

Géochimie et contexte géodynamique de la mise en place des formations géologiques de la région de Brobo, Centre de la Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest

Seydou Mathurin DAÏ BI¹, Gbele OUATTARA^{1*}, Allou GNANZOU² et Inza COULIBALY²

¹ *Laboratoire des Géosciences, Cadre de Vie, Environnement et Sciences Géographiques, UMRI 68, Ecole Doctorale Polytechnique, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*

² *Laboratoire de Géologie du Socle et Métallogénie, UFR-STRM, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire*

* Correspondance, courriel : gbele.ouattara@yahoo.fr

Résumé

La région de Brobo est située dans le centre de la Côte d'Ivoire et les formations géologiques appartiennent au domaine Baoulé-Mossi. Ces formations constituent, en partie, la terminaison nord du sillon volcano-sédimentaire de Oumé-Toumodi-Fettêkro. L'étude pétrographique nous a permis de déterminer trois ensembles lithologiques. Le premier ensemble constitue les volcanites. Ce sont les laves volcaniques (basalte, rhyodacite et rhyolite) et les volcanoclastites (tuff à lappilis et brèches). Le second ensemble est plutonique et est composé de roches de compositions gabbroïques à granitiques (gabbros, diorites, granites à un ou deux micas, granodiorites souvent porphyroïdes). Le troisième ensemble est métamorphique et constitué de métasédiments (schistes divers, micaschistes, grès, sédiments carbonatés, conglomérats, quartzites) et gneiss divers. L'étude géochimique a montré que les roches métavolcaniques de la région de Brobo ont des compositions allant des basaltes aux rhyolites. Les plutonites sont des gabbros, des diorites, des granodiorites et des granites. Les métasédiments sont des shales, des grauwackes et des sandstones. Ces volcanites et plutonites montrent un caractère bimodal avec des affinités tholéïtiques à calco-alkalines. Les diagrammes de normalisation au N-MORB, montrent un enrichissement en LILE (Cs, Rb, Ba, K, etc.) et une anomalie négative en Nb-Ta. La tendance TTG des plutonites indique également un contexte de subduction avec arcs insulaires qui impliqueraient le protocontinent archéen. Ces résultats traduisent un contexte géodynamique de type subduction-collision.

Mots-clés : *volcanites, plutonites, caractère bimodal, subduction-collision, Brobo, Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest.*

Abstract

Geochemistry and geodynamic context of the setting up of geological formations in the Brobo region, Center of Côte d'Ivoire, West Africa

The Brobo region is located in the center of Ivory Coast and the geological formations belong to the Baoulé-Mossi domain. These formations constitute, in part, the northern termination of the volcano-sedimentary greenstone belt of Oumé-Toumodi-Fettêkro. The petrographic study allowed us to determine three lithological sets. The first set constitutes the volcanites. These are the volcanic lavas (basalt, rhyodacite and rhyolite) and the volcanoclastites (lappilis tuff and breccias). The second set is plutonic and is composed of rocks of gabbroic

to granitic compositions (gabbros, diorites, granites with one or two micas, granodiorites often porphyroids). The third set is metamorphic and made up of metasediments (various shales, micaschists, sandstones, carbonate sediments, conglomerates, quartzites) and various gneisses. The geochemical study has shown that the metavolcanic rocks of the Brobo region have compositions ranging from basalts to rhyolites. Plutonites are gabbros, diorites, granodiorites and granites. Metasediments are shales, grauwackes and sandstones. These volcanites and plutonites show a bimodal character with tholeiitic to calc-alkaline affinities. The normalization diagrams at N-MORB, show an enrichment in LILE (Cs, Rb, Ba, K, etc.) and a negative anomaly in Nb-Ta. The TTG trend of plutonites also indicates a context of subduction with island arcs which would imply the archaean protocontinent. These results reflect a geodynamic context of the subduction-collision type.

Keywords : *volcanites, plutonites, bimodal character, subduction-collision, Brobo, Ivory Coast, West Africa.*

1. Introduction

Le sillon plutono-volcano-sédimentaire de Oumé-Toumodi-Fettêkro fait partie de ces nombreux sillons de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. Les travaux réalisés sur ce sillon montrent une diversité de formations [1, 2]. Ainsi, dans la partie sud, les lithologies sont constituées de volcanites (basaltes, andésites, andésites basaltes, dacites et rhyolites) mis en place dans un contexte de subduction. Les plutonites sont essentiellement des gabbros, dolérites, diorites, granodiorites et des granites. Ces formations sont également associées à des métasédiments dans la partie nord du sillon [3]. Les travaux de [4] ont pu, à partir d'une carte géologique de la région, faire ressortir sur le plan lithologique, plusieurs formations géologiques, à savoir des : granitoïdes variés (granites à deux micas, granites à biotite, granodiorites, gabbros, diorites, gneiss), métavolcanites (surtout des pyroclastites acides ou basiques) et des métasédiments (micaschistes, schistes, grauwackes, quartzites). De nombreuses structures régionales telles que la faille subméridienne de N'Zi-Brobo, les failles NE-SO de Dimbokro, NO-SE et E-O ont également été mises en évidence. Les formations de Brobo, bien qu'appartenant à la terminaison nord du sillon de Oumé-Toumodi-Fettêkro, ont fait l'objet de très peu d'études géochimiques. C'est dans l'optique de compléter les informations sur la géodynamique du sillon que la présente étude a été réalisée. L'objectif général de l'étude est de définir les typologies des formations de la zone et leur contexte géodynamique pour un apport à la compréhension de la mise en place des formations birimiennes. Les objectifs spécifiques sont : (i) Déterminer la typologie et classer les différentes roches à l'aide de données géochimiques ; (ii) Déterminer l'évolution géochimique et l'environnement géodynamique ; (iii) Evaluer la pétrogenèse et les implications tectoniques.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description de la zone d'étude

La région d'étude se situe sur la terminaison Nord du sillon de Oumé-Toumodi-Fettêkro et s'étend jusqu'au bassin sédimentaire de la Comoé dans le centre de la Côte d'Ivoire (*Figure 1*), en Afrique de l'ouest. Le département de Brobo est situé dans la région administrative de Bouaké, à environ 25 km de cette ville sur l'axe Bouaké-M'Bahiakro. La zone d'étude est comprise entre les longitudes 5° et 4°20' W et les latitudes 7°20' et 7°59' N. La zone couvre les sous-préfectures de Brobo, Tiendiekro, Raviart, Kouassi-Kouassikro, M'Bahiakro, Satama Sokoura et Satama Sokoro.

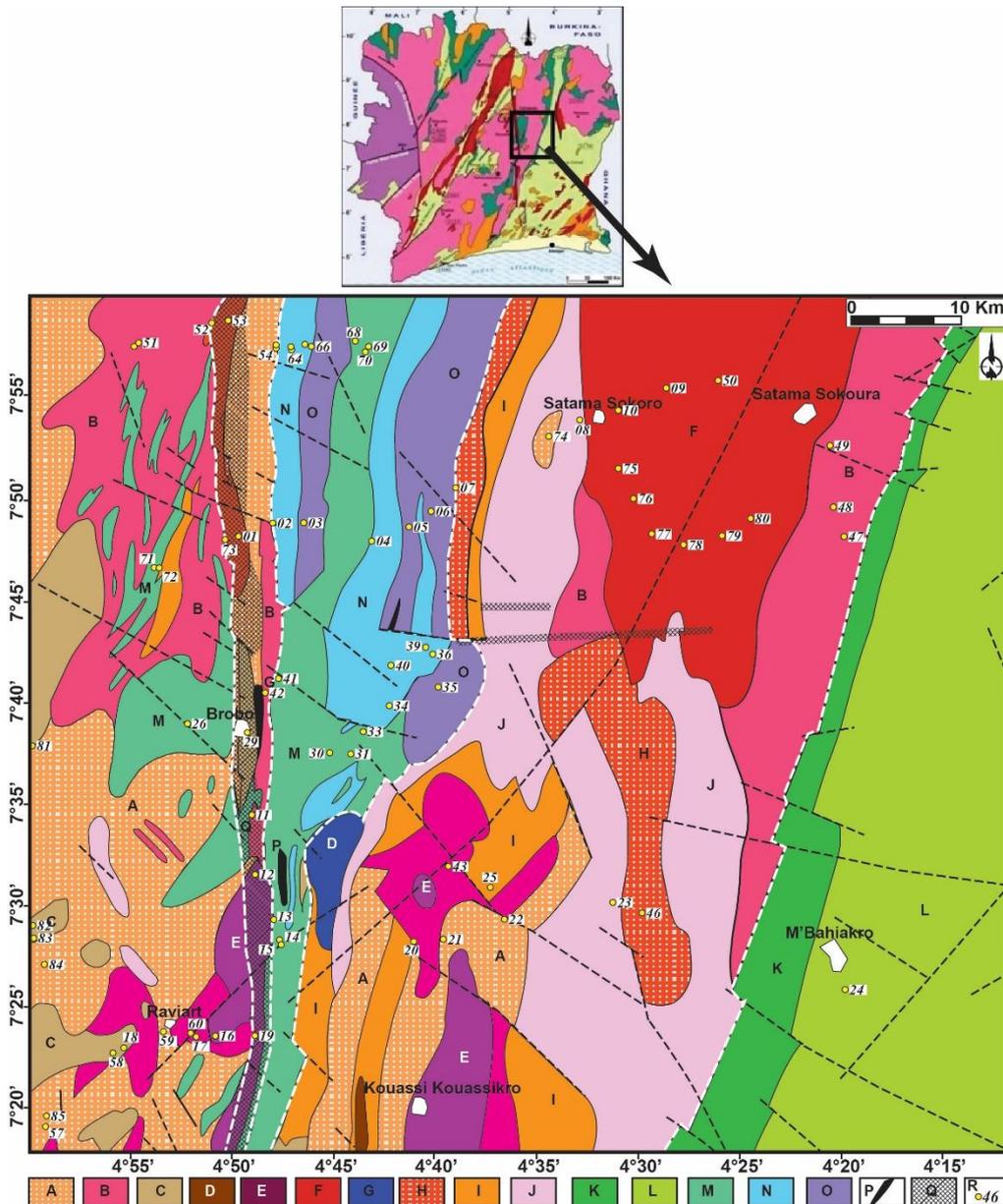


Figure 1 : Extrait de la carte géologique de la feuille de M'Bahiakro (modifiée, d'après [4])

A = granite hétérogène ; B = granodiorite orientée à biotite ou biotite-amphibole ; C = granite à biotite-muscovite ; D = granodiorite à biotite-amphibole ; E = granite leucocrate à biotite ; F = granodiorite porphyroïde à biotite-amphibole ; G = granodiorite porphyroïde orienté à biotite-amphibole ; H = gneiss migmatitique ; I = gneiss migmatitique ; J = migmatite rubanée ; Série de la moyenne Comoé : K = schiste noir, grauwaque, pélite gréseuse ; L = grès, grès schisteux, schiste ; M = micaschiste ; N = lave acide, pyroclastite, tuf acide, métagrauwaque ; O = pyroclastite, brèche, tuf basique ; P = quartzite ; Q = mylonite ; R = échantillon.

2-2. Matériel

Pour une meilleure caractérisation des roches de la région de Brobo, nous avons effectué des analyses en éléments majeurs et en traces des différentes lithologies. Pour ce faire, nous avons utilisé des échantillons sains de volcanites et plutonites. Ainsi, cinquante-neuf (59) échantillons de roches ont été sélectionnés dont vingt-trois (23) échantillons de volcanites et vingt-neuf (29) échantillons de plutonites. Nous avons également analysé sept (07) métasédiments.

2-3. Méthodes

Les échantillons ont été pulvérisés au Bureau Veritas Commodities Côte d'Ivoire Ltd. Ensuite, quinze (15) à vingt (20) milligrammes de poudre de chaque échantillon ont été envoyés au Bureau Veritas Commodities Canada Ltd pour analyses des éléments majeurs et en traces. Les éléments majeurs et en traces ont été analysés par la spectrométrie à émission atomique (ICP-AES) et la spectrométrie de masse (ICP-MS) :

- les éléments majeurs (11): SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 et P_f (LOI) ont été analysés par la spectrométrie à émission atomique (ICP- AES) tandis que Cr_2O_3 a été quantifié par la spectrométrie de masse (ICP-MS) ;
- le carbone (C) et le soufre (S) ont été analysés par la méthode de Leco fournaie. Ils sont tous deux détectables entre 0,02 et 50 ppm ;
- les métaux de base (8) : Ag, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn et Cd ont été analysés par la spectrométrie à émission atomique (ICP-AES) ;
- les éléments volatiles (6) : As, Bi, Hg, Sb, Se et Te ont d'abord été digérés par Aqua Regia puis quantifiés par la spectrométrie de masse (ICP-MS);
- les éléments traces et les terres rares (30 éléments): Ba, Ce, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, V, W, Y, Yb et Zr ont d'abord subi une fusion au lithium bore avant la dissolution acide. Ils ont été quantifiés par la spectrométrie de masse (ICP-MS).

Les résultats des analyses sont consignés dans les **Tableaux 1 et 2**.

2-3-1. Classification et nomenclature

Pour une meilleure caractérisation des volcanites et plutonites de la région de Brobo, nous avons utilisés les alcalins ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) et la silice (SiO_2). Ainsi, le diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ en fonction de SiO_2 de TAS modifié d'après [5] a été utilisé pour les métavolcanites tandis que le diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ en fonction de SiO_2 de TAS [6] a été appliqué aux plutonites. Pour les métasédiments, nous avons utilisé le diagramme $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ en fonction de $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ de [7] pour la classification et la nomenclature. En fonction de ces différents éléments, ces auteurs ont défini des champs qui permettent de déterminer les noms des différents types de roches en tenant compte de leurs différentes origines (volcanique, plutonique, etc.).

Tableau 1 : Compositions en éléments majeurs (%) et traces (ppm) des laves mafiques et acides de la région de Brobo

Echantillon	Basalte								Pyroclastite								Rhyolite				Rhyodacite			
	DB006	DB036	DB064C	DB064D	DB066A	DB066B	DB066C	DB069A	DB069B	DB005	DB056	DB056B	DB064A	DB065A	DB065B	DB068A	DB003	DB002	DB063B	Carotte A	Carotte B	Carotte C	Carotte E	
SiO ₂	49.5	52.9	59.91	61.68	61.60	61.10	61.89	50.27	49.96	52.4	58.2	54.5	52.86	63.20	60.51	62.95	70.62	76.7	73.00	68.46	64.72	77.49	77.61	
Al ₂ O ₃	14.4	13.4	14.57	14.33	15.29	15.35	15.50	14.55	14.82	13.5	14.9	15.5	15.31	14.46	14.36	13.25	15.19	11.6	13.18	15.62	18.48	14.91	10.33	
Fe ₂ O ₃	12.8	9.4	9.30	9.05	9.56	9.56	9.73	13.33	13.49	9.9	7.86	8.93	10.45	8.13	7.35	10.04	2.74	2.96	4.02	3.05	5.94	2.26	4.15	
CaO	10.9	5.05	6.69	5.25	2.79	3.04	3.38	9.87	10.63	8.17	6.49	6.9	9.09	3.95	7.13	4.31	2.46	0.6	2.57	3.69	3.75	1.54	1.54	
MgO	8.09	4.25	3.64	3.92	1.99	2.49	1.65	7.40	7.30	6.35	4.92	6.01	8.06	5.62	5.14	5.94	1.10	0.07	1.12	1.08	1.34	1.32	0.62	
Na ₂ O	2.46	1.8	4.02	3.81	6.95	6.70	4.95	3.21	2.35	2.08	3.61	2.91	2.32	2.17	3.74	1.35	5.60	4.72	3.52	6.08	0.53	0.77	4.41	
K ₂ O	0.16	3.88	0.44	0.60	0.18	0.09	1.18	0.05	0.06	3.64	0.17	0.31	0.57	1.24	0.45	0.97	1.95	2.73	2.15	1.48	4.39	1.27	0.97	
MnO	0.19	0.1	0.13	0.13	0.14	0.12	0.15	0.20	0.20	0.16	0.1	0.11	0.16	0.09	0.19	0.10	0.04	0.04	0.07	0.03	0.07	0.02	0.02	
TiO ₂	1	1.26	1.08	1.03	1.20	1.22	1.25	1.04	1.10	1.03	0.97	1.01	1.00	0.89	0.91	0.84	0.25	0.14	0.32	0.39	0.60	0.34	0.24	
P ₂ O ₅	0.09	0.69	0.21	0.19	0.31	0.31	0.31	0.08	0.09	0.41	0.22	0.2	0.19	0.26	0.21	0.24	0.05	<0.01	0.06	0.13	0.18	0.10	0.10	
Cr ₂ O ₃	0.04	0.07	0.02	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.04	0.03	0.01	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	
LOI	0.48	6.99	1.52	1.76	3.9	3.38	4.45	2.37	2.33	1.9	3.03	3.59	100.00	100.00	100.00	100.00	0.36	0.12	0.92	4.06	4.96	2.06	2.22	
Total	100.11	99.79	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.57	100.48	99.99	2.57	3.09	5.08	3.43	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Ba	50	2055	99	188	93	70	261	47	44	1245	86	109	118	276	143	175	769	604	287	769	1245	86	109	
Be	<1	4	<1	<1	2	<1	<1	<1	<1	2	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1	1	
Co	54.6	28.9	27.3	28.3	21.6	22.3	20.6	47.5	48.3	32.3	30.5	34.5	45.1	29.7	25.5	24.4	6	1.1	4.8	6	32.3	30.5	34.5	
Cs	<0.1	20.1	0.3	0.4	0.4	0.2	2.1	0.5	0.4	0.8	0.2	0.6	0.6	1.7	0.3	1.5	0.4	0.2	1.5	0.4	0.8	0.2	0.6	
Ga	13.4	14.7	15.4	12.7	13.8	17	16.6	13.8	14.8	14.6	12.2	14.2	12.4	12.8	11.3	12.4	17.2	18	14.4	17.2	14.6	12.2	14.2	
Hf	1.4	4.4	5	4.3	5	5.4	5.5	1.5	1.6	2.9	2.8	2.9	2.5	2.6	2.2	2.4	9	5.6	2.4	2.9	2.8	2.9	2.9	
Nb	1.9	9.7	12	9.7	10.1	10	9.6	2.2	2.5	5.3	6.5	7.9	6.7	6.3	6.2	5.5	2.4	22.9	10	2.4	5.3	6.5	7.9	
Rb	1	156.6	5.3	7.2	3.6	1.4	29.7	0.3	0.7	115.1	4.1	8.1	9.4	34.6	5.2	26.8	49	40.8	46.7	49	115.1	4.1	8.1	
Sn	<1	2	2	1	1	2	2	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	4	2	<1	1	<1	<1	
Sr	111.6	385.9	161.8	140.7	126	167.9	82.5	199.8	139.5	455.4	144.2	166.8	174.5	89.5	79	102.3	625.8	62.9	71.9	625.8	455.4	144.2	166.8	
Ta	0.2	0.6	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.1	0.1	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	1.6	0.8	0.2	0.4	0.5	0.5	
Th	0.2	12.4	2.7	2.3	2.1	2.3	2.5	0.2	0.2	3.1	1	0.9	0.7	1	1	0.8	0.8	7.6	4	0.8	3.1	1	0.9	
U	<0.1	1.6	0.8	0.6	0.6	0.6	0.7	<0.1	<0.1	0.9	0.3	0.6	0.1	0.3	0.3	0.1	0.6	2.4	1.4	0.6	0.9	0.3	0.6	
V	275	275	102	118	114	119	125	283	288	233	172	177	146	154	145	169	36	9	18	36	233	172	177	
W	<0.5	5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	2.3	<0.5	<0.5	1.3	0.7	<0.5	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	
Zr	53.9	150.3	201.4	171.5	236.4	242.7	234.2	53.7	57.4	92.7	113	119.4	100.4	101.4	101.3	91.4	79.6	270.8	216.6	79.6	92.7	113	119.4	
Y	20.8	24.5	29.9	25.8	26.8	29	29.3	18.9	21	20.2	21.3	20.7	16.5	19.8	22	16.1	3.5	71.9	26.2	3.5	20.2	21.3	20.7	
La	2.7	45.8	21.6	18.1	18.1	19.7	20.5	3.2	3.7	15.3	11.9	11.5	9.3	11.6	12.3	11.8	6.2	44.6	24.1	6.2	15.3	11.9	11.5	
Ce	7.2	91.4	45.2	37.7	37.3	41.8	41	8.4	9.3	30.6	25.3	25.7	21.5	25	24.7	22.5	11.3	98.9	47.9	11.3	30.6	25.3	25.7	
Pr	1.12	11.27	5.48	4.56	4.84	5.14	5.07	1.28	1.35	3.99	3.21	3.27	2.71	2.95	3.01	2.78	1.37	12.04	5.45	1.37	3.99	3.21	3.27	
Nd	6	43.5	22.8	19	20.6	21.8	21.4	6.7	7	17.6	13.3	13.9	12.2	12.4	13.1	11.6	5.4	47.6	20.9	5.4	17.6	13.3	13.9	
Sm	2.03	8.55	4.98	4.02	4.41	4.83	4.67	2.03	2.31	3.95	2.98	3.12	2.9	3.03	2.94	2.48	0.95	10.29	4.22	0.95	3.95	2.98	3.12	
Eu	0.84	2.3	1.44	1.21	1.35	1.53	1.46	0.77	0.86	1.19	1.02	1.06	0.95	0.9	0.89	0.89	0.36	1.72	0.95	0.36	1.19	1.02	1.06	
Gd	2.96	7.72	5.34	4.75	4.89	5.14	5.3	3.06	3.1	4.22	3.47	3.37	3.15	3.44	3.32	2.94	0.92	11.14	4.53	0.92	4.22	3.47	3.37	
Tb	0.54	1.02	0.85	0.75	0.77	0.8	0.82	0.52	0.54	0.65	0.58	0.59	0.51	0.55	0.55	0.46	0.13	1.94	0.71	0.13	0.65	0.58	0.59	
Dy	3.69	5.17	5.23	4.44	4.67	4.83	5.04	3.38	3.53	3.78	3.56	3.47	2.98	3.41	3.58	2.85	0.75	11.94	4.12	0.75	3.78	3.56	3.47	
Ho	0.81	0.91	1.13	0.95	0.98	1.06	1.1	0.74	0.76	0.77	0.79	0.77	0.65	0.71	0.78	0.64	0.13	2.62	0.98	0.13	0.77	0.79	0.77	
Er	2.48	2.45	3.3	2.78	2.92	3.15	3.03	2.24	2.27	2.23	2.43	2.25	1.92	2.03	2.29	1.74	0.37	8.08	2.77	0.37	2.23	2.43	2.25	
Tm	0.35	0.32	0.46	0.38	0.4	0.44	0.45	0.29	0.34	0.32	0.33	0.33	0.26	0.27	0.33	0.24	0.05	1.16	0.39	0.05	0.32	0.33	0.33	
Yb	2.26	2.06	3	2.61	2.81	2.8	2.91	1.96	2.13	2.05	2.13	2.21	1.78	1.8	2.22	1.55	0.36	7.46	2.71	0.36	2.05	2.13	2.21	
Lu	0.35	0.31	0.47	0.41	0.41	0.45	0.45	0.31	0.33	0.32	0.33	0.34	0.26	0.29	0.36	0.25	0.05	1.15	0.45	0.05	0.32	0.33	0.34	
Mo	0.2	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	<0.1	0.4	0.1	0.3	<0.1	0.3	0.3	1.7	0.1	0.3	0.1	<0.1	0.4	
Cu	122.9	135	54.7	54.7	31.5	33.1	40.5	96.5	92.2	84.2	53.5	57.4	54.8	42.6	40.8	67.3	16.1	2.2	25	16.1	84.2	53.5	57.4	
Pb	0.5	10.7	0.9	1	1.8	2.1	1.7	0.3	0.3	1.6	0.4	0.7	0.4	0.4	0.3	0.4	7.5	3.7	3.5	7.5	1.6	0.4	0.7	
Zn	17	58	66	77	87	90	83	55	59	47	64	70	51	64	64	60	31	53	116	31	47	64	70	
Ni	58.8	62.7	57.5	63.4	9.5	9.8	9.1	89.2	92.7	23.9	54.6	61.6	132.9	56.1	57.6	49.2	18.8	1.9	3.5	18.8	23.9	54.6	61.6	
As	<0.5	5.5	<0.5	<0.5	4	6.2	2.8	3.6	1	1.2	3.9	1.8	7.4	2.5</										

Tableau 2 : Compositions en éléments majeurs (%) et traces (ppm) des granitoïdes et métasédiments de la région de Brobo

Echantillon	Gabbro				Diorite				Granodiorite				Granite										Métasédiments										
	DB014	DB034A	DB034B	DB048B	DB046A	DB020	DB046C	DB047	DB048	DB001	DB008	DB009	DB010	DB011	DB012	DB016	DB018	DB019	DB021	DB022	DB023	DB029	DB042	DB046D	DB050B	DB024	DB026	DB026B	DB028	DB030	DB039	DB051	
SiO ₂	47	51.7	55	52.5	61.9	67.9	66.4	68	62.8	73.5	72.4	74.1	70.2	72	70.8	71.5	73.7	75.9	74.3	73.4	72.5	74	71.1	73.2	69.3	69.6	57.3	75.4	76.1	71.1	70.2	55.3	
Al ₂ O ₃	12.9	13.8	12.3	14.8	15.7	15.7	16.1	14.9	15.5	14.4	13.8	14.2	14.5	14.6	14.9	14.7	13.8	12.4	14.4	13.9	14.7	14.6	13.7	14.3	15.6	14.5	20	11.7	9.88	18	16.9	20.7	
Fe ₂ O ₃	13.7	13.6	18.7	10.2	6.18	3.92	4.38	3.63	5.62	1.39	2.71	1.52	2.79	2.37	2.57	2.32	1.96	2.36	1.66	2.21	2.19	1.44	4.43	1.97	2.85	7.01	9.36	4.31	5.78	3.14	4.44	9.68	
CaO	10.2	10.9	7.26	6.98	5.19	2.68	3.74	3.15	4.77	0.84	1.12	1.11	2.43	1.82	2.1	1.35	1.34	1.43	1.7	1.66	2	0.79	2.93	1.53	2.34	0.12	0.85	2.01	4.05	0.06	0.11	0.75	
MgO	11.8	6.34	14.2	6.55	3.65	1.23	1.19	1.58	2.85	0.25	0.34	0.2	1.11	0.56	0.67	0.58	0.4	0.13	0.3	0.45	0.53	0.19	0.85	0.36	0.72	0.25	3.24	1.26	1.4	0.05	0.23	2.79	
Na ₂ O	1.32	2.07	1.57	3.47	4.31	4.83	5.11	4.12	4.27	3.9	3.31	3.99	3.8	4.1	4.16	4.1	3.26	4.06	5.19	3.59	4.16	4.06	3.99	3.96	4.19	3.54	1.52	3.27	1.27	2.47	1.28	2.46	
K ₂ O	0.12	0.26	0.24	2.41	1.67	2.05	1.34	3.31	2.26	4.8	5.57	4.36	3.63	3.45	3.14	4.42	4.79	2.9	1.92	3.96	3.12	4.36	1.79	4.16	4	1.27	3.4	1.09	0.31	1.64	2.65	3.96	
MnO	0.2	0.19	0.26	0.18	0.1	0.08	0.05	0.06	0.08	0.02	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.07	0.02	0.04	0.16	0.11	0.08	0.15	<0.01	0.05	0.1	
TiO ₂	0.81	1.05	1.74	1.12	0.69	0.48	0.89	0.41	0.65	0.14	0.32	0.1	0.3	0.25	0.31	0.31	0.22	0.14	0.14	0.2	0.22	0.11	0.41	0.2	0.29	0.69	0.67	0.48	0.61	0.49	0.61	0.77	
P ₂ O ₅	0.06	0.1	0.59	0.4	0.19	0.15	0.27	0.15	0.27	0.13	0.07	0.02	0.1	0.1	0.13	0.12	0.03	0.02	0.03	0.08	0.06	0.06	0.08	0.07	0.1	0.05	0.11	0.08	0.06	0.02	0.13	0.12	
Cr ₂ O ₃	0.08	0.03	<0.01	0.04	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
LOI	2.16	0.31	1.07	0.71	0.44	0.43	0.34	0.32	0.56	0.2	-0.05	0.11	0.19	0.2	0.26	0.28	0.34	0.13	-0.03	0.08	0.21	0.41	0.67	0.15	0.35	2.49	3.24	0.16	0.1	2.59	2.93	3.23	
Total	100.35	100.35	100.16	99.36	100.04	99.46	99.82	99.64	99.64	99.58	99.64	99.75	99.1	99.52	99.1	99.72	99.88	99.52	99.65	99.57	99.73	100.05	100.03	99.93	99.79	99.69	99.82	99.86	99.73	99.58	99.54	99.88	
Ba	79	52	72	513	762	747	751	1018	1176	478	1194	642	1610	1138	1458	816	708	517	436	1485	1241	473	430	1803	1544	354	544	417	110	252	2036	1869	
Be	<1	<1	1	1	<1	6	<1	<1	1	3	1	4	<1	4	1	3	4	<1	2	<1	3	2	<1	1	1	2	1	1	1	3	2	<1	
Co	71.6	49.1	19.4	34.4	21.5	10.8	8.3	9.1	16.7	1.3	2.3	1.5	6.2	3.4	3.8	4.4	3.2	1	1.6	3.1	3.5	1.4	8.2	2.6	6	31.3	26.9	13.1	13.8	2.5	10.5	29.1	
Cs	0.2	0.1	0.2	3.2	1.5	19.5	1.2	1	2.4	8.4	4.6	10.6	3.4	2.8	3.8	10.8	8.5	2.2	2.8	3.6	1.2	6	1.6	1.1	5.2	2.1	15	4.6	2.7	0.3	7.9	4.7	
Ga	11.2	12.4	24.9	19.8	19.4	19.4	20.1	15.3	17.4	18.9	15.4	16.1	14.3	14.8	14.8	20.7	14.6	13.2	17	14.4	14	17	18	16.7	15.8	13.8	21.9	10.1	7.8	17.1	25.1	22.9	
Hf	1.2	1.7	7.5	5.2	4.7	4	4.8	3.3	4.2	2.6	6.3	2.6	2.9	3.1	3.7	4.6	4.1	5.5	1.8	1.9	2.5	2.2	5.7	4.1	2.8	3.7	3.4	3.8	5.1	4.3	5.2	3.7	
Nb	1.5	2	7.3	7.2	4.3	9.6	7.3	3.8	5.6	4.7	6.1	4.9	3.2	5.8	5	7	2.4	9.9	2.2	1.6	2.5	3.7	9.6	2.2	3.4	4.5	5.4	3.9	3.7	6.2	11.7	6.7	
Rb	1.9	4.3	0.8	90	57.7	63.8	61	226.4	157.4	167.5	90	90.1	74.1	248.7	154.7	84.9	87.8	96.4	68.6	161.2	68.2	75.2	98.9	49.8	126	51.8	11.2	40.1	75.4	124.1			
Sr	<1	<1	2	2	<1	2	1	<1	2	2	<1	<1	<1	<1	<1	5	<1	<1	5	<1	<1	4	2	4	<1	<1	<1	<1	<1	1	1	1	
Sr	93.1	86.7	152.9	545	595.8	482	787.1	556.4	739.6	117.5	294.8	214.2	502.8	406.5	525.3	270.8	281.5	65.2	405.3	448	393.8	134.5	128.8	551.6	158.2	194	272.4	228	229.5	614.9	219.2		
Ta	<0.1	0.2	0.5	0.3	0.2	1	0.5	0.5	0.7	0.5	0.3	0.6	0.2	0.5	0.3	0.7	0.2	1	0.2	0.1	0.2	0.6	0.8	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.8	0.5	
Th	<0.2	0.3	0.8	0.8	1.2	8.7	2.7	3.2	5.3	14.2	24.6	5.1	5.4	6.5	6.6	13.5	26.5	7.8	2.8	5.3	3.8	13.3	4.9	4.3	9.2	3.2	4.5	3.5	4.7	2.4	11.3	4.5	
U	<0.1	<0.1	0.2	0.4	0.5	7.2	1	0.8	1.1	1.8	2.6	3.8	1.3	0.9	1	3.2	2.1	1.8	1.2	1.3	0.4	2.7	1.6	0.9	1.3	1.2	1.4	1	1.1	0.6	2.5	1.4	
V	23.4	27.2	12	170	123	54	53	59	96	18	24	10	40	23	30	31	21	<8	11	24	19	9	45	23	32	108	135	75	103	40	97	151	
W	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	0.6	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	1.7	
Zr	41.4	58.2	264.5	203.9	199.1	146.4	195.8	116.1	173.9	76.1	232.1	69.1	102.6	103.7	129.4	160	130.7	171	54.7	67.8	97	64.7	208.7	144.1	96.3	133.8	117.2	149.7	194.5	153.6	200	131.2	
Y	14.9	21.6	97.4	20.3	11.1	32.1	6.2	8	13.1	3.5	4.3	3.2	4.8	12.2	11.9	13.6	1.5	31.7	1.3	2.4	2.2	1.8	31.9	3.4	5.5	17.6	20.2	13.2	13.8	7.9	23.5	27.4	
La	2.6	3.5	15.9	23.6	21.9	73.8	39.8	27.5	34.2	23.1	103	7.5	21.1	28.9	43.8	40.8	19.4	31.1	5.6	15.2	11.2	23.7	23.1	24.4	33.2	21.1	23.3	21.1	16.6	10.6	57	46.3	
Ce	6.2	9.2	30.6	56.3	44.6	153	81.5	51.9	73.3	40	184.8	18.6	37.9	55.4	67.2	78.3	54	59.5	11.3	35.7	26.2	37.9	51.3	44.2	59.1	42.6	48.1	38.5	43	20	113.5	87.4	
Pr	0.98	1.34	6.82	8.42	4.94	20.47	10.54	5.66	8.53	4.11	19.69	1.61	4.02	6.47	9.09	8.49	4.08	6.86	0.96	2.59	2.06	3.97	5.81	4.94	6.42	5.08	6.21	4.87	4.11	2.25	13.6	12.93	
Nd	4.9	7.2	34	34	18.5	79.7	40.7	20.4	31.2	13.3	61.9	5.7	14.7	24	33.1	28.9	14.1	25.3	3.5	8.7	7.2	12	21.7	17.1	21.6	19	24	18.5	15.1	8.1	53.7	49.8	
Sm	1.58	2	10.76	6.92	3.18	15.09	6.58	3.28	5.29	2.17	7.46	1.13	2.25	4.05	5.32	4.35	1.8	4.99	0.46	1.4	1.04	1.73	4.6	2.28	3.06	3.61	4.33	3.06	2.74	1.56	9.2	9.6	
Eu	0.65	0.84	3.55	1.82	1.03	3.31	1.76	0.88	1.38	0.43	1.01	0.42	0.72	1.05	1.31	0.9	0.75	0.77	0.31	0.33	0.45	0.35	1.08	0.6	0.81	1.04	1.13	0.82	0.66	0.52	2.38	2.35	
Gd	2.33	3.09	14.07	5.42	2.72	11.43	4.08	2.5	4.07	1.64	3.51	0.95	1.65	3.16	3.89	3.4	1.02	5.04	0.36	1.07	0.75	1.04	5	1.31	2.05	3.53	3.87	2.73	2.44	1.5	7.51	7.8	
Tb	0.4	0.58	2.58	0.71	0.39	1.58	0.41	0.3	0.53	0.18	0.29	0.12	0.2	0.39	0.45	0.39	0.08	0.85	0.06	0.11	0.08	0.1	0.84	0.13	0.24	0.54	0.59	0.41	0.4	0.24	0.91	1.11	
Dy	2.73	3.77	16.77	3.73	2.02	7.59	1.6	1.55	2.67	0.76	0.98	0.65	0.99	1.99	2.32	2	0.34	5.4	0.27	0.55	0.43	0.46	5.05	0.57	1.16	3.07	3.56	2.38	2.38	1.44	4.28	5.56	
Ho	0.56	0.86	3.83	0.75	0.4	1.3	0.2	0.28	0.5	0.11	0.13	0.1	0.17	0.37	0.38	0.38	0.05	1.11	0.04	0.08	0.07	0.06	1.1	0.1	0.18	0.66	0.75	0.48	0.55	0.3	0.78	1.03	
Er	1.79	2.46	11.11	2.02	1.22	3.17	0.51	0.8	1.33	0.29	0.34	0.31	0.48	1	0.88	1.12	0.12	3.45</															

3. Résultats

3-1. Classification et nomenclature

3-1-1. Laves volcaniques et pyroclastites

Les teneurs en SiO_2 et en alcalins ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) indiquent que les roches ont des compositions de basalte, d'andésite basaltique, de trachyandésite basaltique, d'andésite, de dacite et de rhyolite (**Figure 2A**).

3-1-2. Roches plutoniques

Les roches plutoniques basiques à acides de la région de Brobo montre, de façon générale, un chimisme faiblement potassique à fortement potassique (**Figure 2B**); avec une grande majorité des roches dans les champs calco-alcalins moyennement à fortement potassiques. Les teneurs en SiO_2 et en alcalins ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) donnent aux roches des compositions de gabbro, diorite gabbroïque, monzodiorite, granodiorite et granite dans le diagramme de classification de [6]; (**Figure 2C**).

3-1-3. Roches sédimentaires

Les pourcentages en quartz normatif varient entre 20,39 et 56,93 % et en hypersthène entre 0,13 et 8,10 %. Toutefois, toutes ces roches sont sans diopside normatif. Les éléments majeurs montrent que ces roches correspondent à des grauwwacks, des schistes argileux, des schistes argileux ferrifères et des grès ferrifères sur le diagramme de [7], (**Figure 2D**).

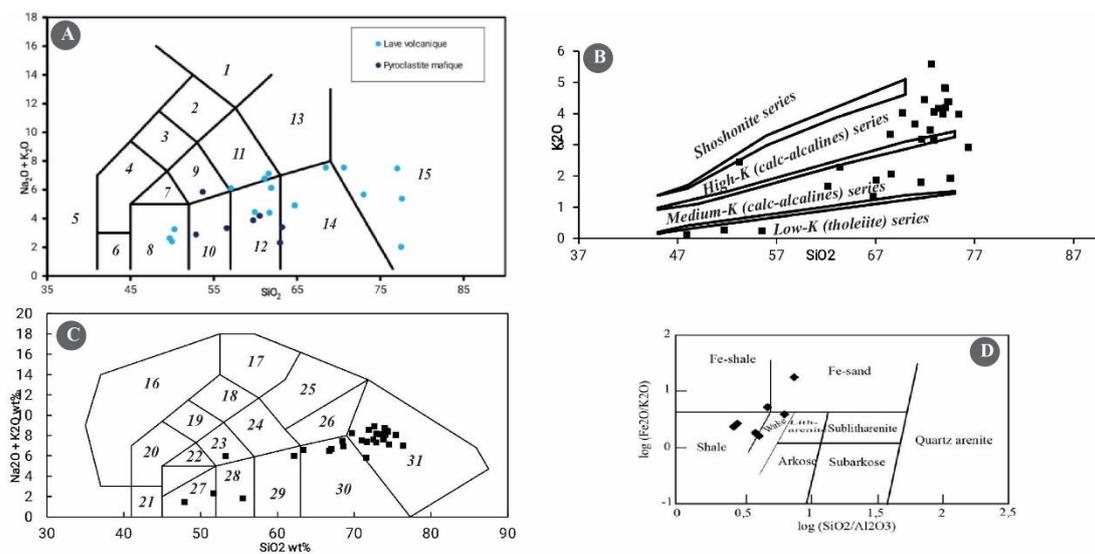


Figure 2 : A. Diagramme de TAS modifié d'après [5] appliqué aux métavolcanites de la région de Brobo. B. Diagramme binaire K_2O en fonction de SiO_2 des séries calco-alcalines de [9] appliqué aux plutonites de la région de Brobo. C. Diagramme de classification de [6] appliqué aux plutonites de la région de Brobo. D. Diagramme de [7] appliqué aux métasédiments de la région de Brobo

[1 = phonolite ; 2 = téphriphonolite ; 3 = phonotéphrite ; 4 = téphrite ($Ol < 10\%$), basanite ($Ol > 10\%$); 5 = foïdite ; 6 = picrobasalte ; 7 = trachybasalte ; 8 = basalte ; 9 = trachyandésite basaltique ; 10 = andésite basaltique ; 11 = trachyandésite ; 12 = andésite ; 13 = trachyte ($Q < 20\%$), trachydacite ($Q > 20\%$) ; 14 = dacite ; 15 = rhyolite ; 16 = foïdolite ; 17 = foïde syénite ; 18 = foïde monzosyénite ; 19 = foïde monzodiorite ; 20 = foïde gabbro ; 21 = péridot gabbro ; 22 = monzogabbro ; 23 = monzodiorite ; 24 = monzonite ; 25 = syénite ; 26 = quartz monzonite ; 27 = gabbro ; 28 = gabbro diorite ; 29 = diorite ; 30 = granodiorite ; 31 = granite]

3-2. Évolution géochimique et environnement géodynamique

3-2-1. Laves volcaniques et pyroclastites

Les teneurs en MgO varient de 1,65 à 8,09 % ($Mg\# = 27,24 - 58,18$) ; Fe_2O_3 est compris entre 9,05 et 13,49 % ; Al_2O_3 varie de 13,40 à 15,50 % ; CaO varie de 2,79 à 10,90 % ; MnO varie de 0,10 à 0,20 %. Les faibles taux de TiO_2 (1,00 %-1,26 %) des basaltes ressemblent à ceux des roches plutoniques des arcs magmatiques [10], mais sont différents des basaltes intra-plaques, qui possèdent souvent des taux de TiO_2 élevées (>2 %). Ces roches sont de façon générale tholéïtiques exceptées les roches DB036 et DB064 (A et C) plus ou moins altérées et déformées et montrent un chimisme calco-alkalin (**Figure 3A**). Les teneurs en terres rares (ΣREE) des basaltes analysés varient généralement de 33,33 (DB006) à 222,78 (DB036) ppm. Les spectres normalisés aux chondrites montrent deux tendances (**Figure 4A**). En effet, la première tendance est matérialisée par les roches ne présentant pas un état d'altération et de métamorphisme plus ou moins. Elles montrent généralement un spectre plat avec des taux de fractionnement de $[(La/Sm)_N = 0,81 - 0,98 ; (Gd/Yb)_N = 1,05 - 1,25 ; (La/Yb)_N = 0,79 - 1,15]$; couplée à une anomalie légèrement négative à très légèrement positive en europium ($Eu/Eu^* = 0,95-1,06$) ainsi qu'une anomalie très légèrement négative à quasiment nulle en cérium ($Ce/Ce^* = 0,97-0,98$). Cependant, les basaltes plus ou moins déformés sont enrichis en terres rares légères avec un taux de fractionnement de $[(La/Sm)_N = 2,64 - 3,27 ; (Gd/Yb)_N = 1,40 - 3,01 ; (La/Yb)_N = 4,25 - 14,68]$. Ces dernières montrent des anomalies légèrement négatives en europium ($Eu/Eu^* = 0,86-0,95$). Les diagrammes multiéléments des basaltes normalisés aux MORB (**Figure 5A**), montrent dans l'ensemble un enrichissement en LILE (Cs, Ba, Th, K, etc.) et une anomalie généralement négative en Nb-Ta. Les teneurs en terres rares (ΣREE) des volcanites felsiques varient entre 28,34 (DB003) et 260,64 (DB002) ppm. Sur les diagrammes normalisés aux chondrites [8], (**Figure 4B**), les roches montrent des allures généralement semblables. Ces spectres montrent un taux de fractionnement modéré à élevé : $[(La/Sm)_N = 2,64 - 5,87 ; (Gd/Yb)_N = 1,20 - 3,70$ et $(La/Yb)_N = 3,95 - 39,93]$. Ces roches présentent une anomalie négative à positive en europium [Rhyodacite ($Eu/Eu^* = 0,92 - 1,03$) ; Rhyolite ($Eu/Eu^* = 0,50 - 1,19$)].

Les spectres multiéléments des laves acides, normalisés aux N-MORB, présentent dans l'ensemble un fort enrichissement en LILE (Cs, Rb, Ba et K) et une nette anomalie négative en Nb-Ta indiquant clairement un environnement de subduction (ou de refusion d'une source issue d'un environnement de subduction), (**Figure 5B**). Ces spectres sont plats dans la partie terres rares lourds associés à un appauvrissement en Ti, V et Mg. L'ensemble des roches acides a été mis en évidence sur le diagramme ternaire AFM de [11]. En effet, leurs teneurs en éléments majeurs (Fe_2O_3 , MgO et Al_2O_3) montrent que ces volcanites felsiques définissent un chimisme identique à celui des roches calco-alkalines (**Figure 3A**). Dans les pyroclastites mafiques, les teneurs en MgO varient de 4,92 à 8,06 % avec ($Mg\# = 57,95 - 62,93$) ; Fe_2O_3 varie de 7,86 à 10,45 % ; Al_2O_3 varie de 13,25 à 15,50 % et CaO varie de 3,95 à 9,09 %. Les teneurs en Na_2O varient de 1,35 à 3,74 % ; K_2O varie de 0,17 % à 3,64 % ; MnO est compris entre 0,09 et 0,19 %. Les valeurs en TiO_2 sont inférieures à 2 % (0,84 - 1,03 %). Ces roches définissent un chimisme tholéïtique et calco-alkalin (**Figure 3A**). En effet, le chimisme calco-alkalin est très exprimé, car les échantillons de pyroclastites étaient généralement déformés. Les teneurs en terres rares (ΣREE) des pyroclastites varient de 61,07 à 86,97 ppm. Ces teneurs sont reportées sur des diagrammes normalisés aux chondrites ([8], **Figure 4C**). Les spectres sont à pentes généralement faibles à modérées avec un taux de fractionnement de : $[(La/Sm)_N = 1,95 - 2,90 ; (Gd/Yb)_N = 1,20 - 1,65$ et $(La/Yb)_N = 3,44 - 5,03]$. Ces roches montrent une anomalie légèrement négative à quasiment nulle en europium ($Eu/Eu^* = 0,86-1,01$). Les anomalies très légèrement négatives à quasiment nulles en cérium ($Ce/Ce^* = 0,92-1,01$) observées sont communes aux magmas d'arcs modernes mais peut également résulter d'altérations post-magmatiques tels que la circulation pervasive de fluides hydrothermaux [12]. Les valeurs en éléments en traces des pyroclastites mafiques, normalisés aux N-MORB ([8], **Figure 5C**), présentent généralement un enrichissement Cs, Ba, U et un appauvrissement en Rb, Th. On observe, dans l'ensemble, une anomalie négative en Nb et Ta. Ces arachnogrammes montrent une tendance d'enrichissement et d'appauvrissement en K et Pb.

3-2-2. Plutonites

Les gabbros sont caractérisés par des teneurs en SiO₂ de 47,00 à 55,00 % et en alcalins (Na₂O + K₂O) de 1,44 % à 5,88 %, qui leurs donnent une composition de gabbro et de diorite gabbroïque et de monzodiorite sur le diagramme de classification de [6], (**Figure 2C**). Al₂O₃ varie entre 12,30 % et 14,80 % ; MgO entre 1,42 % et 1,80 % avec (Mg#) = 14,32 - 65,47 ; Fe₂O₃ entre 10,20% et 18,70 %. Les teneurs en CaO varient de 6,98 à 10,90 %, celles de Na₂O varient de 1,32 à 3,47 % et celles en K₂O sont comprises entre 0.12 % et 2,41 %. MnO est comprise entre 0,18 % et 0,26 % ; et Les TiO₂ est inférieures à 2 % (0,81-1,74 %). Les gabbros montrent un chimisme tholéiitique. Les teneurs en terres rares (ΣREEs) des gabbros varient généralement de 26,82 à 163,92 ppm. Ces valeurs en éléments de terres rares (TR), normalisées à la chondrite ([8], **Figure 4D**) sont généralement plats avec un taux de fractionnement de : [(La/Sm)_N = 0,90 – 1,07 et (La/Yb)_N = 0,94 - 1,07]. Toutefois, il faut noter que l'échantillon DB048B est enrichi en LREE et appauvri en HREE, avec (La/Sm)_N = 2,08 et (La/Yb)_N = 8,38. Ces roches présentent une tendance d'anomalie négative à très légèrement positive en europium (Eu/Eu* = 0,89 - 1,05). On observe aussi une anomalie négative à quasiment nulle en cérium (Ce/Ce* = 0,69 - 1,00). Dans le diagramme des multiéléments normalisés aux N-MORB (**Figure 5D**). les spectres présentent dans l'ensemble un enrichissement Cs, Ba, et U et associé à un appauvrissement général en Nb et Ta. Ce qui met en relief sur les spectres, un appauvrissement en HFSE (Hf, Zr). Des anomalies négatives en Ti, V et Na sont observées. On observe également des tendances d'enrichissements et d'appauvrissement en K et Ca.

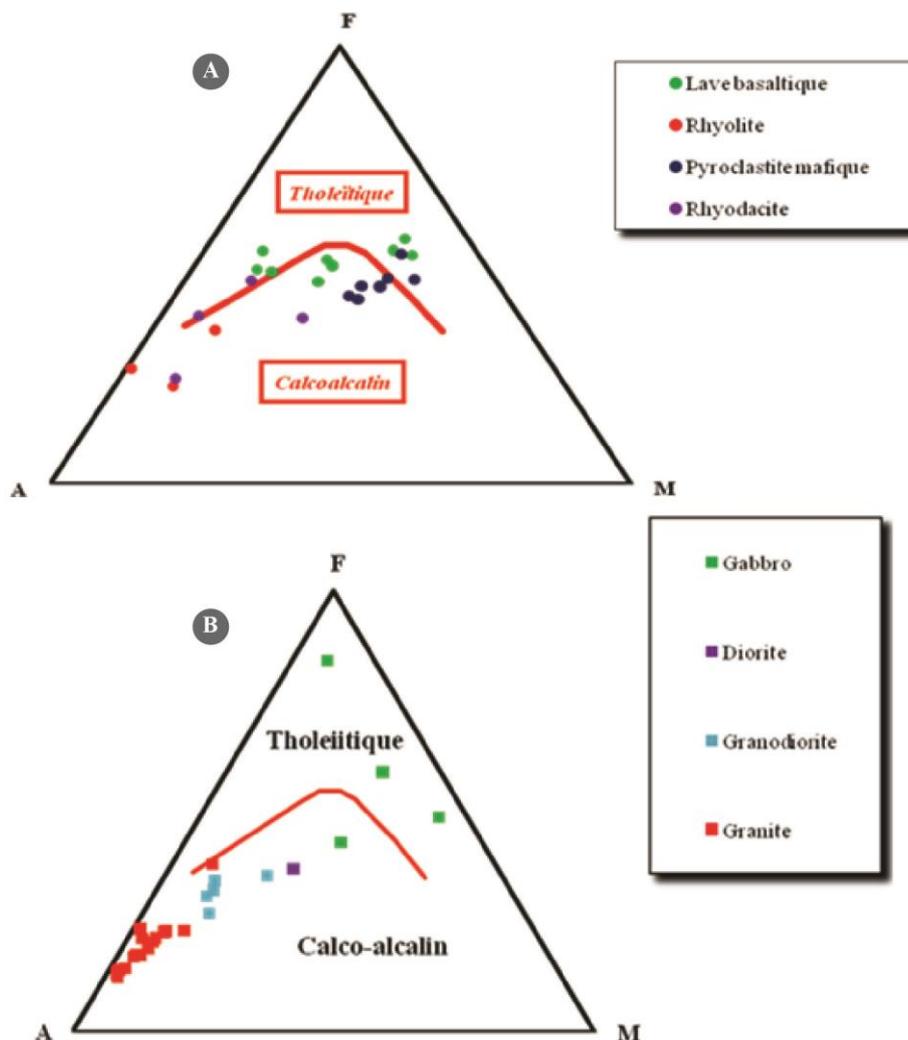


Figure 3 : Diagramme AFM ([11]) appliqué aux métavolcanites (A) et aux plutonites (B) de la région de Brobo

Les diorites ont des teneurs en SiO_2 de 61,90 %, en Na_2O de 4,31% et en K_2O de 1,67 %. Al_2O_3 est de 15,70 % et MgO de 3,65 % avec $(\text{Mg}\#) = 56,52$. Les valeurs en Fe_2O_3 et CaO sont respectivement de 6,18 % et de 5,19 %. TiO_2 est 0,69 % et MnO de 10 %. Les diorites définissent un chimisme calco-alkalin (**Figure 3B**). Les spectres normalisés à la chondrite montrent un enrichissement modéré en LREE avec des taux de fractionnement de : $[(\text{La}/\text{Sm})_N = 4,20$ et $(\text{La}/\text{Yb})_N = 14,32]$; (**Figure 4D**). On observe un appauvrissement en HREE $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 2,16$, à raison de 4 à 10 fois la teneur chondritique. De très faibles anomalies positives en europium $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,08)$ et en cérium $(\text{Ce}/\text{Ce}^* = 1,01)$ sont observées. Les diagrammes des multiéléments normalisés aux N-MORB appliqué aux diorites (**Figure 5D**), montrent des enrichissements significatifs en LILEs (Cs, Ba, Th et K) et une nette dépression générale en Nb-Ta. On observe des anomalies négatives en Ce, Na, et Ca ainsi qu'en T-V. On observe également un spectre des spectres plats au niveau des HREE (Dy, Yb). Les granodiorites présentent des teneurs en SiO_2 qui varient de 62,80 à 68,00 %. MgO varie de 1,19 à 2,58 % avec $(\text{Mg}\#) = 37,42 - 52,75$; Fe_2O_3 entre 3,63 et 5,62 % ; Al_2O_3 varie de 14,90 à 16,73 % et CaO varie de 2,68 à 4,77 %. Les teneurs en Na_2O et en K_2O varient respectivement de 4,12 à 5,11 % et de 1,34 à 3,31 %. MnO est compris entre 0,05 et 0,08 % et TiO_2 varie de 0,41 à 0,89 %. Les granodiorites sont calco-alkalines (**Figure 3B**). Les spectres de terres rares des granodiorites normalisés à la chondrite montrent un enrichissement modéré à fort en LREE avec des taux de fractionnement de : $[(\text{La}/\text{Sm})_N = 2,98 - 5,11$ et $(\text{La}/\text{Yb})_N = 17,16 - 73]$; à raison de 17 à 235 fois la teneur chondritique (**Figure 4E**). On observe un appauvrissement en HREE $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1,87 - 9,10$. Les anomalies négatives à très légèrement positives en europium $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,75 - 1,05)$ sont observées. A cela s'ajoute des anomalies très faiblement négatives à moyennement positives en cérium $(\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0,93 - 1,21)$.

Cette tendance d'anomalie négative à positive est certainement due à une divergence dans l'évolution géochimique des granodiorites. Les spectres des éléments en traces des granodiorites, normalisés aux N-MORB (**Figure 5E**) sont globalement similaires. En effet, ils montrent des enrichissements significatifs en LILEs (Cs, Ba, U et K) associés à une nette dépression générale en Nb-Ta. On observe des anomalies négatives en Ce, Na, et Ca indiquant une mobilité lors de l'altération. Les anomalies négatives en Ti-V sont dues au fractionnement de la magnétite dans la source. Les tendances géochimiques observées dans ces spectres telles que l'enrichissement en Ba et Sr et l'appauvrissement en Nb, Ta, et Ti sont des caractéristiques typiques des magmas de zones de subduction. Les granites sont caractérisés par des teneurs en SiO_2 de 69,30 à 75,90 %. MgO varie de 0,20 à 1,11 % avec $(\text{Mg}\#) = 10,81 - 46,69$; Fe_2O_3 est compris entre 1,39 et 2,85 % ; Al_2O_3 varie de 12,40 à 15,60 % et CaO varie de 0,79 à 2,93 %. Les teneurs en Na_2O et en K_2O varient respectivement de 3,31 à 5,19 % et de 1,79 à 5,57 %. Les valeurs en MnO sont comprises entre 0,02 et 0,07 % et celles en TiO_2 entre 0,07 et 0,32 %. Ils sont calco-alkalins (**Figure 3B**). Les teneurs en terres rares (ΣREE) des granites sont généralement comprises entre 78,55 ppm et 131,63 ppm. Les spectres des terres rares de ces roches normalisés aux chondrites selon [8], sont représentés à la **Figure 4F**. Ils sont enrichis en LREE avec un taux de fractionnement modéré à élevé : $[(\text{La}/\text{Sm})_N = 3,06 - 8,42$ et $(\text{La}/\text{Yb})_N = 4,62 - 183,82]$. Ces roches présentent généralement une tendance d'anomalie négative à positive en europium $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,47 - 1,71)$ et en cérium $(\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0,79 - 1,43)$. Cette tendance d'anomalie négative à positive est probablement due à une divergence dans l'évolution magmatique de ces roches. Normalisés aux N-MORB (**Figure 5F**), les spectres des éléments en traces des granites présentent dans l'ensemble un fort enrichissement en LILE (Cs, Rb, Ba, Th et K) ainsi qu'une dépression générale en Nb-Ta. A cela s'ajoute des anomalies généralement négatives Ti et V associées à un enrichissement modéré des HFSE (Hf, Zr).

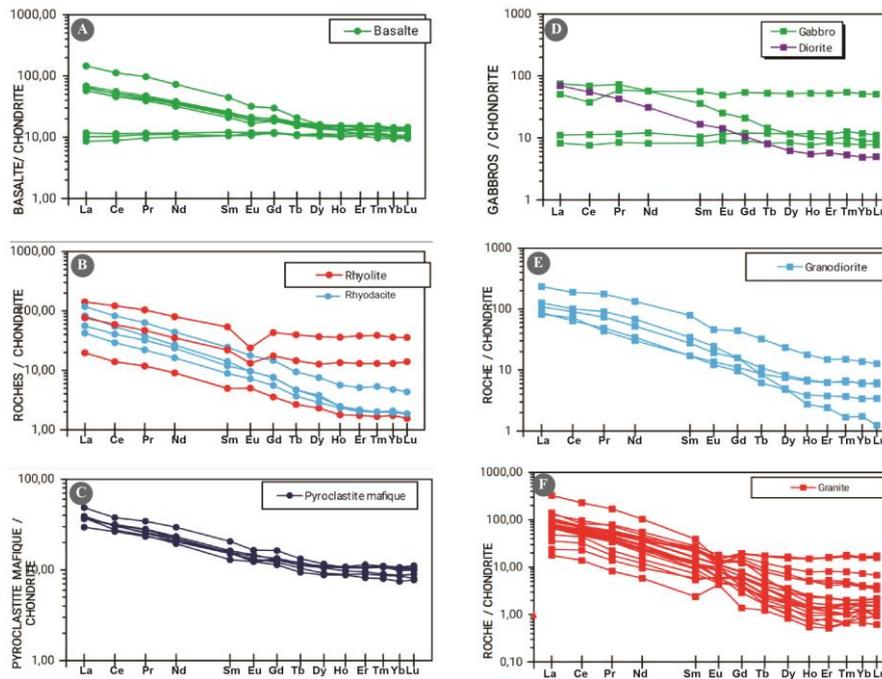


Figure 4 : Spectres des terres rares normalisés aux chondrites appliqués aux laves basaltiques (A), aux volcanites felsiques (B), aux pyroclastites basiques (C), aux gabbros et diorites (D), aux granodiorites (E), et aux granites (F) de la région de Brobo

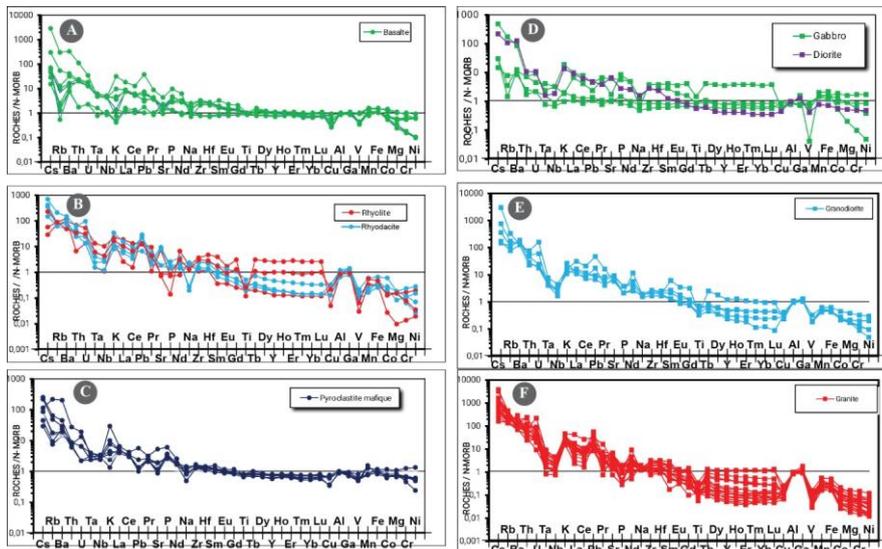


Figure 5 : Spectres multi-éléments normalisés aux N-MORB appliqués aux laves basaltiques (A), aux volcanites felsiques (B), aux pyroclastites basiques (C), aux gabbros et diorites (D), aux granodiorites (E) et aux granites (F) de la région de Brobo

3-3. Pétrogenèse et implications tectoniques

Le diagramme Zr-Nb-Y de [13] montre que les basaltes et gabbros se situent généralement dans le champ des basaltes des arcs volcaniques et des N-MORB (*Figure 6C*). Les pyroclastites mafiques, ainsi que certains basaltes, dépeignent des caractéristiques des tholéiites intraplaques et des basaltes des arcs volcaniques. Les diorites se situent à proximité du champ des basaltes alcalins intraplaques. La représentation des échantillons de métasédiments étudiés dans le diagramme $Al_2O_3-(Na_2O+CaO^*)-K_2O$ [14] montre que ces

roches dérivent des basaltes, des andésites et des granodiorites (**Figure 6A**). Mise en évidence sur le diagramme de [15] de la **Figure 6B**, il s'avère que, quel que soit leur source, ces formations métasédimentaires sont orthodérivés (source : plutonites et volcanites) et paradérivés (source : schistes argileux et arkose). Les roches basiques et intermédiaires, mises en évidence sur le diagramme ternaire Ti-Zr-Y de [10], (**Figure 6D**), montrent un chimisme généralement identique aux basaltes des arcs volcaniques, des MORB et des basaltes calco-alkalins. Dans le diagramme ternaire Th-Hf-Nb de [16], les rhyodacites et les rhyolites montrent une mise en place dans un contexte d'arcs volcaniques, et suivent une lignée calco-alkaline (**Figure 6E**). Le contexte tectonique des granitoïdes a été également mis en évidence dans le diagramme Rb-Hf-Ta de [17], (**Figure 6F**). Sur ce diagramme, ces roches montrent de façon générale une signature géochimique d'arc volcanique. Dans le diagramme de la **Figure 6G**, les roches felsiques montrent les caractéristiques des TTG archéennes. En effet, les rapports de $(La/Yb)_N$ compris entre 4,62 et 183,82 et les taux de Yb_N compris entre 0 et 5 montrent une possibilité de mélange dû à l'existence d'une petite composante héritée archéenne.

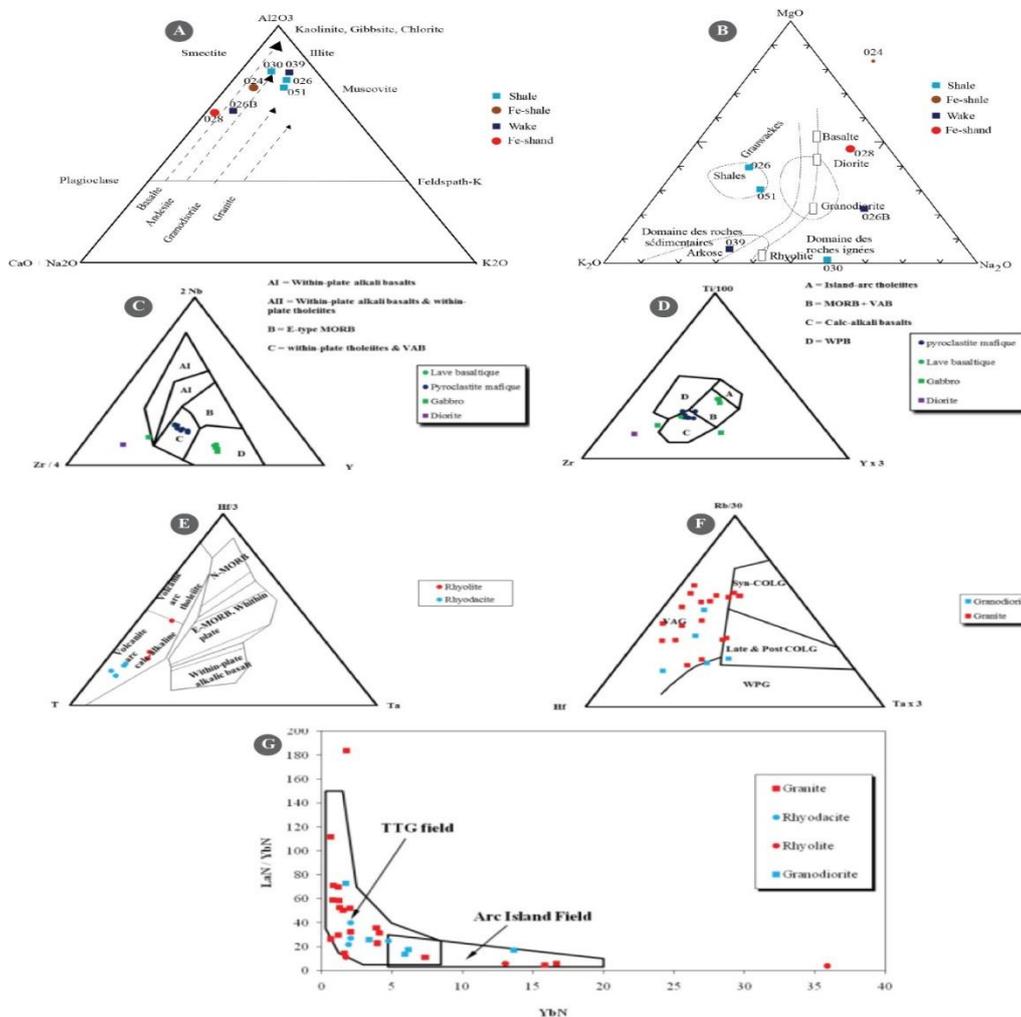


Figure 6 : A. Diagramme ternaire des proportions moléculaires $Al_2O_3-(Na_2O+CaO^*)-K_2O$ [14], ainsi que les sources possibles, appliqué aux métasédiments de la région de Brobo. B. Diagramme $MgO-K_2O-Na_2O$ [15] indiquant une source ignée des formations métasédimentaires de la région de Brobo. C. Diagramme $Zr-Nb-Y$ de [13] appliqué aux roches basiques et intermédiaires de la région de Brobo. D. Diagramme triangulaire $Ti/100-Zr-Y*3$ de [10] appliqué aux roches basiques et intermédiaires de la région de Brobo. E. Diagramme $Th-Hf-Nb$ de [16] appliqué aux laves acides de la région de Brobo. F. Diagramme $Rb-Hf-Ta$ de [17] appliqué aux granitoïdes de la région de Brobo. G. Diagramme $La/Yb-Yb$ de [18] appliqué aux roches intermédiaires et acides de la région de Brobo

4. Discussion

Les données géochimiques montrent que les roches métavolcaniques de la région de Brobo ont des compositions allant des basaltes aux rhyolites. Les plutonites sont des gabbros, des diorites gabbroïques, des diorites, des granodiorites et des granites. Les métasédiments sont des shales, des grauwackes et des sandstones. Ces volcanites et plutonites montrent des affinités tholéitiques à calco-alkalines. Ce caractère bimodal a déjà été mis en évidence dans le sillon de Toumodi-Fettêkro [2, 3, 19, 20] et ailleurs dans le craton ouest-africain [12, 21, 22]. Les formations volcaniques des sillons birimiens se sont mises en place, pour certains auteurs en contexte de subduction [12, 21 - 23], et pour d'autres en contexte de plateau océanique [24, 26]. En effet, Les archnogrammes des volcanites et plutonites de la région de Brobo, normalisés au N-MORB, montrent dans l'ensemble un enrichissement en LILE (Cs, Rb, Ba, K, etc.) et une anomalie négative en Nb-Ta qui indique une mise en place en contexte de subduction. Les granitoïdes montrent un enrichissement en éléments lithophiles (LILE), un appauvrissement en éléments HFSE, ainsi qu'une nette anomalie négative en Nb-Ta. Selon [27], ces caractéristiques observées sur ces granitoïdes impliquent qu'elles se seraient mises en place dans des marges continentales actives. Le diagramme La/Yb-Yb de [18] appliqué aux roches intermédiaires et acides de la région de Brobo montre également que les granitoïdes, ainsi que leurs équivalents volcaniques auraient un matériel parental d'origine archéenne. De ce fait, nous militons en faveur du contexte de subduction évoqué ci-dessus. Cela corrobore les résultats des travaux menés par [2] dans la partie sud du sillon birimien de Toumodi-Fettêkro. En effet, des travaux récents mettent en évidence, en plus, des caractères archaïques indéniables et des caractères transitionnels proches de ceux observés dans les chaînes modernes [12, 22, 28 - 34]. Les métasédiments sont des shales, des grauwackes et des sandstones. Ces roches métasédimentaires sont plus enrichies en illites et en smectites qu'en muscovite. Il s'avère que, quel que soit leur source, ces formations métasédimentaires sont orthodérivés (source : plutonites et volcanites) et paradérivés (source : shales et arkoses). De tels observations ont été faites sur les métasédiments de la région de Dabakala [3]. Toutefois, il faut signaler que dans la région de Dabakala précisément dans le sillon du Haut-N'Zi on observe un enrichissement en muscovite. Contrairement à la région de Dabakala où les travaux de [3] ont montré que les métasédiments sont des roches d'arcs insulaires continentaux. La présente étude montre que les métasédiments présentent des caractéristiques des arcs insulaires océaniques des marges passives et des arcs insulaires continentaux. Les observations faites sur les archnogrammes normés aux N-MORB militent en faveur d'un contexte de subduction-collision.

5. Conclusion

Il ressort de la présente étude que les métavolcanites de la région de Brobo ont des compositions de basalte, de trachyandésite basaltique, de trachyandésite, d'andésites, de dacite et de rhyolite. Les plutonites sont des gabbros, des diorites gabbroïques, des diorites, des granodiorites et des granites. Les métasédiments sont des shales, des grauwackes et des sandstones. Les compositions chimiques de certaines roches ont changé, du fait de l'intense altération qui a affectée les roches de la région de Brobo. Les roches basiques suivent une lignée tholéitique tandis que les roches intermédiaires et acides montrent de façon générale un chimisme calco-alkalin. Les anomalies négatives à quasiment nulles en cérium observées sont communes aux magmas d'arcs modernes mais peut également résulter d'altérations post-magmatiques tels que la circulation pervasive de fluides hydrothermaux. De façon générale, les archnogrammes des roches de la région de Brobo, normalisés aux N-MORB montrent généralement un enrichissement important en LILE (Cs, Ba, Rb, K) et une nette anomalie de Nb-Ta indiquant clairement un environnement de subduction. Toutefois, les rapports de $(La/Yb)_N$ comprises entre 4,62 et 183,82 et des taux de Yb_N compris entre 0 ppm et 5 ppm montrent que les roches acides ont des caractéristiques des TTG archéennes. Partant de cela, nous pouvons évoquer une possible contamination crustale des roches de la zone d'étude due au fait que les processus archaïques de création de croûte ont prévalu lors de la mise en place de ces roches.

Références

- [1] - A. S. OUATTARA, "Le gisement aurifère de Dougbafla-Bandama (Sud du sillon birimien de Fettekro, Oumé, Côte d'Ivoire) : Pétrographie, déformation, géochimie et métallogénie", Doctorat, Univ. Felix Houphouët-Boigny, (2018) 313 p.
- [2] - I. COULIBALY, "Pétrologie des Volcanites et des Plutonites du Sud du Sillon Birimien de Toumodi-Fettekro (Cote D'Ivoire) : Implications pétrogénétique et tectonique", Thèse de doctorat, Université Felix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire, (2018) 218 p.
- [3] - A. GNANZOU, "Etude des séries volcano-sédimentaires de la région de Dabakala (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) : genèse et évolution magmatique. Contribution à la connaissance de la minéralisation aurifère de Bobosso dans la série de la Haute-Comoé", Thèse de doctorat, Univ. Paris-Sud Orsay, France et Univ. Felix Houphouët-Boigny, (2014) 303 p.
- [4] - D. B. YAO, "Carte géologique de Côte d'Ivoire, feuille de M'Bahiakro à 1/200 000", Ministère des Mines, Direction de la Géologie, (1988)
- [5] - R. W. LE MAÎTRE, "A classification of igneous rocks and glossary of terms", In: Le Maître, R.W. (Ed.), Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on Systematics of Igneous Rocks. *Blackwell Sci. Publ*, (1989) 193 p.
- [6] - E. A. MIDDLEMOST Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37, 3 (1994) 215 - 224
- [7] - M. M. Herron, "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data", *J. Sed. Petrol.*, 58 (1988) 820 - 829
- [8] - S. S. SUN, W. F. MCDONOUGH, "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes", In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in Ocean Basins*, Geological Society of London Special Publication, Vol. 42, (1989) 313 - 345
- [9] - R. PECCERILLO, S. R. TAYLOR, "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey", *Contrib. mineral. Petrol.*, 58 (1976) 63 - 81
- [10] - J. A. PEARCE, J. R. CANN, "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses", *Earth Planet. Sci.Lett.*, 19 (1973) 290 - 300
- [11] - T. N. IRVINE, W. R. A. BARAGAR, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Can. J. Earth Sci.*, 8 (1971) 523 - 548
- [12] - P. J. SYLVESTER, K. ATTOH, Lithostratigraphy and composition of 2.1 Ga greenstone belts of the West African Craton and their bearing on crustal evolution and the Archean-Proterozoic boundary. *J. Geol.*, 100 (1992) 377 - 393
- [13] - M. MESCHEDÉ, "A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram", *Chem. Geol.*, 56 (1986) 207 - 218
- [14] - H. W. NESBITT, G. M. YOUNG, "Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations", *Geochimica Cosmochimica Acta*, 48 (1984) 1523 - 1534
- [15] - H. DE LA ROCHE, "Sur l'existence de plusieurs faciès géochimiques des schistes paléozoïques des Pyrénées lychonnaise", *Geol. Rundsch.*, 55 (1965) 274 - 301
- [16] - D. A. WOOD, "The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50 (1980) 11 - 30
- [17] - N. B. W. HARRIS, J. A. PEARCE, A. G. TINDLE, "Geochemical characteristics of collision-zone magmatism", In: M.P. Coward and A.C. Reis (Editeurs), *Collision tectonics*, Geol. Soc. London. Spec. Publ., 19 (1986) 67 - 81
- [18] - H. MARTIN, "Effect of steeper Archean geothermal gradient on geochemistry of subduction-zone magmas", *Geology*, 14 (1986) 753 - 756

- [19] - N. N. HOUSSOU, "Etude pétrologique, structurale et métallogénique du gisement aurifère d'Agbahou, Divo, Côte d'Ivoire", Doctorat, Univ. Félix Houphouët-Boigny, (2013) 177 p.
- [20] - Z. OUATTARA, "Caractères lithostratigraphique, structural, géochimique et métallogénique du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien de Fettekro, centre-sud de la Côte d'Ivoire", Doctorat, Univ. Félix Houphouët-Boigny, (2015) 256 p.
- [21] - I. AMA-SALAH, J. P. LIEGEOIS, A. POUCKET, "Evolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba) : géologie, géochronologie et géochimie", *Journal of African Earth Sci.*, 22, (1996) 235 - 254
- [22] - L. BARATOUX, V. METELKA, S. NABA, M. W. JESSELL, M. GREGOIRE, J. GANNE, "Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (2.2-2.0 Ga), western Burkina Faso", *Precambrian Res.*, 191 (2011) 18 - 45
- [23] - D. BÉZIAT, F. BOURGES, P. DEBAT, M. LOMPO, F. MARTIN, F. TOLLON, "A Paleoproterozoic ultramafic-mafic assemblage and associated volcanic rocks of the Boromo greenstone belt: fractionates originating from island-arc volcanic activity in the West African craton", *Precambrian Research*, 101 (2000) 25 - 47
- [24] - W. ABOUCHAMI, M. BOHER, A. MICHARD, F. ALBAREDE, "A major 2.1 Ga event of mafic magmatism in West Africa : an early stage of crustal accretion", *Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets*, 95 (1990) 17605 - 17629
- [25] - M. BOHER, W. ABOUCHAMI, A. MICHARD, F. ALBAREDE, N. T. ARNDT, "Crustal growth in West Africa at 2,1 Ga", *J. Geophys. Res.*, 97 (B1) (1992) 345 - 369
- [26] - S. PAWLIG, M. GUEYE, R. KLISCHIES, S. SCHWARZ, K. WEMMER, S. SIEGSMUND, "Geochemical and Sr-Nd isotopic data on the birimien of the kedougou-kenieba inlier (eastern Senegal) : implications on the paleoproterozoic evolution of the West African Craton", *South Afr. J. Geol.*, (2006) 411 - 427
- [27] - S. DOUMBIA, A. POUCKET, A. N. KOUAMELAN, J. J. PEUCAT, M. VIDAL, C. DELOR, "Petrogenesis of juvenile-type Birimian (Paleoproterozoic) granitoids in Central Côte d'Ivoire, West Africa: geochemistry and geochronology". *Precambrian Res.*, 87 (1998) 33 - 63
- [28] - J. PONS, P. BARBEY, D. DUPUIS, J. M. LÉGER, "Mechanism of pluton emplacement and structural evolution of 2.1 Ga juvenile continental crust : the Birimian of southwestern Niger", *Precambrian Res.*, 70 (1995) 281 - 301
- [29] - M. VIDAL, C. DELOR, A. POUCKET, Y. SIMEON, G. ALRIC, "Evolution géodynamique de l'Afrique de l'Ouest entre 2.2 Ga et 2 Ga : le style archéen des ceintures vertes et des ensembles sédimentaires birimien du nord-est de la Côte-d'Ivoire", *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 167, 3 (1996) 307 - 229
- [30] - A. N. KOUAMELAN, C. DELOR, Y. SIMEON, J. J. PEUCAT, J. CAMIL, "Pb, Nd and Sr systematics of the Man shield in Ivory Coast", VIII EUG Meet., Terra Nova 7, Blackwell, (1995) 354 p.
- [31] - D. GASQUET, P. BARBEY, M. ADOU, J. L. PAQUETTE, "Structure, Sr-Nd isotope geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the granitoids of the Dabakala area (Côte d'Ivoire): evidence for a 2.3 Ga crustal growth event in the Paleoproterozoic of West Africa?", *Precambrian Res.*, 127 (2003) 329 - 354
- [32] - J. J. PEUCAT, R. CAPDEVILA, A. DRARENI, Y. MAHDJOUR, M. KAHOUI, "The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt: petrology, geochemistry and geochronology", *Precambrian Res.*, 136 (2005) 309 - 352
- [33] - J. GANNE, V. De ANDRADE, R. WEINBERG, B. DUBACQ, O. VIDAL, N. KAGAMBEGA, S. NABA, L. BARATOUX, M. JESSELL, J. ALLIBON, "Modern-style plate subduction preserved in the Paleoproterozoic West African Craton", *Nature Geoscience*, Vol. 5, N°1 (2012) 60 - 65
- [34] - J. GANNE, M. GERBAULT, S. BLOCK, Thermo-mechanical modeling of lower crust exhumation constraints from the metamorphic record of the Palaeoproterozoic Eburnean orogeny, West African Craton. *Precambrian Res.*, 243 (2014) 88 - 109