

RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

FACULTÉ DES SCIENCES

**CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES, TECHNOLOGIE ET
GÉOSCIENCES**



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE

FACULTY OF SCIENCE

**POST GRADUATE SCHOOL OF
SCIENCES, TECHNOLOGY AND
GEOSCIENCES**

DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES

**LABORATOIRE DE GEOSCIENCES DES FORMATIONS SUPERFICIELLES ET
APPLICATIONS**

**LABORATORY OF GEOSCIENCES OF SUPERFICIAL FORMATIONS AND
APPLICATIONS**

**PETROLOGIE ET GEOCHIMIE DES ALLUVIONS DU COURS
INFERIEUR DU FLEUVE LOKOUNDJE : Implication sur l'origine des
sédiments et le contexte géotectonique de la zone source**

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

Spécialité : Géosciences des Formations Superficielles et Applications

Option : Géologie Minière et Ressources Pétrolières

Par :

KAPTCHOUANG KAMLO Suzi Phalone

Matricule : 16L2850

Sous la Direction de

NGUEUTCHOUA Gabriel

Maître de conférences

Université de Yaoundé I



Année académique 2023 -2024

DEDICACE

Mon feu papa KAMLO Samuel

Ma maman DJEUKWE LOWE Bertine

Ma défunte sœur KAMTO KAMLO Irina Carolina

REMERCIEMENTS

Quel que soit l'ardeur et la détermination, un travail comme celui-ci ne peut être concrétisé que grâce à la contribution intellectuelle, morale, financière et amicale de nombreuses personnes à qui je tiens à adresser toute ma reconnaissance.

Toute ma gratitude va à l'endroit du Seigneur Dieu tout Puissant, pour sa protection et pour toutes ces grâces qu'il m'a accordées durant tout ce parcours.

Mes sincères remerciements vont à l'endroit de mon directeur de mémoire, Pr NGUEUTCHOUA Gabriel qui a bien voulu m'accueillir dans son équipe de recherche. Ses remarques et critiques pertinentes ont permis de réaliser ce travail dans des conditions idéales

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Pr BISSO Dieudonné, Chef du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Yaoundé I et son prédécesseur Pr NDJIGUI Paul Désiré pour les précieux enseignements.

Je remercie tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Yaoundé I pour leur enseignement, leur encadrement et leur disponibilité.

Mes aînés académiques plus particulièrement Dr KWEWOUO Annick, TSANGA Archange Duviol, AMBASSA BELLA Victorine et WELBA Moïse dont la rigueur scientifique de ce travail est le reflet de leurs grandes disponibilités et de leurs conseils judicieux.

Mes camarades de promotion, plus particulièrement GOMBOU GBANAM Rogatien Miguel pour son soutien, ses encouragements, ses conseils, sa motivation et sa grande disponibilité dans la réalisation de ce travail également MOUNDELET MONGBANDI, DOMADJINGAR Habib Sandje, Ndzié Danielle Mbazon, Pour les conseils, l'aide et la disponibilité lors de la réalisation de ce travail.

Je remercie également ma maman chérie DJEUKWE LOWE Bertine pour son apport financier depuis mon parcours universitaire mais également pour son grand soutien et ses précieux conseils à l'endroit de ma personne. Sans toi je n'y serais pas arrivée.

Mes frères et sœurs POKA Raïssa, NONO Stéphane, CHIMI Romaric, DZENANG Loïc, Kamlo Franck et ma fille KAMLO Perla Joyce pour le soutien, l'attention et les conseils dont ils ont fait preuve à mon égard.

Nombreux sont ceux ou celles donc les noms n'ont pas été mentionnées ici à qui j'exprime ma profonde gratitude.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES.....	viii
RESUME.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : MILIEU NATUREL ET CADRE GÉOLOGIQUE.....	4
I.1. GEOGRAPHIE PHYSIQUE.....	5
I.1.1. Situation géographique	5
I.1.2. Climat	5
I.1.3. Végétation et faune	7
I.1.4. Sols	8
I.1.5. Géomorphologie	9
I.1.5.1. Orographie	9
I.1.5.2. Hydrographie	10
I.2. CADRE GEOLOGIQUE	11
I.3. POPULATION ET ACTIVITES ECONOMIQUES	12
I.3.1. Population	12
I.3.2. Activités économiques.....	12
CHAPITRE II : TRAVAUX ANTERIEURS ET METHODOLOGIES.....	14
II. TRAVAUX ANTÉRIEURS	15
II.1. Définitions.....	15
II.2. Origine des sédiments alluvionnaires.....	15
II.3. Échelle de classification et caractère sédimentologiques.....	16
II.3.1. Granulométrie	16
II.3.2. Minéralogie.....	17
II.3.3. Minéraux lourds.....	17

II.4. Géochimie	18
II.4.1. Éléments majeurs	18
II.4.2. Éléments traces	18
II.4.3. Terres rares	19
II.4.4. Classification des sédiments	19
II.4.5. Degré d'altération des roches sources	19
II.4.6. Maturité des sédiments	20
II.4.7. Provenance des sédiments	21
II.4.8. Contexte tectonique	21
II.5. MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ÉTUDE	22
II.5.1. Matériel.....	22
II.5.2. Méthodes	22
II.5.2.1. Travaux de terrain	22
II.5.2.2. Travaux de laboratoire	23
II.5.2.2.1. Analyses sédimentologiques	24
a) Granulométrie	24
b) Minéraux lourds.....	25
c) Minéralogie par DRX	26
d) Analyse géochimique	27
CHAPITRE III : RESULTATS	29
III.1. GRANULOMETRIE	30
III.1.1. Présentation et analyse des courbes cumulées	31
III.1.2. Présentation et analyse des histogrammes	32
III.2. MINERALOGIE	32
III.2.1. Minéraux lourds	32
III.2.1.1. Etude descriptive des différentes espèces minérales	32
III.2.1.2. Etude analytique des minéraux lourds.....	36
III.2.2. Diffractométrie aux rayon x	37
III.3. GEOCHIMIE.....	39
III.3.1. Éléments majeurs	39
III.3.1.1. Comportement des éléments majeurs	39
III.3.1.2. Correlation entre les differents éléments majeurs	40
III.3.2. Éléments traces.....	43
III.3.2.1. Comportement des éléments traces	43
III.3.2.2. Normalisation des éléments traces	44

III.3.3. Comportement des terres rares	46
III.3.3.1. Normalisation des éléments terres rares	47
CHAPITRE IV : ESSAI D'INTERPRETATION ET DISCUSSION	50
IV.1. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE	51
IV.2. CLASSIFICATION DES SEDIMENTS.....	51
IV.3. DEGRE D'ALTERATION DES ROCHES SOURCES ET MATURITE DES SEDIMENTS	52
IV.4. PROVENANCE	54
IV.5. ENVIRONNEMENT TECTONIQUE	55
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES.....	56
CONCLUSION GÉNÉRALE	57
PERSPECTIVES.....	57
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	58

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude	5
Figure 2: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957).....	6
Figure 3: Vue partielle de la végétation de la zone d'étude	8
Figure 4: Carte orographique de la zone d'étude.....	9
Figure 5: Carte hydrographique du secteur d'étude.....	10
Figure 6: Carte géologique du secteur d'étude réalisé à partir de la carte topographique de sud (Kribi).....	11
Figure 7: Modèle des courbes granulométriques	17
Figure 8: Carte d'échantillonnage.....	23
Figure 9: Principe de diffraction des rayons X par le réseau cristallin	27
Figure 10: Courbes cumulatives des échantillons de la Lokoundjé	33
Figure 11: Histogramme des échantillons.....	34
Figure 12: Minéraux lourds des lames minces de sable vue au microscope (LPNA et LPA).36	
Figure 13: Diagrammes circulaires des minéraux lourds.....	37
Figure 14: Diffractogrammes des échantillons KL02, KL06 et KL10 des sédiments alluvionnaires de la Lokoundjé	38
Figure 15: Diagramme de Harker des éléments majeurs.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 16: Spectres de normalisation des éléments traces	45
Figure 17: Spectres de normalisation des terres rares	47
Figure 19: Diagramme de classification des sédiments de la Lokoundjé	52
Figure 20: Diagramme de type A-CN-K des sédiments de la Lokoundjé	53
Figure 21: Diagramme de maturité des sédiments ICV vs CIA.....	54
Figure 22: Diagramme bivarié Zr en fonction de TiO ₂	54
Figure 23: Diagramme tectonique des sédiments de la Lokoundjé	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Données climatiques de Kribi (1991 à 2021).	6
Tableau 2: Echelle de classification (Wentworth, 1922)	16
Tableau 3: Point d'échantillonnage de la zone d'étude.....	23
Tableau 4: Laboratoires et types d'analyses effectuées	24
Tableau 5: Fractions granulométriques des échantillons en pourcentages simples et cumulés	30
Tableau 6: Indices les paramètres granulométriques des sédiments.....	31
Tableau 7: Inventaire des minéraux lourds en pourcentage (%).....	36
Tableau 8: Représentation sémi-quantitative des espèces minérales des sédiments de Lokoundjé.....	37
Tableau 9: Teneurs en éléments majeurs (en %) dans les échantillons.	40
Tableau 10: Matrice de corrélation	42
Tableau 11: Teneurs des éléments traces (ppm) des sédiments alluvionnaires de Lokoundjé.....	43
Tableau 12: Teneur (ppm) des terres rares dans les sédiments alluvionnaires de Lokoundjé	46

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

ACM	: Active Continental Margin
ARC	: Continental Island Arc
As	: Coefficient d'Asymétrie
CIA	: Chemical Index of Alteration
CIW	: Chemical Index of Weathering
DRX	: Diffractométrie des Rayons X
ETR	: Eléments des Terres Rares
HREE	: Heavy Rare Earth Elements
ICV	: Index Compositional of Variability
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry
LPNA	: Lumière Polarisée Non Analysée
LPA	: Lumière Polarisée Analysée
LREE	: Light Rare Earth Elements
LOI	: Loss On Ignition
PIA	: Plagioclase Index of Alteration
PAAS	: Post Archean Australian Average Shales
Qdphi de Krumbein	: Quartile de déviation
REE	: Rare Earth Elements
So	: Sorting Index
SOCAPALM	: Société Camerounaise de Palmeraies
UCC	: Upper Continental Crust

RESUME

La zone d'étude est située dans la Région du Sud, Département de l'Océan, Arrondissement de la Lokoundjé. L'objectif principal de ce travail est de caractériser la dynamique sédimentaire par des études, géochimiques, et minéralogiques sur les alluvions du cours inférieur du fleuve Lokoundjé afin de déterminer leurs provenances et les conditions de dépôt. La zone d'étude est soumise à un climat équatorial de type guinéen à quatre saisons. Le relief est marqué par trois unités géomorphologiques majeures allant de basses altitudes aux hautes altitudes. Le substratum est constitué des roches métamorphiques recouvertes par des sols ferrallitiques et des sols hydromorphes. La végétation est marquée par une alternance de forêt galerie de type équatoriale et de forêt secondaire avec un réseau hydrographique dense. L'analyse granulométrique a montré que les sédiments alluvionnaires étudiés sont homogènes, bien triés, modérément à mal classés et évoluent vers les éléments fins. Ces sédiments sont majoritairement constitués des sables mise en place par des courants irréguliers et proviennent de diverses sources. La classification géochimique de ces sédiments les identifie comme des sables ferrifères, litharénites, arkoses, sublitharénites et quartzarénites. Les valeurs de CIA des sédiments de la Lokoundjé varient entre 59,05 et 90,91 %, celles de PIA varient entre 64,26 et 92,48 % et la valeur moyenne de ICV est de 1,74. Ce qui indique une altération chimique modérée à intense des roches sources. Le diagramme Zr en fonction de TiO_2 montre que la majeure partie des échantillons sont signalés dans le domaine des roches ignées felsiques et moins représentés dans le domaine des roches ignées intermédiaires et des roches ignées mafiques, ce suggère une provenance des sédiments liées à la désagrégation physique ou chimique des roches sources felsiques avec une contribution des roches intermédiaires à mafiques. Le diagramme de discrimination de Roser et Korsch, 1986 montre que les échantillons KL04, KL06, KL08 et KL10 tombent dans le domaine de marge continentale passive, tandis que, les échantillons KL02 et KL12 se trouvent dans le domaine de marge continentale active. Ces contextes sont liés à l'évolution tectonique des roches sources favorisant la mise en place de ces sédiments.

Mots-clés : Lokoundjé, sédiment, altération, provenance, géochimie.

ABSTRACT

The study area is located in the South Region, Ocean Department, Lokoundjé District. The general objective of this work is to characterize the alluvial dynamics through geochemical and mineralogical studies on the Ebéa alluvium deposits in order to determine their origins and the conditions which governed their formation. The study area is subject to a four-season Guinean-type equatorial climate. The relief is marked by three major geomorphological units ranging from low altitudes to high altitudes. The substrate consists of metamorphic rocks covered by ferrallitic soils and hydromorphic soils. The vegetation is marked by an alternation of equatorial gallery forest and secondary forest with a dense hydrographic network. The grain size analysis showed that the alluvial sediments studied were homogeneous, well sorted, moderately to poorly classified and evolving towards fine elements. These sediments are mainly made up of sand corresponding to a deposition favored by irregular currents and a mixture of sediments from various sources. The Herron diagram shows that the alluvium of the Lokoundjé is distributed in the areas of iron-bearing sands, litharenites, arkoses, sublitharenites and quartzarenites. The CIA values of the Lokoundjé sediments vary between 59.05 and 90.91%, those of PIA vary between 64.26 and 92.48% and the average ICV value is 1.74. This indicates moderate to intense chemical alteration of the sediments from the source rocks and are therefore mature. The Zr/TiO₂ diagram shows that the majority of samples are reported in the domain of felsic igneous rocks and less represented in the domain of intermediate igneous rocks and mafic igneous rocks. This suggests a provenance of sediments linked to the physical or chemical desegregation of felsic rocks and some intrusions of intermediate to mafic rocks. The Roser and Korsch discrimination diagram shows that samples KL04, KL06, KL08 and KL10 fall in the passive continental margin domain, KL02 and KL12 in the active continental margin domain. These contexts are linked to the tectonic evolution of the source rocks favoring the establishment of these sediments.

Keywords: Lokoundjé, sediment, alteration, provenance, geochemistry.

INTRODUCTION GENERALE

Les alluvions sont les sédiments des cours d'eau ; composés de fragments détritiques à granulométrie variable et souvent à lithologie très hétérogène. Les sédiments alluvionnaires sont constitués d'argiles et de limons (fraction fines), de sables (fraction moyenne), de graviers, galets, et blocs (fraction grossière). Ces dépôts peuvent constituer des ressources minérales : granulat (gravier, sables), parfois des minéraux lourds (Or, Cassitérites, rutile...). Les alluvions ont fait l'objet de nombreuses études afin de déterminer la provenance, les conditions paléoenvironnementales, la paleoalteration et le paléoclimat (Ndjigui *et al.*, 2014., Mbale Ngama *et al.*, 2019 ; Sonfack *et al.*, 2021 ; Chougong *et al.*, 2021). La composition chimique des roches a largement été utilisée pour enregistrer l'évolution géologique de la croûte continentale (Taylor et McClennan 1985). Au cours des décennies, les sédiments alluvionnaires ont fait l'objet de nombreuses études pour la provenance et les mécanismes qui concourent à leur mise en place (Carranza *et al.*, 2009 ; Garzanti *et al.*, 2005, 2012 ; Selvaraj et Arthur, 2006 ; Singh, 2009 ; Bhuiyan *et al.*, 2011 ; Wu *et al.*, 2011 ; Mondal *et al.*, 2012 ; Armstrong-Altrin *et al.*, 2012 ; Bah et Hiroaki, 2016 ; Silva *et al.*, 2016 ; Maharana *et al.*, 2018 ; Armstrong-Altrin *et al.*, 2007; Carranza *et al.*, 2018). Ces études ont montré que les éléments immobiles et les terres rares sont généralement concentrés dans la fraction fine des sédiments, dans les minéraux primaires accessoires et dans certains minéraux secondaires (Bhuiyan *et al.*, 2011). Dans les sédiments alluvionnaires, les teneurs en terres rares sont fonction de la composition géochimique des roches sources et cette composition peut être modifiée par les processus sédimentaires et diagénétiques (Armstrong-Altrin, 2009). Malgré les études déjà effectuées sur les alluvions du cours d'eau Lokoundjé. Il est nécessaire d'effectuer une caractérisation physique, minéralogique et géochimique de ces alluvions dans le secteur d'ébécou afin de déterminer l'origine de sédiments et le contexte géotectonique de la zone source.

L'objectif principal de ce travail est de faire la caractérisation des sédiments alluvionnaire du cours inférieurs du fleuve Lokoundjé par des études, géochimiques, et minéralogiques afin de déterminer leur provenance et les conditions de dépôt. Plus spécifiquement, il est question de :

- déterminer la composition granulométrique des sédiments alluvionnaires de ce cours d'eau ;
- caractériser la dynamique sédimentaire et le type d'environnement tectonique des zones sources ;
- évaluer l'état d'altération des zones sources ;

Ce travail, en dehors d'un résumé et d'une introduction générale, comporte quatre chapitres :

- Le chapitre I présente les généralités et revue de la littérature
- Le chapitre II porte sur les matériels et méthodes
- Chapitre III présente les résultats
- Chapitre IV met en exergue l'Interprétations et la discussion

La fin du mémoire sera marquée par une conclusion générale, suivie de la présentation des perspectives.

CHAPITRE I :
MILIEU NATUREL ET CADRE GÉOLOGIQUE

Introduction

Ce chapitre présente le cadre naturel du secteur d'étude à savoir : la localisation, le climat, l'hydrographie, la végétation, le sol et le cadre géologique du secteur.

I.1. GEOGRAPHIE PHYSIQUE

I.1.1. Situation géographique

La zone d'étude est située dans la Région du Sud, Département de l'Océan, Arrondissement de la Lokoundjé. Elle se trouve à 36 Km de Kribi sur la route qui relie Kribi à Edéa. Elle est située entre les coordonnées $3^{\circ}10'0''$ à $3^{\circ}12'30''$ de latitude Nord et $10^{\circ}0'0''$ à $10^{\circ}2'30''$ de longitude Est (Figure 1).

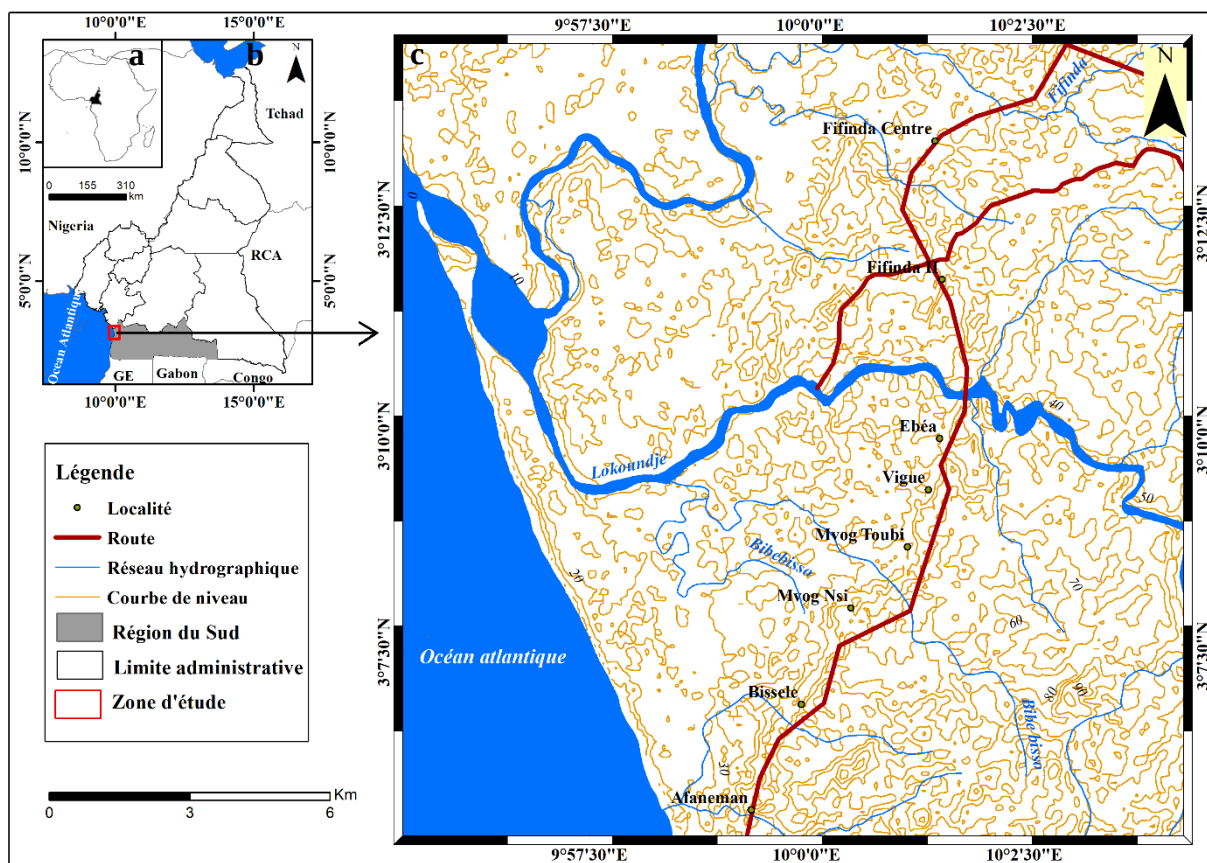


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude : a) carte de l'Afrique b) carte du Cameroun montrant les dix régions c) Localité d'Ebéa et ses environs

I.1.2. Climat

La zone d'étude appartient au climat équatorial de type guinéen à quatre saisons (Mena *et al.*, 2016). Une température moyenne de l'ordre de $25,6^{\circ}\text{C}$ ainsi que des précipitations annuelles de l'ordre de 2946 mm sont enregistrées dans la zone d'étude (Tableau 1). Le mois

le plus sec est celui de Février (133 mm) et le plus pluvieux est le mois de septembre (340mm). Le mois le plus chaud est celui de Mars (26,7°C) et les plus humides sont les mois de septembre (24,7°C) et octobre (25,2°C).

Tableau 1: Données climatiques de Kribi et ses environs de 1993 à 2022 (station météorologique de kribi).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Dec	Moyenne	Total
T(°C)	27,8	28,0	27,9	27,6	27,3	26,6	25,8	25,6	25,9	26,2	26,9	27,3	26,9	-
P(mm)	86,1	92,8	201,3	234,8	299,7	255,1	133,8	245,3	450,3	486,1	241,7	98,2	-	2825

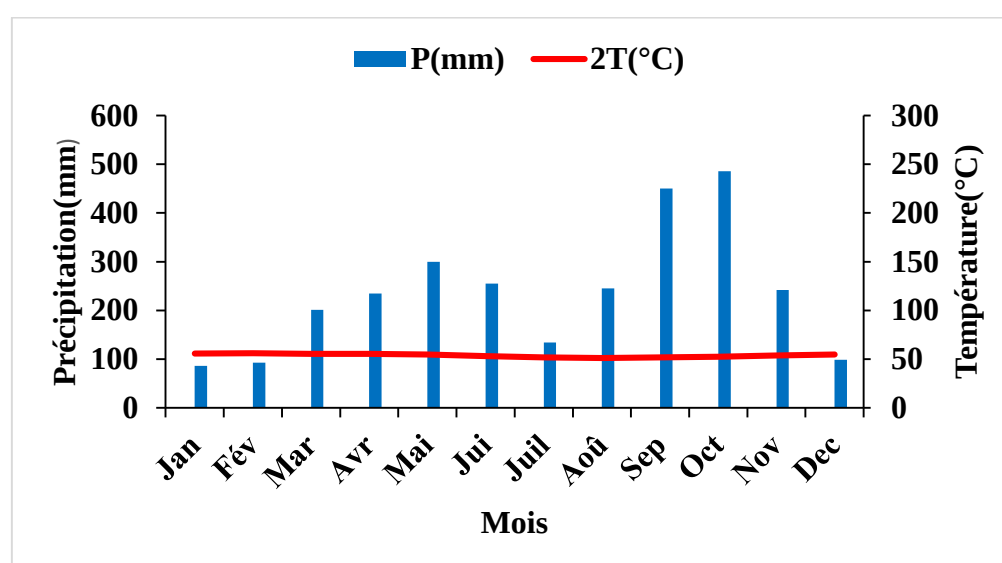


Figure 2: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) de la localité d'Ebéa appliquée aux données climatiques de la station météorologique de Kribi.

D'après le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957), Les mois les plus chaud sont janvier février et décembre et les mois de septembre et octobre sont les plus humide (450,3 et 486,1 mm). Le mois de février montre une température moyenne de 28,0 °C, ce qui fait de celui-ci le mois le plus chaud de l'année. Cette même température est de 25,6°C pendant le mois d'Août, faisant ainsi de celui-ci le mois le plus froid de toute l'année (Figure 2). De plus, d'après ce diagramme, la région est soumise à un régime climatique à deux saisons (Figure 2) :

- une saison de pluie qui va de mars à novembre avec une chute de précipitation au mois de juillet ;
- une saison sèche qui va du mois de décembre au mois de février ;

I.1.3. Végétation et faune

Les écosystèmes variés et riches en biodiversité sont caractéristiques de la zone côtière Camerounaise (De Kam *et al.*, 2002). Dans La localité de la Lokoundjé, se rencontre des forêts sempervirentes littorale et biafréenne (Figure 3). Cependant, dans les zones d'accès difficile (Makouré, Bidou et Ebéa) on rencontre des galeries de forêt primaires (Letouzey., 1958). La formation végétale dominante peut être repartie en deux composantes :

- la forêt littorale qui borde la mer et est couverte par des espèces végétales telles que : *Sacoglottis gabonensis* (Bidou), *Lophira Alata* (Azobé), *Coula édulis* (Ewoumé), *Afzelia bipineensis* (Doussié rouge), *entandrophragma cylindricum* (Sapelli), *triplochiton scleroxylon* (Ayous) (Mbarga *et al.*, 2011) ;
- la forêt biafréenne de moyenne altitude qui couvre les zones de bas et moyen plateau, qui présente deux variétés à savoir : la forêt atlantique toujours verte et la forêt sub-montagnarde. Les principales espèces végétales répertoriées sont : *Fraké* (*terminalia superba*), *Bibolo* (*lovoa trichilioides*), *Tali* (*Erythrophleum ivorense*), *Acajou* (*Swietenia macrophylla*), *Moabi* (*Baillonella toxisperma*), *Bubinga* (*Guibourtia tessmanii*), *Iroko* (*Milicia excelsa*), *Movingui* (*Distemonanthus benthamianus* Baill), *Baobab* (*Adansonia digitata*) Sur les sols hydromorphes, la végétation est dominée par la *Raphise marécagus* (Raphia) et le Bambou de Chine (Mbarga *et al.*, 2011). En plus de ces espèces qui croissent naturellement, de vastes espaces sont occupés par des plantations industrielles de palmiers à huile de la SOCAPALM notamment. La flore herbacée dans la localité est dominée par *Chromoléana odorata*, *Agératum conyzoides*, *Imperata cylindrica*, *Epatorium odoratum*, *Lantana camara* (Mbarga *et al.*, 2011).

La faune est constituée d'espèces sauvages variées parmi lesquelles : les rongeurs (Rat palmiste, Hérisson, Porc-épic), les singes (Oustiti, mandrill, Chimpanzé, Gorille), les Biches, les Antilopes, le Phacochère, le pangolin, les Tortues, les oiseaux (Toucan, Calao, Epervier, Perroquet, Corbeau, Pigeon, Hibou, Pie, Perdrix...), les chauves-souris (Mbarga *et al.*, 2011).



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

I.1.4. Sols

Le Sud, l'Ouest et le Centre sont en majorité recouverts par les sols ferralitiques. Dans la zone d'étude, ils peuvent être subdivisés d'après des caractères morphologiques et des propriétés physico-chimiques essentielles, en sols jaunes.

Les sols de la zone d'étude sont en majorité des sols ferralitiques jaunes possédant un fort taux d'acidité et caractérisé par une faible teneur en éléments nutritifs. Ils dérivent de l'altération des roches métamorphiques de la zone côtière (Bachelier *et al.*, 1958).

Ces sols présentent des caractéristiques physiques et chimique diverses (Bachelier *et al.*, 1958) :

- les teneurs en argile sont généralement fortes (entre 45 et 60 %) ;
- les sables représentent 40 à 50 % de la fraction fine, avec une prédominance marquée des sables fins par rapport aux sables grossiers ;
- les limons dépassent à peine 15 % ;
- les graviers en proportion très variable sont constitués par des grains de quartz et des concrétions ferrugineuses.

- Les roches métamorphiques et éruptives anciennes sont à l'origine des sols ferrallitiques rouges rencontrés dans le secteur d'études.

I.1.5. Géomorphologie

I.1.5.1. Orographie

La morphologie du relief de la zone d'étude présente trois unités géomorphologiques majeures allant de basses altitudes aux hautes altitudes (figure 4) :

- La première unité est caractérisée par de basses terres d'altitude allant de 0 à 30 m et qui représente 35 % de la surface topographique. Elle est constituée de relief incliné légèrement vers l'Ouest et frontalier avec l'Océan Atlantique.
- La deuxième unité a une altitude comprise entre 35 et 65 m et représente environ 50 % de la surface topographique. Elle est située à l'Est et au Nord-est de la zone d'étude avec un relief contrasté alternant des collines et des bas-fonds plus ou moins plats, on y rencontre également des marécages avec en leur sein des cours d'eau.
- une troisième unité située au Sud-est de la zone d'étude et d'altitude comprise entre 70 et 95 m, occupe plus de 15 % de la zone. Elle est caractérisée par la présence de nombreux reliefs résiduels.

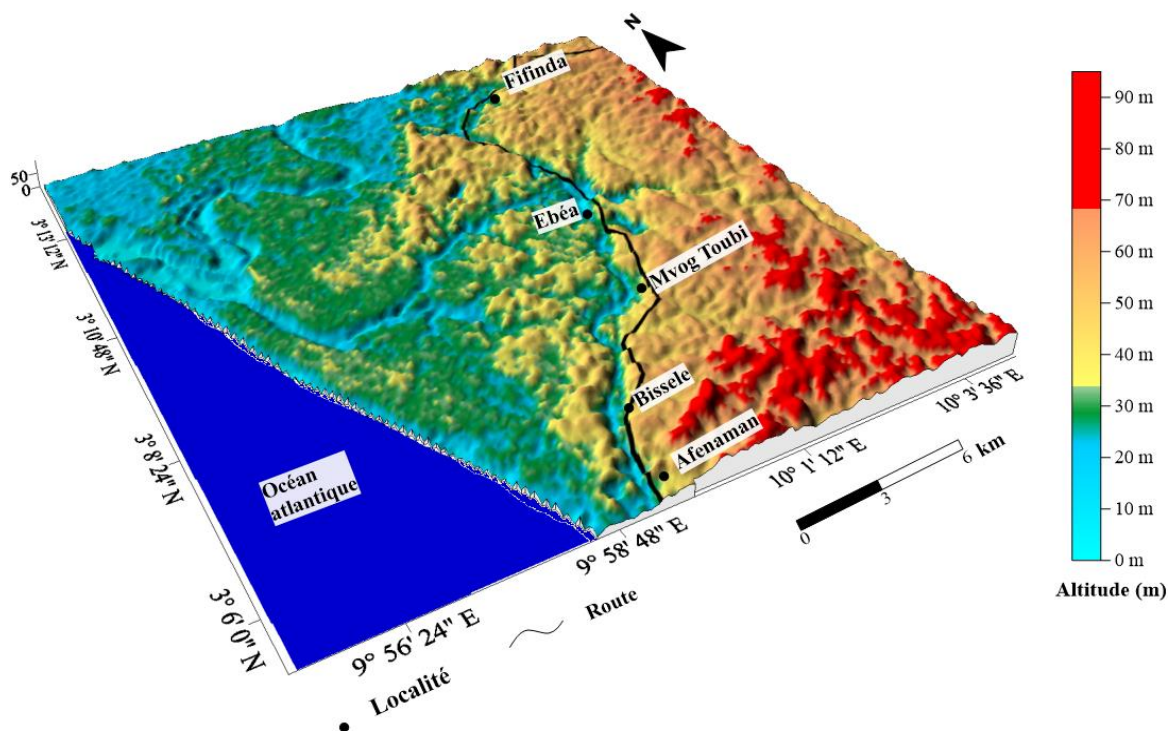


Figure 4: Carte orographique de la zone d'étude, Échelle : 1/200000.

I.1.5.2. Hydrographie

Le Cameroun présente une grande variété de régions géographiques caractérisées par des facteurs climatologiques, géologiques et botaniques très différents. La Lokoundjé, est un fleuve côtier (160 km) qui prend naissance en bordure du plateau, Elle descend par une série presque continue de rapides et de chutes jusqu'à l'Océan (Pelleray, 1984). Le bassin versant du cours d'eau Lokoundjé fait 5381 Km² (Ndjigui *et al.*, 2018). L'espace géographique de la localité de la Lokoundjé est caractérisé par la proximité de l'océan atlantique et un réseau hydrographique dense dominé par la Lokoundjé qui est alimentée au Sud par le cours d'eau Bibebisso et le cours d'eau Fifinda au Nord (Figure 5).

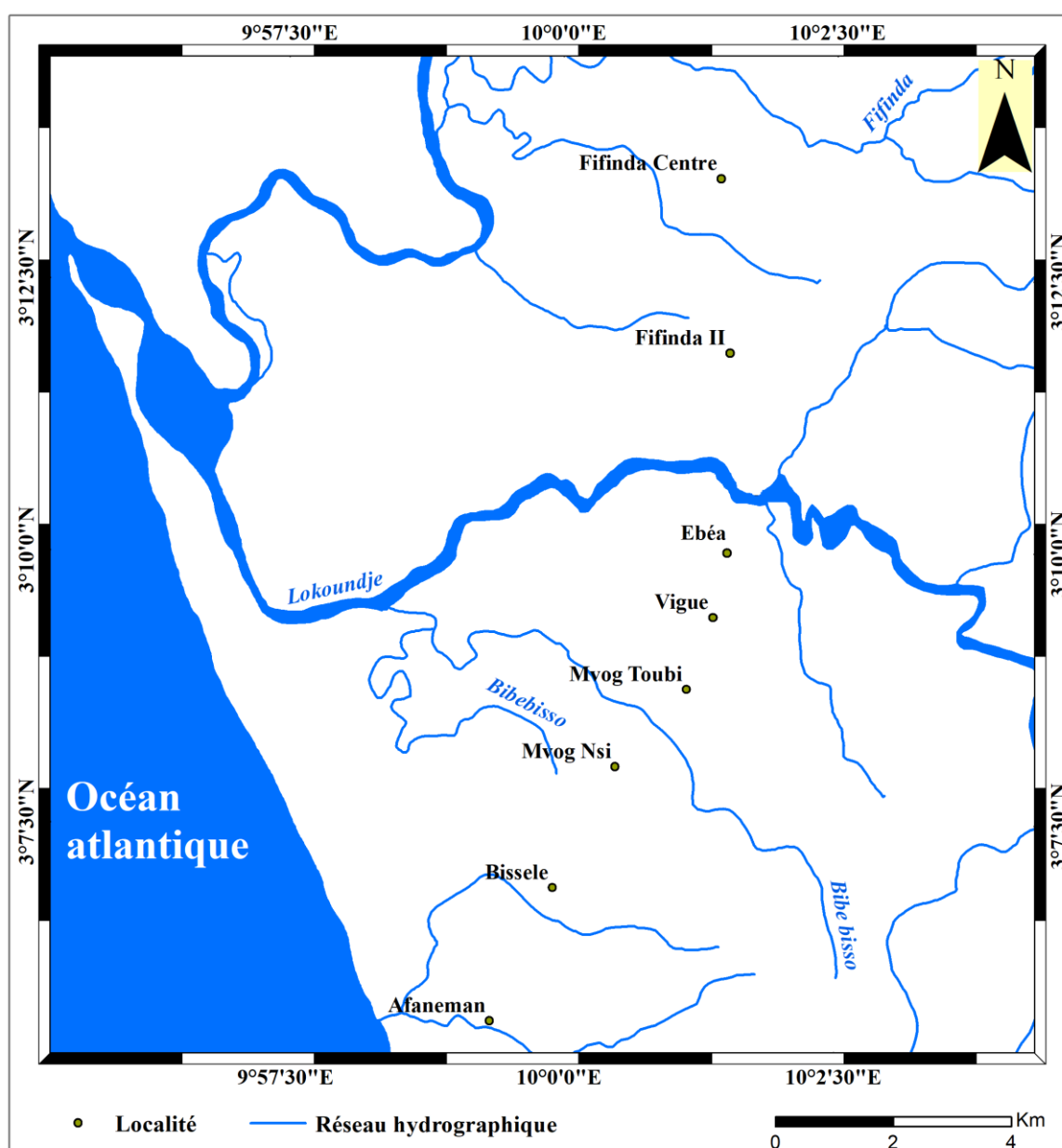


Figure 5: Carte hydrographique du secteur d'étude (Échelle : 1/200000)

I.2. CADRE GEOLOGIQUE

La zone d'étude se trouve dans le complexe du Ntem, plus précisément à la frontière Nord-ouest du craton du Congo (Figure 6). Elle est constituée par les unités : Ntem et du Nyong (Shang *et al.*, 2004 ; Lerouge *et al.*, 2006). Cette zone correspond à la bordure septentrionale du craton du Congo et est constituée de formations de roches vertes mésoarchéennes, de suites magmatiques charnockitiques et de dykes et dolérite (Pouclet *et al.*, 2007 ; Shang *et al.*, 2010). Le bassin versant de la Lokoundjé fait partir de la Région de Kribi et appartient à la fois aux unités du Nyong et du Ntem (2900 Ma : Lerouge *et al.*, 2006 ; Shang *et al.*, 2010), aux formations sédimentaires du bassin Douala-Kribi-Campo (Ntamak-Nida *et al.*, 2008) ,et au Groupe néoproterozoïque de Yaoundé. Ce bassin versant est majoritairement occupé par l'unité du Nyong qui est constituée de pyroxénites, de migmatites, d'amphibolites et de gneiss alors que l'unité du Ntem comprend les suites magmatiques charnockitiques (Shang *et al.*, 2004 ; Lerouge *et al.*, 2006 ; Ganno *et al.*, 2017).

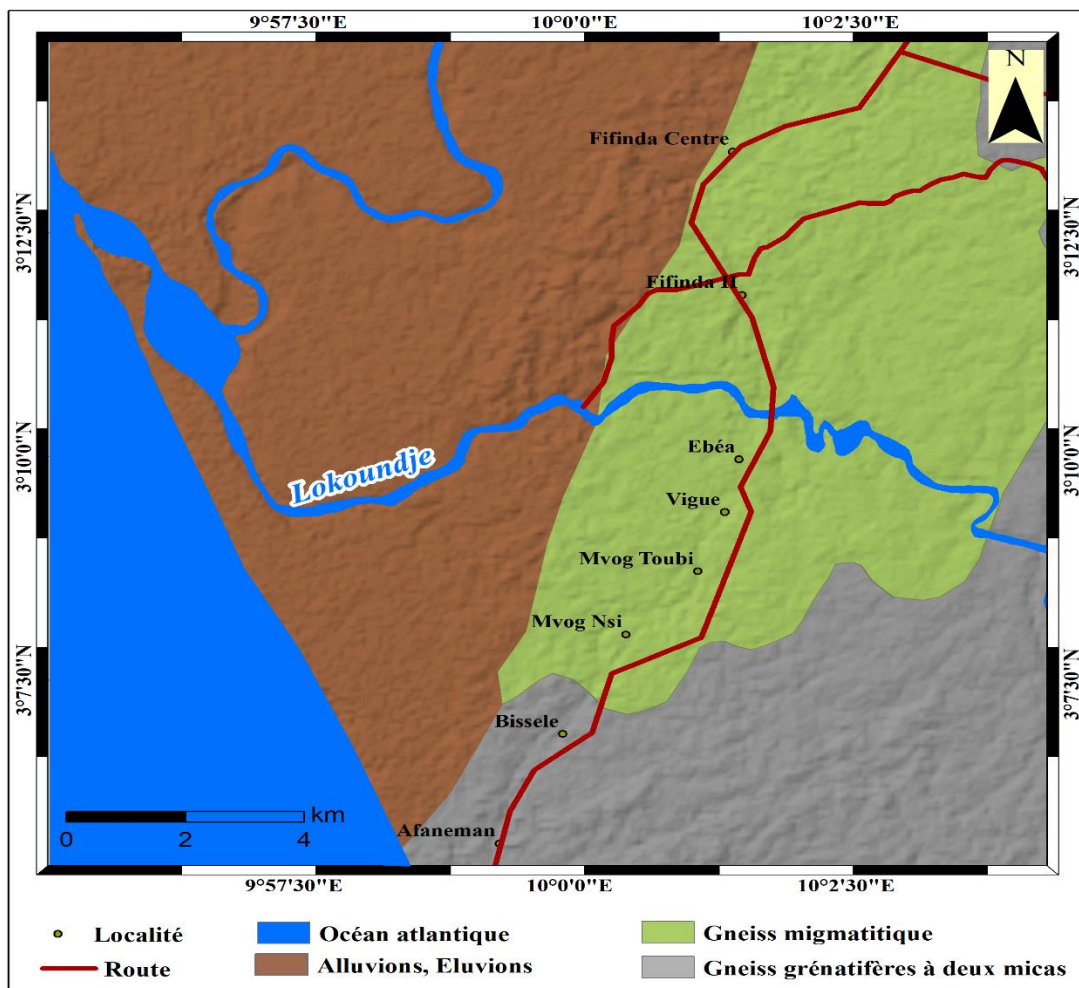


Figure 6: Carte géologique du secteur d'étude réalisé à partir de la carte topographique de sud (Kribi). (PRECASEM., 2021).

I.3. POPULATION ET ACTIVITES ECONOMIQUES

I.3.1. Population

La population d'Ebéa est majoritairement constituée des jeunes avec près de 72 % dont les femmes ne représentent que 54% et 18% pour les hommes selon le (Plan Communal de Développement (Mbarga *et al.*, 2011). Créée en 2007, la localité de la Lokoundjé à la propriété d'habriter une population autochtone à deux composantes sociales distinctes et des modes de vie différentes.

Cette population est répartie en trois groupes à savoir : les Bantous, les pygmées, les immigrés. Elle est composée de plusieurs ethnies à savoir : les Ewondo, les Batanga, les Bassa, les Mabi, les Bakoko, les Ngoumba, les Bulu, les Fangs, les Bagyéli (pygmées) et les immigrés.

Le christianisme (le catholicisme et le protestantisme) est La principale religion pratiqué dans cette commune. L'islam cherche encore ses marques. on y rencontre également des églises dites réveillées dont le mode d'évangélisation attire de plus en plus de fidèles (Plan Communal De Developpement, (Mbarga *et al.*, 2011).

I.3.2. Activités économiques

La localité de la Lokoundjé à un riche potentiel économique: une multitude de site touristiques, une quarantaine de kilomètres de côte, une forêt regorgeant de ressources fauniques et floristiques. La pêche et l'agriculture sont les principales activités économique de la localité de la Lokoundjé et occupent environ 78 % de la population, puis s'ajoute le commerce et l'artisanat. Les pygmées vivent de la chasse et de la cueillette et les immigrés pratiquent essentiellement le commerce.

Le système culturel est extensif , marqué par la pratique du brulis, la diversité des cultures et leur association sur les même espaces, la faible utilisation d'intrants agricoles et de semences améliorées. les principales cultures sont : le manioc, la banane, le plantain, l'ignam, le macabo, l'arachide, le maïs.

L'activité commerciale est intense dans les zones de forte concentration des populations que sont Socapalm VI et Elogbatindi qui sont les principaux pôles commerciaux avec l'existence d'un marché, des débits de boissons et divers corps de metiers. Les activités commerciales restent encore faible et se résument à la vente des produits provenant de la pêche, l'agriculture et quelques produits manufacturés de moindre valeur.

L'activité artisanale est peu développée et se résume à la fabrication des pirogues, des paniers, des mortiers, des chaises.

CONCLUSION

La zone d'étude est située dans la Région du Sud, Département de l'Océan, Arrondissement de la Lokoundjé. Le climat qui y règne est un climat équatorial de type guinéen, avec une température moyenne de l'ordre de 25,6°C et environ 2946 mm en moyenne de pluie par ans. Les précipitations sont réparties en trois saisons : une grande saison de pluies (juillet à novembre), une petite saison de pluies (mars à juin) et une petite saison sèche (decembre à février). La géomorphologie est répartie en trois unités à savoir ; des reliefs inclinés, des collines et bas-fonds plus ou moins plat et la presence des reliefs residuels. la végétation est marquée par des forêts secondaires due à des interventions intempestives de l'Homme et également de galerie de forêts primaire ; les formations végétales dominantes sont la forêt littorale et la forêt biafréenne. Les sols sont de type ferrallitique jaune et rouge. la population de cette localité est essentiellement jeune,et est répartie en trois groupes (Bantou, les Pygmés et les Immigrés). La suite du travail va presenter les travaux antérieurs et les methodes d'analyses effectuées sur les alluvions du fleuve Lokoundjé.

CHAPITRE II :
TRAVAUX ANTERIEURS ET METHODOLOGIES

Le présent chapitre porte sur une revue bibliographique des sédiments alluvionnaires dans le monde et au Cameroun, en particulier sur la méthodologie de recherche.

II. TRAVAUX ANTÉRIEURS

II.1. Définitions

Les sédiments alluvionnaires sont des produits issus de la désagrégation physique, chimique et biologique des roches pré-existantes. Les débris de ces désagréations sont ensuite transportés par les courants d'eau et déposés dans les rivières, les fleuves et la mer (Foucault et Raoult, 2019). En fonction de l'énergie du milieu de dépôt, les alluvions sont constituées des particules de tailles variables (galets, graviers, sables, limons et boues). En outre, les alluvions sont le regroupement de cailloux, graviers, galets, sables, ou limons dans un cours d'eau. Elles sont formées lorsque la vitesse des agents de transport s'annule ou disparaît complètement (Lesven *et al.*, 2008 ; Ekoa Bessa *et al.*, 2020).

Les alluvions sont des produits d'altération non consolidés qui proviennent de l'amont des bassins versants (Arhin et Nude., 2009). Elles sont mises en place lorsque, la densité des particules transportées par l'eau est supérieure à la densité de l'agent qui le transporte (Mbale Ngama *et al.*, 2019).

II.2. Origine des sédiments alluvionnaires

Les débris qui constituent les dépôts de sédiments peuvent être d'origines naturelle ou anthropique (Schneider, 2001). Les débris endogènes proviennent de résidus autochtone du milieu. Ils sont constitués principalement de matières organiques issus des organismes aquatiques (animal ou végétale) tandis que les débris exogènes proviennent des matières allochtones. Ils s'agissent des particules minérales provenant de l'altération et l'érosion des roches continentales ou des débris organiques (Schneider, 2001). Les débris d'origine anthropiques tels que les particules de nature organique ou minérale qui proviennent des activités industrielles, urbaines et agricole (Schneider, 2001). En l'occurrence, L'analyse géochimique faite sur les sédiments alluvionnaires de Lobo ont montrés qu'ils sont issus de l'altération des roches de la ceinture panafricaine néoprotozoïque (Nyobe *et al.*, 2018). Les alluvions peuvent également provenir de la détérioration des continents en d'autre terme de la destruction des roches (Giroux et Tran, 1996). L'assemblage minéralogique des sédiments alluvionnaires le long des cours d'eau est hérité de la zone source (Braun *et al.*, 2005 ; Ndjigui *et al.*, 2013).

II.3. Échelle de classification et caractère sédimentologiques

II.3.1. Granulométrie

Les sédiments se caractérisent par la taille des éléments qui les constituent. Wentworth (1922) a proposé un tableau de classification des sédiments. Il a basé ses études sur la classification et la nomenclature des sédiments. En fonction de la taille des particules sédiments, Wentworth (1922) distingue trois (03) groupes de sédiments : les Rudites, les Arénites et les Lutites (Tableau 2).

Tableau 2: Echelle de classification (Wentworth, 1922)

Taille en mm	Classe de sédiments	Groupe de sédiments
256 >	Blocs	Rudites
256 – 64	Galets	
64 – 4	Cailloux	
4 – 2	Granules	
2 – 1	Sables très grossiers	Arénites
1 – 0,5	Sables grossiers	
0,5 – 0,25	Sables moyens	
0,25- 0,125	Sables fins	
0,125 - 0 625	Sables très fins	
0 625 - 0 039	Limons	Lutites
< 0 039	Argiles	

Mouldi et Chkioua, (2007) ont proposé des modèles de courbes granulométriques. Ces modèles permettent d’avoir les informations sur le mode de transport, de classement et la qualité de tri des sédiments (Figure 7).

Selon ces auteurs, les courbes en forme parabolique indiquent la présence des grains de sable hétérogène et trié au cours d’un transport en milieu de forte énergie. Celles en forme « S » traduisent des sables homogènes à classement moyen, en milieu plus ou moins agité et à forte énergie. Les courbes sous forme de droites montrent un dépôt par excès de charge dû à la diminution des courants.

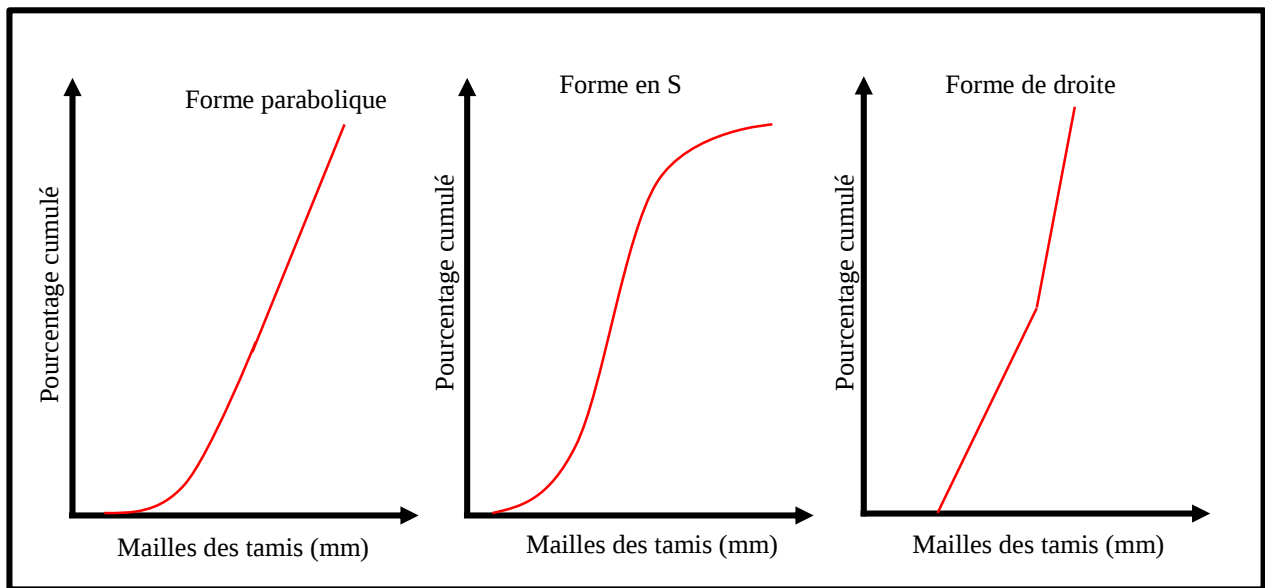


Figure 7: Modèle des courbes granulométriques (Mouldi et Chkiou, 2007)

L'analyse granulométrique des sédiments alluvionnaires de la rivière Djel montre que, ces derniers sont mal triés et présentent un bon classement (Welba, 2022). L'analyse granulométrique fait sur des sédiments côtiers de YOYO révèle que ces sables sont moyens à fins, modérément à mal classés, bien triés (Ambassa, 2020).

II.3.2. Minéralogie

Les sédiments alluvionnaires du Lac Simbock sont principalement composés de Quartz, de kaolinite, de goethite, de smectite, de rutile, de feldspath, illite, de gibbsite, et illite-vermiculite interstratifiés (Ekoa *et al.*, 2018). Les analyses minéralogiques effectuées sur Les sédiments alluvionnaires de Tongo Gandima révèlent la présence de quartz, kaolinite, rutile, smectite, zircon, magnetite et gibbsite (Bassanak et al., 2019). Ambassa *et al.* (2023) ont montré que, les sédiments de YOYO sont composés de quartz, feldspaths, minéraux argileux (kaolinite, illite), minéraux lourds (apatite, diopside), minéraux ferriques (calcite, hematite) et fragments de roches.

II.3.3. Minéraux lourds

L'étude des minéraux lourds apporte des renseignements sur l'origine et la dynamique de dépôt du matériel détritique des formations fluviales de Mouka-Ouadda et de Carnot (Malibangar et al., 2014). L'étude des minéraux lourds montre que les alluvions de Pan-Makak sont constituées des minéraux tels que : zircon, rutile, disthène, tourmaline, sillimanite, chloritoïde, grenat, zoïsite, diopside, staurotide, augite et les minéraux opaques. Ce résultat montre que les alluvions ont une origine métamorphique (Welba, 2022).

II.4. Géochimie

La Géochimie des sédiments clastiques a été utilisé par plusieurs auteurs (Nesbitt et Young., 1982 ; Herron., 1988 ; Cox *et al.*, 1995 ; Fedo *et al.*, 1995 ; Hossain 18 *et al.*, 2014 ; Bantan *et al.*, 2020) pour déduire la provenance, la classification, la signature géochimique, le degré d'altération de la roche source, la maturité des sédiments et leur environnement tectonique (Ambassa *et al.*, 2020).

II.4.1. Éléments majeurs

Quatre facteurs contribuent à la géochimie des éléments majeurs des sédiments clastiques : la proportion des différentes lithologies, l'extension, le régime d'altération, et les effets de la ségrégation mécanique lors du transport (Kamber *et al.*, 2005).

Les analyses géochimiques faites sur les sédiments meubles de la terrasse de la rivière Mefou au sud-Cameroun (Yaoundé) montre que, ces derniers sont constitués de SiO_2 (74 %). Les teneurs en Al_2O_3 varient entre 8 et 42 %, le Fe_2O_3 montre des teneurs comprises entre 2 et 20,5, les concentrations en TiO_2 varient entre 0,71 et 3,5 % les teneurs en oxydes et alcalino-terreux sont inférieures à 0,5 % (Mbale Ngama *et al.*, 2019).

D'après Nanga *et al.* (2020, les sables du cours inférieur du fleuve Sanaga au sud du Cameroun possèdent des concentrations élevées en SiO_2 (72,88-87,24 %). Les concentrations en Al_2O_3 (171-784 %), Fe_2O_3 (2,62 %), et en élément traces Zr (536 ppm).

Les sédiments permien-triasique du bassin de Graissessac-Lodève (France) montrent des teneurs qui varient entre 20 et 70 % pour le SiO_2 , 5 à 21 % pour Al_2O_3 , et entre 0,2 à 0,9 % pour TiO_2 . Les échantillons ayant des teneurs élevées en SiO_2 et faibles en Al_2O_3 ont des compositions gréseuses (Chopin, 2016).

II.4.2. Éléments traces

Ekoa *et al.* (2018) montrent que, les concentrations en Cr, V, Ba, et Zr sont plus élevées dans les sédiments alluvionnaires du Lac Simbock et les rapports Rb/Sr et $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ indiquent une forte intensité d'altération dans la zone source. La forte proportion de feldspaths et de biotite dans les sédiments alluviaux de Tongo Gandima a conduit à des teneurs élevées en Ba, Sr, Th, Zn, Zr, et REE. Le rapport Th/Sr élevé est un indicateur de différenciation chimique ce qui suggère un degré élevé de recyclage des sédiments (Bassanak *et al.*, 2019).

Les diagrammes binaires des éléments en traces (diagramme de Harker) montrent que l'emplacement source des sédiments de plage examiné est principalement de la roche felsique

selon la géologie environnante avec une petite quantité des roches mafique (Tsanga et al., 2023).

II.4.3. Terres rares

Tsanga *et al.*, 2023 ont montré qu'il y a une forte anomalie positive en Eu pour les échantillons de Campo et une faible anomalie négative en Eu pour les échantillons de Bouandjo et Boussabeleke dans les modèles de terres rares normalisés par rapport à l'UCC. Ces caractéristiques reflètent une provenance de source felsique à mafique.

Les diagrammes bivariés des éléments en traces, ainsi que le modèle et la taille des terres rares en Eu de sédiments de la rivière Nyong indique une dérivation à partir d'une zone source composée principalement de roches intermédiaires et felsiques et dans une moindre mesure des roches sources mafiques (Kontchipe *et al.*, 2021). Les sédiments de la plage de Batoké Camp secteur nord révèlent des teneurs élevées en terres rares. Ces résultats laissent apparaître un enrichissement en terres rares légères (LREE) par rapport aux terres rares lourdes (HREE). Ils présentent des anomalies positives en europium (Kwewouo, 2018).

II.4.4. Classification des sédiments

Herron, (1988) a utilisé les rapports logarithmique $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en fonction de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ pour la classification des sédiments afin de déterminer leur composition et leur provenance. Les sables du Nord de la Grèce sont constitués des litharénites (Pettijohn, 1987). Bah Mamadou et Hiroaki (2016) ont montré que les sables de la baie de Wakasa au Japon sont classés majoritairement dans les arkoses, subarkoses et litharénites comme celle des sables du golfe du Mexique.

II.4.5. Degré d'altération des roches sources

Les indices d'altération tel que CIA, PIA et CIW ont été largement utilisés pour évaluer l'altération chimique dans la zone source (Armstrong-Altrin *et al.*, 2018 ; Ekoa Bessa *et al.*, 2018 ; Mbale Ngama *et al.*, 2019). L'augmentation de CIA indique une forte concentration des sources alumineuses (Nesbitt et Young, 1982 ; Fedo *et al.*, 1995).

Plusieurs indices permettent de déterminer le degré d'altération de la roche source: Le CIA (Indice d'Altération Chimique). Il est défini par la formule :

$\text{CIA} = \{(\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})) \times 100\}$ (Nesbitt et Young, 1984). Ainsi,

- pour des valeurs de CIA < 50, la roche source a subi une faible altération ;

- pour des valeurs de CIA comprises entre 50 - 80, la roche source a subi une Altération modérée ;
- pour celles comprises entre 80 - 100, la roche source a subi une intense altération.

Le PIA (Indice d'altération des Plagioclases) défini par Fedo *et al.*, 1995, et avec pour formule $PIA = \{(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O) \times 100\}$; le CIW (Indice de désagrégation chimique) de formule $CIW = \{(Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O) \times 100\}$ (Harnois, 1988).

Les valeurs de CIA, PIA et CIW comprises entre 80 et 100 % indiquent une altération intense typique d'une zone intertropicale. Tandis que celles comprises entre 60 et 80 % indiquent une altération modérée et pour des valeurs comprises entre 0 et 60 %, la roche est peu ou pas altérée.

Les études faites sur les sédiments de Moloundou d'après Ekoa *et al.* (2020) montrent des valeurs élevées en CIA (87-93%), PIA (93-96%) et de CIW (93-96%). Ces derniers proviennent d'une altération intense de la zone source. Les valeurs de CIW (97,13-98,74 %) des sédiments du Mundeck et Logbadjeck suggèrent une altération intense de roche source (Ngueutchoua *et al.*, 2019).

Ramos-Vazquez *et al.* (2021) révèlent que les sédiments de plage de Barra del Tordo et Tesoro ont une valeur de CIA (44,6-57,5%) et de PIA (41,9-63,8%) qui indiquent une altération modérée de la zone source.

II.4.6. Maturité des sédiments

La maturité des sédiments peut être évalué à partir du rapport SiO_2/Al_2O_3 (Potter, 1978 ; Hossain *et al.*, 2014). Pour les valeurs de $SiO_2/Al_2O_3 < 1,3$ les sédiments sont matures et lorsque $1,3 < SiO_2/Al_2O_3 < 6,3$ les sédiments sont immatures (Asiedu, 2004).

L'ICV permet d'évaluer la maturité des sédiments (Cox *et al.*, 1995, Ndjigui *et al.*, 2019 ; Ngueutchoua *et al.*, 2019). Il est défini par la formule : $ICV = [(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2) / Al_2O_3]$ (Cox *et al.*, 1995).

- plus les valeurs de l'ICV sont faibles, c'est-à-dire $ICV < 1$, plus les dépôts Sédimentaires sont matures ;
- plus les valeurs de ICV sont élevées, c'est-à-dire $ICV > 1$, plus les dépôts Sédimentaires sont immatures. Valeurs $ICV > 1$

Par ailleurs, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est utilisé comme indice de maturité minéralogique ; et reflète l'abondance de quartz et la teneur en feldspaths dans les sédiments (Potter, 1978 ; Hossain et *al.*, 2014). Lorsque le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 5$, les sédiments sont matures. Lorsque $3 < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 5$, les sédiments sont immatures (Roser et *al.*, 1996). Nanga et *al.* (2020) ont montré que les sables du cours inférieur de la Sanaga sont immatures avec $\text{ICV} > 1$. Tsanga (2020) a révélé que les sédiments de yoyo ont des valeurs de $\text{ICV} > 1$, et sont par conséquent immatures. Les sédiments sableux de Batoké sont immatures avec $2,84 < \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 4,40$ (Kwewouo, 2018).

II.4.7. Provenance des sédiments

La provenance des sédiments peut être évalué à partir du rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ (Sheldon et *al.*, 2009). Ainsi, pour des valeurs de $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ comprises entre 2 et 8, les sédiments ont une source de provenance des roches mafiques qui sont des roches magmatiques riches en Fer et en Magnésium. Le rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ compris entre 8 et 21 indique que les sédiments ont pour source de provenance des roches intermédiaires (roche plutoniques contenant 52 à 66 % de SiO_2), et enfin pour des valeurs du rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ comprises entre 21 et 70, les sédiments ont une provenance des roches felsiques (Hayashi et *al.*, 1997). Les données d'analyses géochimiques et les diagrammes de discrimination permettent d'identifier la source des sédiments (Schneider et *al.*, 2015 ; Armstrong-Altrin et *al.*, 2018). Cullers et *al.* (1988) ont montré que les concentrations des REE sont largement utilisées pour déterminer la source des sédiments. Pour évaluer la provenance des sédiments de la plage de Barra del Tordo et Tesoro, Ramos-Vázquez et *al.* (2021) utilisent le diagramme de discrimination basé sur les oxydes majeurs (Roser et Korsch., 1998), diagramme fréquemment utilisé dans plusieurs études (Tawfik et *al.*, 2018; Bineli et *al.*, 2020; Madhavaraju et *al.*, 2020).

Les sédiments de la plage de Barra del Tordo et Tesero (Etat de Tamaulipas, nord-ouest du golfe du Mexique) sont regroupés dans le domaine de provenance sédimentaire quartzeux ce qui indique ainsi une provenance de quartz recyclé. De même, les sédiments du marais de Moloundou proviennent des roches intermédiaires

II.4.8. Contexte tectonique

Les données géochimiques des sédiments clastiques permettent de déterminer le degré d'altération, la provenance des roches sources et l'environnement tectonique dans lequel ces roches ont évolué (Armstrong-Altrin et *al.*, 2015 ; Etemad-Saeed et *al.*, 2015 ; Ramos-Vazquez et *al.*, 2018 ; Rivera-Gomez et *al.*, 2020)). Par ailleurs, les diagrammes tectoniques

discriminants basés sur les éléments majeurs et traces indiquent des domaines de rift et de marge passive.

II.5. MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ÉTUDE

Les travaux de terrain ont consisté à localiser le secteur d'étude et les points de prélèvement des échantillons. Les travaux de laboratoire ont permis de conditionner les échantillons, de faire les analyses granulométriques, minéralogiques et géochimiques.

II.5.1. Matériel

Les travaux de terrain ont été réalisés grâce aux matériels suivants :

- une carte topographique (1/300000) permettant de repérer les secteurs les plus favorables pour la réalisation des points d'échantillonnages ;
- un récepteur GPS (Global Position System) ;
- un crayon HB, une gomme et un bloc note pour enregistrer toute les notes de terrain ;
- une truelle servant au prélèvement des sédiments alluvionnaires ;
- un appareil photo pour la prise des photos ;
- un double décimètre pour mesurer la distance entre les points de prélèvement ;
- un marqueur pour la codification des différents échantillons ;
- un scotch pour bien sceller les échantillons afin d'éviter d'éventuelle contamination ;
- les sacs à échantillon pour le stockage et le transport de ces échantillons.

II.5.2. Méthodes

II.5.2.1. Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont été réalisés pendant le mois de Janvier du fait des faibles précipitations dans la zone d'étude. Les travaux ont débuté par une exploration suivie d'une description détaillée des points de prélèvements. Le prélèvement s'est fait tout au long des berges du fleuve Lokoundjé et La distance séparant deux points de prélèvement est d'environ 100 m ; Une fois le prélèvement effectué, les échantillons ont été conditionnés dans des sacs plastiques tous muni d'un code (K pour Kaptchouang et L pour Lokoundjé) d'identification octroyé par ordre chronologique de chaque point de prélèvement pour des analyses futures en laboratoire. Le prélèvement s'est fait en lit vif, à l'aide d'une truelle préalablement désinfectée pour éviter la contamination des échantillons. La boue de dessus a également été enlevé avec cette même truelle avant chaque prélèvement. Dix (10) échantillons des alluvions au total ont été prélevés (Figure 8). Ces échantillons sont représentés dans le Tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3: Point d'échantillonnage de la zone d'étude

Types d'échantillons	Échantillons	Coordonnées géographique	
Alluvions	KL01	N03°10'26.019''	E10°01'52.034''
	KL02	N03°10'16.053''	E10°02'5.805''
	KL03	N03°10'6.117''	E10°02'25.814''
	KL04	N03°10'2.469''	E10°02'49.536''
	KL05	N03°09'33.718''	E10°03'8.803''
	KL06	N03°09'47.506''	E10°03'7.49''
	KL07	N03°09'19.212''	E10°03'35.072''
	KL08	N03°09'3.321''	E10°03'33.899''
	KL10	N03°09'2.987''	E10°03'51.367''
	KL12	N03°08'58.507''	E10°04'16.341''

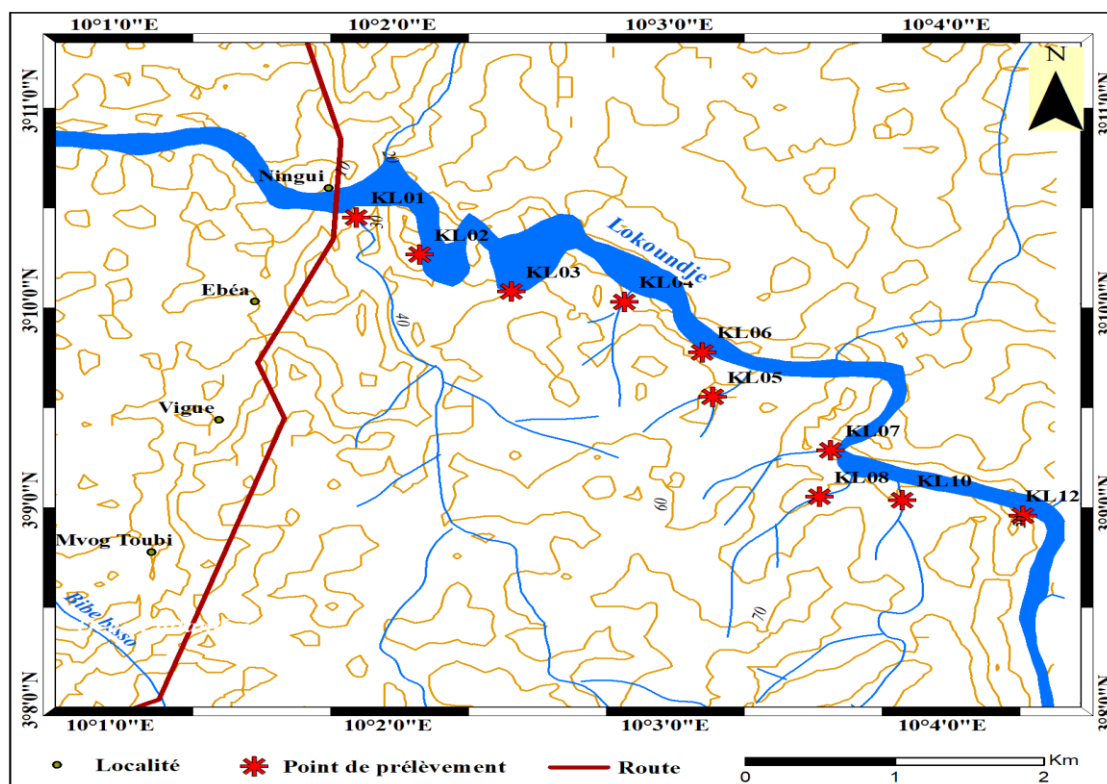


Figure 8: Carte d'échantillonnage (Echelle : 1/200000).

II.5.2.2. Travaux de laboratoire

Au laboratoire, les échantillons ont été séchés puis utilisés d'une part pour les analyses granulométriques et ensuite broyés et envoyés pour les analyses géochimiques et

minéralogiques. La granulométrie a été effectuée au laboratoire des Géosciences des formations superficielles de l'Université de Yaoundé I. les analyses géochimiques et la minéralogiques sont réalisées au laboratoire des Sciences de la Terre et de l'Environnement ISTE de l'Université de Lausanne en Suisse (Tableau 4).

Tableau 4: Laboratoires et types d'analyses effectuées

Laboratoires	Travaux et analyses effectuées
Laboratoire de Géoscience des formations superficielles et application de l'Université de Yaoundé I	- Analyses granulométriques - Confection des lames minces des minéraux lourds et observation au microscope
Laboratoire de l'institut des Sciences de la Terre de l'Université de Lausanne, en Suisse	Analyses minéralogiques (DRX)
Laboratoire de Minéralogie à l'Université de Saint Vancouver, au Canada	- Analyse géochimique (majeurs, traces et terres rares)

II.5.2.2.1. Analyses sédimentologiques

a) Granulométrie

La granulométrie est l'étude de la répartition des éléments d'un sédiment en fonction de leur taille (Ndjeng, 1978).

Les méthodes granulométriques utilisées dans cette étude sont celles préconisées par Mathieu et Pieltain (1998).

La granulométrie a été réalisée par voie sèche sur 200 grammes de Six (6) échantillons des sédiments de la Lokoundjé. Cette analyse a été effectuée à l'aide d'une colonne de tamis de huit mailles (2 ; 1 ; 0.5 ; 0.250 ; 0.125 ; 0.063 ; 0.050 et < 0.050 mm). L'ensemble des échantillons a subi au préalable un quartage pour obtenir un échantillon représentatif. Ils ont ensuite été séchés à l'étuve pendant 48 heures à 50° C. après séchage, on a prélevé 200g de chaque échantillon qui ont été ensuite tamisés pendant 25 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique. À la fin du tamisage, les refus de chaque tamis sont récupérés et pesés. Pour construire les histogrammes, les diamètres des mailles de tamis sont représentés en abscisses et les pourcentages simples aux masses de refus en ordonnées (Folk, 1968). Les courbes cumulatives portent en abscisses les diamètres des mailles exprimés sur une échelle logarithmique et en ordonnées les pourcentages cumulés en masses de refus exprimés sur une échelle arithmétique. La cumulation employée ici est régressive car elle va des éléments grossiers aux plus fins, donnant de ce fait une information sur les modes de dépôts des

sédiments. Les quartiles Q1, Q2 et Q3 correspondent aux refus des tamis à 25 %, 50 % et 75 % ont été déduits des courbes cumulatives avec $Q1 < Q3$. Ces quartiles serviront à déterminer les paramètres granulométriques suivants :

- **le Qdφ de Krumbein ou Quartile de déviation** : C'est l'indice qui permet de déterminer le classement et d'apprécier les actions de tri au cours du transport et du dépôt. C'est le coefficient d'hétérométrie. Ainsi, les sédiments alluvionnaires seront d'autant mieux triés ou homométrique lorsque sa valeur se rapprochera de zéro. $Qd\phi = (Q1 - Q3) / 2$ avec Q1 qui correspond au quartile à 25% et Q3 qui correspond au quartile à 75% (en mm ou en phi), (Tableau 10).
- **le sorting index (S₀)** $S_0 = \sqrt{Q3/Q1}$ ($S_0 = Q3 / Q1$) ^{1/2}, c'est le degré de classement des sédiments. Il dépend de la taille des sédiments et du type de dépôt (Folk et Ward, 1957). Les limites d'indice de classement proposées par Onana, (2007) sont les suivantes : $S_0 < 1,23$ très bon classement ; $1,23 < S_0 < 1,41$ bon classement ; $1,41 < S_0 < 1,71$ classement moyen ; $1,74 < S_0 < 2$ sédiments mal classé ; $S_0 > 2$ sédiments très mal classé.
- **le coefficient d'asymétrie As = $Q1.Q3/Q2^2$**
 Le coefficient d'asymétrie exprime la répartition des éléments par rapport à la médiane Q2 (Chamley, 1987). Les limites du coefficient d'asymétrie sont les suivantes : $As < 1$, le classement maximum s'effectue vers les éléments grossiers, ces grains sont mieux triés (dépôts torrentiels). $As = 1$, le mode de la courbe de fréquence coïncide avec le diamètre moyen des grains (sédiments évolués). $As > 1$, le classement maximum s'effectue vers les éléments fins, ils représentent une meilleure sélection (dépôts de fond de bassin). L'allure des pentes donnent des informations sur le classement des sédiments :
 - si la pente est forte, le sédiment est bien classé, bien trié et homométrique
 - si la pente est faible, le sédiment est mal trié et hétérométrique

b) Minéraux lourds

Les minéraux lourds sont des minéraux de densité supérieure à 2,9 (densité du bromoforme). Le but de cette méthode est de déterminer les associations minérales et la source distributrice. Les techniques de préparation, d'extraction et de montage de ces minéraux sur les frottis sont celles préconisées par (Duplaix, 1958 ; Parfenoff *et al.*, 1970). Quatre (4) échantillons des sédiments de fraction 0,125mm ont fait l'objet de cette étude. L'extraction des

minéraux lourds se déroule de la manière suivante : dans une ampoule à décanter remplie au $\frac{3}{4}$ du bromoforme. On y ajoute dans la liqueur le sédiment, veillant à ce que les grains de sables ne restent pas collés sur le goulot de l'ampoule. On place un petit bécher muni d'un papier filtre sous l'ampoule. Lorsque le sédiment s'est bien étendu en couche mince à la surface du bromoforme, on agite doucement à l'aide d'un agitateur de verre puis on ouvre le robinet. Les minéraux lourds tombent dans le papier filtre portant le numéro de l'échantillon et placé à la base de l'ampoule. On referme le robinet pour entrainer le moins possible de bromoforme. L'excès de sédiment est filtré et le bromoforme est recueilli dans un autre bécher. Le dispositif est ensuite rincé à l'eau puis remonté pour la prochaine manipulation. Les minéraux lourds recueillis sont lavés à l'acide chlorhydrique dilué à 100 %.

Les lames sont préalablement chauffées sur une plaque chauffante, puis imprégnées de baume de Canada. Dès que le baume prend la coloration jaune, on place une quantité de minéraux lourds sur la lame porte-objet à l'aide d'un pinceau. Cette dernière est ensuite recouverte par une lamelle. Après refroidissement, le concentré de minéraux lourds obtenu est trempé dans un alcool pour éliminer le baume débordant sur lame. Les observations de ces lames minces ont été faite au microscope électronique de marque leitz wetzelar HM-POL au Laboratoire de géologie des Formations Superficielles et application de l'Université de Yaoundé I.

c) Minéralogie par DRX

L'étude des minéraux des sédiments prélevés sur le terrain est déterminée par des analyses minéralogiques par DRX. Le principe est décrit par Eslinger (1988). Ce principe est basé sur la diffraction des rayons X par le réseau cristallin selon la loi de Bragg. La méthode générale consiste à bombarder l'échantillon avec des rayons X et à analyser l'intensité des rayons X qui est diffusée selon l'orientation dans l'espace. Les rayons X diffusés interfèrent entre eux, l'intensité présente donc des maxima dans certaines directions, on parle de phénomènes diffraction. On enregistre l'intensité détectée en fonction de l'angle de déviation 2θ du faisceau selon la loi de Bragg exprimées par la relation suivante : $n\lambda = 2d\sin\theta$ (Figure 9). Ce diffractogramme est caractéristique de l'échantillon analysé et l'intensité des pics (et/ou la surface selon les hauteurs) est fonction de la quantité de chaque phase du minérale présente dans cet échantillon. L'identification des phases minérales a été effectuée suivant le protocole du Laboratoire de Géologie et Environnement sédimentaire (AGEs) de l'Université de Lausanne. Les données ont été enregistrées à l'aide d'un diffractomètre de type Bruker D8-Avance Eco utilisant le rayonnement $K\alpha_1$ du cuivre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$). Pour l'analyse

minéralogique totale, chaque échantillon de 20 g de matériaux total est prélevé et séché à l'étuve (40 °C) pendant au moins 24h. A l'aide d'un mortier à agate, l'échantillon est broyé manuellement 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-sid ».

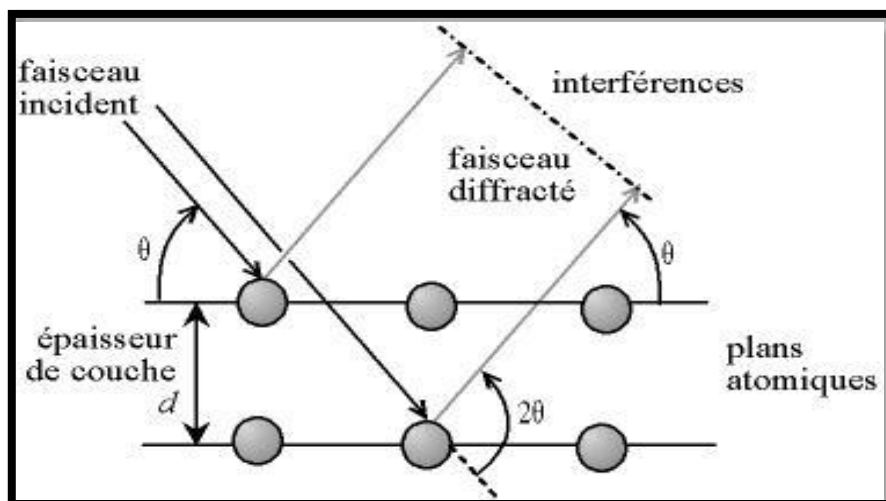


Figure 9: Principe de diffraction des rayons X par le réseau cristallin

d) Analyse géochimique

Un total de 10 échantillons a été récolté mais six échantillons représentatifs ont été sélectionnés pour l'analyse géochimique. Ces analyses ont été effectuées par spectrométrie à plasma couplé inductif (ICP-AES) pour les éléments traces et les terres rares et par fluorescence de rayons X pour les éléments majeurs. Les analyses géochimiques ont été effectuées au Laboratoire de Minéralogie à l'Université de Saint Vancouver, au Canada. Les échantillons ont été pulvérisés pour obtenir un échantillon homogène de 20 g, pour les analyses. Les incertitudes analytiques varient de 0,1 à 0,04 % pour les éléments majeurs sauf le Cr_2O_3 (0,002%) et 0,1 ppm pour la plupart des éléments en trace et les terres rares, sauf le W, Sc, V et Ni qui ont une limite de détection de 0,5 ; 1 ; 8 et 20 ppm respectivement. La perte au feu (LOI) a été déterminée par différence de poids après chauffage à 1000 °C.

CONCLUSION

La méthodologie utilisée a consisté en une étude de terrain et de laboratoire. Dix (10) échantillons ont été prélevés sur le terrain et ramenés au laboratoire pour les différentes analyses. Les travaux de laboratoire ont consisté à la description des méthodes analytiques suivantes : des analyses sédimentologiques basées sur la granulométrie avec utilisation des paramètres tels que le $Qd\phi$ de Krumbein, le Sorting Index (So) et le coefficient d'asymétrie (As) ; la minéralogie par l'étude des minéraux lourds et par diffraction au rayon X (DRX) et la géochimie (élément majeurs, traces et terres rares). L'ensemble de ces analyses effectuées fournissent des résultats, qui seront présentés dans le prochain chapitre.

CHAPITRE III : RESULTATS

Introduction

Le présent chapitre vise à présenter les résultats obtenus à partir des travaux effectués sur le terrain et en laboratoire.

III.1. GRANULOMETRIE

L'analyse granulométrique a été réalisée sur six échantillons des sédiments prélevés sur les berges de la Lokoundjé (KL05, KL06, KL07, KL08, KL10 et KL12). Les données granulométriques par voie sèche des échantillons ont été traitées et récapitulées en refus simple, refus cumulés, pourcentages simples et pourcentages cumulés dans le Tableau 5. Les pourcentages de refus simples et cumulés ont permis de construire les courbes cumulées et les histogrammes (Figures 11 et 12). Les courbes ainsi obtenues ont permis de calculer les différents paramètres granulométriques consignés dans les Tableau 5.

Tableau 5: Fractions granulométriques des échantillons en pourcentages simples et cumulés

	Maille des tamis en (mm)	2	1,00	0,5	0,25	0,125	0,063	0,05	<0,050	-
KL05	Masse des refus	0,43	2,00	140,71	48,9	5,93	1,63	0,13	0,26	200
	% simple	0,22	1,00	70,35	24,45	2,96	0,81	0,07	0,13	100
	% cumulé	0,22	1,22	71,58	96,03	98,99	99,81	99,87	100	-
KL06	Masse des refus	0,63	0,98	19,01	119,39	45,09	10,84	2,55	1,51	200
	% simple	0,32	0,49	9,50	59,7	22,55	5,42	1,27	0,76	100
	% cumulé	0,32	0,81	10,31	70,01	92,55	97,97	99,25	100	-
KL07	Masse des refus	2,01	12,62	81,59	44,6	40,07	5,64	10,93	2,54	200
	% simple	1,00	6,31	40,8	22,3	20,04	2,82	5,46	1,27	100
	% cumulé	1,00	7,31	48,11	70,41	90,45	93,27	98,73	100	-
KL08	Masse des refus	1,94	6,13	8,79	61,39	87,89	27,74	4,04	2,09	200
	% simple	0,97	3,06	4,39	30,69	43,94	13,87	2,02	1,05	100
	% cumulé	0,97	4,03	8,43	39,12	83,06	96,93	98,95	100	-
KL10	Masse des refus	0,06	0,5	66,25	93,42	31,01	7,63	0,83	0,3	200
	% simple	0,03	0,25	33,13	46,71	15,5	3,81	0,42	0,15	100
	% cumulé	0,03	0,28	33,4	80,11	95,62	99,43	99,85	100	-
KL12	Masse des refus	1,86	1,97	22,00	113,54	43,29	7,37	6,79	3,17	200
	% simple	0,93	0,99	11,00	56,77	21,65	3,69	3,40	1,58	100
	% cumulé	0,93	1,92	12,92	69,69	91,33	95,02	98,42	100	-

Tableau 6: Indices les paramètres granulométriques des sédiments

Ech	Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₀	A _s	Qdphi	DESCRIPTIONS
KL05	0,072	0,095	0,14	1,39	0,010	0,48	Sédiments bien classés, homométriques, le classement s'effectue vers les éléments grossiers
KL06	0,075	0,099	0,13	1,34	0,010	0,42	Sédiments mal classés, homométriques, le classement s'effectue vers les éléments grossiers
KL07	0,052	0,065	0,16	1,75	0,008	0,81	Sédiments mal classés, hétérométriques, le classement s'effectue vers les éléments grossiers
KL08	0,094	0,16	0,22	1,53	0,021	0,61	Sédiments moyennement classés, hétérométriques, le classement s'effectue vers les éléments grossiers
KL10	0,095	0,165	0,21 5	1,50	0,020	0,58	Sédiments moyennement classés, hétérométrique, le classement s'effectue vers les éléments grossiers
KL12	0,091	0,17	0,21	1,52	0,019	0,60	Sédiments moyennement classés, hétérométrique, le classement s'effectue vers les éléments grossiers

III.1.1. Présentation et analyse des courbes cumulées

Les courbes semi-logarithmiques des échantillons sont tracées et les indices granulométriques ont été calculés pour déterminer la nature des sédiments, leur classement et leur source. Ces courbes présentent une forme en « S » plus ou moins étalées et régulières pour la plupart des échantillons (Figure 10).

- Echantillons KL05 et KL06

Les échantillons KL5 et KL6 présentent les courbes cumulatives en « S » à pente forte, leurs coefficients d'asymétrie (As) est de 0,01 soit $A_s < 1$, leurs quartiles de déviation varient entre 0,42 et 0,48. Leur sorting index (S₀) varient entre 1,34 et 1,39 mm soit $S_0 < 2,5$ (Figure 10a et 10b).

- Echantillon KL07

Cet échantillon montre une courbe cumulative en « S » à pente forte. Son coefficient d'asymétrie (As) est de 0,008 ; son quartile de déviation est 0,811 et son sorting index est de 1,75 mm (Figure 10c).

- Echantillons KL08, KL10 et KL12

Ces échantillons présentent des courbes cumulatives en « S » à pente forte. Leurs coefficients d'asymétrie (As) varient entre 0,19 et 0,21. Leurs quartiles de déviation varient entre 0,589 à 0,613. sorting index (S₀) varient entre 1,5 et 1,53mm (Figure 10d, 10e et 10f).

III.1.2. Présentation et analyse des histogrammes

- Echantillons KL05 et KL07

Ces échantillons montrent des histogrammes à allure unimodale. Le mode principal se situe à 0,5mm et les diamètres des particules dominantes sont comprises entre 0,5mm et 0,125mm (Figure 11a et 11c).

- Echantillons KL06 et KL12

Les histogrammes de ces échantillons présentent une allure unimodale. Le mode principal se situe à 0,25 mm et les diamètres des fractions dominantes sont comprises entre 0,25 mm et 0,125 mm (Figure 11b et 11f).

- Echantillons KL08

Cet échantillon présente un histogramme bimodal, montrant un mode principal à 1,25mm et un mode secondaire à 0,25 mm. Les fractions dominantes sont comprises entre 0,25 mm et 0,063 mm (Figure 11d).

- Echantillons KL10

L'histogramme de l'échantillon KL10 montre une allure bimodale de mode principal 0,25 mm et de mode secondaire 0,5 mm. Les diamètres des particules dominantes sont compris entre 0,5 mm et 0,125 mm (Figure 11e).

III.2. MINERALOGIE

III.2.1. Minéraux lourds

L'analyse des minéraux lourds ont été faites à partir de l'observation des lames minces (04) au microscope électronique du laboratoire de pétrologie de l'université de Yaoundé I. Elle permet, ainsi à partir des minéraux caractéristiques de déduire la source distributrice des sédiments. Cette étude a permis de présenter les minéraux lourds tels que : disthène, sillimanite, chloritoïde, diopside, anatase, grenat, rutile, hypersthène et minéraux opaques (Figure 12).

III.2.1.1. Etude descriptive des différentes espèces minérales

Les minéraux lourds identifiés dans les sédiments alluviaux de la Lokoundjé sont : disthène, sillimanite, chloritoïde, diopside, anatase, grenat, rutile, hypersthène et minéraux opaque:

- le disthène : il se présente sous forme de prisme aplati usé avec des formes courbes. Ses formes ovoïdes sont de grandes dimensions. Il possède un clivage à 90° et une extinction droite. En LPNA, il est incolore avec une forme de prisme ; en LPA il a une couleur grise et présente une extinction oblique. Il est présent à 21% dans l'échantillon KL07 ;

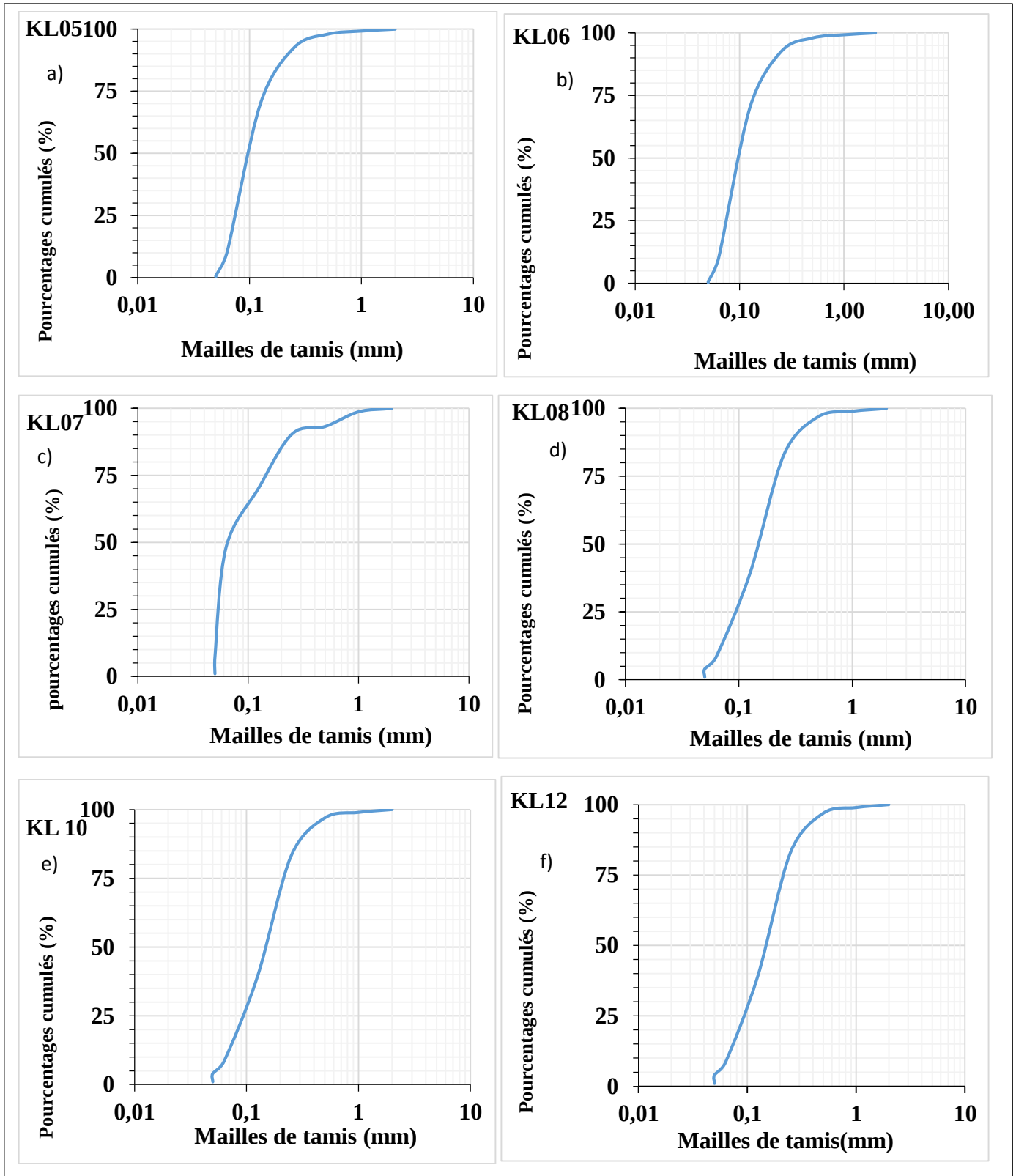


Figure 10: Courbes cumulatives des échantillons de la Lokoundjé

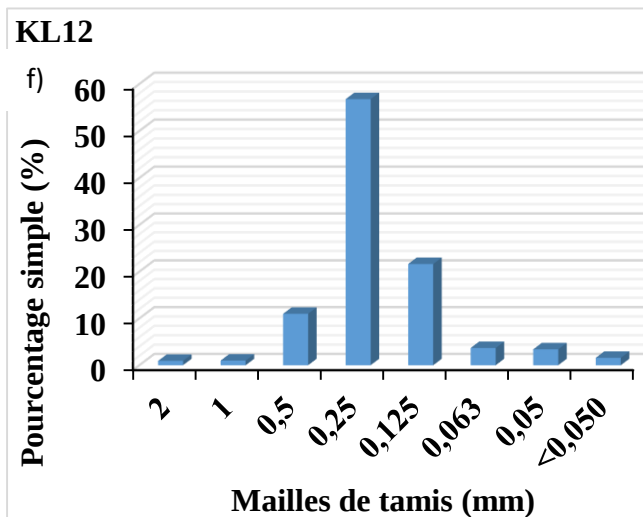
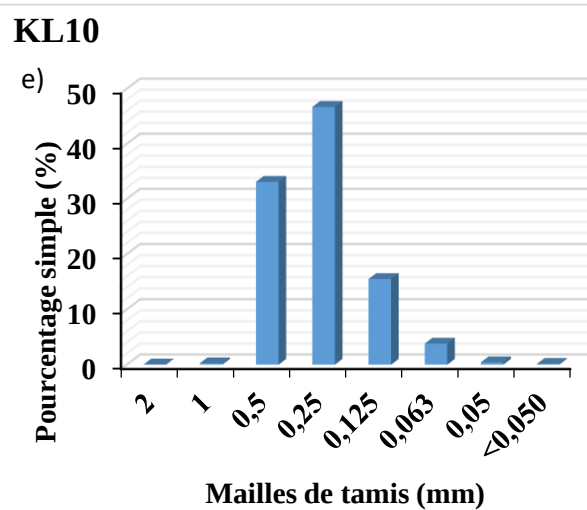
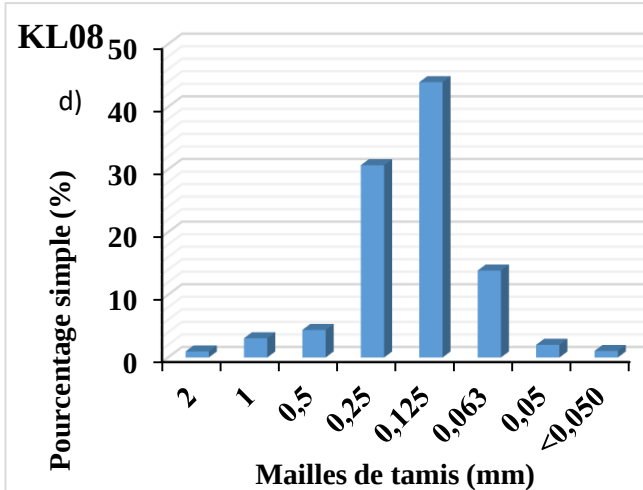
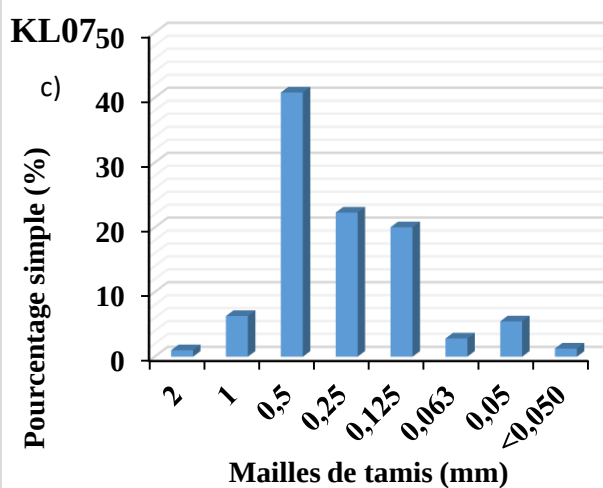
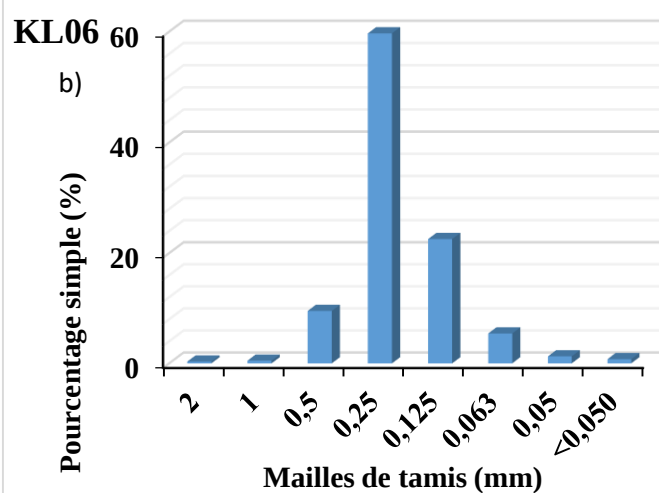
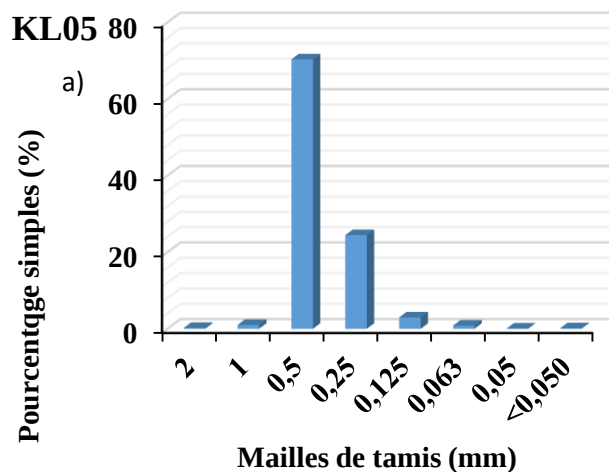


Figure 11: Histogramme des échantillons

- la sillimanite : elle est souvent prismatique et incolore en lumière naturelle. Son extinction est droite et sa structure fibreuse ; en LPNA, elle a une couleur grisâtre avec une forme de prisme ; en LPA elle a une teinte grise à jaune pâle. Elle est présente dans les proportions allant de 7 à 9 %, dans les échantillons KL07 et KL08 ;
- chloritoïde : se rencontre en général en grains écailleux à contours arrondis, doués d'un relief assez accentué. Son pléochroïsme caractéristique, visible sur la plupart des grains est un des caractères les plus nets qui permettent d'en faire la discrimination. En LPNA, il est incolore à verdâtre et en LPA il est bruns. Il est présent dans tous les échantillons avec des proportions allant de 18 à 36 % ;
- diopside : se présente rarement en prisme plutôt en grains anguleux ou arrondi, vert plus ou moins foncé. En LPNA, il est incolore à verdâtre avec un relief fort. Il est présent dans les échantillons KL05 et KL06 (6 à 7 %).
- l'anatase : se présente le plus souvent en tablette rectangulaires ou carrées, parfois biseautées. L'extinction des tablettes basales en lumière polarisée n'est pas toujours continue ;
- le grenat : ce minéral se présente sous la forme de grains sub-sphériques à sphériques. Il a parfois une texture grenue avec quelquefois des cristaux cassés, et sa couleur est brune. En LPNA, il est incolore à brun avec un relief fort et en LPA il est éteint. Il est présent dans deux échantillons (KL05 et KL08) avec les mêmes proportions (18 %) ;
- le rutile : c'est un cristal prismatique allongé généralement avec des contours très usés. Certains grains sont très arrondis et marqués par la présence d'inclusions aciculaires. Son relief est très fort. En LPA comme en LPNA, il a un relief fort avec des tons brun et rouge foncé. Il est présent uniquement dans l'échantillon KL07 (7 %) ;
- l'hypersthène : ce minéral a une forme prismatique. Il possède un relief fort et ses extrémités sont érodées.
- Minéraux opaques : ils présentent des formes anguleuses à arrondies. En LPNA, ils sont de couleur noire et sont toujours éteints en LPA. Ils sont présents dans tous les échantillons à de très forte proportion allant de 21 à 52 %.

III.2.1.2. Etude analytique des minéraux lourds

L'étude du cortège minéralogique des sédiments alluviaux de la Lokoundjé a permis de distinguer plusieurs types de minéraux lourds. Les différentes proportions de ces minéraux lourds sont consignées dans le Tableau 7 et les diagrammes circulaires de la Figure 13.

Tableau 7: Inventaire des minéraux lourds en pourcentage (%)

Espèces minérales	KL05	KL06	KL07	KL08
Disthène	-	-	21	-
Sillimanite	-	-	7	9
Chloritoïde	12	36	21	18
Diopside	6	7	-	-
Anatase	12	29	14	9
Grenat	18	-	-	18
Rutile	-	-	7	-
Hypersthène	-	7	7	-
Minéraux opaques	52	21	23	45
Total	100	100	100	100

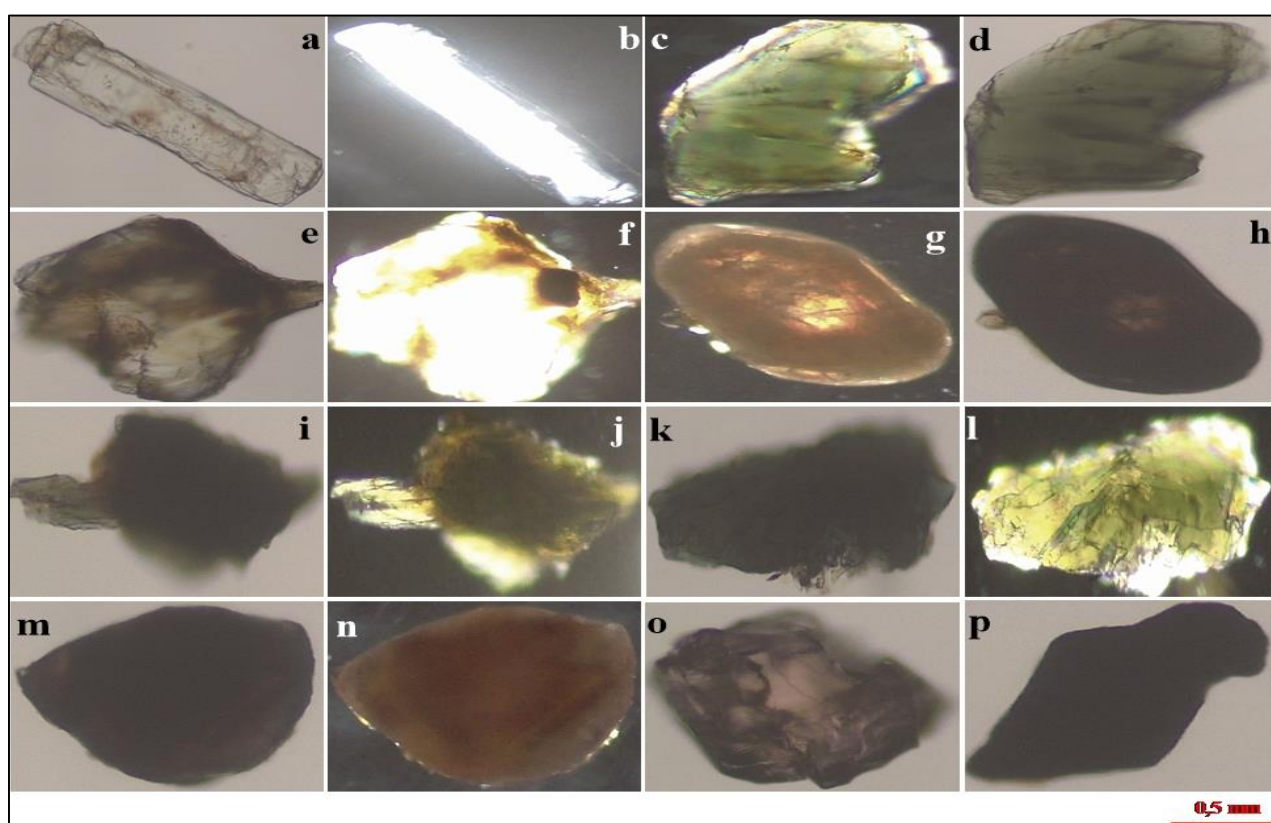


Figure 12: Minéraux lourds des lames minces de sable vue au microscope (LPNA et LPA). a) Disthène LPNA, b) Disthène LPA ; c) Diopside LPA, d) Diopside LPNA ; e) Chloritoïde LPNA, f) Chloritoïde LPA ; g) Rutile LPA, h) Rutile LPNA ; i) Sillimanite LPNA, j) Sillimanite LPA ; k) Hypersthène LPNA, l) Hypersthène LPA ; m) Anatase LPNA, n) Anatase LPA ; o) Grenat, p) Minéral opaque.

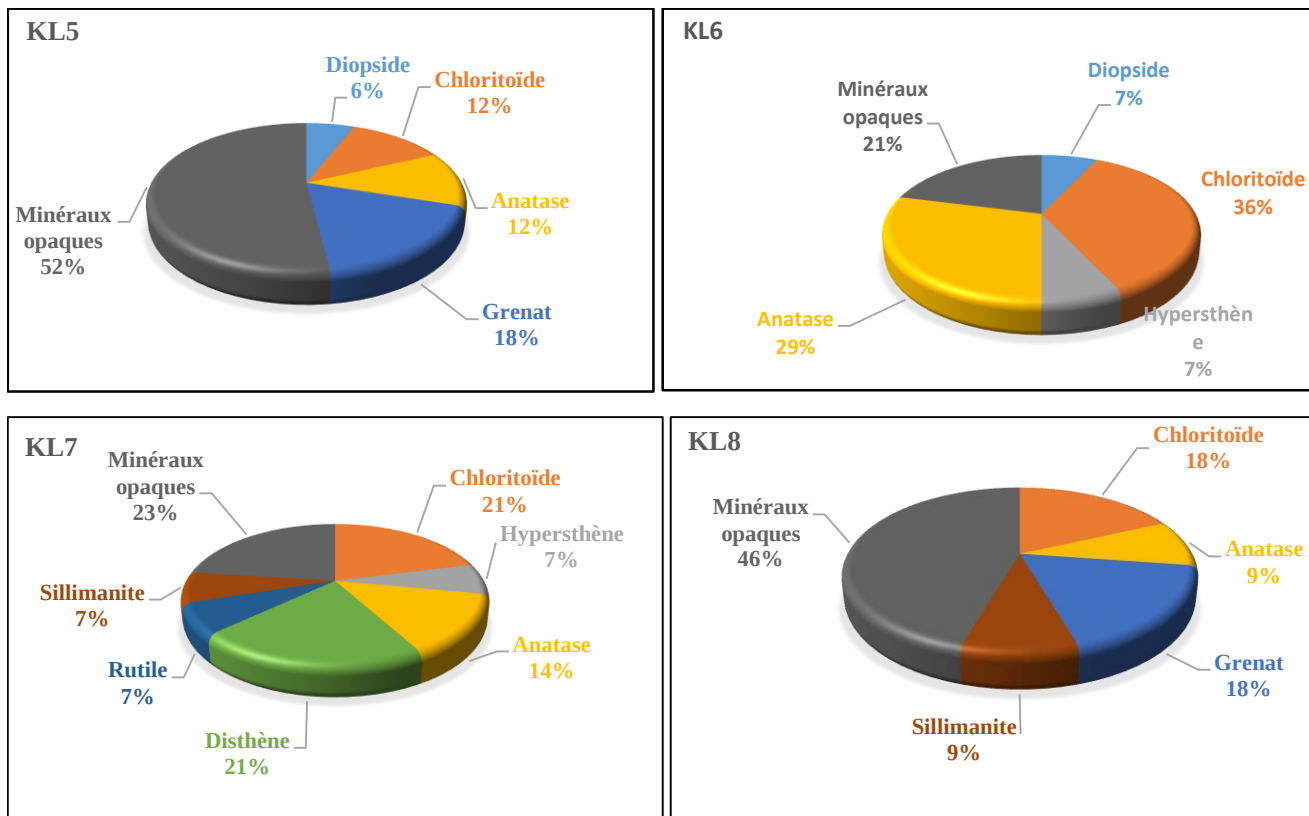


Figure 13: Diagrammes circulaires des minéraux lourds

III.2.2. Diffractométrie aux rayons x

L'analyse par diffractométrie aux rayons x (DRX) a été effectuée sur trois échantillons de sable alluvionnaire (KL02 ; KL06 et KL10). Les résultats sont consignés dans le Tableau 8.

Un total de six minéraux sont consignés dans le Tableau 8 avec des proportions différentes : le quartz est le minéral le plus abondant dans tous les échantillons (KL02, KL06 et KL10) ; le feldspath est abondant dans tous les échantillons ; l'hématite est abondant dans l'échantillons KL06 et KL10 et représentatif dans KL02 ; les représentatifs (muscovite, kaolinite, gibbsite, rutile) ; peu abondant (illite et goethite) ; l'illite est non identifiée dans l'échantillon KL10

Tableau 8: Représentation sémi-quantitative des espèces minérales des sédiments de Lokoundjé.

Minéraux	Échantillons		
	KL02	KL06	KL10
Quartz	++++	++++	++++
Feldspath	+++	+++	+++
Muscovite	++	++	++
Kaolinite	++	++	++
Gibbsite	++	++	++
Illite	+	+	-
Goethite	+	+	+
Hématite	++	+++	+++
Rutile	++	++	++

++++ minéral très abondant ; +++ abondant ; ++ représentatif ; + peu abondant ; - non identifié

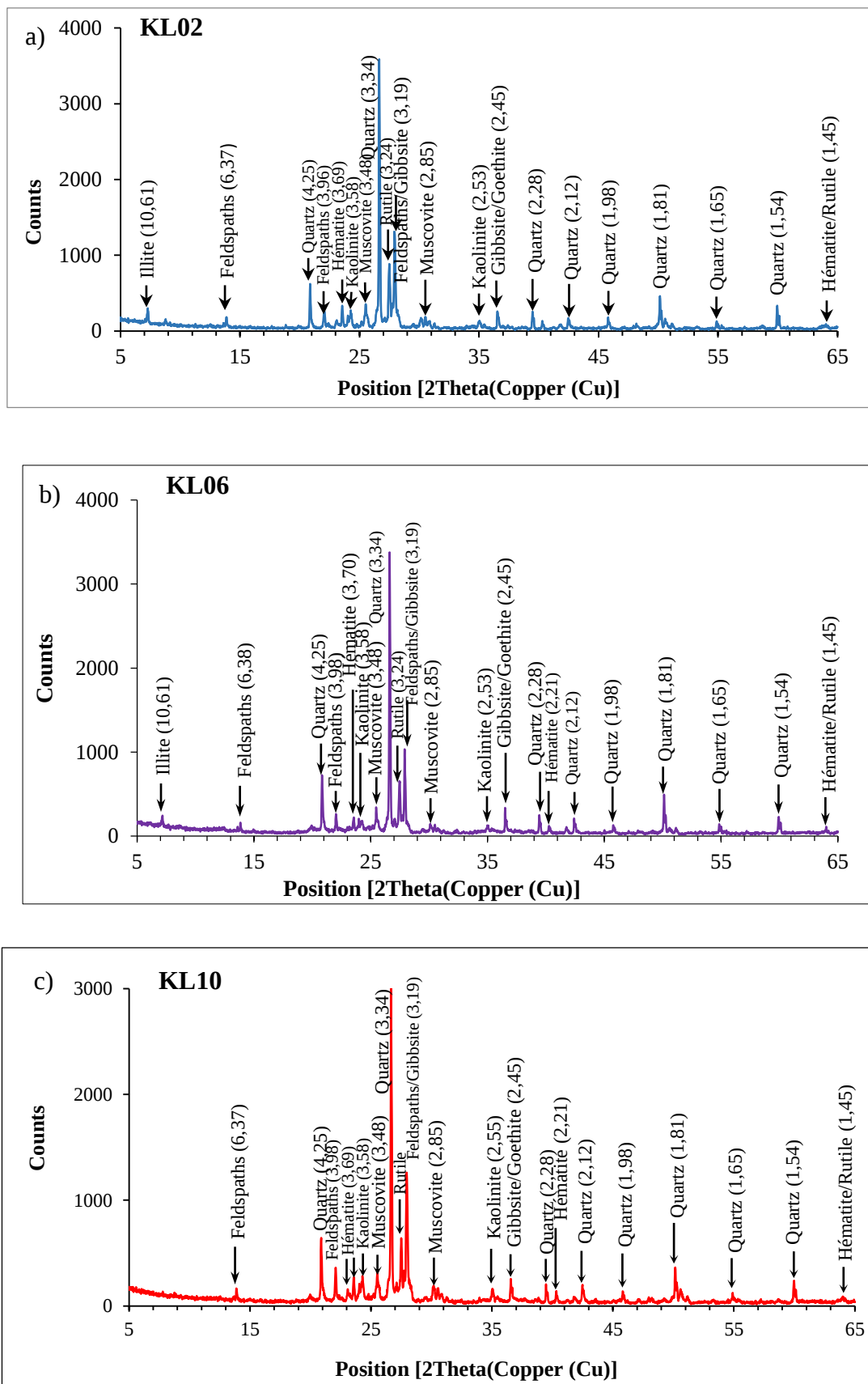


Figure 14: Diffractogrammes des échantillons KL02, KL06 et KL10 des sédiments alluvionnaires de la Lokoundjé

III.3. GEOCHIMIE

Six (6) échantillons de sédiment alluvionnaires ont fait l'objet d'une analyse géochimique. Il s'agit des échantillons KL02, KL04, KL06, KL08, KL10 et KL12.

III.3.1. Eléments majeurs

III.3.1.1. Comportement des éléments majeurs

Les concentrations en éléments majeurs dans les différents échantillons sont consignées dans le Tableau 9.

Les teneurs en SiO_2 varient entre 74,20 % et 91,13 % dans les échantillons avec une moyenne de 84,27 %. Ces valeurs sont toutes supérieures à la valeur du PASS (62,8 %) et celle de UCC (66 %). Les teneurs en Al_2O_3 varient entre 1,25 % et 12,27 %. Leur moyenne est de 5,55 %. Ces valeurs sont toutes inférieures au PASS (18,9 %) et à l'UCC (15,20 %). Les teneurs en Fe_2O_3 sont comprises entre 1,55 % et 6,72 % pour une moyenne de 3,54 %. Les teneurs en TiO_2 varient entre 0,17 % et 8,86 %, pour une moyenne de 2,81 %. Par contre les teneurs des alcalins (Na_2O : 0,03-4,04 %) et des alcalino-terreux (CaO : 0,03-0,97 % ; MgO : 0,12-0,29 % ; K_2O : 0,07-3,51) et des autres oxydes P_2O_5 (0,03-0,07) sont modérées.

Les échantillons étudiés ont des valeurs de CIA comprises entre 59,05 et 90,91 %. La moyenne étant 64,12. Les valeurs d'ICV sont comprises entre 0,91 et 12,84 (Tableau 9). Le rapport massique $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ présente des valeurs comprises entre 6,05 à 68,46. Le rapport massique $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ présente des valeurs qui se situent entre 0,73 et 2,67 avec une moyenne de 1, (Tableau 9).

L'étude du comportement des éléments majeurs s'est fait à partir du diagramme de Harker (Figure 15). Ces diagrammes binaires montrent qu'il existe de faible corrélation positive entre SiO_2 vs TiO_2 (- 0,0111) ; de corrélation négative moyenne entre SiO_2 vs Al_2O_3 (- 0,5736) ; des faibles corrélations négatives entre ; SiO_2 vs Fe_2O_3 (- 0,1777) ; des fortes corrélations négatives entre SiO_2 vs MnO (- 0,018) ; SiO_2 vs MgO (0,246) ; SiO_2 vs CaO (- 0,6324) ; SiO_2 vs Na_2O (- 0,6908) ; SiO_2 vs K_2O (- 0,6249) ; SiO_2 vs P_2O_5 (- 0,0007).

Tableau 9: Teneurs en éléments majeurs (en %) dans les échantillons.

Eléments majeurs	Ld.	KL02	KL04	KL06	KL08	KL10	KL12	Moyenne	PASS	UCC
SiO ₂	0,01	78,73	81,68	91,03	88,83	91,13	74,20	84,27	62,8	66
Al ₂ O ₃	0,01	11,03	1,25	4,08	1,30	3,38	12,27	5,55	6,5	15,20
Fe ₂ O ₃	0,04	2,23	6,72	1,55	4,17	2,21	4,36	3,54	2,2	4,50
MgO	0,01	0,14	0,18	0,18	0,12	0,20	0,29	0,18	1,2	2,20
CaO	0,01	0,45	0,12	0,19	0,03	0,21	0,97	0,33	3,7	4,20
Na ₂ O	0,01	4,04	0,05	0,30	0,03	0,24	4,03	1,45	1	3,90
K ₂ O	0,01	2,96	0,09	0,73	0,07	0,64	3,51	1,33	0,16	3,4
TiO ₂	0,01	0,17	8,86	0,5	5,52	1,58	0,21	2,81	18,9	0,5
MnO	0,01	0,09	0,22	0,06	0,14	0,08	0,08	0,11	1,3	0,10
P ₂ O ₅	0,01	0,03	0,07	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,11	0,17
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,09	0,01	0,09	0,01	0,01	0,03	-	-
LOI	-5,1	0,41	0,19	1,82	0,18	0,74	0,50	0,64	-	-
Total	-	100,28	99,32	98,65	100,35	99,71	99,95	99,71	97,87	34,17
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	-	7,13	65,47	22,29	68,46	26,92	6,05	32,72	3,32	4,34
K ₂ O/Al ₂ O ₃	-	0,27	0,07	0,18	0,05	0,19	0,29	0,17	0,2	0,22
K ₂ O/Na ₂ O	-	0,73	1,8	2,39	2,33	2,67	0,87	1,80	3,08	0,87
Log (Fe ₂ O ₃ /K ₂ O)	-	- 0,12	1,87	0,33	1,78	0,54	0,09	0,75	0,24	0,12
Log (SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	-	0,85	1,82	1,35	1,84	1,43	0,78	1,34	0,52	0,64
Al ₂ O ₃ +K ₂ O+Na ₂ O	-	18,04	1,39	5,12	1,40	4,26	19,81	8,33	67,7	73,3
Na ₂ O+CaO*	-	4,49	0,24	0,49	0,06	0,45	5,00	1,78	2,5	8,1
MgO/Al ₂ O ₃	-	0,14	0,04	0,09	0,06	0,02	0,03	0,18	0,12	0,14
SiO ₂ /TiO ₂	-	463,12	9,22	182,06	16,09	57,68	353,33	30,02	62,8	132
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	-	64,91	0,14	8,17	0,24	2,14	58,42	1,98	62,8	132
CIA	-	59,70	82,78	77,04	90,91	75,78	59,05	64,12	57,22	56,93
PIA	-	64,26	82,86	78,62	92,48	76,52	66,17	71,79	86,36	60,2
ICV	-	0,91	12,84	0,84	7,66	1,50	1,09	1,74	0,79	1,2

l.d. = limite de détection ; PAAS : Post-Archean Average Australian Shale (Taylor et McLennan, 1985)
; UCC : Upper Continental Crust (Taylor et McLennan, 1985) ; CIA= [Al₂O₃/ (Al₂O₃ + (CaO* + Na₂O)
+ K₂O)] ×100 ; Nesbitt et Young (1982) ; ICV = [(Fe₂O₃ + K₂O + Na₂O + CaO + MgO + TiO₂) /Al₂O₃]
Cox et al. (1995).

III.3.1.2. Correlation entre les différents éléments majeurs

La matrice de corrélation de ces différents éléments montre une corrélation positive parfaite entre SiO₂ vs SiO₂ (1,00), une bonne corrélation positive entre Na₂O vs CaO (0,87) et une bonne corrélation négative entre Al₂O₃ vs TiO₂ (- 0,73), des corrélations significatives positives et négatives entre MgO vs Al₂O₃ (0,51) ; MgO vs SiO₂ (- 0,50) respectivement et des faibles corrélations positives et négatives entre MgO vs Fe₂O₃ (0,31) ; Fe₂O₃ vs Al₂O₃ (- 0,26) respectivement (Tableau10). Les corrélations des éléments chimiques ont été faites en fonction de SiO₂ et de Al₂O₃. Ces corrélations ont pour but de connaître le lien existant entre les différents Oxydes et les affinités des éléments avec le SiO₂ et Al₂O₃ (Tableau 10).

Tableau 10: Matrice de corrélation

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	Ba	Sr	Rb	Th	Zr	Nb	U	Hf	Ta	Cr	V	Ni	Zn	Cu	Sc	Y	Ga	Pb	Sn
SiO2	1,00																											
TiO2	0,11	1,00																										
Al2O3	-0,76	-0,73	1,00																									
Fe2O3	-0,42	0,82	-0,26	1,00																								
MnO	-0,13	0,96	-0,53	0,89	1,00																							
MgO	-0,50	-0,34	0,51	0,15	-0,27	1,00																						
CaO	-0,80	-0,58	0,91	-0,01	-0,42	0,80	1,00																					
Na2O	-0,83	-0,60	0,98	-0,14	-0,39	0,41	0,87	1,00																				
K2O	-0,79	-0,69	1,00	-0,20	-0,49	0,53	0,92	0,98	1,00																			
Ba	0,39	0,38	-0,57	0,34	0,19	0,34	-0,20	-0,65	-0,55	1,00																		
Sr	0,35	0,48	-0,61	0,45	0,32	0,32	-0,23	-0,67	-0,58	0,99	1,00																	
Rb	0,14	0,25	-0,32	0,37	0,11	0,55	0,08	-0,41	-0,29	0,96	0,94	1,00																
Th	-0,14	-0,26	0,28	-0,08	-0,23	0,37	0,37	0,27	0,30	-0,07	-0,11	-0,04	1,00															
Zr	-0,14	-0,26	0,28	-0,08	-0,23	0,37	0,37	0,27	0,30	-0,07	-0,11	-0,04	1,00	1,00														
Nb	-0,28	-0,23	0,37	-0,04	-0,15	0,25	0,38	0,40	0,39	-0,29	-0,32	-0,26	0,97	0,97	1,00													
U	-0,33	0,17	0,14	0,37	0,23	0,22	0,26	0,22	0,19	-0,07	-0,06	-0,04	0,87	0,87	0,90	1,00												
Hf	-0,14	-0,26	0,28	-0,08	-0,23	0,37	0,37	0,27	0,30	-0,07	-0,11	-0,04	1,00	1,00	0,97	0,87	1,00											
Ta	-0,14	-0,26	0,28	-0,08	-0,23	0,37	0,37	0,27	0,30	-0,07	-0,11	-0,04	1,00	1,00	0,97	0,87	1,00	1,00										
Cr	-0,14	-0,26	0,28	-0,08	-0,24	0,36	0,37	0,27	0,30	-0,07	-0,12	-0,05	1,00	1,00	0,97	0,87	1,00	1,00	1,00									
V	-0,16	-0,26	0,29	-0,07	-0,24	0,38	0,38	0,28	0,31	-0,06	-0,11	-0,04	1,00	1,00	0,96	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00								
Ni	-0,59	-0,18	0,48	0,26	-0,10	0,62	0,66	0,44	0,50	0,22	0,22	0,47	-0,35	-0,35	-0,38	-0,29	-0,35	-0,35	-0,35	-0,33	1,00							
Zn	-0,13	-0,27	0,28	-0,09	-0,25	0,37	0,37	0,27	0,30	-0,06	-0,11	-0,04	1,00	1,00	0,96	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,35	1,00						
Cu	-0,61	-0,38	0,65	0,14	-0,30	0,84	0,87	0,61	0,68	0,12	0,07	0,34	0,65	0,65	0,59	0,57	0,65	0,65	0,65	0,67	0,48	0,65	1,00					
Sc	0,23	0,21	-0,30	-0,02	0,17	-0,44	-0,42	-0,30	-0,33	0,03	0,06	-0,02	-0,99	-0,99	-0,96	-0,89	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99	0,27	-0,99	-0,71	1,00				
Y	-0,14	-0,26	0,28	-0,08	-0,23	0,37	0,37	0,27	0,30	-0,07	-0,11	-0,04	1,00	1,00	0,97	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,35	1,00	0,65	-0,99	1,00			
Ga	-0,38	-0,18	0,33	0,12	-0,14	0,45	0,46	0,27	0,33	0,25	0,24	0,45	-0,58	-0,58	-0,63	-0,57	-0,58	-0,58	-0,58	-0,57	0,95	-0,58	0,22	0,52	-0,58	1,00		
Pb	-0,14	-0,26	0,28	-0,08	-0,23	0,37	0,37	0,27	0,30	-0,07	-0,11	-0,04	1,00	1,00	0,97	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	-0,35	1,00	0,65	-0,99	1,00	-0,58	1,00	
Sn	-0,60	0,44	0,09	0,82	0,56	0,62	0,39	0,14	0,15	0,30	0,39	0,41	0,24	0,24	0,24	0,49	0,24	0,24	0,24	0,25	0,36	0,23	0,52	-0,36	0,24	0,16	0,24	1,00

P < 0,05

III.3.2. Eléments traces

III.3.2.1. Comportement des éléments traces

Les concentrations en éléments traces dans les différents échantillons sont consignées dans le Tableau 11.

Tableau 11: Teneurs des éléments traces (ppm) des sédiments alluvionnaires de Lokoundjé

Éléments	KL02	KL04	KL06	KL08	KL10	KL12	Moyenne	Chondrites	PAAS	UCC
Ba	370,00	377,30	384,60	370,50	355,50	363,30	370,20	2,41	650	550
Sr	655,70	72,60	63,80	61,50	59,30	60,40	162,22	7,25	200	350
Rb	12,60	13,20	13,80	12,60	11,40	16,30	13,32	2,30	160	112
Th	7,95	5,63	3,30	7,95	12,60	10,28	7,95	29,00	14,6	10,7
Zr	655,70	479,20	302,70	655,70	1008,80	832,25	655,73	3,82	210	190
Nb	11,20	7,80	4,50	9,70	13,50	11,60	9,72	240,00	19	12
U	1,20	1,20	3,00	1,45	1,70	1,58	1,19	7,40	3,1	2,8
Hf	14,40	10,30	6,20	14,40	22,60	18,50	14,40	103,00	5	5,8
Ta	2,00	1,80	1,60	2,00	2,40	2,20	2,00	13,60	1,28	1
Cr	37,50	32,70	28,00	37,50	47,00	42,20	37,48	2,65	110	92,3
V	21,70	18,40	15,10	21,70	28,30	25,20	21,73	56,00	150	107
Ni	7,90	8,10	8,30	7,90	7,50	8,70	8,07	10,50	55	44
Zn	17,30	16,40	15,60	17,30	19,10	18,20	17,32	310,00	71	71
Cu	9,80	9,60	9,40	9,80	10,20	11,50	10,05	120,00	25	25
Sc	1,50	1,60	1,80	1,50	1,20	1,30	1,48	5,92	16	13,6
Y	4,80	3,80	2,80	4,80	6,80	5,80	4,80	1,57	27	22
Ga	3,30	3,40	3,60	3,30	3,10	3,60	3,38	9,20	20	17
Pb	4,60	4,10	3,60	4,60	5,60	5,10	4,60	2,47	17	20
Sn	4,50	5,90	4,20	4,50	4,90	5,70	4,95	1,65	5,5	5,5
Th/U	6,63	4,69	3,00	5,48	7,41	6,52	5,12	3,90	4,71	3,82

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

Les éléments traces ont été subdivisés en trois catégories : les éléments traces dont les teneurs sont supérieures à 100 ppm, ceux dont les teneurs varient entre 10 et 100 ppm et la dernière catégorie dont les teneurs sont inférieures à 10 ppm. Il ressort que les teneurs élevées sont enregistrées en Ba (355,50 à 384,60 ppm pour une moyenne de 370,20 ppm), Sr (59,30 à 655,70 ppm avec une moyenne de 162,22 ppm), Zr (302,70 à 1008,80 ppm avec une moyenne de 655,73 ppm).

Les éléments traces dont les teneurs sont modérées varient entre 10 et 100 ppm. Il s'agit de Rb (avec une moyenne de 13,33 ppm), Hf (avec une moyenne de 14,40 ppm), V (moyenne de 21,73 ppm), Cr (moyenne de 37,48 ppm), Zn (avec une moyenne de 17,32 ppm).

Les éléments traces à teneur faible (inférieur à 15 ppm) sont : Th (3,30 à 12,60 ppm), Nb (4,50 à 13,50 ppm), U (1,20 à 3 ppm), Ta (1,60 à 2,40 ppm), Ni (7,50 à 8,70 ppm), Cu (9,40 à 11,50 ppm), Sc (1,20 à 1,80 ppm), Y (2,80 à 6,80 ppm), Ga (3,10 à 3,60 ppm), Pb (3,60 à 5,60 ppm), Sn (4,20 à 5,90 ppm). Le rapport Th/U est compris entre 3 et 7,41 ppm avec une moyenne de 5,12 ppm.

III.3.2.2. Normalisation des éléments traces

La normalisation des éléments traces selon les Standards PAAS, UCC (Taylor et McLennan, 1985) et Chondrite (McDonough et Sun, 1995) permet de suivre le comportement des spectres des éléments traces par rapport à la Chondrite, au PAAS et à l'UCC (Figures : 16a, 16b, 16c). Les spectres des éléments traces par rapport aux valeurs de la chondrite montrent un fort enrichissement en Zr, Ba, Cr, Y et Sn et de forts appauvrissements en Nb (Figure 16a).

Les spectres des éléments traces par rapport au PAAS et l'UCC présentent des allures similaires (Figures 16b, 16c). Ces spectres montrent des anomalies négatives en Rb, Sc et positives en Zr, Hf et Cu suivie des anomalies négatives faibles en U et V. Des anomalies positives moins prononcées en Sr, Ta et Y. Les anomalies négatives marquées sont observées en Th, Nb, V, Zn et Ga ainsi légèrement prononcée en Hf. Par contre les anomalies positives sont présentes en Zr, Cr et Y puis légèrement prononcée en Ni et U.

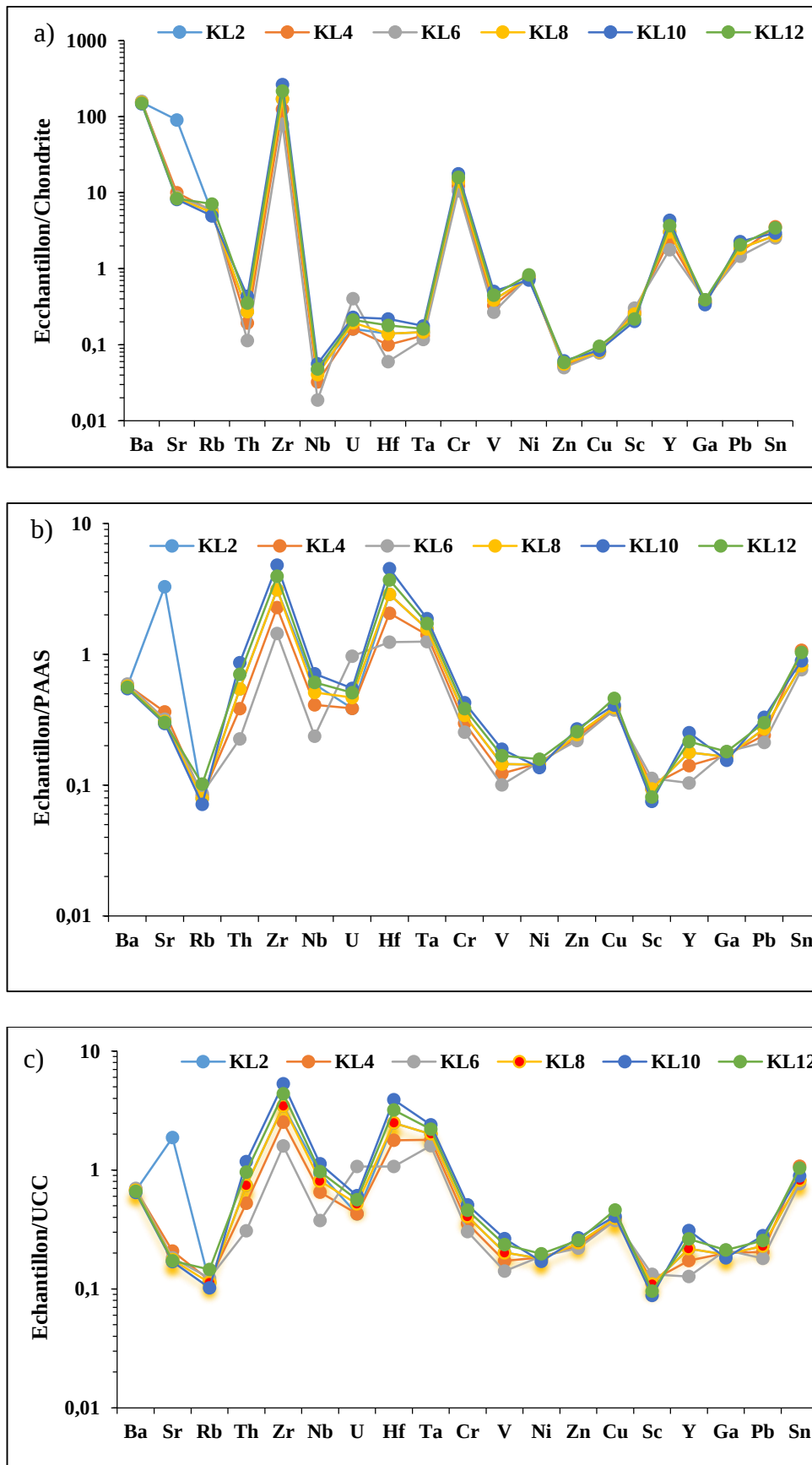


Figure 15: Spectres de normalisation des éléments traces par rapport : a) à la chondrite (McDonough et Sun, 1995) et b et c) au PAAS et à l'UCC (Taylor et McLennan, 1985)

III.3.3. Comportement des terres rares

Tableau 12: Teneur (ppm) des terres rares dans les sédiments alluvionnaires de Lokoundjé

Terres/rares	Ld	KL02	KL04	KL06	KL08	KL10	KL12	Moyenne	Chondrite	PAAS	UCC
La	7	16,3	13,5	10,8	16,3	21,9	19,1	16,32	0,237	38,2	30
Ce	5	33,9	24,3	14,8	33,9	53	43,4	33,88	0,613	79,6	64
Pr	2	6,3	5,2	4,4	6,1	5,3	7,2	5,75	0,093	8,83	7,1
Nd	3	13,5	10,1	6,8	13,5	20,3	16,9	13,52	0,457	33,9	26
Sm	3	4,6	4,8	5,1	4,8	4,9	5,9	5,02	0,148	5,55	4,5
Eu	0,1	1,1	1,1	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,056	1,08	0,88
Gd	1	5,1	6,5	2,3	2,7	2,9	2,5	3,67	0,199	4,66	3,8
Tb	0,1	0,6	0,7	0,2	0,3	0,3	0,4	0,42	0,036	0,77	0,64
Dy	1	3,9	4,2	1	2,2	2,1	2,3	2,62	0,246	4,66	3,5
Ho	0,1	0,4	0,6	0,1	0,5	0,3	0,4	0,38	0,055	0,99	0,8
Er	0,1	3,2	3	0,2	1,3	1	1,6	1,72	0,16	2,85	2,3
Tm	3	1	0,7	1,2	0,1	0,1	0,2	0,55	0,025	0,41	0,33
Yb	2	2,3	2,2	2,2	2,4	2,9	2,6	2,43	0,161	2,82	2,2
Lu	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,22	0,025	0,43	0,32
ΣREE	/	92,5	77,1	49,8	85,1	115,7	103,5	87,28	/	/	/
LREE	/	74,6	57,9	41,9	74,6	105,4	92,5	74,48	/	/	/
HREE	/	17,9	19,2	7,9	10,5	10,3	11	12,80	/	/	/
LREE/HREE	/	4,17	3,02	5,30	7,10	10,23	8,41	6,37	/	/	/
(Ce/Ce*) _{PASS}	/	0,77	0,67	0,50	0,78	1,14	0,85	0,78	/	/	/
(Eu/Eu*) _{PASS}	/	1,07	0,93	0,82	1,05	0,75	0,74	0,89	/	/	/
(Ce/Ce*) _{UCC}	/	0,76	0,66	0,49	0,78	1,12	0,84	0,78	/	/	/
(Eu/Eu*) _{UCC}	/	1,07	0,93	0,82	1,04	0,75	0,73	0,89	/	/	/
(Ce/Ce*) _{Chon}	/	0,81	0,70	0,52	0,82	1,19	0,90	0,82	/	/	/
(Eu/Eu*) _{Chon}	/	0,70	0,60	0,54	0,68	0,49	0,48	0,58	/	/	/

$$Ce/Ce^* (1) = (Ce_{\text{échantillon}}/Ce_{\text{chondrite}}) / (La_{\text{échantillon}}/La_{\text{chondrite}})^{1/2} (Pr_{\text{échantillon}}/Pr_{\text{chondrite}})^{1/2} ;$$

$$Eu/Eu^* (1) = (Eu_{\text{échantillon}}/Eu_{\text{chondrite}}) / (Sm_{\text{échantillon}}/Sm_{\text{chondrite}})^{1/2} (Gd_{\text{échantillon}}/Gd_{\text{chondrite}})^{1/2} ;$$

$$Ce/Ce^* (2) = (Ce_{\text{échantillon}}/Ce_{\text{PAAS}}) / (La_{\text{échantillon}}/La_{\text{PAAS}})^{1/2} (Pr_{\text{échantillon}}/Pr_{\text{PAAS}})^{1/2} ;$$

$$Eu/Eu^* (2) = (Eu_{\text{échantillon}}/Eu_{\text{PAAS}}) / (Sm_{\text{échantillon}}/Sm_{\text{PAAS}})^{1/2} (Gd_{\text{échantillon}}/Gd_{\text{PAAS}})^{1/2} ;$$

$$Ce/Ce^* (3) = (Ce_{\text{échantillon}}/Ce_{\text{UCC}}) / (La_{\text{échantillon}}/La_{\text{UCC}})^{1/2} (Pr_{\text{échantillon}}/Pr_{\text{UCC}})^{1/2} ;$$

$$Eu/Eu^* (3) = (Eu_{\text{échantillon}}/Eu_{\text{UCC}}) / (Sm_{\text{échantillon}}/Sm_{\text{UCC}})^{1/2} (Gd_{\text{échantillon}}/Gd_{\text{UCC}})^{1/2} ;$$

Les résultats de l'analyse géochimique sur les éléments terres rares (REE) sont exprimés en ppm (parties par millions) et sont données dans le Tableau 12.

Les sédiments alluvionnaires du cour d'eau Lokoundjé sont caractérisés par de fortes teneurs en Ce, La et Nd. Les teneurs en Ce oscillent entre 14,8 et 53 ppm avec une moyenne de 33,88 ppm et celles en La varient entre 10,8 et 21,9 ppm pour une moyenne de 16,32 ppm. Les teneurs en Nd sont situées entre 6,8 et 20,3 ppm avec une moyenne de 13,52 ppm (Tableau 12).

Les teneurs sont modérées en Pr et Sm. Les teneurs en Pr varient entre 4,4 et 7,2 ppm avec une moyenne de 5,75 ppm, celles en Sm varient entre 4,6 et 5,9 ppm et de moyenne 5,02 ppm.

Les teneurs les plus faibles sont enregistrées pour Eu (0,6 – 1,1 ppm), Gd (2,3 – 6,5 ppm), Tb (0,2 – 0,7 ppm), Dy (1 – 4,2 ppm), Er (1 – 3,2 ppm), Yb (2,3 – 2,6 ppm), Ho (0,1 – 0,6 ppm), Tm (1 - 0,7 ppm) et le Lu (0,3 - 0,6 ppm). De manière générale, la somme des terres rares varie entre 49,8 et 115,7 ppm avec une moyenne de 87,28 ppm. Il y'a un enrichissement relatif en terres rares légères (valeur moyenne de 369,82 ppm) par rapport aux terres rares lourdes (valeur moyenne de 67,63 ppm). Le rapport LREE/ HREE est de 31,23.

III.3.3.1. Normalisation des éléments terres rares

Les terres rares ont été normalisées par rapport aux valeurs du PAAS et de l'UCC (Taylor et McLennan, 1985) et la Chondrite (McDonough et Sun, 1995). Les anomalies en Ce et en Eu sont graphiquement représentés par des pics et des creux distinctifs (Figure 17).

La normalisation des terres rares par rapport à la chondrite montre une anomalie négative en Ce dans les échantillons. Les valeurs du rapport Ce/Ce* varie entre 0,30 et 0,86.

La normalisation des terres rares par rapport au PAAS présente une anomalie négative en Ce dans tous les échantillons avec $0,5 < \text{Ce/Ce}^* < 1,1$ (Figure 17b). Le rapport Ce/Ce* varie entre 0,30 et 0,86. Cette normalisation des terres rares par rapport au PAAS montre une anomalie positive en Europium dans les échantillons KL02 ($\text{Eu/Eu}^* = 1,07$) et KL08 ($\text{Eu/Eu}^* = 1,05$) et une anomalie négative en Europium dans le reste des échantillons avec $0,74 < \text{Eu/Eu}^* < 0,93$.

La normalisation des terres rares par rapport à UCC présente une anomalie positive en Eu dans les échantillons KL02 ($\text{Eu/Eu}^* = 1,07$) et KL08 ($\text{Eu/Eu}^* = 1,04$) et une anomalie négative en Eu dans le reste des échantillons soit $0,73 < \text{Eu/Eu}^* < 0,93$.

De manière générale, la somme des terres rares varie entre 49,8 et 115,7 ppm avec une moyenne de 87,28 ppm. Il y'a un enrichissement relatif en terres rares légères (valeur moyenne égale à 74,48 ppm) par rapport aux terres rares lourdes (valeur moyenne égale à 12,80 ppm). La normalisation des terres rares par rapport à la Chondrite montre que les spectres sont fracturés laissant apparaître un enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes $\text{LREE/HREE} = 3,02 - 10,23$.

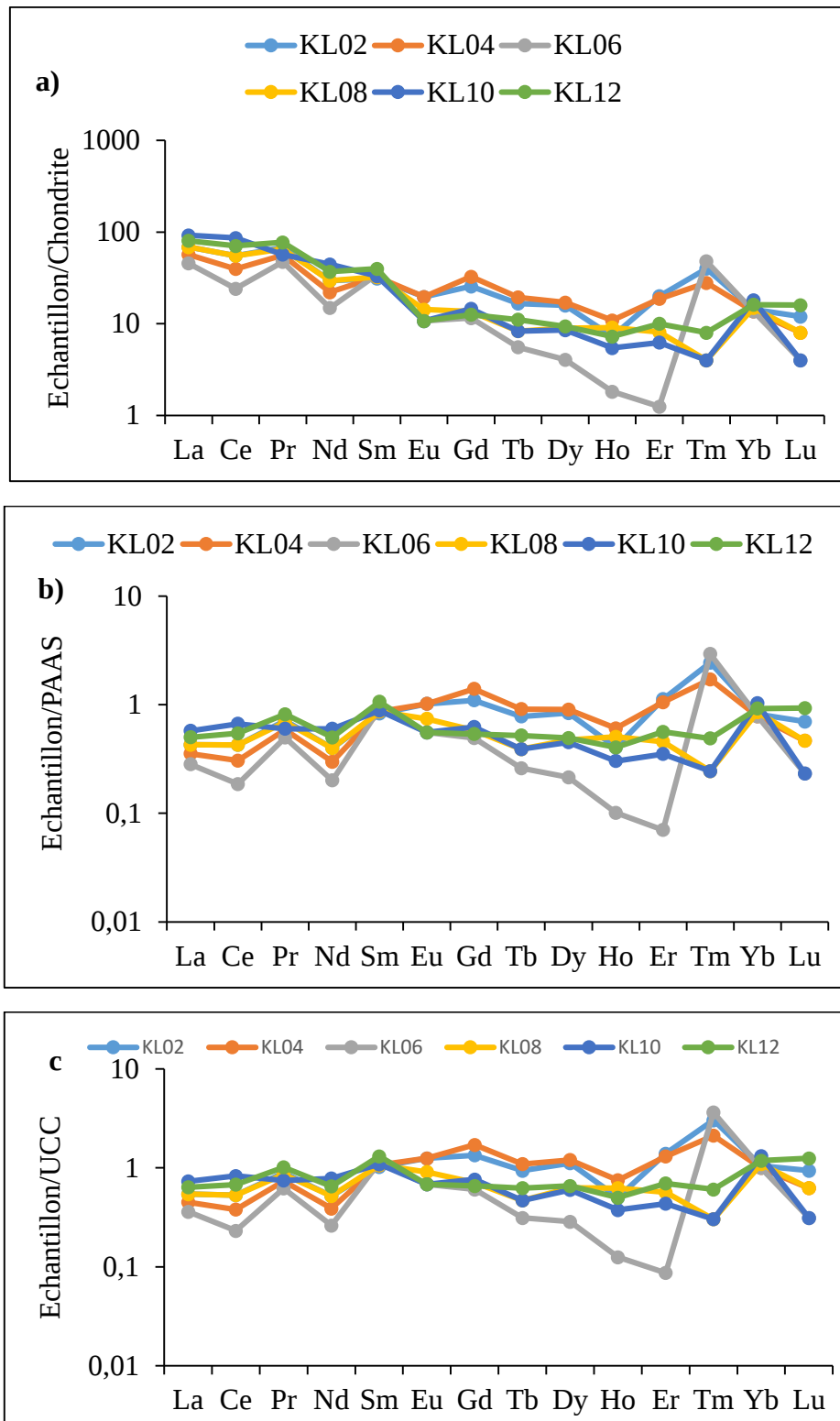


Figure 17: Spectres de normalisation des terres rares par rapport à : a) à la Chondrite (McDonough et Sun, 1995) et b) PASS, c) l'UCC (Taylor et McLennan, 1985).

CONCLUSION

Au terme de ce chapitre, il ressort que, les sédiments de la Lokoundjé sont homogènes, bien trié, modérément à mal classés et évoluent vers les éléments fins. L'analyse des minéraux lourds et diffractométrie aux rayons X ont permis de mettre en évidence plusieurs espèces minérales (diopside, chloritoïde, hypersthène, anatase, grenat, disthène, rutil, sillimantie, quartz, feldspath, muscovite, kaolinite, gibbsite, illite, goethite, rutil et hématite). La géochimie des sédiments étudiés a permis de mettre en évidence le comportement des éléments majeurs, des éléments traces et terres rares. L'étude du comportement des éléments majeurs montre des fortes corrélations négatives entre SiO_2 et CaO ; SiO_2 et Na_2O et SiO_2 et K_2O . Les éléments traces ont été regroupés en 3 catégories, en fonction de leur concentration. Le Ba, Zr et Sr sont des éléments dont les teneurs sont supérieures à 100 ppm, le Zn, Rb, V, Hf et Cr sont ceux dont les teneurs sont comprises entre 10 et 100 ppm et l'U, Sn, Th, Nb, Ta, Ni, Cu, Sc, Y, Pb et Ga appartiennent à la catégorie des éléments dont les teneurs sont inférieures à 10 ppm. Le rapport Th/U présente une valeur moyenne de 5,12 ppm. Les échantillons sont enrichis en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes.

CHAPITRE IV :
ESSAI D'INTERPRETATION ET DISCUSSION

Introduction

Il sera question dans ce chapitre de faire une interprétation et une discussion des résultats dans le but de déterminer la provenance des matériaux, le degré d'altération des roches sources, la maturité des sédiments, le paleoenvironnement et l'environnement de dépôt.

IV.1. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

Les sédiments du cours d'eau Lokoundjé présentent des courbes cumulées en forme « S » avec de fortes pentes, ce qui traduirait des sédiments homogènes, bien triés, modérément à mal classés et évoluent vers les éléments fins. Ces alluvions auraient subi un transport fluvial en milieu plus ou moins agité et à forte énergie (Mouldi et Chkiou, 2007). Les résultats obtenus présentent les mêmes caractéristiques que les sédiments côtiers de Yoyo (Ambassa, 2020) et ceux de la Sanaga (Gombou, 2023 ; Nanga *et al.* 2020). L'allure des histogrammes unimodale et bimodale des sédiments indique plusieurs modes, correspondant à un dépôt favorisé par des courants irréguliers et à un mélange de sédiments de diverses provenances (Welba 2022 ; Pomerol et Blondeau, 1968). Ces résultats corroborent aux travaux menés sur les sédiments littoraux de Campo (Tsanga, 2020).

IV.2. CLASSIFICATION DES SEDIMENTS

La classification est faite à partir des rapports logarithmiques $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en fonction de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ de Herron (1988). Elle permet de déterminer la composition et la provenance des sédiments étudiés. Le diagramme de Herron (Figure 18) montre que les alluvions du cours d'eau Lokoundjé sont réparties dans les domaines des litharénites, arkoses, sublitharénites et quartzarénites (Figure 19). Ce résultat se rapproche de la classification géochimique des sables de la baie du Japon (Bah Mamadou et Hiroaki, 2016) et ceux du golfe du Mexique (Armstrong-Altrin *et al.*, 2012) dont les sables sont classés dans les arkoses et litharénites. De même, les sables de Batoké sont classés dans le domaine des sables ferrifères (Kwewouo 2018 ; Kankeu, 2019). Ce caractère s'observe aussi dans les sédiments de Campo (Tsanga 2020) et celui de Yoyo (2020). Par contre ce résultat s'éloigne considérablement de la classification géochimique des sables de Geregu au Nigeria qui sont classés dans le domaine des grauwaacke et shale (Adiotome *et al.*, 2017).

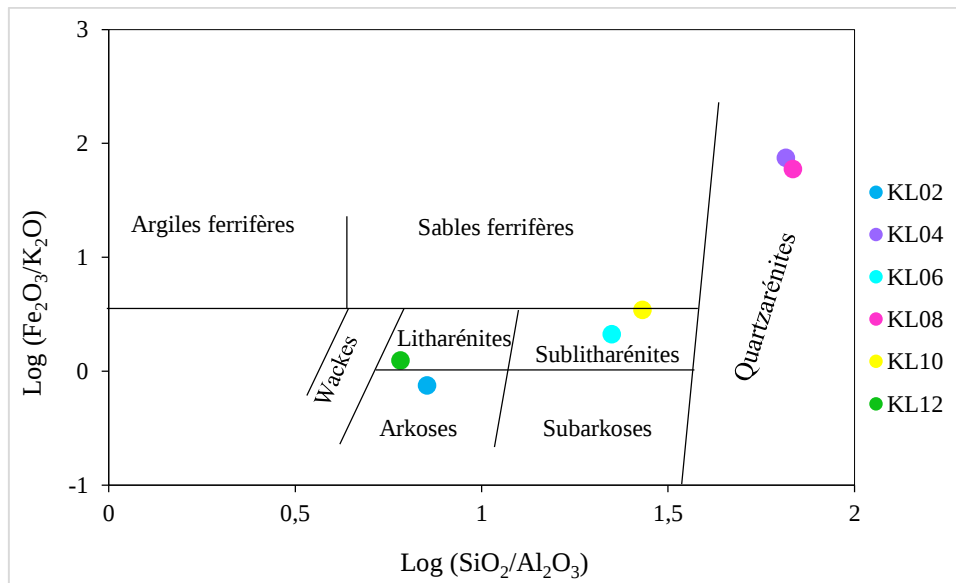


Figure 18 : Diagramme de classification des sédiments de la Lokoundjé (Herron, 1998)

IV.3. DEGRE D'ALTERATION DES ROCHES SOURCES ET MATURITE DES SEDIMENTS

Les résultats obtenus sur les sédiments étudiés montrent que les valeurs de CIA varient entre 59,05 et 90,91 % et celles de PIA varient entre 64,26 et 92,48 %. Ces valeurs montrent que les sédiments de la Lokoundjé ont subis une altération chimique modérée à intense à partir des roches sources. Ceci s'explique par le fait que cette altération, dû à la présence des minéraux ferromagnésiens et des minéraux felsiques conduit à la formation des minéraux argileux comme : la Kaolinite, l'illite, la smectite et la gibbsite. Ces résultats sont similaires aux résultats des travaux de Ndjigui et al. (2018) menés sur les argiles alluvionnaires de la Lokoundjé et ceux de Ngueutchoua et al. (2019) sur les sédiments du bassin de Mamfé.

La valeur moyenne du rapport Th/U est de 5,12 (Tableau11). Ce rapport Th/U > 4 indique une intense altération des sédiments étudiés à partir des roches sources (McLennan *et al.*, 1993). Cette valeur ne correspond pas à la moyenne obtenue par Ambassa (2020) qui montre une altération moyenne des sédiments suivi d'un recyclage moyen. Le diagramme ternaire Al_2O_3 -($Na_2O + CaO^*$) - K_2O ou A-CN-K (Nesbitt et Young, 1982) [Figure 19], montre un regroupement des échantillons de sédiments de la Lokoundjé dans la partie supérieure du diagramme au-dessus de la ligne de feldspaths et plagioclases près de la biotite, de la muscovite et d'illite. La présence de l'illite suggère que les roches ignées auraient subi une altération chimique modérée, et la présence de la kaolinite suggère que les feldspaths et les micas (biotite) auraient subi une altération chimique intense. Les sédiments de Batoké sud et nord se situent à proximité du champ de la kaolinite et la smectite (Kwewouo, 2018 ; Kankeu, 2019), montrant

une altération chimique intense de leurs roches sources. Les sédiments de Campo et de Yoyo révèlent le même résultat (Tsanga, 2020., Ambassa, 2020). Les travaux menés par Tsanga (2020) et Ambassa (2020), révèlent les mêmes résultats sur les sédiments de campo et yoyo dans le sud du cameroun.

Les sédiments étudiés ont un ICV moyen de 1,74 (Tableau 9) et sont par conséquent mature. Cette maturité serait dû à l'altération modérée à intense des feldspaths et aux valeurs obtenues sur les différents indices d'altération. De même, en exploitant les données de l'ICV en fonction de CIA dans le diagramme des sédiments de Nesbitt et Young (1984) ; Cox et al. (1995), les échantillons plotent dans le domaine des sédiments matures et par conséquent sont modérément à intensément altérés (Figure 20). Ce qui corrobore aux sédiments de Campo (Tsanga 2020). Les sédiments de Batoké secteur sud sont immatures pour la plupart par conséquent, ils sont intensément altérés (Kwewouo, 2018). Ce caractère s'observe également sur les sédiments de Jhumara, Jhuran et Bhuj (Chaudhuri *et al.* 2020).

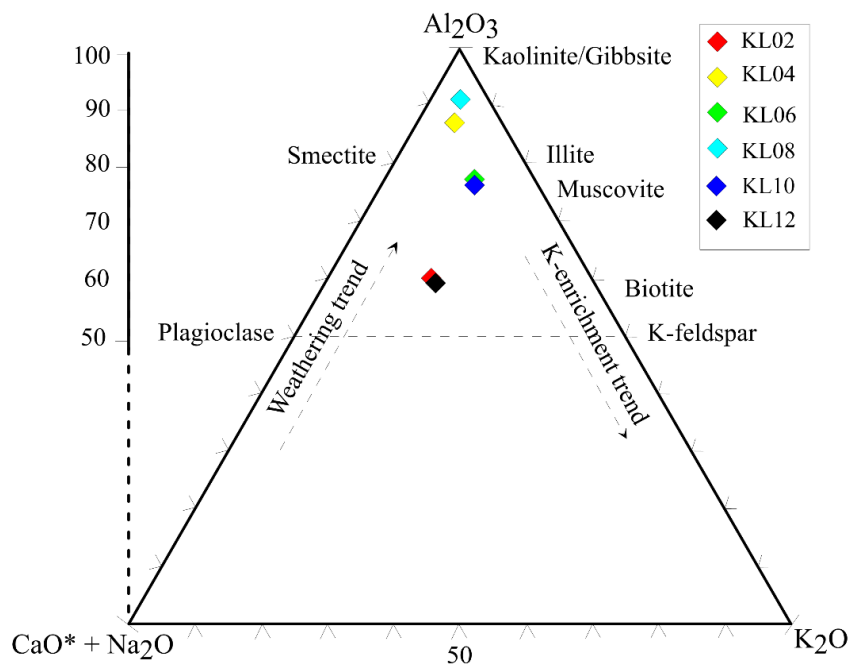


Figure 19: Diagramme de type A-CN-K des sédiments de la Lokoundjé (Nesbitt et Young, 1982)

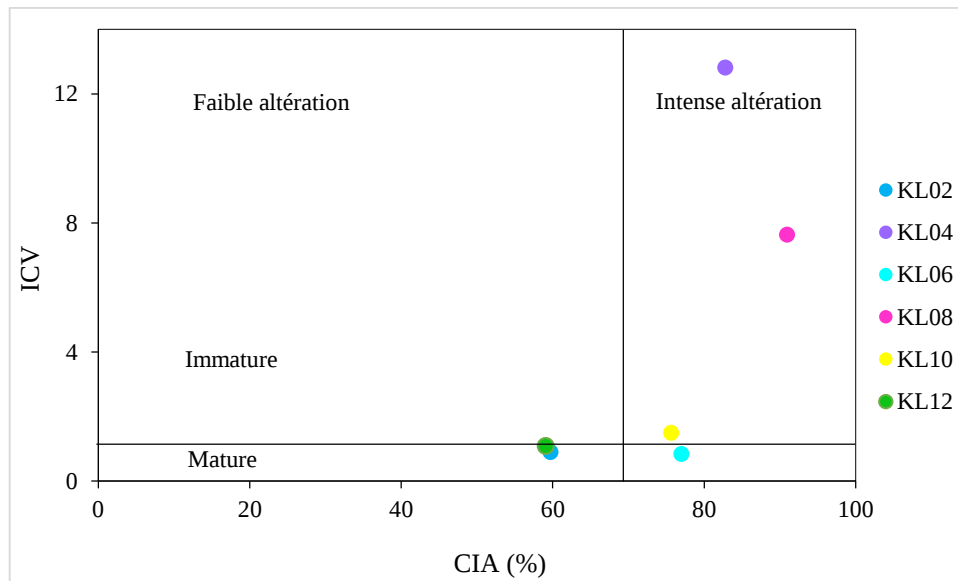


Figure 20: Diagramme de maturité des sédiments ICV vs CIA (Nesbitt et Young, 1984 ; Cox et al., 1995)

IV.4. PROVENANCE

Le diagramme Zr/TiO₂ (Figure 21) est utilisé pour déterminer le caractère chimique de la roche source (Hayashi *et al.*, 1997). Ce diagramme montre que la majeure partie des échantillons sont signalés dans le domaine des roches ignées felsiques. Les sédiments étudiés sont moins représentés dans le domaine des roches ignées intermédiaires. Ce qui suggère une provenance des sédiments liées à la déségrégation physique ou chimique des roches felsiques et de quelques intrusions des roches intermédiaires. Ces résultats sont différents de ceux de Kwewouo (2018) ; Kankeu (2019) ; Njike Njome (2019) qui ont pour provenance les roches mafique et de (Tsanga 2022) sur les sables de Batoké Camp et Campo.

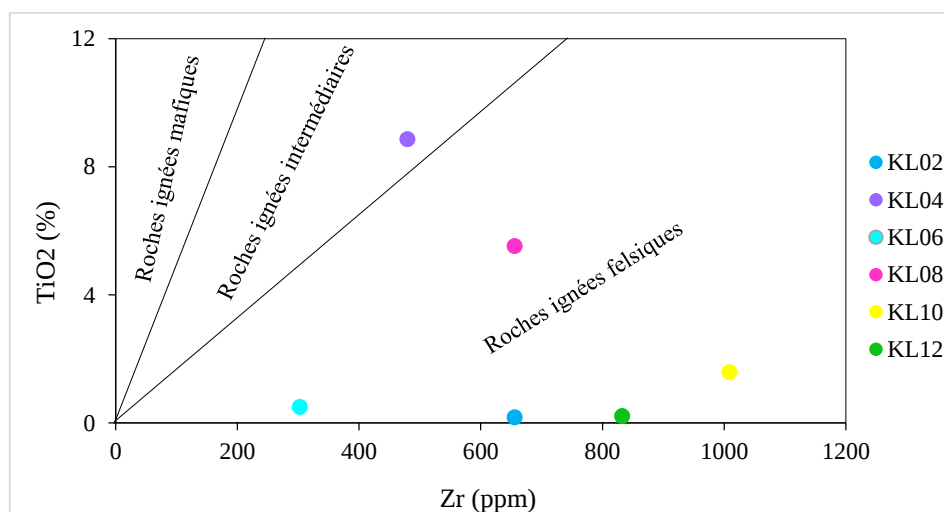


Figure 21 : Diagramme bivarié Zr en fonction de TiO₂ (Hayashi et al., 1997).

IV.5. 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 22. Ces auteurs repartissent ce diagramme en trois zones : une zone de marge passive (PM), une zone de marge continentale active (ACM), et une zone arc océanique (ARC). L'approche géochimique utilisée pour l'interprétation de l'environnement tectonique est celui du rapport K_2O/Na_2O et celles de SiO_2 intégré dans le diagramme de discrimination de Roser et Korsch (1986). Les échantillons KL02, KL04, KL06, KL08, KL10 et KL12 tombent dans le domaine de marge continentale passive. Ces contextes sont probablement liés à l'évolution tectonique des roches sources favorisant la mise en place de ces sédiments (Ngueutchoua et al., 2019).

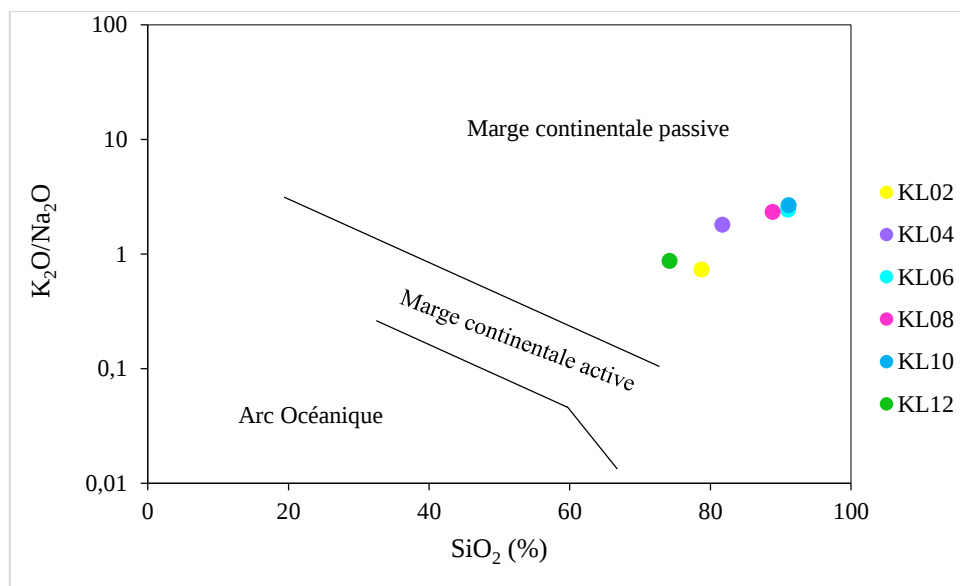


Figure 22: Diagramme tectonique des sédiments de la Lokoundjé (Roser et Korsch 1986)

CONCLUSION

Les sédiments du cours d'eau Lokoundjé sont homogènes, bien triés, modérément à mal classés et évoluent vers les éléments fins. Ces alluvions ont subi un transport fluvial en milieu plus ou moins agité et à forte énergie correspondant à un dépôt favorisé par des courants irréguliers et sont mélangés de sédiments de diverses provenances. Le diagramme de Herron montre que les alluvions de la Lokoundjé sont réparties dans les domaines de sables ferrifères, litharénites, arkoses, sublitharénites et quartzarénites. Les sédiments étudiés sont plus représentés dans le domaine des roches ignées felsiques et suggèrent une provenance des sédiments liées à la déségrégation physique ou chimique des roches felsiques. Ce sont des sédiments matures et leur environnement tectonique est celui des marges passives.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE

La présente étude a permis de caractériser la pétrologie et la géochimie des alluvions du cours inférieur de la rivière Lokoundjé. Les différentes analyses effectuées ont permis de mettre en évidence l'agent de transport des alluvions de la Lokoundjé, leurs conditions de dépôt, leur degré d'altération, leur maturité, leur provenance et la composition de la roche source. L'analyse granulométrique montre que les sédiments de la Lokoundjé sont majoritairement constitués des sables à granulométrie mal classées, bien triées et asymétriques vers les éléments fins. La composition minéralogique en lame mince montre une abondance de minéraux opaques, de chloritoïde, d'anatase du grenat, de disthène, de sillimanite, d'hypersthène, de diopside et rutile qui confirment une contribution des roches magmatiques et métamorphiques. La signature minéralogique a montré la présence de minéraux secondaires tels que la kaolinite, la gibbsite, l'illite, l'hématite et la goethite. Elle révèle également la présence des minéraux primaires comme le quartz, les feldspaths, la muscovite et le rutile. Sur le plan géochimique, les sédiments alluvionnaires de la Lokoundjé ont subi une altération modérée à intense et seraient issus d'une roche felsique. Ils sont classés dans le domaine de quartzarénite, sublitharénite, litharénite, arkose et sable ferrifère. Ces sédiments sont matures et leur environnement tectonique serait lié aux marges passives.

PERSPECTIVES

Ce travail a permis d'étudier les alluvions du cours d'eau Lokoundjé par leurs caractéristiques pétrographiques et géochimiques. Dans le but d'approfondir cette étude il serait judicieux de :

- faire une reconstitution paléoenvironnementale dans tout le secteur de la zone d'étude ;
- analyser les sédiments et roches hors de la zone d'étude ;
- Faire des datations isotopiques dans cette localité et les comparer avec ceux des roches environnantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adiotomre, E. E., Ejeh, I. O., Adaikpoh, E. O., 2017.** Geochemistry of Fluvial Sediments from Geregu, Southwest Nigeria. *Materials and Geoenvironment*, 64, 35-52.
- Ambassa Bela, V., 2020.** Pétrographie et géochimie des sédiments Côtiers de Yoyo, Sud-ouest du Cameroun. Mémoire de Master, Département des Sciences de la Terre Université de Yaoundé I, 107p.
- Arhin, E., Nude, P.M., 2009.** Overbank sediments as appropriate geochemical sample media in regional stream sediment surveys for gold exploration in the savannah regions of northern Ghana. *Journal of Geochemical Exploration* 103, 50–56.
- Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., Garcia, D., Eby, G.N., Cruz-Ortiz, N.L., 2012.** Geochemistry of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico: implication for provenance. *Geochemistry*, 72, 345-362.
- Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J. J., Trejo-Ramírez, E., 2017.** Mineralogy and geochemistry of sands along the Manzanillo and El Carrizal beach areas, southern Mexico: implications for palaeoweathering, provenance and tectonic setting. *Geological Journal*, 52, 559-582.
- Armstrong-Altrin, J.S., Ramos-Vazquez, M.A., Zavala-Leon, A.C., MontielGarcía, P.C., 2018.** Provenance discrimination between Atasta and Alvarado beach sands, western Gulf of Mexico, Mexico: constraints from detrital zircon chemistry and U-Pb, geochronology. *Geological Journal* 53 (6), 2824-2848.
- Armstrong-Altrin, J.S., 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.
- Bagnouls, F., 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(1), 44-56.
- Bantan, R.A., Ghandour, I.M., Al-Zubieri, A.G., 2020.** Mineralogical and geochemical composition of the subsurface sediments at the mouth of Wadi Al-Hamd, Red Sea coast, Saudi Arabia: implication for provenance and climate. *Environmental Earth Sciences*, 57, 1-20.

- Bassanak Ongboye, P.R., Sababa, E., Ndong Bidzang, F., Ndjigui, P-D., 2019.** Geochemical characterization of surface sediments from Tongo gandima (Eastern Cameroon): implications for gold exploration. *Arab. J. Geosci.* [https://doi.org/ 10.1007/s1257-019-4812-3](https://doi.org/10.1007/s1257-019-4812-3).
- Bhuiyan, M.A.H., Rahman, M.J.J., Dampare, S.B., Suzuki, S., 2011.** Provenance, tectonics and source weathering of modern fluvial sediments of the BrahmaputraJamuna River, Bangladesh: influence from geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration* 111, 113-137.
- Braun, J-J., Ndam Ngoupayou, J.R., Viers, J., Dupre, B., Bedimo Bedimo, J-P., Boeglin, J-L., Robain, H., Nyeck, B., Freydier, R., Sigha Nkamdjou, L., Rouiller, J., Muller, J.-P., 2005.** Present weathering rates in a humid tropical watershed: nsimi, South Cameroon. *Geochimica Cosmochimica Acta* 69, 357-387.
- Carranza-Edwards, A., Kasper-Zubillaga, J.J., Rosales-Hoz, L., Morales-de la Garza, E. A., Lozano-Santa Cruz, R., 2018.** Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26, 433-447.
- 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 (2), 433-447.
- Chaudhuri, A., Santanu, B., Gaurav, C., 2020.** Compositional evolution of siliciclastic sediments recording the tectonic stability of a pericratonic rift: Mesozoic Kutch Basin, western India. *Marine and Petroleum Geology*, 111, 476-495.
- 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. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 59, 2919-2940.
- Cullers R.L, Basu A, Suttner L.J., 1988.** Geochemical signature of provenance in sand-mixed material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, U.S.A. *Chemical Geology* 70:335–348.
- Duplaix, S., 1958.** Détermination microscopique des minéraux des sables, 2e édition révisée, Librairie polytechnique ch. Béranger, Paris et Liège., 96 p.
- Ekoka Bessa, A.Z., Ngueutchoua, G., Ndjigui, P.D., 2018.** Mineralogy and geochemistry of sediments from Simbock Lake, Yaound´e area (southern Cameroon): provenance and environmental implications. *Arabian Journal of Geosciences* 11 (22), 710.
- Ekoka, B.A.Z., Ngueutchoua, G., Ekomane, E., Bissé, S.B., Bokanda, E. E., Chougong, D., Kam, J.A., Tessontsap, T., 2020.** Provenance and weathering conditions of the

Moloundou swamp sediments, southeast Cameroon: Evidence from mineralogy and geochemistry. *Solid Earth Sciences*, 30, 30.

- Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., Adabi, M.H., Sadeghi, A., Houshmandzadeh, A., 2015.** Provenance of neoproterozoic sedimentary basement of northern Iran, kahar formation. *Journal of African Earth Sciences* 111, 54–75.
- 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* (23), 921-924p.
- Ganno, S., Njiosseu, Tanko, E.L., Kouankap, Nono, G.D., Djoukouro, Soh, A., Moudio, C., Ngnotué, T., Nzenti, J.P., 2017.** A mixed seawater and hydrothermal origin of superior-type banded iron formation (BIF)- hosted Kouambo iron deposit, Palaeoproterozoic Nyong series, Southwestern Cameroon: constraints from petrography and geochemistry. *Ore Geol Rev* 80:860–875.
- Garzanti, E., Vezzoli, G., Ando, S., Paparella, P., Clift, P., 2005.** Petrology of Indus river sands: a key to interpret erosion history of the western Himalayan Syntaxis. *Earth Planet Sciences Lett.* 229, 287–302.
- Gombou Gbanam R.M., 2023.** Caractérisation sédimentologique et géotechnique des sédiments alluvionnaires de la Sanaga à Mbébè/Kikot. Mémoire de Master Département des Sciences de la Terre à l'Université de Yaoundé I, 96p.
- Hayashi K.I, Fujisawa H, Holland H.D, Ohmoto H ., 1997.** Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica and Cosmochimica Acta* 61:4115–4137
- Herron, M. M., 1988.** Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58, 820-829.
- Hossain, S.M.D., Jorn, H.K., 2014.** Fracture patterns and fragment size distributions as indicators of shock-related brittle deformation, 25p.
- Kamber, B.S., Greig, A., Collerson, K.D., 2005.** A new estimate for the composition of weathered young upper continental crust from alluvial sediments, Queensland, Australia, *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 69, 1041-1058.
- 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 Département des Sciences de la terre. Université de Yaoundé I, 94p.
- Kwewouo, J.A., 2018.** Pétrologie des Sables littoraux de la localité de Batoké Camp secteur Sud Limbé Sud-Ouest Cameroun. Mémoire de Master Département des Sciences de la terre. Université de Yaoundé I, 83p.

- Lerouge, C., Cocherie, A., Toteu, S.F., Penaye, J., Milési, J-P.; Tchameni, R., Nsifa, E.N., Fanning, C.M., Deloule, E.** Shrimp U-Pb zircon age evidence for Paleoproterozoic sedimentation and 2.05 Ga syntectonic plutonism in the Nyong Group, South-Western Cameroon: Consequences for the Eburnean-Transamazonian belt of NE Brazil and Central Africa. *Journal of African Earth Sciences*. 2006, 44, 413–427.
- Lesven, L., Gao, Y., Billon, G., Leermakers, M., Ouddane, B., Fischer, J.C., & Baeyens, W., 2008.** Early diagenetic processes aspects controlling the mobility of dissolved trace metals in three riverine sediment columns. *Science of the total environment*, 407, 447-459.
- Letouzey, R., 1958.** Etude phytogéographique du Cameroun. Ed. Paul Lechatelier, Paris, 511p
- Madhavaraju, J., S.P. Rajendra, Y.I. Lee, E.R. Montoya, S. Ramasamy, and R.F. SantaCruz., 2020.** Mineralogy and geochemistry of clastic sediments of the Terani Formation, Cauvery Basin, southern India: Implications for paleoweathering, provenance and tectonic setting. *Geosciences Journal* 24 (6): 651–667.
<https://doi.org/10.1007/s12303-019-0047-2>.
- Mathieu, C., Pieltain, F., 1998.** Physical analysis of soil. Masson, 274p.
- Mbale Ngama, E., Sababa, E., Bayiga, E.C., Ekoa Bessa, A.Z., Ndjigui, P.D., Bilong, P., 2019.** Mineralogical and geochemical characterization of the unconsolidated sands from the Mefou River terrace, Yaounde area, Southern Cameroon. *Journal of African Earth Sciences*. 159, 103570.
- McDonough, W.F., Sun, S., 1995.** The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 120, 223-253.
- McDonough, W.F., Sun, S., 1995.** The composition of the Earth. *Chemical Geology*. 120, 223-253p.
- McLennan, S.E., 1993.** Evolution of the Earth's surface. *Journal Geology*. 101 (2), 295-303.
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993.** Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. Special paper, 284. *Geological Society of America*, 21–40.
- Moore, D.M., Reynolds Jr., R.C., 1989.** X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. *Oxford University Press, Oxford*, pp. 179-201.
- 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.

- Nanga Bineli, M.T., Onana, V.L., Noa Tang, S.D., Bikoy, Y.R., Ekodeck, G.E., 2020.** Mineralogy and geochemistry of sands of the lower course of the Sanaga River, Cameroon: implications for weathering, provenance, and tectonic setting. *Acta Geochimica*. <https://doi.org/10.1007/s11631-020-00437-z>
- Ndjeng, E., 1978.** Etude sédimentologiques de niveaux à galets et à sables au Sud de l'Adamaoua -Thèse 3^{ème} cycle – Université de Dijon (France), 115p.
- Ndjeng, E., 1978.** Etude sédimentologique des niveaux des galets à sable au sud de l'Adamaoua (Cameroun). Thèse de 3^{ème} cycle Université de Dijon, France, 115p.
- Ndjigui, P.D., Beauvais, A., Fadil-Djenabou, S., Ambrosi J.P., 2014.** Origin and evolution of Ngaye River alluvial sediments, Northern Cameroon: geochemical constraints. *Journal of African Earth Sciences* 100, 164-178
- Ndjigui, P.D., Badinane, M.F.B.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 of African Earth Sciences*. 79: 125–142.
- Ndjigui, P.D., Bayiga, E.C., Onana, V.L., Djenabou-Fadil, S., Assomo Ngono, G.S., 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 African Earth Sciences*. 150. pp, 136-157.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1982.** Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299:715–717.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1984.** Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 48, 1523-1534.
- Nesbitt, H., Young, G.M., 1982.** Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299, 715-717.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1984.** Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *GeochimCosmochimActa* 48, 1523-1534.
- Ngueutchoua, G., Eyong, J.T., Bessa, A.Z.E., Agheenwi, Z.B.A., Maschouer, A.E., Kemteu, C.S., Nguemo, G.R.K., 2019.** Provenance and depositional history of

- Mesozoic sediments from the Mamfe basin and Douala sub-basin (SW Cameroon) unraveled by geochemical analysis. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103-550.
- Njike Njome, M., 2019.** Minéralogie et géochimie des sables littoraux de la localité de Batoké Mile 8, Limbé Sud-Ouest Cameroun. Mémoire de Master, Département des Sciences de la Terre, Université de Yaoundé I, 76p.
- Ntamak-Nida, M.J., Baudin, F., Schnyder, J., Makong, J.-C., Komguem, P.B., Abolo, G.M., 2008.** Depositional environments and characterization of the organic matter of the Lower Mundek Formation (Barremian-Aptian) of the Kribi Campo sub-basin (South Cameroon): implications for petroleum exploration. *Journal of African Earth Sciences*. 51, 207-219.
- Nyobe, J.M., Sababa E., Bayiga, E.C., Ndjigui, P-D., 2018.** Mineralogical and geochemical features of alluvial sediments from the Lobo watershed (Southern Cameroon): implications for rutile exploration. *C.R. Geoscience*. 350, 119–129.
- Parfenoff, A., Pomerol, C., Tourenq, J., 1970.** Minerals in grains: methods of study and determination. *Masson and Cie, Edition, Paris*, 571.
- Pellaray, H., 1984.** Fleuves et rivières du Cameroun, Institut de Recherche scientifiques du Cameroun (O.R.S.T.O.M.). 32p.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1987.** Sand and sandstones. *Springer, New York*, 553p.
- Pomerol, C., Feugueur, L., 1968.** Bassin de Paris: *Ile-de-France, Masson*, 415p.
- Potter, P.E., 1978.** Petrology and chemistry of modern big river sands. *The Journal of Geology*, 86, 423-449.
- Pouclet, A., Tchameni, R., Mezger, K., Vidal, M., Nsifa, N.E., Shang, C.K., 2007.** Archaean crustal accretion at the northern border of the Congo craton (South Cameroon), the charnockite-TTG link. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 178, 331–342.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1986.** Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using content and ratio. *Journal of Geology*. 94 (5), 635-650. Roser, B.P., Korsch, R.J., 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology* 67 (1-2), 119-139.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1986.** Determination of tectonic setting of sandstonemudstone suites using content and ratio. *Journal of Geology* 94 (5), 635-650.

- Schneider, S., Hornung, J., Hinderer, M., Garzanti, E., 2015.** Petrography and geochemistry of modern river sediments in an equatorial environment (Rwenzori Mountains and Albertine rift, Uganda)—implications for weathering and provenance. *Sediment Geology* 336, 106–119.
- Selvaraj, K., Chen, C-TA., 2006.** Moderate chemical weathering of subtropical Taiwan: constraints from solid-phase geochemistry of sediments and sedimentary rocks. *Journal of Geology*. 114, 101-116.
- Shang, C.K, Satir, M., Siebel, W., Nsifa, E.N., Taubald, H., Liégeois, J-P., Tchoua FM., 2004.** TTG magmatism in the Congo craton; a view from major and trace element geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematics: case of the Sangmelima region, Ntem complex, southern Cameroon. *Journal of African Earth Sciences* 40, 61–79
- Silva, M.M.V.V., Pinto, M.M.S.C., Carvalho, P.C.S., 2016.** Major, trace and REE geochemistry of recent sediments from lower Catumbela River (Angola). *Journal of African Earth Sciences*. 115, 203-217.
- Singh, P., 2009.** Major, trace and REE geochemistry of the Ganga River sediments: influence of provenance and sedimentary processes. *Chem Geol* 266:242–255.
- Tawfik, H.A., Salah, M.K., Maejima, W., Armstrong-Altrin, J.S., AbdelHameed, A.M.T., El Ghandour, M.M., 2018.** Petrography and geochemistry of the lower miocene moghra sandstones, Qattara depression, north western desert, Egypt. *Geol. J.* 53 (5), 1938-1953.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985.** The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford 312p
- Tsanga, D. A., 2020.** Pétrographie et géochimie des sédiments littoraux de la localité de Campo, Sud-Ouest Cameroun. Mémoire de Master Département des Sciences de la terre, Université de Yaoundé I, 83p.
- Welba, 2022.** Caractérisation physique des matériaux alluvionnaires de la rivière djel à pan-Makak (Bot-Makak). Mémoire de Master, Département des Sciences de la Terre Université de Yaoundé 1, 67p.
- Wentworth, C. K., 1992.** A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The journal*
- Yu, L., Zou, S., Cai, J., Xu, D., Zou, F., Wang, Z., Wu, C., Liu, M., 2016.** Geochemical and Nd isotopic constraints on provenance and depositional setting of the Shihuiding Formation in the Shilu Fe-Co-Cu ore district, Hainan Province, South China. *Journal of Asian Earth Sciences* 119: 100–117.