

Pétrographie des formations géologiques de Zoukougbeu et leur minéralisation aurifère (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

[Petrography of Zoukougbeu geological formations and their gold mineralization (Central-western Ivory Coast)]

Gnamba Emmanuel Franck Gouedji¹, Yaya Ouattara², Zié Ouattara¹, Désiré Sosthène Atto¹, Kacou Fabrice Ehouinsou³, Abdoul Karim Keita³, and Handrin Moro Esaïe Koffi¹

¹UFR Sciences Géologiques et minières, Université de Man, BP V20 Man, Côte d'Ivoire

²TIETTO MINERALS, Abidjan –Riviera Attoban, 11 BP 776 Abidjan 11, Côte d'Ivoire

³Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques, UFR STRM, Université Félix HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan-Cocody, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Zoukougbeu is a department located in the center-west of Ivory Coast which contains geological formations with gold mineralization highlighted by Tietto Minerals mining company during its mapping and drilling campaigns. The general objective of this study is to determine the petrographic characteristics of these formations and the associated gold mineralization. Thus, data acquisition consisted of collecting rock samples in the field from mapping and core drilling, followed by the macroscopic identification of these samples and then the making of thin sections for their microscopic characterization. Petrographic analysis reveals that these geological formations globally oriented NNE-SSW (Eburnean direction) consist of gneiss associated with plutonic intrusives (granodiorites, diorites, granites) deformed and mineralized in syngenetic gold bearing disseminated sulfides. These formations are crossed by faults and of quartz-albite-calcite veins (containing epigenetic gold bearing sulfides) trending NW-SE and E-W. All these rocks are crossed by unmineralized pegmatite veins trending E-W. The mineralization is mainly formed of pyrite and secondarily chalcopyrite, pyrrhotite and native gold. Zoukougbeu rocks are affected by regional metamorphism of greenschist facies accompanied by hydrothermal alteration (pervasive and fissural) which have contributed to the concentration of mineralization like other Birimian gold occurrences in Ivory Coast and Africa. These geological formations are topped by a thick regolith profile due to supergene weathering.

KEYWORDS: Plutonites, quartz-albite-calcite veins, gold, Birimian, Zoukougbeu, Ivory Coast.

RESUME: Zoukougbeu est un département situé au centre-ouest de la Côte d'Ivoire qui regorge des formations géologiques à minéralisation aurifère mises en évidence par la société minière Tietto Minerals au cours de ses campagnes de cartographies et de forages. L'objectif général de cette étude est de déterminer les caractéristiques pétrographiques de ces formations et la minéralisation aurifère associée. Ainsi, l'acquisition des données a consisté en la collecte sur le terrain d'échantillons de roches issus de la cartographie et des sondages carottés suivi de l'identification macroscopique de ces échantillons puis la confection de lames minces en vue de leur caractérisation microscopique. L'analyse pétrographique révèle que ces formations géologiques globalement orientées NNE-SSW (direction éburnéenne) sont constituées de gneiss associés à des intrusifs plutoniques (granodiorites, diorites, granites) déformés et minéralisés en sulfures disséminés aurifères syngénétiques. Ces formations sont recoupées par des failles, des filons et des veines de quartz-albite-calcite (à sulfures aurifères épigénétiques) de direction NW-SE et E-W. Tout cet ensemble est traversé par des filons de pegmatite non minéralisée de direction E-W. La minéralisation est principalement formée de pyrite et accessoirement de chalcopyrite, pyrrhotite et d'or natif. Les roches de

Zoukougbeu sont affectées par un métamorphisme régional de faciès schistes verts accompagné d'altération hydrothermale (pervasives et fissurale) qui ont contribué à la concentration de la minéralisation à l'instar de certaines occurrences aurifères birimiennes en Côte d'Ivoire et en Afrique. Ces formations géologiques sont supplantées par un profil régolithique épais dû à l'altération supergène.

MOTS-CLEFS : Plutonites, veines de quartz-albite-calcite, or, Birimien, Zoukougbeu, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Le 21^{ème} siècle a révélé l'Afrique de l'Ouest comme étant une région minière aurifère en plein essor [1]. Elle bénéficie d'un héritage naturel qui est sa géologie faite de roches birimiennes qui renferment des roches plutono-volcaniques, volcanoclastiques et sédimentaires, métamorphisées sous des conditions de faciès schiste vert et intrudées par des massifs de granitoïdes de 2,2-2,0 Ga ([2], [3], [4], [5], [6], [7]).

Ces formations birimiennes sont inégalement réparties dans le craton ouest-africain avec une proportion de 35% pour la Côte d'Ivoire. Ces roches bien que globalement décrites en Côte d'Ivoire pour leur occurrence aurifère demeurent moins connues dans le département de Zoukougbeu, situé au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire ([8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]).

A travers des données de recherche minière de la société Tietto Minerals, obtenues sur son prospect de Zoukougbeu, cet article permet de caractériser la pétrographie des formations géologiques de Zoukougbeu et leurs minéralisations aurifères à partir des observations macroscopiques et microscopiques.

2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Zoukougbeu est un département situé au centre-ouest de la Côte d'Ivoire dans la région du Haut Sassandra, à 40 km de la ville Daloa. Le prospect Abujar de la société minière Tietto Minerals, ayant servi pour cette étude appartient au permis de recherche de Zoukougbeu de coordonnées comprise entre 6°50'N - 7° N et 6°40'W - 6°50'W (Fig. 1). Cette zone est caractérisée par un climat tropical humide de transition avec une végétation de type forestier, développée sur un relief de colline. Les affleurements sont peu abondants.

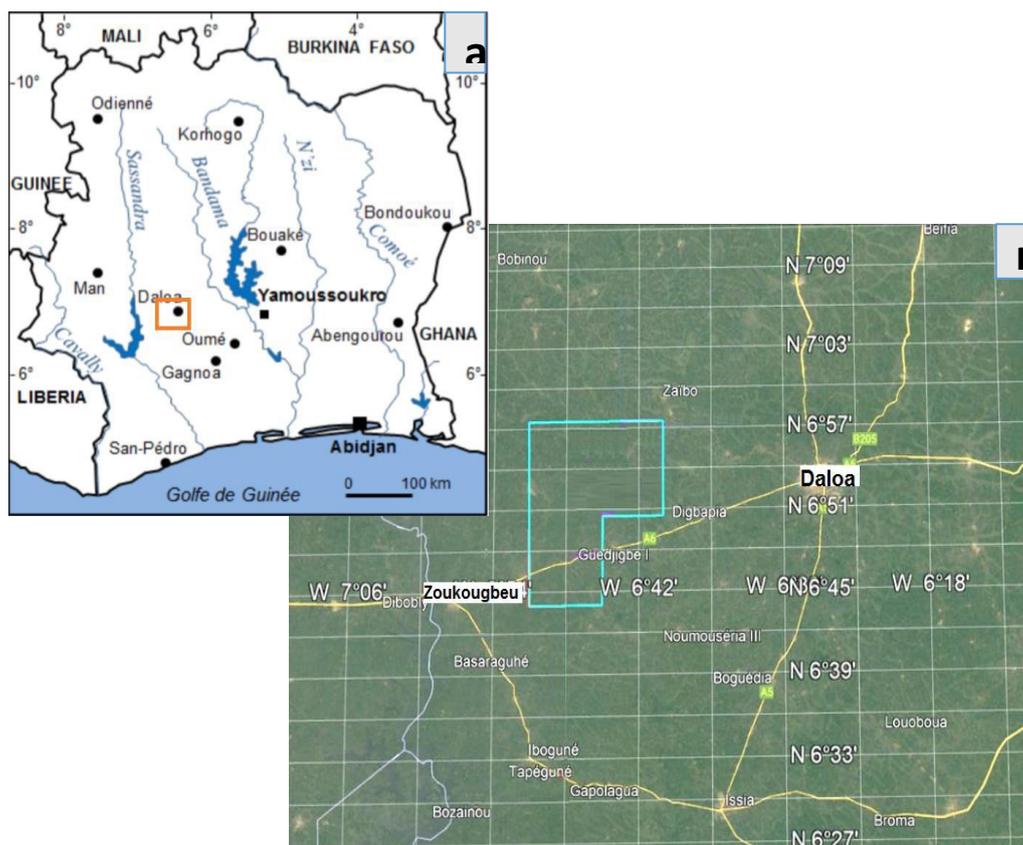


Fig. 1. Cartes de localisation de la zone d'étude. a. Carte de localisation de la région du haut Sassandra; b. Carte de localisation indiquant le permis de Zoukougbeu (Google earth)

Au plan géologique, la Côte d'Ivoire appartient à la dorsale de Man du craton Ouest-Africain. La géologie de son socle précambrien se subdivise en deux domaines par la faille de Sassandra avec d'une part à l'ouest le domaine Kénéma-Man et d'autre part à l'est, le domaine Baoulé-Mossi (Fig. 2) ([16], [17]). La plupart des découvertes d'or ont été faites dans les terrains protérozoïques formés au cours du cycle orogénique éburnéen entre 2,15 et 1,8 Ga, qui correspond au domaine Baoulé-Mossi [18].

L'histoire géologique de Zoukougbeu l'inscrit à l'Ouest du domaine paléoprotérozoïque (domaine éburnéen) qui correspond à la mise en place des formations birimiennes ([7], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28]). Le prospect de Zoukougbeu se situe notamment dans la zone de transition, dans le sillon de Soubré ou Hana-Lobo plus précisément dans la partie centrale du domaine de transition [16]. On distingue plusieurs formations géologiques appartenant au socle précambrien (granitoïdes, dioritoïdes, migmatites et gneiss) et des roches mise en place tardivement constituée de pegmatite.

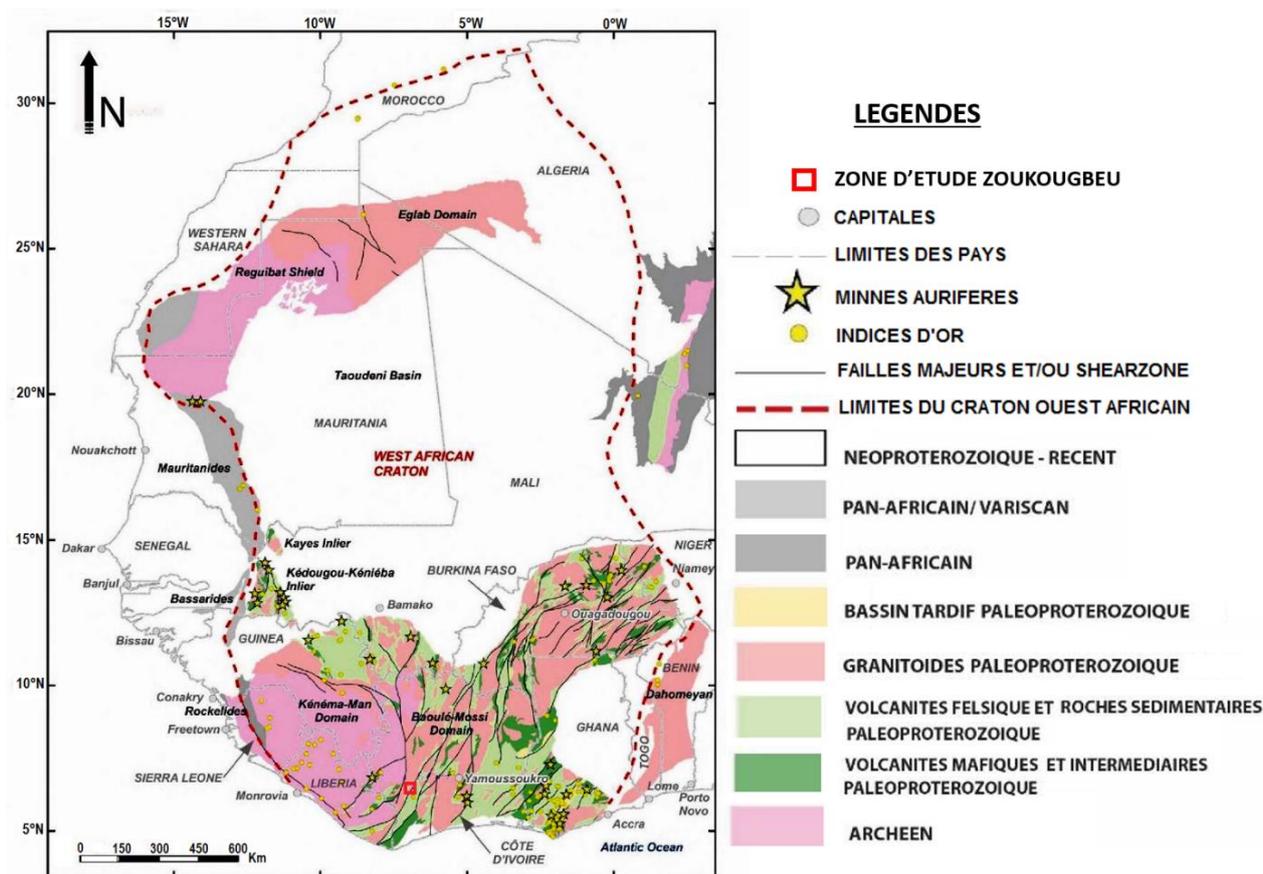


Fig. 2. Carte géologique du craton Ouest Africain indiquant la zone d'étude [29]

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le département de Zoukougbeu est marqué par la rareté des affleurements à cause de l'épaisse couverture de la végétation et de l'altération supergène. Les rares affleurements visibles se localisent dans les bas-fonds ou dans les sites d'orpaillage atteignant la roche fraîche. Ainsi, l'acquisition des données a consisté essentiellement en la collecte sur le terrain d'échantillons de roches issus de la cartographie et des sondages carottés. Cette phase a permis l'identification macroscopique à l'œil nu et/ou à la loupe des différentes lithologies à travers la détermination des paramètres principaux des lithologies (couleur, texture, composition minéralogique, altération, structure, présence de sulfure). A l'issue de cette étape, une trentaine d'échantillons de roches a été collectée dont vingt-trois (23) pour la confection de lames minces au laboratoire de géologie de ressources minérales et énergétiques (LGRME) de l'université Felix Houphouët Boigny (FHB) de Cocody et sept (07) pour la confection des lames minces polies par la société Thin Section Lab de Nancy (France) en vue d'une étude microscopique. L'observation des vingt-trois (23) lames minces s'est effectuée au laboratoire LGRME de l'université FHB et au laboratoire de géologie de l'université de Man à partir d'un microscope optique polarisant (en lumière transmise) de type Optika Jeulin. Cette étude a permis de déterminer la texture, la composition et les associations minéralogiques des différents échantillons. Les sept (07) lames minces polies ont été étudiées au microscope métallographique (en lumière incidente) du Laboratoire LGRME de l'université FHB et cette étude a permis d'identifier les paragenèses métallifères et l'or.

4 RESULTATS

Les observations macroscopique et microscopique montrent des formations lithologiques magmatiques et métamorphiques minéralisées en sulfure aurifère et affectées par des altérations et structures déformations.

4.1 PETROGRAPHIE

La pétrographie des formations géologiques de Zoukougbeu se regroupent en deux (2) grands unités à savoir les unités métamorphique et magmatique.

4.1.1 UNITE METAMORPHIQUE

Le **gneiss ou gneiss granulitique** est l'unité métamorphique mise en évidence à Zoukougbeu sur le prospect d'Abujar. Cette formation géologique constitue généralement le toit et le mur de la minéralisation.

De structure foliée et fortement déformée avec des minéraux à grains globalement fins et étirés, ces roches ont une composition minéralogique constituée majoritairement de quartz, biotite, plagioclase, amphibole et accessoirement d'épidote, de calcite et de grenat. Le leucosome est composé de quartz, de plagioclase et le mélanosome est formé de biotite et d'amphibole. Le gneiss révèle la présence de phénocristaux de quartz, de grenat et de plagioclase sous forme ovoïde donnant lieu à des gneiss œillés par endroits (Fig. 3a).

Au microscope, cette formation a une texture granonématoblastique. Au sein du leucosome, le quartz, xénomorphe formant des cristaux micrométriques à millimétriques, est le minéral le plus abondant faisant près de 40 à 50 % de la roche. Le plagioclase est présent globalement sous forme de petits cristaux mais également sous forme de phénocristaux par endroits. Dans le mélanosome, contenant la biotite et l'amphibole, ces minéraux sont étirés. La biotite de couleur brune atteint les 30 à 40% de la roche. L'amphibole verdâtre et subautomorphe est moins abondante que la biotite et se présente sous forme de grain moyen avec une teinte orangée du deuxième ordre (Fig. 3b). La calcite accessoirement présente et associée à l'amphibole est de taille micrométrique à millimétrique avec des macles en quadrillage et une teinte bleu-violacée du troisième ordre. L'épidote sous forme de masse fibreuse est de couleur jaunâtre. Quant au grenat, il est remarquable par son fort relief, sa forme subautomorphe et son isotropie en lumière polarisée analysée (LPA).

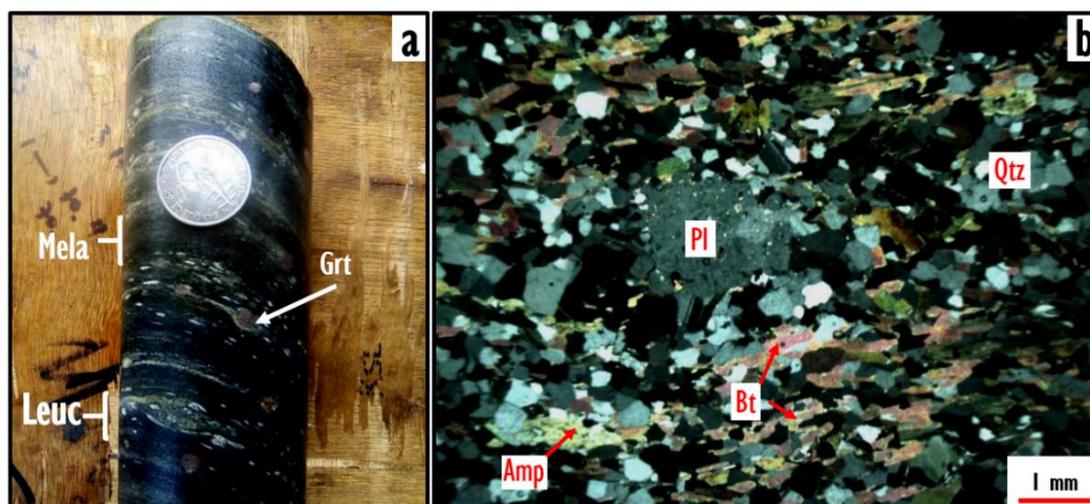


Fig. 3. Photographies du gneiss de Zoukougbeu a. Macrographie montrant l'alternance de bande claire (leucosome) et de bande sombre (mélanosome) et indiquant un grenat œillet; b. Micrographie de minéraux formant des bandes à minéraux mafiques (biotite et amphibole) et la bande à minéraux felsiques (quartz et plagioclase) en LPA

Leuc = leucosome, Mela = mélanosome, Grt = grenat, Pl = plagioclase, Qtz = quartz, Bt = biotite, Amp = amphibole.

4.1.2 UNITE MAGMATIQUE

Elle est constituée de plutonites et de roche filonienne.

4.1.2.1 PLUTONITES

Les plutonites comprennent la granodiorite, diorite et de granite.

La **granodiorite** constitue la roche magmatique la plus répandue de la zone d'étude. Elle est de couleur mésocrate, globalement d'aspect massif. Elle est déformée avec une linéation minérale et altérée par endroits (Fig. 4a).

Au microscope, elle présente une texture microgrenue à grenue porphyroïde dans les parties saines et une texture granonématoblastique dans les parties déformées. Cette formation est essentiellement composée de minéraux primaires

(amphibole, plagioclase, quartz, biotite), minéraux secondaires (chlorite, épidote, carbonate, séricite) et de minéraux accessoires (zircon, sphène) (Fig. 4b). L'amphibole (35 à 40 % de la roche) est le minéral le plus abondant. Elle est de taille micrométrique à millimétrique (100 µm à 2 mm) et composée d'hornblende verte et d'actinote. La hornblende est subautomorphe de teinte orangée. Elle forme avec la biotite une linéation minérale et s'altère en chlorite et en calcite par endroits. L'actinote disposée en baguette, légèrement colorée en vert olive a un pléochroïsme faible. Le quartz (30 à 35 % de la roche) est tout aussi abondant que l'amphibole. Il est de taille très variée (100 µm à 3 mm), généralement xénomorphes et avec une extinction ondulante. Il se trouve localement sous forme de veinule. Le plagioclase (10 à 15 % de la roche) est subautomorphe sous forme de petits à moyens cristaux (100 à 800 µm) altérés en séricite, calcite ou épidote par endroits. La biotite (1 à 5% de la roche), de couleur brune est de forme allongée dans les zones déformées et a tendance à s'altérer en chlorite. Les feldspaths alcalins (orthose et microcline) sont en faible proportion (moins de 5% de la roche) et forment de petit cristaux de même que les minéraux accessoires tels que le zircon (en inclusion dans les biotites, dans les hornblendes et à l'interface de certains quartz) et le sphène (automorphe généralement losangique à fort relief). Les minéraux opaques constitués de sulfures sont beaucoup présents autour des minéraux à paragenèse d'altération, des veinules (de quartz et de calcite). Les minéraux secondaires tels que la chlorite (autour de 5 % de la roche) de couleur vert pâle, de forme soit allongée ou quelconque; l'épidote (moins de 5 % de la roche) sous forme de masse fibreuse de couleur jaune; la séricite (moins de 5 % de la roche) de couleur beige avec une teinte vive associée au plagioclase, donnent une texture granolépidoïdique à granonématoblastique par endroits à la roche.

La **diorite ou amphibolite** recoupe généralement la granodiorite sous forme de dyke. Elle est d'aspect massif, de couleur mélanocrate, altérée et déformée (linéation minérale) par endroits (Fig. 4c). Cette roche a une texture globalement microgrenue porphyrique avec localement une orientation préférentielle des minéraux d'amphibole donnant une allure de texture granonématoblastique (Fig. 4d). La paragenèse minérale est essentiellement composée de minéraux primaires (hornblende verte, biotite, quartz, plagioclase, orthose) et secondaires (chlorite, épidote, calcite). L'amphibole (hornblende verte) est très abondante (40 à 45 % de la roche). Elle est subautomorphe, de tailles variées (micrométrique à millimétrique) et certains cristaux s'altèrent en calcite ou chlorite. La biotite (10 à 15% de la roche), de la taille de la hornblende est subautomorphe, de couleur brune, s'associe à la hornblende et s'altère également en chlorite. Le quartz anormalement abondant (5 et 10 % de la roche) a une extinction ondulante avec des cristaux micrométriques à millimétriques. Le plagioclase (moins de 5% de la roche) est xénomorphe à subautomorphe avec des cristaux de petite à moyenne taille souvent altérés. De petits cristaux d'orthose sont associés au quartz et au plagioclase. Les minéraux opaques (sulfures) sont moins abondants que dans la granodiorite. Les minéraux secondaires sont en faible proportion. Ainsi, la chlorite de couleur verte est de forme allongée; l'épidote incolore, de petite taille a une teinte bleu violacée et la calcite qui a une teinte vive du troisième ordre avec une macle polysynthétique est associée à la hornblende et au plagioclase.

Le **granite** est massif, de couleur leucocrate et essentiellement constitué de quartz, feldspath, muscovite et biotite Deux (2) types de granites ont été distingués. Le granite indifférencié, cartographié dans les zones marécageuses qui est fortement déformé, très riche en phénocristaux de quartz au sein de fin cristaux de muscovite et de feldspath. Le granite tardif riche en biotite et muscovite qui contient de gros cristaux de muscovite, biotite et feldspath potassique. Ce granite à généralement une orientation NNE à travers la linéation minérale de biotite ou de feldspath potassique en cartographie (Fig. 4e).

Au microscope, le granite présente une texture grenue à microgrenue porphyrique (Fig. 4e). Le quartz (50 à 60 % de la roche) est xénomorphe avec des cristaux de tailles très variables (micrométrique à millimétrique) avec une extinction ondulante. La muscovite (15 à 20 % de la roche) est subautomorphe avec une teinte vive bleu violacée, associée par endroits à la biotite qui est sous forme de baguette. Ces deux micas sont localement étirés traduisant une déformation subie par le granite. Les feldspaths (5 à 10 % de la roche) sont sub-automorphes, de teinte gris-clair avec leurs macles caractéristiques (polysynthétique, Carlsbad et en quadrillage). Quant aux minéraux opaques, ils sont peu abondants avec des formes généralement automorphes qui correspondraient aux sulfures de pyrite.

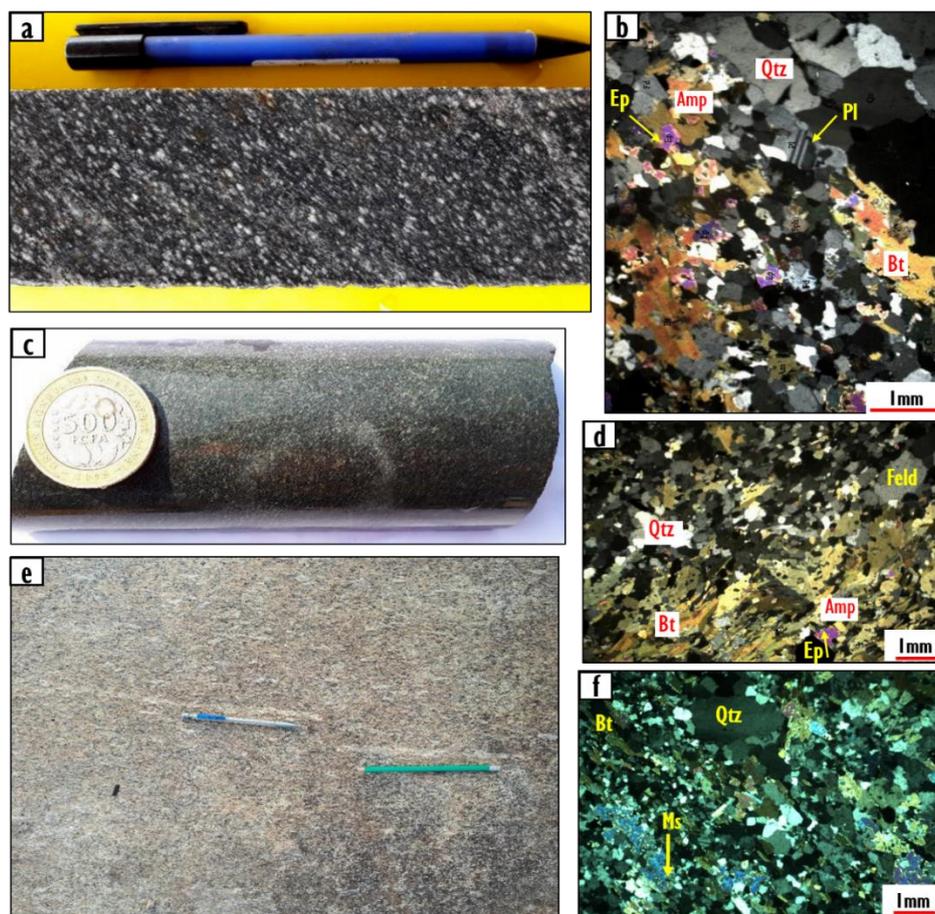


Fig. 4. Photographies des plutonites de Zoukougbeu a. Macrophotographie d'une carotte de granodiorite montrant une linéation minérale; b. Microphotographie de la paragenèse de la granodiorite en LPA; c. Macrophotographie d'une carotte de diorite à grains fins; d. Microphotographie de la paragenèse de la diorite en LPA; e. Macrophotographie d'un granite à biotite observé en cartographie; f. Microphotographie de la paragenèse du granite en LPA;

Pl = plagioclase, Qtz = quartz, Bt = biotite, Amp = amphibole, Ep = épidote, Feld = Feldspath, Ms = Muscovite

4.1.2.2 ROCHES FILONIENNES

Les roches filoniennes sont tardives et constituées de dyke de pegmatite. La **pegmatite** est de couleur blanchâtre à rosâtre, massive avec de gros cristaux (Fig. 5a). Elle comble généralement les failles tardives de direction E-W et recoupe les gneiss et la granodiorite en cartographie. La paragenèse minérale de cette roche est essentiellement composée de phénocristaux de feldspaths, quartz, paillettes de muscovite et biotite, et de grenat. Le minéral secondaire est la chlorite issu de l'altération de la biotite. Au microscope, cette roche a une texture grenue porphyroïde avec de grands cristaux d'orthose, plagioclase et quartz millimétriques à centimétriques (Fig. 5b). L'orthose (20 à 30% de la roche) est caractérisée par sa macle de Carlsbad et se présente sous forme de grains de grande taille. Le quartz (30 à 40% de la roche) est xénomorphe. Le plagioclase moins abondant (moins de 10 % de la roche) est de formes et de tailles variées. La microcline (5 à 10% de la roche) avec sa macle en quadrillage forme de petits cristaux millimétriques. La biotite de couleur brune et la muscovite incolore sont sous forme de baguette de petites tailles essentiellement observée dans la matrice et constituant 5 à 10 % de la roche. Le grenat (moins de 5 % de la roche) présent par endroits est caractéristique par sa forme subarrondie et son extinction totale en LPA.

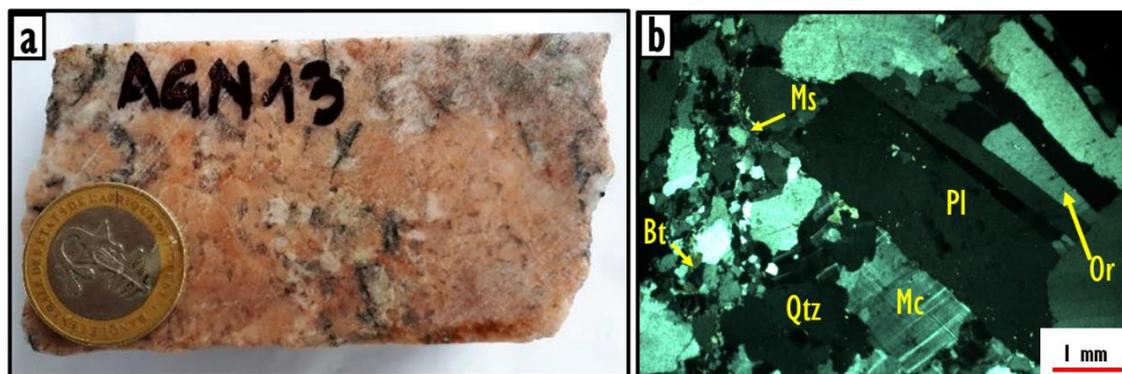


Fig. 5. Photographies de la pegmatite de Zoukougbeu a. Macrophotographie d'une pegmatite recoupée en forage carotté; b. Microphotographie de la paragenèse de la pegmatite en LPA;

Pl = plagioclase, Qtz = quartz, Bt = biotite, Ms = Muscovite, Mc = microcline, Or = orthose

4.2 ALTERATION

La zone de Zoukougbeu a été affectée par deux (2) types d'altération à savoir l'altération supergène et l'altération hydrothermale.

Cette zone d'étude étant sous un climat tropical humide et chaud, les roches affleurant ont subi une **altération supergène** profonde. Le régolithe résultant de cette altération est généralement constitué dans sa partie supérieure de graviers latéritiques rougeâtres à brun-foncés composés d'hématite, de trace de MnO et de quartz suivi, d'une zone de transition argileuse de couleur brun-ocre puis, d'un horizon saprolitique de couleur violet à verdâtre contenant une faible proportion de fragments. En dessous de cet ensemble, se trouve le saprock qui est un horizon semi- consolidé verdâtre avec une forte proportion de fragments de granodiorite et de gneiss. Les trois (3) derniers horizons sont recoupés par des veines de quartz contenant de la minéralisation aurifère.

Suivant le système de mise en place de **l'altération hydrothermale**, deux (2) types d'altérations hydrothermales sont définis à savoir une altération pervasive et une altération filonienne.

L'**altération pervasive** est caractérisée par la silicification, la carbonatation, la chloritisation la séricitisation et la sulfudation (Fig. 6a).

La **silicification** qui est l'altération la plus observée est l'imprégnation des roches (granodiorite, gneiss, diorite) par la venue tardive de la silice sous forme de fins cristaux de quartz (Fig. 6b). Quant à la **carbonatation**, elle est caractérisée une imprégnation de carbonate au sein de ces mêmes roches et le remplacement des plagioclases et amphiboles par la calcite (Fig. 6c). La calcite est aussi observée aux épontes des veines de quartz mais pas dans la pegmatite (Fig. 6b). L'**épidotisation** est caractérisée par la déstabilisation des cristaux de feldspath, d'amphiboles et de biotite avec formation de l'épidote (Fig. 6d et g). La **chloritisation** quant à elle est matérialisée par la transformation de la biotite et de l'amphibole en chlorite (Fig. 6e). La chlorite est un minéral ubiquiste dans les roches de la zone de Zoukougbeu. La **séricitisation** est marquée par le remplacement des cristaux de feldspath par la séricite (Fig. 6f). La **sulfudation** qui est l'altération la plus importante dans les zones fortement déformées correspond aux processus de formation des sulfures et est indicatrice de minéralisation aurifère dans la zone d'étude (Fig. 6f et g).

L'**altération filonienne** consiste à un phénomène de colmatage ou de remplissage de fractures par des fluides hydrothermaux. Elle se résume à la formation de veines et veinules d'épaisseurs variables de quartz et de calcite à travers des processus de silicification et de carbonatation affectant généralement les roches de la zone d'étude (Fig. 6a et b). Deux générations de veines et veinules de quartz sont observées dans la zone de Zoukougbeu. L'une nommée "veines de shearzone" qui a la direction de la foliation générale des formations géologiques est riche en sulfures avec par endroits de l'or visible dans le quartz ainsi que dans les épontes. L'autre veine sub-perpendiculaire à la foliation est postérieure généralement à la veine de shearzone et est moins riche en sulfures. Les filonnets de calcite associés au quartz ou pas recoupent généralement la granodiorite.

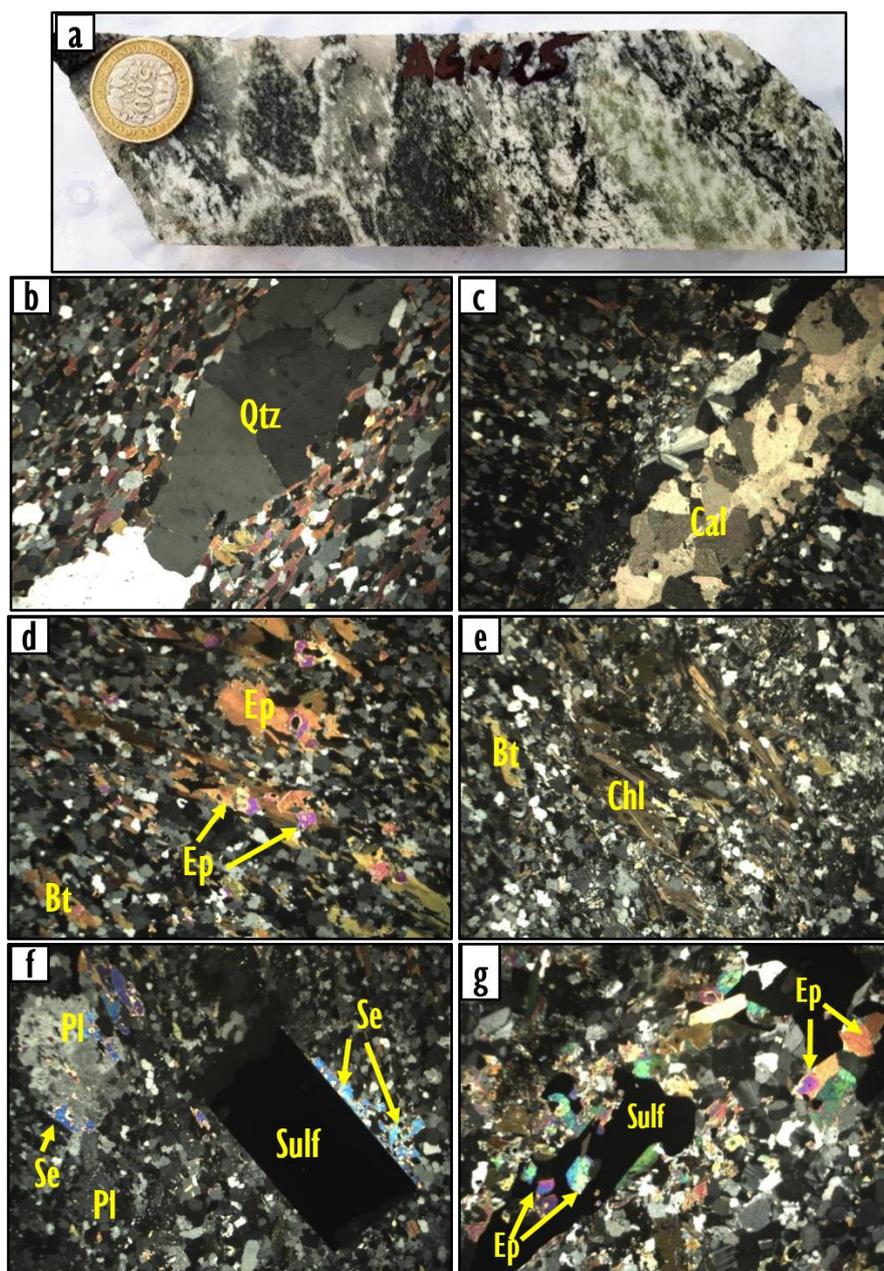


Fig. 6. Photographies de l'altération hydrothermale de la zone de Zoukougbeu *a.* Macrophotographie d'une altération pervasive à quartz-albite-épidote-chlorite-carbonate; *b.* Microphotographie de veine de quartz en LPA obtenue par silicification; *c.* Microphotographie de veine de calcite en LPA obtenue par carbonatation; *d.* Microphotographie d'une épidotisation de la biotite en LPA; *e.* Microphotographie de la chloritisation de la biotite en LPA; *f.* Microphotographie d'une séricitisation des plagioclases et de la sulfudation en LPA; *g.* Microphotographie d'une épidotisation associée à la sulfudation en LPA

Qtz = quartz, Cal = calcite, Ep = épidote, Bt = biotite, Chl = chlorite, Pl = plagioclase, Se = séricite, Sulf = sulfure

4.3 MINÉRALISATION AURIFÈRE

La minéralisation aurifère dans la zone Zoukougbeu est de type sulfuré et disséminé dans la granodiorite moyennement déformée et altérée, le dyke de diorite et abondamment dans les filons de quartz-albite. La paragenèse métallifère est formée principalement de pyrite associée par endroits à la chalcopryrite et la pyrrotite. Les grains d'or sont d'une part contenus dans les veines de quartz, et d'autre part associés aux sulfures (Fig. 7a).

L'**or natif** de coloration jaune vif est sous forme de grains microscopiques dans les veines de quartz et ses épontes (Fig. 7a et d). La **pyrite** de forme généralement automorphe à cubique représente 80 à 85 % des sulfures. Elle est soit disséminée de façon primaire ou remobilisée de façon secondaire suivant le plan foliation dans la roche l'encaissant (Fig. 7b et d). La **pyrrhotite** subautomorphe et losangique par endroits apparaît comme le sulfure second en abondance après la pyrite et la **chalcopyrite** se présente sous forme de petits grains xénomorphes. La chalcopyrite et la pyrrhotite sont généralement associées et localement en compagnie de la pyrite (Fig. 7b). La présence pyrrhotite et de pyrite semble être indicateur de la présence de l'or. L'**ilménite** se présentant en lamelle, de couleur grise avec des pointes brunâtres apparaît également dans la zone minéralisée (Fig. 7c).

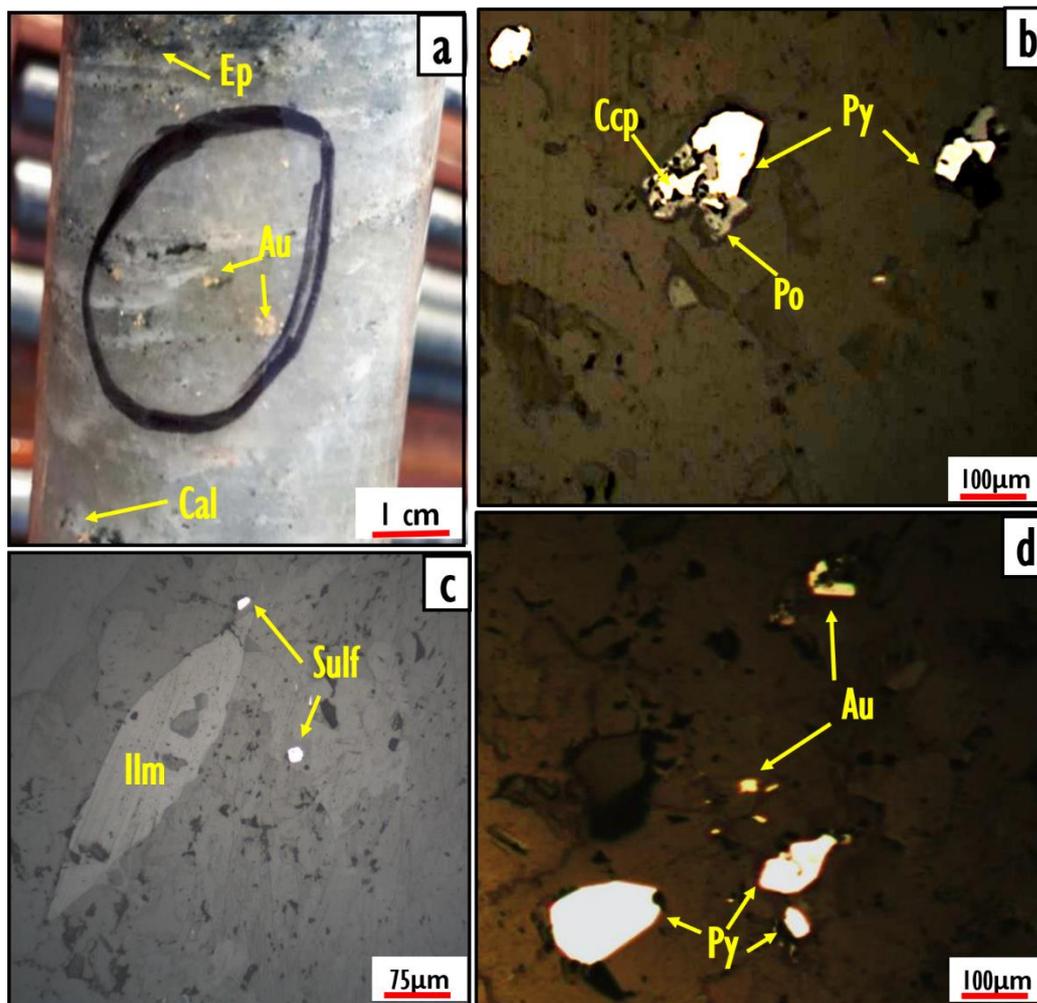


Fig. 7. Photographies de la minéralisation aurifère de la zone de Zoukougbeu a. Macrophoto de l'Or natif dans une veine de quartz; b. Microphoto en LR d'une paragenèse sulfurée à pyrite-chalcopyrite-pyrrhotite; c. Cartographie de l'Ilménite au MEB; d. Microphoto en LR d'une paragenèse sulfurée à pyrite-Or

Ep = épidote, Cal = calcite, Sulf = sulfure, Au = Or, Ccp = chalcopyrite, Py = pyrite, Po = Pyrrhotite, Ilm = Ilménite, LR = lumière réfléchie, MEB = microscope électronique à balayage

5 DISCUSSION

5.1 PETROGRAPHIE ET ALTERATION

Les données de cartographies et de forages effectués dans la zone de Zoukougbeu indiquent que Zoukougbeu est constituée de formations métamorphiques (gneiss, granulite gneissique) qui encaissent les formations magmatiques

plutoniques (granodiorite, diorite, granite) minéralisés en sulfures aurifères et de formations magmatiques filoniennes (pegmatite) qui recoupent les ensembles rocheux précités. Les granodiorites sont recoupées par des dykes de diorite.

Les formations magmatiques plutoniques et métamorphiques sont composées de minéraux primaires (amphibole, plagioclase, quartz, biotite) mais en proportions variables et de minéraux secondaires (chlorite, séricite, épidote, calcite. Des minéraux accessoires tels que les feldspaths alcalins, le sphène, le zircon et le grenat viennent compléter la minéralogie de ces roches. La pegmatite quant à elle est composée de phénocristaux de quartz, feldspaths alcalins, plagioclase sodique, chlorite et accessoirement de grenat (Tab. 1). Leurs textures primaires (grenue porphyroïde à microgrenue porphyrique) sont supplantées par des textures secondaires (lépidogranoblastique à nematogranoblastique). Les formations de Zoukougbeu sont globalement orientées NNE-SSW (direction Eburnéenne) et affectées par des déformations ductiles (foliation et linéation minérale) de même direction. Ces formations sont recoupées par des failles et fractures de direction NW-SE et E-W dont certaines ont été remplies soit par des fluides hydrothermaux tardifs minéralisés en or formant des filons de quartz-albite-calcite sulfurés, soit par des fluides non minéralisés formant des pegmatites de direction globale E-W.

Les gneiss, granulites gneissiques ont une composition minéralogique de tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) et s'apparente aux TTG archéennes décrites dans la région de Man et de Biankouma ([16], [22], [30]). Les granodiorites de par leurs compositions minéralogiques et structurales pourraient être assimilées aux granitoïdes migmatiques du degré carré de Daloa [31] et aux granodiorites orientées de la partie centrale du domaine de transition [16]. Les formations magmatiques plutoniques (granodiorite, diorite, granite) porteuses de la minéralisation aurifère à Zoukougbeu s'apparentent grosso-modo à certaines formations géologiques contenant les occurrences aurifères dans le Birimien en Côte d'Ivoire et en Afrique du point de vue pétrographique. Il s'agit entre autres en Côte d'Ivoire des occurrences de Bonikro [2], d'Agbahou [15], de Nanglékoffikro [32], de Gogo [33], de Lafigué [34], de Souwa [35], de Bobosso [36] et en Afrique de Boulgou-Kodisare au Burkina Faso [37], de Ayanfuri au Ghana [38], de Morila au Mali [39] et de Tiouit au Maroc [40]. Selon la référence [41], les lithologies observées à Zoukougbeu font partir des formations caractéristiques du Birimien bien qu'elles gardent un caractère plutôt archéen malgré leur âge protérozoïque inférieur [42].

La zone de Zoukougbeu a été affectée par d'intenses phénomènes d'altération. L'altération supergène a provoqué la formation d'un profil réolithique atteignant par endroits plus de 40 m. L'altération hydrothermale intense se manifestant par des altérations pervasive et fissurale, s'est accompagnée de l'apparition de minéraux secondaires tel que la chlorite, l'épidote, le quartz, les carbonates et la séricite. L'apparition de ces minéraux qui a induit les textures secondaires (lépidogranoblastique à nematogranoblastique) indiquent que les formations de Zoukougbeu ont été affectées par un métamorphisme régional de faible à moyen degré de faciès schistes verts. Ces caractéristiques métamorphiques régionales ont également ont mis en évidence dans plusieurs prospectes et gisements aurifères birimiens ivoirien et ouest-africain ([15], [19], [20], [35], [36], [37], [43], [44], [45], [46], [47], [48]).

Tableau 1. Résumé des principales caractéristiques géologiques des roches de la zone de Zoukougbeu

Zone d'étude	Linéament	Contextes	Lithologies	Minéralogies primaires	Associations minérales métamorphiques		
					Faciès amphibolite	Faciès schistes verts	Circulation tardive
Zoukougbeu	Foliation NNE-SSW	Unité métamorphique	Gneiss / Granulite gneissique	Qtz, Pl, Amp, Bt,	Bt, Pl, Amp, Grt	Cal, Ep,	Qtz
	Linéation minérale NNE-SSW	Unité magmatique plutonique	Granodiorite	Amp, Pl, Qtz, Bt, Py, Zrn, Spn	-	Chl, Cal, Se, Ep	Qtz, Cal, Au, Py, Ccp, Po
			Diorite	Amp, Pl, Qtz, Bt, Or, Py	-	Chl, Cal, Ep	
			Granite	Qtz, Or, Pl, Mc, Ms, Bt, Py	-	Chl, Ep	
E-W	Unité magmatique filonienne	Pegmatite	Qtz, Or, Pl, Mc, Ms, Bt, Grt	-	Chl,	-	

Pl = plagioclase, Amp = amphibole, Qtz = quartz, Bt = biotite, Or = orthose, Mc = microcline, Ms = muscovite, Chl = Chlorite, Se = Séricite, Ep = Epidote, Cal = Calcite, Grt = grenat, Spn = sphène, Zrn = zircon, Ccp = Chalcopyrite; Py = Pyrite; Po = pyrrhotite, Au = Or

5.2 MINERALISATION

La minéralisation aurifère à Zoukougbeu est principalement observée dans la granodiorite moyennement déformée, métamorphisée, hydrothermalement altérée et accessoirement dans la diorite et le granite. Aussi, elle apparaît abondamment dans les filons de quartz-albite-calcite. Le gneiss et la granulite gneissique constituent généralement le toit et le mur de cette minéralisation. Cette minéralisation est principalement formée de pyrite associée par endroits à la chalcopryrite et la pyrrhotite et d'or natif. La minéralisation primaire (syngénétique) est à sulfure disséminée dans les plutonites. Celle qui est secondaire (épigénétique) se retrouve au sein des filons à quartz-albite-calcite. En effet, les événements tectoniques (cassants et ductiles) post-magmatiques qui ont affectés les plutonites notamment les granodiorites ont formé des points triples qui ont permis l'écoulement et le refroidissement facile des fluides hydrothermaux minéralisateurs dans les fractures avec le dépôt de silice, de carbonate et le développement de paragenèses sulfurées et de l'or. En plus, le contact entre la forte déformation et la moyenne déformation a créé des zones hétérogènes et inhomogènes favorisant la circulation du fluide et donc le dépôt et la formation de paragenèses sulfurées aurifères [29].

La minéralisation aurifère de Zoukougbeu observées dans les intrusifs plutoniques (granitoïdes et dioritoïdes par endroits) est à l'image de nombreuses minéralisations aurifères birimiennes connues. C'est notamment le cas en Côte d'Ivoire à Bonikro dans les granodiorites [2], à Souwa, dans les granodiorites [35], à Bobosso dans les diorites quartziques [36] et en Afrique de l'ouest à Ayanfuri (Ghana) au sein de plutons granitoïdes [38], à Morila (Mali) dans les diorites quartziques, granodiorites et leucogranites [39] et à Tiouit (Maroc) dans les granodiorites [40].

Il existe une relation génétique plus ou moins étroite entre ces deux types de minéralisations (syngénétique disséminée et épigénétique filonienne) de Zoukougbeu. Ils sont interprétés comme étant la manifestation de plusieurs épisodes d'infiltration de fluides hydrothermaux et de dépôt de minéraux le long des shearzones. Ce type de minéralisation bimodale a été mis en évidence dans plusieurs gisements aurifères birimiens en Côte d'Ivoire et en Afrique ([12], [13], [15], [20], [35], [36], [37], [44], [46], [49], [50]).

Enfin, la paragenèse métallifère aurifère constituée principalement de pyrite et accessoirement de chalcopryrite, de pyrrhotite et d'ilménite a aussi été mise en évidence dans d'autres occurrences aurifères birimiennes en Afrique ([2], [15], [20], [40]).

6 CONCLUSION

Les formations géologiques de la zone de Zoukougbeu sont constituées de gneiss et de granulite gneissique de type TTG archéenne (métamorphique) qui sont associées à des intrusifs plutoniques (granodiorites, diorites, granites) recoupées par des filons et veines de quartz-albite-calcite; le tout est traversé par des filons de pegmatite.

Les formations de Zoukougbeu sont affectées par des foliations, des linéations minérales de direction éburnéenne globalement NNE-SSW. Elles sont recoupées par des failles et des fractures de direction NW-SE et E-W dont certaines sont remplies soit par des filons et veines de quartz-albite-calcite minéralisés en sulfures aurifères ou par des filons de pegmatite non minéralisé de direction globale E-W.

La zone de Zoukougbeu a été affectée par un métamorphisme régional de faible à moyen degré de faciès schistes verts accompagnée d'altération hydrothermale pervasive et fissurale (silicification, carbonatation, chloritisation, séricitisation et sulfudation). En outre, une altération supergène formant un profil régolithique de plus de 40 m par endroits supplante les roches de Zoukougbeu.

La minéralisation aurifère à Zoukougbeu est primaire (syngénétique) à sulfure disséminée dans les plutonites (principalement granodiorite et accessoirement diorite et granite) moyennement déformée, métamorphisée, hydrothermalement altérée; et secondaire (épigénétique) au sein des filons à quartz-albite-calcite. Le gneiss et la granulite gneissique constituent généralement le toit et le mur de cette minéralisation. Cette minéralisation se serait mise en place à la faveur des points triples provoqués les événements tectoniques (cassants et ductiles) post-magmatiques et au contact entre la forte déformation et la moyenne déformation ayant affectées les roches qui a créé des zones hétérogènes et inhomogènes favorisant la circulation des fluides et le dépôt des sulfures aurifères. La minéralisation est principalement formée de pyrite et accessoirement de chalcopryrite, pyrrhotite et d'or natif.

Enfin l'occurrence aurifère de Zoukougbeu est semblable à bien d'autres occurrences birimiennes décrites en Côte d'Ivoire et en Afrique dans le domaine éburnéen.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée au laboratoire de géologie de ressources minérales et énergétiques (LGRME) de l'université Félix Houphouët Boigny (FHB) de Cocody et à l'unité de formation et de recherche des sciences géologiques et minières ((UFR SGM) de l'Université de Man en s'inspirant des données issues principalement des auteurs et de celles relatives aux travaux de terrain et de forages de la compagnie minière Tietto Minerals. Chaleureux remerciements à Monsieur Fred N'KANZA, Directeur Général de Tietto Minerals ainsi qu'à tout son équipe de géologues et personnel technique et administratif.

REFERENCES

- [1] L. M. Elodie, "Les gisements d'or comme témoins de l'Histoire géologique du craton ouest-africain", Doctorat Université de Lorraine (Nancy), pp 19-25, 2014.
- [2] Z. Ouattara, "Caractère lithostratigraphique, structural, géochimique et métallogénique du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien de Fettekro, Centre-Sud de la Côte d'Ivoire", Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Cocody, Côte d'Ivoire, 252p, 2015.
- [3] M. Lompo, "Structural evolution of the Paleoproterozoic belts (Eburnean event) in the Man-Leo Shield, West African Craton. Key structures for vertical to transcurrent tectonics", *Journal of African Earth Sciences*, vol. 58, pp. 231-254, 2010.
- [4] D. Hirdes, D. W. Davis, G. Lüdtke and G. Konan, "Two generations of Birimian (Paleoproterozoic) volcanic belts in northeastern Côte d'Ivoire (West Africa): consequences for the Birimian controversy", *Precambrian Research*, vol. 80, pp. 173-191, 1996.
- [5] P. N. Taylor, S. Moorbath, A. Leube and W. Hirdes, "Early Proterozoic crustal evolution in the Birimian of Ghana: constraints from geochronology and isotope geochemistry", *Precambrian Research*, vol. 56, pp. 97-111, 1992.
- [6] M. Boher, W. Abouchami, A. Michard, F. Albarede and N. T. Arndt, "Crustal growth in West Africa at 2,1 Ga", *Journal of Geophysical Research*, vol. 97 n°B1, pp. 345-369, 1992.
- [7] W. Abouchami, M. Boher, A. Michard and F. Albarede, "A major 2,1 Ga event of mafic magmatism in West Africa: An early stage of crustal accretion", *Journal of Geophysical Research*, vol. 95, n° 11, pp. 17605-17629, 1990.
- [8] P. Sonnendrucker, "Etude de synthèse sur l'or en Côte d'Ivoire", Rapport de fin de mission, SODEMI, Abidjan, rapport n°222, 127p, 1969.
- [9] J. P. Milési, J. L. Feybesse, P. Ledru, A. Dommanget, M. F. Ouedraogo, E. Marcoux, A. Prost, C. Vinchon, J. P. Sylvain, V. Johan, M. Tegye, J. Y. et P. Lagny, "Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest, leurs relations avec l'évolution lithostratigraphique du protérozoïque inférieur", *Chronique de la Recherche Minière*, vol. 497, pp. 3-98, 1989.
- [10] J. P. Milési, 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*, vol. 58, Issues 1-4, pp. 305-344, 1992.
- [11] G. Tourigny, "Analyse structurale de la zone tectonique d'Aféma et son application à la recherche des gisements aurifères: Permis d'Exploitation 29, Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest" *Unpublished, Eden Roc Mineral Corporation document*, 56 p, 1998.
- [12] K. E. Assié, "Lode gold mineralization in the Paleoproterozoic (Birimian) volcanosedimentary sequence of Afema gold district, southeastern Côte d'Ivoire", Thesis, Faculty of Energy and Economic Sciences Technical University of Clausthal, Germany, 198 p, 2008.
- [13] 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*, vol. 50, pp. 234-254, 2008.
- [14] K. B. Kramo, Y. Coulibaly, K. B. K. Pothin and E. Kadio, "Mineralogical and Chemical Characters of the Aféma Shear Zone Gold Mineralization, South-East of Ivory Coast: Example of the Hermann Mine", *European Journal of Scientific Research*, vol. 21, n° 1, pp. 154-163, 2008.
- [15] N. N. Houssou, "Etude pétrologique, structurale et métallogénique du gisement aurifère d'Agbahou, Divo, Côte d'Ivoire", Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, 177p, 2013.
- [16] 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", Doctorat, Université de Rennes, France, 277 p, 1996.
- [17] B. Bessoles, "Géologie de l'Afrique, le craton ouest africain. Mémoire Bureau de recherches géologiques et minières", Paris, 88, 402 p, 1977.
- [18] J. L. Feybesse, M. Billa, C. Guerrot, E. Duguey, J. L. Lescuyer, J. P. Milesi and V. Bouchot, "The Paleoproterozoic Ghanaian province: Geodynamic model and ore controls, including regional stress modeling", *Precambrian Research*, vol. 149, Issues 3-4, pp. 149-196, 2006.
- [19] A. S. Ouattara, A. Gnanou, I. Coulibaly, Y. Coulibaly et L. G. Droh, "Caractères lithostratigraphiques des formations birimiennes de la zone Dougbafla-Bandama (Sud du sillon birimien de Fettekro, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire)", *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 57 n° 2, pp. 213-222, 2021.

- [20] A. S. Ouattara, Y. Coulibaly et F. J-L. H. Kouadio, "Les altérations hydrothermales associées à la minéralisation aurifère du gisement de Dougbafla (District d'Oumé-Hiré, Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)", *European Scientific Journal*, vol. 13 n° 30, pp. 108-125, 2017.
- [21] I. Coulibaly, A. N. Kouamelan, S. C. Djro et Y. Coulibaly, "Pétrographie des volcanites et plutonites de la partie sud du Sillon Volcano-Sédimentaire de Toumodi-Fetekro (Côte d'Ivoire)", *European Scientific Journal*, vol. 13 n° 30, pp. 199-221, 2017.
- [22] F. Gouedji, "Les séquences mafiques-ultramafiques de Samapleu et leur minéralisation en Ni-Cu-EGP: un dyke du complexe lité Yacouba; craton archéen de Man, Ouest de la Côte d'Ivoire", Unpublished Ph.D. Thesis, Cotutelle, Université de Franche Comté-Besançon de France, Université Felix Houphouët Boigny d'Abidjan, 380 p, 2014.
- [23] S. Pawlig, M. Gueye, R. Klischies, S. Schwarz, K. Wemmer and S. Siegesmund, "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", *South African Journal of Geology*, vol. 109, pp. 411–427, 2006.
- [24] S. Doumbia, A. Pouclet, A. N. Kouamelan, J. J. Peucat. and M. Vidal, "Petrogenesis of juvenile-type Birimian (Paleoproterozoic) granitoids in Central Côte d'Ivoire, West Africa: geochemistry and geochronology", *Precambrian Research*, vol. 87, pp. 33-63, 1998.
- [25] A. Leube, W. Hirdes, R. Mauer and G. O. Kesse, "The early Proterozoic Birimian supergroup of Ghana and some aspects of its associated gold mineralization", *Precambrian Research*, vol. 46, pp. 139-165, 1990.
- [26] I. Yacé, "Etude géologique du volcanisme Eburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne précambrienne de Fettekro", Ministère des mines, République de Côte d'Ivoire, 156 p, 1982.
- [27] J. Camil, "Pétrographie, chronologie des ensembles granulitiques archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire): Implications pour l'histoire géologique du craton Ouest africain", Thèse de doctorat ès Sciences, Université d'Abidjan, 306 p, 1984.
- [28] B. Tagini, "Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Essai de géotectonique régionale", Thèse, Université Lausanne, Bulletin SODEMI, Abidjan, N° 5, 302 p, 1971.
- [29] Tietto Minerals limited First quarterly technical report, 43p, 2022.
- [30] F. Gouedji, C. Picard, Y. Coulibaly, M. A. Audet, T. Augé, P. Goncalves, J-L. Paquette, and N. Ouattara, "The Samapleu mafic-ultramafic intrusion and its Ni-Cu-PGE mineralization: An Eburnean (2.09 Ga) feeder dyke to the Yacouba Layered Complex (Man Archean craton, Western Ivory Coast)", *Bulletin Société géologique France*, vol. 185, n° 6, pp. 393-411, 2014.
- [31] O. Ahimon, "Notice explicative de la carte géologique de la Côte d'Ivoire au 1/200000, feuille Daloa", Mémoire Direction de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire, n° I, 28p, 1990.
- [32] I. Diomandé, "Pétrographie, étude structurale et cartographie des formations du projet aurifère de Nanglékoffikro (S/P de Djékanou, Centre de la Côte d'Ivoire)". Université Felix Houphouët Boigny d'Abidjan, 55p, 2019.
- [33] A. Bamba, "Contexte lithostructurale de la minéralisation du permis aurifère de Gogo (Téhini, Nord-Est de la Côte d'Ivoire)", Mémoire de Master, UFR-STRM, Université Felix Houphouët Boigny d'Abidjan, 55p, 2018.
- [34] B. Touré, "Les altérations Hydrothermales liées à la minéralisation du prospect aurifère de Lafigué (Boniérodougou, Centre-Nord de Côte d'Ivoire)", Mémoire de Master, UFR STRM, Université Felix Houphouët Boigny d'Abidjan, pp 30-47, 2018.
- [35] A. R. Beugré, "Etude pétro-structurale et métallogénique du prospect aurifère de Souwa, permis de Kalamon (Doropo, Nord-Est de la Côte d'Ivoire)", Master, Université Félix Houphouët-Boigny, pp. 23-68, 2017.
- [36] 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", Doctorat scientifique, Université Paris Sud Orsay, 229 p, 2014.
- [37] P.-W. E. Salambere, H. Ilboudo, S. A. Traore et M. Lompo, "Analyse pétrographique, structurale et métallographique de l'environnement minéralisé de Boulgou-Kodisare, Burkina Faso, Afrique de l'ouest", *Afrique science*, vol. 19, n° 3, pp. 105 – 118, 2021.
- [38] Y. Yao, P. J. Murphy and L. J. Robb, "Fluid characteristics of granitoid hosted gold deposits in the Birimian terrane of Ghana: A fluid inclusion microthermometric and Raman spectroscopic study", *Economic Geology*, vol. 96, pp. 1611-1643, 2001.
- [39] C. R. M. Mcfarlane, J. Mavrogenes, D. Lentz, K. King, and A. Allibone, "Geology and intrusion-related affinity of the Morila Gold Mine, Southeast Mali", *Economic Geology*, vol. 106, pp. 727-750, 2011.
- [40] C. Mohamed, "Géochimie et métallogénie de la mine d'or de Tiout, anti-atlas oriental, Sud du Maroc", Doctorat, Université du Québec à Chicoutimi pp 89-130, 1997.
- [41] I. Yacé, "Initiation à la Géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest (Pétrologie et Géologie régionale)", Edition CEDA, 183p, 2002.
- [42] A. N. Kouamelan, S. C Djro, M. E Allialy, J. L Paquette and J. J Peucat, "The oldest rock of Ivory Coast", *Journal of African Earth Sciences*, vol. 103, pp. 65-70, 2015.

- [43] 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, Université Felix Houphouët Boigny, Cocody, Côte d'Ivoire, 252p, 2018.
- [44] Y. P. G. Brou, "Etude pétro-structurale et métallogénique du prospect aurifère de Lafigué (Centre-Nord CI): contribution à la détermination de nouvelles cibles de prospection", Master, Université Félix Houphouët-Boigny, 72p, 2017.
- [45] A. Amoïh, "Etude petro-structurale des formations géologiques de Kimoukro et Kokumbo (Région de Toumodi, Côte d'Ivoire)", Mémoire de master en sciences de la terre, Université Felix Houphouët Boigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 56p, 2017.
- [46] Z. Ouattara, Y. Coulibaly et F. Lieben, "Pétrographie du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien d'Oumé - Fettekro, Côte d'Ivoire", *European Scientific Journal*, vol. 11, n° 21, pp. 119-132, 2015.
- [47] P. O. Amponsah, S. Salvi, D. Beziat, L. Siebenaller, L. Baratoux and M. W. Jessell, "Geology and geochemistry of the shear-hosted Julie gold deposit, NW Ghana", *Journal of African Earth Sciences*, 94 p, 2015.
- [48] L. Baratoux, V. Metelka, S. Naba, M. W. Jessell, M. Gregoire and J. Ganne, "Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (~2.2-2.0 Ga), western Burkina Faso", *Precambrian Research*, vol. 191, pp. 18-45, 2011.
- [49] A. Ouedraogo, O. Bamba, G. Ouattara, E. Gampine et S. Sawadogo, "Caractérisations structurales des gites aurifères du corridor de Bouboulou-Bouda au Burkina Faso, Afrique de l'ouest", *Afrique science*, vol. 12, n°5, pp. 89 – 104, 2016.
- [50] E. Kadio, Y. Coulibaly, M. E. Allialy, A. N. Kouamelan and K. B. K. Pothin, "On the occurrence of gold mineralizations in southeastern Ivory Coast", *Journal of African Earth Sciences*, vol. 57, pp. 423–430, 2010.