

Minéralisation aurifère associée aux roches volcaniques mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo, Nord de la Côte d'Ivoire

Krohognon FOFANA^{1*}, Inza COULIBALY², Marc Ephrem ALLIALY¹ et Koffi Raoul TEHA¹

¹ *Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire*

² *Université Nangui Abrogoua, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE), Laboratoire Géosciences et Environnement, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 13 Octobre 2021 ; Accepté le 05 Juillet 2022)

* Correspondance, courriel : fofanakrohognon@yahoo.fr

Résumé

Cette étude est une contribution à l'amélioration des connaissances pétrologiques et métallogéniques du sillon de Korhogo. La méthodologie utilisée a débuté par des observations macroscopiques sur le terrain et s'est terminée par des études microscopiques et géochimiques. Les métavolcanites sont des laves volcaniques présentant souvent des structures en pillows et des volcanoclastites (tuffs à lappilis et brèches). Les données géochimiques montrent des basaltes tholéitiques suivis d'intermédiaires calco-alcalins. Les faibles taux de TiO₂ (<2 %), associées à l'enrichissement important en LILE (Cs, Ba, Rb, K) et une nette anomalie de Nb-Ta, permettent d'évoquer une mise en place en contexte de subduction. La minéralisation aurifère du sillon ne présente pas de contrôle lithologique. Les zones minéralisées sont généralement orientées NNE à NE. La minéralisation, de type filonien, consiste en un système de veine de quartz orienté NE-SO, subparallèle à la schistosité ou aux zones de cisaillement hôtes orienté NE-SO. La minéralisation présente donc un contrôle structural et apparaît ainsi d'affiliation hydrothermale. La séricitisation, la silicification et la carbonatation sont les altérations hydrothermales les plus importantes et à un degré moindre la chloritisation, l'épidotisation et l'hématisation. Les associations minéralogiques liées à l'or, sont représentées par la pyrite (sulfure principal), la chalcopryrite, la pyrrhotite, l'arsénopyrite, et rarement la molybdénite. Ces couloirs de cisaillement principalement orienté NNE à NE mis en évidence lors de cette étude constituent d'excellentes cibles potentielles pour orienter les recherches à venir dans le sillon de Korhogo.

Mots-clés : *Birimien, Côte d'Ivoire, sillon de Korhogo, métavolcanites, minéralisation aurifère.*

Abstract

Gold mineralization associated with mafic and intermediate volcanic rocks of the Korhogo belt, Northern Cote d'Ivoire

This study is a contribution to the improvement of petrological and metallogenic knowledge of the Korhogo furrow. The methodology started with macroscopic field observations and ended with microscopic and geochemical studies. The metavolcanic rocks are volcanic lavas often showing pillow structures and

volcanoclastic rocks (lappilis tuffs and breccias). Geochemical data show basalts are of tholeiitic composition and followed by calc-alkaline intermediates. The low TiO₂ content (<2 %), associated with significant enrichment in LILE (Cs, Ba, Rb, K) and a clear Nb-Ta anomaly, suggest a subduction setting. The gold mineralization in the furrow is not lithologically controlled. The mineralized zones are generally oriented NNE to NE. The vein-type mineralization consists of a NE-SW trending quartz vein system, sub-parallel to the host schistosity or shear zones trending NE-SW. The mineralization is therefore structurally controlled and appears to be hydrothermally affiliated. Sericitization, silicification and carbonation are the most important hydrothermal alterations and to a lesser degree chloritization, epidotization and hematization. Mineralogical associations related to gold are represented by pyrite (main sulphide), chalcopyrite, pyrrhotite, arsenopyrite, and rarely molybdenite. These mainly NNE to NE trending shear corridors highlighted in this study constitute excellent potential targets to explore in the Korhogo's furrow.

Keywords : *Birimian, Côte d'Ivoire, Korhogo furrow, metavolcanic rocks, gold mineralization.*

1. Introduction

Les terrains paléoprotérozoïques (2,2-2,0 Ga en moyenne) de l'Afrique de l'ouest (Birimien) sont connus comme étant ceux qui dominent l'ensemble du Craton Ouest-Africain [1 - 5]. Les formations birimiennes sont composées de ceintures de roches vertes et de larges bassins sédimentaires, plus ou moins étirés dans la direction NE-SO qui contiennent des roches plutono-volcaniques, volcanoclastiques et sédimentaires, métamorphosées globalement dans les conditions du faciès des schistes verts et intrudées par des massifs de granitoïdes. Les basaltes et la plupart des roches effusives se seraient formés entre 2,2 et 2,15 Ga (Birimien inférieur) [6 - 8] et les volcanoclastites et sédiments, généralement entre 2,15 et 1,9 Ga (Birimien supérieur), plus ou moins contemporains des granitoïdes qui les recoupent [9 - 12]. Les ceintures de roches vertes birimiennes sont connues comme étant porteuses d'abondantes minéralisations aurifères [13]. Les minéralisations aurifères dans le domaine paléoprotérozoïque sont souvent associées à des shear zones dans les zones de contact métasédiments - roches vertes/ intrusions granitoïdes [13 - 15]. La Côte d'Ivoire possède la plus grande part des formations birimiennes de l'Afrique de l'Ouest avec environ 35 % de ces formations. Cependant, elle présente une production moyenne en or et largement inférieure à celle de ses voisins notamment le Burkina Faso, le Mali et le Ghana. Ainsi, les formations birimiennes sont devenues de véritables cibles de recherches minière et académique afin de mieux les connaître dans le but d'y découvrir de nouvelles ressources minérales. C'est d'ailleurs pour cela que la Côte d'Ivoire qui a pour objectif de faire du secteur minier, un important pilier dans la réalisation de son processus d'émergence, accorde beaucoup d'intérêts aux formations birimiennes. C'est dans ce contexte que cette étude a été initiée dans le sillon de Korhogo. En effet, la ceinture de roches vertes de Boundiali-Korhogo est composée d'une branche Ouest orientée N-S appelé le sillon de Boundiali ou de la Bagoué et d'une branche Est, orientée NNE-SSO est appelé le sillon de Korhogo, qui appartient aux régions de Korohgo et du Tchologo. Les travaux scientifiques effectués, essentiellement lithologique [16 - 18] se résument au sillon de Boundiali. La branche Est qui constitue notre zone d'étude est sujet à de nombreuses activités minières qui ont conduit à la découverte du gisement de Tongon ainsi que plusieurs prospectus prometteurs. Cependant très peu de travaux scientifiques ont été entrepris tant sur le plan pétrostructural, géochimique, géochronologique et métallogénique. Cette étude a pour objectif de contribuer d'une part à l'amélioration des connaissances pétrologiques et métallogéniques du sillon de Korhogo et d'autre part de participer à la relance du secteur minier ivoirien.

2. Méthodologie

2-1. Contexte géologique

La Côte d'Ivoire appartient à la partie sud du Craton Ouest-Africain et plus précisément à la dorsale de Man ou dorsale de Léo (*Figure 1*). Elle est constituée d'un socle précambrien qui représente 97,5 % de sa superficie et d'un bassin sédimentaire côtier secondaire-tertiaire couvrant 2,5 % du territoire. Le domaine birimien comprend trois groupes lithologiques: les ceintures volcaniques, les bassins sédimentaires et les massifs de granito-gneiss. La zone d'étude appartient aux régions du Poro et du Tchologo, qui appartiennent au domaine Baoulé-Mossi (*Figure. 2*). La société BHP Minerals, dans le cadre d'un partenariat avec la société pour le développement minier (SODEMI) a effectué un programme d'exploration minière dans la zone d'étude de 1988 à 1994. Cette mission révélera l'existence d'unités volcanosédimentaires constituées d'une séquence de roches volcaniques basaltiques à andésitiques avec des intercalations de schistes, de tufs fins felsiques et des unités de cherts mineurs [19]. Ces unités volcaniques sont intrudées par des granitoïdes et des dykes doléritiques qui les recoupent localement. Cette étude conclut que la minéralisation aurifère dans cette zone est associée à des couloirs de cisaillements affectant principalement les unités birimiennes. En effet, la zone d'étude est encadrée de part et d'autre à l'ouest et à l'est par des granitoïdes. Entre les granitoïdes les encaissants sont les volcanosédimentaire plus ou moins métamorphisées dans les faciès schistes verts dominants à localement amphibolique. Cet ensemble volcanosédimentaire contient de petites unités intrusions de granitoïdes calco-alcalins, de granitoïdes indifférenciés (*Figure 3*).

2-2. Méthodes d'acquisition des données

L'acquisition des données a consisté en une étude pétrographique, géochimique et métallogénique. Plusieurs échantillons représentatifs des différents faciès ont été sélectionnés pour la phase de laboratoire afin d'apporter plus de précision à la pétrographie macroscopique et aussi pour connaître la signature géochimique des différentes roches. Les lames minces et sections polies de ces roches ont été confectionnées et étudiées au Laboratoire Géologie, Ressources Minérale et Energétique de l'UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR STRM) de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody. Vingt et un échantillons de roches saines ont été sélectionnés pour les analyses en éléments majeurs et en traces. Le broyage a été effectué par le Bureau Veritas à Abidjan (Côte d'Ivoire). Par la suite, les poudres ont été convoyées au Bureau Veritas Commodities Ltd (Canada), pour analyse chimique des éléments majeurs et en traces par la spectrométrie à émission atomique (ICP-AES) et par la spectrométrie de masse (ICP-MS). Trois échantillons ont été sélectionnés pour les analyses au Microscope Electronique à Balayage (MEB) à la PETROCI CI.

3. Résultats

3-1. Pétrographie

Les métavolcanites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo sont représentées par les metabasaltes (laves et pyroclastites) et métaandésites (laves et pyroclastites). Ces lithologies étudiées proviennent pour la plupart des sites d'orpaillage.

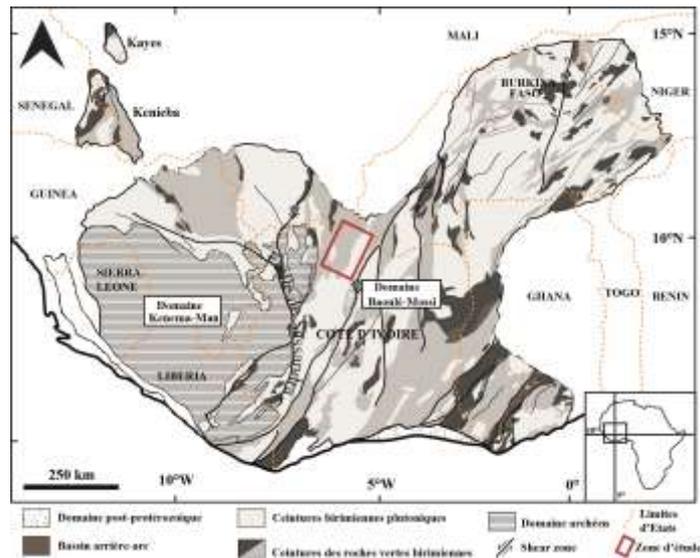


Figure 1 : Carte géologique synthétique de la Dorsale de Man (modifiée, d'après [20])

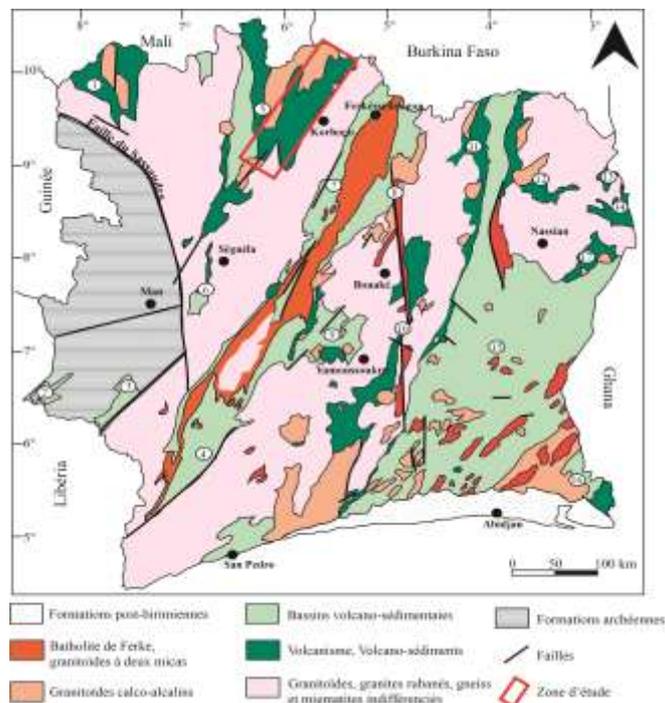


Figure 2 : Schéma simplifié des ensembles géologiques en Côte-d'Ivoire, d'après la carte géologique au 1/1000000 de la Côte-d'Ivoire de [21], modifiée. 1. sillon d'Odienné ; 2. sillon de Toulepleu ; 3. sillon de Guiglo ; 4. sillon de Soubré ; 5. sillon de Boundiali-Korhogo (Senoufo belt) ; 6. sillon de Séguéla ; 7. sillon de Ferké ; 8. sillon de Katiola ; 9. sillon de Bouaflé ; 10. sillon de Bouaké-Est ; 11. sillon de Téhini ; 12. sillon de Nassian-Nord ; 13. Sillon de Bouna-Sud-est ; 14. sillon de Bondoukou-Nord ; 15. sillon de Dimbokro-Abengourou ; 16. Sillon d'Aboisso ; 17. sillon de Bondoukou

- Les Métabasaltes, observés à Diawala, Niéllé et Fapoha, sont massives, silicifiés, et déformés et se présentent par endroits sous forme de structures en pillows, de tuffs et de brèches (Figure 4 A et C). Au microscope (Figure 4 B et D), ces roches montrent une texture microlitique à microlitique porphyrique. Les cristaux de plagioclase sont abondants et se présentent souvent en phénocristaux. A cela s'ajoute également des phénocristaux de pyroxène. Le plagioclase est

souvent altéré et transformé en carbonates (calcite \pm dolomie), épidote et séricite. Les pyroxènes quant à eux, sont également souvent ouralitisés en amphiboles. Ces ferromagnésiens se transforment sur certaines sections en chlorite et épidote. On observe des veinules sur certaines sections, constituées soit de cristaux de carbonates et de quartz ou soit du quartz et des feldspaths souvent associée à des sulfures, de la chlorite et de l'épidote. On peut observer du quartz secondaire, associé généralement à des sulfures et oxydes. En effet, ces roches ont été affectées par une intense altération hydrothermale entraînant ainsi cette mise en place du quartz secondaire. Des veinules de carbonates-séricite-chlorite-sulfures-oxydes sont observées.

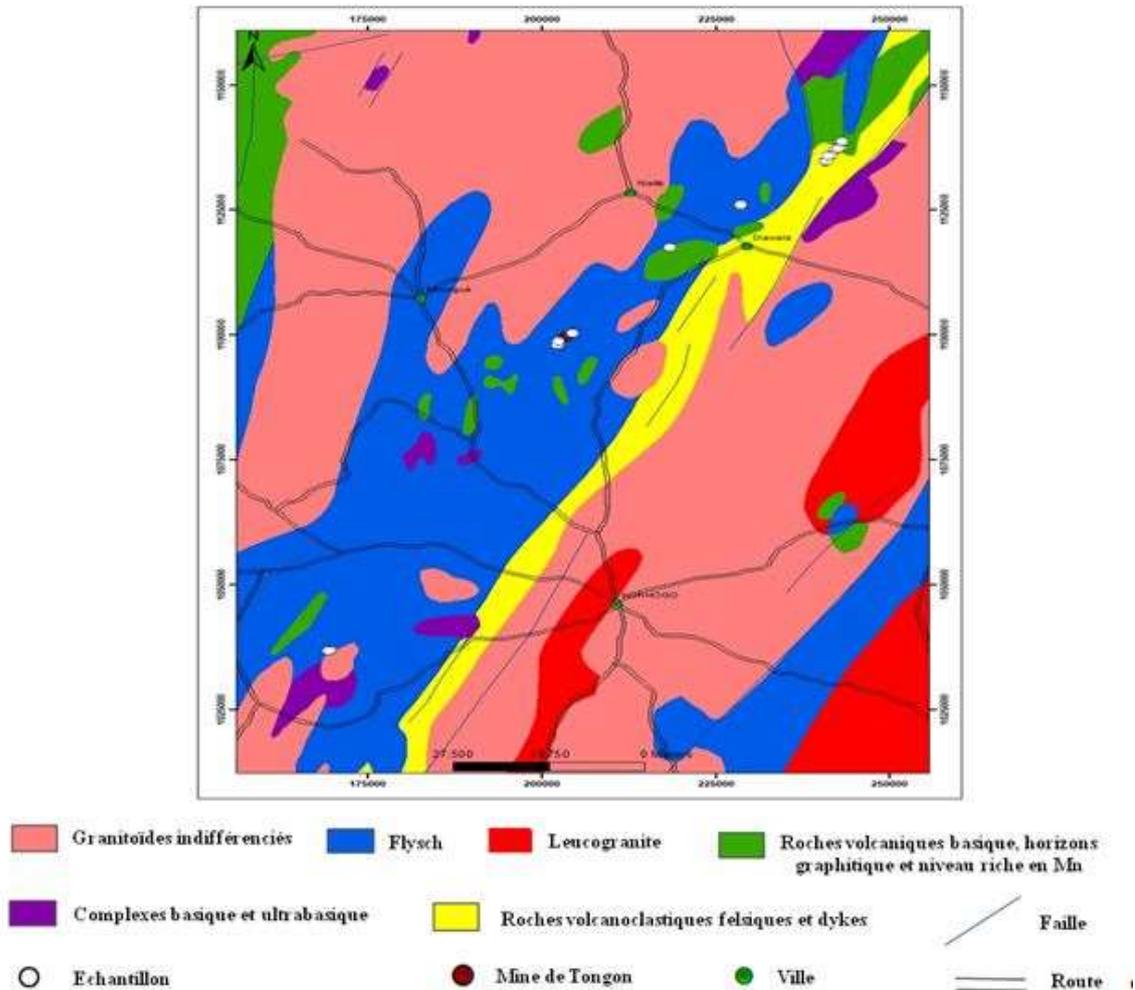


Figure 3 : Carte de la zone d'étude modifiée d'après [21]

- Les andésites, observées à Diawala et Niéllé, se présentent par endroits sous forme de tuffs. Elles sont massives, silicifiées et constituées pour la plupart de phénocristaux de plagioclase et d'amphibole (**Figure 4 E**). Au microscope (**Figure 4 F**), les andésites montrent une texture microlitique porphyrique à phénocristaux de plagioclase, le plus souvent altéré et transformé en carbonates (calcite \pm dolomie), épidote et séricite. Les phénocristaux d'amphibole sont généralement altérés et transformés en épidote et chlorite. La mésostase se compose de fines baguettes de plagioclases partiellement altérées en carbonates (calcite \pm dolomie) associée à des cristaux d'épidote et de séricite. On observe également des veinules quartzofeldspathiques souvent associées à de l'épidote, de la chlorite et des sulfures.



Figure 4 : *Aspects macroscopiques et microscopiques des métavolcanites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo. A-B : Lave basaltiques ; C-D : brèche ; E-F : Andésite. Px : pyroxène ; Carb : Carbonates; Pl: Plagioclase ; Ser : Séricite ; Ep : Epidote ; Chl : Chlorite ; Sulf : Sulfure*

3-2. Géochimie

Les analyses en éléments majeurs et en traces des métavolcanites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo sont consignées dans les **Tableaux 1 et 2**.

Tableau 1 : Composition en éléments majeurs (%) et en traces (ppm) des laves mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo

Echantillon	Basalte										Andésite	
	DIA12	DIA17	DIA39	DIA43-1	DIA44-2	DIA46	DIA47	DIA47-2	FAP9	FAP10-2	DIA32	DIA7
SiO2	55.15	51.5	54.65	55.11	48.82	53.52	49.05	46.22	53.35	52.55	61.41	59.96
Al2O3	14.2	16.69	13.65	13.96	15.82	15.2	17.09	15.76	14.72	14.67	15.76	17.32
Fe2O3	8.62	11.67	13.41	11.92	10.82	12.4	11.33	14.54	14.82	13.73	6.82	6.2
CaO	13.17	8.97	11.26	8.39	13.81	8.67	10.21	12.06	7.76	10.25	5.41	7.58
MgO	7.31	6.54	4.61	5.86	6.26	4.83	9.7	8.28	4.7	5.12	4.8	1.87
Na2O	1.11	2.93	0.79	3.26	1.27	3.89	1.47	0.12	3	2.14	4.91	5.11
K2O	0.07	0.5	0.06	0.24	2.12	0.17	0.29	1.68	0.09	0.17	0.05	1.09
MnO	0.14	0.18	0.21	0.18	0.17	0.22	0.17	0.16	0.24	0.22	0.11	0.09
TiO2	0.18	0.81	1.21	0.94	0.77	0.96	0.63	1.07	1.17	1.04	0.62	0.65
P2O5	0.03	0.19	0.15	0.12	0.13	0.11	0.07	0.12	0.14	0.13	0.11	0.13
Cr2O3	0.1	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.07	0.02	0.09	0.06	0.03	0.03
LOI	3.25	2.86	2.43	2.19	12.48	2.32	4.08	11.96	0.12	0.25	2.91	3.23
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ba	22	106	13	119	291	32	29	99	25	49	53	301
Be	<1	<1	<1	1	2	1	<1	<1	<1	<1	<1	1
Co	42.3	40.3	38	40.8	39.5	36.7	50.5	45.7	42.7	41.3	22.6	12.9
Cs	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.7	<0.1	0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
Ga	5.7	12.7	12.1	8.2	9.2	11.3	11.8	12.6	15.8	13.8	14.4	18.4
Hf	0.5	1.7	2.1	1.7	1.4	2	1.1	1.8	2.3	2.1	2.1	5
Nb	3.3	2.2	3.9	2.6	1.7	3.1	3.3	3.2	11.1	8.4	2.3	7.5
Rb	1.9	10.5	1.1	4.9	50.1	2.9	7	36.6	2.1	1.1	0.6	18.3
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	49.7	305.4	49.3	64.6	85.4	34.5	182.9	40.1	110.9	97.6	160.3	406.7
Ta	<0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.8
Th	<0.2	1	0.5	0.4	0.4	0.4	<0.2	0.3	0.6	0.6	0.6	4
U	<0.1	0.3	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.3	<0.1	0.3	1.1
V	159	233	294	261	196	269	209	290	309	270	138	100
W	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.8	<0.5	<0.5	24.2	<0.5	<0.5	<0.5	1
Zr	17.3	71.2	78.8	65.1	53.9	67.7	39.3	61.9	88.1	79.1	83.1	206.7
Y	12.3	18.9	28.2	23.3	15.9	26	15.4	23	29	27.6	10.8	18.9
La	2.4	13.4	5.8	5	4.7	4.7	3	4	6	4.6	7	21.7
Ce	3.6	30.3	15.1	11.5	10.9	11.9	6.8	9	13.8	9.4	14.7	42.4
Pr	0.47	3.94	2.09	1.62	1.44	1.6	0.66	1.03	1.97	1.54	1.88	4.73
Nd	2.1	17.3	9.7	8.3	6.9	7.7	4.7	6.2	9.8	7.8	8.3	18.1
Sm	0.44	3.39	2.81	2.19	1.73	2.01	1.36	1.93	2.49	2.24	1.82	3.47
Eu	0.17	1.06	0.97	0.75	0.48	0.72	0.53	0.45	0.99	0.82	0.72	1.11
Gd	0.81	3.44	3.89	2.99	2.21	3.17	1.99	2.77	3.58	3.32	2.18	3.76
Tb	0.19	0.49	0.74	0.53	0.39	0.58	0.37	0.53	0.69	0.64	0.32	0.58
Dy	1.49	3.16	4.79	3.67	2.81	4.06	2.59	3.9	4.91	4.23	1.94	3.35
Ho	0.45	0.67	1.12	0.88	0.59	1	0.58	0.87	1.1	1.08	0.37	0.7
Er	1.52	2.1	3.35	2.76	1.89	3.2	1.99	2.83	3.72	3.27	1.08	2.08
Tm	0.26	0.34	0.49	0.38	0.31	0.46	0.27	0.39	0.52	0.49	0.16	0.29
Yb	1.67	2.13	3.21	2.8	1.9	3.08	2	2.94	3.73	3.5	1.03	1.96
Lu	0.29	0.35	0.52	0.42	0.3	0.49	0.33	0.49	0.58	0.53	0.16	0.28
Mo	0.3	0.1	<0.1	0.2	0.2	0.2	<0.1	0.1	0.4	0.3	0.2	0.6
Cu	53.1	86.8	87.1	82.2	72.4	83	67.2	204.5	139.8	77.8	25.6	30.6
Pb	0.2	0.3	0.2	0.3	1.3	0.3	0.3	1.3	0.6	0.5	1.3	1.9
Zn	31	66	75	68	59	76	54	81	38	35	60	56

Tableau 1 (suite) : Composition en éléments majeurs (%) et en traces (ppm) des laves mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo

Echantillon	Basalte	Andésite	Andésite									
	DIA12	DIA17	DIA39	DIA43-1	DIA44-2	DIA46	DIA47	DIA47-2	FAP9	FAP10-2	DIA32	DIA7
Ni	60.7	46.8	27.1	30.7	86.2	30.7	125	40.9	14.5	11.8	60.9	28.8
As	7	7.5	0.7	3.6	16.6	0.9	3.7	178.2	1.5	0.8	2.5	22.6
Cd	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sb	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.3
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ag	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Au	1.9	5.6	<0.5	7.3	459.3	2.1	<0.5	1311.3	2.4	3.6	1.2	6.4
Hg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	<0.5	<0.5	1.1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5

Tableau 2 : Composition en éléments majeurs (%) et en traces (ppm) des volcanoclastites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo

Echantillon	Pyroclastite mafique	Pyroclastite andésitique							
	DIA14	DIA45	N03	N04	N05	N06	N07	N014	DIA8
SiO2	53.37	52.67	57.25	53.23	44.39	49.75	52.23	56.18	60.82
Al2O3	14.61	14.38	16.13	13.9	8.95	12.55	13.98	11.79	13.52
Fe2O3	10.67	10.67	12.77	11.34	9.09	10.88	9.45	12.76	8.3
CaO	9.07	8.95	3.05	7.77	24.85	13.34	10.9	9.56	7.17
MgO	9.39	10.04	6.26	8.25	9.98	8.23	7.83	5.72	4.66
Na2O	1.74	1.94	0.87	3.84	0.25	1.27	1.96	0.24	3.98
K2O	0.11	0.39	2.24	0.31	1.3	2.7	2.46	2.48	0.37
MnO	0.16	0.17	0.1	0.16	0.32	0.21	0.14	0.14	0.12
TiO2	0.76	0.69	1.14	1.02	0.61	0.96	0.97	0.95	0.87
P2O5	0.11	0.1	0.19	0.18	0.27	0.12	0.08	0.18	0.18
Cr2O3	0.09	0.09	0.03	0.15	0.08	0.09	0.11	0.09	0.04
LOI	3.25	3.18	6.9	1.47	16.16	2.18	2.45	4.42	1.71
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Ba	40	71	298	380	62	224	200	263	103
Be	1	<1	<1	<1	2	2	4	1	2
Co	40.3	44.7	29.3	45	16.4	51.6	39.9	32.5	26.9
Cs	0.2	<0.1	2.4	0.6	2.7	2.9	3.6	1.8	<0.1
Ga	12.9	11.4	15.5	14.3	9.8	15	18.8	18.2	16.1
Hf	1.8	1.9	3	2.2	1.4	1.7	2.7	1.7	3.2
Nb	4.3	2	4.8	5.8	3.5	4.1	5	2.4	4.9
Rb	2.6	7.5	44.9	7	29.1	55.5	69.2	46.6	5
Sn	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Sr	308.7	205.3	122.6	526.3	319.7	801.7	1247.9	324.1	108.5
Ta	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
Th	0.7	0.4	1.5	1.1	0.7	0.8	1.3	0.7	1.4
U	0.2	0.2	0.5	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.5
V	200	176	197	266	113	283	219	245	167
W	<0.5	<0.5	9.5	0.8	13.3	12.1	28.2	19.3	<0.5
Zr	67.3	62.4	115.8	82.3	58.6	59.4	91.1	72.6	119.8
Y	16.1	14.7	24	15.9	14	16.1	14	17.1	15.8

Tableau 2 (suite) : Composition en éléments majeurs (%) et en traces (ppm) des volcanoclastites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo

Echantillon	Pyroclastite mafique	Pyroclastite andésitique							
	DIA14	DIA45	N03	N04	N05	N06	N07	N014	DIA8
La	6.9	6.4	15.5	9.3	13.4	6.9	14.3	8.4	14.1
Ce	15.4	14.3	34	22.9	25.9	15.9	30.9	20.3	29.5
Pr	2.01	1.82	4.39	3.06	3.43	2.17	4.1	2.81	3.49
Nd	9.6	8.4	18.9	13.6	14.6	10.2	17.9	13.8	13.4
Sm	2.1	1.85	4.08	3.28	3.19	2.46	3.92	3.48	3.14
Eu	0.75	0.68	0.59	1.1	1.21	0.95	1.09	1.08	0.97
Gd	2.6	2.35	4.2	3.09	3.02	2.76	3.4	3.79	3.52
Tb	0.43	0.38	0.73	0.48	0.43	0.47	0.51	0.57	0.5
Dy	2.79	2.72	4.29	2.76	2.4	2.97	2.72	3.24	2.92
Ho	0.59	0.52	0.98	0.58	0.51	0.64	0.49	0.6	0.62
Er	1.71	1.67	3.01	1.66	1.34	1.74	1.64	1.77	1.78
Tm	0.25	0.24	0.45	0.23	0.17	0.26	0.23	0.25	0.26
Yb	1.72	1.64	3.2	1.52	1.25	1.54	1.63	1.4	1.64
Lu	0.26	0.27	0.5	0.23	0.19	0.27	0.23	0.23	0.24
Mo	0.5	0.2	1.1	0.5	0.5	0.1	0.5	0.3	0.2
Cu	59.8	53.4	112	97.3	37.7	104.7	59.8	42.7	33.1
Pb	0.5	0.3	3.8	1.1	2.1	1.7	2.3	2.1	0.8
Zn	54	56	118	38	41	36	64	63	43
Ni	117.8	169.2	50.2	88.7	48.4	107.9	143.7	144.6	65
As	8.2	0.9	471.8	35.8	124.3	5566.8	913.5	>10000.0	34.6
Cd	<0.1	<0.1	0.3	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sb	0.1	<0.1	0.2	0.1	2.2	2.1	0.2	4.1	<0.1
Bi	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.2	<0.1
Ag	<0.1	<0.1	0.5	<0.1	0.2	0.1	<0.1	1.4	<0.1
Au	13.6	<0.5	274.2	12.7	21.1	198	698.8	9157.1	20.9
Hg	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.03	<0.01	0.01	0.02	<0.01
Tl	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1
Se	<0.5	<0.5	1.3	<0.5	<0.5	<0.5	0.6	3.4	<0.5

3-2-1. Éléments majeurs

Les teneurs en SiO₂ et en alcalin (Na₂O + K₂O) donnent aux roches des compositions de basalte, de basalte andésitique et d'andésite sur le diagramme de TAS ([22]; **Figure 5 A**). Il faut toutefois noter que l'échantillon N05 décrit lors de l'étude pétrographique comme un tuff à lappilis de composition basaltique se situe dans le champ des microbasaltes. En effet, cet échantillon a été prélevé dans une zone minéralisée et est très altérée avec une perte au feu de 16,16 %.

- Les metabasaltes montrent des teneurs en SiO₂ de 46,22 à 57,25 %. Les valeurs en MgO varient de 4,61 à 10,04 % avec Mg# = 49,67 – 70,72. Fe₂O₃ est compris entre 8,62 et 14,82 %. Les teneurs en Na₂O et K₂O varient respectivement de 0,12 à 3,89 % et de 0,06 à 2,12 %. Les faibles taux de TiO₂ (0,18 %-1,21 %) des basaltes analysées ressemblent à ceux des roches plutoniques des arcs

magmatique [23], mais sont différents des basaltes intra-plaques, qui possèdent souvent des taux de TiO_2 élevées ($> 2\%$). Dans le diagramme [24] (**Figure 5 B**), ces formations ont généralement un chimisme tholéitique. Toutefois certains échantillons de pyroclastites ayant probablement subi les effets des altérations et/ou de métamorphisme montrent une tendance calco-alkaline.

- Les métaandésites présentent des teneurs en SiO_2 de 59,96 % à 61,41 % et en alcalins ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) de 4,36 % à 6,20 %. Les teneurs en MgO varient de 1,87 à 4,80 % avec $(\text{Mg}\#) = 39,86 - 60,81$; Fe_2O_3 varie de 6,20 à 8,30 %. Les valeurs en TiO_2 sont inférieures à 2 % (0,62 - 0,87 %). Ces roches définissent un chimisme calco-alkalin (**Figure 5 B**).

3-2-2. Éléments en traces

- La somme en terres rares (ΣREE) des metabasites varie généralement de 15,86 à 94,82 ppm. Les spectres normalisés à la chondrites sont généralement plats pour les laves mafiques tandis que les pyroclastites mafiques sont enrichies en LREE avec des rapports de [laves $((\text{La}/\text{Sm})_N = 1,26-3,32$ et $(\text{La}/\text{Yb})_N = 0,87-4,15$; pyroclastites $((\text{La}/\text{Sm})_N = 1,71 - 2,74$ et $(\text{La}/\text{Yb})_N = 2,58 - 7,08$] (**Figure 5 C**). Ces roches montrent une anomalie négative à légèrement positives en europium [laves $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,60-1,02)$; pyroclastites $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,44-1,20)$]. En effet, l'anomalie négative en europium implique une cristallisation précoce du plagioclase lors de la différenciation [25]. On observe des anomalies négatives à légèrement positives en cérium [laves $(\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0,83-1,14)$; pyroclastites $(\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0,92-1,01)$]. En effet, les anomalies négatives en cérium sont communes aux magmas d'arcs modernes mais peut également résulter d'altérations post-magmatiques tels que la circulation pervasive de fluides hydrothermaux [1]. Cette tendance d'anomalie négative à légèrement positive observée en Europium et en Cérium pourrait être due à une divergence dans l'évolution géochimique de ces roches.
- Les teneurs en terres rares (ΣREE) des métaandésites varient de 41,66 à 104,51 ppm. Ces teneurs sont reportées sur des diagrammes normalisés aux chondrites ([26]; **Figure 5 C**). Les spectres sont à pentes généralement faibles à modérées avec un taux de fractionnement de : [laves $((\text{La}/\text{Sm})_N = 2,34 - 3,81$; $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1,54 - 1,70$ et $(\text{La}/\text{Yb})_N = 4,49 - 7,31$; pyroclastite $((\text{La}/\text{Sm})_N = 2,74$; $(\text{Gd}/\text{Yb})_N = 1,72$ et $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5,68$]. Ces roches montrent une anomalie très légèrement négative à légèrement positive en europium $(\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,90-1,12)$, ainsi que des anomalies très légèrement négatives à quasiment nulles en cérium $(\text{Ce}/\text{Ce}^* = 0,95-0,99)$.
- Les diagrammes multiéléments des métavolcanites basaltiques et andésitiques du sillon de Korhogo, normalisés aux N-MORB (**Figure 5 D**), montrent dans l'ensemble un enrichissement en LILE (Cs, Ba, Th, etc.) et une anomalie négative en Nb-Ta. Cela indique une mise en place en contexte de subduction [27]. Ces arachnogrammes montrent également un spectre plat dans la partie HREE ainsi que des anomalies négatives en Ti-V. En effet, Les anomalies négatives en Ti-V sont dues au fractionnement de la magnétite dans la source.

3-2-3. Diagrammes contexte géodynamique

Les analyses chimiques des metabasites du sillon de Korhogo, reportées dans le diagramme ternaire Ti-Zr-Y [23] montrent généralement une affinité des metabasites aux basaltes des arcs volcaniques, des MORB et des basaltes calco-alkalins (**Figure 5 E**). La majorité des échantillons se situent dans le champ commun aux basaltes des arcs océaniques et des arcs continentaux et matures (**Figure 5 F**). Cette maturité, plus exprimée par les pyroclastites, montre une possibilité de mélange dû à l'existence d'une petite composante héritée archéenne.

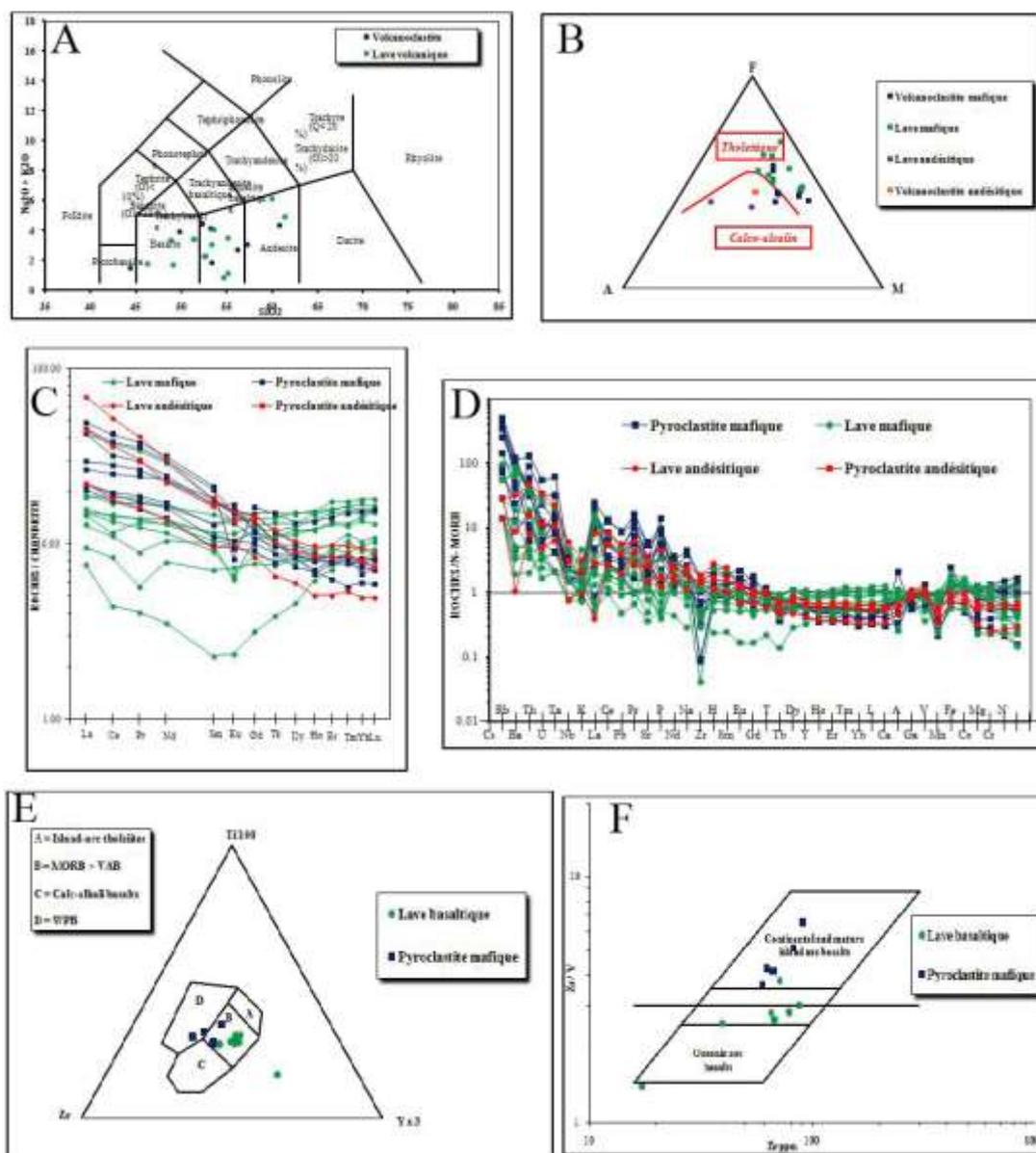


Figure 5 : Diagrammes appliqués aux métavolcanites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo. A) Diagramme de TAS modifié d'après Le Maître (1989) ; B) Diagramme AFM [24] ; C) Spectres des terres rares normalisées aux chondrites ; D) Spectres multi-éléments normalisés aux N-MORB ; E) Diagramme triangulaire Ti/100-Zr-Y*3 [23] ; F) Diagramme Zr/Y en fonction du Zr [23]

3-3. Minéralisations associées

3-3-1. Encaissants

Les basaltes et andésites sont généralement minéralisés. Les faciès tuffacés et brèchiques déformés et cisailés sont les plus minéralisés. Cette minéralisation est souvent piégée par les graphites.

3-3-2. Minéralisations et déformations

Les roches sont fortement schistosées ou mylonitisées dans les couloirs de cisaillement. Ces structures, qui peuvent être interprétées comme étant des failles majeures, globalement orientées NE-SO mais aussi NNE-SSO. La minéralisation aurifère est contrôlée ou remobilisée le long de ces structures. Les travaux

artisans ainsi que la mine de Tongon sont portées par ces structures. Le fait de trouver de la minéralisation au cœur (mine de Tongon) ou près des failles ou couloir de cisaillement NE-SO (site d'orpaillage), permet de déduire que ces failles ont été actives de façon continue et qu'elles sont perméables. Une intense activité hydrothermale est observée le long de ces failles. Les minéralisations sont encaissées préférentiellement dans les zones de mélanges volcano-sédimentaires et d'intrusions. Ces zones sont le siège d'une déformation ductile avec de forts contrastes rhéologiques (zones de cisaillement). Ces structures sont donc minéralisées et se développent principalement lorsque la schistosité de flux S1 est très pénétrante, de direction NE-SO et secondairement dans la schistosité S2, NO-SE (*Figure 6 A et B*). Les zones minéralisées sont formées de plusieurs veines de quartz aurifères. Il s'agit de la phase principale du réseau filonien aurifère (*Figure 6 C et D*). Les veines de quartz peuvent être regroupées en deux grandes familles. Les veines NE-SO, plus minéralisées, développées et répandues ; et les veines NO-SE, moins développées. A cela s'ajoute des réseaux filoniens formant généralement des stockwerks parfois minéralisés.

3-3-3. Minéralisations et altérations hydrothermales

La minéralisation aurifère s'est développée le long des couloirs de cisaillement orientés globalement orientés NE-SO mais aussi NNE-SSO. Les roches de la zone ont été affectées par une importante altération hydrothermale marquée par des filons et filonnets de quartz (*Figure 6 C et D*). Ils sont associés généralement aux carbonates, à la séricite, à la silice diffuse, aux sulfures (Pyrite, pyrrhotite, arsénopyrite) et aux oxydes (*Figure 7 A, B, C et D*). L'or est souvent visible dans ces veines. Cette altération, principalement fissurale, a induit une altération pervasive des encaissants. L'altération est majoritairement marquée par la silicification, la séricitisation et la carbonatation ; et minoritairement par la chloritisation, l'épidotisation et l'hématisation.

3-3-4. Paragenèse métallifère et typologie de la minéralisation

Les échantillons prélevés dans les sites d'orpaillages du sillon de Korhogo montrent par endroit des teneurs plus ou moins élevées en or. L'or n'est pas visible à l'œil nu. La paragenèse métallifère est composée de pyrite comme sulfure principal. A cette pyrite, s'associe à la pyrrhotite, la chalcopryrite, l'arsénopyrite et très rarement à la molybdénite (*Figure 7 A, B, C et D*). Ces sulfures sont présents dans les veines tout comme dans les encaissants. Les analyses réalisées au MEB corroborent ces observations. En effet les résultats montrent une abondance de la pyrite comme sulfure principal (FeS_2), associée parfois à la pyrrhotite (FeS) (*Figure 7 E*). A cela s'ajoute également la chalcopryrite (CuFeS_2) (*Figure 7 F*). La minéralisation aurifère de la ceinture « Senoufo » est non seulement, à sulfures disséminées dans les encaissants métavolcaniques mais également de type filonien (veines de quartz avec sulfures).

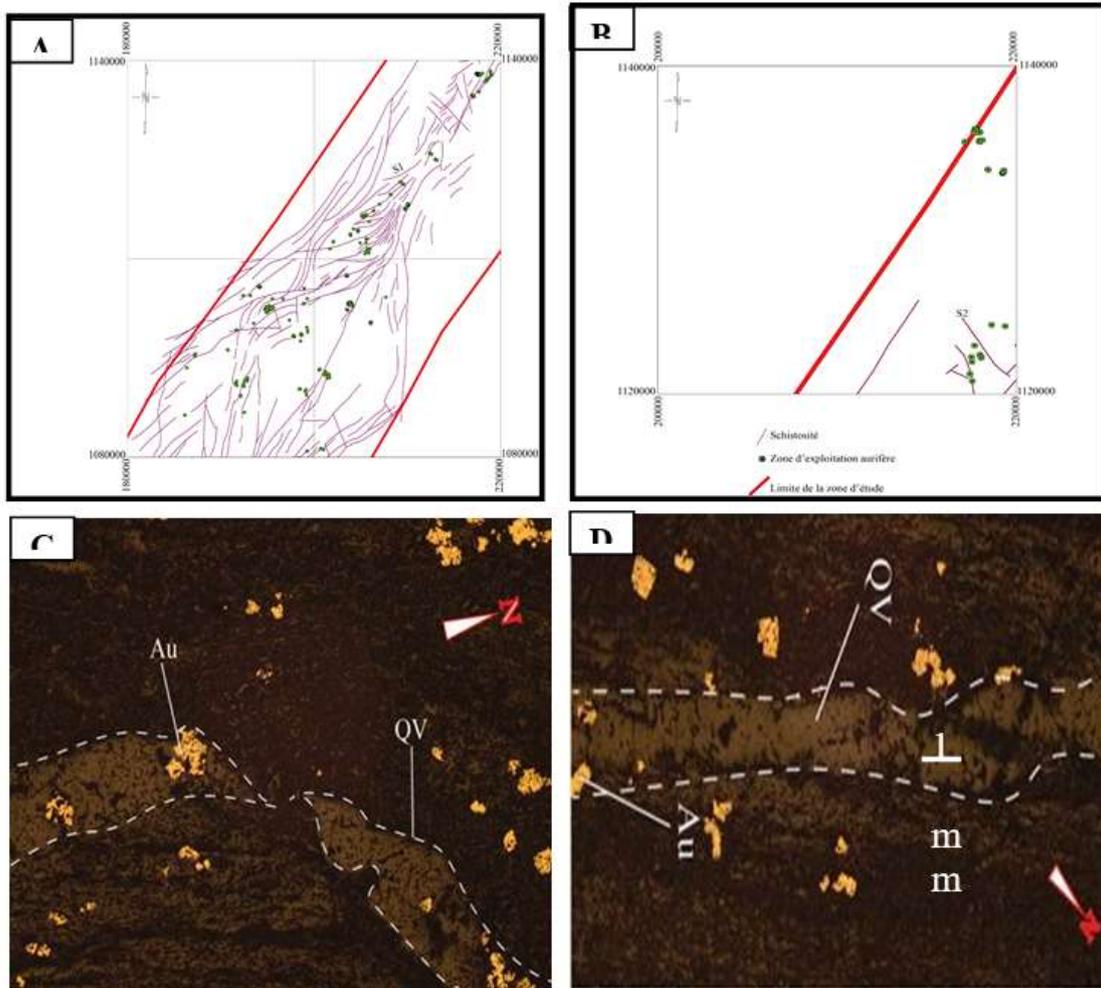


Figure 6 : *Cartes de localisation des zones d'exploitation suivant les plans de schistosité et microphotographies des veines de quartz minéralisées. A) exploitation suivant S1 ; B) exploitation suivant S2 ; C) Veines de quartz NE-SO boudinées dans le cisaillement ; D) Veine de quartz NO-SE*

4. Discussion

4-1. Lithologie

Les données pétrographiques recueillies sur les métavolcanites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo indiquent la présence laves volcaniques basiques à acides (basaltes et andésites). A cela s'ajoute des volcanoclastites mafiques à intermédiaires (tuffs et brèches). La mise en place des métavolcanites du sillon de Korhogo est marquée par des épisodes effusif, effusif sous-marin et explosif. Ces épisodes ont été déjà ailleurs dans le sillon de Toumodi-Fètêkro [28 - 30] et dans la région de Dabakala [31]. Les roches du sillon de Korhogo sont affectées par une intense altération pervasive et fissurale témoignant ainsi de l'intensité de l'altération hydrothermale dans la zone d'étude.

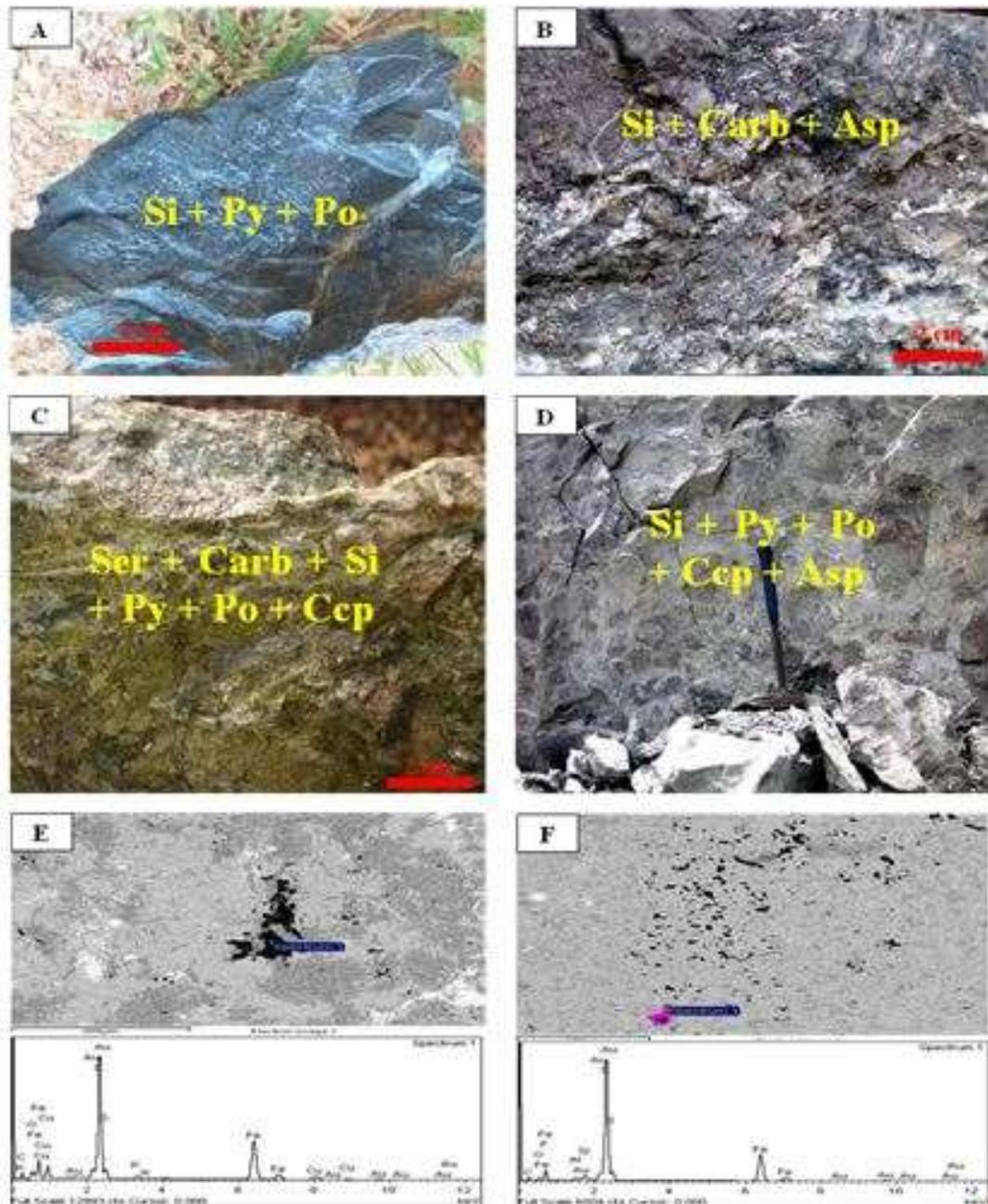


Figure 7 : Aspects macroscopiques, microscopiques et spectre au MEB des altérations et des sulfures. A) minéralisation associée à la silicification ; B) minéralisation associée à la silicification et la carbonatation. C) minéralisation associée à la séricitisation, la silicification et la carbonatation ; D) silicification dans les brèches polyphasiques ; E) Spectre de la chalcopryrite au MEB ; F) Spectre de la pyrite au MEB

4-2. Géochimie

Les données géochimiques indiquent que les roches mafiques montrent un chimisme généralement tholéitique tandis que les roches intermédiaires sont calco-alcalines. De telles observations ont été faites dans les sillons birimiens ivoiriens [30-31] et ailleurs dans certains sillons birimiens Ouest-africains [32]. Les archnogrammes des roches 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. Le comportement de certains éléments en traces (Zr et Y) des roches mafiques permet d'évoquer une possible contamination crustale lors de la mise en place du sillon de Korhogo. Ces observations faites, ont déjà été mises en évidence dans les sillons birimiens ivoiriens [29-31, 33] et ailleurs le craton Ouest-africain [4, 34]. Les travaux réalisés dans le sillon de Korhogo confirment la présence de l'héritage archéen, par endroits dans les formations juvéniles birimiennes.

4-3. Métallogénie

Les données ont permis de montrer que la minéralisation aurifère du sillon est non seulement, à sulfures disséminés dans les encaissants mais également de type filonien (veines de quartz avec sulfures). Cette configuration est identique à celle décrite à Agbahou [35], à Bobosso [31] et dans la ceinture Ashanti au Ghana [36]. Les veines de quartz minéralisées sont regroupées en deux familles notamment les veines NE-SO en cisaillement et les veines NO-SE en extension, similaires au gisement aurifère de Kalana [37]. Les veines NE-SO, à fort pendage, pourraient être issues d'un phénomène de « fault valve » [38], qui se matérialisent par la formation d'un réseau de veines aurifères et subparallèle aux zones de cisaillement. Les veines NO-SE recoupent la schistosité régionale donc tardives dans l'orogénèse éburnéenne. Ces veines décrites comportent de très faible teneur ou bien elles ne sont pas minéralisées par [34, 39]. En effet, la plupart des gisements du craton ouest africain de type filonien correspondent à des filons ou à des familles de filons de quartz à fort pendage avec une orientation parallèle à celle de la schistosité régionale [13, 14, 34, 39 - 42]. Dans la zone d'étude, les zones de cisaillement NE à NNE sont les principales structures porteuses de la minéralisation aurifères. En effet dans ces zones mylonitisées, les structures tectoniques acquièrent une perméabilité qui en fait de véritables drains pour les fluides hydrothermaux. La déformation en cisaillement a donc favorisé la canalisation des fluides dans les zones à forte perméabilité. Les zones de cisaillement NE-SO sont également porteuses de minéralisations aurifères dans certaines régions de la Côte d'Ivoire notamment à Agbahou [35], à Afema [43] et également dans certains pays d'Afrique de l'Ouest, en l'occurrence à Sabodala au Sénégal [44], à Abawso au Ghana [45] et à Taparko au Burkina Faso [46]. Les altérations les plus répandues dans les zones minéralisées sont majoritairement marquée par la silicification, la séricitisation et la carbonatation ; et minoritairement par la chloritisation, l'épidotisation et l'hématisation. La paragenèse métallifère est composée de pyrite comme sulfure principal. A cette pyrite, s'associe à la pyrrotite, la chalcopyrite, l'arsénopyrite et la molybdénite. Cela corrobore les observations faites sur les gisements d'Agbahou [35], de Bonikro [36] et de Bandama-Dougbafla [47], ainsi que sur le prospect de Bobosso [31]. Cependant, dans le prospect de Tondabo [48], on note l'absence de molybdénite et d'arsénopyrite. Ces nouvelles données permettront aux compagnies de mieux cibler les structures à prospecter surtout le long du couloir de cisaillement orienté principalement NE-SO à NNE-SSO du sillon de Korhogo.

5. Conclusion

Les métavolcanites mafiques et intermédiaires du sillon de Korhogo sont composés de laves volcaniques (basaltes et andésites), se présentent souvent sous forme de structure en pillow et de volcanoclastites (tuffs à lappilis et brèches) un épisode explosif. La présence de minéraux symptomatiques de basse pression et de faible température tels que l'épidote, la chlorite, la séricite témoignent d'un métamorphisme de faciès schiste vert. Les tendances géochimiques indiquent clairement une mise en place en contexte de subduction. La minéralisation est observée localement dans les métavolcanites mafiques et intermédiaires. Les faciès les plus minéralisés sont les tuffs et les brèches. Elle ne présente donc pas de contrôle lithologique. Les zones minéralisées sont généralement orientées NNE à NE. Les minéralisations sont à sulfures disséminées dans les encaissants et également de type filonien. La minéralisation de type filonien

consiste en un système de veine de quartz orienté NE-SO, subparallèle à la schistosité ou zones de cisaillement hôtes orienté NE-SO et NNE-SSO. Les encaissements de ces veines très déformés, sont affectés par le métamorphisme et une intense altération hydrothermale. La minéralisation présente un contrôle structural. Les associations minéralogiques liées à l'or, sont représentées par des sulfures composés de pyrites, chalcopyrites, pyrrhotites, d'arsénopyrites et rarement de molybdénite. Les couloirs de cisaillement, principalement orienté NNE à NE, constituent d'excellentes cibles potentielles pour orienter les recherches à venir dans le sillon de Korhogo.

Références

- [1] - W. ABOUCHAMI, M. BOHER, A. MICHARD, F. ALBAREDE, A Major 2,1Ga Event of Mafic Magmatism in West Africa : An Early Stage of Crustal Accretion. *J. Geophys. Res.*, 95 (1990) 17605 - 17629
- [2] - M. BOHER, W. ABOUCHAMI, A. MICHARD, F. ALBEREDE F., N. ARNDT, Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. *Journal Geophysical Research*, 97 (1992) 345 - 369
- [3] - P. N. TAYLOR, S. MOORBATH, A. LEUBE, W. HIRDES, Early Proterozoic crustal evolution in the Birimian of Ghana : constraints from geochronology and isotope geochemistry. *Precambrian Res.*, 56 (1992) 97 - 111
- [4] - J. J. PEUCAT, R. CAPDEVILA, A. DRARENI, Y. MAHDJOUR, M. KAHOU, The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt : petrology, geochemistry and geochronology. *Precamb. Res.*, 136 (2005) 309 - 352
- [5] - S. PAWLIG, M. GUEYE, R. KLISCHIES, S. SCHWARZ, K. WEMMER, S. SIEGSMUND S., Geochemical and Sr—Nd isotopic data on the Birimian of the Kedougou-Kenieba Inlier (Eastern Senegal) : implications on the Palaeoproterozoic evolution of the West African Craton. *S. Afr. J. Geol.*, 109 (2006) 411 - 427
- [6] - A. N. KOUAMELAN, Géochronologie et Géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire : Implication pour la transition Archéen-Protérozoïque. Mémoire Géoscience, Rennes, N° 73 (1996) 293 p.
- [7] - W. HIRDES, D. W. DAVIS, First U-Pb zircon age of extrusive volcanism in the Birimian Super group of Ghana/West Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 27 (1998) 291 - 294
- [8] - C. CASTAING, M. BILLA, J. P. MILÉSI, D. THIÉBLEMONT, J. LE MENTOUR, E. EGAL, M. DONZEAU, C. GUERROT, A. COCHERIE, P. CHÈVREMONT, M. TEGYEY, Y. ITARD, B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B. E. KABORE, C. OUEDRAOGO, J. C. KI, C. ZUNINO, Notice explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1 000 000. BRGM BUMIGEB, (2003) 147 p.
- [9] - W. HIRDES, D. W. DAVIS, G. LUDTKE, G. KONAN, Two generations of Birimian (Paleoproterozoic) volcanics belts in northeastern Côte d'Ivoire (West-Africa) : consequences for the 'Birimian Controversy', (1996) 247 - 311
- [10] - G. BOSSIERE, I. BONKOUNGOU, J. J. PEUCAT, J-P. PUPIN, Origin and age of Paleoproterozoic conglomerates and sandstones of the Tarkwaian Group in Burkina Faso, West Africa. *Precambrian Research*, 80 (1996) 153 - 172
- [11] - S. DOUMBIA, A. POUCKET, A. N. KOUAMELAN, J. J. PEUCAT, M. VIDAL, Petrogenesis of juvenile-type Birimian (Paleoproterozoic) granitoids in Central Côte d'Ivoire, West Africa : geochemistry and geochronology. *Precambrian Research*, 87 (1998) 33 - 63
- [12] - 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 Palaeoproterozoic of West Africa? *Precambrian Res*, 127 (2003) 329 - 354

- [13] - J. P. MILESI, J. L. FEYBESSE, P. LEDRU, A. DOMMANGET, M. F. OUÉDRAOGO, E. MARCOUX, A. E. PROST, C. VINCHON, J. P. SYLVAIN, V. JOHAN, M. TEGYEY, J. Y. CALVEZ, PH. LAGNY, Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest. Leur évolution lithostructurale au Protérozoïque inférieur. *Chron. Rech. min, Fr*, 497 (1989) 3 - 98
- [14] - J. P. MILESI, P. LEDRU, J. L. FEYBESSE, A. DOMMANGET and E. MARCOUX, Early Proterozoic ore deposits and tectonics of the Birimian orogenic belt, West Africa. *Precambrian Research*, 58 Issues 1-4 (1992) 305 - 344
- [15] - J. L. FEYBESSE, Géométrie et cinématique des fractures contrôlant la mise en place des veines et veinules de quartz de la mine d'or d'Angovia (Yaouré, Côte d'Ivoire). Compagnie Minière d'Afrique, Rapport interne, non publié, (2001)
- [16] - P. TURNER, R. P. HALL, D. J. HUGHES, J. S. WHALLEY, The sediment-dominated Boundiali-Bago supracrustal belt and neighbouring granitic rocks, northern Côte d'Ivoire, West Africa : a Tarkwaian connection ? *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 17, N° 1 (1993) 1 - 11
- [17] - I. YACE, Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. Edition CEDA, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2002) 183 p.
- [18] - K. A. YAO, Le volcanisme du sillon de Boundiali, phénomène principal du protérozoïque inférieur de Côte d'Ivoire. Thèse de l'université de Blaise Pascal Clermont — Ferrand II, (1993) 194 p.
- [19] - M. B. ADEGOKE, Rapport final d'activités minières sur les permis de sénoufo Nord, sénoufo Sud et Niellé dans le Nord de la Côte d'Ivoire, rap int. SODEMI/BHP Minerals, (1996) 233 p.
- [20] - J. P. MILESI, J. L. FEYBESSE, P. PINNA, Y. DESCHAMPS, H. KAMPUNZU, S. MUHONGO, J. L. LESCUYER, E. LE GOFF, C. DELORANDM BILLA, Geological map of Africa 1:10 000 000. SIG Afrique project, BRGM Orléans, (2004)
- [21] - B. TAGINI, Carte géologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/2 000 000. SODEMI-ORSTOM-Université d'Abidjan, (1992)
- [22] - R. W. LE MAITRE, A classification of igneous rocks and glossary of terms. In: Le Maitre, R.W. (Ed.), Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on Systematics of Igneous Rocks. *Blackwell Sci. Publ*, (1989) 193 p.
- [23] - 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
- [24] - 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
- [25] - BONNOT-COURTOIS, Géochimie des Terres Rares dans les principaux milieux de formation et de sédimentation des argiles. Thèse, Université Paris Sud Centre d'Orsay, France, (1981) 251 p.
- [26] - 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
- [27] - J. G. FITTON, D. JAMES, P. D. KEMPTON, D. S. ORMEROD, W. P. LEEMAN, The role of lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the western United States. *J. Petrol.* (Special Lithosphere Issue), (1988) 331 - 349
- [28] - I. YACE, Etude du volcanisme Eburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne Précambrienne de Fettekro. Direction de la Géologie. Abidjan, (1982) 156 p.
- [29] - 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. FELIX HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan, (2015) 256 p.

- [30] - I. COULIBALY, Pétrologie des volcanites et plutonites de la partie Sud du sillon volcanosédimentaire de Toumodi-Fétèkro (Côte d'Ivoire) : Implications pétrogénétique et tectonique. Thèse Univ. FELIX HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan, (2018) 218 p.
- [31] - 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 HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan, (2014) 303 p.
- [32] - S. B. DAMPARE, T. SHIBATA, D. K. ASIEDU, S. OSAE, B. BANOENG-YAKUBO, Geochemistry of Paleoproterozoic metavolcanic rocks from the southern Ashanti volcanic belt, Ghana: Petrogenetic and tectonic setting implications. *Precambrian Research*, 162 (2008) 403 - 423
- [33] - K. R. TEHA, Les Formations Éburnéennes du Sud-ouest du bassin de la Comoé et du secteur de Singrobo (Sud de la Côte d'Ivoire) : Pétrologie, Analyse structurale et Magmatisme associé. Thèse, Univ. FELIX HOUPHOUËT-BOIGNY d'Abidjan, (2019) 247 p.
- [34] - 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
- [35] - N. N. HOUSSOU, Etude pétrologique, structurale et métallogénique du gisement aurifère d'Agbahou, Divo, Côte d'Ivoire. Doctorat, Univ. FELIX HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan, (2013) 177 p.
- [36] - T. OBERTHÜR, T. WEISER and J. A. AMANOR, Mineralogical siting and distribution of gold in quartz veins and sulphide ores of the Ashanti mine and other deposits in the Ashanti belt of Ghana : genetic implications. *Mineralium Deposita*, 32 (1997) 2 - 15
- [37] - A. SANGARE, Y. DRIOUCH, S. SALVI, O. FEMENIAS, L. SIEBENALLER, M. BELKASMI, D. BEZIAT, M. DAHIRE, A. NTARMOUCHANT, S. ADIL, P. DEBAT, Géologie des minéralisations aurifères du gisement tardi-éburnéen de Kalana (Birimien, Sud-Ouest du Mali), Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, N°36 (2014) 85 - 108
- [38] - R. H. SIBSON, F. ROBERT and K. H. POULSEN, High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, 16 (6) (1988) 551 - 555
- [39] - D. BEZIAT, M. DUBOIS, P. DEBAT, S. NIKIEMA, S. SALVI, F. TOLLON, Gold metallogeny in the Birimian Craton of Burkina Faso (West Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 50 (2008) 215 - 233
- [40] - A. ALLIBONE, J. TEASDALE, G. CAMERON, M. ETHERIDGE, P. UTTLEY, A. SOBOH, J. APPIAH-KUBI, A. ADANU, R. ARTHUR, J. MAMPHEY, B. ODOOM, J. ZUTA, A. TSIKATA, F. PATAYE, S. FAMIYEH, E. LAMB, Timing and structural controls on gold mineralization at the Bogoso gold mine, Ghana, West Africa. *Economic Geology*, 97 (2002) 949 - 969
- [41] - Y. COULIBALY, M. C. BOIRON, M. CATHELINEAU and A. N. KOUAMELAN, Fluid immiscibility and gold deposition in the Birimian quartz veins of the Angovia deposit (Yaouré, Ivory Coast). *Journal of African Earth Sciences*, 50 (2008) 234 - 254
- [42] - N. Q. HAMMOND, L. ROBB, S. FOYA, D. ISHIYAMA, Mineralogical, fluid inclusion and stable isotope characteristics of Birimian orogenic gold mineralization at the Morila Mine, Mali, West Africa. *Ore Geology Reviews*, 39 (2011) 218 - 229
- [43] - K. E. ASSIE, Lode gold mineralization in the Paleoproterozoic (Birimian) volcanosedimentary sequence of Afema gold district, southeastern Côte d'Ivoire, Doctoral Thesis, *Faculty of Energy and Economic Sciences Technical University of Clausthal*, (2008) 198 p.
- [44] - M. SYLLA, P. M. NGOM, Le gisement d'or de Sabodala (Sénégal Oriental) : une Minéralisation filonienne d'origine hydrothermale remobilisée par une tectonique cisailante. *J. of Afr. Earth Sces*, 25, N° 2 (1997) 183 - 192

- [45] - S. E. WILLE and R. KLEMD, Fluid inclusion studies of the Abawso gold prospect, near the Ashanti Belt, Ghana. *Mineralium Deposita*, 39 (2004) 31 - 45
- [46] - F. BOURGES, P. DEBAT, F. TOLLON, M. MUNOZ, J. INGLES, The geology of the Taparko gold deposit, Birimian greenstone belt, Burkina Faso, West Africa. *Mineralium Deposita*, 33 (1998) 591 - 605
- [47] - A. S. OUATTARA, Le gisement de Dougbafla-Bandama (Sud du sillon birimien de Fêttêkro, Oumé, Côte d'Ivoire) : Pétrographie, déformation, géochimie et métallogénie. Doctorat, Univ. FELIX HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan, (2018) 252 p.
- [48] - S. M. DAI BI, Etude lithostructurale et géochimique des formations la région de Brobo (Centre de la Côte d'Ivoire) : Aide à la compréhension de la minéralisation aurifère du prospect de Tondabo. Thèse Institut National Polytechnique FELIX HOUPHOUET-BOIGNY de Yamoussoukro, (2021) 211 p.