

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

FACULTÉ DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN
SCIENCES TECHNOLOGIES ET
GÉOSCIENCES



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace – Work – Fatherland

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

POST GRADUATE PROGRAMME OF
SCIENCE TECHNOLOGY AND
GEOSCIENCES

UNITE DE RECHERCHE EN GEOSCIENCES ET APPLICATIONS
RESEARCH UNIT FOR GEOSCIENCES AND APPLICATIONS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES

LABORATOIRE DE GEOSCIENCES DES FORMATIONS SUPERFICIELLES
LABORATORY OF GEOSCIENCES OF SUPERFICIAL FORMATIONS

**ETUDE TECTONO-SEDIMENTAIRE ET
GEOCHIMIQUE DE LA PARTIE OUEST DU BASSIN
SEDIMENTAIRE DU MAYO-OULO-LERE AU NORD
CAMEROUN (FOSSE DE LA BENOUE)**

MEMOIRE

De Master en Sciences de la Terre et de l'Univers soutenu publiquement
le 13 Décembre 2024.

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

Rédigé Par

ADAMOU Olivier
Licence es-Sciences

Matricule : 17H2308



Président du Jury

YENE ATANGANA Joseph
Quentin
Professeur

Membre

MBESSE Cécile Olive
Maître de conférences

Rapporteur

NTSAMA ATANGANA
Jacqueline
Chargée de Cours

Année Académique 2021 -2022

A

La grande famille ANDJAFFA

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le résultat de plusieurs mois de dur labeur au cours desquels j'ai bénéficié des grâces et de la protection du Dieu tout puissant et je ne peux que le remercier. Parvenu au terme de ce travail, je tiens vivement à remercier de tout cœur :

Dr NTSAMA ATANGANA Jacqueline, mon Directeur de mémoire, pour m'avoir accueilli et proposé ce sujet de recherche, pour sa disponibilité et sa convivialité, pour sa finesse et les conseils qu'elle prodigue à chaque occasion du début des travaux jusqu'à la finition ;

Dr ETOUNDI AKOA Philémon Remi, pour sa disponibilité et son appui technique tout au long des travaux. Ses conseils, orientations et enseignements ont été d'une importance inestimable, qu'il retrouve ici l'expression de toute ma gratitude, mon profond respect et ma considération distinguée ;

Pr NDJIGUI Paul-Désiré, Chef de Département des Sciences de la Terre, ainsi qu'à tous les enseignants et enseignantes du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Yaoundé I, pour leurs enseignements de valeurs et de qualités que j'ai reçus durant tous mon cursus ;

Le Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I, pour m'avoir accepté au sein de son institution, pour ce prestigieux apprentissage ;

Toute ma reconnaissance est exprimée à l'endroit de Monsieur **MOHAMADOU Oumarou**, Sous-préfet de GUIDER pour toutes les dispositions prises pour assurer la sécurité de l'équipe de recherches lors de la descente sur le terrain.

J'exprime également une profonde gratitude à l'endroit des Forces de Défense et de Sécurité du Bataillon d'Intervention Rapide (BIR, l'adjudant-chef **ABBA Boukar**, les Sergents chefs **BACHIROU Diallo**, **LEUKENE**, **KOULAGNA Bienvenu**, **ESSOMBA**, et les soldats de deuxième classe **GADJIDA et ESSOME**) pour l'escorte assurée durant les travaux de terrain.

Je remercie mes aînés du Laboratoire, à savoir messieurs **BAYIHA Isaac Vianney**, **NTSAMA Pierre Firmin Paul**, **BILE Christiani**, et Madame **MAWAI A MOKO Armande**, pour le conseil, la bonne ambiance de travail, la franche collaboration et pour tous les moments agréables passés ensemble.

Ma gratitude est également exprimée à l'endroit de :

Mes camarades de laboratoires, Mesdemoiselles **YANG-KUNG KONO Adorimene Paulette** et **KENMEGNE Jordane Carrelle**, pour leurs assistances et les meilleurs moments passés ensemble ;

Mon père OUANG-NAMOU Andjaffa et de ma mère KELING Jeanne pour leur soutien inconditionnel tant financier que matériel ainsi que leur patience pour l'aboutissement du présent travail ;

Mes camarades NGONO REGENT Lydie Janice, ATEDJOE Fabienne Maeva Georgia, GARBA ALIM Charles, AÏNON Dieudonné Bloutoin, NJIE Edrian JUH, NGONO Euphrasie, KENMOUE Madeleine Ornella, MALOUME MAPOURE Youssouf, MEFIRE INNOUSSA NJOYA pour les meilleurs moments passés durant notre cursus universitaire ;

L'Abbé KIKINA Barthelemy Directeur des œuvres pontificales et missionnaire du Tchad (OPM-Tchad) pour ses soutiens, ses encouragements et prière qui m'ont beaucoup fortifié ;

Mes remerciements particuliers à mon grand frère TOKLOSSO Barthelemy KOUMANDE et son épouse Gloria DODENE ELIE pour leur soutien inconditionnel ;

Mes grandes sœur FEBO Angélique et son époux OWONO Benjamin, SARIBO Bienvenue LISA OUANG et son époux TIANABOU Assane pour leurs soutiens tant moraux que financiers, leurs patiences et leurs conseils. Retrouver ici toute ma reconnaissance et ma gratitude,

Mes frères et sœurs DJAMILLA FREYE Olga, Chantal TOFFE, HADDASSOU HARLEM Désir, ZOULOU Adonis OUANG, Benjamin PEDRO OUANG et BEITO Donatien pour leurs soutiens divers,

Monsieurs SABALA Moise, DLAM Sylvestre KOUMANDE et ALINGUE Jean SAMNGUE pour leur conseil, leurs soutiens indéfectibles durant ce travail ;

Tous les autres membres de ma famille pour leurs soutiens tant moraux que financiers, leur patience et leurs conseils ;

Sachant que toutes les personnes ayant contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail sont plus nombreuses que celles citées ci-dessus, je prie toutes ces bonnes âmes de me pardonner de n'avoir pas pu les mentionner ici et qu'elles trouvent en ces mots ma plus profonde reconnaissance.

LISTE DES ABREVIATIONS

BUCREP : Bureau Central des Recensements et des Études de la Population

Ce/Ce*: Rapport Cérium sur Cérium normalisé

CIA : Chemical Index of Altération

Eu/Eu*: Rapport Europium sur Europium normalisé

Fig: Figure

Gd/Gd*: Rapport Gadolinium sur Gadolinium normalisé

GPS: Global Positioning System

HREE: High Rares Earth Elements

Ia: Indice d'aridité de Martone

ICV: Index of Compositional Variability

JN: Joints Nourris

LOI: Loss of Ignition

LREE: Large Rares Earth Elements

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MREE: Medium Rare Earth Elements

Nd/Yb: Neodyme/Ytterbium

NE : Nord Est

NNE : Nord Nord-Est

NW : Nord-Ouest

PAAS: Post-Archean Average Australian Shale

PIA : Plagioclase Index of Alteration

Pr/Pr*: Rapport Praséodyme sur Praséodyme normalisé

REE : Rares Earth Elements

SE : Sud Est

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

SSW: Sud Sud-Ouest

Tab: Tableau

Th/U: Thorium/Uranium

U/Th: Uranium/Thorium

USGS: United States Geological Survey

V/Cr: Vanadium/Chrome

Y/Ho: Rapport Yttrium sur Holmium

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation du Bassin de Mayo-Oulo-Léré.....	4
Figure 2: Carte morphologique de la zone d'étude	5
Figure 3: Diagramme ombrothermique de la zone d'étude	6
Figure 4: Mise en place du Fossé de la Bénoué par l'ouverture de l'Atlantique Sud	10
Figure 5: Caractéristiques géologiques et structurales	15
Figure 6: Formations de socle.	26
Figure 7: Formations sédimentaires.	27
Figure 8: Colonne lithologique.....	29
Figure 9: Structures Sédimentaires.....	31
Figure 10: Fossiles.....	32
Figure 11: Variation des teneurs en éléments chimiques majeurs	36
Figure 12: Ratios des éléments traces.	36
Figure 13: Variations des REE dans la zone d'étude.	39
Figure 14: Caractéristiques structurales des joints.	41
Figure 15: Caractéristiques structurales des objets de la déformation	42

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Variation mensuelle de températures et de pluviométrie dans la zone d'étude	6
Tableau 2: Détermination du type de climat	7
Tableau 3: Valeurs et illustration des moyennes de l'index de contrainte R' et le ratio de contraintes R.....	22
Tableau 4: Anomalies des terres rares et ratios des éléments traces et leurs interprétations ..	23
Tableau 5: Éléments majeurs en pourcentage des oxydes.	35
Tableau 6: Éléments traces.....	37
Tableau 7: Éléments terres rares	40
Tableau 8: Caractéristiques des plans de joints nourris et paléocontraintes.	43

TABLE DE MATIERES

DEDICACE.....	Erreur ! Signet non défini.
REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
TABLE DE MATIERES	viii
RESUME.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE.....	3
I.1 CADRE GÉOGRAPHIQUE.....	3
I.1.1 Localisation géographique et administrative de la zone d'étude	3
I.1.2 Orographie.....	4
I.1.3 Climat	5
I.1.4 Hydrographie.....	7
I.1.5 Sols	7
I.1.6 Végétation et Faune.....	7
I.1.7 Population et Activités Socio-économique	8
I.2 CADRE GÉOLOGIQUE	9
I.2.1 Fossé de la Bénoué.....	9
I.2.2 Sédimentation.....	9
I.2.3 Évolution chronologique	9
I.2.4 Évolution paléogéographique.....	11
I.2.5 Origine du Bassin Sédimentaire de Babouri-Figuil et du Mayo-Oulo-Léré	13
I.2.6 Formations rocheuses.....	14
I.2.6.1 Formations du socle	14
I.2.6.2 Formations sédimentaires.....	14
CHAPITRE II : METHODOLOGIE	19
II.1 DONNEES	19
II.2 OUTILS.....	19
II.3 METHODES.....	20
CHAPITRE III : RESULTATS	26

III.1 ETUDE PÉTROGRAPHIQUE.....	26
III.1.1 Formations de socle	26
III.1.2 Formations sédimentaires	25
III.1.2.2 Variations verticales et latérales des faciès.....	27
III.1.2.3 Structures sédimentaires	30
III.1.2.4 Fossiles.....	31
III.2 ANALYSE GÉOCHIMIQUE.....	33
III.2.1 Éléments majeurs.....	34
III.2.2 Éléments traces	36
III.2.3 Terres rares	37
III.3 ANALYSE STRUCTURALE	40
III.3.1 Structure de la déformation cassante	40
III.3.2 Caractéristiques des paléocontraintes	42
III.3.3 Régime tectonique	43
CHAPITRE IV : INTERPRETATION ET DISCUSSION.....	46
IV.1. ENVIRONNEMENTS DE DÉPÔTS SEDIMENTAIRES.....	46
IV.2. ORIENTATIONS DES OBJETS DE LA DÉFORMATION	48
IV.3. RÉGIMES TECTONIQUES	49
CONCLUSION GENERALE	51
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	52

RESUME

L'identification d'un paléoenvironnement de dépôt sédimentaire est efficacement matérialisée par les données de terrain et celles des analyses géochimiques réalisées en laboratoire. La dynamique post-sédimentaire est mise en évidence par une analyse des objets de la déformation affectant les roches. Le Bassin Sédimentaire du Mayo Oulo au Nord-Cameroun dispose des formations sédimentaires d'âge Crétacé inférieur. Elles présentent des structures de la déformation cassante, multidirectionnelles dont les régimes tectoniques de leur mise en place restent inconnus. Le travail de ce mémoire consiste à effectuer une réévaluation des paléoenvironnements de dépôts sédimentaires dans le bassin et de contraindre les régimes tectoniques responsables des structures de la déformation. Cette étude a principalement reposé sur les méthodes d'analyse sédimentologique, structurale sur le terrain, et ainsi que l'analyse géochimique au laboratoire. Le bassin présente les argilites et les siltites. Elles présentent les laminations parallèles, les fentes de dessiccation, les figures d'impacts et les surfaces durcies. Leur continu fossilifère est riche en reptiliens, arêtes de poisson, des traces de feuilles de plantes et des restes de branches de plante. Ces fossiles mettent en évidence un environnement continental aqueux. Les analyses géochimiques révèlent que les pertes au feu sont comprises entre 11,6 et 15,2%. Le ratio Th/U (2,61- 7,06) > 2 , montre un milieu continental. Les ratios U/Th (0,14 -0,37) $< 0,65$; Ni/Co (1,66 et 2,11) < 5 et V/Cr (1,24 et 1,52) < 2 montrent que le milieu de dépôt est oxique. Les ratios (Nd/Yb , Pr/Yb et Sm/Yb) < 1 , pour 5 échantillons sur 8, montrent que le milieu est riche en éléments terres rares lourdes (HREE) par rapport aux éléments terres rares moyennes (MREE) et en éléments terres rares légères (LREE). Les ratios Y/Ho (23,14-28,65) < 45 et Ce/Ce^* (1,09-1,15) $> 0,95$ définissent un environnement fluvial. Les ratios $\text{Pr/Pr}^* > 1,05$ et $\text{Gd/Gd}^* > 1$ démontrent la faible action du milieu marin dans le milieu continental. L'environnement de dépôt est fluvio-lacustre avec ou absence d'une faible l'influence marine. Les joints présentent les orientations WNW-ESE, E-W, NNE-SSW et N-S. les contraintes principales maximales sont orientées N-S, NNW-SSE, NW-SE et ENE-WSW. Elles montrent des plongements proches de 90° (67-82°). Les contraintes principales minimales sont orientées N-S, NNE-SSW, ENE-WSW et E-W. Elles sont sub-horizontales (5-27°). Ces caractéristiques montrent que la contrainte principale maximale est verticale, l'extension se produit suivant les orientations N-S, NNE-SSW et ENE-WSW. $R = R'$ (0,03-0,23) montre une extension radiale tandis que $R = R'$ (0,26-0,43) définissent une extension pure.

Mots clés : Bassin du Mayo Oulo, Paléoenvironnement, régimes tectoniques, paléocontraintes

ABSTRACT

The identification of a sedimentary paleoenvironment is effectively materialized by field data and geochemical analyses carried out in the laboratory. Post-sedimentary dynamics are highlighted by analysis of the deformation objects affecting the rocks. The Mayo Oulo Sedimentary Basin in North Cameroon has sedimentary formations of Lower Cretaceous age. They feature brittle, multidirectional deformation structures, the tectonic regimes of which remain unknown. The aim of this thesis is to reassess the paleoenvironments of sedimentary deposition in the basin and to constrain the tectonic regimes responsible for the deformation structures. This study relied primarily on sedimentological and structural analysis methods in the field, as well as geochemical analysis in the laboratory. The basin features argillites and siltstones. They feature parallel laminations, desiccation cracks, impact figures and hardened surfaces. Their fossiliferous continuum is rich in reptilians, fish bones, traces of plant leaves and remains of plant branches. These fossils reveal an aqueous continental environment. Geochemical analyses reveal losses on ignition of between 11.6% and 15.2%. The Th/U ratio (2.61- 7.06) >2 , indicates a continental environment. U/Th ratios (0.14 -0.37) < 0.65 ; Ni/Co (1.66 and 2.11) < 5 and V/Cr (1.24 and 1.52) < 2 show that the deposition environment is oxic. Ratios (Nd/Yb, Pr/Yb and Sm/Yb) < 1 , for 5 out of 8 samples, show that the medium is rich in heavy rare earth elements (HREE) compared to medium rare earth elements (MREE) and light rare earth elements (LREE). Y/Ho (23.14-28.65) < 45 and Ce/Ce* (1.09-1.15) > 0.95 ratios define a fluvial environment. The ratios Pr/Pr* > 1.05 and Gd/Gd* > 1 demonstrate the weak action of the marine environment in the continental environment. The depositional environment is fluvio-lacustrine with or without a weak marine influence. Joints are oriented WNW-ESE, E-W, NNE-SSW and N-S. Maximum principal stresses are oriented N-S, NNW-SSE, NW-SE and ENE-WSW. They show dips close to 90° ($67-82^\circ$). Minimum principal stresses are oriented N-S, NNE-SSW, ENE-WSW and E-W. They are sub-horizontal ($5-27^\circ$). These features show that the maximum principal stress is vertical, with extension occurring along N-S, NNE-SSW and ENE-WSW orientations. $R = R'$ (0.03-0.23) show radial extension, while $R = R'$ (0.26-0.43) define pure extension.

Keywords: Mayo Oulo Basin, Paleoenvironment, tectonic regimes, paleoconstraints

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les réactivations des grandes structures tectoniques, situées dans une zone d'étude où à proximité, favorisent la mise en place des microstructures tectoniques. Elles sont visibles sur les fabriques rocheuses (Waldron, 2004) et peuvent servir d'outils pour la restitution des orientations des paléocontraintes et des régimes tectoniques. Le Bassin Sédimentaire du Mayo Oulo, logé dans la Branche E-W Yola du Fossé de la Bénoué présente plusieurs des joints entrecoupés, multidirectionnels qui affectent les formations sédimentaires. Elles forment une structure plissée recouvrant une structure en graben (Benkhelil, 1988 ; Guiraud et Maurin, 1991). Ce Fossé appartient au bras NE-SW du Point Triple de la Bénoué. Il est également traversé par la faille NNE-SSW du Mayo Louti et la Ligne Volcanique du Cameroun. Ces quatre (04) grandes structures tectoniques ont été réactivées à travers le temps. De ce qui précède, quelles sont les orientations des contraintes responsables de ces objets de la déformation, ainsi que les régimes tectoniques associés? Le travail de ce mémoire consiste à restaurer la dynamique syn- et post sédimentaire dans le Bassin du Mayo Oulo. Il s'agira de (i) réévaluer le paléoenvironnement de dépôt et de (ii) restaurer les orientations des paléocontraintes des déformations et les régimes tectoniques associés. Deux principales méthodes ont été indispensables, la méthode d'analyse sédimentologique, couplées aux analyses géochimiques et la méthode d'analyse structurale descriptive et analytique. L'analyse sédimentologique associée aux analyses géochimiques s'est avérée efficace comme outils de restitution des paléoenvironnements de dépôts dans les Bassins de Mamfé et la Formation d'Ombela N'Kopo, au Cameroun et en République Centrafricaine (Bokanda et al., 2018 ; Toyama et al., 2019). La méthode d'analyse structurale descriptive et analytique par l'emploi des données de terrain, la technique du dièdre aigu et l'application win-tensor (Delvaux et Barth, 2009 ; Mazzarini et al., 2019) a été très efficace pour la restitution des paléocontraintes de déformation et des régimes tectoniques dans le Bassin de Garoua au Nord Cameroun (Etoundi et al., 2021). En plus de l'introduction générale et la conclusion, le présent travail est structuré en quatre (04) chapitres à savoir :

- Le chapitre I, qui présente le cadre géographique et géologique ;
- Le chapitre II, qui s'attarde sur la méthodologie employée pour atteindre les objectifs ;
- Le chapitre III, qui présente les résultats obtenus et ;
- Le chapitre IV, est consacré à l'interprétation et la discussion des résultats.

CHAPITRE I :
CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Le Bassin Sédimentaire de Mayo-Oulo-Léré est l'un des quatre (04) petits bassins Crétacés à sédiments continentaux du Nord Cameroun. Ce chapitre consiste à localiser la zone d'étude et présenter ses caractéristiques géographiques et géologiques.

I.1 CADRE GÉOGRAPHIQUE

I.1.1 Localisation géographique et administrative de la zone d'étude

Le Bassin Sédimentaire de Mayo-Oulo-Léré (**Fig 1**) est situé entre les latitudes Nord 9° 44' et 9° 50' et les longitudes Est 13° 44' et 14° 02'. Il est orienté E-W, s'allonge sur près de 45 km pour une largeur comprise de 1 à 7,5 km (**Ntsama, 2013 ; Balla, 2021**).

Il est situé dans la Région du Nord, Département du Mayo Louti, Arrondissement de Guider. Il est bordé à l'Est par le Département de Mayo-Kani et la frontière du pays avec la République du Tchad, à l'Ouest par la République Fédérale du Nigéria, au Nord par les localités de Hosséré Houdi et Hosséré Sorawel et les Département de la Diamaré et du Mayo-Tsanaga et au Sud par les localités de Hosséré Lombel et Hosséré Faourel et le Département de la Bénoué (**Ngounouno et al., 2001**).

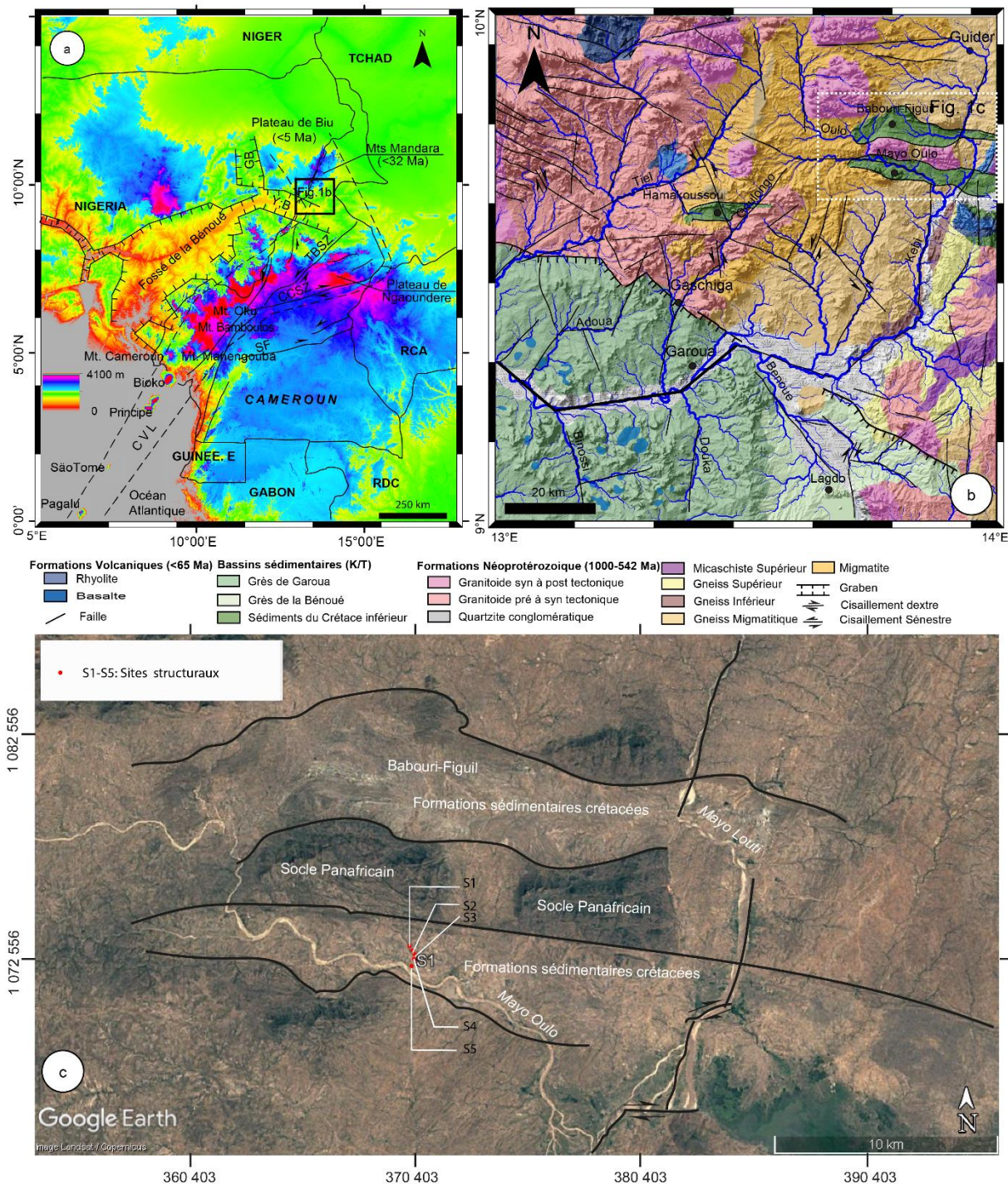


Figure 1: Carte de localisation du Bassin de Mayo-Oulo-Léré : (a) MNT sous régional, (b) Carte géologique d'une portion du Nord-Cameroun, (c) Image Landsat localisant les Bassins de Babouri-Figuil et du Mayo-Oulo-Léré et les divers sites structuraux (SRTM).

I.1.2 Orographie

La zone d'étude présente un relief nettement contrasté dont les altitudes sont comprises entre 210 m et 972 m. Elle montre quatre (04) unités géomorphologiques. L'unité 1 est comprise

entre 210 et 297 m; l'unité 2 d'altitude comprise entre 297 m à 364 m; l'unité 3 d'altitude fluctuant entre 364 m à 454 m et l'unité 4 d'altitude supérieure à 454 m. Les unités 1, 2 et 3 sont faite d'une pénéplaine sur laquelle s'écoulent les cours d'eau Mayo Louti. Ces cours d'eau sont dendritiques et rectangulaires à confluences parallèles. L'unité 4 est comprise entre 454 m et 972 m. Elle est représentée par les sommets (**Fig 2**).

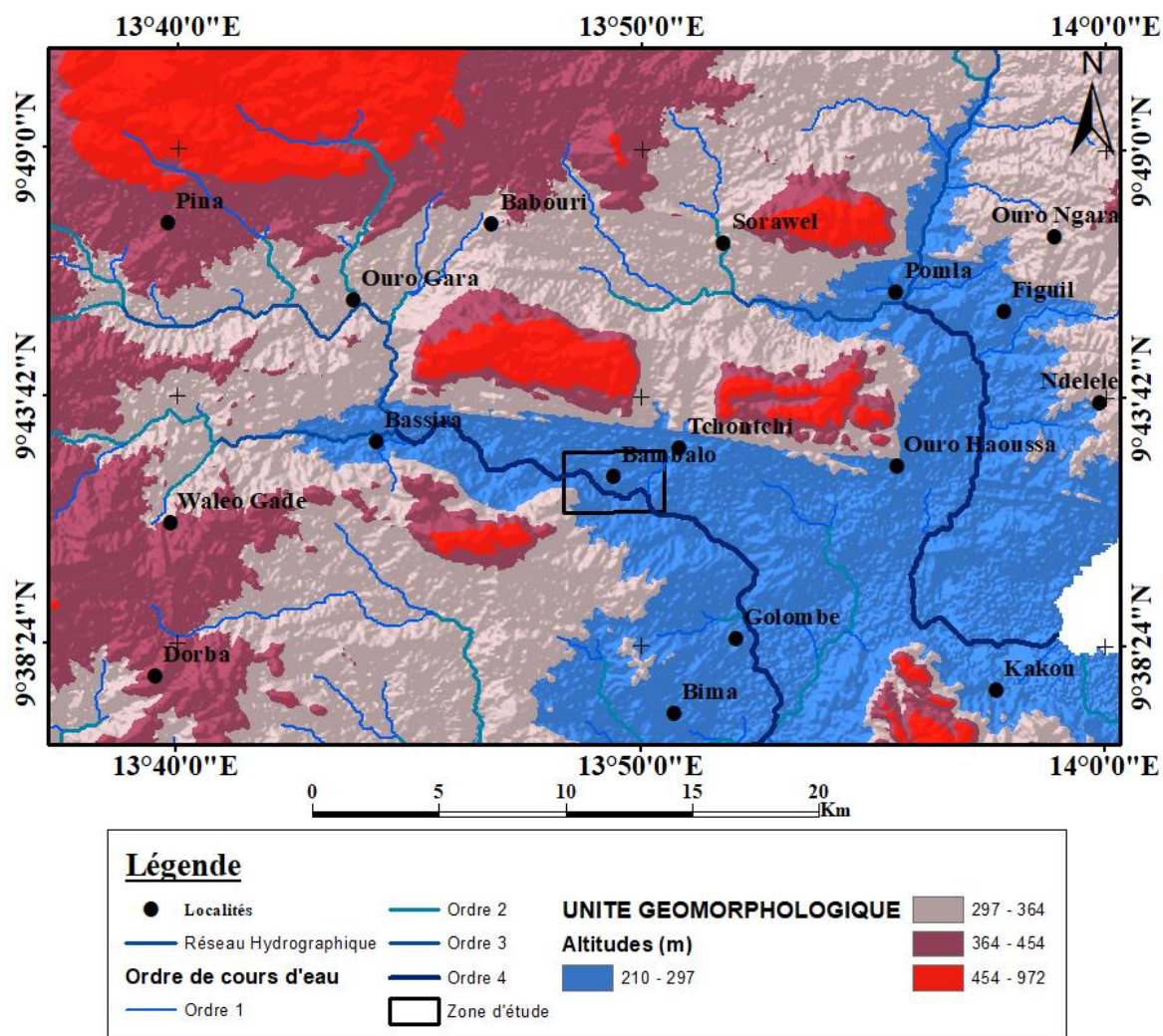


Figure 2: Carte morphologique montrant les unités géomorphologiques et les principaux cours d'eau (SRTM).

I.1.3 Climat

Deux (02) paramètres ont été pris en compte : les précipitations et les températures. Le climat qui règne dans le Bassin du Mayo-Oulo-Léré est de type soudano-sahélien à faible pluviométrie (**Bagnouls et Gaussen, 1957 ; Suchel 1971**). Il est marqué par une longue saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une courte saison de pluie qui couvre les mois de juin à septembre. L'harmattan souffle du nord au sud et forme une brume sèche pendant la saison

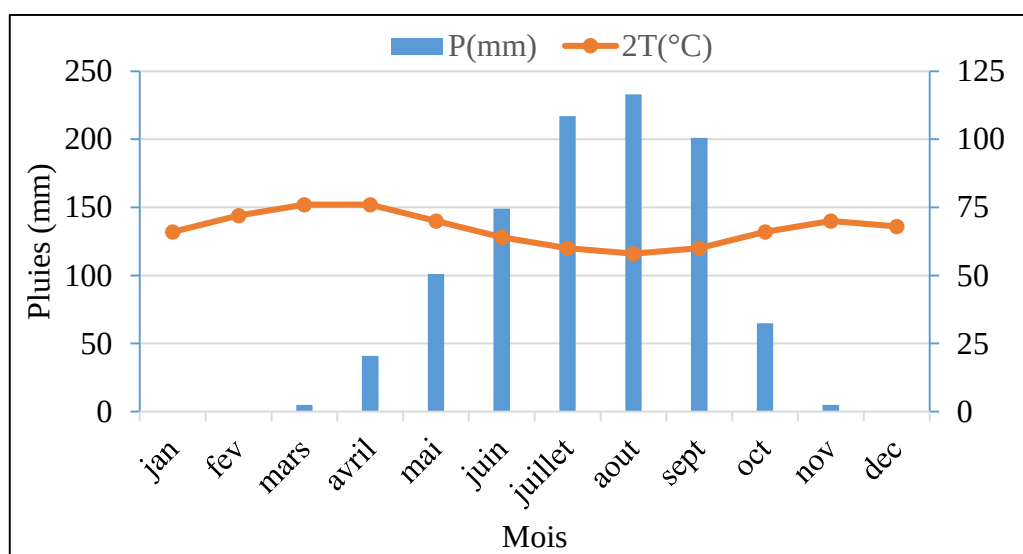
sèche. L'évaporation annuelle est de 2882 mm pour des valeurs maximales de 464 mm contre les minimas de 80 mm (Olivry, 1986).

Les plus fortes températures mensuelles au cours de l'année sont enregistrées pendant les mois de mars et avril, tandis que les plus fortes précipitations sont enregistrées aux mois d'août et septembre. Cependant, les mois de janvier et de février sont complètement arides (Tab. 1).

Tableau 1: Variation mensuelle de températures et de pluviométrie dans la zone de Guider (Station météorologique de Guider et SODECOTON 1978-2020).

Mois	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A	S	O	N	D	Moyenne
T (°c)	33	36	38	38	35	32	30	29	30	33	35	34	33,58
P (mm)	0	0	5	41	101	149	217	233	201	65	5	0	1017

La courbe ombrothermique de la zone d'étude (Fig. 3) révèle que les mois d'Août à Septembre sont humides tandis que ceux d'octobre à juin sont secs. L'indice d'aridité de De Martone permet de caractériser le climat d'une région donnée à partir de l'interprétation de ses différentes valeurs et s'obtient à partir de la formule suivante : $Ia = P/T + 10$ (1)



Ia : Indice d'aridité de De Martone ; **P** : Précipitation moyenne ; **T** : Température moyenne.

Figure 3: Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (Station météorologique de Guider et SODECOTON 1978-2020).

En se basant sur les données de Guider, dont la pluviométrie moyenne annuelle est de 1017 mm/an, la température moyenne annuelle est de 33,58 °C, l'indice d'aridité du bassin est de 23,34. Ainsi, d'après ce qui précède (Tab.1), le climat du bassin de Mayo-Oulo-Léré est de

type soudano-guinéen ou tropical soudanien avec une saison sèche d'Octobre à Juin et une saison pluvieuse d'août à septembre.

Tableau 2: Détermination du type de climat en fonction de l'indice d'aridité de De Martone.

Variation de l'indice d'aridité	Type de climat
$Ia < 5$	Climat aride
$5 < Ia < 7.5$	Climat désertique
$7.5 < Ia < 10$	Climat steppique
$10 < Ia < 20$	Climat semi-aride
$20 < Ia < 30$	Climat tempéré
$Ia > 30$	Climat humide

I.1.4 Hydrographie

Le réseau hydrographique du Bassin du Mayo-Oulo-Léré est mixte : dendritique et rectangulaire à confluence parallèle. Les Mayo Oulo et Louti constituent les principaux cours d'eau. Ces cours d'eau s'écoulent en zigzag suivant deux principales directions N-S et E-W à WNW-ESE (**Fig. 2**).

I.1.5 Sols

Le Bassin sédimentaire de Mayo-Oulo-Léré est couvert des vertisols de pénéplaines et des sols ferrugineux moins lessivés sur socle d'une part et par des sols ferrugineux lessivés modaux sur socle d'autre part (**Sieffermann et Martin, 1963 ; Gavaud et Muller, 1980 ; Brabant, 1985**). Ces sols sont fragiles, et doivent leur faible degré de fertilité à leur texture argileuse, sablo-argileuse et sablo-limoneuse, qui est basée sur la nature du matériau originel, constitué d'alternance entre les siltites et les argilites. Ces sols sont également caractérisés par une porosité et une capacité de rétention d'eau élevée ; une couleur gris clair, traduisant leur richesse en matière organique dissoute. L'appauvrissement de ces sols en éléments nutritifs est dû à leur faible couvert végétal. On y rencontre également des sols hydromorphes dans les bas-fonds (**Sieffermann et Martin, 1963**).

I.1.6. Végétation et Faune

Selon **Letouzey (1985)**, il existe dans la zone d'étude deux grands ensembles de végétations : les prairies périodiquement inondées et les steppes à épineux. Elles ont cependant la physionomie d'une savane, avec à la fois des éléments soudaniens et sahéliens. Ces savanes soudaniennes ou soudano-sahéliennes prennent différents aspects et composition qui sont en

relation avec l'influence humaine, la durée d'inondation, la proximité de la nappe phréatique, l'épaisseur du sol et ses propriétés physico-chimique (**PIAS et Bachelier, 1952 ; Sieffermann, 1964**). On y rencontre dans la zone :

- En bordure des mayo, une savane arborée avec quelques arbres : *zizyphus jujuba*, *acacia senegal*, *acacia seyal*, *acacia sieberiana* et aussi balanites égyptiques ;
- Sur les massifs et les sols peu épais, la savane est arbustive avec les variétés de *boswelina africana*, *acacia hebecladoides daniellia oliveri*, *entada sudanica* et le *zizyphus jujuba* etc... ;
- Sur les interfluvies normalement drainés, la savane est arbustive ou arborée avec divers *combretum*, *daniellia oliveri*, *proprosis africana*, *acacia sieberiana* et *butyrospermum parkii*.

La faune est rare car éloignée par les humains, la chasse et l'agriculture. Dans les zones forestières des villages de la zone d'étude, on peut retrouver des reptiles (varans, serpents, ...), des petits rongeurs (rats palmistes, porcs épics, ...) qui sont considérés comme nuisibles par la population car ravageant les cultures. On peut également rencontrer les animaux de la savane comme les singes, les lions qui font l'objet de protection contre la chasse. On y rencontre également les animaux domestiques à l'exemple des bœufs, les chevaux et les ânes employés dans les travaux champêtres, de la petite volaille (poulets, les pintades et les canards) (**Letouzey, 1985**).

I.1.7 Population et Activités Socio-économique

Le Département du Mayo Louti a une population estimée à 391326 habitants dont environ 186940 hommes et 204386 femmes avec un taux d'accroissement de 2,6% (**BUCREP 2015**). Cette population est cosmopolite, constituée des peuples autochtones composés de plusieurs ethnies dont les majorités sont : les Falis, les Dabas, les Foulbés, les Goudés et les Deings (**Koch, 1959**). À ceux-ci s'ajoutent les étrangers venant de l'intérieur du pays ainsi que ceux des pays voisins. À côté de la diversité ethnique qui caractérise la population du département, s'ajoute une multitude de religions réparties en quatre grands groupes qui sont : l'Islam étant majoritaire dans la zone suivie par le Catholicisme, le Protestantisme, et les pratiques traditionnelles locales.

Les activités économiques sont assez diverses dans cette circonscription. Il s'agit de l'agriculture, l'élevage, la chasse, l'exploitation forestière, l'artisanat et le commerce.

I.2 CADRE GÉOLOGIQUE

I.2.1 Fossé de la Bénoué

Le Fossé de la Bénoué est une gigantesque structure tectonique intra-plaque de direction NE-SW, allant du Delta du Niger jusqu'au Lac Tchad, longue de plus de 1000 km et large de 50 à 150 km. Il est rempli par des roches sédimentaires d'origines continentale et marine d'une épaisseur supérieure à 6500 m. Son âge est compris entre le Crétacé inférieur et le Quaternaire (**Maluski et al., 1995**). Il s'étend sur un substratum granitique et métamorphique Précambrien, réactivé au cours de l'orogénèse panafricaine.

La structuration du Fossé de la Bénoué commence au Barrémien (**Masclé, 1977**) ou plus précocement (**Brunet et al., 1988**). La formation du Fossé de la Bénoué débute avec la mise en place des granites jeunes et du volcanisme associé au Jurassique dont les traces se retrouvent en Haute-Bénoué au Nigéria (**Popoff et al., 1983**). Le rejet des structures préexistantes d'orientation E-W engendre un phénomène de distension, qui conduit à la formation d'une série de petits grabens qui sont envahis par les sédiments continentaux crétacés.

I.2.2 Sédimentation

Les travaux de **Popoff et al. (1982)** révèlent que les premiers dépôts des séries sédimentaires continentales du Nord-Est du Fossé de la Bénoué datent du Jurassique Terminal - Crétacé basal. **Benkhelil et al. (1988)** révèlent que la pile sédimentaire est estimée à plus de 5000 m. Cependant, cette dernière est observée sur 2300 m (**Allix et Popoff, 1983**), elle est constituée de la base au sommet de : la formation des conglomérats et grès de base localisée au centre des bassins et sur les bordures actives du Fossé ; un ensemble constitué de grès inférieurs de Bima et des argilites ; la formation des grès supérieurs de Bima au Nigéria.

I.2.3 Évolution chronologique

Les travaux réalisés par **Barberi et al. (1975)** et **Kampunzu et al. (1986)** identifient les magmas de type basaltique comme étant caractéristiques des zones extensives intraplaques, émises à l'Albien moyen. Les étapes chronologiques de la distension généralisée sont :

- ***La phase éo-rift***

Cette phase correspond à la mise en place des bassins sédimentaires isolés par une tectonique fragile ;

- ***La phase syn-rift I***

Cette phase correspond à la mise en place des bassins sédimentaires lacustres résultant de l'étirement crustal, suivi d'une individualisation des panneaux de largeur d'ordre kilométrique ;

- ***La phase syn-rift II***

Cette phase caractérise la fin de la genèse des grands bassins sédimentaires du Crétacé inférieur à la suite d'un basculement régional et probablement un surétirement crustal (**Blarez 1986 ; Ntsama 2013**). L'ensemble de ces déformations conduit à la séparation des continents sud-américain et africain à l'Albien terminal-Cénomanien inférieur (**Fig. 4**).

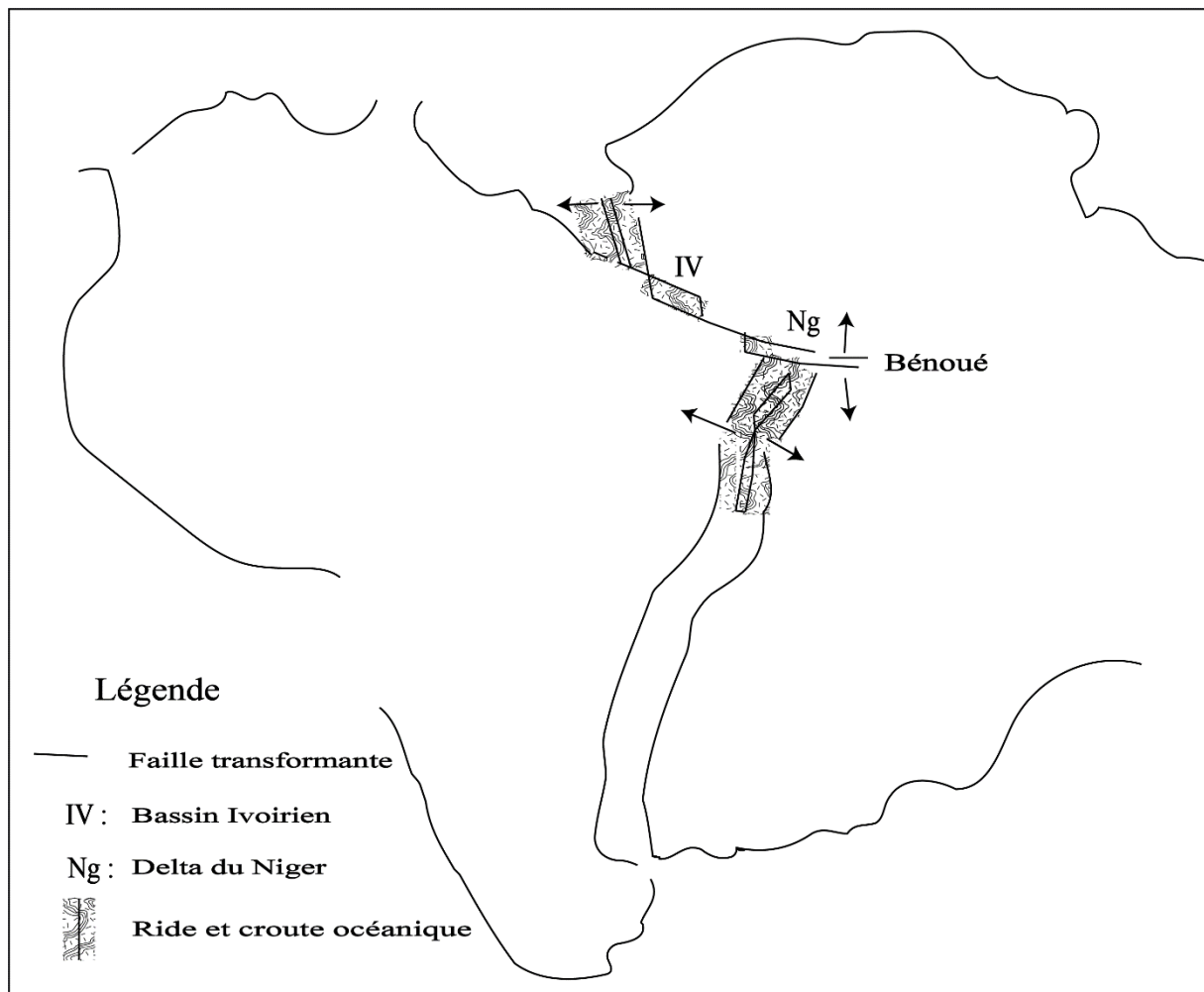


Figure 4: Mise en place du Fossé de la Bénoué par l'ouverture de l'Atlantique Sud (**Grant 1971**).

I.2.4 Évolution paléogéographique

L'évolution paléogéographie du Fossé de la Bénoué est liée à l'ouverture de l'Atlantique Équatoriale qui conduit à la séparation des blocs continentaux Afrique-Amérique du Sud. Le Fossé de la Bénoué se divise en deux branches dans sa partie septentrionale : les branches de Gongola et Yola.

- ***La Branche de Gongola***

Elle est orientée N-S, cette branche est localisée au Nigéria et est constituée de deux grands ensembles structuraux : un plissement qui diminue vers le Nord et vers l'Ouest ; et au niveau du lac Tchad, des plis légèrement ondulés dont les axes ont une direction variable. La partie orientale comprend de vastes bassins tertiaires à l'exemple de Kerri-Kerri dont la structure est tabulaire.

- ***La Branche de Yola-Garoua***

Cette dernière est orientée E-W avec une partie qui se prolonge au Cameroun. Sa structure est de type graben à caractère strictement intracontinental. Elle abrite les bassins sédimentaires de la Région de l'Adamaoua (Djérem, Mbéré) et ceux du Nord-Cameroun (Mayo Rey ou Koum, Babouri-Figuil, Kontcha, Hamakoussou et Mayo Oulo-Léré). Ils ont des tailles, superficies, lithologies et des épaisseurs différentes. Les plis de direction E-W présentent également une certaine dissymétrie, liée à l'existence d'accidents du socle ayant joué au cours du plissement. Le système de plis de cette branche disparaît au niveau de la rivière Faro, dont la structure du bassin situé à l'Est de cette dernière est tabulaire à faiblement monoclinale. La fracturation des roches sédimentaires dans cette région est dominée par un réseau de failles normales à rejets parfois importants et limité à une bande de direction N-S comprise entre les rivières Gongola et Faro (**Benkhelil 1986**).

- ***Volcanisme***

La zone de Garoua est traversée par la ligne volcanique du Cameroun (**LVC**), le cisaillement centre camerounais (**CCC**) et appartient au point triple de la Bénoué (**PTB**), trois principales structures géologiques encore actives (**Popoff et al., 1982 ; Dumont 1987 ; Ngako et al., 1991, 2003**). Trois volcans de la LVC bordant la zone de Garoua ont été actifs de manière répétée : au Sud, le horst de l'Adamaoua qui a produit des roches effusives datées du 11-7 Ma, au Nord, les monts Mandara constitués de roches volcaniques de 32 Ma et à l'ouest, la vallée

de la Bénoué dont les roches sont datées de 37 Ma (**Fitton et Dunlop 1985 ; Ngounouno et al., 1997 ; Montigny et al., 2004 ; Deruelle et al., 2007**).

- ***Tectonique***

Le horst de l'Adamaoua est traversé par la zone de Cisaillement Centre Camerounais (CCC) qui est une Région ductile présentant des failles de direction N70E ayant contrôlé la géométrie de la ceinture plissée panafricaine au Cameroun (**Fig 1b**). La CCC s'étend du Soudan au Nord-est du Brésil (**Guiraud et al., 1987 ; Ngako et al., 2003 ; Bella Nke et al., 2018**). Au cours de l'évolution tectonique panafricaine tardive, la zone de Cisaillement Centre Camerounais (CCC) a été réactivée suivant un mouvement dextre (**Ngako et al., 1991**). D'après les travaux de **Dumont (1987)**, la zone de Cisaillement Centre Camerounais (CCC) a également été réactivée au Crétacé. La direction NW-SE et la transpression subméridienne du Crétacé supérieur de la zone de cisaillement (CCC) auraient contribué au soulèvement du massif de l'Adamaoua formant le horst de l'Adamaoua (**Benkhelil, 1982**). Le Point Triple de la Bénoué (PTB) correspond à la confluence de trois systèmes de rift : le Système NE–SW correspondant au Fossé de la Bénoué, le système E-W qui a évolué vers les marges de l'Atlantique central et le système N-S qui a évolué vers les marges de l'Atlantique Sud (**Benkhelil et Robineau, 1983 ; Guiraud 1991 ; Benkhelil, 1988**).

Les réseaux de failles qui constituent le point triple de la Bénoué (PTB) sont hérités de l'orogénèse panafricaine et ont été fréquemment réactivés au fil du temps (**Ambraseys et Adams, 1986 ; Untemehr et Bouche, 1986 ; Ambeh et al., 1988 ; Benkhelil, 1988 ; Guiraud, 1991**). Deux réactivations principales du point triple de la Bénoué (PTB) ont été bien enregistrées : le jeu de décrochement inverse des systèmes N-S et E-W et la réactivation d'extension du système NE-SW au cours de la basse Miocène (**Benkhelil, 1988 ; Guiraud, 1991**) et le jeu d'effondrement du système N-S et les systèmes de glissement dextre E-W et NE-SW pendant le Messinien (**Ambraseys et Adams, 1986 ; Untemehr et Bouche, 1986 ; Ambeh et al., 1988**).

- ***Bassin de Babouri-Figuil***

Le Bassin de Babouri-Figuil est le plus septentrional. Il est situé entre les latitudes 9°44' et 9°50' et les longitudes 13°44' et 14°02', orienté E-W et allongé sur près de 45 km pour une largeur allant de 1 km vers Figuil, à 8 km entre les villages Babouri et Sorawel. Il est parsemé de quatre buttes-témoins de grès de base avec une série sédimentaire atteignant 1500 m (**Schwoerer, 1965**). Les sédiments pour la plupart sont détritiques et faits d'une alternance de grès fins, de silts et de marnes indurées. Des empreintes de pas de dinosaures ont été

découvertes dans le Mayo-Tafal (**Brunet et al., 1988; Dejax et al., 1989 ; Ntsama 2013**). Des empreintes de rameaux feuillés, plus ou moins charbonneuses sont les seuls macrorestes qui y ont été retrouvés. Il s'agit des genres *Pagiophyllum* (**Heer, 1981**, Araucariacées ou Cheirolepidacées) et *Frenelopsis* (**Schenk, 1969**, Cheirolepidacées). La présence des ripple marks et des fentes de dessiccation témoignent de nombreuses phases d'émersion.

- ***Bassin du Mayo Oulo-Léré***

Le Bassin du Mayo-Oulo-Léré est localisé dans le Département du Mayo Louti entre les latitudes 9°39' et 9°44' et les longitudes 13°43' et 14°28'. Il est long de plus de 50 km, large de moins de 10 km et s'est formé dans un contexte extensif N-S (**Brunet et al., 1988**). Il se prolonge vers le Sud du Tchad d'où lui vient une partie de l'appellation « Léré ». La série sédimentaire dont la base est faite de grès conglomératique repose sur un socle précambrien. Elle est constituée principalement de silt et d'argiles. Les travaux de (**Brunet et al., 1988**), révèlent la présence de grains de pollens fossiles dans cette série sédimentaire, permettant d'attribuer un âge situé dans le passage Néocomien-Barrémien. Certaines figures et structures sédimentaires à l'instar des surfaces durcies avec phosphates et dépôts de silice mettent en place des cherts, les ripplemarks et les mud-cracks. On y note la présence de macrorestes, Araucariaceae et Cheirolepidiaceae, empreintes de rameaux feuillés, et l'absence de grains saccates qui constituent des indicateurs climatiques et qui traduisent très probablement un environnement sous climat chaud plus sec et non humide (**Brunet et al., 1988 ; Ntsamaz, 2013**).

I.2.5 Origine du bassin sédimentaire de Babouri-Figuil et du Mayo-Oulo-Léré

Les Bassins sédimentaires de Babouri-Figuil et du Mayo-Oulo-Léré sont deux petits bassins Crétacé à sédiments continentaux situé en territoire camerounais dans le prolongement de la branche de Yola de direction Est-Ouest du Fossé de la Bénoué. La genèse de ces bassins est liée à l'ouverture de l'Atlantique Sud suite à la dislocation du Gondwana. L'ouverture de l'Atlantique Sud débute au Valanginien supérieur (**Sibuet et Mascle, 1978**), avec la disparition à l'Aptien des derniers liens Afrique-Amérique du Sud au niveau du Golfe de Guinée (**Reyment et Dingle 1987**). Les déformations subies par le Gondwana lors de la structuration de la zone mobile au Panafricain (Brésilien) le fragilisent. Ces déformations accompagnées des cisaillements se poursuivent au Mésozoïque avec une distension généralisée entraînant l'ouverture équatoriale de l'Atlantique Sud (**Wright, 1985; Ntsama 2013**).

I.2.6 Formations rocheuses

Le Bassin Sédimentaire du Mayo-Oulo-Léré présente divers types pétrographiques, les formations du socle et sédimentaires (**Fig. 5**).

I.2.6.1 Formations du socle

Le Bassin Sédimentaire du Mayo-Oulo-Léré repose en discordance sur le socle métamorphique précambrien. Ce socle est constitué essentiellement de roches métamorphiques (quartzites, migmatites) et de roches magmatiques anciennes affectées des intrusions granitiques (**Koch, 1959 ; Schwoerer, 1965**).

I.2.6.2 Formations sédimentaires

La série sédimentaire du Bassin de Mayo-Oulo-Léré telle que décrite par **Koch (1959)**, **Schwoerer (1965)** et **Dejax et Brunet (1996)** débute à sa base par un grès, un microconglomérat ou un conglomérat de base surmonté par un ensemble d'origine fluvio-lacustre constitué de grès fins à ciments calcaires décalcifiés à l'affleurement. On y distingue également des silts, des marnes et des argiles vertes dont certains bancs livrent des nodules dits *Septaria*. Cette série sédimentaire est datée du Crétacé inférieur moyen (**Ntsama, 2013 ; Bessong et al., 2018**). La série sédimentaire se serait mise en place dans un paléoenvironnement lacustre et marécageux (**Dejax et Brunet, 1996**). Elle appartient à la formation de Bima qui est composée des grès fins à grossiers et d'argiles parcourues par des passées de calcite (**Carter et al., 1963 ; Allix et al., 1983**).

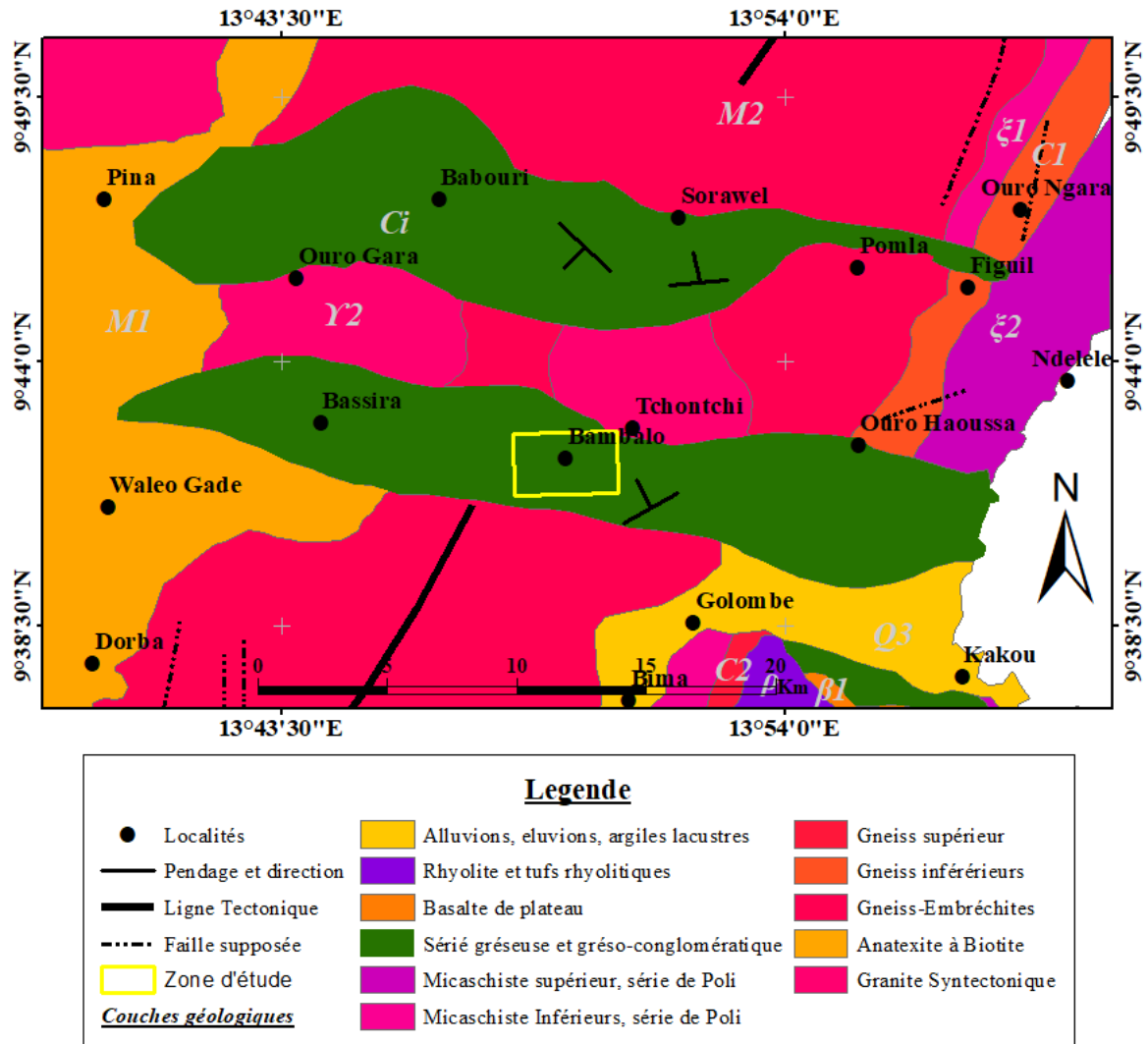


Figure 5: Caractéristiques géologiques et structurales.

○ *Paléoenvironnement*

L'abondance de la flore ainsi que l'existence de plusieurs niveaux évaporitiques (gypse) vers le milieu du bassin démontre l'hypothèse d'une sédimentation sous tranche d'eau peu profonde et trouve son origine dans les indications de nombreuses phases d'émersion. L'environnement marécageux sous climat chaud et humide est révélé par l'abondance des Estheries dont la dissémination des œufs est favorisée par des périodes d'assèchement saisonnier. Cependant, la présence des flores fossiles (Cheirolepidiaceae et Araucariaceae), des empreintes des rameaux feuillés, l'absence des grains saccates traduisent probablement un environnement sous climat chaud plus sec et non humide (Alvin, 1982).

Dans le Bassin Sédimentaire du Mayo Oulo, il a été trouvé un taxon comportant trois ballonnets dégonflés en raison de la fossilisation (Brunet et al., 1988). Toutefois, la seule présence ou l'absence des grains saccates ne peut être une condition suffisante pour conclure du type de

climat régnant dans un milieu donné. Les microfossiles récoltés dans ce bassin fournissent des preuves d'une sédimentation anté-aptienne, cette information a été d'un intérêt capital pour la compréhension de l'histoire géologique du Fossé de la Bénoué (**Brunet et al., 1988**).

○ *Paléontologie*

Les travaux effectués dans le Bassin de Mayo-Oulo-Léré lui attribuent un âge crétacé. En effet, les ostracodes découverts dans des niveaux marneux au sommet de la série donnent des indications sur l'âge de ce bassin.

Roch (1953) lui attribue un âge Wealdien en signalant n'avoir trouvé aucun vestige. **Koch, 1959** mentionne la présence d'écailles de poissons dans les grès et confirme cet âge wealdien par analogie avec les formations fossilifères des bassins sédimentaires du Mayo Oulo-Léré et de Babouri-Figuil. Cet âge Wealdien est également confirmé par **Schwoerer (1965)**. **Colin et al., (1992)** évoque un âge probablement anté-albien. En 1996, l'étude menée par **Déjaj et Brunet (1988)** se focalise sur la macroflore et la microflore.

○ *Datation*

En raison de la proximité des bassins du Mayo Oulo-Léré et de Babouri-Figuil, leur style identique, analogie en faciès et la similitude d'une partie importante de la flore et la faune fossiles (**Déjaj et Brune, 1988 ; Déjaj et al., 1989**) les ont assignés un même âge aux formations sédimentaires. **Koch (1959)** grâce à quelques écailles de poissons retrouvées dans les grès, date les dépôts sédimentaires à un âge Wealdien par analogie avec les formations fossilifères de Babouri-Figuil et Mayo Tafal situées plus à l'Est. **Schwoerer (1965)** confirme cet âge Wealdien.

Les travaux de **Ntsama (2013)** ont attribué un âge numérique aux formations sédimentaires. Ces travaux ont consisté à des prélèvements sur des niveaux fins de la partie supérieure de la série sédimentaire et à travers la magnétostratigraphie, ont permis de dater les formations sédimentaires du Bassin de Mayo-Oulo-Léré à un âge numérique compris entre 125 et 128,11 Ma qui correspond au crétacé moyen.

En somme, le Bassin Sédimentaire du Mayo-Oulo-Léré est situé entre les latitudes 9° 44' et 9° 50' et les longitudes 13° 44' et 14° 02'. Il est orienté SW-NE et allongé sur près de 45 km pour une largeur allant de 1 à 7,5 km. Ce bassin est caractérisé par un climat tropical soudanien et soudano-sahélien avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 1017 mm/an. Il présente une morphologie de pénéplaine dont les altitudes varient de 220 à 1250 mètres. Les principaux groupes ethniques sont à croyance musulmane, chrétienne, protestante et animistes

constituent les peuples autochtones qui sont les Falis, les Foulbés, les Deings et les Goudés. Ils vivent en harmonie dans cette contrée et pratiquent l'agriculture, l'élevage, la chasse, l'artisanat et le commerce comme activités socio-économiques. Dans le cadre géologique, on trouve dans cette zone des formations Précambriennes, des formations volcaniques et des formations sédimentaires d'âge Crétacé inférieur, caractérisant un environnement fluvio-lacustre.

CHAPITRE II :

MÉTHODOLOGIE

CHAPITRE II : METHODOLOGIE

Dans ce chapitre, il sera question de présenter les différentes données recueillies sur le terrain, les outils employés pour mener à bien les travaux, ainsi que les différentes méthodes. Cette étude repose sur une recherche bibliographique continue, une descente sur le terrain et un traitement en laboratoire des données. Les principaux travaux menés sont issus de l'application de deux (02) méthodes, l'analyse sédimentologique et l'analyse structurale.

II.1 DONNEES

La recherche bibliographique repose sur la consultation de plusieurs documents scientifiques notamment les mémoires, les thèses, les revues et publications scientifiques. L'état de connaissances sur les travaux antérieurs et récents, menés dans le Bassin Sédimentaire de Mayo-Oulo-Léré a été rendu possible grâce à des documents qui ont également permis la confection des cartes thématiques (carte hydrographique, carte géomorphologique).

La réalisation de la carte de localisation a été possible à partir des données SRTM de la localité de Garoua, téléchargée à partir du site internet USGS Explorer puis, importé dans le logiciel Arcgis pour générer le réseau hydrographique, la géomorphologie.

Les principales données d'analyse sédimentologique sont les épaisseurs des couches, la couleur, la nature des lithofaciès, les figures et structures sédimentaires.

Les données d'analyse structurale sont les attitudes des joints nourris récoltées sur le terrain. 391 joints et des microfailles ont été identifiés sur le terrain.

Onze (11) échantillons (BAM 1, BAM 2, BAM 3, BAM 4, BAM 5, BAM 6, BAM 7, BAM 8, BAM 9, BAM 10 et BAM 11) de roches ont été prélevés sur cinq sites dans la localité de Bambalo. Ils ont été soumis à une analyse géochimique classique. En effet, il s'agit des échantillons de roches sédimentaires, à savoir les argilites et les siltites. Huit (08) ont été choisis, conditionnés et envoyés au laboratoire « VERITAS à VANCOVER au Canada » pour les analyses géochimiques.

II.2 OUTILS

L'analyse sédimentologique a nécessité les outils suivants :

- un GPS qui a servi à la géolocalisation de la zone d'étude ;
- une boussole à clinomètre qui a permis de mesurer les différentes directions des couches et leurs pendages ;
- un mètre ruban qui a été utilisé pour mesurer les épaisseurs des couches, un décimètre pour mesurer la longueur des affleurements ;

- un marteau de géologue, nécessaire à l'échantillonnage et indique la direction nord géographique ;
- des marqueurs qui ont permis d'étiqueter les échantillons et ont également servi d'outil d'orientation du Nord géographique ;
- une massette de 5 Kg pour l'échantillonnage des roches indurées ;
- la craie pour la numérotation des couches ;
- une règle graduée pour la mesure des diamètres des particules ;
- un flacon d'acide chlorhydrique dilué à 10% a permis de mettre en évidence les carbonates dans les couches sédimentaires ;
- le papier hygiénique a été utilisé pour emballer les échantillons ; les bandes adhésives ont permis d'étiqueter et la codification des échantillons ;
- les sacs à échantillons ont été employés pour récolter les échantillons ;
- un appareil photo numérique pour la prise des vues.

En laboratoire, l'application Adobe Illustrator a permis de confectionner les colonnes lithostratigraphiques.

Le principal outil utilisé pour la récolte des données structurales sur le terrain est la boussole à clinomètre qui a permis de déterminer les caractéristiques géométriques des éléments de la déformation.

Les outils utilisés pour le traitement des données structurales au laboratoire sont le canevas de Schmidt qui a permis de ressortir les régimes de contraintes à partir des attitudes conjuguées des joints ; L'application Stéréonet a permis de réaliser les rosaces de directions, les traces cyclographiques, les diagrammes de densité et des pôles. L'application Adobe Illustrator a permis de traiter les illustrations des objets de la déformation.

Le traitement des données STRM est réalisé par plusieurs applications à savoir, Arcgis, qui a permis de réaliser des MNT et Adobe Illustrator qui a permis de parfaire les différentes cartes réalisées.

II.3 METHODES

La méthodologie du présent travail porte sur la recherche bibliographique, l'analyse sédimentologique et structurale sur le terrain et au laboratoire et enfin l'analyse géochimique.

Il s'agit de l'ensemble des méthodes utilisées dans le cadre des analyses sédimentologiques.

Le principe est basé sur la recherche des affleurements, l'observation, la description et l'identification des lithofaciès au sein des affleurements dans les sites 1, 2, 3, 4 et 5. Ce travail

d'analyse sédimentologique sur le terrain se termine avec une prise de vue du lithofaciès et de l'échantillonnage. Les colonnes stratigraphiques réalisées ont permis de mieux identifier les séquences et les environnements de dépôts.

L'analyse structurale a commencé sur le terrain et s'est achevée au laboratoire. Sur le terrain, elle a consisté en l'observation, l'identification et la caractérisation des éléments de la déformation. La zone d'étude est affectée par les joints. Les principales caractéristiques prises en compte sont les attitudes et les croisements.

Ces principales attitudes de joints croisés ont été traitées manuellement à l'aide du Canevas de Schmidt pour déterminer les attitudes des Paléocontraintes et par conséquent les régimes de contraintes. En effet, la méthode appliquée est la méthode du dièdre aigu (**Arthaud, 1969 ; Carey et Brunier, 1974; Etchecopar et al., 1981; Angeler, 1984, 1990; Faure, 1995 ; Mvondo Owono 2001 ; Etoundi et al., 2021**) qui consiste en la déduction des directions des contraintes principales σ_1 , σ_2 et σ_3 avec $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$. En relation avec cette méthode, l'intersection de deux plans P1 et P2 correspond à la contrainte principale intermédiaire σ_2 , pendant que σ_1 passe par la bissectrice formée par P1 et P2 et appartient au plan formé par le pôle σ_2 passant par la contrainte principale minimale σ_3 . La prochaine étape a consisté à déterminer le ratio de contrainte R et l'index de contrainte R'. Pour ce faire, il a fallu que les angles θ_1 , θ_2 et θ_3 soient déterminés manuellement en fonction de chaque site. En relation avec le cercle de Mohr, trois angles sont utilisés pour étudier la distribution des pôles pour le cas des fractures (**Jolly et Sanderson, 1997**). θ_1 est l'angle entre σ_2 et la bordure de distribution des pôles sur le plan $\sigma_2 - \sigma_3$; θ_2 est l'angle entre σ_1 et la bordure de distribution des pôles sur le plan $\sigma_1 - \sigma_3$, et θ_3 est l'angle entre σ_1 et la bordure de distribution des pôles des fractures suivant le plan $\sigma_1 - \sigma_2$.

D'après **Jolly et Sanderson (1997)**, le rapport des contraintes R est fonction des angles θ_2 et θ_1 et des angles θ_2 et θ_3 pour $P_f > \sigma_2$:

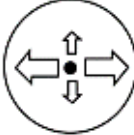
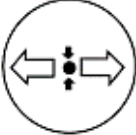
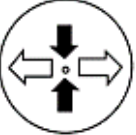
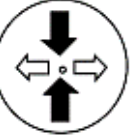
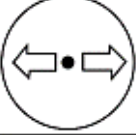
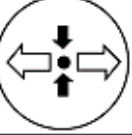
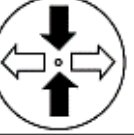
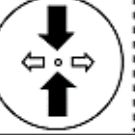
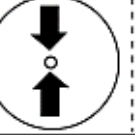
- $R = [(1 + \cos 2\theta_2) / (1 + \cos 2\theta_1)]$ (2) si $P_f > \sigma_2$;
- $R = [1 - (1 - \cos 2\theta_2) / (1 - \cos 2\theta_3)]$ (3) si $P_f > \sigma_2$. Avec P_f : Pression des fluides.

Le terme régime de contraintes est utilisé pour définir le type de tenseur de contraintes. Le régime de contraintes est déterminé par la nature des axes de contraintes verticaux : en extension, lorsque σ_1 est vertical ; décrochement, lorsque σ_2 est vertical ; et en compression, lorsque σ_3 est vertical. Les régimes de contraintes sont également fonction du rapport de contraintes R (**Tab. 3 ; Delvaux et al., 1999**) : extension radiale (σ_1 vertical, $0 < R < 0,25$), extension pure (σ_1 vertical, $0,25 < R < 0,75$), transtension (σ_1 vertical, $0,75 < R < 1$ ou σ_2 vertical, $1 > R > 0,75$), décrochement pur (σ_2 vertical, $0,75 > R > 0,25$), transpression (σ_2

vertical, $0,25 > R > 0$ ou σ_3 vertical, $0 < R < 0,25$), compression pure (σ_3 , verticale, $0,25 < R < 0,75$) et compression radiale (σ_1 verticale, $0,75 < R < 1$). Le type de régime de contraintes peut être exprimé numériquement à l'aide de l'index de contrainte R' , allant de 0,0 à 3,0 et se défini comme suit (**Tab. 3**) :

- $R' = R$ (4) lorsque σ_1 est vertical (régime de contrainte en extension) ;
- $R' = 2 - R$ (5) lorsque σ_2 est vertical (régime de contrainte de frappe-glisement) ;
- $R' = 2 + R$ (6) lorsque σ_3 est vertical (régime de contrainte de compression)

Tableau 3: Valeurs et illustrations des moyennes de l'index de contrainte R' et le ratio de contraintes R (*Delvaux et al., 1997*).

Contraintes	Extension				Décrochement				Compression				
Symboles de contrainte													
													
Ratio de contrainte R	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
Régime de contrainte	Extension radiale	Extension pure		Transension		Décrochement pure		Transpression		Compression pure		Compression radiale	
Index de contraintes R'	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00
Détermination de R'	R'=R				R'=2-R				R'=2+R				

Le traitement de l'image satellitaire aboutit à la conception d'un modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude à partir du logiciel Arcgis. Les cartes (hydrographique, géomorphologique, sont obtenues à la suite du traitement des données SRTM de la zone d'étude à travers les logiciels Arcgis et Adobe Illustrator.

La méthode d'analyse géochimique est basée sur le traitement des résultats d'analyse des échantillons envoyés au laboratoire.

Huit (08) échantillons de roches sédimentaires ont été écrasés au laboratoire du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Yaoundé I. Ils ont été analysés au laboratoire Bureau Veritas de Vancouver au Canada, pour déterminer les teneurs en éléments majeurs, traces et Terres rares. Les techniques utilisées sont celles de « inductively coupled plasma-atomic emission, ICP-AES » (**Church 1981; Thompson and Walsh 1989**) et « inductively coupled plasma-mass spectrometry methods, ICP-MS » (**Burham et al., 2002; Burham and Schweyer 2004**). Les données géochimiques obtenues ont été normalisées au

Post-Archean Australian Shale (**PAAS ; Pourmand et al., 2012**). Les anomalies de La, Ce et Gd ainsi que les ratios des éléments traces ont été obtenus (**Tab. 2**). Les ratios Th/U, U/Th, Ni/Co et V/Cr indiquent les environnements de dépôt (**Bokanda et al. 2018; Tab. 4**)

Tableau 4: Anomalies des terres rares et ratios des éléments traces et leurs interprétations en termes d'environnements de dépôts.

Éléments	Équations	Interprétation des valeurs
La	$Ce/Ce^* = Ce/(0.5La + 0.5Pr)$ Bau and Dulski (1996) and Bolhar and Van Kranendonk (2007)	$Ce/Ce^* > 0.95$: l'anomalie positive suggère un environnement continental (système fluvial) $Ce/Ce^* < 0.95$: l'anomalie négative suggère un environnement marin (Elderfield et al. 1990)
Ce	$Pr/Pr^* = Pr/(0.5Ce + 0.5Nd)$ Bau and Dulski (1996) and Bolhar and Van Kranendonk (2007)	$Pr/Pr^* > 1.05$: anomalie positive indiquant un environnement marin $Pr/Pr^* < 1.05$: anomalie négative indiquant une altération et un transport par l'interaction des fluides
Gd	$Gd/Gd^* = (2Tb - Dy)$ Bau and Dulski (1996) and Bolhar and Van Kranendonk (2007)	$Gd/Gd^* > 1$: anomalies positive indiquant l'influence marine dans le milieu continental $Gd/Gd^* < 1$: anomalie négative indiquant une absence de l'influence marine dans le milieu continental
U	Th/U (Li et al. 2015 ; Zhao et al. 2016a and 2016b)	Th/U < 2 : milieu marin Th/U > 2 : milieu non marin
Th	U/Th (Li et al. 2015 ; Zhao et al. 2016a and 2016b)	U/Th < 0.65 : milieu oxique $0.65 < Th/U < 1.25$: milieu dioxique U/Th > 1.25 : milieu anoxique
Ni	Ni/Co	Ni/Co < 5 : milieu oxique $5 \leq Ni/Co \leq 7$: milieu sub-oxique Ni/Co > 7 : milieu anoxique
V	V/Cr	V/Cr < 2 : milieu oxique $2 \leq V/Cr \leq 4$: milieu dioxique V/Cr > 4 : milieu anoxique
Ho	Y/Ho (Yoshiyuki et al. 2000).	Y/Ho < 45 : eau fluviale Y/Ho > 45 : eau marine
HREE	Nd/Yb Delu et al (2017)	Nd/Yb > 1 : Prédominance des LREE sur HREE: Environnement continental ou Mixte
HREE	Pr/Yb Delu et al (2017)	Pr/Yb > 1 : Prédominance des LREE sur HREE: Environnement continental ou Mixte
HREE	Sm/Yb Delu et al (2017)	Sm/Yb > 1 : Prédominance des LREE sur HREE: Environnement continental ou Mixte

Le Bassin du Mayo-Oulo-Léré dont la base est faite de grès conglomératique repose sur un socle précambrien constitué principalement de silt et d'argiles. Les formations sédimentaires rencontrées au cours des travaux de terrains sont constituées des Siltites et des Argilites affectés par des déformations. Les travaux antérieurs et ceux menés dans ce bassin plus précisément dans les localités de Bambalo ont permis le prélèvement de onze (11) échantillons sur cinq sites différents dont huit (08) seront envoyés au laboratoire pour les analyses géochimiques. Ces travaux ont connu principalement trois étapes qui sont : la recherche bibliographique, les travaux de terrain et les analyses en laboratoire. A chaque étape, une variété de matériels et des techniques a été utilisée en fonction de l'objectif. Les résultats obtenus seront présentés dans le chapitre 3.

CHAPITRE III : RESULTATS

CHAPITRE III : RESULTATS

Le Bassin Sédimentaire du Mayo-Oulo-Léré se caractérise par plusieurs formations géologiques. Elles sont affectées par les structures de la déformation souple et cassante, multidirectionnelles. Le propos de ce chapitre est triple :

- Présenter les formations du socle, la couverture sédimentaire et les formations volcaniques ;
- Caractériser les objets de la déformation cassante ;
- Déterminer les orientations des Paléocontraintes de déformation et régimes tectoniques associés.

III.1 ETUDE PÉTROGRAPHIQUE

Le Bassin Sédimentaire du Mayo-Oulo-Léré présente un substratum sur lequel repose les formations sédimentaires, affectées par les intrusions volcaniques, le tout reposent sur un substratum plutonique et ou métamorphique.

III.1.1 Formations de socle

Le substratum montre essentiellement les roches plutoniques et métamorphiques. Les granites constituent les principales roches plutoniques (**Fig. 6a**). Les roches métamorphiques présentent les quartzites et les migmatites (**Fig. 6b, c**). Elles sont visibles en bordure du bassin.



Figure 6: Formations du socle : (a) Granite, (b) et (c) Migmatite et Quartzite.

III.1.2 Formations sédimentaires

Les formations sédimentaires du Bassin Sédimentaire de Mayo-Oulo-Léré sont constituées des argilites et des siltites qui sont carbonatés. Elles sont caractérisées par la lithologie, les structures sédimentaires et le contenu en fossiles.

III.1.2.1 Lithofaciès

La zone étudiée montre en affleurement les roches sédimentaires de la classe des lutites. Ces roches sédimentaires sont des roches d'origine détritiques dont le diamètre des particules est inférieur à 0,63 mm.

- *Argilites carbonatées*

La roche présente des particules inférieures à 0,004 mm. Elle est disposée en lamines. Elle montre une coloration grisâtre faite de quelques hétérogénéités vertes et blanches. Ces roches sont meubles à certains endroits et consolidées à d'autres. Elles sont caractérisées par une forte activité biologique, marquée par la présence des racines de plantes et les traces de microfossiles animaux et végétaux (**Fig. 7a**)

- *Siltites carbonatées*

Cette roche se caractérise par les particules de diamètre compris entre 0,004 et 0,068 mm. Elles montrent une disposition en feuillets dessinant des lamines et baignent dans une matrice argileuse. La roche formée montre une coloration gris-sombre et est consolidée (**Fig. 7b**).

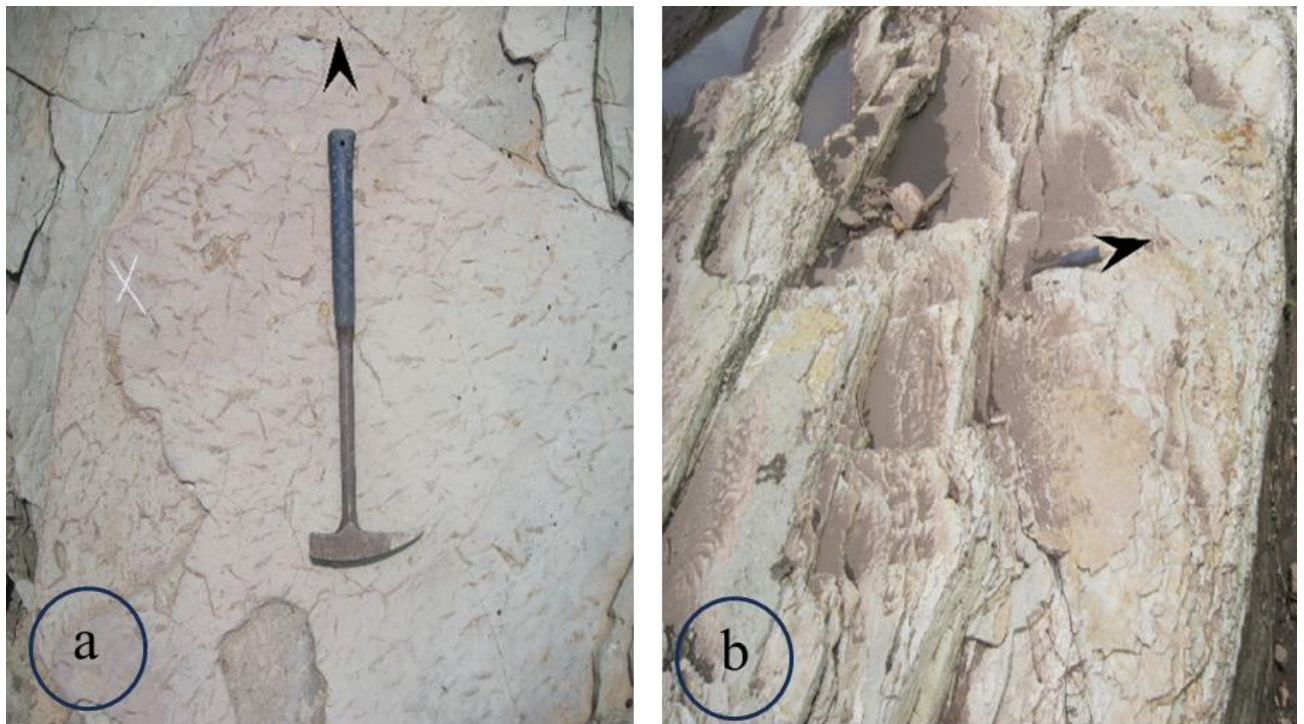


Figure 7: Formations sédimentaires : (a) Argilite carbonatée, (b) Siltite carbonatée.

III.1.2.2 Variations verticales et latérales des faciès

L'analyse de la variation verticale et latérale des faciès à partir des données de terrain porte essentiellement sur la description et l'identification des différents faciès. Ces faciès de nature lithologique varié ont été identifiés dans la zone d'étude et montrent des variations en termes de couleurs et d'épaisseurs tout au long du cours d'eau Baïdja. Ils sont caractérisés par une alternance des couches de siltites et d'argilites carbonatées (**Fig. 8**).

Les différentes strates sont individualisées par leurs limites, la coloration et l'épaisseur. De la base au sommet, on discerne les strates suivantes :

- Une argilite carbonatée de couleur verte, disposée en feuillet sur une épaisseur de 2,8 cm. Elle montre des fentes de dessiccation ;
- Une argilite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 1,3 cm. Son toit porte les fentes de dessiccation ;
- Une argilite carbonatée de couleur verdâtre, contenant des traces de feuilles de plantes. Elle s'étend sur 1,4 cm d'épaisseur ;
- Une siltite carbonatée de couleur verdâtre et d'épaisseur 1,1 cm. Elle se termine par une surface d'érosion ;
- Une argilite carbonatée verte, d'épaisseur 0,3 cm contenant un fossile animal. Elle se termine par une surface d'érosion ;
- Une siltite carbonatée de couleur verte et d'épaisseur 0,11 cm. Sa limite supérieure est marquée par les fentes de dessiccation ;
- Une siltite carbonatée de couleur verte, d'épaisseur 0,24 cm. Son toit est marqué par les fentes de dessiccation ;
- Une argilite carbonatée de couleur noire, d'épaisseur 0,4 cm, se terminant également par les fentes de dessiccation ;
- Une argilite carbonatée de couleur noire, d'épaisseur 0,3 cm. Son toit montre une surface d'érosion ;
- Une argilite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 0,3 cm. Elle est marquée par les fentes de dessiccation ;
- Une siltite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 3,64 cm. Elle contient un fossile de poisson et les trace des feuilles de plantes. Son toit montre une surface d'érosion ;
- Une siltite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 0,65 cm montrant avec des fentes de dessiccation au sommet ;

- Une siltite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 2,4 cm. Elle renferme de végétaux fossiles. Sa limite supérieure montre une surface d'érosion ;
- Une argilite carbonatée de couleur noire et d'épaisseur 2,92 cm. Elle montre une surface d'érosion au toit ;
- Une argilite carbonatée de couleur noire, d'épaisseur 0,43 cm. Elle se termine au toit par des fentes de dessiccation ;
- Une siltite carbonatée de couleur grise et d'épaisseur 1,12 cm. Elle est faite des fentes de dessiccation au toit ;
- Une siltite carbonatée de couleur grise et d'épaisseur 0,24 cm. Elle contient des fossiles de poisson et se termine par des fentes de dessiccation ;
- Une siltite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 0,31 cm. Elle se termine par des fentes de dessiccation ;
- Une siltite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 0,87 cm et se terminant par des fentes de dessiccation ;
- Une siltite carbonatée de couleur grise, d'épaisseur 17,67 cm. Elle renferme des fossiles animaux. Elle se termine par les fentes de dessiccation.

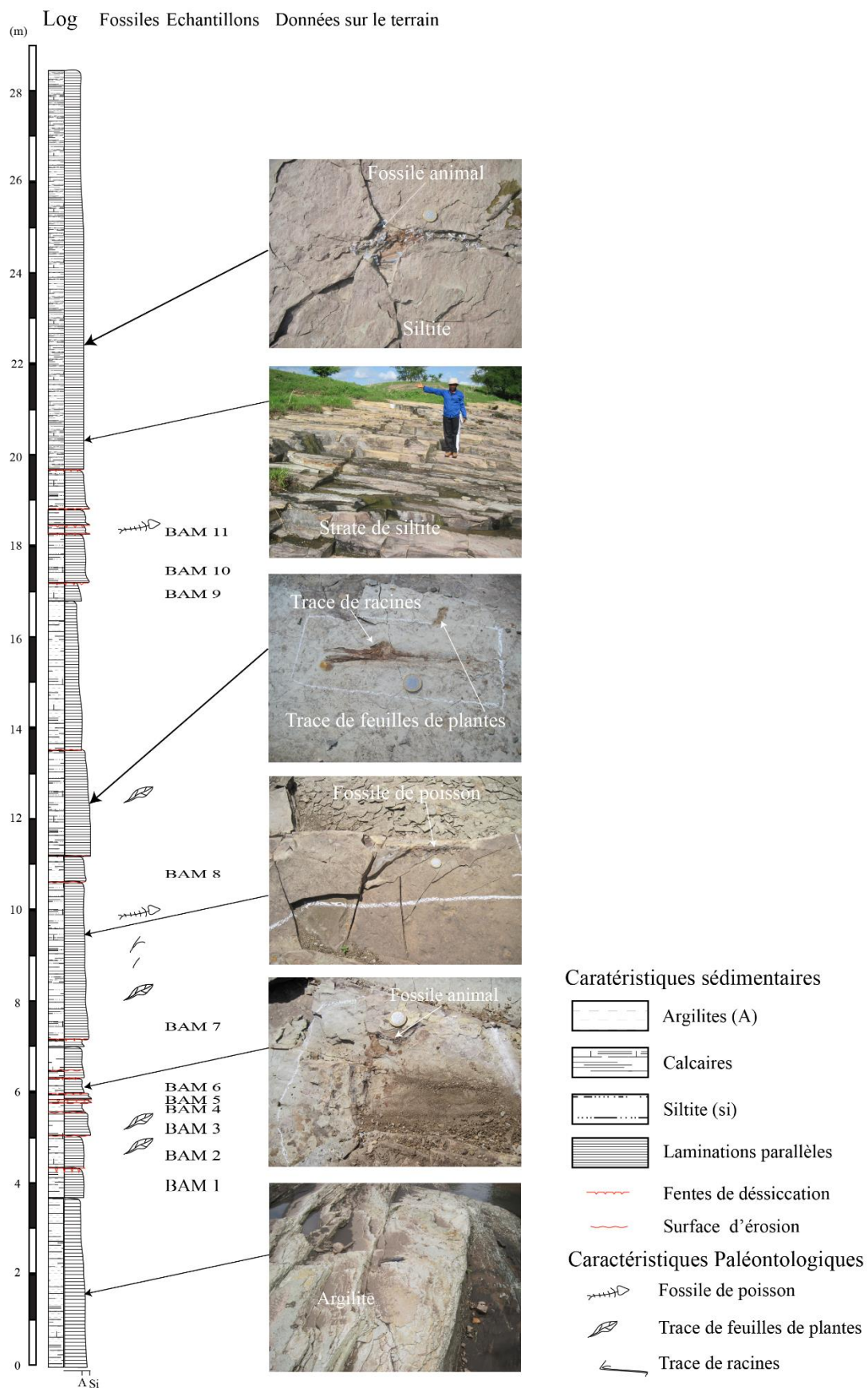


Figure 8: Colonne lithologique montrant les variations des faciès verticalement et latéralement.

III.1.2.3 Structures sédimentaires

La disposition géométrique particulière ou générale des éléments d'un sédiment, fournit des informations utiles pour la reconstitution des séquences sédimentaires, et pour l'identification des différents milieux de dépôt. L'hydrodynamisme au cours du transport et/ ou du dépôt génère des structures sédimentaires autrement dit de constructions sédimentaires particulières qui permettent de caractériser le matériau étudié. Les formations sédimentaires montrent donc des structures telles que les laminations parallèles, les figures d'impact, les fentes de dessiccation et les surfaces durcies.

- *Laminations parallèles*

On observe une disposition de sédiments en lits ou en lamines qui caractérisent la structure interne d'une strate. Ce sont les laminations parallèles à sub-parallèles (**Fig. 8a**).

- *Figures d'impact*

Il s'agit des empreintes laissées par les objets transportés par les courants venant épisodiquement en contact avec le fond (**Fig. 8b**). Elles permettent d'identifier la direction des paléocourants. Les présentes figures d'impact montrent une direction NE-SW des paléocourants.

- *Fentes de dessiccation*

Les fentes de dessiccations ou fentes de retrait sont des structures sédimentaires formées lorsqu'un sédiment argileux se dessèche et se contracte du fait de la réduction de sa teneur en eau par évaporation. Elles forment un réseau de polygone et peuvent atteindre plusieurs centimètres de large et quelques mètres de profondeur. Elles ont été observées sur les faciès d'argilites carbonatées et de siltites carbonatées (**Fig. 8c**). Elles marquent une période d'émersion.

- *Surfaces durcies*

Les surfaces durcies marquent un arrêt de dépôt de sédiment lithifié. Elles se présentent sous forme de surface d'inondation matérialisée par une altération chimique d'un sédiment. Sur le terrain, les surfaces durcies marquent la limite entre différents niveaux d'argilites d'une part et siltites d'autre part (**Fig. 8d**).



Figure 9: Structures Sédimentaires : (a) Laminations parallèles, (b) Figures d'impact, (c) Fentes de dessiccation, (d) Surface durcie.

III.1.2.4 Fossiles

Un fossile est un reste ou une trace d'organisme vivant (animal ou végétal) minéralisé dans une roche sédimentaire. Il s'agit en effet des empreintes d'animaux et végétaux d'êtres vivants disparus et conservés dans les roches sédimentaires. Dans le Bassin du Mayo-Oulo, les fossiles animaux et végétaux ont été observés dans les couches d'argilites carbonatées et de siltites carbonatées :

- *Fossile animal 1*

La **figure 9a** montre un fossile animal incomplet. Il se caractérise par deux pattes arrière et une patte avant ; une colonne vertébrale faite de plusieurs vertèbres. L'abdomen a été décapé par l'érosion.

- *Fossile animal 2 et le poisson fossile*

La **figure 9b** montre en plan horizontal, un animal fossile caractérisé par un abdomen, laissant percevoir une colonne vertébrale dont la continuité des vertèbres décrit une queue. Sur l'abdomen, on souligne quelques pattes fossilisées au même titre que la colonne vertébrale et la queue.

- *Traces de branches de plante*

Les **figures 9d-e**, montrent des moules allongées dans lesquelles, des êtres vivants végétaux ont laissé les traces de branches d'arbres. Ils ont laissé ces moules dans les faciès d'argilites.

- *Traces de feuilles de plantes*

Le faciès d'argilite sur la **figure 9f** montre une minuscule moule, dans lequel quelques lamines parallèles sont identifiées. Il s'agit des traces des feuilles de plante, marqueurs d'un paléoenvironnement continental.

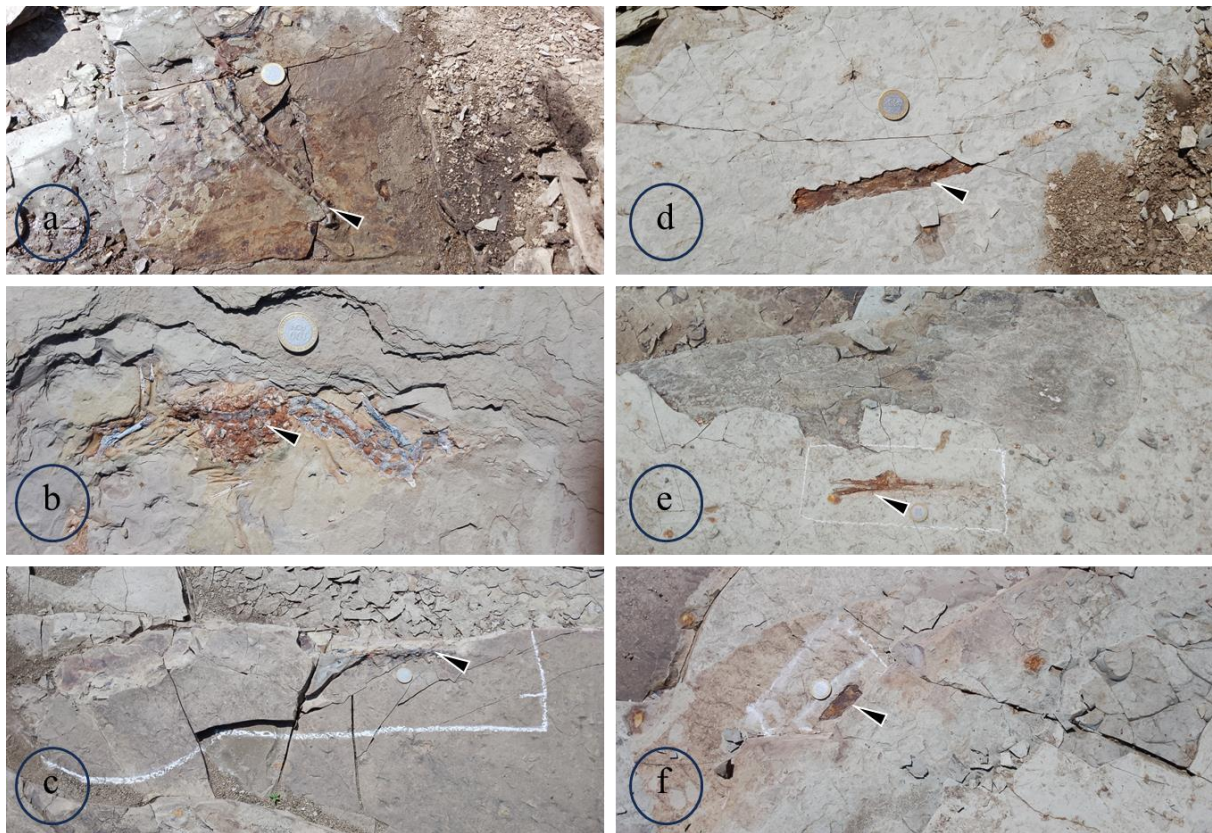


Figure 10: Fossiles : (a, b) Fossile animal terrestre, (c) Poisson fossile, (d, e) Traces de branches de plantes, (f) Trace de feuilles de plantes.

III.2 ANALYSE GÉOCHIMIQUE

L'analyse géochimique a porté sur la détermination des éléments majeurs (en pourcentage d'oxyde), les éléments traces et les terres rares (en partie pour million) a été effectué sur huit (08) échantillons des roches sédimentaires constitués de siltite et d'argilite carbonaté (BAM 1, BAM 2, BAM 3, BAM 4, BAM 5, BAM 6, BAM 9 et BAM 11).

III.2.1 Éléments majeurs

Les teneurs des éléments majeurs exprimés en pourcentage d'oxydes permettent de calculer les paramètres des degrés d'altération (CIA et PIA, **Tab. 5**), de la maturité des sédiments ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ICV), la provenance de la roche source ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$).

La teneur en SiO_2 est faible à faiblement moyen dans l'ensemble des échantillons analysés (**Tab. 5**), cette teneur va de 36,91% (BAM 2) comme teneur la plus faible et de 45,79% (BAM 11) étant comme teneur la plus élevée.

Les teneurs en Al_2O_3 sont faibles dans l'ensemble des échantillons avec 17,09% (BAM 9) comme étant la valeur la plus élevée et 14,12% (BAM 2) la plus faible valeur. Les autres teneurs sont compris dans cet intervalle des valeurs (**Tab. 5**).

Les teneurs en Fe_2O_3 sont assez faibles dans tous les échantillons (**Tab. 5**). La teneur la plus élevée s'établit à 9,49% dans l'échantillon (BAM 3) tandis que la plus faible valeur est de 7,58 dans l'échantillon (BAM 2).

Dans l'ensemble des échantillons analysés, les teneurs en oxyde sont faibles (**Tab. 5**). La proportion de la teneur en Na_2O la plus élevée est 6,94% (BAM 9) alors que la plus faible teneur s'établit autour de 5,29% (BAM 2).

La concentration en oxyde de calcium (CaO) est relativement faible dans l'ensemble des échantillons (**Tab. 5**). La teneur la plus élevée est de 14,3% (BAM 2) tandis que celle la plus faible est de 2,65% (BAM 1).

L'oxyde de magnésium (MgO) est plus abondant dans l'échantillon (BAM 6) avec une teneur de 3,84% et une teneur relativement faible de 2,62% dans l'échantillon (BAM 2) (**Tab. 5**).

Le TiO_2 qui est un oxyde accessoire peu mobile a une teneur inférieure à l'unité dans l'ensemble des échantillons avec 0,86 dans comme teneur la plus élevée dans (BAM 1 et BAM 4) et 0,68 la teneur la plus faible dans l'échantillon (BAM 2) (**Tab. 5**).

Les autres oxydes ont des proportions relativement faibles dans l'ensemble des échantillons. Il s'agit des oxydes suivants K_2O , P_2O_5 , MnO , Cr_2O_3 (**Tab. 5**).

Les valeurs de la perte au feu (LOI) sont élevées dans la plupart des échantillons avec 15,2% (BAM 6) comme étant la teneur la plus élevée et 11,6% (BAM 11) la teneur la moins élevée (**Tab. 5**).

Le CIA a des valeurs supérieures à 45 dans la majorité des échantillons (BAM 1, BAM 3, BAM 4, BAM 5, BAM 6, BAM 9 et BAM 11) et inférieur à 45 dans l'échantillon (BAM 2) (**Tab. 5**). Les valeurs du PIA dans l'ensemble des échantillons varient de 40,3 à 48,0 (**Tab. 5**).

ICV a des valeurs supérieures à 0,85 dans tous les échantillons. Ces valeurs varient de 1,46 à 2 (BAM 1) et 2,31 (BAM 2) (**Tab. 5**).

Le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ a des valeurs inférieures à 5 dans tous les échantillons (**Tab. 5**). Ces valeurs vont de 2,61 (BAM 2) à 2,78 (BAM 6).

Le rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ présente des valeurs qui varient entre 18,83 (BAM 4) et 21,91 (BAM 9) (**Tab. 5**).

Tableau 5: Éléments majeurs en pourcentage des oxydes.

Oxydes	di	BAM 1	BAM 2	BAM 3	BAM 4	BAM 5	BAM 6	BAM 9	BAM 11
SiO₂	0,01	44,85	36,91	43,45	44,22	44,14	43,35	45,47	45,79
Al₂O₃	0,01	17,02	14,12	16,19	16,2	16,19	15,56	17,09	17,04
Fe₂O₃	0,04	9,25	7,58	9,49	8,39	9,4	8,93	8,17	8,22
MgO	0,01	3,19	2,62	3,55	3,58	3,74	3,84	3,48	3,32
CaO	0,01	2,65	14,3	3,13	3,3	3,29	3,44	3,08	3,46
Na₂O	0,01	6,49	5,29	6,12	5,93	5,99	5,67	6,94	6,65
K₂O	0,01	2,49	2,17	2,48	2,78	2,64	2,6	2,3	2,58
TiO₂	0,01	0,86	0,68	0,81	0,86	0,85	0,79	0,78	0,8
P₂O₅	0,01	0,21	1,3	0,22	0,27	0,27	0,23	0,17	0,17
MnO	0,01	0,11	0,11	0,13	0,1	0,13	0,12	0,11	0,11
Cr₂O₃	0,002	0,011	0,009	0,012	0,012	0,012	0,012	0,011	0,012
LOI	-5,1	12,6	14,5	14,1	14,1	13,1	15,2	12,2	11,6
Somme	0,01	99,86	99,81	99,84	99,84	99,84	99,84	99,85	99,85
SiO₂/ Al₂O₃		2,64	2,61	2,68	2,73	2,72	2,78	2,66	2,69
Al₂O₃/ TiO₂		19,79	20,76	19,99	18,83	19,05	19,70	21,91	21,30
CIA		48,3	41,7	46,7	46,3	46,4	45,8	46,7	46,0
PIA		48,0	40,3	46,1	45,6	45,7	45,0	46,2	45,3
ICV		1,46	2,31	1,57	1,53	1,60	1,62	1,59	1,46

di : détection limite, LOI : Loss on Ignition ou perte au feu, CIA (%) = $[\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100$, PIA (%) = $[(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})] \times 100$, ICV (%) = $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2) / \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO}^* = \text{CaO} - 10/3\text{P}_2\text{O}_5$

La variation des éléments majeurs dans les échantillons (BAM 1, BAM 2, BAM 3, BAM 4, BAM 5, BAM 6, BAM 9, BAM 11) suit une évolution qui est fonction de la teneur en pourcentage d'oxydes (**Fig. 11**).

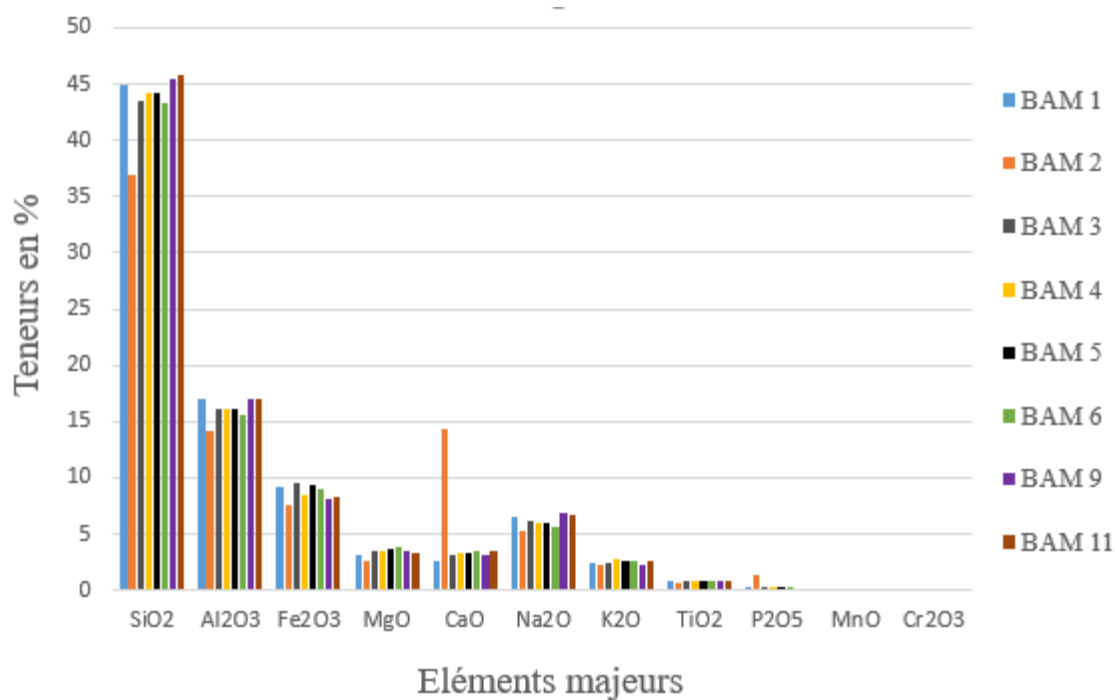


Figure 8: Variation des teneurs en éléments chimiques majeurs des dix échantillons.

III.2.2 Éléments traces

Les ratios Th/U, U/Th, Ni/Co et V/Cr varient d'une strate à l'autre (**Tab. 6**). Le ratio Th/U varie entre 2,61 (BAM 1) et 7,06 (BAM 6). Toutes les valeurs de ce ratio sont supérieures à 2 (**Fig. 12a, Tab. 6**).

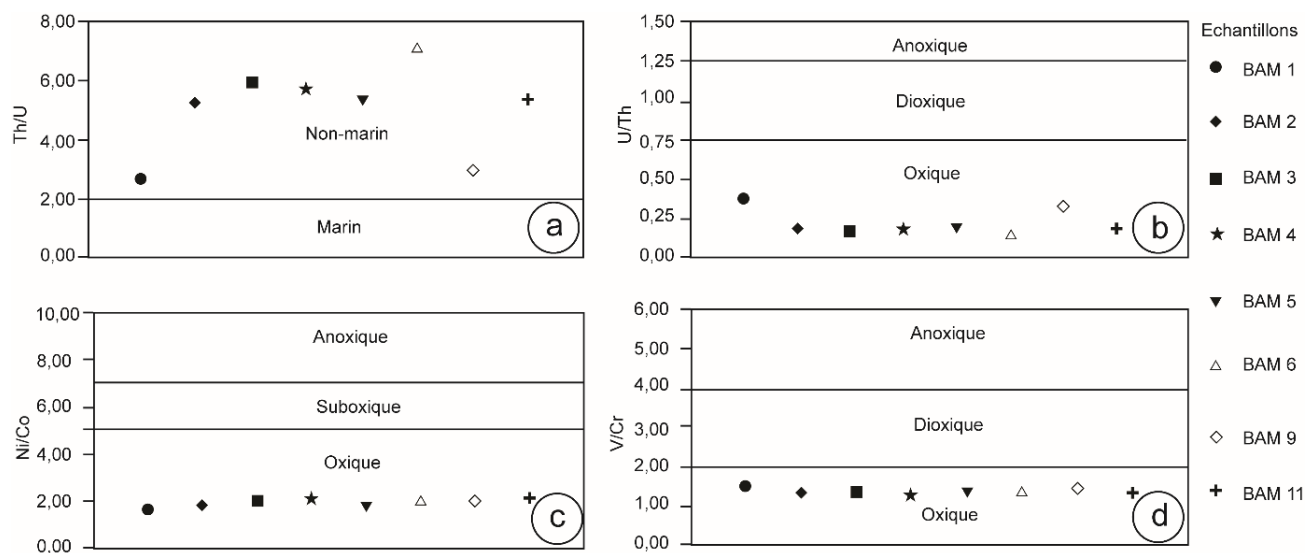


Figure 9: Ratios des éléments traces : (a) ratio Th/U, (b) Ratio U/Th, (c) Ratio Ni/Co, (d) Ratio V/Cr et interprétations.

Elles indiquent un environnement continental. Le ratio U/Th varie entre 0,14 (BAM 6) et 0,37 (BAM 1). Toutes ces valeurs sont inférieures à 0,75. Elles mettent en évidence un milieu

oxique (**Fig. 12b**). Le ratio Ni/Co (**Fig. 12c, Tab. 6**) est compris entre 1,66 (BAM 1) et 2,11 (BAM 11). Tous les échantillons montrent un ratio Ni/Co inférieur à 5. Ce résultat met également en évidence un milieu oxique. Le ratio V/Cr varie entre 1,24 (BAM 4) et 1,52 (BAM 1). Toutes ces valeurs sont toutes inférieures à 2 et indiquent une fois de plus un environnement oxique (**Fig. 12d**).

Tableau 6: Éléments traces.

	Id	BAM 1	BAM 2	BAM 3	BAM 4	BAM 5	BAM 6	BAM 9	BAM 11
Ba	5	400	564	436	427	448	420	416	452
Sr	2	355	1285	396	372	374	405	320	352
Zr	5	56	84	76	77	81	84	91	102
Y	3	22	241	25	28	28	25	23	25
Nb	5	15	16	15	18	19	17	18	18
Ni	0,1	40	36,3	44,5	46,6	43,2	41,5	46,9	46,1
Cr	1	70	56	78	79	82	76	68	72
Co	0,2	24,1	19,2	22,7	23	24	20,9	23,7	21,9
U	0,1	1,3	44	1	1,4	1,4	1,6	1	0,8
Th	0,1	3,5	230,9	5,9	7,9	7,5	11,3	3	4,3
Sr	1	295	1251	360	332	334	388	257	285
V	2	106	74	102	98	111	100	96	96
Zr	0,2	34	44,9	45,1	45,9	43,6	46,9	51,7	57,2
Hf	0,02	1,23	1,48	1,73	1,81	1,67	1,86	1,63	2,12
Rb	0,1	18,7	75	38,9	58,2	52,2	82,5	16,9	39
Ta	0,1	0,8	0,8	1	1	0,9	0,9	0,9	1
Cs	0,1	1,8	2,3	2,4	2,7	2,4	2,7	1,9	2,4
Ga	0,02	26,52	18,3	26,25	26,49	26,18	25,23	26,79	29,73
U/Th	-	0,37	0,19	0,17	0,18	0,19	0,14	0,33	0,19
Th/U	-	2,69	5,25	5,9	5,64	5,36	7,06	3	5,38
Ni/Co	-	1,66	1,89	1,96	2,03	1,8	1,99	1,98	2,11
V/Cr	-	1,51	1,32	1,31	1,24	1,35	1,32	1,41	1,33

III.2.3 Terres rares

Les ratios Nd/Yb, Pr/Yb, Sm/Yb et les sommes des REE des strates ont été déterminés (Tableau 3). Le ratio Nd/Yb varie entre 0,42 (BAM 2) et 1,36 (BAM 6). Cinq (05) échantillons montrent Nd/Yb < 1 contre trois (05) (BAM 4, BAM 5 et BAM 6). Ainsi, cinq (05) strates (BAM1, 2, 3, 9 et 11) sont riches en éléments terres rares lourds contre trois (03). La zone étudiée est donc plus riche en éléments terres rares lourds (HREE) que les terres rares légères (LREE).

Le ratio Pr/Yb varie entre 0,36 (BAM 2) et 1,39 (BAM 6). Cinq (05) strates (BAM1, 2, 3, 9 et 11) montrent des ratios Pr/Yb < 1, contre trois (03) (BAM 4, 5 et 6).

Le ratio Sm/Yb est compris entre 0,42 (BAM 2) et 1,36 (BAM 6). Cinq strates (BAM1, 2, 3, 9 et 11) montrent des ratios Sm/Yb < 1, contre trois (BAM 4, 5 et 6).

La somme des éléments terres rares varie (Σ REE) entre 80,4 (BAM9) et 861,33 (BAM 2).

Le ratio Y/Ho montre des valeurs comprises entre 23,14 (BAM 3) et 28,65 (BAM 2).

Les données plotées sur le diagramme Ce/Ce* versus Pr/Pr* (**Fig. 13a**) montrent les strates présentant une anomalie négative en La. Le diagramme Eu/Eu* versus Pr/Pr* met en évidence quatre strates avec une anomalie positive en Eu et Ce (**Fig. 13b**, BAM 1, 2, 3 et 4). Il permet de souligner une anomalie positive en Eu et négative de Ce au sein quatre strates également (**Fig. 13b**, BAM 4, 5, 6 et 9). Le ratio Ce/Ce* de toutes les strates montre des valeurs supérieures à 0,95. Elles définissent une anomalie positive en La (**Tab. 7**). Les ratios Pr/Pr* sont supérieurs à 1,05 pour quatre (04) strates (**Tab. 7**, BAM 4, 5, 6 et 9). Ils mettent en relief une anomalie positive en Ce pour ces strates et une anomalie négative pour les autres strates (**Tab. 7**, BAM 1, 2, 3 et 11). Les spectres des terres rares normalisées au PAAS permettent de mettre en évidence de façon graphique (**Fig. 13c**) et chiffrée (**Tab. 7**) les concentrations du milieu en terres rares (légères et lourdes). Cette normalisation montre une anomalie positives en Yttrium (**Fig. 13c**, BAM 2).

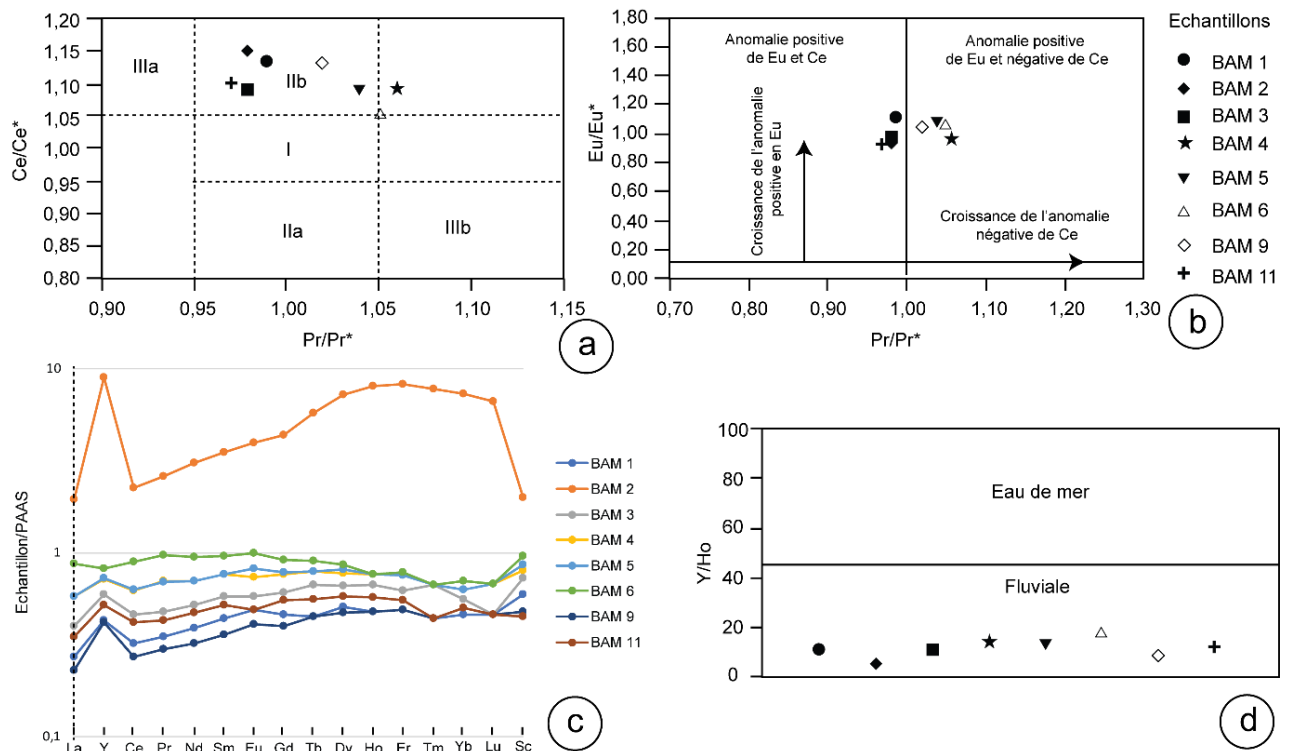


Figure 10: Variations des REE dans la zone d'étude : (a) Diagramme Ce/Ce^* versus Pr/Pr^* PAAS normalisé utilisé pour l'anomalie de Ce et La modifié par Eltom et al, (2017). I : pas d'anomalie de Ce et La ; IIa : anomalie positive de La ; IIb : anomalie négative de La, aucune anomalie de Ce ; IIIa : anomalie Positive de Ce et négative de La ; IIIb : anomalie négative de Ce, (b) Diagramme Eu/Eu^* versus Pr/Pr^* PAAS normalisé utilisé pour l'anomalie de Eu et Ce modifié par Eltom et al, (2017), (c) Diagramme montrant les variations des teneurs en terres rares (en PAAS), (d) Diagramme du ratio Y/Ho (Rimmer 2004).

L'anomalie positive traduirait l'action d'un milieu marin au cours du dépôt des sédiments, tandis que l'anomalie négative permet de noter le transport des sédiments par les eaux fluviales. Les ratios Gd/Gd^* sont supérieurs à 1 pour quatre strates (Tab. 7, BAM 1, 5, 5 et 11) et inférieurs pour les quatre autres. Ces valeurs traduisent l'action marine dans le milieu continental contre une absence pour les autres strates.

Tableau 7: Éléments terres rares.

	BAM 1	BAM 2	BAM 3	BAM 4	BAM 5	BAM 6	BAM 9	BAM 11
La	0,27	1,94	0,4	0,58	0,58	0,87	0,23	0,35
Y	0,43	8,92	0,59	0,72	0,73	0,82	0,42	0,52
Ce	0,32	2,24	0,46	0,62	0,63	0,89	0,27	0,42
Pr	0,35	2,6	0,48	0,7	0,69	0,97	0,3	0,43
Nd	0,39	3,06	0,52	0,7	0,7	0,95	0,32	0,47
Sm	0,44	3,52	0,58	0,76	0,76	0,96	0,36	0,52
Eu	0,49	3,95	0,58	0,74	0,82	0,99	0,41	0,49
Gd	0,46	4,34	0,61	0,76	0,78	0,91	0,4	0,55
Tb	0,45	5,72	0,67	0,79	0,79	0,9	0,45	0,56
Dy	0,51	7,23	0,66	0,77	0,81	0,86	0,47	0,58
Ho	0,48	8,08	0,67	0,76	0,76	0,76	0,48	0,57
Er	0,49	8,26	0,62	0,75	0,75	0,78	0,49	0,55
Tm	0,44	7,76	0,67	0,67	0,67	0,67	0,44	0,44
Yb	0,46	7,27	0,56	0,63	0,63	0,7	0,5	0,5
Lu	0,46	6,61	0,46	0,68	0,68	0,68	0,46	0,46
Sc	0,59	1,99	0,73	0,8	0,86	0,96	0,48	0,45
ΣREE	92,56	861,33	128,12	167,61	169,41	224,61	80,4	111,02
Y/Ho	23,4	28,65	23,14	24,5	24,88	27,88	23,2	23,5
Lu/La	1,7	3,41	1,15	1,17	1,17	0,78	2	1,31
Pr/Yb	0,76	0,36	0,86	1,11	1,1	1,39	0,6	0,86
Sm/Yb	0,96	0,48	1,04	1,21	1,21	1,37	0,72	1,04
Nd/Yb	0,85	0,42	0,93	1,11	1,11	1,36	0,64	0,94
Pr/Pr* = Pr/(0.5Ce + 0.5Nd)	1	1,15	1	0,83	0,87	0,86	0,88	1
Ce/Ce*=Ce/(0.5La+0.5Pr)	1,13	1,15	1,09	1,09	1,09	1,05	1,13	1,1
Pr/Pr*=Pr/(0.5Ce+0.5Nd)	0,99	0,98	0,98	1,06	1,04	1,05	1,02	0,97
Gd/Gd*=Gd/(2Tb-Dy)	1,18	1,03	0,9	0,94	1,01	0,97	0,93	1,02
Eu/Eu*=Eu/(0.67Sm+0.33Tb)	1,11	0,93	0,95	0,96	1,07	1,05	1,05	0,92

III.3 ANALYSE STRUCTURALE

Les formations du socle et sédimentaires du Bassin Sédimentaire du Mayo-Oulo-Léré ont subi des déformations dont l'action a été prouvée par les objets de déformation. L'analyse structurale vise à présenter les caractéristiques de ces objets (**Fig. 14**).

III.2.1 Structure de la déformation cassante

Les travaux de terrain ont permis de découvrir que la fabrique rocheuse, composée d'argilites et de siltites est affectée par les joints.

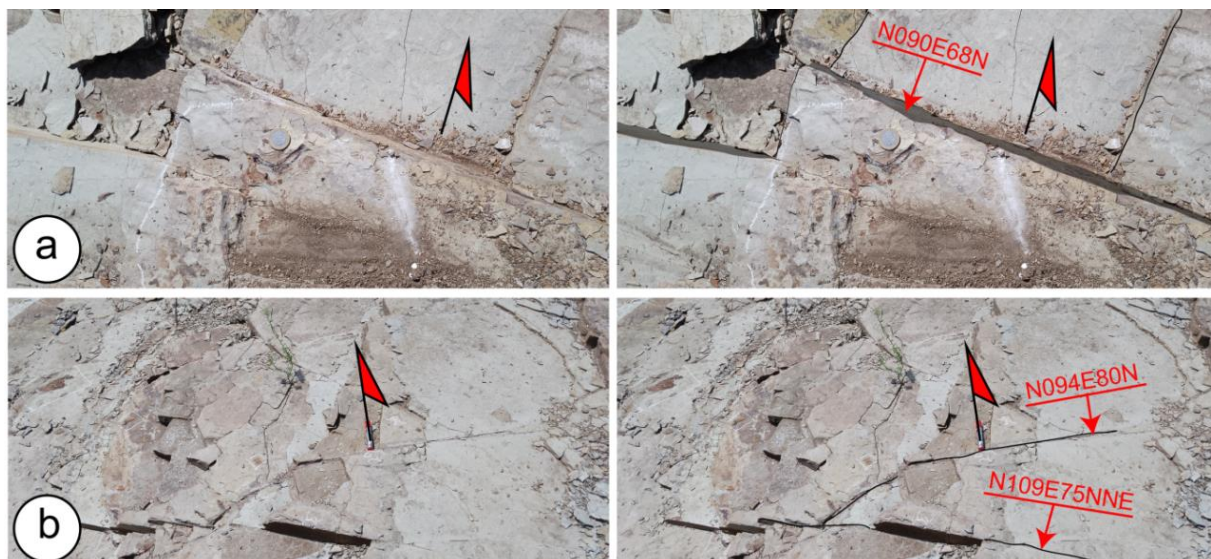


Figure 11: Caractéristiques structurales des joints : (a) joint sur le site 1 (N090E68N), (b) deux joints dans le site 2 (N094E80N et N109E75NNE).

Les sites 1 et 2, au Nord du bassin laissent percevoir en surface des joints. Le joint illustré sur la **figure 14a** se caractérise par une orientation E-W et un pendage de 68° vers le Nord. Le compartiment Nord est légèrement affaissé de quelques millimètres. Deux joints sont visibles dans le site 2 (**Fig. 14b**). L'un montre une direction E-W (N094) et l'autre est WNW-ESE (N109E). Elles pendent respectivement de 80° et 75° vers le Nord. Leurs compartiments Nord sont faiblement abaissés de quelques millimètres par rapport aux compartiments Sud.

III.2.2 Caractéristiques structurales des joints

Les structures de la déformation cassante se caractérisent par leur orientation, leur plongement et les valeurs des angles de pendages. Elles montrent deux principales directions, WNW-ESE (Sites 1, 2, 4, 5) et E-W (site 3) (**Fig. 15**). Deux (02) directions secondaires sont également mises en évidence, NNE-SSW et N-S dans les sites 2 et 3 respectivement (**Fig. 15**). Les structures de la déformation montrent des plongements Nord. En effet, les plongements des miroirs sont Nord, NE et WNW dans les sites 1 à 5 où les strates plongent vers le Sud. Les angles de pendage des miroirs sont compris entre 50° et 90° . Les angles maximaux sont compris entre 85° - 90° pour les sites 4 à 5 ; 70° - 80° pour les sites 2, 3 et 60° - 70° pour le site 1 (**Fig. 15**).

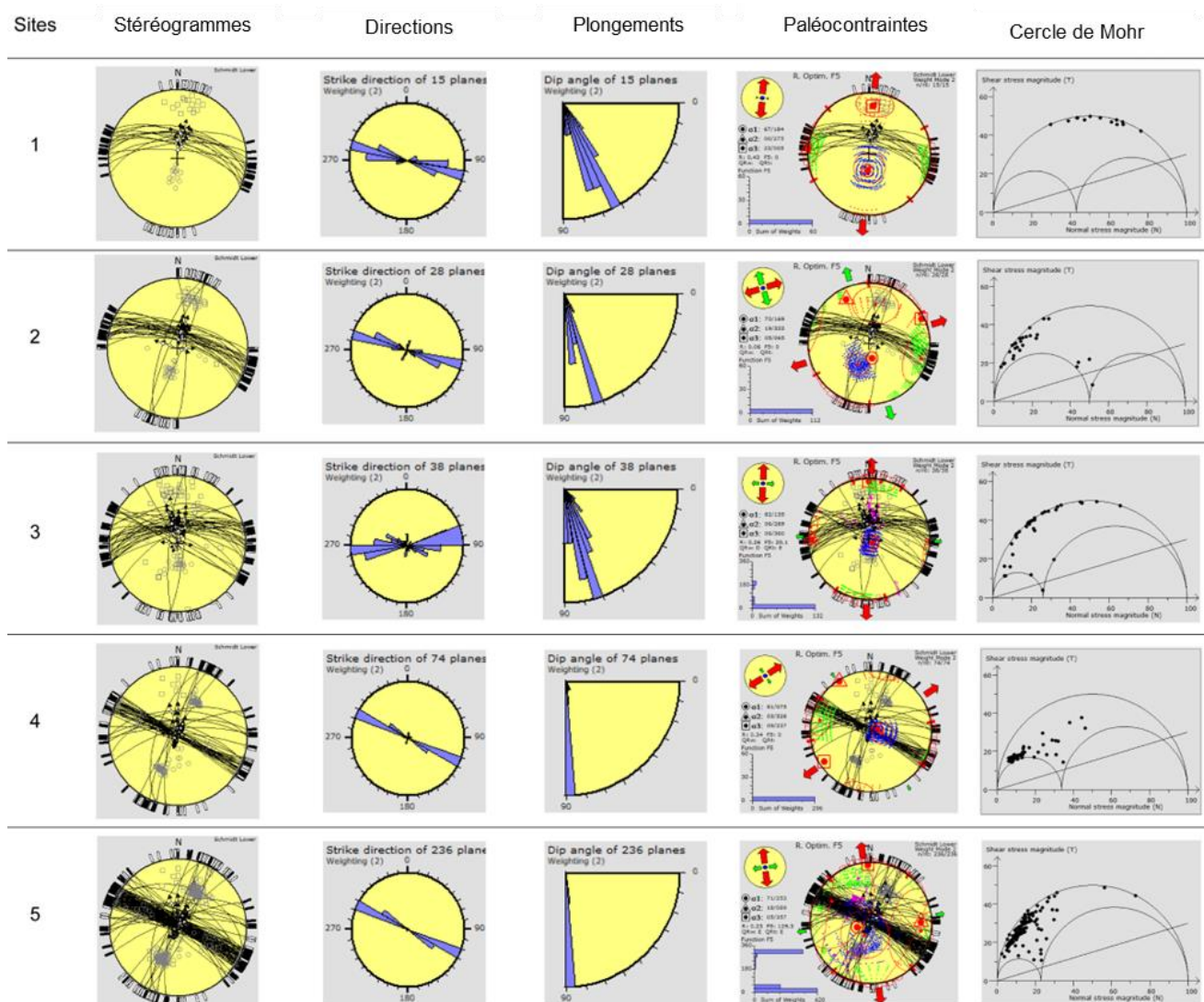


Figure 12: Caractéristiques structurales des objets de la déformation dans 5 sites, définies par les stéréogrammes, les rosaces de direction, les diagrammes des angles de pendage, les diagrammes des pôles et les cercles de Mohr.

III.2.3 Caractéristiques des paléocontraintes

Les principales contraintes responsables des déformations de la fabrique rocheuse se caractérisent par leurs orientations, pendages et la valeur de leur action sur les roches. Ils sont variables à travers les divers sites. La contrainte principale maximale montre trois groupes d'orientation. L'orientation N-S prédomine dans le site 1. Elle est également orientée NNW-SSE et NW-SE dans les sites 2 et 3 respectivement. Dans les sites 4 et 5, elle est orientée ENE-WSW (**Fig. 15, Tab. 8**).

Les contraintes principales intermédiaires et minimales montrent des pendages proches du plan horizontal et des orientations différentes de 90°. Les angles de pendage de la contrainte principale intermédiaire sont compris entre 0° et 19°, alors que ceux de la contrainte minimale

sont entre 5° et 27°. Deux principales orientations et différentes de 90° sont mises en évidence : E-W (σ_2) et N-S (σ_3) (**Fig. 15, Tab. 8**, sites 1, 3, 5) et NNW-SSE (σ_2) et ENE-WSW (σ_3) (**Fig. 15, Tab. 8**, sites 2, 4).

L'essai d'évaluation de l'action de la contrainte sur les roches a été effectué par le cercle de Mohr (**Fig 15**). Il montre que la contrainte principale maximale exerce une pression comprise entre 50-78 MPa. La contrainte principale intermédiaire est exercée pour une pression comprise entre 22 et 50 MPa. La contrainte principale minimale est nulle pour tous les sites. Dans les sites 1, 2, 3, 4, 5, la contrainte principale maximale est supérieure à la contrainte intermédiaire, alors que la contrainte minimale est nulle. Ces caractéristiques montrent que la contrainte principale maximale est verticale, l'extension se produit suivant les orientations N-S, NNE-SSW et ENE-WSW.

III.2.4 Régime tectonique

Les valeurs du rapport et d'index de contrainte sont variables d'un site à l'autre. Elles sont comprises entre 0.06 et 0.5 (**Tab. 8**). Elles mettent en évidence deux régimes tectoniques, l'extension pure et l'extension radiale. L'extension pure est effectuée suivant trois principales orientations : N-S, NNE-SSW et ENE-WSW dans les sites 1, 3, 4 (**Fig. 15**). L'extension radiale est enregistrée dans les sites 2 et 5. Elle s'effectue suivant les orientations N-S et E-W d'une part et ENE-WSW et NNE-SSE d'autre part (**Fig. 15**).

Tableau 8: Caractéristiques des plans de joints nourris et paléocontraintes.

Stations	Attitudes Moyennes	Directions des poles moyens	Paleocontraintes			R	R'	Ellipsoïde De contraintes	Régime tectonique
			σ_1	σ_2	σ_3				
Site 1	N100E65N	N10E25S	67/184	0/275	23/005	0,43	0,43	Triaxiale	Extension pure
Site 2	N107E74NNE	N17E16SSW	70/169	19/333	05/065	0,06	0,06	Triaxiale	Extension radiale
Site 3	N84E71N	N174E19S	82/135	06/269	06/360	0,26	0,26	Triaxiale	Extension pure
Site 4	N142E86NE	N52E4SW	81/075	03/328	09/237	0,34	0,34	Triaxiale	Extension Pure
Site 5	N105E86NNE	N15E4S	71/253	18/089	05/357	0,23	0,23	Triaxiale	Extension Radiale

R= Ratio de contrainte et **R'**= Index de contrainte.

Ce travail a été effectué sur des affleurements localisés au centre du bassin dans la localité de Bambalo, le long du cours d'eau Mayo Baïdja. Les faciès rencontrés sont constitués des formations de socle (quartzite et migmatite), les formations plutoniques (granite rose) et la couverture sédimentaire (argilite et siltite qui sont carbonatées) sont affectées par des structures sédimentaires et très riches en fossiles. Les analyses géochimiques révèlent des teneurs faibles

en SiO₂ et relativement faibles pour les autres oxydes. La perte au feu (LOI) est élevée. Les valeurs de tous les échantillons analysés mettent en évidence des concentrations élevées en Barium (Ba), en Strontium (Sr), en Vanadium (V) et modérées en Zirconium (Zr), en Gallium (Ga), en Chrome (Cr), en Nickel (Ni) en Cobalt (Co) ainsi que des teneurs très faibles pour les autres éléments. Les teneurs en éléments terres rares sont faibles dans l'ensemble des échantillons. Ces faciès sont affectés par les objets de la déformation cassante (joints nourris). Ils ont pour orientation principale E-W. La paléocontrainte principale maximale est verticale, avec une extension qui se produit suivant les orientations N-S, NNE-SSW et ENE-WSW.

CHAPITRE IV :
INTERPRETATION ET DISCUSSION

CHAPITRE IV : INTERPRETATION ET DISCUSSION

Ce chapitre utilise les résultats de terrain (types de lithofaciès, structures sédimentaires, fossiles, caractéristiques structurales descriptives des objets de la déformation) ; de laboratoire (analyses géochimiques en éléments majeurs, Traces et Terres Rares des strates; caractéristiques structurales analytiques des objets de la déformation) et des travaux antérieurs pour contraindre :

- L'environnement de dépôt;
- Les orientations des objets de la déformation et;
- Les régimes tectoniques.

IV.1. ENVIRONNEMENTS DE DÉPÔTS SEDIMENTAIRES

Les environnements de dépôts sédimentaires sont définis par les caractéristiques suivantes : le types de lithofaciès, les figures sédimentaires, les fossiles (**Boulvain, 2010**) et les teneurs en éléments majeurs, traces et terres rares (**Delu et al 2017; Bokanda et al., 2018; Toyama et al., 2019**). Les roches sédimentaires de la classe des lutites sont d'origine terrigène et caractérisent un milieu continental (**Boulvain, 2010**). La présente zone d'étude montre les argilites et siltites carbonatées. Elles appartiennent à la classe des calcilutites. Leur présence traduit l'existence d'un milieu continental à faible hydrodynamisme. **Ntsama (2013)** et **Bessong et al. (2018)** identifient également ces mêmes lithofaciès au centre du bassin et les grès aux extrémités. Leurs résultats mettent également en évidence un paléoenvironnement continental.

La dynamique sédimentaire est déduite du type de structure sédimentaire enregistré par un lithofaciès. Les siltites et argilites présentent les laminations parallèles, les figures d'impact, les fentes de dessiccation et les surfaces durcies. Les laminations parallèles expliquent les changements plus ou moins saisonniers de la sédimentation liée au période de crues et d'étiage. Les figures d'impact restaurent les directions des paléocourants. Les fentes de dessiccation s'expliquent par la transition d'une saison plus humide à une saison sèche. Les surfaces durcies quant à elles marquent les arrêts de sédimentation (**Boulvain, 2010**).

Les fossiles sont d'importants outils d'identification des environnements de dépôts sédimentaires (**Boulvain, 2010**). Les argilites et siltites de la présente zone d'étude contiennent simultanément les fossiles animaux et végétaux. Il s'agit des reptiliens, des restes d'arêtes de

poisson, des traces de feuilles de plantes et les traces de branches. Leur présence traduit un paléoenvironnement continental et aquatique.

La forte teneur en matière organique peut être déduite de la perte au feu. Leurs valeurs élevées traduisent une teneur importante en matière organique. Les pertes au feu des échantillons de roches sédimentaires analysées sont comprises entre 11,6 et 15,2 %. Elles sont élevées et corroborent avec la forte présence des fossiles organiques d'origine végétale et animale. **Bessong et al. (2018)** soulignent également une forte teneur en matière organique dans ce bassin.

Le ratio Th/U permet de définir l'environnement de dépôt sédimentaire (**Hollywood and Whorlow 1993 ; Bokanda et al., 2018**). Un milieu est marin pour $Th/U < 2$ et continental pour $Th/U > 2$. Le ratio Th/U varie entre 2,61 et 7,06 au sein des huit (08) échantillons de roches sédimentaires. Toutes les valeurs $Th/U > 2$, donc le milieu de dépôt est continental.

Le ratio U/Th permet également de discerner le milieu de dépôt. Pour $U/Th < 0,65$, le milieu est oxis ; pour $0,65 < U/Th < 1,25$, le milieu est dioxique et pour $U/Th > 1,25$, le milieu est anoxique (**Rimmer 2004 ; Bokanda et al., 2018 ; Toyama et al., 2019**). Le ratio U/Th varie entre 0,14 et 0,37 dans la zone d'étude. Tous les ratios $U/Th < 0,65$ pour tous les échantillons. Le milieu est donc oxis.

Le ratio Ni/Co permet de discerner la nature du milieu de dépôt. Pour $Ni/Co < 5$, le milieu est oxis ; pour $5 \leq Ni/Co \leq 7$, le milieu est sub-oxis et pour $Ni/Co > 7$, le milieu est anoxique (**Bokanda et al, 2018 ; Toyama et al, 2019**). Ce ratio est compris entre 1,66 et 2,11 ($Ni/Co < 5$) pour tous les échantillons. Il montre que le milieu de dépôt est oxis.

Le ratio V/Cr constitue également un outil efficace d'identification du milieu de dépôt. Pour $V/Cr < 2$, le milieu est oxis; pour $2 \leq V/Cr \leq 4$, le milieu est dioxique et pour $V/Cr > 4$, le milieu est anoxique (**Bokanda et al, 2018 ; Toyama et al, 2019**). Le ratio V/Cr varie entre 1,24 et 1,52 ($V/Cr < 2$), donc le milieu est oxis.

Un milieu marin est caractérisé par un enrichissement en éléments terres rares lourdes (HREE) par rapport aux éléments terres rares légères (LREE, **Bolhar et al., 2004 ; Abigail et al., 2010, Bokanda et al., 2018**). Le ratio Nd/Yb montre que cinq (05) échantillons sur huit (08) ont un $Nd/Yb < 1$. La zone étudiée est donc plus riche en HREE qu'en LREE. Pour un rapport $Pr/Yb > 1$, les LREE prédominent sur les HREE. Le ratio Pr/Yb montre que cinq (05) échantillons sur huit (08) ont un ratio $Pr/Yb < 1$. La zone est donc fortement influencée par les

HREE qu'aux LREE. Pour un rapport $\text{Sm/Yb} > 1$, les MREE prédominent sur les HREE. Le ratio Sm/Yb montre que cinq (05) échantillons sur huit (8) un ratio $\text{Sm/Yb} < 1$. La zone est fortement influencée par les HREE qu'aux MREE.

Le rapport Y/Ho permet de déduire la qualité d'eau d'un environnement. Ainsi, pour $\text{Y/Ho} < 45$, les eaux sont fluviales et pour $\text{Y/Ho} > 45$, les eaux sont marines (**Yoshiyuki et al., 2000**). Les ratios $\text{Y/Ho} < 45$, pour tous les échantillons. Ils mettent en évidence un environnement fluvial.

L'environnement de dépôt peut également être déduit à partir des types d'anomalies en La, Ce et Gd. Pour $\text{Ce/Ce}^* > 0,95$, l'anomalie est positive et on suggère un environnement continental (système fluvial). Par contre pour $\text{Ce/Ce}^* < 0,95$, l'anomalie est négative et on suppose un environnement marin (**Elderfield et al., 1990; Bau et Dulski 1996; Bolhar et Van Kranendonk 2007**). Le ratio Ce/Ce^* de toutes les strates montre des valeurs supérieures à 0,95. Elles définissent une anomalie positive en La. Elles sont mises en place dans un milieu fluvial.

Quatre (04) échantillons montrent une anomalie positive en Pr car les concentrations sont supérieures à 1.05. L'anomalie positive traduirait l'action d'un milieu marin au cours du dépôt des sédiments, tandis que l'anomalie négative permet de noter le transport des sédiments par les eaux.

Pour un ratio $\text{Gd/Gd}^* > 1$, l'anomalie est positive et indique l'influence marine dans le milieu continental. Par contre, pour $\text{Gd/Gd}^* < 1$, l'anomalie est négative. Elle démontre d'une absence de l'influence marine dans le milieu continental (**Elderfield et al., 1990; Bau et Dulski 1996; Bolhar et Van Kranendonk 2007**). Les ratios Gd/Gd^* sont supérieurs à 1 pour quatre (04) strates et inférieurs pour les quatre autres. Ces valeurs traduisent l'action marine dans le milieu continental contre une absence pour les autres strates. Les résultats des présents travaux démontrent que les sédiments se sont déposés dans un milieu fluvio-lacustre oxygéné avec faible influence ou absence d'influence d'une mer ancienne.

IV.2. ORIENTATIONS DES OBJETS DE LA DÉFORMATION

Les sites étudiés présentent des joints qui montrent deux principales directions de fracturations, WNW-ESE et E-W et deux directions secondaires, NNE- et N-S. les directions principales (WNW-ESE et E-W) sont les plus anciennes, elles sont confondues à l'orientation de la Branche de Yola (E-W à N120E, **Benkhelil 1988**) et à celle des failles listriques, identifiées dans ce Bassin (**Guiraud et Maurin 1992**). Ces joints montrent des plongements

Nord, définissant par conséquent une extension N-S, responsable des joints N-S et NNE-SSW, identifiés dans la présente étude. Ainsi les joints N-S et NNE-SSW sont plus récentes que les joints WNW-ESE et E-W en extension N-S. les orientations de ces joints sont également confondues à celles des failles senestres N-S et NNE-SSW du Mayo Louti.

IV.3. RÉGIMES TECTONIQUES

Un régime tectonique est extensif pour une contrainte principale maximale verticale et le ratio de contrainte R est égal à l'index de contrainte R' ($R=R'$, **Delvaux et al., 1999**). Les résultats de la présente étude montrent quatre orientations pour la contrainte principale maximale (N-S, NNW-SSE, NW-SE et ENE-WSW). Leurs plongements sont proches de 90° (67-82) et $R=R'=0,06-0,5$. Ainsi, la zone est soumise à une extension. Le régime tectonique est extensif radial pour $0 < R < 0,25$ et extensif pur, pour $0,25 < R < 0,75$ (**Delvaux et al., 1999**). Pour cette étude R et R' de valeurs comprises entre 0,03 et 0,23 montre d'une part l'action d'une extension radiale et pour les valeurs de R et R' comprises entre 0,26 et 0,43; l'extension est pure. L'orientation d'extension est déduite de celle de la contrainte principale minimale. L'analyse structurale de ces déformations présente des contraintes principales minimales orientées N-S, NNE-SSW, ENE-WSW et E-W. Ces caractéristiques montrent que la contrainte principale maximale est verticale, l'extension se produit suivant les orientations N-S, NNE-SSW et ENE-WSW.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

La présente étude a permis de réévaluer l'environnement de dépôt dans le bassin sédimentaire et de déterminer les contraintes de déformation et les régimes tectoniques. Les études menées dans le Bassin sédimentaire du Mayo-Oulo-Léré, sur la base d'une analyse sédimentologique et structurale sur le terrain et en laboratoire et d'une analyse géochimique, révèlent que :

- (i) Les formations sédimentaires du Bassin de Mayo-Oulo-Léré sont formées de grès, siltites et argilites, mis en place dans un paléoenvironnement fluvio-lacustre, oxygéné avec une faible ou une absence d'influence d'une ancienne mer;
- (ii) Les formations sédimentaires sont affectées par les structures de la déformation cassante, nommés joints, montrant des orientations E-W et WNW-ESE (plus anciennes) d'une part et des orientations N-S, NNE-SSW (plus récentes);
- (iii) La contrainte principale maximale est proche de la verticale, contrairement à la contrainte principale minimale d'orientation N-S, NNE-SSW et ENE-WSW, qui définit les orientations des extensions.

Plusieurs travaux similaires à celle de la présente étude doivent à nouveau être menés dans ce Bassin pour ressortir un modèle efficace de la déformation révélant la cinématique du Bassin dès sa genèse jusqu'à ce jour.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allix, P., Grosdidier E., Jardiné, S., Legoux, O., Popoff, M. (1981). Découverte d'Aptien supérieur à Albien inférieur daté par des microfossiles dans la série détritique crétacée du fossé de la Bénoué (Nigéria). C.R. Acad. Sci. Paris, ser. 2, vol. 292, p.1291-1295.
- Allix, P., Popoff, M. (1983). Le Crétacé inférieur de la partie nord-orientale du fossé de la Bénoué (Nigéria) : un exemple de relation étroite entre tectonique et sédimentation. Bull. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, vol. 7, p. 349-359.
- Allix, P., Popoff, M., (1983). Le Crétacé inférieur de la partie nord-orientale du fossé de la Bénoué (Nigéria) : un exemple de relation étroite entre tectonique et sédimentation. Bull. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, vol. 7, p. 349-359.
- Allix, P., Popoff, M., (1983). Le Crétacé inférieur de la partie nord-orientale du fossé de la Bénoué (Nigéria) : un exemple de relation étroite entre tectonique et sédimentation. Bull. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, vol. 7, p. 349-359.
- Alvin, K.L. (1982) Cheirolepidiaceae: biology, structure and paleoecology. Review of paleobotany and palynology, vol 37 (1-2), p. 71-98.
- Ambeh, W.B., Fairhead, J.D and Stuart, G.W. (1988) Seismicity, structure and tectonics of the Cameroon volcanic line. Pub of University of Leeds, Department of Earth Sciences, U.K. vol. 15, p. 4-7.
- Ambraseys, N.N. et Adams R.D. (1986) Seismicity of the Sudan. Bull of the seismological soc of America. Vol. 76 (2) p. 483-493.
- Angelier, J. (1984). Tectonic analysis of fault slip data sets, Journal of Geophysical Research, (89), p. 5835-5848.
- Arthaud, F. (1969). Méthode de détermination graphique des directions principales de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population des failles. Bulletin de la société géologique de France, (11): 729-737.
- Bagnouls, F. et Gaussen, H. (1957). Les climats biologiques et leur classification. Ann. Géo. XXVI, vol. 335, p. 193-200.
- Barberi F., Santacroce R., Ferrara G., Treuil M., Varet J., (1975). A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallization: the Boina center (Afar Ethiopia). J Petrol. Vol. 16, p. 22-56.
- Bau M., Dulski P. (1996). Distribution of yttrium and rare-earth element in the penge and kuruman iron-informations, transval 496 supergroup, South Africa Précambrien Res. Vol. 79, p. 37-55.

- Bella Nke, B.E., Njanko, M.A., Njonfang, E., Rochette, P. (2018) Kinematic evolution of the Mboakop Pan-African granitoids (western Cameroon domain): an integrated AMS and EBSD approach. *Journal of structural geology*, vol. 111, p. 42-63.
- Benkhelil, (1986). Structure et évolution géodynamique du bassin intracontinental de la Bénoué (Nigeria). Thèse de Doctorat Nice, p. 230.
- Benkhelil, J. (1988) structure et évolution géodynamique du bassin intracratonique de la Bénoué (Nigéria). *Bulletin Centre de Recherche Exploitation Production Elf Aquitaine*, vol. 12 : p. 29-128.
- Benkhelil, J. and Robineau, B. (1983) Is the Benue Trough à Rift? *Bulletin of the Research Centers Exploration and Production. Elf Aquitaine*, vol. 7, p. 315-321.
- Bessong, M., Hell, J.V., Samankassou, E., Feist-Burkhardt, S., Eyong, J.T., Ngos, S.I., Nolla, J.D., Mbesse, C.O., Adate, T., Mfoumbeng, M.P., Noel Dissombo, E.A., Ntsama, A.J., Mouloud, B., Ndjeng, E. (2018) Hydrocarbon potential, palynology and palynofacies of four sedimentary basin in the Benue Trough, northern Cameroon. *Revue Africaine des Sciences de la Terre*, 139, p. 73-95.
- Blarez E. (1986). La marge continentale de Côte-d'Ivoire Ghana : structure et évolution d'une marge continentale transformante. Thèse Doctorat Université Paris VI p. 1-188.
- Bokanda E.E., Philip, F., Ekomane, E., Konfor, N.I., Bisse, S.B., Akono, D.F., Ekoa Bessa, A.Z. (2018). Geochemical characteristics of shales in the Mamfe Basin, South West Cameroon: Implication for depositional environments and oxidation condition. *Journal of African Earth Sciences*, vol 149, p. 131-142.
- Bolhar, R., Van Kranendonk, M.J. (2007). A non-marine depositional setting for the northern Fortescue Group, Pilbara Craton, inferred from trace element geochemistry of stromatolitic carbonates. *Precambrian Res.* 155 (3), p. 229–250.
- Boulvain. F. (2010). *Pédrologie sédimentaire : des roches aux processus*. Technosup, p. 259.
- Brabant P., Gavaud M. (1985). *Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun* p. 285.
- Brunet, M., Dejax, J., Brillanceau, A., Congleton, J., Downs, W., Dupéron-Laudouenex, M., Eisenmann, V., Flanagan, K., Flynn, L., Heintz, E., Hell, J., Jacobs, L., Jehenne ; V., Ndjeng, E., Mouchelin, G et Pilbeam, D. (1988). Mise en évidence d'une sédimentation précoce d'âge barrémien dans le fossé de la Bénoué en Afrique occidentale (Bassin de Mayo-Oulo-Léré, Cameroun) en relation avec l'ouverture de l'Atlantique sud. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 306, Sér. II, p. 1125-1130.
- BUCREP. (2015) : *Etat et structures de la population : indicateurs démographiques*. Rapport, p. 49.

- Burham, O.M et Schweyer, J. (2004). Trace element analysis of geological samples by ICP-MS at the Geoscience Laboratories: revised capabilities due to improvements to instrumentation, in summary of field work and other activities: Ontario Geological Survey, open file report 6145, p. 20-54.
- Burham, O.M., Hechler, J.H., Semenyna, L., and Schweyer, J. (2002). Mineralogical controls on the determination of trace elements following mixed acid dissolution, in summary of field work and other activities: Ontario Geological Survey, open file report 6100, p. 12-36.
- Carey, E., and Brunier, B. (1974). Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliqué à l'étude d'une population de failles. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 279 (D). p. 891 -894.
- Carter, J., Barber, W., Tait, E., Jones, P., (1963). The geology of parts of Adamawa, Bauchi and Bornu provinces in North-Eastern Nigeria. *Bull. Geol. Serv. Nigeria, Kaduna, Nigeria*. 30, p. 1-109.
- Colin, J.P., Brunet, M., Congleton, J., Dejax, J., Flynn, L., Hell, J.V., Jacobs, L.L. (1992). Ostracodes lacustre des bassins d'âge Crétacé inférieur du Nord Cameroun : Hamakoussou, Koum et Babouri-Figuil, *Revue Paleobiol (Genève)*, 11, 2, p. 357-372.
- Dejax, J., Brunet, m., Brillanceau, A., Congleton, J., Downs, W., Duperon-Laudoueneix, M., Eisenman, V., Flanagan, K., Flynn, L., Heintz, E., Hell, J., Jacobs, L., Jehenne, Y., Ndjeng, E., Mouchelin, G., Pilbeam, D. (1988). Mise en évidence d'une sédimentation précoce d'âge Barrémien dans le Fossé de la Bénoué en Afrique occidentale (Bassin du Mayo Oulo Léré, Cameroun), en relation avec l'ouverture de l'Atlantique Sud. *Journal of geoscience and environment*, vol.7 No.6.
- Dejax, J., Brunet, M., Michard, J.G., Hell, J. (1989). Empreintes de pas de dinosauriens dates du Crétacé inférieur dans le bassin de Babouri- Figuil (Fosse de la Bénoué, Cameroun). *N Jb. Geol. Paleont. Abh*, 178 (1), p. 85-108.
- Delu, L., Rongxi, L., Zengwu, Z., Xiaoli, W., Futian, L., Bangsheng, Z., Jinghua, C., Baoping, W., (2017). Elemental characteristics and paleoenvironment reconstruction: a case study of the Triassic lacustrine Zhangjiatan oil shale, southern Ordos Basin, China. *Acta Geochim* 37 (1), p.134-150.
- Delvaux D., Moeys R., Stapel G., Petit C., Levi, K., Miroshnichenko, A., Ruzhich, V., Sankov. (1997). Paleostrees reconstructions and geodynamics of the Baikal region, central Asia, part II: Cenozoic rifting. *Tectonophysics* vol.282, p.86-97.

- Delvaux, D. et Barth, A. (2009) Tectonic stress field in rift systems – a compression of Rhinegraben, Baikal Rift and East African Rift. In ECGS Blue Book, proceedings of the 27th ECGS Workshop “Sismicity Patterns in Euro-Med Region”.
- Delvaux, D., Moeys, R., Stapel, G., Petite, C., Levi, K., Miroshnichenko, A., Ruzhich, V., and San'kov, V. (1999). Paleostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part 2. Cenozoic rifting. *Tectonophysics*, (282), p.1-38.
- Déruelle, B., Ngounouno, I., Demaiffe, D. (2007) The Cameroon Hot Line (CHL): a unique example of active alkaline intraplate structure in both oceanic and continental lithospheres. *C. R. Geosciences* vol. 339 (9), p. 589-600.
- Dumont, J.F. (1987) Etude structurale des bordures Nord et Sud du Plateau de l'Adamaoua : influence du contexte Atlantique. *Géodynamique*, vol. 1, p. 9-13.
- Elderfield, H.R. Upstill-Goddard, and E. R. SHOLKOVITZ. (1990) The rare earth elements in river, estuaries, and coastal seas and their significance to the composition of ocean waters. *Geochimica and Cosmochimica Acta* Vol. 54, p. 971-991.
- Eltom, H.A., Abdullatif, O.M., Makkawi, M.H. (2017). Rare earth element geochemistry of shallow carbonate outcropping strata in Saudi Arabia: application for depositional environments prediction. *Sediment. Geol.* Vol. 348, p. 51-68.
- Etchecopar, A., Vasseur, G., and Daignières, M. (1981). An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from faults striation analysis. *Journal of Structural. Geology*. Vol. 3, p. 51 – 65.
- Etoundi, R., F. Mvondo, J. Ntsama, A. Ganwa, S. Owona, J. Yene, (2021). Paleostresses and Kinematic markers analysis from the Garoua basin (North Cameroon, Central Africa): Implications for the tectonic reconstitution. *Sciences, Technologies et Développement*, vol. 23, p. 1 -13.
- Faure, S. (1995). Reconstruction des paléocontraintes tectoniques dans les basses-terres du Saint Laurent et les Appalaches du Québec et du nord du Nouveau-Brunswick. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre, p. 252.
- Fitton, J.G. and Dunlop, H.M. (1985) The Cameroon Line, West Africa, and its Bearing on the Origin of Oceanic and Continental Alkali Basalt. *Earth and Planetary Science Letters*, 72, p. 23-38.
- Gavaud M et Muller J.P. (1980). Carte du sol du Cameroun (in : Les Atlas jeune Afrique) Eds Jeune Afrique. Paris, p. 25-27.
- Grant, N.K. (1971) The South Atlantic Benue Trough and Guinea Cretaceous Triple Junction. *Geological Society of American Bulletin*, 82, p. 2295-2298.

- Guireau, M. (1991) Mécanisme de formation d'un bassin créacé sur décrochements multiples de la Haute Bénoué (Nigéria). BCREDP ELF AQUITAINE, 15(1): p. 11-67.
- Guireau, R., and Maurin, J.C. (1991) Early Cretaceous rifts of Western and Central Africa: an overview. *Tectonophysics*, 213, p. 153-168.
- Guireau, R., Bellion, Y., Benkhelil, J., Moreau, C. (1987) Post- Hercynian tectonics in northern and western Africa. *Geological journal* 22 (S2), p. 433-466.
- Hollywood, J.M., Whorlow, C.V. (1993). Structural development and hydrocarbon occurrence of the carboniferous in the UK southern North Sea basin. In: Parker, J.R. (Ed.), *Petroleum Geology of Northwest Europe; Proceedings of the 4th Conference*. Geological Society, London, p. 689–696.
- Jolly, R.J.H et Sanderson, D.J. (1997) A Mohr construction for the opening of a pre-existing fracture. *Journal of structural geol*, vol 19 (6), p. 887-892.
- Kampunzu A., Caron J., Lubala R. (1986). The East African Rift, magma genesis and asthenolithic dynamics. *Episode* 9, p. 211-216.
- Koch P. (1959). Carte géologique de reconnaissance à l'échelle 1/500000, notice explicative Garoua Ouest. *Mines géol Cameroun* (Eds), Yaoundé p. 48.
- Letouzey R. (1969). *Etude phytogéographique du Cameroun*. Paris. p. 511.
- Li, Z.C., Li, W.H., Lai, S.C., Li, Y.X., Li, Y.H., Shang, T. (2015). The palaeosalinity analysis of Paleogene lutite in Weihe Basin. *Acta Sedimentol. Sin.* 33 (3), p. 480–485 (in Chinese with English abstract).
- Maluski H., Coulon C., Popoff M., Baudin P. (1995) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$. Chronology, petrology and geodynamic setting of Mesozoic to early Cenozoic magmatism from the Bebué Through, Nigeria. *J. of the Geol. Soc of London*, 152, (2) p. 311.
- Masclé, J. (1977). Le Golfe de Guinée (Atlantique Sud) : un exemple d'évolution de marges atlantiques en cisaillement. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, n.s., 128, p. 104.
- Maurin J. et Guiraud, R. (1989). Relation entre tectonique et sédimentation dans les bassins barrémo-aptien du Nord -Cameroun. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 308, p. 787- 792.
- Mazzarini, F., Le Corvec, N., Isola, I. and Favalli, M. (2019) volcanic field elongation, vent distribution, and tectonic evolution of a continental rift: The main Ethiopian Rift example. *Geosphere* 12, p. 706-720.
- Montigny, R., Ngounouno, I., Déruelle, B., (2004) K-Ar ages of magmatic rocks from the Garoua rift: their place in the frame of the Cameroun Line. *C. R. Geoscience* 336, p. 1463-1471.

- Mvondo Owono., F. (2001). Nouvelle approche de la déformation progressive du contexte fragile de Yaoundé et ses environs. Mémoire de DEA, Université de Yaoundé I, p. 50.
- Ngako F., Jegouzo P., Nzenti J.P, (1991). Le cisaillement centre Camerounais. Rôle structural, et géodynamique dans l'orogénèse panafricaine. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Séries 2. Sciences de l'univers, Sciences de la Terre p. 457-463.
- Ngako, V., Affaton, P., Nnange, JM., Njanko, Th., (2003) Pan-African evolution in central and southern Cameroon: transpression and transtension during sinistral shear movements, *Journal of African Earth Sciences*, vol 36, p. 207-214.
- Ngounouno, B. Déruelle, R., Guiraud, J.P., Vicat, (2001). Magmatismes tholéiitique et alcalin des demi-grabens créacés de Mayo-Oulo-Léré et de Babouri-Figuil (Nord du Cameroun-Sud du Tchad) en domaine d'extension continentale.
- Ntsama A.J., (2013). Magnétostratigraphie et sédimentologie des formations créacées des bassins sédimentaires d'Hamakoussou et du Mayo Oulo-Léré au Nord Cameroun (Fossé de la Bénoué).
- Olivry, J. C. (1986). Fleuves et rivières du Cameroun, coll. Monographies Hydrologiques ORSTOM, (9). Edition MESRES-ORSTOM, Paris, p. 781.
- Pettijohn F.J, Potter P.E, Siever R. (1972). Sand and Sandstone. Plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Precambrian Research*, V.147, p.124-147.
- Pias. J. Bachelier. G. (1952) Prospection pédologique du synclinal du Peske-Bori, IRCAM, 1952, p. 14.
- Popoff, M. (1988). Du Gondwana a l'Atlantique Sud ; les connexions du fossé de la Bénoué avec les bassins du Nord-Est brésilien jusqu'à l'ouverture du golfe de Guinée au Crétacé Inferieur. *Jour of Africa Earth Sc.* 7(2), p. 409-431.
- Popoff, M., Allix, P. (1983). Approche géodynamique du Fosse de la Bénoué (NE Nigeria) à partir des données de terrain et de télédétection. *Bull. Centres Rech. Explor-Prod. Elf Aquitaine*, 7, 1, p. 323-337.
- Popoff, M., Kampanzu, A., Coulon, C., Esquevin, J. (1982). Découverte d'un volcanisme mésozoïque dans le Nord-Est du Nigéria : datations absolues, caractères magmatiques et signification dans l'évolution du rift de la Bénoué. In : *Rifts anciens* (édité par Popoff M. et Tiercelin J.) Résumés communs. Trav. Lab.Sci. Terre St. Jérôme, Marseille, France, B19, p. 47-49.
- Pourmand, A., Dauphas, N., and Ireland, T.J. (2012) Anovel extraction chromatography and MC-ICP-MS technique for rapid analysis of REE, Sc and Y: Revising CI-chondrite and Post-Archean Australian Shale (PAAS) abundances. *Chem. Geol.* 291, p. 38-54.

- Reyment, R.A., Dingle, R.V. (1987). Paleogeography of Africa during the Cretaceous Period. *Pal*, 59, p. 93- 116.
- Rimmer S.M. (2004). Geochemical paleoredox indicators in devonian-mississippian blackv shales, central appalachian basin (USA). *Chem. Geol.* 206, p. 373-39.
- Roch, E. (1953). Itinéraires géologiques dans le Nord-Cameroun et le Sud-Ouest du territoire du Tchad. *Bull serv Mines Cameroun*, 1, p. 1-110.
- Schwoerer. P. (1965). Carte géologique de reconnaissance à l'échelle 1/500000, notice explicative Garoua Est, Mines geol Cameroun (Eds), Yaoundé p. 48.
- Sibuet J.C, Mascle J. (1978). Plate kinetic implications of Atlantic equatorial fractures zone trends. *J.Geophys. Res* 83, p. 3401-3421.
- Sieffermann, G et Martin, D. (1963) Carte pédologique du Nord-Cameroun au 1/100.000, Feuille Mousgoy ORSTOM. P.134.
- Suchel, J-B. (1971) La répartition des pluies et les régimes pluviométriques au Cameroun : contribution à l'étude des climats de l'Afrique tropicale. Centre d'étude de Géographie tropicale de Bordeaux-Talence, vol 1 p. 287.
- Thompson, M. et Nicholas, W.J. (1989) Inductively coupled plasma spectrometry. Second Edition Book, p. 43-92.
- Toyama, K. and Y. Terakado. (2019) Estimation of the practical partition coefficients of rare earth elements between limestone and seawater: Discussion and application *Géoch jour*. Vol. 55, p. 139-150.
- Waldron, J.W.F. (2004) Extensional fault arrays in strike-slip and transtensional. *Journal of Structural Geol*, vol. 27, p. 23-34.
- Wright, J.B. (1985) Geology and mineral resources of West Africa, Science, p. 58-59.
- Yoshiyuki. N., Dorte, L., Dia Sotto, A., Anond, S. (2000) The estuarine geochemical of rare earth element and indium in the Chao Phraya River, Thailand. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 64, p. 3983-3994.
- Zhao, B.S., Jin Z., Geng, Y., Wen, X., Yan C., (2016 b). Applying sedimentary geochemical proxies for paleoenvironment interpretation of organic-rich shale deposition in the Sichuan Sasin, China. *Int. J. Coal Geol.* 163, p. 52-71.
- Zhao, B.S., Li, R.X., Wang, X.Y., Wu, X.Y., Wang, N., Qin, J.H., Li, J.J. (2016 a). Sedimentary environment and preservation conditions of organic matter analysis of Shanxi Formation mud shale in Yanchang exportation area. *Ordos Basin. Geol. Sci Technol, Inf.* 35 (6), p. 103-111 (in Chinesse with English abstract).

