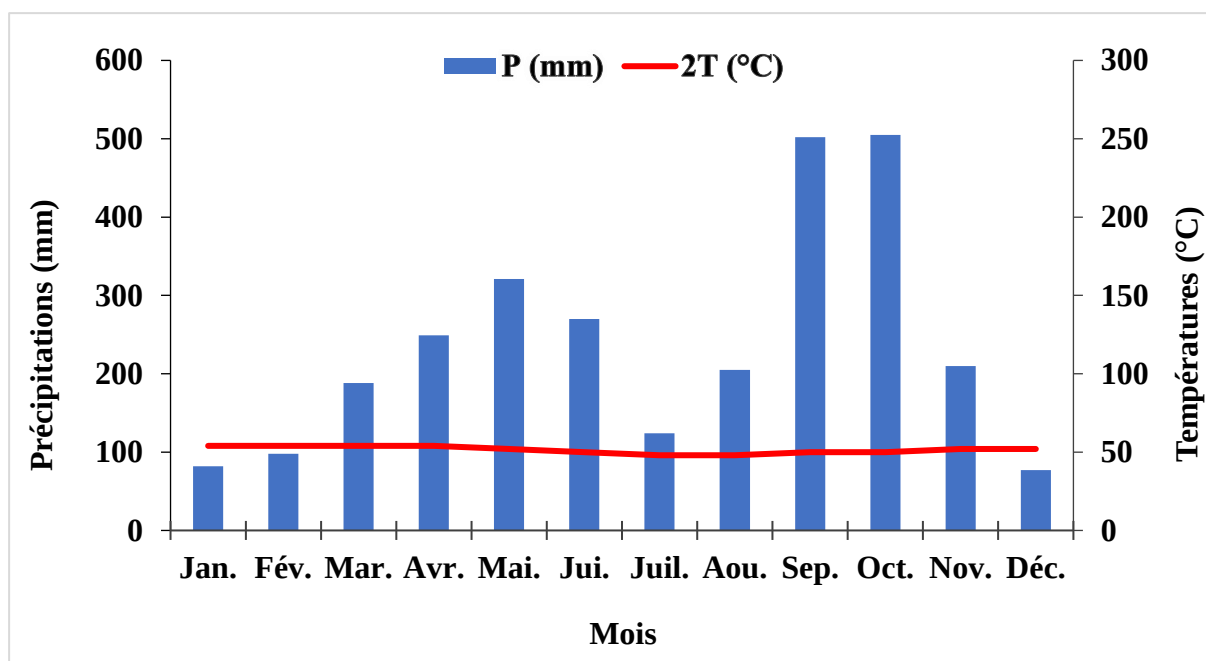


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) rapporté aux données météoriques de Kribi.

I.1.3. Végétation et faune

Les formations végétales se répartissent essentiellement selon les conditions climatiques (Letouzey, 1958 ; Suchel, 1972). La végétation d'Eboundja est de type forestier caractérisée par la mangrove et une forêt dense humide sempervirente littorale de basse

altitude. Le palétuvier rouge ou mangle (arbre avec les racines-échasses) est l'espèce dominante dont le nom scientifique est *Rizophora mangle*. La forêt est profondément dégradée surtout de part et d'autre de l'axe routier. La dégradation de cette forêt est anthropiquement remplacée par l'agriculture sur brûlis. La végétation subsistante est constituée de quelques rares espèces typiques (palmier à huile : *Elaeis guineensis*), avec une disparition totale des sous-bois.



Figure 3 : Vue partielle de la végétation de la zone d'étude.

I.1.4. Sols

Les sols de la zone d'étude sont variés. Ils sont de majorité ferralitique jaune montrant un fort taux d'acidité caractérisé par une faible teneur en éléments nutritifs. Dans l'ensemble, se distingue :

- les sols sur schistes latéritiques sont composés de sable humifère très lessivés et argilo-sableux rouge ;
- les sols hydromorphes situés dans les vallées et les bas-fonds, ont une forte capacité d'échange cationique, et sont riches en matière organique (Oslisly, 2001) ;
- les sols hydromorphes spécifiques à la mangrove sont des sols à gley évoluant en milieu marin.

I.1.5. Géomorphologie

I.1.5.1. Orographie

Le relief dans le Sud Cameroun relève de la présence des unités avec des surfaces basses correspondant aux plaines côtières et aux cuvettes. Il montre de façon détaillée un paysage comprenant de nombreuses petites collines séparées par des ruisseaux à débit lent et régulier, à peine ondulée et ne dépassant pas généralement 200 m d'altitude (Segalen, 1967). En ce qui concerne la localité d'Eboundja, l'ensemble des éléments morphostructuraux forme une succession de blocs d'inégale altitude du Nord au Sud avec un étagement de petits gradins de la mer vers le continent (Figure 4). On peut les subdiviser en deux :

- De 10 à 90 m d'altitude environ, le réseau hydrographique est dense et plus représenté. Les collines sont presque inexistantes ;
- De 90 à 130m d'altitude environ, la morphologie est représentée par des collines à dominance moyenne.

I.1.5.2. Hydrographie

Le réseau hydrographique d'Eboundja est de type dentritique. Les cours d'eau coulent dans des directions différentes : NE–SW, NNE–SSW et ESE–WNW, suivant un cours très sinueux. Le cours d'eau principal est la *Lobé* et les cours d'eau secondaires sont : la *Nlende*, *Mbaode*, *Naléa* (Figure 5).

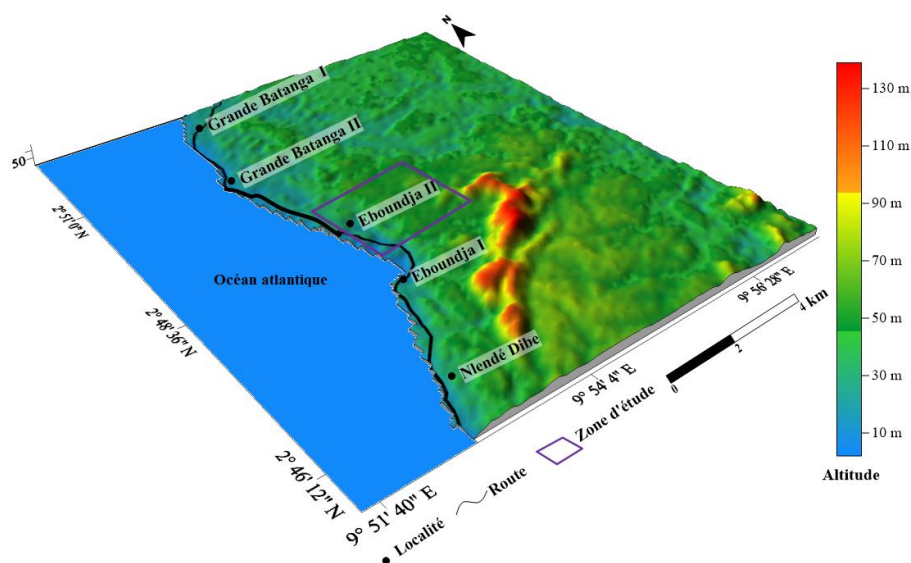


Figure 4 : Carte orographique du secteur d'étude.

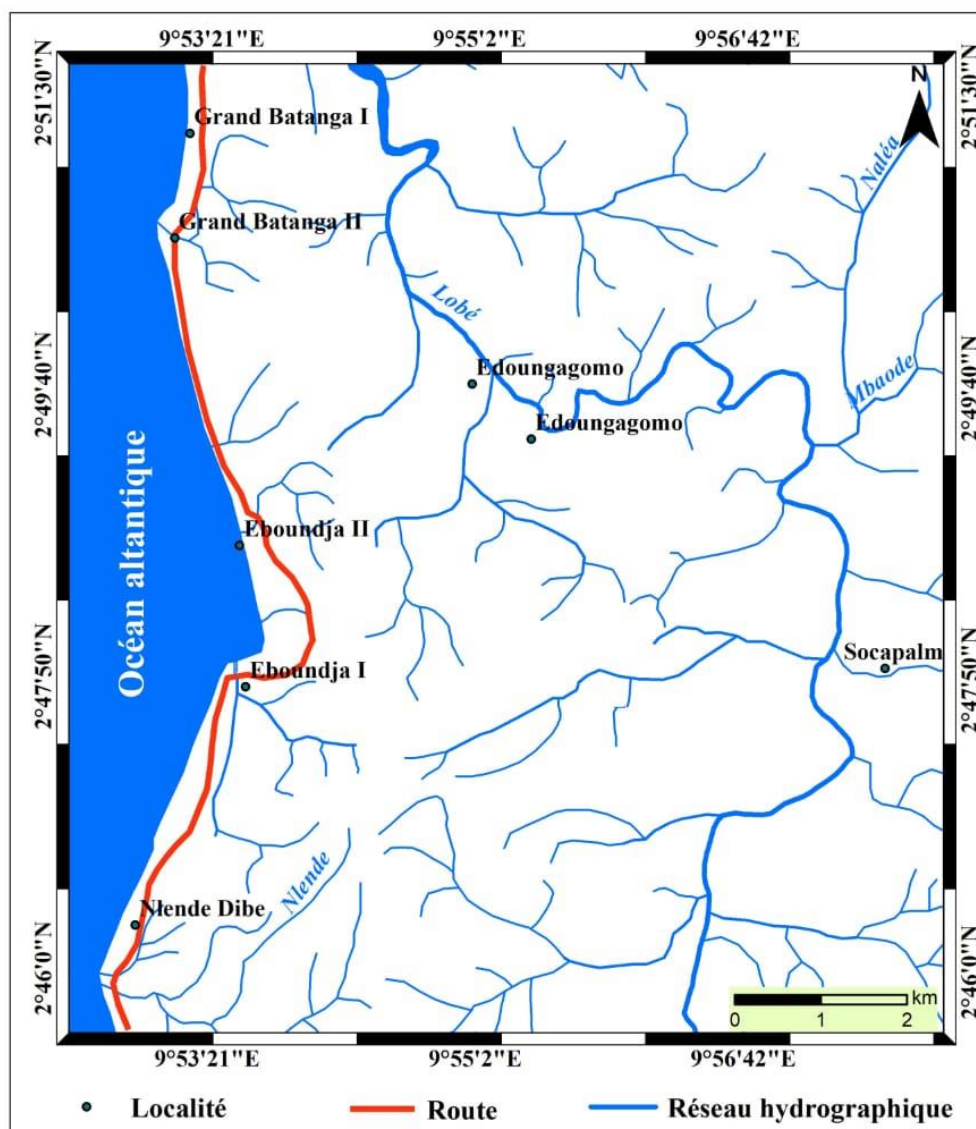


Figure 5 : Carte de réseau hydrographique de la zone d'étude.

I.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

I.2.1. Géologie régionale

Les études portant sur la pétrographie, la géologie structurale, la géochimie et la géochronologie des unités lithologiques du Sud Cameroun mettent en évidence un substratum constitué essentiellement par des roches métamorphiques et plutoniques appartenant au complexe de base daté du Précambrien (In Feybesse et *al.*, 1987 ; Nzenti et *al.*, 1988 ; Nedelec et *al.*, 1990 ; Nedelec et Nsifa, 1987 ; Nsifa et *al.*, 1993 ; Toteu et *al.*, 1994 ; Tchameni, 1997 ; Vicat, 1998 ; Shang, 2001 ; Shang et *al.*, 2004). Ce socle est subdivisé en deux grands groupes petro structuraux : le groupe du Ntem, constitué des roches Meta sédimentaires comprenant les TTG (Tonalite-Trondjemite-Granodiorite), des charnockites et

des granodiorites (Barbosa et Sabaré, 2004 ; Cordani et *al.*, 2010) d'âge archéen à Paléoprotérozoïque et le groupe néoprotérozoïque de Yaoundé charrié sur le précédent.

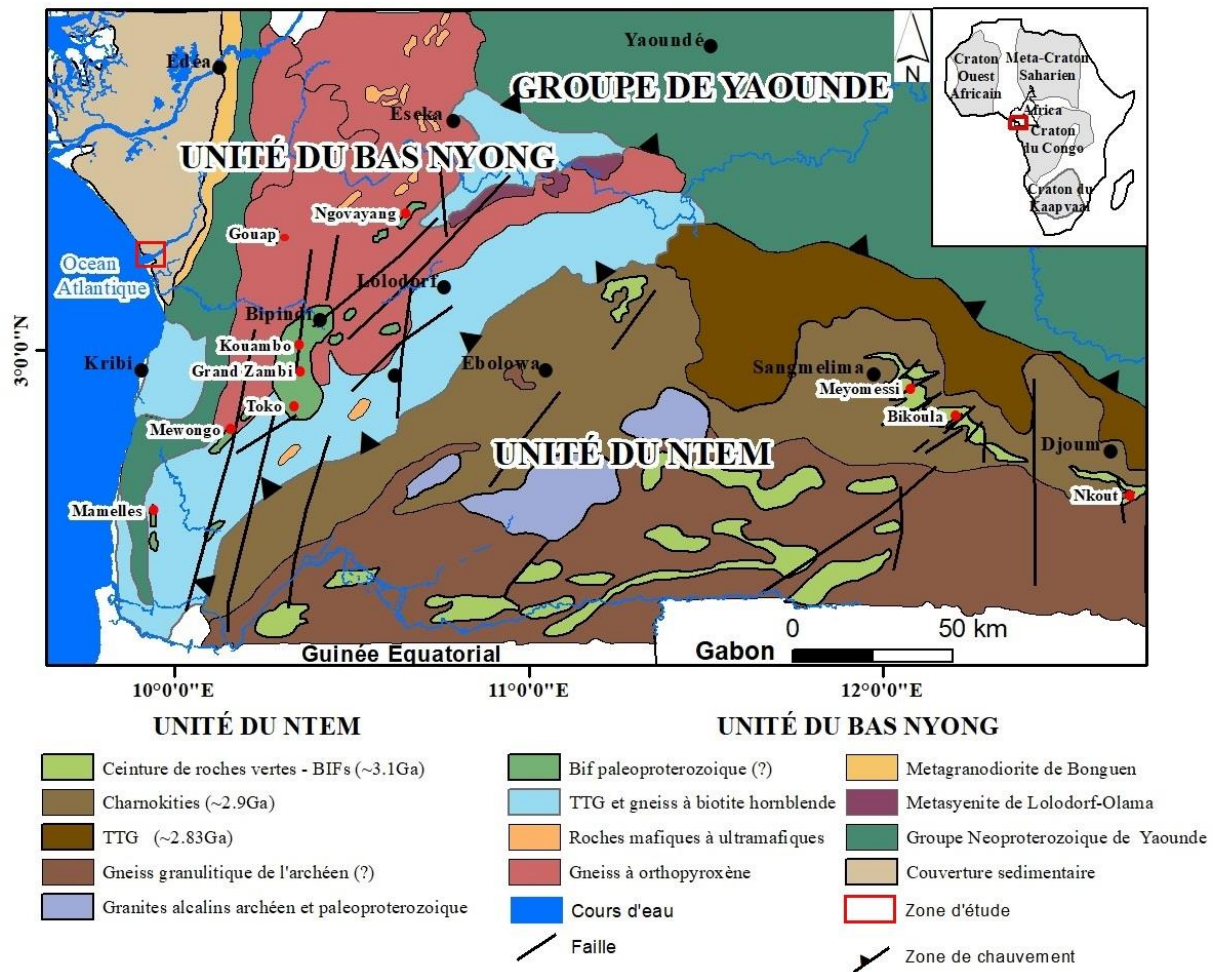


Figure 6 : Carte géologique de la Région du Sud Cameroun (établie à partir de la carte de Champatier de Ribes et Aubague 1956).

1.2.2. Géologie locale

La géologie locale de la zone d'étude et ses environs (Estuaire du Nyong) par restriction, est constituée de : Gneiss inférieurs à biotite, amphibole, pyroxène, sillimanite et hypersthène à composition Quartz-Diorite-Amphibole ; Gneiss supérieurs grénatifère à deux mlicas. (Dumort, 1968 ; Toteu et *al.*, 2008).

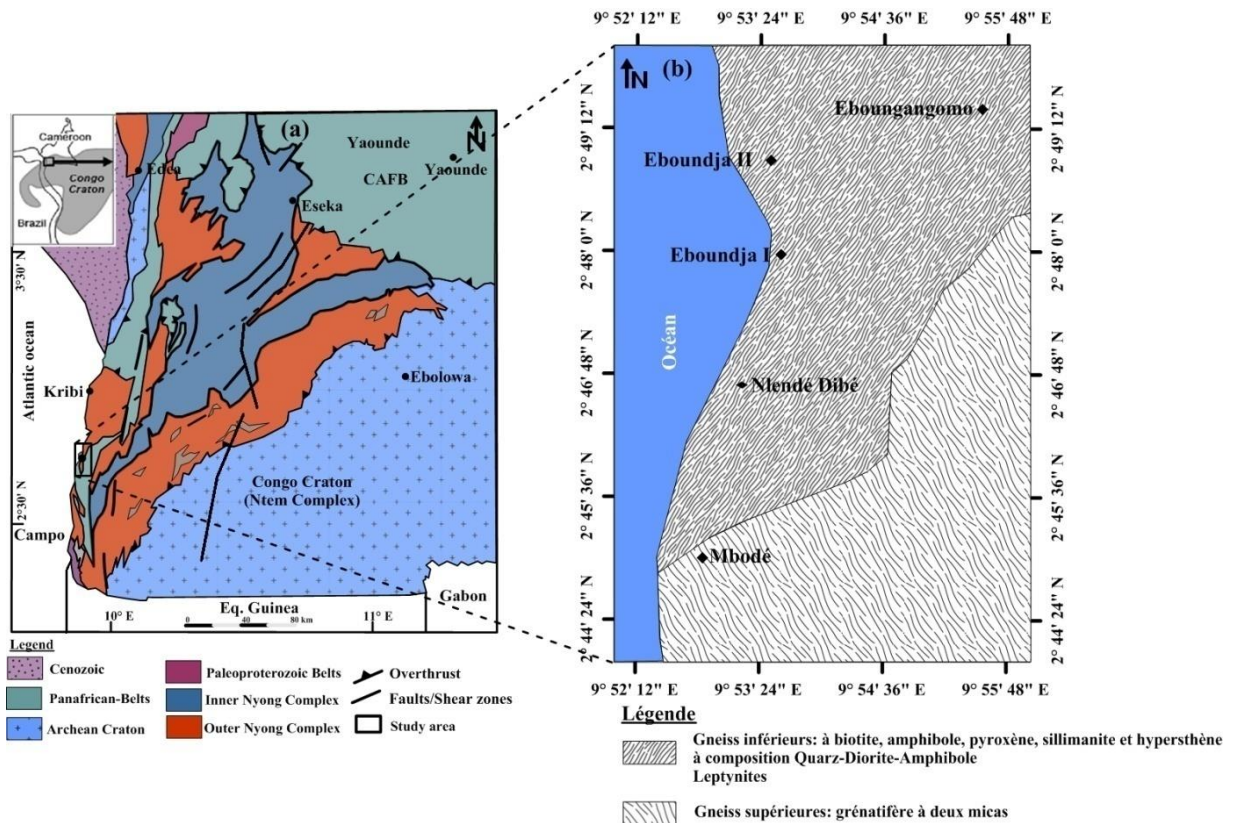
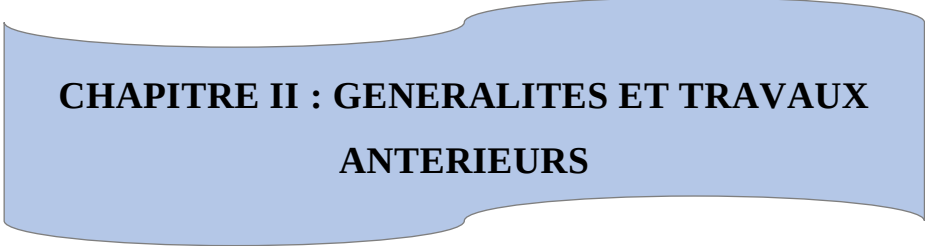


Figure 7 : a) Carte géologique de la Région du Sud Cameroun et de la Zone d'étude (Maurizot *et al.*, 1985 ; Shang *et al.*, 2010) ; b) Carte géologique de la zone d'étude (Maurizot *et al.*, 1985; Shang *et al.*, 2010).

CONCLUSION

La zone d'étude est située dans la région du Sud - Cameroun, Département de l'Océan, Arrondissement de Kribi I^{er}. Le climat est équatorial de type guinéen avec les pluies intenses et régulières. Le type végétal prédominant est une mangrove. Les sols rencontrés dans cette zone sont les sols acides, les sols sur schistes latéritiques, les sols hydromorphes, et les sols à gley. Son réseau hydrographique est dentritique. La population exerce diverses activités dans le secteur de l'économie. La zone d'étude se trouve dans les plaines côtières du Cameroun. La zone étudiée est un domaine de basse altitude avec de rares surrections. Elle est regroupée dans le grand ensemble de la Région du Sud-Cameroun et associées au groupe du Ntem, terminaison Nord du Craton du Congo au Cameroun.



CHAPITRE II : GENERALITES ET TRAVAUX ANTERIEURS

INTRODUCTION

Le présent chapitre rapporte les travaux effectués sur les sédiments superficiels et de mangroves, la minéralogie, la géochimie et l'origine des sédiments dans les mangroves.

II.1. GENERALITES SUR LES SEDIMENTS

II.1.1. Sédiments

Les sédiments sont des dépôts continentaux ou marins constitués de particules, qui proviennent de l'altération des roches préexistantes et de la précipitation de matière en suspension qui transitent dans la colonne d'eau (Ramaroson, 2008). Ces dépôts peuvent être transportés par l'eau ou par le vent et sont déposés dans les points bas (bassins sédimentaires) où ils se transformeront en roches sédimentaires si les conditions de diagénèse sont favorables (Scordia, 2008).

Les sédiments de mangroves sont décrits comme réducteurs, riches en sulfures, hydromorphes, salés et ayant une activité microbiologique importante (Alongie 2005 ; Jacinthe et Groffman 2006 ; Lee *et al.* 2008). Au sein d'une même mangrove, la texture du sol et les propriétés physico-chimiques associées peuvent varier considérablement.

II.1.2. Origine des sédiments

Les sédiments peuvent avoir une origine endogène ou exogène (Berteau *et al.*, 1993 ; Schneider, 2001). Les particules endogènes sont issues de la production autochtone du milieu. Quant aux sédiments exogènes, ils proviennent du ruissèlement des eaux, des affluents ou de l'atmosphère.

II.1.3. Types de sédiment

On distingue trois types de sédiments : les sédiments marins (littoraux ou côtiers, océaniques, bathyaux, abyssaux, etc.), les sédiments lagunaires (dans des zones séparées de la mer par un cordon littoral), les sédiments continentaux (éoliens, fluviaux, deltaïque, lacustre, glaciaire, etc.) (Foucault et Raoult, 2014).

II.2. Mangrove

La mangrove constitue une zone de transition entre le milieu terrestre et le milieu marin, d'une grande originalité structurale et fonctionnelle (Betoulle, 1998). Elle est aussi un ensemble d'arbres, d'arbustes et d'herbier à caractère halophile se développant dans la zone de balancement des marées en région tropicale et subtropicale et présentant une zonation de

végétation (Chapman, 1977 ; Trochain, 1980 ; Blasco, 1991). La mangrove constitue un écosystème bien défini, une zone de transition écologique. Selon Kathiresan *et al.* (2001), la mangrove est constituée par l'association de plantes arborescentes ou arbustives regroupées sous le terme de palétuviers et elle se développe dans la zone intertidale des régions intertropicales.

Bien que les mangroves agissent comme des pièges à sédiments, certaines espèces de palétuviers ne supportent pas une trop forte sédimentation (Ellison, 1999).

La rétention des macro-déchets dans les mangroves dépend des caractéristiques des déchets (flottabilité, forme), de l'hydrodynamisme local et de la structure de la mangrove. Mais globalement, les mangroves tendent à retenir les débris plastiques d'origine marine sur le long terme (Ivar do Sul, 2014).

A l'échelle mondiale, les mangroves sont présentes dans 120 pays (FAO, 1994) et sur près de 75% des cotes tropicales et subtropicales (Day *et al.*, 1987). Elles couvrent environ 100000 à 181000 Km² (Blasco, 1991 ; Spalding *et al.*, 1997). Les mangroves regroupent environ 54 espèces végétales et sont présentées sur deux grandes aires aux compositions floristiques bien distinctes (Tomlinson, 1986) :

- ✓ l'aire atlantique est composée d'une dizaine d'espèces : exemple de mangroves de la Floride, de la Guyane, du Sénégal, du Cameroun etc. ;
- ✓ l'aire indo-pacifique est constituée d'une quarantaine d'espèces et peut être subdivisée en trois domaines (Lebigre, 2004) : le domaine pacifique oriental (Californie, Mexique), le domaine indo pacifique central (Indonésie, Malaisie, Papouasie Nouvelle Guinée, Thaïlande) et le domaine indo-pacifique occidental (Afrique de l'Est, Mer rouge, Madagascar Inde occidentale). Les deux grandes familles de mangrove les plus répandues sont les *Avicenniacees* et les *Rhizophoracees*. Les espèces sont appelées palétuviers.

II.3. SÉDIMENTS DE MANGROVE

Les sédiments de mangroves sont décrits comme réducteurs, riches en sulfures, hydromorphes, salés et ayant une activité microbiologique importante (Alogie 2005 ; Jacinthe et Groffman 2006 ; Lee *et al.* 2008). Au sein d'une même mangrove, la texture du sol et les propriétés physico-chimique associées peuvent varier considérablement.

II.4. MINÉRALOGIE DES SÉDIMENTS

De nombreuses études ont été basées sur la minéralogie des sédiments.

Marius *et al.* (1982) relèvent que la kaolinite et la smectite représentent 90 % de la fraction argileuse des sédiments des mangroves du Sénégal. La kaolinite provient du continent et la smectite est apportée par la mer. Ces auteurs ont remarqué que le sédiment colonisé par les mangroves est relativement homogène.

Gaillard *et al.* (1982) relèvent que le sédiment de la mangrove du Bénin, quartzose argileux contient une phase chimique. La kaolinite du « terminal continental » voisin, se dépose pendant les périodes calmes. Les smectites semblent liées à des dépôts de haute énergie et leur origine devrait probablement être recherchée dans un pays lointain.

Hernandez-Hinojosa *et al.* (2018) ont révélé que, les sables de La Mancha sont dominés par les pyroxènes, la magnétite et l'ilménite. De même, utilisant la méthode Scanning Electron Microscopy / Energy Dispersive Spectroscopy, les grains d'ilménite ont été identifiés dans les sables d'Esmeralda, ainsi que les grains de zircon à La Mancha. Bellahbib *et al.* (2015) montrent par contre que le cortège minéralogique des sables du littoral de la baie de Saïdia au Nord-Est du Maroc est composé en moyenne de quartz, micas, chlorite, calcite, pyroxène et fragments de roches.

Au Cameroun, les minéraux lourds de Batoké sont essentiellement constitués de zoïsite, augite, apatite, épidote, diopside, disthène, hornblende brune et minéraux opaques (Kwewouo, 2018 ; Kankeu, 2019 ; Njike Njome, 2019 ; N'nanga, 2010).

II.5. GÉOCHIMIE

La composition de la roche source, la taille des grains et la géochimie des sédiments dépendent des processus d'altération et de diagenèse (sawyer, 1986). De même la géochimie des dépôts de sédiments classiques donne des informations sur la roche source (McLennan *et al.*, 1993).

II.5.1. Comportement des éléments majeurs

Marius *et al.* (1982) montrent à travers les analyses géochimiques que les sédiments de mangrove du Sénégal ont une teneur moyenne élevée en SiO₂ (60, 49 %) ; une teneur moyenne faible en Al₂O₃ (13, 42 %), en Fe₂O₃ (4, 97 %), NaO (2,00) et en MgO (1,03 %) ; une teneur moyenne très faible en CaO (0,29 %), en MnO (0,04 %), en TiO₂ (0,88%) et en K₂O (0,70 %).

Les analyses géochimiques faites par TSANGA (2020) sur les sédiments de plage de la localité de Campo montrent que les proportions du SiO_2 sont comprises entre 90,51 % et 92,85 %. Celles du Al_2O_3 sont comprises entre 2,32 et 4,25 %. Les teneurs en Fe_2O_3 sont comprises entre 1,59 % et 3,66 %. Les teneurs des autres oxydes (MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO , PO et MnO) sont faibles à très faibles (<1 %). Elles s'illustrent respectivement par des valeurs : 0,24 et 0,47 % ; 0,19 et 0,22 % ; 0,17 et 0,24 % ; 0,19 et 0,39 % ; 0,19 et 0,41 % ; 0,05 et 0,09 % ; 0,03 et 0,04 %.

Au Cameroun, Kwewouo (2018) montre à travers les analyses géochimiques faites sur les sédiments de Batoké, des teneurs en SiO_2 varient entre 19,02 % et 34,01 %. Les teneurs en Al_2O_3 comprises entre 6,69 % et 8,01 %. Les teneurs en TiO_2 varient entre 6,27 % et 10,53 %. Les teneurs en CaO , MgO sont modérées et comprises entre (8,24 et 13,72 % ; 10,22 et 13,09 % respectivement). Les teneurs en Na_2O , K_2O sont faibles inférieures à 1 %. De même, les teneurs en P_2O_5 , MnO , Cr_2O_5 sont relativement faibles.

Dans l'ouest au Golfe du Mexique, dans les sables de plages de La Mancha et d'Esmeralda, Hernandez-Hinojosa *et al.* (2018) montrent à partir de ses analyses géochimiques que les sables de plage d'Esmeralda ont des teneurs élevées en SiO_2 (69-83%) que les sables de La Mancha (56-61%). De même les teneurs moyennes de Al_2O_3 sont légèrement élevées dans les sables de La Mancha (6,62-12,2%) et d'Esmeralda (2,8-8,7%). Les teneurs en CaO et MgO sont élevées dans les sables de La Mancha. La variation de teneur en Na_2O (1,04-1,87%) et K_2O (1,21-2,45%) dans les sables d'Esmeralda est faible, et élevée dans les sables de La Mancha.

II.5.2. Comportement des éléments traces

D'après Okbah *et al.*, (2005), les résultats des teneurs en Fe et Mn indiquent que les sédiments sont en grande partie d'origine lithogène. Les concentrations élevées en Fe sont comprises entre 70 et 93 %. Les teneurs en Mn varient 46 et 70 %. Les concentrations en Zn, Cu, Cd et Pb sont supérieures à celles du Fe et du Mn.

Ndjigui *et al.*, (2018) montrent que les dépôts d'argiles alluviales de la Lokoundjé ont des comportements différents ceci dû à la multitude des roches sources. Ainsi les éléments Ba, Sr, Zn, Li, Rb ont des teneurs plus élevées ; pendant que le Th, Ce, et U ont un pourcentage faible ; d'autres éléments comme Mo, Hf, V, Ta, W, Ni y sont également présent à pourcentage variable. Le Ba est le plus abondant (500-2623ppm) suivit de Sr (16-222ppm).

D'après Pheaktra (2010), si l'on compare les concentrations en éléments traces de sédiments du site de Malamani avec d'autres sites par exemple, Mai Po ou la Guyane français, certains éléments comme Fe, Mn, Cr, Ni, Co et Cu sont plus concentrés, alors que d'autres comme le Pb et le Cd, qui sont des éléments provenant plutôt de la contamination anthropique, sont moins concentrés. Cela indique que les éléments traces proviennent majoritairement de l'altération des roches de l'île de Mayotte et des apports de l'eau de mer.

II.5.3. Comportement des terres rares

Les travaux menés par Krishnan *et al.* (2014) montrent que les éléments terres rares des échantillons des sédiments de surface de mangrove de la côte ouest de la Malaisie sont le Dy, Sm, Eu, Yb, Lu, Tb, La et Ce. Ils remarquent que le niveau de concentration de tous les éléments terres rares varie au niveau de la côte (0,35 – 117,4 mg/kg).

Tacila *et al.* (2021) constatent après leurs travaux que, la somme des terres rares dans les sédiments estuariens Jaguaripe au nord-Est du Brésil varie respectivement entre 202 et 220 mg/kg ; 12 et 15 mg/kg. La normalisation des éléments terres rares par rapport au PAAS montre que les terres rares légères (La, Ce, Pr, et Nd) sont enrichies par rapport aux terres rares lourdes (Er, Tm, Yb et Lu). Parmi les terres rares, seul les terres rares légères montrent une corrélation significative avec l'aluminium ($r = 0,85$) et le fer ($r = 0,96$) ; ce qui indique que l'aluminium et le Fer sont les principales phases hôtes des terres rares légères dans les sédiments estuariens (Jaguaripe au Nord-Est du Brésil). Les concentrations en Mn et Fe normalisées par rapport à l'aluminium montrent des anomalies négatives ce qui indique une remobilisation diagénétique.

Les résultats d'analyse des éléments terres rares sur les sédiments estuariens de la rivière Jiulong en Chine montrent une concentration moyenne de 290,9 mg/kg, qui est supérieure à la valeur de la norme (Bo-sen *et al.*, 2023). Les sédiments de surface présentent des anomalies négatives importantes en europium, mais pas d'anomalie significative en cérium.

II.5.4. Maturité et degré d'altération

Plusieurs travaux ont montré que la maturité d'un sédiment influence sur sa composition (Hossain *et al.*, 2014 ; Ambassa Bela *et al.* 2022). En effet, la maturité d'un sédiment peut être déduite à partir de l'Indice de Variabilité Compositionnel (ICV) et du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Selon l'IVC, qui a pour formule : $\text{ICV} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO} + \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Cox *et al.*, 1995), un sédiment est d'autant plus mature que son

ICV est inférieur à 1, tandis qu'un sédiment immature possède un ICV supérieur à 1 (Cox *et al.*, 1995). De plus, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ donne des valeurs inférieures à 1,3 ; ce qui indique les sédiments matures. Les valeurs comprises entre 1,3 et 6,3 évoquent des sédiments immatures (Asiedu *et al.*, 2004).

Ambassa bela *et al.*, (2022) montrent les valeurs des rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ varient respectivement entre 22,85 et 29,01 ; 20,64 et 23,43 ; 14,73 et 23,21 dans les échantillons de sable des plages de Mbiako, Yoyo et Mouanko. Ces rapports sont légèrement supérieurs à l'UCC (4,34) indique une maturité texturale modérée. De même, tous les échantillons de la côte centrale dans cette étude ont un ICV supérieur à 1, avec une moyenne de 1,41 indiquant les sédiments immatures. Ces résultats s'accordent avec ceux obtenus par Abu et Sunkari (2020) dans les sédiments de plage sur la côte ouest du Ghana.

Les résultats d'analyses effectuées par Ndjigui *et al.*, (2018) montrent que les argiles alluviales de Lokoundjé ont des pourcentages en éléments terres rares variant entre (94-1065ppm). Comme dans d'autres dépôts alluviaux (Ndjigui *et al.*, 2014,2015), les argiles alluviales de Lokoundjé sont caractérisées par un taux de terres rares légers élevés avec le rapport terres rares légers sur terres rares lourds compris entre 19 et 36ppm. Le Cérium (Ce) est l'élément le plus abondant avec des valeurs comprises entre 200 et 547ppm ; il est suivi du lanthane La et du Néodyme Nd. Le modèle de normalisation des terres rares par rapport à la chondrite présente des anomalies négatives en Europium (Mc Donough and Sun, 1995) ; la normalisation par rapport au PASS quant à elle révèle une faible anomalie positive en Europium ($\text{Eu}/\text{Eu}^* 1,14-1,21$) et anomalie négative en Cérium ($\text{Ce}/\text{Ce}^* 0,78-0,88$).

Les valeurs du CIA (Indice Chimique d'altération) et du PIA (Indice d'Altération des Plagioclases) permettent de déterminer le degré d'altération (Fedo *et al.*, 1995). Ces indices sont utilisés par plusieurs auteurs.

Les valeurs de la CIA et de la PIA pour les sédiments de Yoyo, Mouanko et Mbiako varient entre 45 et 70 %. Ces valeurs suggèrent que les sédiments de plage le long de la côte centrale du Cameroun ont une altération faible à modérée des roches sources de la région (Ambassa bela *et al.*, 2022). Dans les sables de Batoké Camp, le CIA se situe entre 81,07 % et 87,34 % ce qui montre une altération chimique intense des roches originelles. Et celles du PIA sont comprises entre 82,87 % et 88,44 % ce qui signifie une altération intense de ces minéraux primaires (plagioclases et feldspaths) de la roche source, aboutissant à une forte abondance argileuse des sédiments (Kwewouo, 2018). Tandis que de faibles teneurs de PIA

(<50 %) indiquent, que ces plagioclases et feldspaths de cette roche source n'ont pas subi d'altération.

II.5.5. Provenance

La géochimie des sédiments clastiques a plusieurs fois été utilisée pour déterminer l'origine des sédiments (Taylor et McLennan, 1985). Le rapport ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$) permet de distinguer les roches felsiques, des roches mafiques et des roches intermédiaires. Ainsi, le rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ est considéré comme un important outil dans la détermination de la nature de la roche source. Le rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ est utilisé pour déterminer la source des sédiments (Sheldon *et al.*, 2009). Les travaux de Hernandez-Hinojosa *et al.* (2018) dans le Golfe du Mexique, montrent que pour des valeurs de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ comprises entre 2 et 8, la source provient des roches mafiques (roches magmatiques riches en Fer et en Magnésium). Pour des valeurs comprises entre 8 et 21, la source des sédiments provient des roches intermédiaires (roches plutoniques et volcaniques avec les proportions de SiO_2 varient entre 52 et 66 %) et pour des valeurs comprises entre 21 et 70, la source correspond aux roches felsiques.

Les éléments terres rares et les isotopes Nb sont fréquemment utilisés pour déterminer la provenance, bien que leurs caractéristiques et leurs provenances dans les sédiments de surface des zones humides des mangroves soient rarement analysées. Les terres rares dans les sédiments de surface peuvent être attribués à la fois à des sources naturelles (granites, roches magmatiques) et à des activités anthropiques (Bosen *et al.*, 2023).

Les résultats obtenus par Aïnon (2023) sur la sédimentation et géochimie des sédiments dans les méandres de mangrove tropicale de l'estuaire du Nyong montrent que les roches sources des sédiments de l'estuaire du Nyong sont des roches à source felsique, intermédiaire, mafique.

Les travaux de Ambassa Bela *et al.* (2023) sur la provenance des sédiments classiques du Cameroun et de l'Afrique centrale montrent que les sédiments du Sud-Ouest et ceux de la Région de l'Adamaoua proviennent de sources ignées felsiques, mafiques et intermédiaire.

CONCLUSION

Ce chapitre a permis de définir les sédiments de surface de mangrove, donner leur origine et leur typologie. Il a permis de faire une synthèse sur les travaux antérieurs concernant la maturité, le degré d'altération et la provenance des sédiments superficiels.

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

INTRODUCTION

Ce chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail. Les études ont été menées sur le terrain et en laboratoire par le biais d'une panoplie d'outils nécessaires pour l'acquisition des données.

III.1. MATERIELS DE TERRAIN

Le matériel utilisé lors des travaux sur le terrain est constitué de :

- un récepteur GPS (Global positioning system) qui a permis la localisation des points de prélèvement des échantillons ;
- une carte topographique 1/100000 de Douala/Kribi-Campo pour repérer des secteurs favorables pour la réalisation des points de prélèvement ;
- un appareil photo numérique pour la prise des photos ;
- une boussole munie d'un clinomètre pour déterminer le sens de pendage ;
- une truelle pour le prélèvement ;
- un carnet de terrain dans lequel toutes les notes prises sur le terrain sont consignées ;
- un marqueur qui a permis la codification des échantillons ;
- un crayon pour prendre les notes ;
- le scotch pour sceller l'échantillon afin qu'il n'y ait pas contamination ;
- des sacs plastiques pour emballer les échantillons de sable.

III.2. METHODES D'ETUDE SUR LE TERRAIN

Les travaux ont commencé par une recherche bibliographique. Le travail de terrain s'est réalisé en février 2022 due à des fortes pluviométries dans la zone d'étude. Il a consisté en une observation et description des échantillons EBM1 à EBM10. Ceux-ci sont espacés de 150 m environ dans la mangrove d'Eboundja. Ils ont été rafraichis avant tout prélèvement, tout en évitant toute contamination. Les différents points ont été identifiés en fonction de leurs structures, leurs couleurs et de la taille des grains. Au total 10 échantillons ont été prélevés. Ils ont été conditionnés dans les sacs d'échantillonnage en plastique et étiquetés en vue des analyses ultérieures en laboratoire.

III.3. ETUDE EN LABORATOIRE

Avant de présenter les principaux résultats de l'étude, il est important de rappeler brièvement les méthodes analytiques utilisées. Les travaux effectués en laboratoire sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Laboratoires associés et types d’analyses effectuées

Laboratoires associés	Travaux et analyses effectuées
Laboratoire de Géologie et Environnement sédimentaire (AGEs) de l’Université de Liège, Belgique	Analyses minéralogiques
Laboratoire ALS (Australian Laboratory Services), Vancouver (Canada)	Analyses géochimiques

III.3.1. Analyse minéralogique par diffractométrie aux rayons X

La minéralogie des échantillons de sédiments prélevés sur le terrain est déterminée à travers la méthode par Diffraction des Rayons X (DRX). Pour cette étude, trois échantillons ont été sélectionnés notamment EBM3, EBM7 et EBM10 pour être analysés. Le principe de cette analyse est décrit par Eslinger (1988).

- Principe de la méthode

Les rayons X sont diffusés sans perte d’énergie par des particules de matière chargées électriquement et, principalement, par des électrons. Le faisceau de rayon X issu du tube de production sur un échantillon se diffracte pour être capté par un détecteur. Le spectre de diffraction obtenu est constitué de rayons diffractés en fonction de l’angle de réflexion θ . La loi de Bragg caractéristique des solides cristallins lie θ à d (h, k, l) et permet de calculer les équidistances d (h, k, l).

$2d(h, k, l) \sin\theta = n\lambda$, Avec ; n : l’ordre de réflexion (nombre entier) ; θ : est l’angle de réflexion ou angle de Bragg ; $d(h, k, l)$: est la distance inter-réticulaire entre les plans atomiques (h, k, l) λ : longueur d’onde du rayonnement utilisé.

Le diffractogramme indique les pics successifs qui correspondent à une distance inter réticulaire et à des angles précis. Les composés sont ensuite identifiés par un programme informatique qui contient des minéraux de référence.

- Préparation des échantillons

Pour l’analyse minéralogique totale, chaque échantillon, de 20g de matériau total est prélevé et séché à l’étuve (40 °C) pendant au moins 24 h. L’échantillon est broyé manuellement au mortier à agate et tamisé à sec à 200 μm . La poudre est placée dans un porte-échantillon en PVC par simple pression afin de limiter toute orientation préférentielle des minéraux selon la méthode de Moore et Reynolds (1989) ou méthode « back-side ».

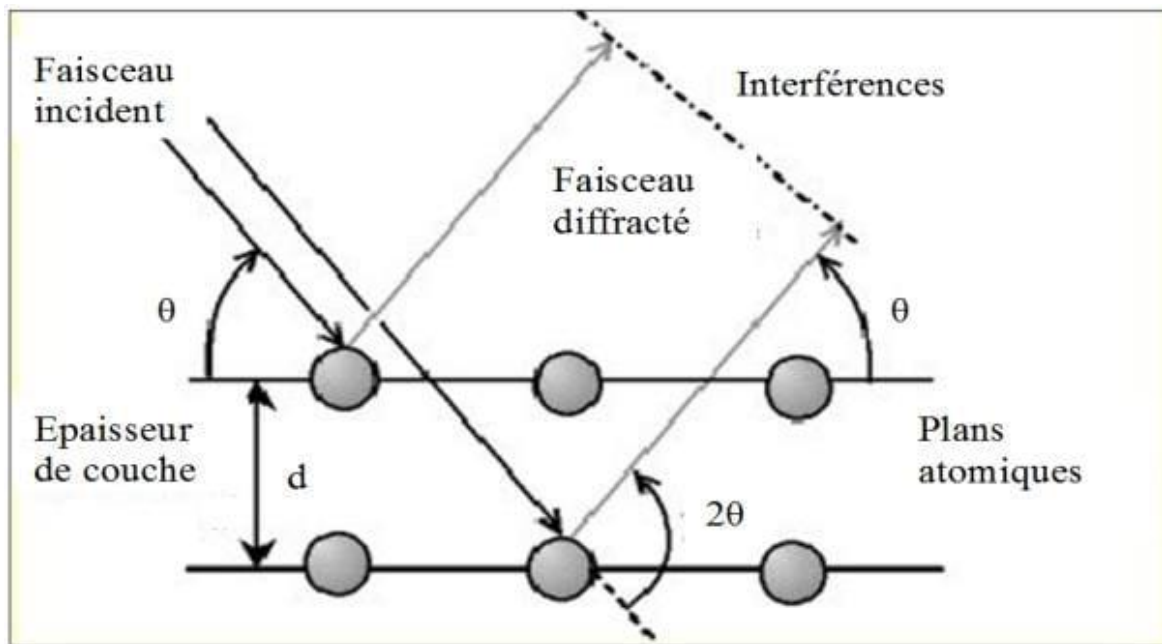


Figure 8 : Principe de diffraction des rayons X.



Figure 9 : Diffractomètre de rayon X qui a servi à la réalisation des diffractogrammes.

III.3.2. Analyse géochimique

Sur le terrain, 10 échantillons ont été prélevés et collectionnés sur 1,5 km. Mais six (06) échantillons ont été utilisés pour les analyses géochimiques au Laboratoire de l'Université de St Vancouver British Columbia, au Canada.

Les analyses géochimiques ont été effectuées par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif. Les teneurs en éléments majeurs ont été déterminées par la fluorescence de rayons X après la perte au feu. Les échantillons ont été d'abord chauffés et fondus avec un flux de tétraborate de lithium, puis analysés à l'aide d'un PAN ANALYTICAL AXIOS ADVANCED PW4400. Les standards internationaux et internes du laboratoire ont été utilisés. Spectrométrie (ICP-MS) utilisant la pulpe de l'ALS (Australian Laboratory Services), Vancouver (Canada). Les échantillons ont été pulvérisés pour obtenir un échantillon homogène dont 20 g ont été obtenus pour les analyses. 0,2 g de poudre de roche a été fondu avec 1,5 g de LiBO_2 , puis dissous dans 100 ml de HNO_3 à 5 %. Les incertitudes analytiques varient de 0,1 à 0,04 % pour éléments majeurs ; et 0,1 à 0,5 % pour les oligo-éléments. La perte au feu (LOI) a été déterminée par différence de poids après allumage à 1000°C. Diverses normes ont été utilisées et l'assurance de la qualité des données a été vérifiée en exécutant ses normes entre échantillons en tant qu'inconnues.

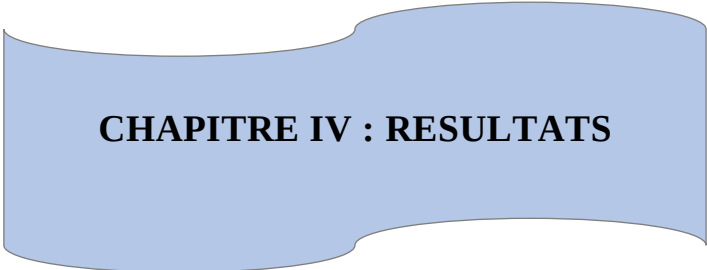
III.4. INTERETS DES ANALYSES EFFECTUEES

L'analyse minéralogique permet de déterminer l'origine et la provenance des sédiments. Elle permet aussi de déterminer le cortège minéralogique des sédiments.

L'analyse géochimique permet de déterminer la composition chimique, l'environnement tectonique, la nature, la provenance des sédiments.

CONCLUSION

Les observations ont été effectuées sur le terrain et en laboratoire. Sur le terrain, dix (10) échantillons ont été récoltés et ramenés au laboratoire pour différentes analyses. Les travaux de laboratoire ont consisté à la description des méthodes analytiques suivantes : la minéralogie par diffraction aux rayons X (DRX) ; la géochimie (la chimie des éléments majeurs, traces et terres rares). L'ensemble de ces analyses pratiquées offrent des résultats, qui seront présentés dans le prochain chapitre.



CHAPITRE IV : RESULTATS

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, il est question de présenter les résultats obtenus à partir des observations faites sur le terrain et des analyses réalisées en laboratoire.

IV.1. PRESENTATION ET LOCALISATION DES ECHANTILLONS

Les échantillonnages des sédiments, au nombre de dix, sont prélevés de manière latérale et superficielle au niveau de la mangrove d'Eboundja. Du point de vue macroscopique, les sédiments ont en générale une texture sableuse et une couleur grisâtre. La codification s'est faite par abréviation des deux premières lettres notées (EB) de la localité d'étude, et d'une troisième (M) numérotés de 1 à 10 pour les distinguer. Ces dix échantillons sont distants les uns des autres d'une distance de 150 m environ (Figure 10). Leur localisation respective est consignée dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Localisation des échantillons

Site d'étude	Echantillons	Coordonnées
Eboundja	EBM1	N02°46' 49'' E09°53'38''
	EBM2	N02°47'10'' E09°53'23''
	EBM3	N02°47'26'' E09°53'42''
	EBM4	N02°47'18'' E09°54'15''
	EBM5	N02°47'47'' E09°53'56''
	EBM6	N02°47'51'' E09°53'32''
	EBM7	N02°49'17'' E09°53'19''
	EBM8	N02°49'6'' E09°53'47''
	EBM9	N02°49'46'' E09°53'42''
	EBM10	N02°49'31'' E09°53'52''

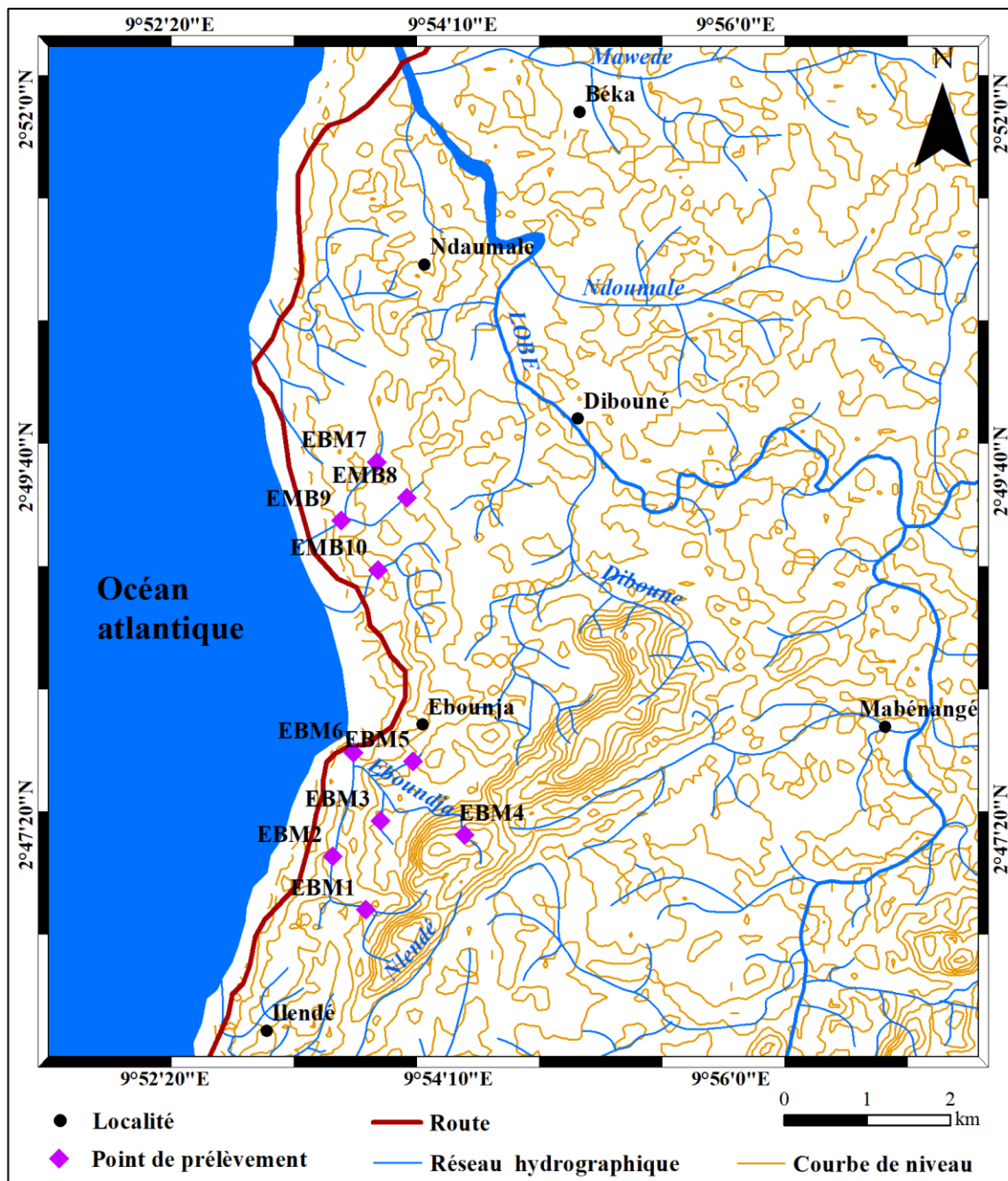


Figure 10 : Carte des points d'échantillonnage

IV.2. MINERALOGIE

Trois échantillons de sédiments (EBM3, EBM7, EBM10) ont été sélectionnés pour réaliser la diffractométrie aux rayons X. Les résultats d'analyses minéralogiques obtenus montrent que le quartz est très abondant dans tous les échantillons. Les minéraux tels que la biotite, la muscovite, les feldspaths, le rutile, et la calcite sont représentatifs dans tous les échantillons. Par contre l'illite et la goethite sont peu abondantes. (Figure 11).

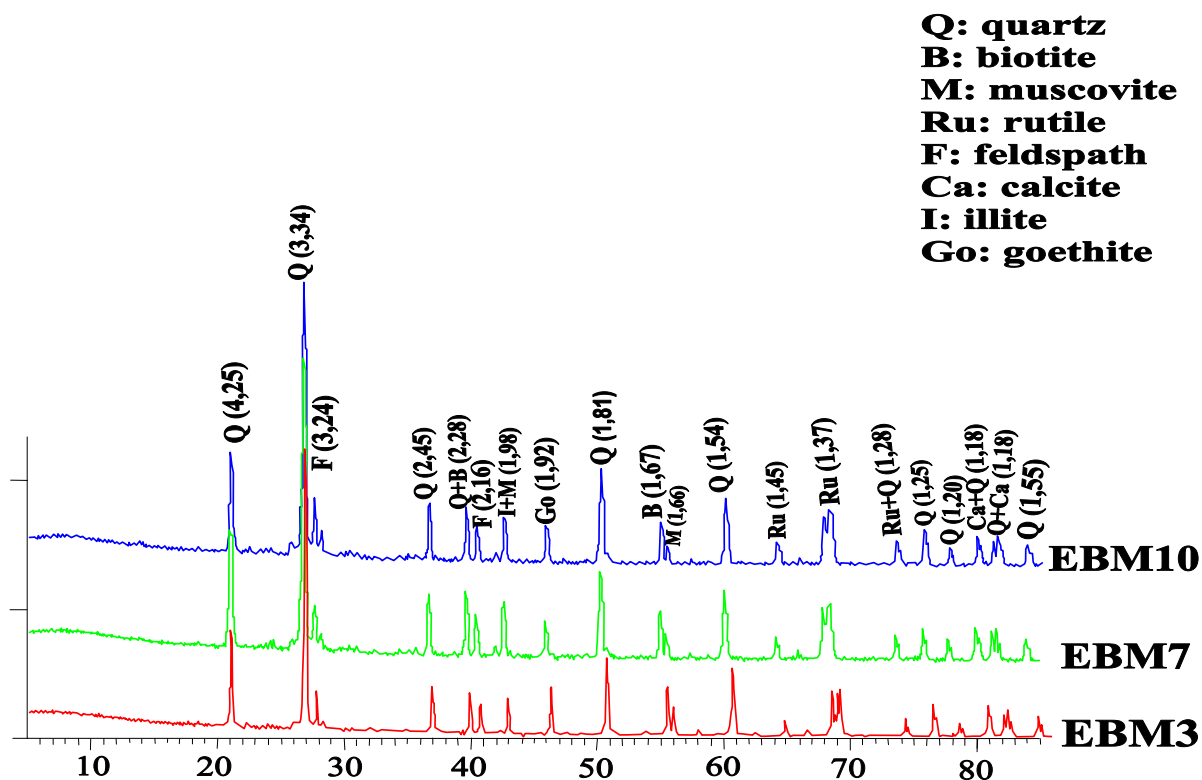


Figure 11 : Diffractogrammes des rayons X des échantillons de sédiments de mangrove de la localité d'Eboundja

IV.3. GEOCHIMIE

Six échantillons des sédiments sableux ont été soumis aux analyses géochimiques. Il s'agit des échantillons EBM3, EBM4, EBM5, EBM6, EBM7 et EBM10

IV.3.1. Distribution des éléments majeurs

La distribution des éléments majeurs dans les sédiments étudiés est présentée dans le Tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4 : Teneurs en éléments majeurs (%) dans les échantillons

Eléments	L.d	EBM3	EBM4	EBM5	EBM6	EBM7	EBM10	Moyenne	PASS	UCC
SiO ₂	0,001	78,05	74,06	76,66	76,53	60,69	77,27	73,88	62,8	66
Al ₂ O ₃	0,001	12,08	15,03	12,22	14,10	28,54	12,15	15,69	18,9	15,2
Fe ₂ O ₃	0,001	4,38	5,95	6,16	5,49	5,20	4,86	5,34	6,5	4,5
MgO	0,001	1,71	1,27	0,57	0,79	1,09	1,62	1,17	2,2	2,2
CaO	0,001	0,94	0,85	0,34	0,37	0,46	0,75	0,62	1,3	4,2
Na ₂ O	0,001	1,42	1,12	0,24	0,66	0,41	0,95	0,80	1,2	3,9
K ₂ O	0,001	0,47	0,03	1,00	0,70	1,18	0,84	0,70	3,7	3,4
TiO ₂	0,001	0,79	1,48	0,95	1,11	1,47	0,85	1,11	1	0,5
P ₂ O ₅	0,001	0,13	0,16	0,06	0,12	0,23	0,14	0,14	0,16	0,17
MnO	0,001	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,11	0,1
Total	-	100,00	99,99	98,24	99,91	99,31	99,49	99,49	97,87	34,2
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	-	6,46	4,93	6,27	5,43	2,13	6,36	5,26	3,32	4,34
K ₂ O/Al ₂ O ₃	-	0,05	0,00	0,08	0,06	0,04	0,07	0,05	0,2	0,22
K ₂ O/Na ₂ O	-	0,33	0,02	4,18	1,06	2,84	0,88	1,55	3,08	0,87
Log(Fe ₂ O ₃ /K ₂ O)	-	0,97	2,38	0,79	0,89	0,64	0,76	1,07	0,24	0,12
Log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	-	0,81	0,69	0,80	0,73	0,33	0,80	0,69	0,52	0,64
Al ₂ O ₃ +K ₂ O+Na ₂ O	-	13,96	16,18	13,46	15,47	30,13	13,94	17,19	67,7	73,3
NaO+CaO*	-	2,35	2,25	0,48	1,03	0,83	1,70	1,44	2,5	8,1
MgO/Al ₂ O ₃	-	0,14	0,08	0,05	0,06	0,04	0,13	0,08	0,12	0,14
SiO ₂ /TiO ₂	-	99,18	49,97	80,69	69,07	41,37	90,80	71,85	62,8	132
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	-	15,35	10,14	12,86	12,73	19,45	14,27	14,13	62,8	132
CIA	-	70,59	78,95	85,71	82,35	90,38	75,00	80,5	75,6	57,6
PIA	-	73,33	78,79	91,67	86,67	93,10	78,57	83,69	86,36	60,2
ICV	-	1,08	0,87	0,70	0,64	0,39	1,00	0,78	0,79	1,2

L.d = limite de détection; LOI = loss on ignition; CIA= $[\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}) + \text{K}_2\text{O})] \times 100$; Nesbitt et Young (1984). PIA = $[(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}] \times 100$ Nesbitt et Young (1982), Fedo *et al.*, (1995); ICV = $[(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3]$ Cox *et al.*, (1995) ; PAAS : Post-Archean Average Australian Shale (Taylor et McLennan, 1985) ; UCC : Upper Continental Crust (Taylor et McLennan, 1985).

IV.3.2. Comportement des éléments majeurs

Le Tableau 5 montre les teneurs des éléments majeurs dans les échantillons. SiO₂ (60,69 % - 78,05 %) est le plus abondant avec une moyenne de 73,88 %. Les teneurs en SiO₂ sont toutes supérieures aux valeurs du PAAS (62,8 %) et du l'UCC (66 %) à l'exception de l'échantillon EBM7. Al₂O₃ a des teneurs comprises entre 12,08 et 28,54 %. Les proportions en Fe₂O₃ sont comprises entre 4,38 % et 6,16 %. Ces valeurs sont toutes inférieures à celles du PAAS (6,5 %), et supérieures à celles de UCC (4,5 %) à l'exception de EBM3. Les proportions en d'autres oxydes (MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ et MnO) sont

relativement faibles à très faibles ($< 1,47\%$). Ces valeurs sont inférieures à celles du PAAS et à l'UCC.

Le degré d'altération est déterminé par les valeurs de l'Indice Chimique d'Altération et de l'Indice d'Altération des Plagioclases. Dans ce cas les échantillons étudiés ont des valeurs du CIA comprises entre $70,59\%$ et $90,38\%$; des valeurs du PIA sont comprises entre $73,33$ et $93,10\%$.

La matrice de corrélation (Tableau 7) montre des corrélations positives entre MgO vs CaO ($0,90$), CaO vs Na_2O ($0,94$), MgO vs Na_2O ($0,85$), MgO vs MnO ($0,92$), MgO vs Sr ($0,80$), CaO vs Sr ($0,76$), Na_2O vs MnO ($0,66$) et de fortes corrélations négatives entre SiO_2 vs Al_2O_3 ($-0,99$), Fe_2O_3 vs MnO ($-0,93$).

Tableau 5 : Matrice de corrélation

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Ba	Ni	Co	Ga	Hf	Nb	Rb	Sr	Ta	Th	U	V	Zr	Y
SiO ₂	1																							
Al ₂ O ₃	-0,99	1																						
Fe ₂ O ₃	-0,04	-0,01	1																					
MgO	0,15	-0,14	-0,8	1																				
CaO	0,29	-0,3	-0,54	0,9	1																			
Na ₂ O	0,43	-0,4	-0,6	0,85	0,94	1																		
K ₂ O	-0,45	0,45	-0,06	-0,37	-0,69	-0,75	1																	
TiO ₂	-0,73	0,72	0,47	-0,27	-0,16	-0,24	-0,14	1																
P ₂ O ₅	-0,82	0,83	-0,3	0,36	0,2	0,1	0,07	0,67	1															
MnO	-0,07	0,1	-0,93	0,92	0,67	0,66	-0,07	-0,25	0,52	1														
Ba	0,51	-0,47	0,25	-0,5	-0,57	-0,33	0,2	-0,38	-0,61	-0,39	1													
Ni	0,3	-0,28	0,47	-0,82	-0,8	-0,65	0,41	-0,3	-0,71	-0,73	0,8	1												
Co	0,04	0,01	0,07	-0,62	-0,69	-0,48	0,46	-0,26	-0,4	-0,41	0,53	0,82	1											
Ga	0,08	-0,06	0	-0,53	-0,65	-0,53	0,64	-0,47	-0,5	-0,36	0,44	0,79	0,92	1										
Hf	-0,27	0,32	-0,42	-0,14	-0,32	-0,2	0,52	-0,23	0,04	0,1	-0,01	0,31	0,78	0,78	1									
Nb	-0,69	0,72	-0,47	0,15	-0,03	-0,07	0,42	0,18	0,57	0,36	-0,56	-0,25	0,28	0,3	0,79	1								
Rb	-0,03	0,01	-0,47	0,79	0,63	0,51	-0,2	-0,01	0,49	0,75	-0,31	-0,78	-0,84	-0,75	-0,54	-0,15	1							
Sr	-0,24	0,2	-0,45	0,8	0,76	0,52	-0,22	0,11	0,55	0,68	-0,82	-0,93	-0,83	-0,66	-0,31	0,24	0,77	1						
Ta	-0,41	0,44	-0,69	0,44	0,31	0,29	0,15	-0,05	0,46	0,55	-0,64	-0,41	0,15	0,2	0,73	0,92	-0,02	0,39	1					
Th	0,73	-0,76	0,53	-0,43	-0,29	-0,22	-0,09	-0,4	-0,84	-0,58	0,74	0,64	0,13	0,18	-0,46	-0,88	-0,22	-0,53	-0,86	1				
U	-0,45	0,48	-0,61	0,28	0,11	0,07	0,37	-0,11	0,37	0,44	-0,54	-0,23	0,3	0,39	0,83	0,95	-0,14	0,28	0,97	-0,78	1			
V	-0,3	0,38	-0,41	-0,16	-0,36	-0,16	0,43	-0,09	0,16	0,13	0,12	0,3	0,78	0,66	0,94	0,72	-0,48	-0,41	0,63	-0,47	0,69	1		
Zr	0,09	-0,03	0,01	-0,56	-0,64	-0,41	0,43	-0,3	-0,41	-0,36	0,56	0,8	1	0,9	0,78	0,27	-0,8	-0,83	0,16	0,13	0,29	0,8	1	
Y	-0,23	0,27	-0,19	-0,34	-0,44	-0,34	0,51	-0,2	-0,12	-0,15	0,04	0,47	0,85	0,86	0,97	0,7	-0,73	-0,43	0,61	-0,31	0,74	0,87	0,84	1

IV.3.3. Comportement des éléments traces

La distribution des éléments traces des sédiments étudiés est consignée dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Teneurs (en ppm) des éléments traces dans les échantillons

Eléments	Ld	EBM3	EBM4	EBM5	EBM6	EBM7	EBM10	Moyenne	Chondrite	PAAS	UCC
Ba	1	36,3	35,5	36,5	44,8	40,8	40,3	39,03	176	650	550
Ni	20	41,8	44,8	44,8	57,3	58,9	44,8	48,73	248	55	44
Co	0,2	10,9	25,1	26,8	36,3	31,8	13,5	24,07	167,7	23	17
Ga	0,5	15,1	20,6	21,5	22,2	24,1	18,2	20,28	26,2	20	17
Hf	0,1	0,3	2,9	3,1	2,4	2,1	0,9	1,95	9,7	5	5,8
Nb	0,1	0,1	13,1	9,1	1,9	2,1	0,1	26,4	116,9	19	12
Rb	0,1	33,2	32,9	32,8	32,3	31,9	34,1	32,87	6,3	160	112
Sr	0,5	80,2	78,3	78,9	53,5	63,2	82,1	72,7	654,9	200	350
Ta	0,1	0,1	0,9	1,1	0,1	0,1	0,1	2,4	9,5	1,28	1
Th	0,2	12,3	10,1	11,2	13	13,8	12,9	12,22	14	14,6	10,7
U	0,1	2,3	4,1	4,2	2,6	2,9	2,6	3,12	2,3	3,1	2,8
V	8	43	97	95	99	67	52	75,5	878	150	107
Zr	0,1	12,3	17	18,2	21,4	19,2	13,5	16,93	438,7	210	190
Y	0,1	14	93	98	80	88	19	65,33	28,4	27	22
th/U		5,35	2,46	2,67	5	4,76	4,96	4,2	6,09	4,71	3,82

Ld= limite de détection. PAAS : Post-Archean Average Australian Shale (Taylor et McLennan, 1985) ; UCC : Upper Continental Crust (Taylor et McLennan, 1985).

Le Vanadium montre des teneurs comprises entre 43 et 99 ppm. Les valeurs du Zirconium varient entre 12,3 et 21,4 ppm. L'Yttrium présente des valeurs comprises entre 19 et 98 ppm. Le niobium possède des valeurs comprises entre 0,1 et 13,1 ppm. Le Hafnium et le Tantale ont des proportions inférieures à 5. Les métaux alcalins tels que le Rubidium présente des concentrations comprises entre 32,3 et 34,1 ppm. Les métaux alcalino-terreux comme le Strontium montrent des valeurs entre 53,5 et 82,1 ppm. Les teneurs en Baryum avec une proportion varient entre 35,5 et 44,8 ppm. Les autres métaux en occurrence le Gallium présentent des teneurs comprises entre 18,2 et 24,1 ppm. Les actinides tels que le Thorium et l'Uranium ont des concentrations inférieures à 15 ppm.

IV.3.4. Normalisation des éléments traces

La normalisation des éléments traces selon les Standards de PAAS et UCC (Taylor et McLennan, 1985) et Chondrite (McDonough et Sun, 1995) permet de suivre le comportement

des spectres des éléments traces par rapport au PAAS, UCC et à la Chondrite (Figures : 13, 14, 15).

Les spectres des éléments traces par rapport au PAAS et l'UCC présentent des allures similaires (Figures 13, 14). Ces spectres montrent des appauvrissements en Rb, Hf, V, Ni, Ga et un appauvrissement prononcé en Zr. Des enrichissements en Co, Sr, Ta, Th, U, Y à l'exception du Nb qui présente un appauvrissement par rapport au PAAS et un enrichissement par rapport à l'UCC. Tandis que les spectres des éléments traces par rapport aux valeurs de la chondrite (McDonough et Sun, 1995) présentent des allures différentes avec celles du PAAS et de l'UCC (Figure 15). On observe un appauvrissement en Co, Zr, Ta et un appauvrissement prononcé en Nb ; un enrichissement en Ga et un enrichissement prononcé en Rb.

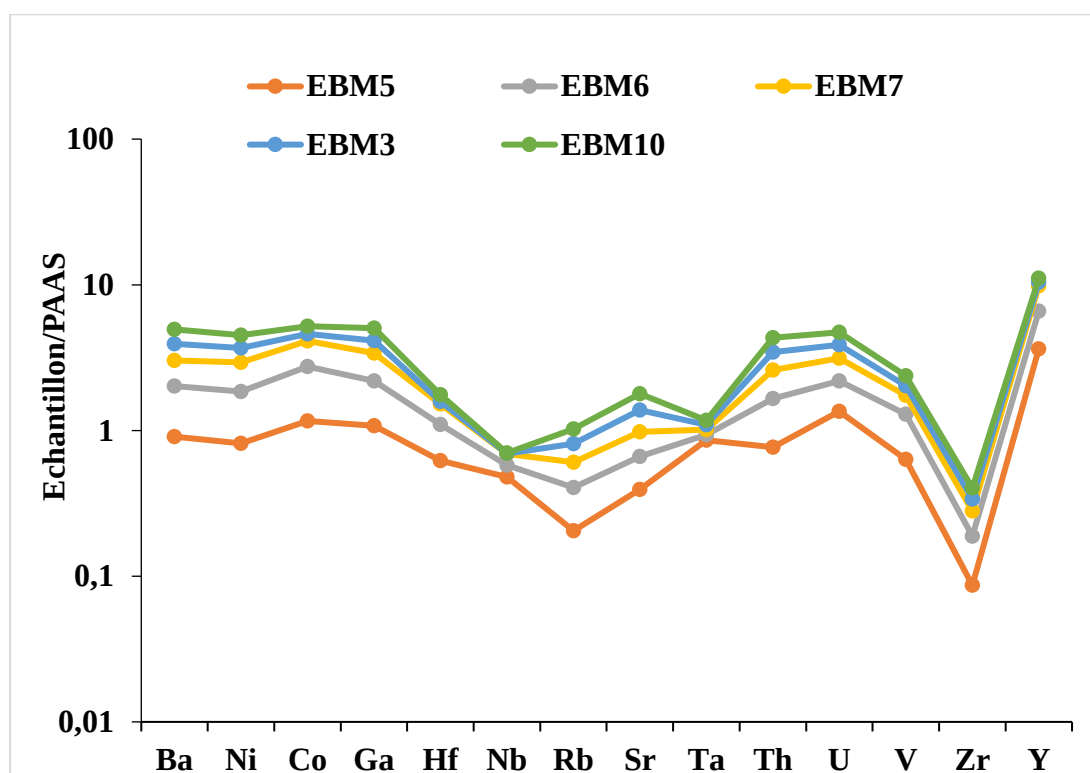


Figure 12 : Spectres des éléments traces par rapport au PAAS (Taylor et McLennan, 1985).

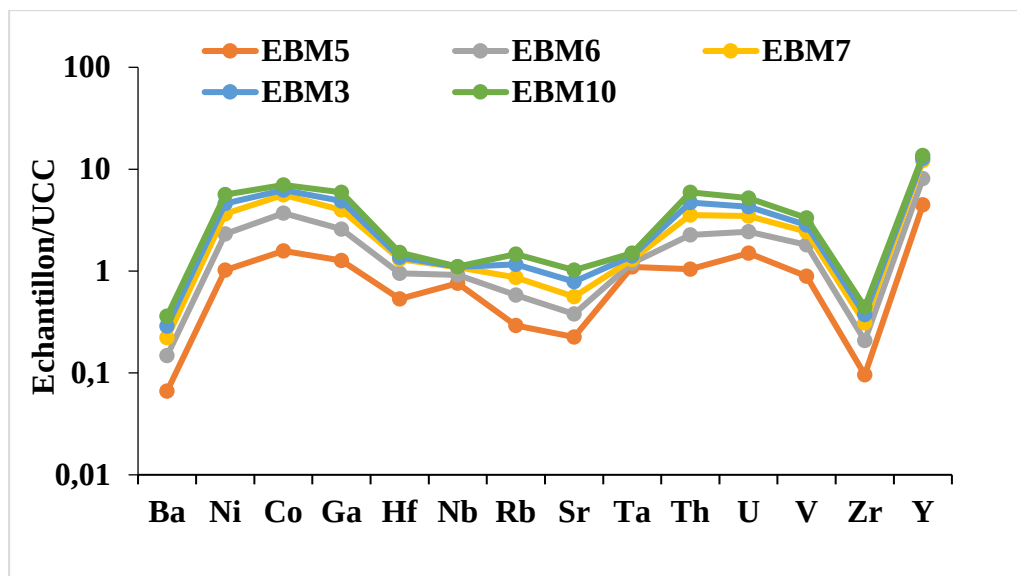


Figure 13 : Spectres des éléments traces par rapport à l'UCC (Taylor et McLennan, 1985)

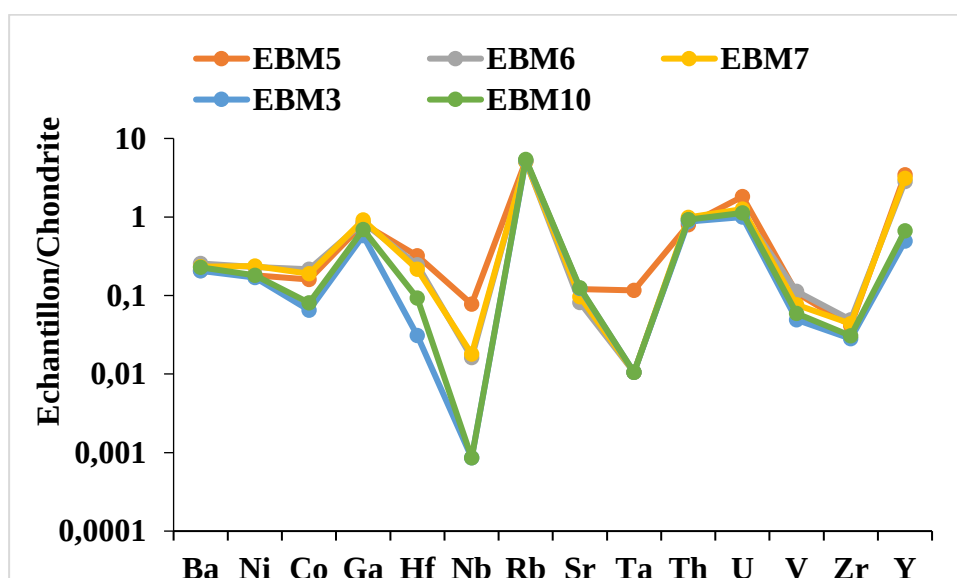


Figure 14 : Spectres des éléments traces par rapport à la Chondrite (McDonough et Sun, 1995).

IV.3.4. Comportement des terres rares

Tableau 7 : Proportions des différents éléments terres rares en ppm des échantillons.

Eléments	Ld	EBM4	EBM5	EBM6	EBM7	EBM3	EBM10	Moyenne	Chondrite	PASS	UCC
La	0,1	35,50	36,50	44,80	40,80	36,30	40,30	39,03	0,237	38,2	30
Ce	0,1	75,10	76,80	97,30	90,10	68,10	76,30	80,62	0,613	79,6	64
Pr	0,1	8,20	8,60	10,00	10,80	7,60	8,10	8,88	0,093	8,83	7,1
Nd	0,1	28,80	30,10	36,80	35,20	27,20	30,50	31,33	0,457	33,9	26
Sm	0,1	5,80	6,10	5,50	5,90	3,90	4,10	5,22	0,148	5,55	4,5
Eu	0,05	1,21	1,35	1,54	1,01	0,88	0,95	1,16	0,055	1,08	0,88
Gd	0,1	4,50	4,80	5,90	6,10	3,90	4,20	4,90	0,199	4,66	3,8
Tb	0,1	0,10	0,60	0,70	0,90	0,60	0,50	0,60	0,036	0,77	0,64
Dy	0,1	3,80	3,90	4,90	4,60	2,80	3,10	3,85	0,246	4,66	3,5
Ho	0,1	0,70	0,80	0,90	0,70	0,50	0,60	0,70	0,055	0,99	0,8
Er	0,1	1,80	2,10	2,50	2,10	1,30	1,90	1,95	0,16	2,85	2,3
Tm	0,1	0,30	0,40	0,40	0,20	0,20	0,30	0,30	0,025	0,41	0,33
Yb	0,1	1,70	1,90	2,30	2,10	1,40	1,60	1,83	0,161	2,82	2,2
Lu	0,1	0,20	0,30	0,30	0,10	0,20	0,20	0,22	0,025	0,43	0,32
ΣREE		167,71	174,25	213,84	200,61	154,88	172,65	180,66	2,53	184,75	146,37
LREE		154,61	159,45	195,94	183,81	143,98	160,25	166,46	1,81	171,82	136,28
HREE		13,10	14,80	17,90	16,80	10,90	12,40	14,32	0,72	12,93	10,09
LREE/HREE		11,80	10,77	10,95	10,94	13,21	12,92	11,77	2,51	13,29	13,51
(Ce/Ce*)PAAS		1,02	1,00	1,06	0,99	0,95	0,97	1,00	-	-	-
(Eu/Eu*)PAAS		21,15	23,76	31,65	20,38	17,46	19,08	22,25	-	-	-
(Ce/Ce*)UCC		0,94	0,97	1,20	1,21	0,81	0,89	1,01	-	-	-
(Eu/Eu*)UCC		1,32	1,48	1,97	1,27	1,09	1,19	1,39	-	-	-
(Ce/Ce*)Chon		94,00	97,08	119,71	120,72	81,15	89,08	100,29	-	-	-
(Eu/Eu*)Chon		16,71	18,78	25,01	16,10	13,80	15,08	17,58	-	-	-
(La/Sm)N		3,82	3,74	5,09	4,32	5,81	6,14	4,82	-	-	-
(La/Yb)N		14,19	13,05	13,23	13,20	17,61	17,11	14,73	-	-	-
(Gd/Yb)N		2,14	2,04	2,08	2,35	2,25	2,12	2,16	-	-	-

$$\begin{aligned}
 (Ce/Ce^*)_{PAAS} &= (Ce_{\text{échantillon}}/Ce_{PAAS}) / (La_{\text{échantillon}}/La_{PAAS})^{1/2} (Pr_{\text{échantillon}}/Pr_{PAAS})^{1/2}; \\
 (Eu/Eu^*)_{PAAS} &= (Eu_{\text{échantillon}}/Eu_{PAAS}) / (Sm_{\text{échantillon}}/Sm_{PAAS})^{1/2} (Gd_{\text{échantillon}}/Gd_{PAAS})^{1/2}; \\
 (Ce/Ce^*)_{UCC} &= (Ce_{\text{échantillon}}/Ce_{UCC}) / (La_{\text{échantillon}}/La_{UCC})^{1/2} (Pr_{\text{échantillon}}/Pr_{UCC})^{1/2}; \\
 (Eu/Eu^*)_{UCC} &= (Eu_{\text{échantillon}}/Eu_{UCC}) / (Sm_{\text{échantillon}}/Sm_{UCC})^{1/2} (Gd_{\text{échantillon}}/Gd_{UCC})^{1/2}; \\
 (La/Sm)_N &= (La_{\text{échantillon}}/La_{\text{chondrite}}) / (Sm_{\text{échantillon}}/Sm_{\text{chondrite}}); \\
 (La/Yb)_N &= (La_{\text{échantillon}}/La_{\text{chondrite}}) / (Yb_{\text{échantillon}}/Yb_{\text{chondrite}}); \\
 (Gd/Yb)_N &= (Gd_{\text{échantillon}}/Gd_{\text{chondrite}}) / (Yb_{\text{échantillon}}/Yb_{\text{chondrite}}).
 \end{aligned}$$

Le Cérium (Ce) est l'élément le plus enrichi car il présente des teneurs très élevées par rapport aux autres éléments, (68,10–97,30 ppm) ; suivi du Lanthane (35,50 - 44,80 ppm) et du Néodyme (27,20 - 36,80 ppm). Le Samarium (Sm), Gadolinium, Dysprosium, Erbium, l'Ytterbium ont des teneurs relativement faibles ; Les teneurs varient entre 1,30 et 6,10 ppm. L'Europium a des teneurs faibles comprises entre 0,88 et 1,54 ppm. Les teneurs les plus faibles sont enregistrées pour le Terbium (Tb), l'Hofmium (Ho), le Thulium (Tm) et le Lutétium (Lu) toutes inférieures à 1 ppm. Le rapport (La/Yb)_N est faible dans tous les

échantillons (3,74 - 6,14 ppm). Les teneurs en terres rares légères sont élevées et sont comprises entre 143,98 et 195,94. Les teneurs en terres rares lourdes sont faibles et sont comprises entre 10,90 et 17,90. Les rapports LREE/HREE est compris entre 10,77 et 13,21.

IV.3.5. Normalisation des éléments terres rares

Les Figures 16,17 et 18 sont des normalisations des éléments terres rares. Les anomalies en Cérium (Ce), en Europium (Eu) sont graphiquement représentées par des pics et des creux distinctifs.

Le rapport Eu/Eu^* mesure l'anomalie négative ou l'anomalie positive en Europium (Eu) au voisinage du Samarium (Sm) et du Gadolinium (Gd).

L'anomalie en Europium ($Eu/Eu^* > 1,1$) est positive dans les échantillons EBM4, EBM5 et EBM6 normalisés par rapport au PAAS : $1,12 < Eu/Eu^* < 1,27$. Cette même anomalie est négative ($Eu/Eu^* < 0,9$) dans l'échantillon EBM7 : $Eu/Eu^* = 0,79$ et est absente dans les échantillons : EBM3, EBM10 par rapport au PAAS : $1,06 < Eu/Eu^* < 1,08$. L'anomalie en Europium ($Eu/Eu^* > 1,1$) est positive dans les échantillons EBM4, EBM5 et EBM6 par rapport à UCC : $1,11 < Eu/Eu^* < 1,25$. Cette même anomalie est négative dans l'échantillon EBM7 : $Eu/Eu^* = 0,79$ et elle est absente dans les échantillons EBM3 et EBM10 : $1,06 < Eu/Eu^* < 1,08$. L'anomalie en Europium ($Eu/Eu^* < 0,9$) est négative dans tous les échantillons par rapport à la chondrite : $0,53 < Eu/Eu^* < 0,84$ (Tableau 8).

De même, le rapport Ce/Ce^* mesure l'anomalie positive ou l'anomalie négative en cérium au voisinage du lanthane (La) et du proséodyme (Pr). Il n'a pas l'anomalie en cérium dans tous les échantillons par rapport au PAAS : $0,95 < Ce/Ce^* < 1,06$. De même Il y'a pas d'anomalie en cérium dans tous les échantillons : $0,96 < Ce/Ce^* < 1,05$ à l'exception de EBM3 : $Ce/Ce^* = 0,93$ par rapport à UCC. L'anomalie en cérium ($0,9 < Ce/Ce^* < 1,1$) est absente dans tous les échantillons par rapport à la chondrite : $0,99 < Ce/Ce^* < 1,07$ à l'exception de l'échantillon EBM6 qui a une anomalie positive : $Ce/Ce^* = 1,11$.

La normalisation des terres rares (REE) par rapport aux valeurs de la Chondrite montre que les terres rares ne sont pas fractionnées (Figure 16). Il apparaît clairement que les terres rares ont des concentrations très élevées par rapport à celle de la Chondrite. Les spectres laissent apparaître un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes. Les spectres des éléments terres rares par rapport au PAAS et l'UCC présentent des allures similaires (Figures 17, 18). Ces spectres montrent des anomalies négatives en Lu. Ces spectres n'ont pas d'anomalies en Ce. Ils ont des anomalies positives en Eu dans les

échantillons EBM5 et EBM6 et n'ont pas des anomalies en Eu dans d'autres échantillons. Tandis que les spectres des éléments traces par rapport aux valeurs de la chondrite (McDonough et Sun, 1995) présentent des allures différentes avec celles du PAAS et de l'UCC (Figure 16). On observe des anomalies négatives en Ce, Eu et Lu. Et des anomalies positives en Gd.

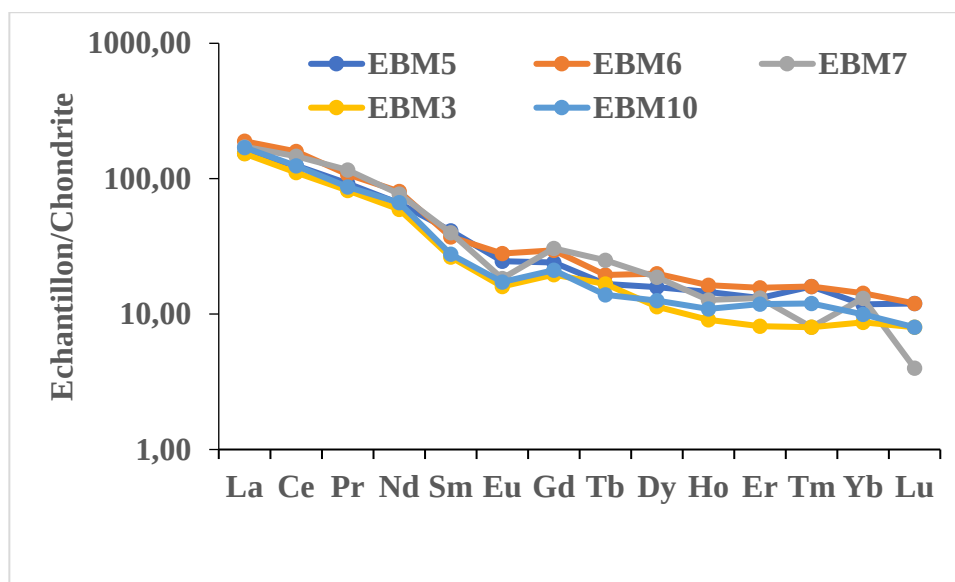


Figure 15 : Spectres des terres rares normalisés par rapport à la Chondrite (McDonough et Sun, 1995).

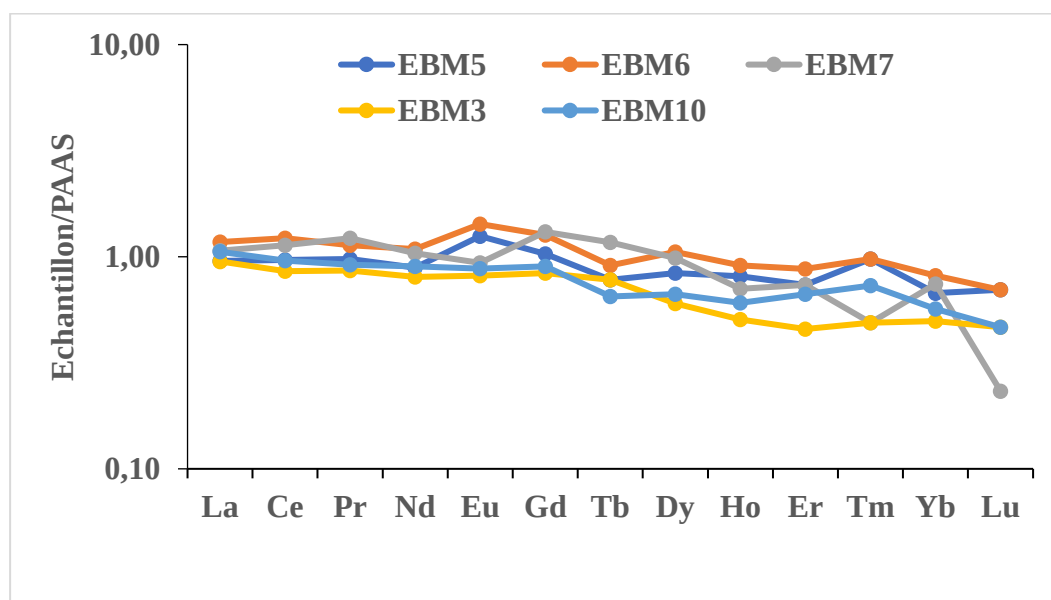


Figure 16 : Spectres des terres rares normalisés par rapport au PAAS (Taylor et McLennan, 1985).

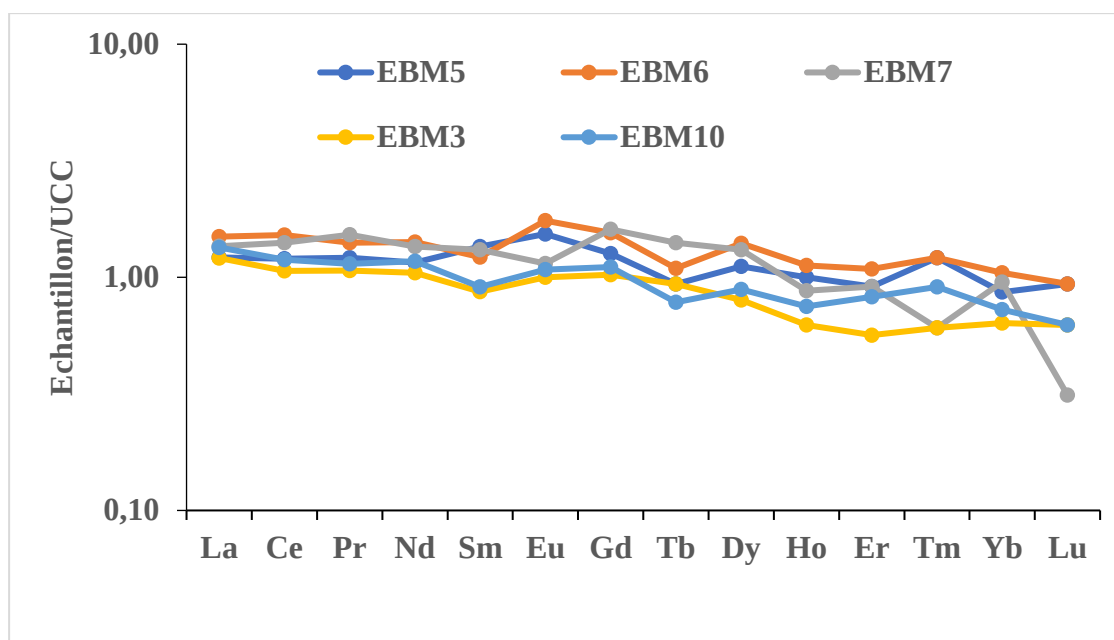
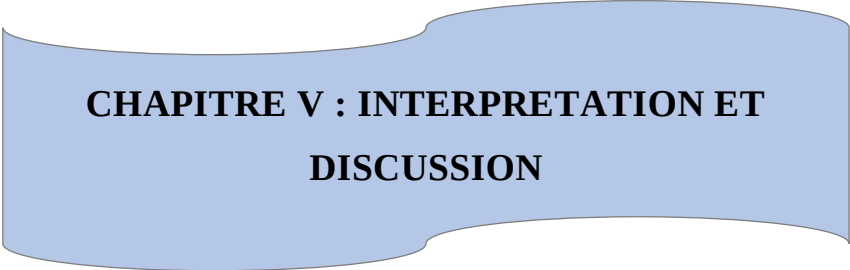


Figure 17 : Spectres des terres rares normalisés par rapport à l'UCC (Taylor et McLennan, 1985).

CONCLUSION

En somme, du point de vue géochimique, les sédiments de la localité d'Eboundja sont riches en silice, modérés en alumine et fer, faibles en alcalins (Na_2O et K_2O) et en alcalino-terreux (CaO et MgO). La normalisation des éléments traces ont révélé des anomalies négatives en Rb, Hf, Zr, V et des anomalies positives en Co, Sr, Ta, Th, U, Y par rapport au PAAS et à l'UCC. La normalisation par rapport à la Chondrite présente des allures différentes. Il ressort également que les teneurs en terres rares des sédiments de la localité d'Eboundja sont modérées et plus enrichies en terres rares légères qu'en terres rare lourdes.



CHAPITRE V : INTERPRETATION ET DISCUSSION

INTRODUCTION

Ce chapitre porte sur un essai d'interprétation et discussion des résultats d'analyses minéralogiques et géochimiques. Le but est de déterminer la nature, la provenance des sédiments, la maturité, le degré d'altération et les conditions tectoniques de mise en place de ces sédiments.

V.1. MINERALOGIE

L'analyse minéralogique par diffraction aux rayons X sur les échantillons de sédiments d'Eboundja montre que les minéraux constitutifs sont : quartz, feldspaths, rutile, biotite, muscovite, calcite, goethite et l'illite. La présence importante du quartz par rapport aux autres minéraux confirme le caractère acide des roches sources (Velde, 1992). La présence de l'illite proviendrait de la transformation de la muscovite. Ces échantillons présentent presque la même composition, ils seraient donc formés dans les mêmes conditions physico-chimiques et proviendraient d'une même source. La composition minéralogique des sédiments d'Eboundja est différente de celle des sédiments de plage de Campo qui présente des minéraux tels que : quartz, kaolinite, goethite, gibbsite, hématite, ilménite, chlorite, muscovite, cristobalite et la magnétite (Tsanga, 2020).

V.2. GEOCHIMIE

V.2.1. Classification des sédiments

La classification géochimique des sédiments permet de distinguer les lithologies des roches à tendance silicoclastiques selon les proportions logarithmiques du rapport $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en fonction de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Herron, 1988). Sur ce diagramme, les roches sédimentaires sont subdivisées en plusieurs sous-groupes (schiste ferrifère, schiste, sable ferrifère, wackes, arkose, subarkose, litharenite et sublitharenite). La Figure 19 montre que les échantillons de sédiments de la localité d'Eboundja se classent dans le domaine des schistes ferrifères et des sables ferrifères.

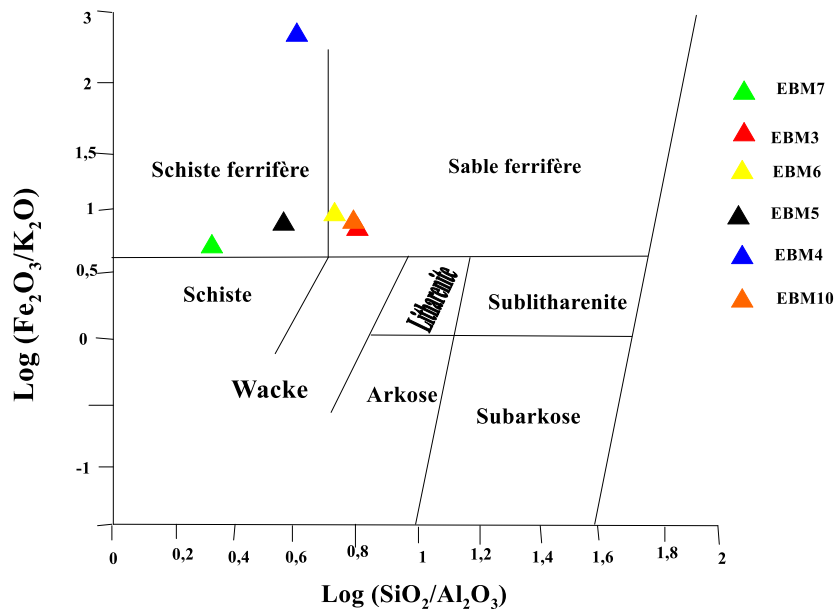


Figure 18 : Classification des sédiments d'Eboundja (Herron, 1988).

V.2.2. Degré d'altération et maturité

Pour quantifier les effets d'altération, les échantillons analysés sont reportés sur le diagramme ternaire A-CN-K de Nesbitt et Young (1984) (Figure 20). Les minéraux argileux (Kaolinite, Illite) et la muscovite reflètent l'influence des roches métamorphiques et ignées comme source de sédiments clastiques. Sur ce diagramme triangulaire, tous les échantillons sont proches du sommet A qui est le champ préférentiel des minéraux argileux tels que la kaolinite, la gibbsite et le chlorite, mais plus proche de l'axe A-CN se référant à une altération des plagioclases (Basalte et Granodiorite). Cette caractéristique reflète une altération modérée à intense des sédiments.

Le diagramme A-CN-K montre que tous les échantillons se situent au-dessus de la ligne de feldspath près du champ de la smectite suivant la tendance à l'altération de K vers le pôle A (Figure 20). Ceci suggère que les basaltes sont les principales roches source et reflètent également des conditions d'altération relativement stables.

Le rapport Th/U dans les roches sédimentaires peut être utilisé comme indice de météorisation et de recyclage sédimentaire. Lorsque le rapport $2 \leq \text{Th/U} \leq 3$ (pour les basaltes), il indique une altération moyenne et lorsque le rapport $\text{Th/U} > 4$ l'altération de la roche source est intense (McLennan *et al.*, 1993). Dans ce travail, le rapport Th/U dans les échantillons est compris entre 2,46 et 5,35 (Tableau 6), ce qui indique une altération moyenne à intense de la roche source. Ce résultat est différent de celui des échantillons de sédiments littoraux de la localité de Campo où le rapport Th/U est compris entre 2,14 et 3,5 indiquant

une altération modérée de la roche source (TSANGA, 2020). Les valeurs de CIA (75,00 - 90,38 %) et PIA (73,33 - 93,10 %) élevées suggèrent que les sédiments ont subis une altération élevée avec un recyclage élevé et traduirait une altération intense sous un climat humide dans la zone source. Ce résultat est aussi différent de celui des travaux effectués par Ambassa bela *et al*, (2022) sur les sédiments des plages de Mbiako, Yoyo et Mouanko le long de la cote centrale du Cameroun ayant une altération faible à modérée des roches sources de la région.

Le rapport massique $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est compris entre 2,13 et 6,49, indique que les sédiments étudiés sont riches en Silice qu'en Alumine.

Les concentrations en Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , MgO , MnO et TiO_2 sont importantes pour l'évaluation de la maturité des sédiments (Cox *et al.*, 1995). Le CIA, le PIA et l'ICV permettent d'évaluer le degré d'altération et de maturité des sédiments.

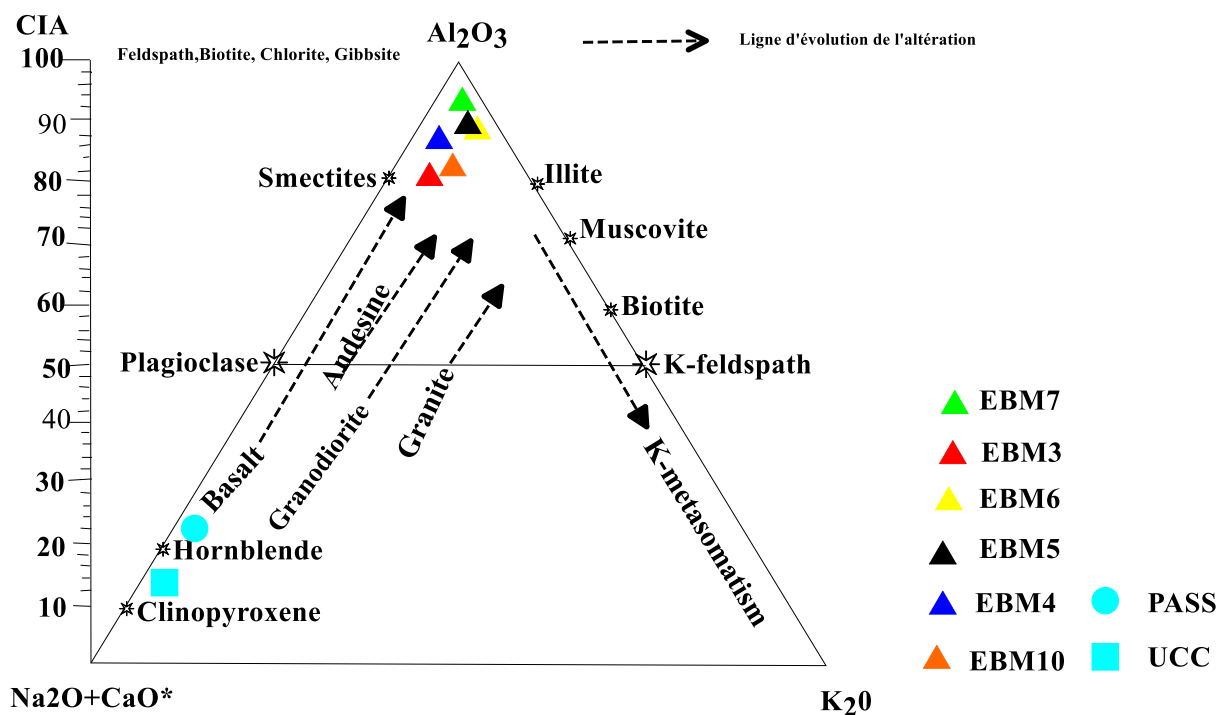


Figure 19 : Diagramme de type A-CN-K des sédiments d'Eboundja (Nesbitt et Young, 1982)

L'indice de variabilité compositionnel (ICV) permet d'évaluer la maturité des sédiments. Ainsi, les sédiments matures ont un $\text{ICV} < 1$ tandis que les sédiments immatures ont un $\text{ICV} > 1$ (Tableau 5). Les sédiments de la localité d'Eboundja ont un ICV inférieur à 1 pour la majorité des échantillons et sont par conséquent matures. De même, en plotant les données de l'ICV en fonction de CIA dans le diagramme des sédiments de Nesbitt et Young (1984) ; Cox *et al.* (1995), on constate que les échantillons tombent dans le domaine des

sédiments matures (figure 22). Ce résultat est différent de celui des sédiments de surface de la côte centrale des plages de Mbiako, Yoyo et Mouanko qui ont un $ICV > 1$, montrant des sédiments immatures (Ambassa bela *et al.*, 2022).

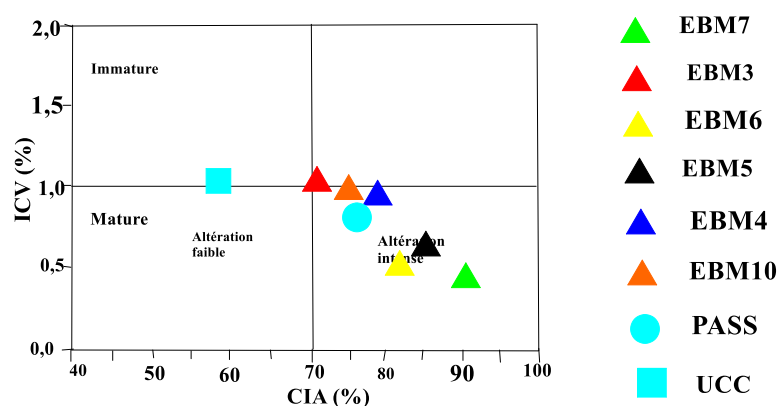


Figure 20 : Diagramme des sédiments ICV vs CIA (Nesbitt et Young, 1984 ; Cox *et al.*, 1995).

V.2.3. Provenance

Le diagramme TiO_2 vs Al_2O_3 (Vosoughi *et al.*, 2016), Zr vs TiO_2 (Hayashi *et al.*, 1997) est utilisé pour déterminer le caractère chimique de la roche source (Figure 22 a). Le diagramme TiO_2 vs Al_2O_3 selon (Vosoughi *et al.*, 2016) (Figure 22 a), indique probablement la source intermédiaire où les points représentatifs des sédiments étudiés sont dans le domaine du basalte granite. Les sédiments étudiés dans ce travail ont un rapport Al_2O_3/TiO_2 qui varie entre 8,91 et 16,53. Ce rapport suppose que les sédiments proviendraient des roches intermédiaires (roche magmatique contenant 60,69 - 78,05 % de SiO_2). Cette signature géochimique est en accord avec la géologie du secteur d'étude qui est marquée par des roches volcanique et métamorphiques (roche du socle). Ceci est confirmé par le diagramme Zr vs TiO_2 (Hayashi *et al.*, 1997) où les échantillons tombent dans le domaine des roches ignées intermédiaires à ignées felsiques (Figure 22 b). Ce résultat est différent de celui obtenu par Ainon (2023) sur la sédimentation et géochimie des sédiments dans les méandres de mangrove tropicale de l'estuaire du Nyong où les roches sources des sédiments de l'estuaire du Nyong sont des roches à source felsique, intermédiaire et mafique.

La figure 22 (a et b) suggère que les sédiments d'Eboundja proviennent en majorité d'une roche ignée intermédiaire. Ceci est différent de celui présentés par TSANGA (2020) sur les sédiments de plage de Campo qui indique que la roche source est en majorité felsique.

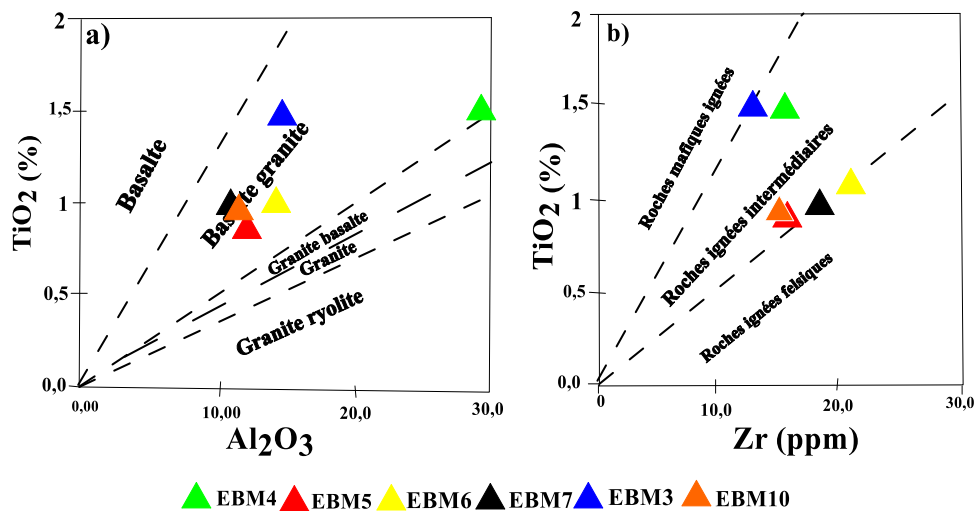


Figure 21 : Le diagramme TiO₂ vs Al₂O₃ (Vosoughi *et al.*, 2016), Zr vs TiO₂ (Hayashi *et al.*, 1997).

V.2.4. Environnement tectonique

L'environnement tectonique des sédiments de la région étudiée est identifié en utilisant le diagramme de discrimination de Roser et Korsch (1986) de la Figure 23. Ces auteurs repartissent ce diagramme en trois zones : une zone de marge passive (PM), une zone de marge active continentale (ACM), et une zone d'arc océanique (ARC). Dans cette étude, l'approche géochimique utilisée pour l'interprétation de l'environnement tectonique est celui du ratio K₂O/Na₂O et celles de SiO₂ plotées dans le diagramme de discrimination de Roser et Korsch (1986). Tous les échantillons tombent dans le domaine des marges passives (PM) et des marges actives continentales (ACM). Contrairement à celui des échantillons des sédiments de plage de la localité de Campo d'après les résultats de Tsanga (2022) qui tombent seulement dans l'aire des marges passives (PM).

Plusieurs études ont évoqué un environnement de rift et de marge passive au nord du craton du Congo dans le complexe du Ntem, et en particulier dans l'unité du Nyong. Le résultat obtenu semble cohérent avec l'histoire géologique des zones sources.

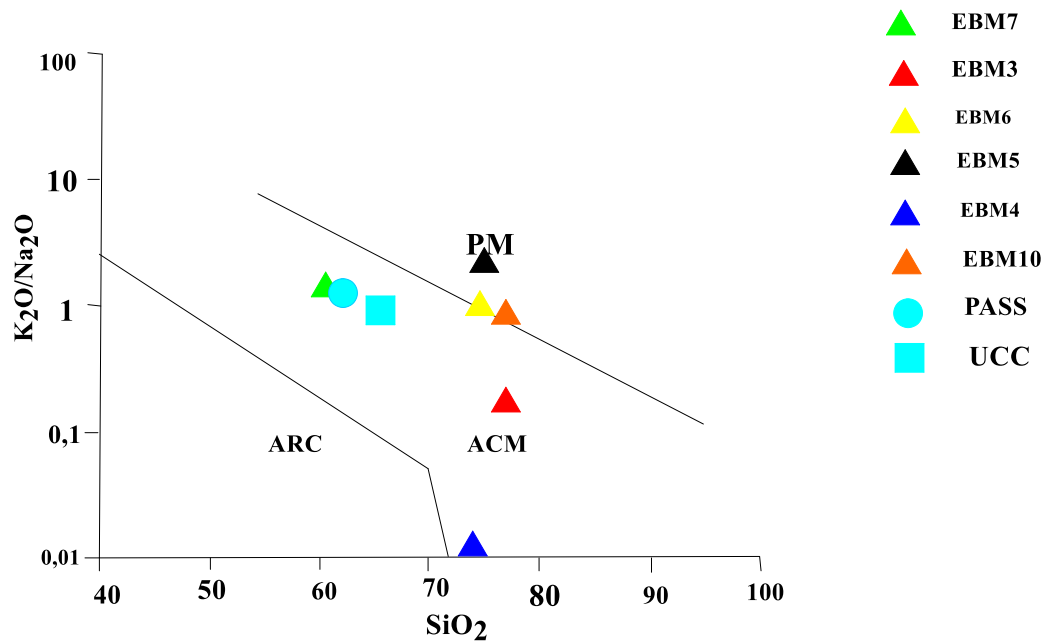


Figure 22 : Tectonique des sédiments d'Eboundja en fonction de SiO_2 -($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$) d'après Roser et Korsch (1986). PM = marge passive ARC = arc insulaire océanique ACM= marge continentale active.

CONCLUSION

Les résultats d'analyses par DRX ont montré que les sédiments de la localité d'Eboundja présentent les minéraux tels que : quartz, feldspath, rutile, muscovite, calcite, l'illite, goethite. Selon les analyses géochimiques, les sédiments se classent dans le domaine des sables ferrifères et des schistes ferrifères et sont très altérés. Ce sont des sédiments matures et leurs environnements tectoniques sont ceux des marges passives et des marges actives continentales.

**CONCLUSION GENERALE ET
PERSPECTIVES**

Les observations faites sur le terrain et les analyses effectuées en laboratoire ont permis de caractériser la minéralogie et la géochimie des sédiments de la localité d'Eboundja. Les analyses ont permis de ressortir le degré d'altération, la maturité, la provenance des sédiments d'Eboundja et la composition de la roche source.

En ce qui concerne la minéralogie des sédiments de la localité d'Eboundja, le quartz est très abondant dans tous les échantillons. Les minéraux tels que les feldspaths, le rutile, biotite, muscovite et la calcite sont représentatifs dans tous les échantillons. Tandis que l'illite et goethite sont peu abondantes.

Sur le plan géochimique, ces sédiments ont subi une intense altération et seraient issus des roches intermédiaires, ignées et métamorphiques. Ils sont classés dans le domaine de schiste ferrifère et de sable ferrifère et son environnement tectonique seraient celui des marges passives et des marges actives continentales. Les sédiments de la localité d'Eboundja sont riches en silice, modérés en alumine et fer, faibles en alcalins (Na_2O et K_2O) et en alcalino-terreux (CaO et MgO). La normalisation des éléments traces a révélé des anomalies négatives en Rb, Hf, Zr, V et des anomalies positives en Co, Sr, Ta, Th, U, Y par rapport au PAAS et à l'UCC ; par rapport à la Chondrite, elle présente des allures différentes. Il ressort également que les teneurs en terres rares des sédiments de la localité d'Eboundja sont modérées et plus enrichies en terres rares légères qu'en terres rare lourdes. Les spectres des éléments traces par rapport au PAAS et l'UCC montrent des appauvrissements en Rb, Hf, V, Ni, Ga ; un appauvrissement prononcé en Zr et des enrichissements en Co, Sr, Ta, Th, U, Y à l'exception du Nb qui présente un appauvrissement par rapport au PAAS et un enrichissement par rapport à l'UCC. Tandis que les spectres des éléments traces par rapport aux valeurs de la chondrite présentent un appauvrissement en Co, Zr, Ta ; un appauvrissement prononcé en Nb ; un enrichissement en Ga et un enrichissement prononcé en Rb.

Les normalisations des éléments terres rares par rapport à la Chondrite, au PAAS et à l'UCC ont montré un comportement similaire. Ces normalisations montrent des anomalies négatives en Terbium (Tb) et en Lutécium (Lu) par rapport à la Chondrite, au PAAS et à l'UCC. Elles montrent une absence d'anomalie en Cérium (Ce) par rapport à la Chondrite au PAAS et à l'UCC et une légère anomalie négative en Erbium par rapport à la Chondrite et positive par rapport au PAAS et à l'UCC. Il ressort également que les teneurs en terres rares des sédiments de la localité d'Eboundja sont modérées et plus enrichies en terres rares légères qu'en terres rare lourdes.

Il est aussi important de noter qu'il y'a pas l'anomalie en cérium dans tous les échantillons : $0,96 < \text{Ce/Ce}^* < 1,05$ à l'exception de EBM3 : $\text{Ce/Ce}^* = 0,93$ par rapport à UCC. L'anomalie en cérium ($0,9 < \text{Ce/Ce}^* < 1,1$) est aussi absente dans tous les échantillons par rapport à la chondrite : $0,99 < \text{Ce/Ce}^* < 1,07$ à l'exception de l'échantillon EBM6 qui a une anomalie positive : $\text{Ce/Ce}^* = 1,11$. Les sédiments d'Eboundja sont matures.

Le travail effectué a permis d'étudier les sédiments de la localité d'Eboundja à partir des caractéristiques minéralogiques et géochimiques. Dans le but d'approfondir cette étude, il conviendrait de :

- faire des datations des sédiments de cette zone et les comparer avec ceux des roches environnantes ;
- étudier l'impact des mangroves sur la composition des sédiments.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ainon, D.B., 2023.** Sédimentation et géochimie des sédiments dans les méandres de mangrove tropicale de l'estuaire du Nyong (partie sud de la côte camerounaise). Mémoire de master. Université de Yaoundé I. I-66.
- Alongi, D.M., 2005.** Mngrove-Microbe-Soil Relations. In « Interactions Between Macro-and Microorganisms in Marine Sediments ». (Éd E. Kristensen, R. R. Haese, et T. E. Kostka). 85-103. (Washinton DC).
- Armel Zacharie, E.B, Victorine Ambassa, B., Ngueutchoua G., EL Amier, Y., Francis., 2022.** Characteristics and source identitification of environmental trace metal in beach sediments along the littoral zone of Cameroon. *Earth Systems and Environment*,1-13, 2022.
- Armstrong-Altrin., María Luisa, M-C., Leticia, R-H., Arturo, C-E., Joan-Albert, S-C., Ana Carolina, R-F., 2015.** Provenance and depositional history of continental slope sediment in the Southwestern Gulf of Mexico unraveled by geochemical. *Shelf Research* 95, 15-26.
- Anil, D.S., Bivin, G.G., Jyotiranjan, S.R., 2020.** Evolution of the Proterozoic Vindhyan Basin, Rajasthan, India: insights from geochemical provenance of siliciclastic sediments. *International geology review* 62, 153-167.
- Asiedu, D.K., Dampare, S.b., Osae, S., Manu, J., Banoeng-Yakubo., 2014.** Geochemistry of lower Proterozoic greywackes from the Birim diamondiferous field, Ghana. *African Journal of Science and Technology* 5), 9-18.
- Bagnouls, F. et Gaussen, H., 1957.** Les climats biologiques et leur classification. *Annexe. Géographie*. 2, XXVI, 335, 183-220.
- Bah Mamadou, L.M., Hiroaki I., 2016.** Geochemical Classification and Determination of Maturity Source Weathering in Beach Sands of Eastern San' in Coast, Tango Peninsula, and Wakasa Bay, Japan. *Earth Science Research* 5, 44-56.
- Batupe, M., 1996.** Les aspects de l'évolution stratigraphique du bassin de Douala, Cameroun. Abstract in *géologie Africaine*. Edition Elf-Aquitaine.
- Bellahbib, N., Rezqi, H., Oujidi, M., Bengamra, S., 2015.** Etude granulométrique et minéralogique des sédiments superficiels du littoral de Saïda et de l'estuaire de la Molouya (Nord-Est du Maroc). *Larhyss Journal*, 1112-3680, 19-40.

- Bellotti, P., Chiocci, F., Milli, S., Tortora, P., and Valeri, P., 1994.** Sequence Stratigraphy and Depositional Setting of the Tiber Delta: Integration of High-Resolution seismics, well Logs, and Archeological Data. *Journal of Sedimentary Research* 64, 416-432.
- Bo-Sen, W., Rui-an, W., Rui-lian, Y., Gong-ren, H., Yu, Y., Cheng-qi, L., Hua-bin, H., 2023.** Characteristics and provenances of rare earth elements and Nb isotope in surface sediments of mangrove Wetlands in the Jiulong River Estuary, China. *Environmental Science and Pollution Research* 1-9 (2023).
- Brindley, G.W., Brown, G., 1980.** Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification. *Mineralogical Society of Great Britain and Ireland*, 411-438.
- Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J.J., Rosales-Hoz, L., Morales-de la Garza, E.A., Lozano-Santa Cruz, R., 2009.** Beach and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific. *Revista Mexicana Ciencias Geológicas*, 26, 433-447.
- Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R.L., 1995.** The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochem, Cosmochim. Acta* 59, 2919-2940.
- Day, J., Conner, W., Ley-Lou, F., Day, R., Machado, A., 1987.** The productivity and decomposition of mangrove forest, Laguna de terminos, Mexico. *Aquatic Botany*. 27, 267-284.
- De martonne, E., 1942.** Nouvelle carte mondiale de l'aridité. *Annexe Géographie* 51 241-250.
- Davis, M.W., EHRLICH, R., 1970.** Relationships between measures of sediment-size frequency distributions and the nature of sediments. *Geological Society of America Bulletin* 81, 3537–3548.
- Duane Milton, M., Reynolds, R.C.Jr., 1989.** X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. *Oxford University Press*, 332
- Ellison, J.C., 1999.** Impact of sediments Burial on Mangrove. *Marine Pollution Bulletin* 37, 420 – 426.
- Elisa Poch, E., 2021. Projet Ecolo.**
- FAO., 1994.** Mangrove forest management guide lines. Food and Agriculture organisation of the united nations forestry paper Rome.

- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1995.** Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rock sand paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology of African Earth Science*, 921-924.
- Foucault A et Raoult J-F, Dictionnaire de Geologie, Dunod, 2014, 316.**
- Gore, D.B., Leishman, M.R., 2020.** Salt sediments and weathering environments in Bunge hills. *Antarctic science* 32, 138-152.
- Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H., 1997.** Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from North Eastern Labrador, Canada. *Geochem. Cosmochim. Acta* 61, 4115-4137.
- Gulf of Mexico, Mexico. *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 13, 161-174p.
- Herron, M.M., 1988.** Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentology Petroleum* 58, 820–829.
- Hernandez-Hinojosa, V., Patricia, C., Montiel-G., Armstrong, J. S., Ramasamy, M. & Juan, J., 2018.** Texturals and geochemical characteristics of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico. *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 13 (1), 161-174.
- Hossain, S.M.D., Jorn, H.K., 2014.** Fracture patterns and fragment size distributions as indicators of shock-related brittle deformation, 25.
- Hernandez-Hinojosa, V., Patricia, C., Montiel-G., Armstrong, J. S., Ramasamy, M. & Juan, J., 2018.** Texturals and geochemical characteristics of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico. *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 13 (1), 161-174.
- Jacinte, P-A., Groffman, P.M., 2006.** Microbial nitrogen cycling processes in a sulfidic coastal marsh. *Wetlands Ecology and Management* 14, 123-131.
- Kankeu K, U., 2019.** Minéralogie et géochimie des sables littoraux de la localité de Batoké Camp, secteur Nord ligne du Sud-Ouest Cameroun-Mémoire de master. Université de Yaoundé I, 94.

- Keudowo Tadzong, T., 2001.** L'Or des ruisseaux OTON-EBAI et OTON-ASSEN (province du Sud). Gisement alluvionnaire et primaire. *Mémoire de D.E.S.S, Université de Yaoundé I*, 50.
- Kwewouo, J.A., 2018. Lawrence, S.R., Munday, S., Bray, R., 2002.** Regional geology and geophysics of the eastern Gulf of Guinea (Niger Delta to Rio Muni). *Leader Edge* 1117p.
- Krishnan et al., 2014.** Rare earth element (REE) in surface mangrove sediment by instrumental neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 301, 667 – 676 (2014).
- Ivar do Sul, J.A., Costa, M.F., Silva-Cavalcanti, J.S., Araujo, M.C.B., 2014.** Plastic debris retention and exportation by a mangrove forest patch. *Marine Pollution Bulletin* 78, 252 – 257.
- Lawrence, S.R., Munday, S., Bray, R., 2002.** Regional geology and geophysics of the eastern Gulf of Guinea (Niger Delta to Rio Muni). *Leader Edge* 1117.
- Letouzey, R., 1958.** Etude phytogéographique du Cameroun. Ed. Paul Lechatelier, Paris, 511.
- Lebigre, J.M., 2004.** Mangroves et aires protégées. In : Lebigre, J.M., Decoudras, P.M., les aires protégées insulaires et littorales tropicales. Bordeaux, université Michel de Montaigne, CRET, collection Îles et Archipels. 33,111-120.
- Lee, R.Y., Porubsky, W.P., Feller, I.C., Mckee K.L., Joye, S.B., 2008.** Porewater biogeochemistry and soil metabolism in dwarf red mangrove habitats (Twin Cays, Belize). *Bioleochimistry* 87, 181-198.
- Liu, X-B., Hu, J-M., Wei, S., Hong, C., Ji-Yuan, Y., 2020.** Paleogene-Neogene sedimentary and tectonic evolution of the Yinchuan Basin, western north China Craton. *International Geology Review* 63, 53-71.
- Mathieu, C., Pileltain, F., 1998.** Analyse physique des sols. Masson, 274.
- Maurizot, P., Abessolo, A., Feybesse, J. L., Johan, V., Lecomte, P., 1985.** Etude et prospection minière du Sud-Ouest Cameroun. Synthèse des travaux de 1978 à 1985. *Rapport BRGM* 85, CMR 066, 274.

- Marius, C., Lucas, C., 1982.** Evolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance). ORSTOM, Institut de Géologie, 1 rue Blessing, 670 84 Strasbourg, France.
- McBride, E.F., 1963.** A classification of common sandstones. *Journal of Sedimentary Research* 33, 664-669.
- McLennan, S.E., 1993.** Evolution of the Earth's surface. *Journal Geology*. 101 (2), 295-303.
- McDonough, W.F., Sun, S., 1995.** The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 120, 223-253.
- Mouldi, B., Chkiou, A., 2007.** Répartition granulométrique et minéralogique des sédiments de surface dans le golfe de Tunis. *Bulletin institut national des sciences et Technologies Mer de Salammbô*, 34, 9.
- Ndjeng, E., 1978.** Etude sédimentologique de niveaux à galets et à sables au Sud de l'Adamaoua -Thèse 3è cycle – Université de Dijon (France), 115.
- Ndjigui, P-D., Badinane, M.F.B., Nyeck, B., Nandjip, H.P.K., Bilong, P., 2013.** Mineralogical and geochemical features of the coarse saprolite developed on orthogneiss in the SW of Yaoundé, South Cameroon. *Journal African Earth Sciences*, 79, 125-142.
- Ndjigui, P.D., Bayiga, E.C., Onana, V.L., Djenabou Fadil, S., Ngono, G.S.A., 2018.** Mineralogy and geochemistry of recent alluvial sediments from the Ngaye River watershed, northern Cameroon: implications for the surface processes and Au-PGE distribution, *Journal of Africa Earth science*. 150, 136-157.
- Ndjigui, P.D., Fadil-Djenabou, S., Beauvais, A., Ambrosi, J, P., 2014.** Origin and evolution of Ngaye River alluvial sediments, Northern Cameroon: Geochemical constraints. *Journal of Africa Earth Science* 100, 164-178.
- Ndjigui, P.D., Nzeuteu, N.A., Mbey, J.A., 2015.** Mineralogical, physical and mechanical features of the Ceramic products of the recent alluvial clastic clays from the Ngog-Lituba region, southern Cameroon. *Applied clay science*.
- Nguene, F.R., Tamfu, S.F., Loule, J.P. and Nsana, C., 1992.** Paléoenvironnements of the Douala and Kribi-campo sub-basin, in Cameroon, West Africa. In : curnelle R. (Ed) géologie africaine 1^{er} colloque de stratigraphie et de paléogéographie des bassins

sédimentaires ouest-africain. 2^{ème} colloque africain de micropaléontologie, Libreville, Gabon, 129-139.

Ngueutchoua, G., Ngantchu, L.D., Youbi, M., Ngos III, S., Beyala, V.K.K., Yifomju, K.P., Tchamgoué, J.C., 2017. Geochemistry of Cretaceous mudrocks and sandstones from Douala sub-basin, Kumba area, southwest Cameroon: constraints on provenance, source rock weathering, paleo-oxidation condition and tectonic environment. *Int. Journal Geoscience*. 8, 393–424.

Ngueutchoua, G., Ekoa, B.A., Eyong, T.J., Zandjio, D.D., Baba, B.H., Tchami, N.L., 2019. Geochemistry of cretaceous fined-grained siliciclastic rocks from upper mundeck and logbadjeck formations, Douala sub-basin, SW Cameroon: implications for weathering intensity, provenance, paleoclimate, redox condition, and tectonic setting. *Journal of African Earth Sciences* 152, 215-236.

Njike Njome, M., 2019. Minéralogie et géochimie des sables littoraux de la localité de Batoké Mile 8, Limbé Sud-Ouest Cameroun-Mémoire de master. Université de Yaoundé I, 76.

Njike Ngaha, P.R., 1984. Contribution à l'étude géologique, stratigraphique structural de la bordure du bassin atlantique du Cameroun. *Thèse 3^{ème} cycle, Université de Yaoundé*.

Cameroun 131.

Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715-717.

N'nanga, A., 2010. Impact de l'érosion et de la sédimentation sur l'environnement côtier de Limbé, Sud-Ouest Cameroun. Mémoire DEA Université de Yaoundé I, 99.

Nsifa, N.E., Tchameni, R., Shang, C.R., Eno Belinga, S-M., 2001. Excursions Géologiques dans le Sud du Cameroun. 12^e conférence internationale de la société géologique Africaine : catastrophe géo-environnementales en Afrique. Université de Yaoundé I, 31-34.

Ntamak-Nida, M. J., Bourquin, S., Makong, J.C., baudin, F., Mpesse, J.E., Nguem, C.I., Komheum, P.B. Abolo, G.M., 2010. Sedimentology and sequence stratigraphy from outcrops of the Kribi-Campo sub-bassin: Lower Mundeck Formation (Lower Cretaceous Southern Cameroon). *Journal of African Earth Sciences*, 58: 1-18.

Olivry, J.C., 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. MESCES-ORSTOM.

- Okbah, M., Shata, M., Shridah, M.** Formes géochimiques de métaux traces dans les sédiments de mangrove-Mer Rouge (Égypte). *Chimie et écologie* 21 (1), 23-36, 2005.
- Papadopoulos, A., Christofides, G., Pe-Piper, G., Koroneos, A., 2015.** *Geochemistry of beach sands from Sithonia Peninsula* (Chalkidiki, Northern Greece). 53-66.
- Pauwels, J.M. ; Ranst, E.V., Verlo, M., Mvondo Ze, A., 1992.** Manuel de laboratoire de pédologie, méthodes d'analyses des sols et des plantes, équipements, gestion des stocks et des produits chimiques. *Publications agricoles*, 265.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987.** Sand and sandstones. *Springer, New York*, 553.
- Prodger, S., 2017.** Spatial and temporal variability of sand beach sediment grain size and sorting. *Thesis of Doctor, Plymouth University*, 434.
- Peizhen, Z., Molnar, P., Downs, W.R., 2001.** Increased Sedimentation Rates and Grain Sizes 2–4 Myr Ago Due to the Influence of Climate Change on Erosion Rates, *Nature*, 410, 891-897.
- Powers, M.C., 1953.** A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, 23, 117-119.
- Pheaktra THLANG, 2010.** Impact des eaux usées domestiques sur les teneurs en éléments traces, éléments majeurs, azote et carbone au milieu de Mangrove (Malamani, Mayotte). Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle (ECOLAB)- UMR 5245 CNRS – INPT avenue de l'Agrobiopole BP 32607 31326 CASTANET TOLOSAN Cedex.
- Pye, K., Blott, S.J., 2016.** Assessment of beach and dune erosion and accretion using LIDAR: impact of the stormy winter and longer term trends on the sefton Coast, UK. *Geomorphology*, 266, 146-167.
- Roser, B. P., Korsch, R.J., 1986.** Determination of tectonic setting of sandstones-mudstones suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal geology*. 94, 635-650p.
- Regnault, J.M., 1986.** Synthèse géologique du Cameroun. *Publication direction. Mines et géographie, Cameroun*, 119.

- Sawyer, E.W., 1986.** The influence of source rock type, chemical weathering and sorting on the geochemistry of clastic sediments from the Quetico metasedimentary belt, Superior province, Canada. *Chemical Geology*. 55, 77-95.
- Segalen, P., 1967.** Les sols et la géomorphologie du Cameroun. *Cah. Orstom, ser. Pédologie*, 5, 137-188.
- Shang, C.K., Liégeois, J.P., Satir, M., Frisch, W., Nsifa, E.N., 2010.** Late Archean high-K granite geochronology of the northern metacratonic margin of the Archean Congo craton, Southern Cameroon: Evidence for Pb-loss due to non-metamorphic causes. *International Journal of African Earth Sciences*, 19.
- Sheldon, N.D., Tabor, N.J., 2009.** Quantitative paleoenvironmental and paleo-climatic Reconstruction using paleosols. *Earth-Science Reviews* 95, 1-52.
- SNH, 2005.** Hydrocarbon Exploration Opportunities, Cameroon, Yaoundé, 8.
- Suchel, J.B., 1972.** La répartition des pluies et des régimes pluviométriques au Cameroun. *Doc. CEGET-CNRS, Bordeaux*, 260.
- Suchel, J.B., 1987.** Les climats du Cameroun. Thèse doctorat d'état, *Université Bordeaux III*, 4, 1186.
- Sobdjou, C.K., Ndong, F.D., Ondoa, M.J., 2015.** Paléoenvironnement de mise en place des faciès détritiques terrigènes de la formation du Moungo-fleuve dans le bassin sédimentaire de Moungo (Ouest Cameroun). *International journal of innovation and Applied Studies* 13, 355-367.
- Spalding, M., Blasco, F., Field, C., 1997.** World mangrove Atlas. International society for mangrove ecosystems, Okinawa, Japan.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985.** The continental crust its composition and evolution an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rock. Blackwells, Oxford, 312.
- Tacila OP de F et al., 2021.** Distribution and fractionation of rare earth elements in sediments and mangrove soil profiles across an estuarine gradient. *Chemosphere* 264, 128431, 2021.
- Trenhaile, A.S., 1997.** Coastal dynamics and landforms. Oxford University Press. Google scholar.

- Toteu, S.F., Van schmuss, W.R., Penaye, J. and Nyobe, J.B., 1994.** U-Pb and Sm-Nd evidence for eburnean and panafrican high grade metamorphism in cratonic rocks of southern Cameroon. *Ressource*. 67, 321-347.
- Tsanga, D.A., 2020.** Pétrographie et géochimie des sédiments littoraux de la localité de Campo-Cameroun. Mémoire de master. Université de Yaoundé I, 85.
- T. Zoltai, J.H. Stout (1984).** Mineralogy concept and principles. Burgess Publishing Company
- Velde, B., 1992.** Introduction to clay minerals. Chemistry, Origin, uses and Environmental significance. London Glasgow, Tokyo, Melbourne, Madras, New-York: *Chapman and Hall*, 198.
- Vicat, J.P., Bilong, P., Ndjigui, P.D et Zolang., 1998.** Les grands thèmes de la recherche géologique au Cameroun : Bilan de trois décennies de travaux Universitaires. *Geoscience au Cameroun 1*, 3-11.
- Victorine Ambassa, B., Armel Zacharie E.B., Armstrong-Altrin, J.S., Aonsi, F., Biemi Nya, E.D., Ngueutchoua G., 2023.** Provenance of clastic sediments: A case study from Cameroon, Central Africa. Tome 8, Numéro 2, 15 juin 2023, 105-122.
- Vosoughi, M.A., Sari, A., Akkaya, P., 2016.** Geochemistry of the Miocene oil shale (Hançilli Formation) in the Çankiri-Çorum basin, Central Turkey: implications for paleoclimate conditions, source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Sediment Geology*. 78, 136–150.
- Wentworth, C., 1922.** Scale of grade and class terms for clastic sediments. *The journal of geology*. 30, 377-392.
- Young, A.P., Ashford, S.A., 2006.** Application of Airborne LIDAR for seacliff volumetric change and Beach Sediment Budget Contributions. *Journal of Coastal Research*, 22, 307-318.