

Formations encaissantes cibles pour la minéralisation aurifère dans la région d'Antalaha Madagascar

**Quinti RAZANADRAINA^{1*}, Beby Victoire Lalaseheno Ramanivosoa¹, Juliot SOUMAR¹,
Andriarivony Placide Honoré DJADAGNA² et Michael BEJOMA³**

¹ *Université de Mahajanga, Faculté des Sciences, Laboratoire Mixte International de l'Université de Mahajanga, BP 652, Mahajanga, Madagascar*

² *Université d'Antananarivo, Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE), Laboratoire Géoressources et Environnement, BP 906, Antananarivo, Madagascar*

³ *Université d'Antsiranana, Ecole Doctorale Nature, Structure de la Matière et Métrologie Nucléaire, Laboratoire de Physique, BP 0, Antsiranana, Madagascar*

(Reçu le 24 Avril 2024 ; Accepté le 08 Juillet 2024)

* Correspondance, courriel : qrazanadrainy@gmail.com

Résumé

La présente étude porte sur les formations encaissantes cibles pour la minéralisation aurifère dans la région d'Antalaha Madagascar, vise à identifier les principales roches encaissantes porteuses de l'or, décrire la minéralisation aurifère et le processus de sa mise en place au sein de ces roches mères. Des prospections géologiques sur le terrain, et des travaux au laboratoire notamment des analyses pétrographiques et géochimiques des échantillons des roches encaissantes et des veines de quartz minéralisées, ont été réalisés. Ces démarches méthodologiques effectuées ont permis de révéler que l'or dans la région d'Antalaha se concentre dans trois types de formations rocheuses. Il s'agit du complexe Amphibolique, des schistes et des gneiss granodioritiques. L'or se minéralise dans les veines de quartz et en dissémination au sein de ces formations encaissantes. Il s'y trouve en association avec les sulfures, telles que les pyrites, chalcopyrites, pyrrhotites et covellites. Il est libre, et ne présente pas de corrélation avec ces sulfures. L'or s'est remobilisé à l'état sulfuré et se précipite sous forme native dans ces veines, suite à la transformation de la pyrrhotite en pyrite au cours du métamorphisme associé à la déformation polyphasée affectant la région d'Antalaha. Ce travail a permis d'affirmer que les amphibolites, les schistes et les gneiss granodioritiques sont des formations encaissantes dont l'or se manifeste à l'état natif dans les veines de quartz et en dissémination.

Mots-clés : *minéralisation aurifère, roche encaissante, sulfures, Antalaha.*

Abstract

Target host formations for gold mineralization in the Antalaha region of Madagascar

This study focuses on the target host formations for gold mineralization in the Antalaha region of Madagascar, aims to identify the main host rocks bearing gold, describe the gold mineralization and the process of its emplacement within these source rocks. Geological prospecting in the field, and laboratory work including petrographic and geochemical analyses of samples of host rocks and mineralized quartz veins, were carried out. These methodological approaches revealed that gold in the Antalaha region is concentrated in three types of rock formations. These are the Amphibolic complex, schists and granodioritic gneisses. Gold is mineralized in quartz veins and in dissemination within these host formations. It is found in association with sulfides, such as pyrites, chalcopyrites, pyrrhotites and covellites. It is free, and does not present any correlation with these sulfides. Gold has remobilized in the sulfide form and precipitates in native form in these veins, following the transformation of pyrrhotite into pyrite during the metamorphism associated with the polyphase deformation affecting the Antalaha region. This work has made it possible to affirm that amphibolites, schists and granodioritic gneisses are host formations whose gold appears in the native state in quartz veins and in dissemination.

Keywords : *gold mineralization, host rock, sulfides, Antalaha.*

1. Introduction

Le district aurifère d'Antalaha appartient à la Région SAVA qui se localise entre X(m) : 1400 000 et 1500 000, et Y(m) : 710 000 et 770 000, de la coordonnée Laborde [1- 3]. Il se trouve dans la zone de la Commune Rurale Ampohibe, et celle d'Antananambo Ankavanana. Ces deux axes constituent les lignes de la minéralisation aurifère d'Antalaha [4, 5]. Les gîtes placers ou secondaires (alluvionnaire et éluvionnaire) de ces zones offrent de teneur moyenne très prometteuse en or, environ 7 à 15 g/t [6 - 9]. Compte tenu cette teneur, les informations détaillées concernant les gîtes primaires qui alimentent ces placers sont importants. Le présent travail qui étudie les formations encaissantes cibles pour la minéralisation aurifère dans le secteur d'Antalaha, constitue un moyen permettant d'acquérir ces données, qui sont nécessaires pour l'éventuelle exploration d'or dans cette région. Certains chercheurs ont déjà initié des travaux de recherche dans ce lieu, et ont laissé des documents guides [10, 11]. Le Projet de Gouvernance des Ressources Minérales (PGRM), dans le cadre d'une révision des cartes géologiques de Madagascar, a présenté que la région d'Antalaha est généralement couverte des formations métamorphiques d'âge Paleo et Mésoarchéen et des roches plutoniques du Paléoproterozoïque [12 - 15]. De ce fait, les formations rocheuses sources primaires de l'or dans ce lieu demeurent à savoir. La prospection géologique sur le terrain, et les travaux au laboratoire notamment les analyses pétrographiques et géochimiques des échantillons des roches encaissantes et des veines de quartz minéralisées, constituent des démarches méthodologiques nécessaires pour combler ces informations. Ces approches vont dans le but d'identifier les principales roches encaissantes porteuses de l'or, et décrire la minéralisation aurifère et le processus de sa mise en place au sein de ces roches mères.

2. Méthodologie

2-1. Contextes géographique et géologique du secteur d'étude

La zone d'étude se trouve dans la limite de la frontière entre le Domaine d'Antongil –Masora, et celui de Bemarivo. Au Nord de la limite, se trouve le Domaine de Bemarivo, depuis lequel se manifeste la minéralisation de Verembina, dans la Commune rurale d'Antananambo. Au Sud, se localise le Domaine d'Antogil-Masora, représenté par le sous-Domaine d'Antongil, où la minéralisation d'Andrarona s'y situe, dans la Commune rurale d'Amphibe (**Figure 1**). Le district aurifère est couvert des groupes de formation métamorphique d'âge paleoproterozoïque et de plus jeune du Dévonien, et de formation plutonique et intrusive d'âge distincte (Néoarchéen, Paleoproterozoïque et Néoproterozoïque) [16 - 18]. La région de Verembina, est dominée par des systèmes de faille très prononcés, qui séparent les différentes formations d'âge variable [19]. Les principales formations de cette zone sont constituées par des orthogneiss granodioritiques parfois granitiques, des schistes et des micaschistes [20, 21]. Elles sont parfaitement accidentées tectoniquement et intercalées par des systèmes de faille dirigées vers NNE. Ce micaschiste domine la région Nord de la zone d'étude, et se superpose au-dessus de granite et de leuco-granodiorite, de type de Bezavona du Néoarchéen moyen, de couleur gris-clair pour le leuco-granodiorite et à teinte rosée à biotite pour le granite, équigranulaire parfois à modérément porphyroblastique dans certains endroits auprès du village Ambodivoangy-ny Voriny. Des monzogranites granodiorites parfois gneissiques migmatitiques du type de Nosy Mangabe, sont intrusives dans ce dernier [22]. Des schistes séricite-chlorites associés au quartzite à la base, se reposent en discordance, et se positionnent comme synforme à faible pendage, au-dessus du granitoïde du Bezavona [23, 24], dans la région d'Andrarona, plus précisément aux alentours de la commune Amphibe. Cette unité s'affleure dans la région de Verembina, depuis l'Ouest d'Andavenoka jusqu'à Antsahavary, un petit village à 2 km au Sud-Est du village de Verembina (**Figure 2**). Ce schiste tend vers grès arkosique à subarkosique dans certains endroits de la zone d'étude.

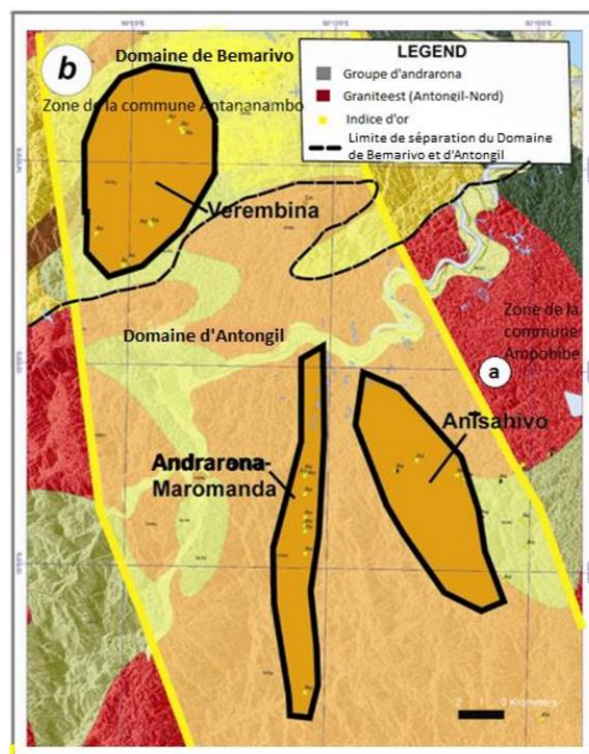


Figure 1 : Limite du Domaine de Bemarivo-Antongil et la minéralisation associée [25]

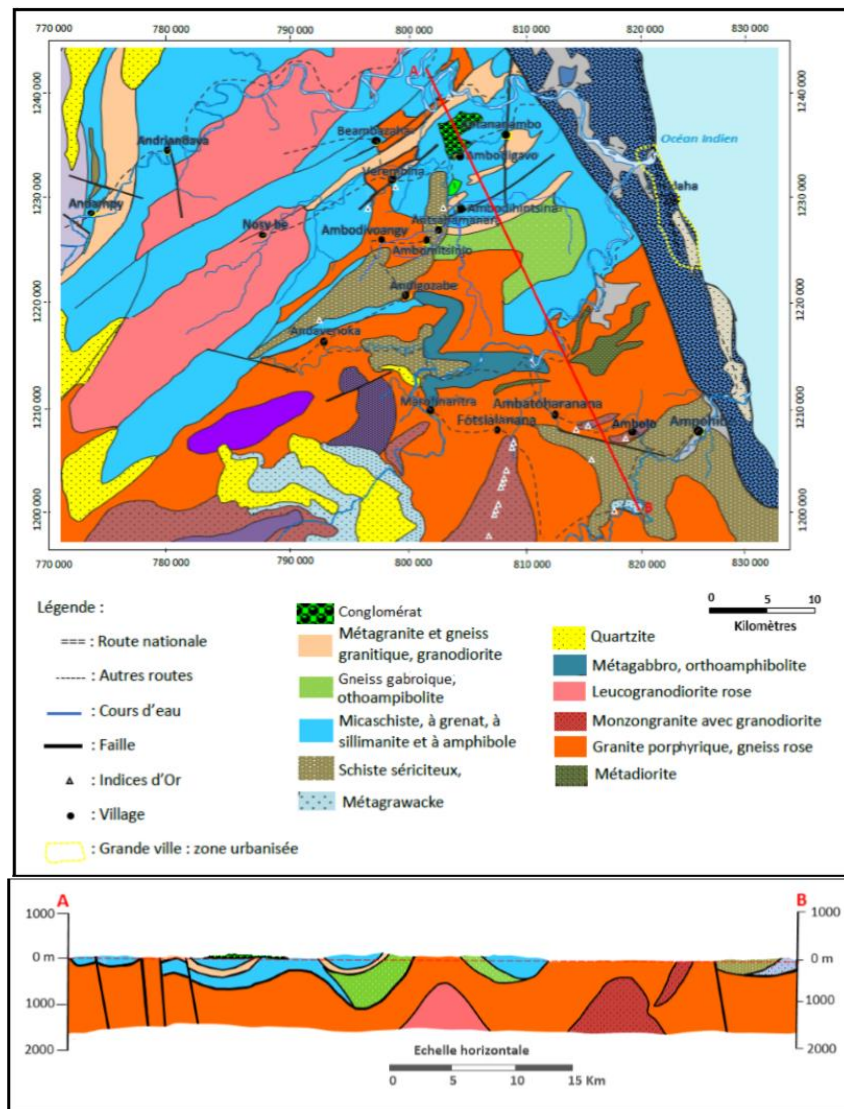


Figure 2 : Carte géologique et coupe AB de la zone étudiée au 1/100. 000

2-2. Prospection géologique sur le terrain

Cette démarche était basée sur la reconnaissance structurale et pétrographique des affleurements, des mesures structurales et l'échantillonnage. Certains critères ont été pris en compte pour la collecte des échantillons, notamment les critères liés à la nature pétrographique de la roche, au degré d'altération, à la présence des structures de déformation ductile ou cassante, à la présence des sulfures et d'or visible. Les échantillons collectés qui sont considérés comme représentatifs sont au nombre de 33, dont 20 roches magmatiques et métamorphiques, 10 veines de quartz, et 3 échantillons de pépite d'or de 1 gramme collectés dans une veine de quartz. Ils sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Liste des échantillons collectés

Ref d'Ech	Nombre d'échantillon	Nom d'échantillons	Points d'échantillonnages	
			X	Y
VR 004/Q-1	2	Amphibolite	785000	1235000
VR 004/Q-2	2	Amphibolite	787000	1237000
AJ 002/Q-1	1	Dolérite	785000	1230000
AJ 002/Q-2	1	Dolérite	786000	1231000
AmB001/Q-1	1	Gneiss	790000	1229000
AmB001/Q-2	1	Gneiss	789000	1229000
AMG006/Q-1	1	Gneiss	791000	1221000
AMG006/Q-2	1	Gneiss	793000	1222000
VR 002/Q-1	1	Gneiss	791000	1234000
VR 002/Q-2	1	Gneiss	791000	1234000
AmB001/Q-3	1	Gneiss	788000	1228000
AMG006/Q-3	1	Gneiss	795000	1225000
VR 004/Q-3	2	Amphibolite	800000	1215000
VR 004/Q-4	2	Amphibolite	801000	1220000
Aj 003	1	Gabbro	804000	1217000
Aj 004	1	Gabbro	810000	1217000
VR001	2	Veines de quartz dans l'amphibolite	800000	1215000
VR002	2		800000	1216000
VR004	2		790000	1229000
VR005	2	Veines de quartz dans le gneiss	789000	1229000
VR006	2		788000	1228000

2-3. Analyses pétrographiques des roches encaissantes et de la minéralisation

Cette étude est réalisée selon les procédures suivantes :

- ❖ Pour la préparation des sucres et lames minces, des morceaux de roches ont été découpés à l'aide de la scie mécanique au niveau des parties intéressantes pour transformer en sucre des lames minces polies et des lames épaisses,
- ❖ Observation au microscope optique en lumière transmise pour l'étude des paragenèses minérales, en lumière réfléchie pour l'étude des minéraux opaques :

L'observation a été faite avec un microscope optique polarisant OLYMPUS BX51. Cette microscopie des lames minces polies vise à repérer les minéraux cibles. Les minéraux opaques ou sulfurés sont ensuite encerclés, numérotés et photographiés en lumière réfléchie pour permettre de les identifier aisément à la microsonde.

- ❖ Analyse au microscope électronique à balayage pour l'étude des minéraux sulfurés :

Les lames polies préparées sont ensuite métallisées par une fine couche de carbone à l'aide d'un appareil de métallisation ELDWARDS AUTO 360 TURB O, avant de les analyser au MEB et à la microsonde. Le microscope électronique à balayage a été utilisé pour analyser les sulfures, l'or et les minéraux accessoires. Les analyses ont été réalisées avec un Microscope JEOL J7600F pour l'imagerie SEM (Scanning Electron Microscope). Pour la Microanalyse X (EDS : Energy Dispersive Spectrometry), un appareil X-Ray Microanalysis System BRUKER a été utilisé. Six (6) lames ont été analysées, dont une (1) lame est cartographiée.

2-4. Analyses géochimiques des roches encaissantes et de la minéralisation

- ❖ *Analyse de roches totales par XRF*

Cette étape de recherche sera consacrée à l'étude géochimique des éléments majeurs et en traces contenus dans les échantillons des roches magmatiques et métamorphiques collectées lors de la prospection sur le terrain. Le principe

de préparation d'analyse est le suivant, les roches sont broyées en poudre. Les poudres obtenues sont transformées en pastille pour l'analyse ultérieure. Deux (2) échantillons de pastilles pour chaque échantillon des roches sont analysés, pour éviter l'erreur pendant la procédure d'analyse. Des éléments majeurs tels que : SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , des éléments traces et des terres rares sont analysés par XRF équipé d'un ordinateur muni d'un logiciel SPECTRO X-LabPro.

❖ Analyse à la microsonde électronique

Vingt-sept (27) lames ont été analysées, dont 65 points d'analyses des minéraux sulfurés sont répertoriés. Le but de cette analyse à la microsonde électronique est la détermination qualitative et quantitative des éléments chimiques contenus dans les minéraux sulfurés (notamment des pyrites, pyrrhotites, chalcopyrites, covellites), et l'or. Pour cette analyse, l'appareil CAMECA SX100 a été utilisé. Le principe d'analyse est de détecter les signaux émis par une zone de quelques micromètres cubes soumise au bombardement d'une sonde électronique. Les conditions analytiques de dosage sont :

- Intensité du courant : 10 nA ;
- Haute tension : 15 kV ;
- Temps de comptage : 15 secondes par élément ;
- Pour le dosage particulier du chrome :
 - ✓ Intensité du courant : 10 nA ;
 - ✓ Temps de comptage : 15 secondes par élément ;
 - ✓ Seuil de détection correspondant à des valeurs à 900.

3. Résultats et discussion

3-1. Roches encaissantes porteuses de l'or

3-1-1. Amphibolite : Lithologie, caractéristiques pétrographiques et géochimiques



Figure 3 : Amphibolite migmatitique
Station : $14^{\circ}53'38.4''\text{S}$; $50^{\circ}04'41.7''\text{E}$



Figure 4 : Portion de l'amphibolite avec des grains de sulfures disséminés
Station : $14^{\circ}53'38.4''\text{S}$; $50^{\circ}04'41.7''\text{E}$

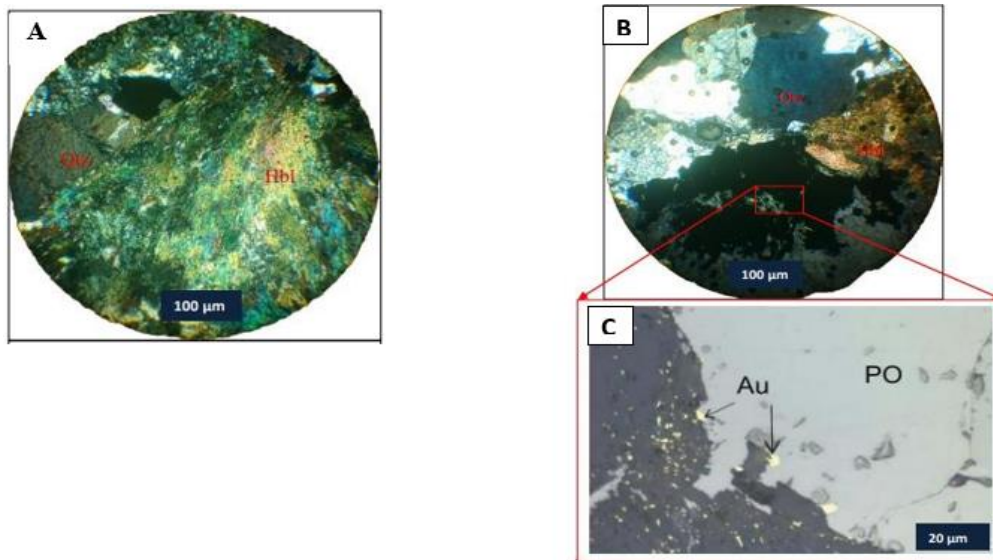


Figure 5 : A, B : *Microphotographie des Amphibolites associés aux microveines de Quartz sous LP.*
 C : *Observation en lumière réfléchie des phases sulfurées*

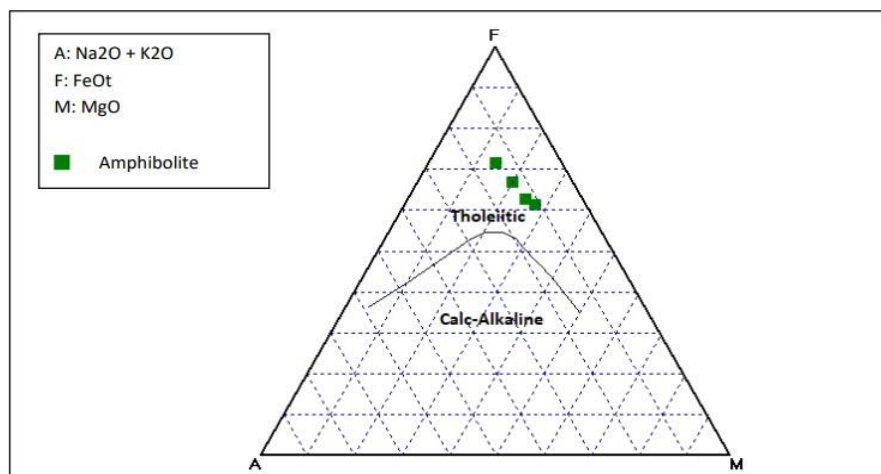


Figure 6 : *Diagramme de classification d'IRVINE et BARAGAR*

L'amphibolite dans la zone d'étude, affecte le secteur d'Amatagnambo-be de la région d'Andrarona, et de Verembina. Il se présente en faciès migmatisé à structure pénétrative (**Figure 3**). Au Sud-Ouest du village de Verembina, l'amphibolite migmatitique est affleurée au sein de l'orthogneiss de Verembina, et recoupe celui-ci selon une direction Nord-Ouest et Sud-Est, où l'on trouve parfois des grains des sulfures disséminés dans l'amphibolite (**Figure 4**). Des veines de quartz minéralisées d'or et des sulfures, y sont en intrusion, et prennent une direction concordante à la foliation de ces roches vers NNO. Pétrographiquement, la roche est constituée généralement par des quartz, des hornblendes vertes et brunes, des sulfures (chalcopryrite et pyrrhotite) et de l'or (**Figure 5 : A, B et C**). Ces métaux se minéralisent dans les microfractures intercrystallines de la roche, ce qui affirme que ce sont ces fluides hydrothermaux qui ont été, certainement, le responsable de leur mise en place dans la roche encaissante. Structuralement, pétrographiquement et géochimiquement, l'amphibolite est d'origine basaltique tholéiitique, et s'agit bien des dykes basaltiques d'âge 2,14 Ga, surnommés dyke d'Ankavanana de direction NO. Ils se sont mis en place lors du rifting qui a disloqué le craton du Dharwar, et qui est en liaison à la formation de la ceinture d'Aravalli de l'Inde d'âge 2,16 Ga. Mais, la déformation D1, traduite par le métamorphisme à faciès

amphibolite, d'âge 540 Ma a transformé ces basaltes en amphibolite. Puisque l'or appartient aux éléments sidérophiles, il est donc évident que les particules d'or dans les dykes basaltiques soient remobilisées par des fluides, en remplissant les fissures et les microfissures pour former des veines de quartz minéralisées, par effet du métamorphisme lors de la phase de déformation tectonique D1.

3-1-2. Orthogneiss granodioritiques : Lithologie et caractéristiques pétrographiques

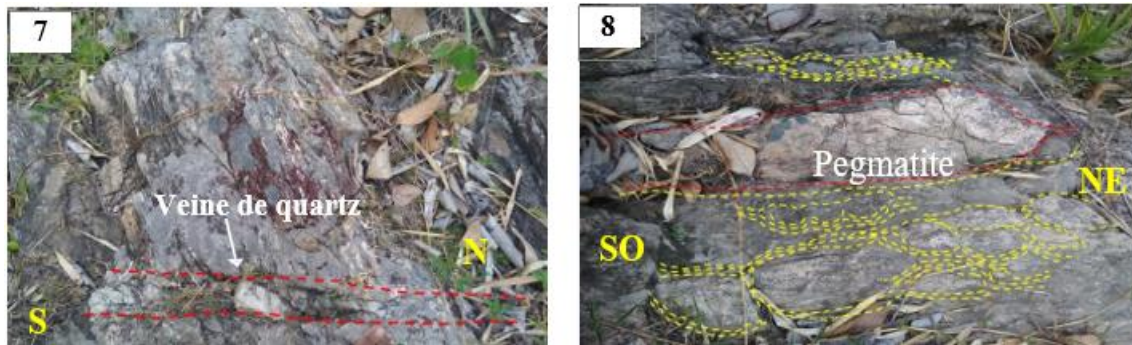


Figure 7 et 8 : Affleurement de l'orthogneiss granodioritique
Station : $14^{\circ}53'34.7''S$; $50^{\circ}04'45.5''E$

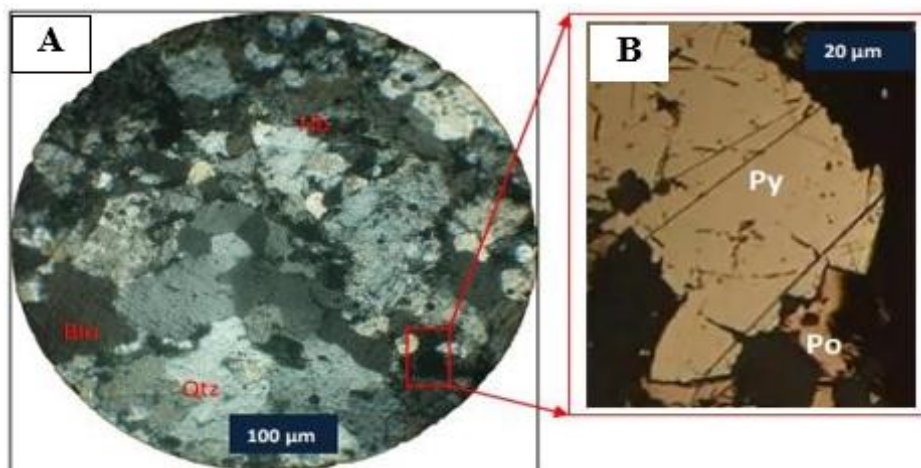


Figure 9 : A : Gneiss granodioritique sous LP. B : Phases sulfurées de Gneiss granodioritique en lumière réfléchie

L'orthogneiss granodioritique couvre la zone d'étude (**Figure 7 et 8**). Pétrographiquement, il est composé du Quartz (Qtz), de la Biotite (Bio), de l'Hornblende brune (Hb) (**Figure 9 : A**), et des sulfures notamment de pyrrhotite (Po) et de Pyrite (**Figure 9 : B**). Les minéraux sombres dessinent une foliation frustre présentant une texture orientée. C'est une roche métamorphique. Elle est marquée par une croissance simultanée et une interpénétration irrégulière des cristaux de quartz, qui affirme un niveau de quartz secondaire dans lequel l'or est en dissémination. Dans la zone d'Andrarona, la roche est en intrusion au sein du granitoïdes de Bezavona, dès 2,5 à 2,4 Ga. L'or est donc en dissémination lors de la cristallisation dans ces granodiorites, vu que ces roches sont moins métamorphisées. Il est évident que pendant la cristallisation du magma issu de la fusion partielle du manteau que l'or s'est mêlé avec les éléments volatiles pour remonter et se cristalliser, en associant avec les quartz, au sein du granodiorites. Mais, lors de la déformation D3 qui a produit le cisaillement affectant les roches encaissantes du secteur d'étude, l'or s'est remobilisé en dissémination dans le quartz secondaire par les fluides hydrothermaux, au sein des gneiss granodioritiques.

3-1-3. Schistes : Lithologie et caractéristiques pétrographiques

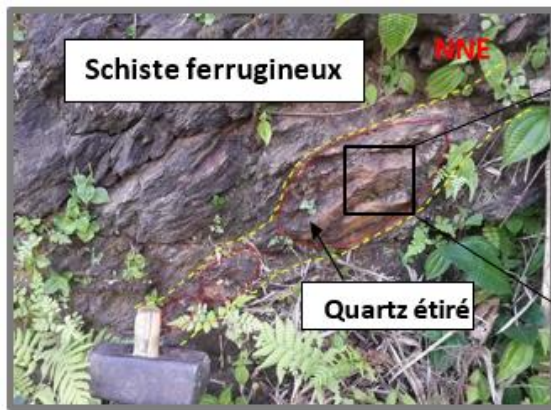


Figure 10 : Schiste à filons de quartz oxydé d'Ampatagnambo-be
Station : 15°04'10"S, 50°15'00"E



Figure 11 : Portion de quartz oxydé à sulfures
Station : 15°04'10"S, 50°15'00"E

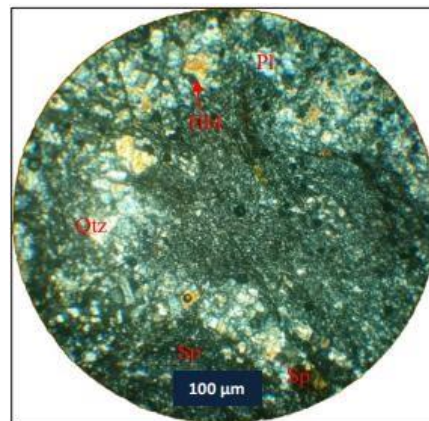


Figure 12 : Microphotographie de schiste sous LPA

Les schistes affleurent dans le secteur de Veremбина et d'Andrarona, et reposent en discordance sur les granitoïdes. Ces formations sont peu métamorphisées. Elles comportent des veines de quartz sulfuré associé à l'or (**Figure 10 et 11**), recoupant en discordance sub-perpendiculairement à leur direction. Pétrographiquement, la totalité des minéraux du schiste est constituée par des minéraux altérés des roches basiques. Ces minéraux sont hydrolysés, affirmant que ces roches ont subi un métamorphisme hydrothermal. Ces schistes s'agissent en fait de l'argile métamorphisée ou plus précisément de serpentinite (**Figure 12**). Ils sont originellement des formations sédimentaires dérivées des roches basiques, certainement du granodiorite d'âge 2,5 à 2,4 Ga et des granitoïdes types Bezavona. On peut donc avancer que l'or dans les veines discordantes, représentait l'ancien or détritique et placer, qui est affecté par le métamorphisme au cours de la déformation sans doute D3 du 520 Ma. Cette déformation D3 rédéforme l'ensemble de la roche dénaturée, en produisant des failles, des fractures et des cisaillements dans lesquels des veines de quartz minéralisées d'or et des sulfures y sont en intrusion.

3-2. Minéralisation aurifère et processus de sa mise en place au sein des roches encaissantes

❖ Caractéristiques pétrographiques et géochimiques de la minéralisation associée aux complexes amphiboliques

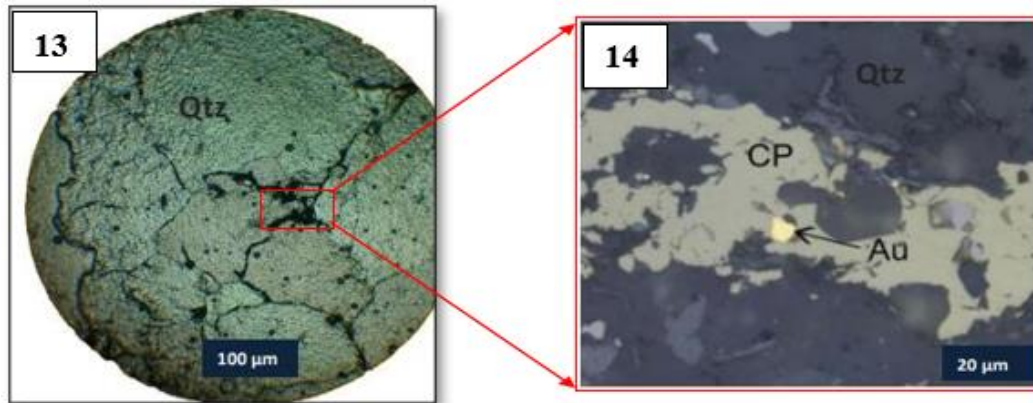


Figure 13 et 14 : *Microphotographie de veinule de quartz à microfractures intercrystallines remplies des sulfures et Observation en lumière réfléchie des phases sulfurées*

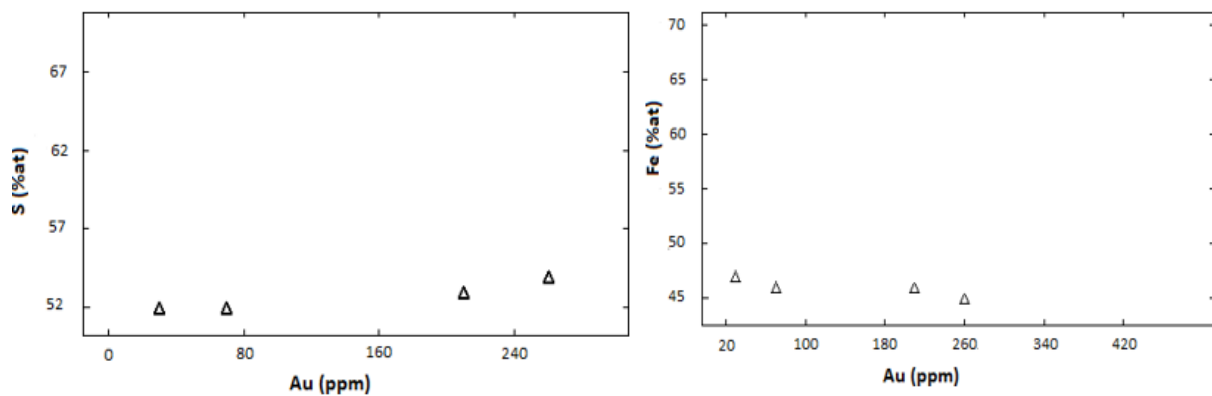


Figure 15 : *Variation de la teneur en Au, par rapport en S et Fe, dans la pyrite*

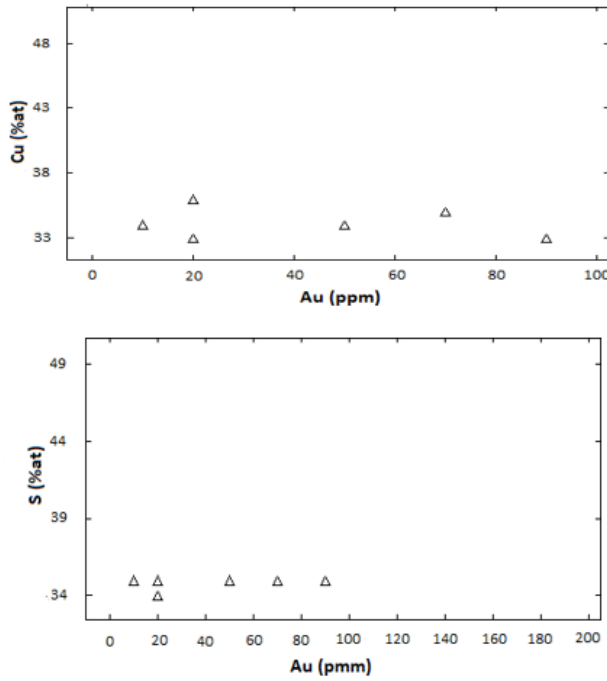


Figure 16 : Variation de la teneur en Au, par rapport en S et Fe, dans la chalcopyrite

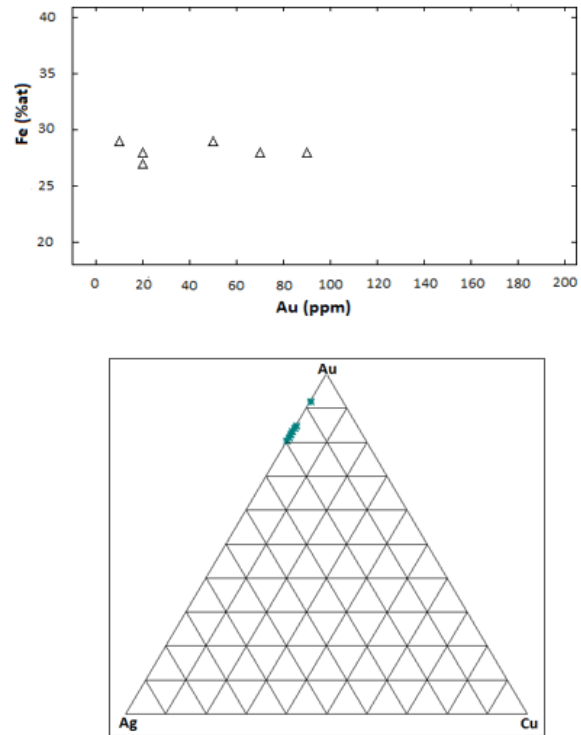


Figure 17 : Diagramme (Au- Ag- Cu) de projection des grains d'or dans les veines de quartz au sein du complexe amphibolitique

❖ **Caractéristiques pétrographiques et géochimiques de la minéralisation associée à l'orthogneiss granodioritique et au schiste**

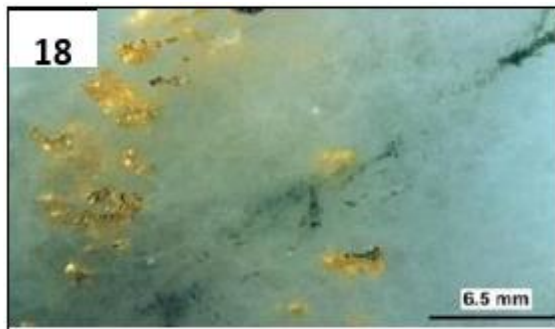


Figure 18 : Veine de quartz à sulfures associés à l'or

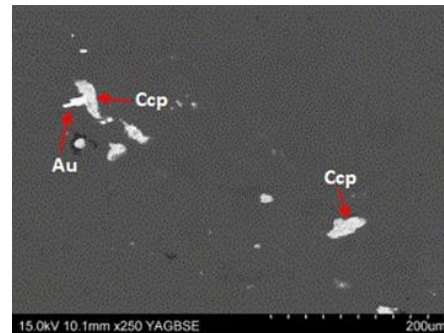


Figure 19 : Association de l'or (Au) avec la chalcopyrite (Ccp) dans le quartz filonien en MEB

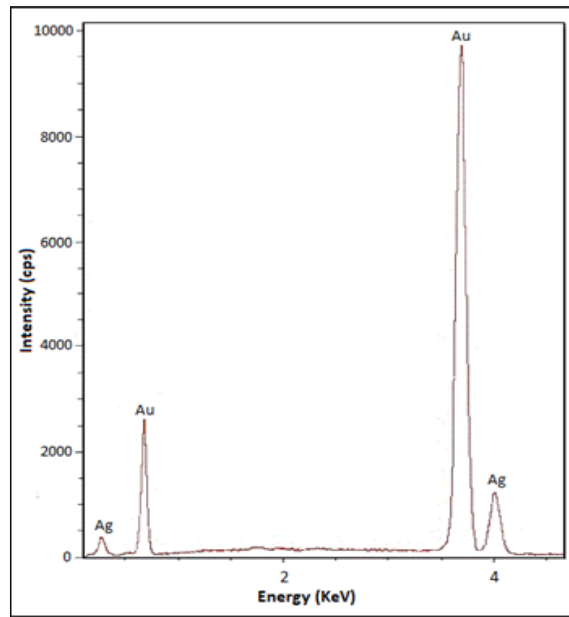


Figure 20 : Spectre EDS (Energy-Dispersive Spectrometer) de l'or natif

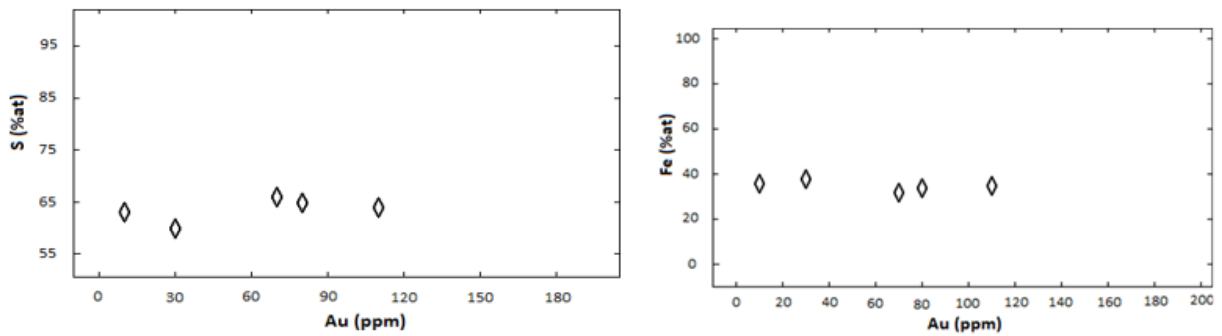


Figure 21 : Variation de la teneur en Au, par rapport en Fe et S, dans la Pyrite

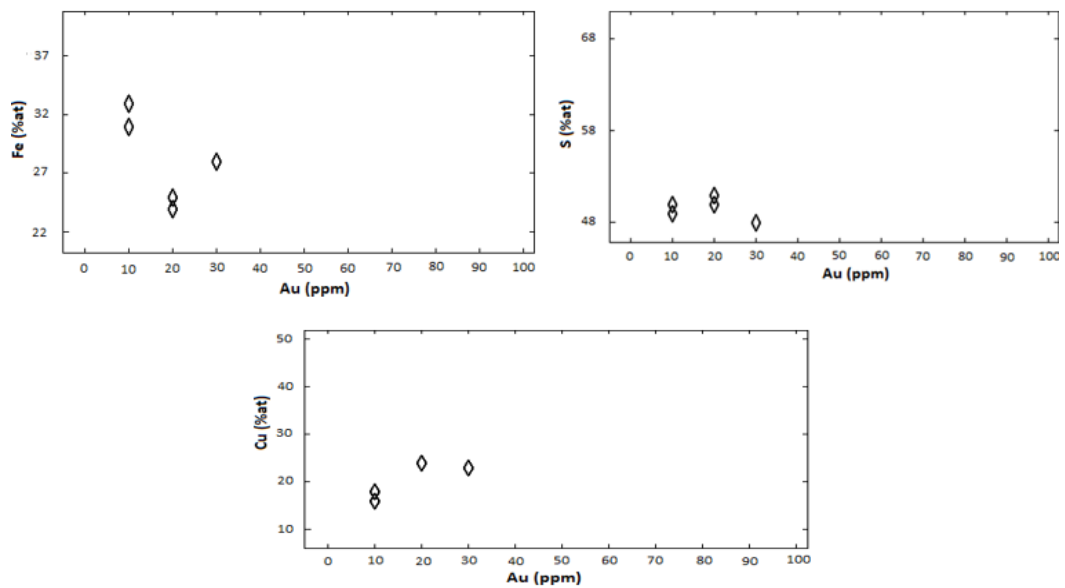


Figure 22 : Variation de la teneur en Au, par rapport en Fe, S et Cu, dans la chalcopyrite

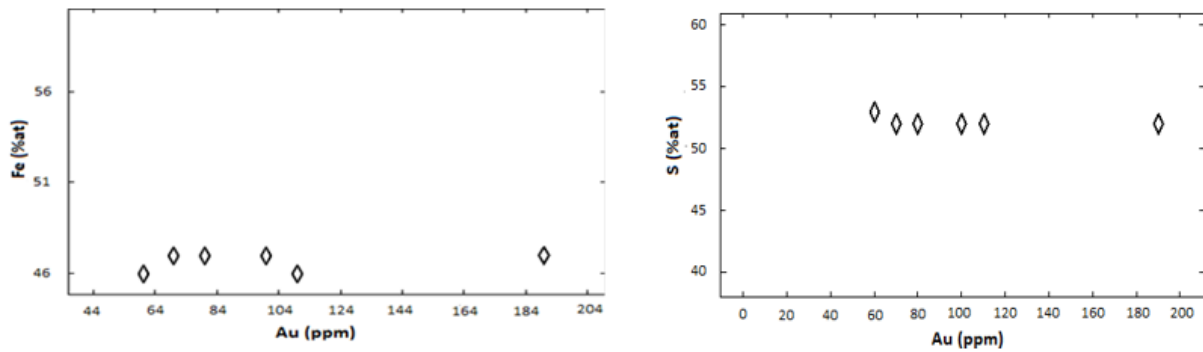


Figure 23 : Variation de la teneur en Au, par rapport en Fe et en S, dans la Pyrrhotite

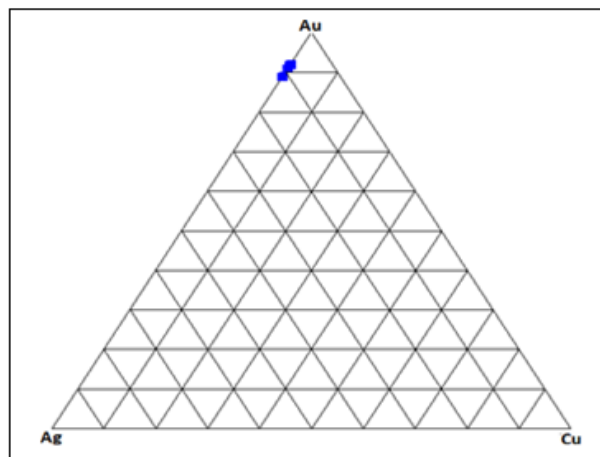


Figure 24 : Diagramme (Au- Ag- Cu) de projection des grains d'or dans les filons de quartz au sein du gneiss granodioritique et schiste

La pétrographie de la minéralisation, montre que l'or dans les gîtes de la région d'Antalaha, est co-présent avec les sulfures. Dans les veines de quartz au sein de l'amphibolite, l'or est associé à la pyrite, la chalcopryrite, la pyrrhotite et la sphalerite (**Figures 13 et 14**). Il est également associé avec la pyrite, la chalcopryrite, la pyrrhotite et la covellite, dans les gneiss granodioritiques et les schistes (**Figures 18 et 19**). Mais l'or ne présente pas une relation avec les réseaux cristallins de ces sulfures (**Figure 20**). Géochimiquement, la quantité des éléments majeurs de ces sulfures (notamment de Cu, Fe, S) est très énorme par rapport à l'or qui est très insignifiant. Ces différences de quantités confirment que l'or dans les veines au sein de l'amphibolite, des gneiss granodioritiques et des schistes, n'a pas de corrélation avec les sulfures qu'il y est associé. Cela implique que l'or se présente à l'état natif. La phase de la minéralisation est donc génétiquement liée à un processus hydrothermal affectant l'encaissant, et qu'il est évident que des facteurs favorisant la précipitation de l'or et de la pyrite, se manifestent. Il est possible que lors de l'ascension des fluides hydrothermaux vers les fractures, et une diminution du degré de température et de pression dans ces structures, il y a l'interaction entre les fluides et les roches encaissantes, produisant un changement des conditions d'oxydo- réduction ou un PH, qui favorise la déstabilisation des complexes sulfurés portant l'or en solution. Cela entraîne la décroissance de la solubilité de l'or en équilibre avec Py-Po-Mt et Qz-Mu-KF, et la sulfuration de la pyrite (Fe₂S), pyrrhotite (FeS) et la magnétite (Fe₃O₄) qui fait baisser la concentration de H₂S en solution. Cette décroissance de H₂S due à la réaction avec la pyrrhotite fait libérer la pyrite et augmenter le taux de H₂ contenu dans le quartz. Les stocks de H₂ dans les veines sont ensuite réagis avec l'or sulfuré Au(HS)²⁻, ce qui fait précipiter l'or. D'abord, il y a le remplacement de la magnétite en pyrite par la réaction « Fe₃O₄ + 6H₂S (aq) = 3FeS₂ + H₂O + 2H₂ (aq) ». Ensuite, avec

l'augmentation de la concentration des ions H^+ dans le fluide, fait baisser le pH. Ceci est un facteur responsable de la précipitation de l'or qui se trouvait dans la solution sous forme sulfurée $Au(HS)_2O$ ou $Au(HS)_2^-$ qui est plus stable à pH neutre. Cela est traduit par la réaction « $Au(HS)_2 + 0.5 H_2 = Au^0 + H_2S(aq)$. De plus, la transformation de la pyrrhotite en pyrite « $H_2S + FeS = FeS_2 + H_2$; $H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O$ et $FeS + \frac{1}{2} O_2 + H_2S = FeS_2 + H_2O$ entraîne la diminution de la concentration en soufre libre, favorisant la déstabilisation du complexe d'or sulfuré, puisque la solubilité de l'or diminue en milieu oxydant. D'où l'or se précipite à l'état natif. Tous ceci permet d'affirmer que l'or dans les veines et en dissémination, au sein des roches encaissantes de la région d'Antalaha soit transporté dans la solution des fluides hydrothermaux sous forme sulfurée $Au(HS)_2O$ ou $Au(HS)_2^-$, et se précipite sous forme native avec une composition 84,54 % Au et 15,46 % Ag ; 90,925 % Au et 9,218 Ag.

4. Conclusion

La prospection géologique sur le terrain suivie des travaux en laboratoire notamment l'analyse pétrographique, et géochimique des échantillons des roches encaissantes et des veines de quartz minéralisées, réalisés ont permis de révéler que les amphibolites, les schistes et les gneiss granodioritiques constituent les principales roches encaissantes porteuses de l'or dans la région d'Antalaha. L'or se concentre dans les veines de quartz au sein de ces formations encaissantes, et se manifeste en dissémination dans les gneiss granodioritique dans certaines régions du lieu d'étude. Il s'est associé aux sulfures et ne présente pas de corrélation avec celles-ci dans ces structures. L'or dans les veines et en dissémination, au sein des roches encaissantes s'est transporté dans la solution des fluides hydrothermaux minéralisateurs sous forme sulfurée, et se précipite à l'état natif, suite à la réaction de transformation de la pyrrhotite en pyrite au cours du métamorphisme associé à la déformation polyphasée affectant la région d'Antalaha.

Références

- [1] - CREAM, Monographie de la Région SAVA. [En ligne], (2014). Disponible sur <http://www.monographiemada.com/>. (Vu le 1^{er} Juin 2019)
- [2] - Q. RAZANADRAINA, B. V. L. RAMANIVOSOA, N. L. RAMIANDRISOA et V. L. RAKOTOZAFY, Facteurs tectoniques responsables de la mise en place des gîtes aurifères d'Antalaha Nord-Est de Madagascar, *Afrique Science*, 22 (1) (2022) 35 - 44
- [3] - FEU DE FORET. [En ligne], (Mars 2016). Disponible sur <https://thinkhazard.org/fr/report/154596-madagascar-sava-antalaha/WF> ». (Vu le 02 Octobre 2022)
- [4] - Q. RAZANADRAINA, Etude métallogénique des gîtes aurifères d'Antalaha Nord - Est de Madagascar - Un guide d'exploration des gîtes d'or. Thèse de Doctorat, Université de Mahajanga, (2023)
- [5] - N. L. RAMIANDRISOA, Etude métallogénique du gisement d'or de Dabolava, Centre Ouest de Madagascar - Un exemple de minéralisation aurifère mésothermale dans des formations protérozoïques. Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, (2010a)
- [6] - J. RAHARISOA, La mutation socio-économique face à l'exploitation aurifère dans le sous espace d'Ambohimiarina II, Région Vatovavy Fitovinany. *Mada-Revue*, 08 (2014) 2044 - 4607
- [7] - M. J. RANDRIATIAMANARIVOMALALA et E. H. RASOLOMANANA, Etude de la potentialité en minéralisation aurifère des terrasses alluvionnaires d'Ambohimiarina II (Vatovavy Fitovinany) par méthodes électrique et géochimique. *Mada-Géo*, 18 (2015) 2074 - 4587
- [8] - TUCKER, PETERS, ROIG, THÉVENIAUT, DELOR, Notice explicative des cartes géologique et métallogéniques de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, PGRM, Antananarivo, République de Madagascar, (2012a)

- [9] - GOLDFARB, Gold Ores in Metamorphic terranes : a compilation : Society of Economic Geologists, 1 CD, (2010)
- [10] - TUCKER, PETERS, ROIG, THÉVENIAUT, DELOR, Notice explicative des cartes géologique et métallogéniques de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, PGRM, Antananarivo, République de Madagascar, (2012b)
- [11] - PETERS, ROIG, TUCKER, THEVENIAUT, DELOR, Carte des substances métalliques de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, PGRM, Antananarivo, République de Madagascar, (2012a)
- [12] - PETERS, ROIG, TUCKER, THEVENIAUT, DELOR, Carte des roches et minéraux industriels de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, PGRM, Antananarivo, République de Madagascar, (2012)
- [13] - R. D. TUCKER, L. D. ASHWAL, HANDKE, M. A. HAMILTON, GRANGE et R. RAMBELOSON, U-Pb geochronology and isotope geochemistry of the Archean and proterozoic rock of North-Central Madagascar. *Journal of geology*, 107 (1999) 125 - 153
- [14] - J. THOMAS, B. WAELE, I. SCHOFIELD, M. GOODENOUGH, M. HORSTWOOD, R. TUCKER, W. BAUER, R. ANNELLS, K. HOWARD, G. WALSH, M. RABARIMANANA, M. RAFAHATELO, V. RALISON, T. RANDRIAMANANJARA, Geological evolution of the Neoproterozoic Bemarivo Belt, northern Madagascar. *Precambrian Research*, 172 (2009) 279 - 300
- [15] - J. THOMAS, BAUER, D. WALSH, WAELE, HORSTWOOD, BRACCIALI, SCHOFIELD, WOLLENBERG, LIDKE, RASAONA et RABARIMANA, Cover sequences at the northern margin of the Antongil Craton, NE Madagascar. *Precambrian Research*, 189 (2011) 292 - 312
- [16] - FRENCH et HEAMAN, Precise U-Pb dating of Paleoproterozoic mafic dyke swarms of the Dharwar craton, India : Implications for the existence of the Neoproterozoic supercraton Scavia, *Precambrian Research*, 183 (2010) 416 - 441
- [17] - T. RAHARIMAHEFA, TIMOTHY, M. KUSKY, Temporal evolution of the Angavo and related shear zones in Gondwana : Constraints from LA-MC-ICP-MS U—Pb zircon ages of granitoids and gneiss from central Madagascar, (2010)
- [18] - N. RAMIANDRISOA, E. RASOLOMANANA, S. RABENANDRASANA, O. VANDERHAEGHE, A. S. ANDRE-MAYER et M. C. BOIRON, Minéralisation aurifère dans les formations protérozoïques de Dabolava, Miandrivazo, Centre-Ouest de Madagascar : Etude pétrographique et géochimique des veines de quartz aurifères. *MadaGéo*, 13 (2010) 2074 - 4587, 29 p.
- [19] - T. RAHARIMAHEFA, TIMOTHY, M. KUSKY, E. TORAMAN, C. RASOZANAMPARANY et I. RASAONA, Geometry and Kinematics of the late Proterozoic Angavo Shear Zone, Central Madagascar : Implications for Gondwana Assembly, (2013)
- [20] - GOODNEOUGH, THOMAS, D. WAELE, PITFIELD, KEY, SCHOFIELD et W. BAUER, Post-collisional magmatism in the central East African Orogen : the Maevarano Suite of north Madagascar. *Lithos*, 116 (1 - 2) (2012) 18 - 34
- [21] - COLLINS, KRÖNER, RAZAKAMANANA et WINDLEY, The tectonic architecture of the East African Orogen in central Madagascar — a structural and geochronological perspective (abstract). *Journal of African Earth Sciences*, 30 (2000) 21
- [22] - D. P. COX, COLEMAN, CHOKEL, S. B. DEOREO, J. L. WOODEN, COLLINS, KRÖNER et DEWAELE, Proterozoic tectonostratigraphy and paleogeography of central Madagascar derived from detrital zircon U — Pb age populations. *The Journal of Geology*, 112 (4) (2014) 379 - 399
- [23] - H. BESAIRIE, Géologie de Madagascar. Les Terrains Sédimentaires. Les Géologiques Madagascar, 35 (2011) 552
- [24] - BGS-USGS-GLW, Révision de la cartographie géologique et minière des zones Nord et Centre de Madagascar (Zones A, B et D). République de Madagascar, Ministère de L'énergie et des Mines (MEM/SG/DG/UCP/PGRM), (2012) 1049 p.
- [25] - ROIG, TUCKER, DELOR, PETERS, THEVENIAUT, Carte géologique de la République de Madagascar à 1/1 000 000. Ministère des Mines, PGRM, Antananarivo, République de Madagascar, (2012)