

Mise en évidence d'un assemblage à disthène - staurotide - grenat dans le secteur de Mangodara, ceinture de Banfora, Burkina Faso, Afrique de l'Ouest : implication dans la genèse des gîtes minéraux polymétalliques

Hermann ILBOUDO^{1*}, Urbain WENMENG¹, Sâga SAWADO¹ et Remmal TOUFIK²

¹ Université Ouaga I Professeur Joseph Ki-ZERBO, UFR-SVT, Département des Sciences de la Terre,
03 BP 7021 Ouaga 03, Burkina Faso

² Université Hassan II, Département de géologie, BP 5366 Maarif, Casablanca, Maroc

* Correspondance, courriel : hermannilboudo@gmail.com

Résumé

L'étude basée sur les investigations de terrain et de laboratoire de la bande Birimienne de Mangodara, au sein de la ceinture de Banfora, permet de contraindre sa lithostratigraphie simplifiée comprenant de la base au sommet : des basaltes, des andésites, des dacites et des rhyolites. Cette séquence est surmontée par des formations sédimentaires grès-pélitiques à conglomératiques accommodant des niveaux chertueux à passées goudonneuses. On note des expositions de chapeaux de fer. Les méta-rhyolites à golfe de quartz encore préservé sont identifiées comme porteuse de minéralisation à sulfures et or associé à un assemblage minéralogique non encore décrit dans cette ceinture. Il s'agit d'un assemblage à disthène, staurotide, grenat, muscovite $Fe \pm Mg \pm Cr$ typique d'un métamorphisme de faciès amphibolite. Les sulfures associés à l'or sont : la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopryrite, l'arsénopyrite, la galène, la sphalérite, la tétraédrite et accessoirement, la boulangérite, la molybdénite, la fréibergite, l'acanthite (or $\pm$ argentifère). L'or est contenu dans une matrice à disthène, disthène-muscovite ou muscovite-quartz, mais aussi en inclusion dans la pyrite, et sa mise en place est initiée par un processus volcanogène contrôlé par un mécanisme post-métamorphique. En date d'aujourd'hui, aucun gisement à tonnage économique n'a été découvert dans la ceinture de Banfora, mais la description de cet assemblage minéralogique en lien avec la minéralisation sulfuro-aurifère peut servir de guide de prospection aussi bien pour l'or que les amas sulfurés. En outre, le travail reste une contribution dans la compréhension des processus magmatiques et thermodynamiques responsables de la diversité des gîtes polymétalliques du système Birimien volcano-sédimentaire du Burkina, et partant du craton Ouest Africain.

Mots-clés : *Mangodara, volcanogène, métamorphisme, minéralisation, or, ceinture de Banfora.*

Abstract

Identification of an assemblage with disthene - staurotide - garnet in the Mangodara sector, Banfora belt, Burkina Faso, West Africa : implication in the genesis of polymetallic mineral deposits

The current study based on field and laboratory investigation on the Mangodara birimian terrane allows constraining its simplified lithostratigraphy that comprises from bottom to top : basalts, andesites, dacites and rhyolites. The sequence is overlain by sedimentary unit made up of pelite and conglomerate, chert and

gondite. We note some exposure of gossan. The meta-rhyolites with preserved embayed quartz are identified as host rock of the mineralization that implies mineral assemblage none yet described in the Banfora green belt. Minerals are kyanite, staurolite and garnet, $\text{Fe} \pm \text{Mg} \pm \text{Cr}$ muscovite, typical of amphibolite facies metamorphism. Associated sulphide with gold are : pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, arsenopyrite, galena, sphalerite, tetraedrite and accessory boulangerite, molybdenite, freibergite, acanthite. Gold occurs within kyanite matrix, kyanite-muscovite matrix or muscovite-quartz matrix but also as micro-inclusions in pyrite and its emplacement is initiated by volcanogenic process and controlled by post-metamorphism mechanism. Up to date, no economical deposit is discovered in the Banfora green belt, but the highlight of this assemblage in relationship with the mineralization may constitute a guide for targeting gold and massive sulphide. Finally, this work is a contribution in the understanding on magmatic and thermodynamic processes which are responsible of the diversity of polymetallic deposit within the birimian system of Burkina-Faso and beyond that West African Craton.

Keywords : *Mangodara, volcanogenic, metamorphism, mineralization, gold, Banfora belt.*

1. Introduction

Les formations Paléoprotérozoïques du Burkina Faso, au sein du Craton Ouest-Africain représentent 80 % des principales unités géologiques du pays. Elles sont constituées de ceintures de roches vertes et de granitoïdes. Les ceintures ont enregistré au cours de leur évolution structurale et géodynamique, les effets des manifestations tectoniques et métamorphiques. Ce qui s'est traduit, soit par des interactions entre fluides divers et roches encaissantes, soit par un régime crustal de conductivité thermique développée au cours de l'orogénèse Eburnéenne autour de 2,1 Ga [1]. Ce régime est consécutif au raccourcissement régional et l'emplacement des intrusions granitiques polycycliques d'une part [2], d'autres part, à la tectonique des plaques Paléoprotérozoïques manifestées dans la transition entre les orogènes archéen et phanérozoïque [3]. Il s'en est suivi une cristallo-génèse accidentelle ? d'espèces minérales ou une néo-cristallisation de minéraux aux dépens des phases primaires d'un même système pétrologique. Dans le contexte Ouest Africain, de nombreux travaux axés sur le métamorphisme se sont limités à l'identification et à la caractérisation de minéraux types et à l'estimation du gradient ou auréole thermique ; ceci pour contraindre non seulement les phénomènes orogéniques à l'Eburnéen, mais aussi l'évolution géodynamique [2 - 8]. En revanche, très peu d'études ont situé leur implication métallogénique pour citer le cas du Ghana [9], de la Côte d'Ivoire [10]. Dans le complexe volcano-plutonique et sédimentaire de la ceinture birimienne de Banfora, et dans son prolongement Sud dans la localité de Mangodara en direction de la Côte d'Ivoire, quoique le métamorphisme de faciès schiste vert et localement amphibolite soit documenté [11 - 13], les minéraux typiques de métamorphisme de haut degré tels que la staurolite, le disthène, le grenat, encore moins leurs liens dans le système de minéralisation, n'ont pas encore été observés et décrits, à ce jour. La présente étude : (i) caractérise l'environnement géologique spécifique au gîte ; (ii) analyse l'assemblage minéralogique et établit leurs liens avec la minéralisation en or. L'objectif principal étant de contribuer à l'augmentation des chances de succès lors des campagnes d'exploration le long de cette ceinture de roches vertes qui tarde à dévoiler son potentiel métallogénique.

2. Contexte géologique régional de la ceinture de Banfora

La géologie de la ceinture de Banfora (*Figure 1*) est caractérisée par une série de formation volcanique basique (basalte, andésite, tuf andésitique) et acide (tuf rhyolitique, rhyolite, dacite) prédominant à l'Est, et localement intercalée de volcano-sédiment. De rares intrusions de microdiorite porphyrique, de gabbro à

pyroxène, de pyroxénite ou de dolérite, sous forme de sills ou de dykes y sont spatialement associées, traduisant une diversité des processus magmato-génétiques. Ces formations sont surmontées par des volcano-sédiments schistosés et foliés, de nature pélitique, argileuse ou conglomératique, dominant à l'Ouest et constituant plus de 70 % des formations de la ceinture. L'ensemble volcanique et sédimentaire serait par la suite, intrudé par une variété de granite syntectonique (granodiorite et granite à deux micas) transfrontaliers, mis en place à la faveur de la faille régionale de Greenville-Ferkessedougou-Bobo [11 - 15] connu depuis le Libéria et la Côte d'Ivoire (**Figure 1**). Ces granites de la même ceinture en Côte d'Ivoire [16 - 17] sont datés 2123 ± 3 et 2097 ± 3 Ma (Pb-Pb sur zircon [18], tandis que les zircons détritiques provenant du bassin de Bandama donnent 2133 et 2107 ± 7 Ma des mêmes auteurs. En plus de ces intrusions syn-tectoniques qui composent la ceinture, cette dernière à l'image des autres est recoupée dans ces bordures Est et Ouest par d'autres granitoïdes vraisemblablement polycycliques de composition granodioritique, dioritique ($\pm$ quartzifère) et tonalitique. Ces granitoïdes sont responsables du métamorphisme de contact à caractère local.

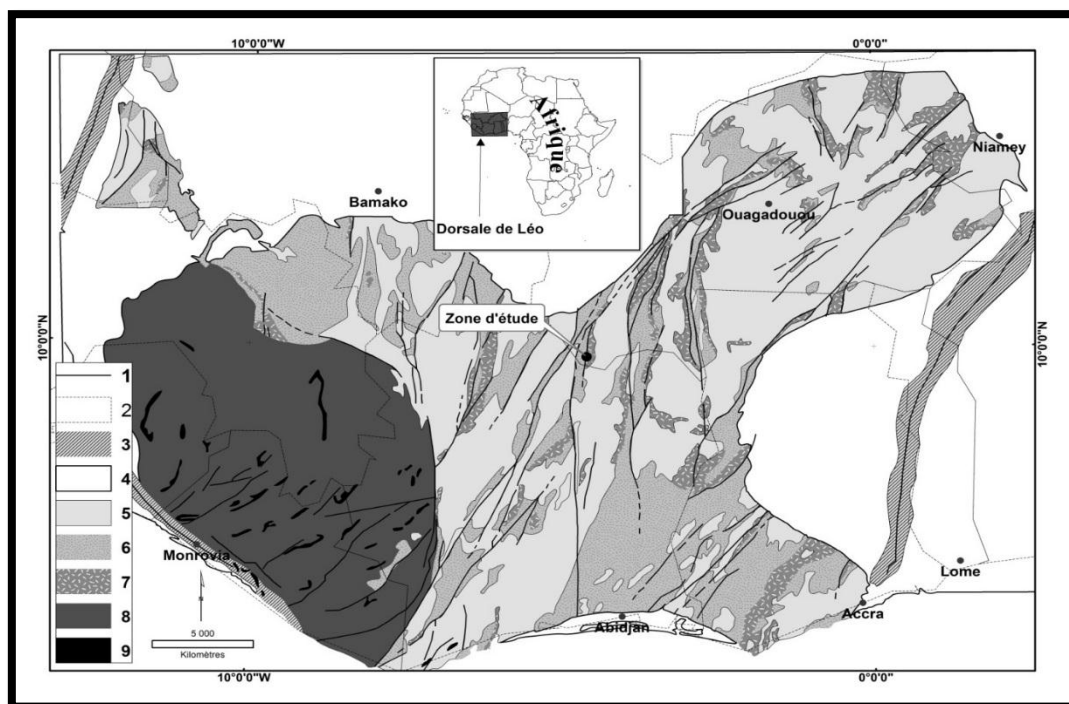


Figure 1 : Carte géologique simplifiée du Burkina dans le craton Ouest africain [19]. 1) Failles majeures ; 2) Limites des pays ; 3) Zones mobiles panafricaines ; 4) Formation post-eburnéenne ; 5) Granites indifférenciés ; 6) Unités sédimentaires ; 7) Unités meta-volcaniques ; 8) Formation archéenne déformées ; 9) Ceinture de Roches vertes et complexe ultrabasique

3. Méthodologie

3-1. Travaux de terrain

Les travaux de terrain consistent à une prospection au marteau basée sur les observations minutieuses des affleurements. Une cartographie des terrains permet de comprendre et de dégager les caractères pétrographiques et pétrologiques de la zone d'intérêt. La sélection des échantillons, basée sur les assemblages minéraux métamorphiques et la distribution des métaux assez particuliers est renforcée par les données de la compagnie Australienne Ausquest Ltd qui y a mené les travaux d'exploration dans cette zone.

3-2. Travaux de laboratoire

Un total de quinze (15) lames polies sont réalisées sur des échantillons de roches à l'Université Ouaga I, Professeur Joseph Ki-ZERBO pour les investigations pétrographiques et métallographiques. Le microscope employé est le Nikon Eclipse 50i POL, qui est opérationnel aussi bien en lumière polarisée et analysée qu'en lumière réfléchie. Six (06) des quinze échantillons sont analysés par la technique de la microscopie électronique à balayage (MEB) avec des prises d'image Backscattered Electron (BSE) et des analyses aux rayons X par la dispersion d'énergie (SDE) à "the University of Western Australia" (**Tableau 1**). Dans l'environnement minéralisé, cette analyse a pour but de caractériser les phases minérales et l'or associés dans les échantillons. De manière pratique, chaque section polie est recouverte d'une couche de carbone afin de la rendre conductrice. Le microscope employé est le MEB JEOL 6400 comportant un instrument analytique Oxford SDE. L'identification des différents minéraux s'est faite par BSE, et l'analyse qualitative et quantitative de certains silicates et sulfures sont effectuées.

4. Résultats

4-1. Géologie du gîte

La zone minéralisée est située dans le secteur de Mangodara, dans la bordure Est de la ceinture (**Figure 1**). La géologie est marquée par un ensemble de formation volcanique métamorphisée (rhyolite, tuf rhyolitique, dacite, andésite, basalte) (**Figure 2**). Les affleurements sont sous forme de pointement mal conservés à l'exception de quelques formations acides, quartzite, chert $\pm$ manganésifère, à imprégnation de sulfures (pyrite-arsénopyrite) ayant résisté aux effets de l'altération supergène (**Figure 3a**). Dans ces formations, l'odeur fétide du soufre dégagée au choc du marteau, traduit clairement la présence dans cette zone, tout au moins, de concentration de sulfures et justifie l'intérêt de cette étude. Les basaltes s'observent au Sud mais sont transformés en amphibolite. L'ensemble volcanique (acide et basique) est surmonté par des formations grès-conglomératiques ou grès-pélicites, grauwackeux ou arkosiques, et des phyllites dans la portion à l'Ouest. La schistosité est globalement orientée NS mais la série est inclinée vers l'Est avec un pendage moyen de 70°E. L'état oxydé de ce matériel sulfureux laisse entrevoir des chapeaux de fer à boxes d'ex-sulfures. C'est dans cet environnement spécifique, au sein des formations acides (rhyolites) que nous avons identifié l'assemblage à disthène, staurotide, grenat. Les intrusions sont des granodiorites, des diorites quartziques, des microdiorites renfermant souvent des yeux de quartz bleu (**Figure 2**). Les manifestations tardives s'expriment sous forme de dyke de microgabbro ou de filons ou de veines de quartz.

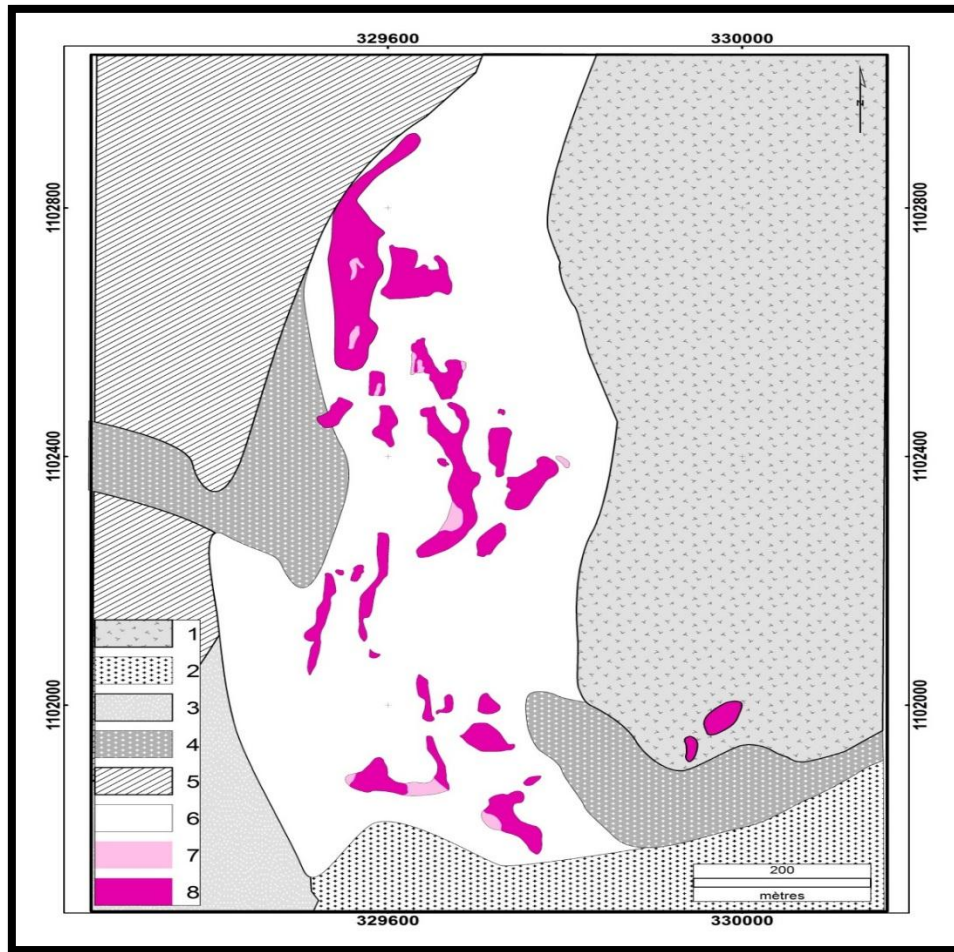


Figure 2 : *Géologie détaillée de la zone d'étude. 1) Formation dacitique ; 2) Intrusion granodioritique ; 3) Méta-sédiment ; 4) Monzonite ; 5) Méta-sédiment quartzo-feldspathique (arkosique/conglomératique) 6) Méta-rhyolite ; 7) Horizon siliceux ; 8) Niveau à disthène-staurotide ± grenat*

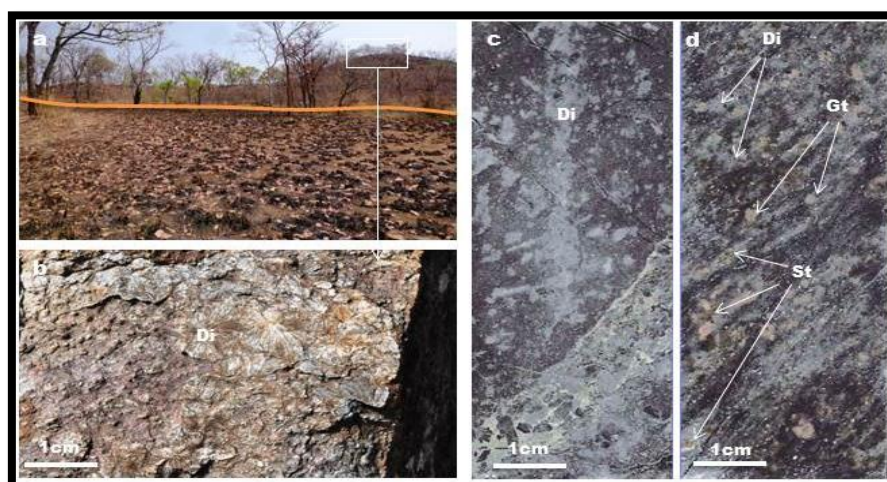


Figure 3 : *Les principaux assemblages métamorphiques à l'échelle macroscopique : a) Affleurement principal ; b) Détail de l'affleurement principal. Observer la forme fibro-radiée des porphyroblastes de disthène ; c) Porphyroblastose de disthène observé dans une méta-rhyolite silicifiée, sans déformation apparente ; d) Association à disthène-staurotide-grenat dans la même unité lithologique*

4-2. Les assemblages minéraux et minéralisations associées

4-2-1. Caractérisation des minéraux du métamorphisme

Les minéraux décrits sont essentiellement le disthène, la staurotide, le grenat auxquels s'ajoutent d'autres espèces minérales notamment le quartz, la muscovite, la chlorite, les carbonates. Le disthène se développe communément sous forme de porphyroblastes, aussi bien en affleurement dans des rhyolites (**Figures 3b, c**) plus ou moins quartzitiques, qu'en sondages, mais aussi en remplissage de veines. Il est plus ou moins en association avec la staurotide brun-rouge à jaune moelleux, et le grenat rose (**Figure 3d**). Son développement en amas de baguettes aplaties ou fibro-radiés est remarquable au sommet des collines dans les termes siliceux quartzitiques (**Figure 3b**). Les analyses chimiques du disthène (**Tableau 1**) montrent qu'il est purement alumineux (Al_2SiO_5), dépourvu de traces. La staurotide, tout comme le disthène, est porphyroblastique (**Figure 3d**), de dimensions plus réduites, mais communément associée au grenat, comparée au disthène. Les analyses de spectre sur la staurotide, par contre, révèlent son caractère un peu zincifère. En plus, elle contient anormalement des traces de Na ($\sim 2\%$ Na) (**Tableau 1**). Quant au grenat, il est en général rosé, globuleux. Il s'observe aussi bien en affleurement qu'en sondage. Les analyses obtenues sur le grenat (**Tableau 1**) montrent qu'il est soit riche en spessartine ou en almandin (38 % sp; 51 % alm; 6 % py; 5 % and).

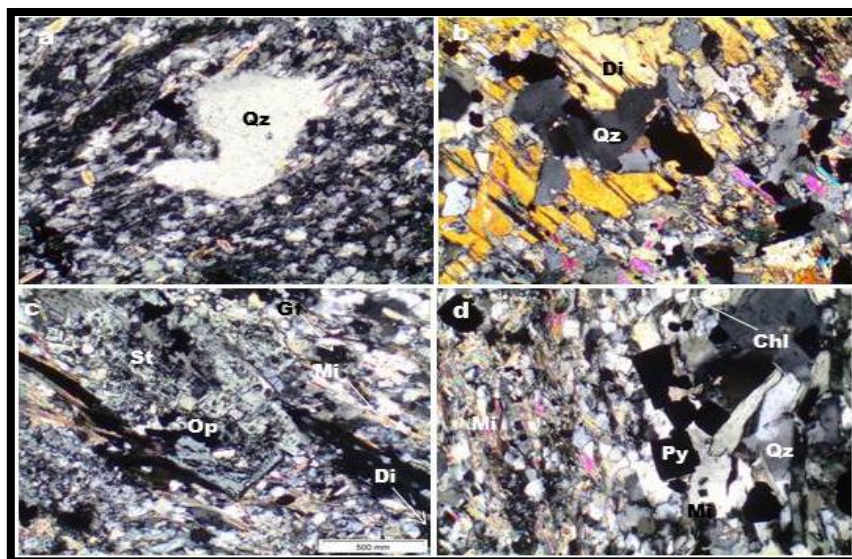


Figure 4 : Microphotographie des assemblages minéraux : a) Relique de quartz golfé dans une méta-rhyolite affectée par la schistosité ; b) Porphyroblaste de disthène démantelé par des veines siliceuses sous forme d'amas microcristallins de quartz ; c) Coexistence de staurotide à inclusions d'opaque, grenat et disthène dans une matrice microcristalline isogranulaire ; d) Développement de mica blanc, chlorite et carbonate dans une méta-rhyolite

Le détail microscopique permet de mieux contraindre l'encaissant principal qui est une méta-rhyolite dans laquelle, le quartz golfé est encore préservé (**Figure 4a**). La présence de ces minéraux de métamorphisme est confirmée (**Figures 4, b, c**). D'une manière générale, les porphyroblastes de disthène et de staurotide se détachent d'une matrice microcristalline. Des manifestations tardives siliceuses affectent par endroits ces minéraux (**Figures 4b**). La muscovite associée contient peu de fer (Fe) et de magnésium (Mg), souvent du chrome (Cr) en quantité négligeable (**Tableau 1**). Accessoirement, on observe de la biotite transformée en muscovite. Localement, la staurotide, en inter-croissance avec le grenat, contient des inclusions de pyrite et du quartz. La coexistence de ces trois espèces, en plus d'autres phases minérales se traduit clairement par

l'association disthène, quartz, staurotide, muscovite, grenat (**Figure 4c**). Par ailleurs on note la présence de la muscovite, de la chlorite, des carbonates hydrothermaux, et des minéraux opaques automorphes dans certaines rhyolites déformées et présentant une texture microcristalline subgranoblastique (**Figure 4d**).

Tableau 1 : Analyse chimique des minéraux de métamorphisme

Echantillon	H1	H1	H2	H2	H2	H3	Echantillon	H1	H3	Echantillon	H1	H1	H3
Minéral	Staurotide	Disthène	Disthène	Staurotide	Staurotide	Staurotide	Minéral	Grenat	Grenat	Minéral	Muscovite	Muscovite	Muscovite
Ox no	48	5	5	48	48	48	Ox no	12	12	Ox no	11	11	11
Na ₂ O	1,15	0	0,18	2,1	2,01	1,24	SiO ₂	37,41	35,79	SiO ₂	46,35	46,05	43,57
MgO	1,36	0	0	1,61	1,39	1,14	TiO ₂	0	0	TiO ₂	0,57	0,7	0,6
Al ₂ O ₃	56,44	64,7	63,36	53,23	52,97	53,01	Al ₂ O ₃	21,48	20,33	Al ₂ O ₃	37,1	36,89	34,7
SiO ₂	27,29	37,54	36,17	26,84	26,95	26,16	Cr ₂ O ₃	0,22	0	Cr ₂ O ₃	0,22	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0	Fe ₂ O ₃	0	0	Fe ₂ O ₃	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	FeO	24,18	22,98	FeO	1,07	1,21	1,26
Cl	0	0	0	0	0	0	MnO	16,77	15,69	MnO	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	MgO	2,17	1,89	MgO	0,55	0,48	0,35
CaO	0	0	0	0	0	0	CaO	2	2,62	CaO	0	0	0
TiO ₂	0,47	0	0	0,4	0,47	0,88	Na ₂ O	0,26	0	Na ₂ O	1,36	1,06	1,46
Cr ₂ O ₃	0,28	0	0	0	0	0,29	Oxyde total	104,49	99,3	K ₂ O	9,35	9,33	8,81
MnO	0,92	0	0	0,71	0,62	0,92	Fe ₂ O ₃ *	1,5	1,57	Cl	0	0	0
FeO	10,34	0	0	9,48	9,92	10,75	FeO*	22,83	21,57	Oxyde total	96,57	95,72	90,75
NiO	0	0	0	0	0	0	Total*	104,64	99,46	Si	3,027	3,031	3,033
Oxyde total	98,25	102,24	99,71	94,37	94,33	94,39	Si	2,921	2,937	Ti	0,028	0,035	0,031
Na	0,635	0	0,009	1,213	1,16	0,72	Ti	0	0	Al	2,857	2,863	2,848
Mg	0,579	0	0	0,713	0,619	0,51	Al	1,977	1,967	Cr	0,011	0	0
Al	19,012	2,012	2,024	18,664	18,603	18,698	Cr	0,014	0	0	0	0	0
Si	7,799	0,991	0,98	7,985	8,03	7,829	Fe ³⁺	0,088	0,097	Fe ²⁺	0,058	0,067	0,073
P	0	0	0	0	0	0	Fe ²⁺	1,491	1,48	Mn	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	Mn	1,109	1,09	Mg	0,054	0,047	0,036
Cl ⁻	0	0	0	0	0	0	Mg	0,253	0,231	Ca	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	Ca	0,167	0,23	Na	0,172	0,135	0,197
Ca	0	0	0	0	0	0	Na	0,039	0	K	0,779	0,784	0,783
Ti	0,1	0	0	0,09	0,105	0,199	Cation total	8,059	8,032	Cl ⁻	0	0	0
Cr	0,063	0	0	0	0	0,069	Pyrope	5,77	7,52	Cation total	6,99	6,96	7
Mn	0,222	0	0	0,179	0,156	0,232	Almandin	51,04	50,4	Mg No	47,81	41,41	33,11
Fe ²⁺	2,471	0	0	2,357	2,47	2,69	Grossulaire	0	0				
Ni	0	0	0	0	0	0	Spessartine	37,97	37,13				
Cation total	30,88	3,003	3,013	31,2	31,144	30,948	Uvarovite	0,7	0				
							Andradite	4,53	4,95				
							Knorringite	0	0				
							Schorlomite	0	0				
							Mg No	14,48	13,51				

4-2-2. Relation entre minéraux de métamorphisme et minéralisations associées

L'étude des lames polies, appuyée par les investigations au MEB ont permis d'identifier des sulfures et l'or. Il s'agit de la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopyrite, l'arsénopyrite, la galène, la sphalérite, la tétraédrite et dans une moindre mesure, la boulangérite, la molybdénite, la frébergite, l'acanthite, et l'or $\pm$ argentifère. La pyrite est l'espèce dominante des sulfures. Elle est associée à la pyrrhotite dans les plans de clivage du disthène (**Figure 5a, b**). La pyrrhotite est tardive comparée à la pyrite. La chalcopyrite beaucoup plus tardive remplit les fractures de la pyrrhotite (**Figure 5c**). L'or est inclus dans la pyrite (**Figure 5c**), ou remplit des fractures de la pyrite, mais peut s'observer sous forme libre dans une matrice à quartz essentiellement. La sphalérite et la tétraédrite sont des composantes mineures. Elles coexistent plus ou moins avec la magnétite (**Figure 5c, d**). Les analyses de pyrite et de pyrrhotite (**Tableau 2**) montrent des compositions pures à Fe et soufre (S). Quoique certaines espèces minérales n'aient été identifiées, les spectres par contre permettent d'enregistrer des associations à Fe-Ni-Sb-S, Pb-Ag-Sb-S, Pb-Sb-S, Ag-Te et Ag-Te-S, suggérant la présence de tellure et d'antimoine dans le système de minéralisation.

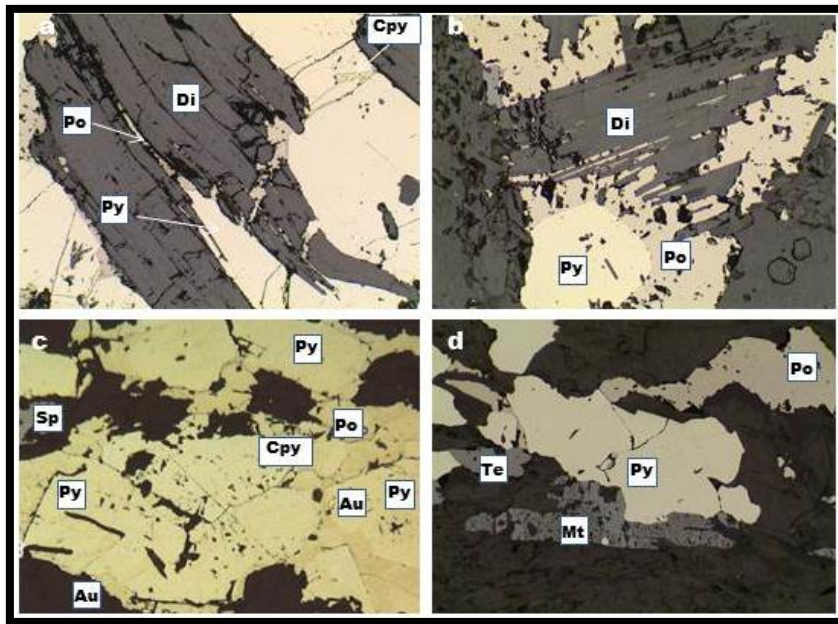


Figure 5 : *Microphotographies des assemblages à sulfures. a) Relation entre pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite et disthène ; b) Relation entre pyrite, pyrrhotite et disthène; c) Assemblage typique du gîte montrant des inclusions d'or dans la pyrite ; d) Relation entre pyrite, pyrrhotite, tétraédrite et sphalérite. Sp : sphalérite ; Py : pyrite ; Po : pyrrhotite ; Te : tétraédrite ; Cpy : chalcopyrite ; Au : Or ; Mt : magnétite ; Di : disthène*

Tableau 2 : *Analyse chimique des principaux sulfures associés aux minéraux de métamorphisme*

Echantillons	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H2	H3	H3
Minéral	Pyrite	Arsenopyrite	Au-Ag	Au-Ag	Arsenopyrite	Freibergite	Freibergite	Freibergite	Pyrite	Pyrrhotite
S	52,98	21	0	0	20,38	20,78	21,9	21,28	52,84	37,7
Fe2	48,68	35,76	0	0,23	35,03	10,06	5,2	5,21	47,63	60,68
Co	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	0	0	0	0	0	20,86	23,01	24,05	0	0
Zn	0	0	0	0	0	1,02	1,2	0,79	0	0
As	0	40,91	0	0	42,16	6,21	0	0	0	0
Ag	0	0	38,93	28,76	0	13,97	19,71	18,5	0	0
Sb	0	0	0,58	0	0	22,74	27,97	27,49	0	0
Au	0	0	54,74	65,57	0	0	0	0	0	0
Pb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	101,7	97,67	94,25	94,56	97,57	95,64	98,99	97,32	100,5	98,38
S ²⁻	0,655	0,356	0	0	0,348	0,412	0,435	0,43	0,659	0,52
Fe ²⁺	0,345	0,348	0	0,007	0,344	0,115	0,059	0,06	0,341	0,48
Co ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu ²⁺	0	0	0	0	0	0,209	0,231	0,245	0	0
Zn ²⁺	0	0	0	0	0	0,01	0,012	0,008	0	0
As ²⁻	0	0,297	0	0	0,308	0,053	0	0	0	0
Ag ⁺	0	0	0,561	0,442	0	0,082	0,116	0,111	0	0
Sb ³⁺	0	0	0,007	0	0	0,119	0,146	0,146	0	0
Au ⁺	0	0	0,432	0,551	0	0	0	0	0	0
Pb ²⁺	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Atomic total	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Au MEB, on observe, en plus des assemblages sus-décrits, d'autres espèces minérales que sont l'arsénopyrite, la freibergite l'acanthite, l'or argentifère, la molybdénite, la galène. Ces minéraux s'observent dans des matrices de composition variable : (i) matrice à disthène (**Figure 6a**); (ii) matrice à disthène et muscovite (**Figure 6b**); (iii) matrice à muscovite et quartz (**Figure 6c**). Localement, la freibergite, souvent associée à l'or et l'acanthite se développe dans des fissures tandis que la molybdénite se forme dans les plans de clivage du disthène et est souvent associée à l'or argentifère. La galène, la freibergite l'or argentifère, souvent la chalcoppyrite et la molybdénite sont en micro-inclusions dans la pyrite (**Figure 6d**). Il en est de même des inclusions de rutile, de zircon, de monazite dans la pyrite ou dans la staurotide. Les images obtenues sur les zircons montrent qu'ils sont subautomorphes (**Figure 6e**) ou fracturés avec la présence d'un zonage oscillatoire (**Figure 6f**). Le xenotime et l'ilménite souvent corrodée par des oxydes de titane, sont accessoires. Dans les roches schistosées et altérées, la limonite est dominante dans les plans de fracture avec la jarosite dérivée de la pyrite.

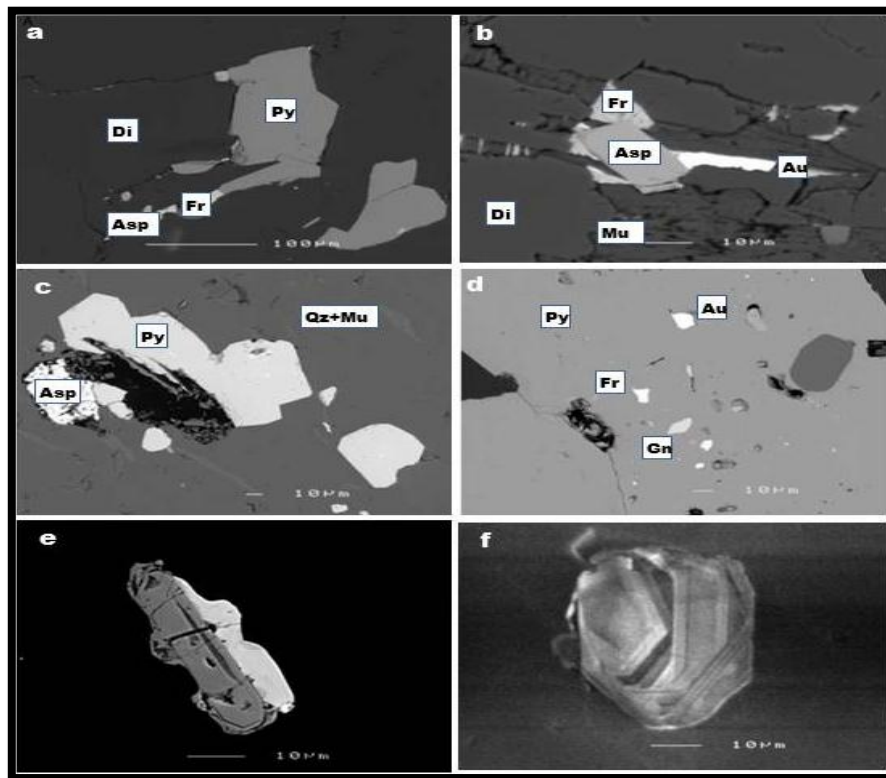


Figure 6 : *Microphotographies au Microscope Electronique à Balayage (MEB). a) Association pyrite, arsénopyrite et freibergite dans une matrice de disthène ; b) Relation entre freibergite, arsénopyrite et Au-Ag (10µm) dans matrice à disthène et muscovite ; c) Pyrite et arsenopyrite dans une matrice à quartz et muscovite ; d) Cristal de pyrite à inclusion d'or (Au), de freibergite (Fr) et de galène (Gn) ; e) Cristal allongé de zircon (10 x 40 µm) par effet métamorphique ; f) Cristal automorphe de zircon (30 x 50 µm) fracturé montrant un zonage oscillatoire*

5. Discussion

L'exploration géologique et minière très active depuis les années 2000 au Burkina Faso vise à rechercher et à valoriser les gisements. Les ceintures sont de ce fait, les cibles privilégiées [12, 13, 20, 21]; et celle de Banfora, longue de 165 km et large de 35 km (**Figure 1**), n'est pas en reste. La chrono-lithostratigraphie spécifique à l'environnement géologique du système de minéralisation présente à la base des méta-basaltes

surmontés par des dacites puis des rhyolites, sur lesquelles reposent des méta-sédiments grès-conglomératiques avec horizons cherteux $\pm$ manganésifères. L'ensemble est recoupé par des granodiorites et des granites de manière polycyclique. Cette organisation est fort corrélable à la stratigraphie globale des formations des ceintures [12, 22]. Les résultats obtenus de cette étude ouvrent une nouvelle piste d'investigation sur les connaissances actuelles relatives à la typologie des gîtes et gisements aurifères birimiens [1, 23 - 25] qui consacrent la majeure partie de cet essai classificatoire, au type orogénique mésothermal constituant selon [1], plus de 80 % du poids métal en Afrique de l'Ouest. Nous établissons sans conteste, un lien entre minéralisation et minéraux typiques de métamorphisme synthétisé dans le **Tableau 3**. Il s'agit d'une minéralisation à sulfures et or encaissée dans des méta-rhyolites. Des relations micro-texturales déduites des assemblages minéralogiques entre les sulfures, il en ressort que la pyritisation est un processus continu (pré- syn à post métamorphique) alors que la pyrrhotisation se manifeste pendant et après le pic ? du métamorphisme (**Tableau 3**). Le climat métamorphique déduit de l'assemblage est tout au moins de début faciès amphibolite.

Tableau 3 : Relation entre minéraux de métamorphisme et minéralisation

Relation entre minéraux de métamorphisme et minéralisation			
Minéraux	Avant métamorphisme	Pendant métamorphisme	Après métamorphisme
Disthène		-----	
Staurotide	-----		
Grenat			
Muscovite		-----	
Chlorite			
Pyrite			
Pyrrhotite			
Arsenopyrite			
Or			
Sphalerite			-----
Tetraédrite			-----

L'or est observé. Il est argentifère et se présente en micro-inclusions dans la pyrite post métamorphique mais aussi dans le disthène, la muscovite. Vraisemblablement sa mise en place s'accompagne de manifestation siliceuse hydrothermale post métamorphique (**Figure 4b**) comme suggéré au Ghana dans la ceinture de Ki-Winneba [9]. Les phénomènes retromorphiques traduits ici par le développement de la chlorite, du quartz secondaire, et des carbonates, peuvent être des indicateurs dans la recherche des gîtes et gisements polymétalliques à or et métaux de base dans la ceinture de Banfora et certainement dans son prolongement Sud vers la Côte d'Ivoire. De l'assemblage minéral, la description des porphyroblastes de disthène $\pm$ muscovite $\pm$ quartz $\pm$ disthène fissurale pourrait traduire une altération argillique avancée qui aurait probablement conditionné la précipitation de l'or durant le retromorphisme. La précipitation de l'or dans des conditions de retromorphisme est un scénario plus ou moins classique décrit dans plusieurs gîtes et gisements africains, canadiens et australiens. Les analyses chimiques obtenues sur le grenat plaident pour un grenat de la série alumineuse, mais l'acquisition de données géochimiques complémentaires sur roche-totale nous aiderait à contraindre l'origine du métamorphisme, car la présence de la staurotide et du disthène n'implique pas nécessairement une condition métamorphique de zone à disthène ou à staurotide [26], *in* [27]. Toutefois, la diversité compositionnelle de la muscovite $\pm$ Fe $\pm$ Mg $\pm$ Cr traduit une histoire métamorphique assez complexe. Du reste, la remarquable diversité des sulfures dont la pyrite et, la pyrrhotite, freibergite, la molybdénite, la boulangérite, la sphalérite, la tétrahédrite, à laquelle s'ajoute l'expression systématique, en

surface, de chapeaux de fer, suggère un environnement favorable pour la recherche d'amas sulfurés. Un tel assemblage a été mis en évidence dans les gisements de sulfures massifs volcanogène au Canada [28]. Les sondages KPHD006, KPHD006, KPHD008 ont d'ailleurs intercepté des niveaux de sulfures massifs à pyrite et pyrrhotite, accessoirement sphalérite. Les données actuelles excluent la présence d'une minéralisation en veine. En tout état de cause, le contexte de minéralisation suggère une minéralisation volcanogène. Par extension, notons que le rôle des intrusions granitiques proximales n'est pas occulté, puis qu'il est admis à l'image des autres ceintures de roches vertes du système Birimien, que le métamorphisme de faciès amphibolite se localise à proximité d'intrusion granitoïdique [6, 22, 29]. Dans notre contexte, il se matérialise beaucoup plus par la transformation des basaltes en amphibolite.

6. Conclusion

Les observations de terrain jointes aux examens microscopiques et analytiques des minéraux permettent : (i) de contraindre la lithostratigraphie simplifiée de l'environnement géologique spécifique au gîte à sulfures et or du secteur de Mangodara comprenant de la base au sommet des basaltes, des andésites, des dacites et des rhyolites, puis des formations sédimentaires grès-pélitiques à conglomératiques ; l'ensemble est recoupé des granodiorites et granites ; (ii) d'identifier dans les rhyolites et certaines occurrences siliceuses, l'évidence d'un assemblage minéralogique non encore décrit dans la ceinture de Banfora. Il s'agit d'un assemblage à disthène, staurotite, grenat, muscovite $\text{Fe} \pm \text{Mg} \pm \text{Cr}$ typique d'un métamorphisme de faciès amphibolite. Les sulfures associés à l'or sont : la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopryrite, l'arsénopyrite, la galène, la sphalérite, la tétraédrite et accessoirement, la boulangérite, la molybdénite, la fréibergite, l'acanthite (or $\pm$ argentifère). L'or est associé aux silicates d'alumine en l'occurrence le disthène mais aussi en inclusion dans la pyrite. En date d'aujourd'hui, aucun gisement à tonnage économique n'a été mis en évidence dans la ceinture de Banfora mais la description de cet assemblage minéralogique en lien avec la minéralisation sulfuro-aurifère pourrait servir de guide de prospection. En somme, ce travail est une contribution dans la compréhension des processus métamorphiques responsables de la diversité des gîtes polymétalliques du système Birimien volcano-sédimentaire du Burkina et partant, du Craton Ouest Africain.

Remerciement

Les auteurs remercient la Compagnie Ausquest Ltd pour la collaboration. Le bureau d'étude TEGECO Sarl a apporté un support logistique lors des missions de terrain. Les auteurs sont reconnaissants aux instructeurs pour leurs contributions à l'amélioration du manuscrit.

Références

- [1] - C. CASTAING, M. BILA, J. P. MILESI, D. THIEBLEMONT, J. LE METOUR,, E. EGAL, M. DONZEAU, C. GUERROT, A. COCHERIE, P. CHEVREMENT, I. TEYGEY, Y. ITARD, B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B. E. KABORE, C. OUEDRAOGO, J. C. KI et C. ZUNINO, Notice Explicative de la carte géologique et minière du Burkina Faso à 1/1000 000, 3^{ème} Edition, (2003) 148 p.
- [2] - J. GANNE, M. GERBAULT et S. BLOCK, *Precambrian Research*, 243 (2014) 88 - 109
- [3] - S. BLOCK, J. GANNE, L. BARATOUX, A. ZEH, L. A. PARRA-AVILA, M. JESSELL, L. AILLERES et L. SIEBENALLER, *J. metamorphic Geol.*, (2015) doi:10.1111/jmg.12129

- [4] - J. PONS, P. BARBEY, D. DUPUIS et J. M. LEGER, *Precambrian Research*, 70 (1995) 281 - 301
- [5] - T. JOHN, R. KLEMD, W. HIRDES et G. LOH, *Precambrian Research*, 98 (1999) 11 - 30
- [6] - P. DEBAT, S. NIKIEMA, A. MERCIER, M. LOMPO, D. BEZIAT, F. BOURGES, M. RODDAZ, S. SALVI, F. TOLLON et U. WENMENG, *Precambrian Research*, 123 (2003) 47 - 65
- [7] - A. SOUMAILA, Z. GARBA, *Africa Geoscience Review*, 13 (2006) 107 - 128
- [8] - J. GANNE, V. DE ANDRADE, R. WEINBERG, B. DUBACQ, O. VIDAL, N. KAGAMBEGA, S. NABA, L. BARATOUX, M. JESSELL et J. ALLIBON, *Nat. Geosci.*, 5 (2012) 60 - 65
- [9] - R. KLEMD, U. HUNKEN et M. OLESCH, *Journal of African Earth Sciences*, 35 (2002) 199 - 211
- [10] - D. BEZIAT, L. SIEBENALLER, S. SALVI et P. CHEVALIER, *Ore Geology Reviews*, 78 (2016) 724 - 730
- [11] - G. OUATTARA, Thèse doct. Univ. Orléans, (1998) 290 p.
- [12] - L. BARATOUX, V. METELKA, S. NABA, M. W. JESSELL, M. GREGOIRE, et J. GANNE, *Precambrian Research*, 191 (2011) 18 - 45
- [13] - V. METELKA, L. BARATOUX, S. NABA et M. W. JESSELL, *Precambrian Research*, 190 (2011) 48 - 69
- [14] - S. LEMOINE, Université Clermont-Ferrand, (1988) 338
- [15] - S. LEMOINE, CIFEG, Paris, Nancy, France, (1990) 67 - 70
- [16] - D. GASQUET, P. BARBEY, M. ADOU, et J. L. PAQUETTE, *Precambrian Research*, 127 (2003) 329 - 354
- [17] - A. POUCKET, S. DOUMBIA et M. VIDAL, *Bulletin de la Société Géologique de France*, 177 (2006) 105 - 121
- [18] - S. DOUMBIA, A. POUCKET, A. N. KOUAMELAN, J. J. PEUCAT, M. VIDAL et C. DELOR, *Precambrian Research*, 87 (1998) 33 - 63
- [19] - G. S. DE KOCK, R. A. ARMSTRONG, H. P. SIEGFRIED et E. THOMAS, *Journal of Africa Earth Sciences*, 59 (2011) 1 - 40
- [20] - J. AUGUSTIN et D. GABOURY, *Journal of Africa Earth Sciences*, 129 (2017) 17 - 30
- [21] - A. FONTAINE, A. EGLINGER, K. ADA, A-S. ANDRE-MAYER, L. REISBERG, L. SIEBENALLER, E. LE MIGNOT, J. GANNE et M. POUJOL, *Journal of Africa Earth Sciences*, 126 (2017) 96 - 122
- [22] - M. LOMPO, Geological Society, London, *Special Publications*, 323 (2009) 231 - 254
- [23] - J. P. MILESI, J. L. FEYBESSE, P. LEDRU, A. DOMMANGET, M. F. OUEDRAOGO, E. MARCOUX, A. PROST, C. VINCHON, J. P. SYLVAIN, V. JOHAN, M. TEGYEY, J. Y. CALVEZ et P. LAGNY, *Chronique de Recherche Minière*, 497 (1989) 3 - 98
- [24] - J. P. MILESI, P. LEDRU, J. L. FEYBESSE, A. DOMMANGET et E. MARCOUX, *Precambrian Research*, 58 (1992) 305 - 344
- [25] - M. LOMPO, Mém. H. D. R., Univ. Paul Sabatier, Toulouse, III, France, UMR5563, (2001) 135 p.
- [26] - A. MIYASHIRO, University College London, London, (1994) 404
- [27] - S. L. HWANG, T-F. YUI, H-T. CHU et P. SHEN, *Western Pacific Earth Sciences*, 2 (2002) 161 - 170
- [28] - P. MERCIER-LANGEVIN, J. GOUTIER, P-S. ROSS, V. J. MCNICOLL, T. MONECKE, C. DION, B. DUBÉ, P. THURSTON, V. BÉCU, H. L. GIBSON, M.-D. HANNINGTON et AG. GALLEY, Ottawa, Field Trip 02B guidebook, (2011)
- [29] - V. SATTRAN et U. WENMENG, *Czech Geol. Survey*, (2002) 136 p.