



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

## **Etude Metallogénique du Prospect Aurifère de Woulo-Woulo (Zone d' Afema, Sud-est de la Côte d'Ivoire)**

***Gnanzou Allou***

***Boya Kakeu Tokpa Dimitri Lionel***

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

***Coulibaly Inza***

Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE),  
UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE),  
Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

***Bamba Ibrahim Eric***

***Coulibaly Yacouba***

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

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n33p121](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p121)

---

Submitted: 25 July 2022

Accepted: 04 October 2022

Published: 31 October 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

*Cite As:*

Allou G., Lionel B.K.T.D., Inza C. Eric B.I. & Yacouba C. (2022). *Etude Metallogénique du Prospect Aurifère de Woulo-Woulo (Zone d' Afema, Sud-est de la Côte d'Ivoire)*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (33), 121. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p121>

---

### **Résumé**

Le prospect de Woulo-Woulo est situé au sud-est de la Côte d'Ivoire, précisément dans la zone de Maféré, à environ 8 km à l'ouest du couloir de cisaillement d' Aféma. Les activités de terrain et de forage ont montré que certaines formations observées sur le prospect de Woulo-Woulo contiennent de la minéralisation aurifère. L'objectif général de cette étude est de déterminer les caractéristiques pétrographiques et structurales de ces roches et la minéralisation aurifère associée. Ainsi, l'acquisition des données a consisté au prélèvement d'échantillons de roches de terrain et de forage carotté, suivi de leur caractérisation macroscopique et microscopique. Le prospect de Woulo-Woulo est constitué de métasédiments (métagrauwackes et métaargilites), de métavolcanites (laves andésitiques et

brèches), de filons acides (métarhyolite à porphyre de quartz) et d'intrusions de métagabbros, tous affectés par une importante activité hydrothermale, filonienne, qui a induit une altération pervasive des encaissants. La minéralisation aurifère du prospect de Woulo-Woulo est de type filonien et hydrothermal épigénétique liée aux veines et veinules de quartz et carbonates, encaissée préférentiellement dans la métarhyolite porphyrique déformée et hydrothermalisée. Elle présente donc un contrôle structural. La paragenèse de cette minéralisation est constituée de pyrite (sulfure principal), sphalérite et or natif.

---

**Mots-clés:** Côte d'Ivoire, Aféma, prospect de Woulo-Woulo, hydrothermalisme, or

---

## **Metallogenic Study of the Woulo-Woulo Gold Prospect (Afema Area, South-Eastern Côte d'Ivoire)**

*Gnanzou Allou*

*Boya Kakeu Tokpa Dimitri Lionel*

Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME),  
des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM),  
Université Félix Houphouet-Boigny, Côte d'Ivoire

*Coulibaly Inza*

Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE),  
UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR-SGE),  
Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire

*Bamba Ibrahim Eric*

*Coulibaly Yacouba*

Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Energétiques (LGRME),  
des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM),  
Université Félix Houphouet-Boigny, Côte d'Ivoire

---

### **Abstract**

The Woulo-Woulo prospect is located in south-eastern Côte d'Ivoire, precisely in the Maféré zone, approximately 8 km west from the Aféma shear zone. Field and drilling activities have shown that certain formations observed at the Woulo-Woulo prospect contain gold mineralization. The overall objective of this study is to determine the petrographic and structural characteristics of these rocks and the associated gold mineralization. Thus, data acquisition consisted of field and core sampling followed by macroscopic and microscopic characterization. The Woulo-Woulo prospect consists of metasediments (metagrauwackes and metaargilites), metavolcanites (andesitic

lavas and breccias), felsic veins (quartz porphyry metarhyolite) and metagabbro intrusions, all affected by significant hydrothermal and vein activity, which induced pervasive alteration of host rocks. The gold mineralization at the Woulo-Woulo prospect is vein-type and epigenetic hydrothermal type related to quartz and carbonate veins and veinlets, hosted preferentially in the deformed and hydrothermalized porphyry metarhyolite. It is therefore structurally controlled. The paragenesis of this mineralization consists of pyrite (main sulfide), sphalerite and native gold.

---

**Keywords:** Côte d'Ivoire, Afema, Woulo-Woulo prospect, hydrothermalism, gold

## 1. Introduction

Les formations birimiennes ont été accrétées autour de 2,1 Ga au cours de l'orogénèse éburnéenne (Abouchami *et al.*, 1990; Boher *et al.*, 1992). Ces formations sont composées de ceintures de roches vertes et de larges bassins sédimentaires; le tout intrudé par plusieurs générations de granitoïdes. Les formations du bassin sédimentaire birimien sont en générale constituées d'argilites et de grès. Elles ont subi plusieurs événements tectonométamorphiques évoluant du faciès schiste vert au faciès amphibolite (Milési *et al.*, 1989; Boher *et al.* 1992; Ama-Salah *et al.*,1996; Hirdes *et al.*,1996; Peucat *et al.*,2005; Feybesse *et al.*, 2006; De Kock *et al.*, 2009; Baratoux *et al.*, 2011). Les roches birimiennes sont très favorables aux ressources minières, dont l'or. Elles sont de véritables cibles de recherches minières et académiques afin de mieux les connaître et d'y découvrir de nouvelles ressources minérales. Les roches birimiennes de l'Afrique de l'Ouest font d'elle aujourd'hui, l'une des régions les plus convoitées par les sociétés minières (**Figure 1**). Depuis 1999, sa production industrielle d'or est en forte croissance (World Gold Analyst, 2010). Ses réserves sont estimées à 3873 tonnes d'or dans 60 gisements avec une teneur moyenne en or de 1,74g/t (Gold farb *et al.*, 2017). En effet, les minéralisations aurifères du domaine paléoprotérozoïque (birimien) de l'Afrique de l'Ouest sont généralement associées à des shear-zones ou à des zones de contacts (métasédiments-roches vertes /intrusions de granitoïdes) (Fabre, 1985 ; Milesi *et al.*, 1989 et 1992 ; Feybesse, 2001 ; Assié, 2008 ; Houssou, 2013 ; Houssou *et al.*, 2017 ; Ouattara, 2015 ; Ouattara *et al.*, 2015 ; Ouattara *et al.*, 2018a). Les gisements déjà connus dans la zone d'Aféma sont localisés dans un grand couloir de cisaillement orienté N030° à N040° et associés à des formations volcano-sédimentaires (Watts *et al.*, 1995 ; Tourigny, 1998 ; Husson, 1998 ; Pothin *et al.*, 2000 et 2003 ; Assié, 2008). Le prospect de Woulo-Woulo appartenant à la zone d'Aféma, se situe à l'ouest de ce couloir de cisaillement. Il est constitué principalement de métasédiments et de métavolcanites associés à un volcanite

felsique de grande extension, orienté nord-sud. Les résultats des différentes phases d'exploration, ont montré d'importantes teneurs en or dans les formations géologiques recoupées ; d'où l'intérêt de comprendre la géologie et la minéralisation de ces formations. Cet article a pour objectif de contribuer à la compréhension du contexte géologique et métallogénique du prospect de Woulo-Woulo. De manière spécifique, il s'agit de (i) décrire les différentes lithologies et les altérations ; (ii) de déterminer les encaissements de la minéralisation ; de mettre en relation l'altération hydrothermale, la déformation et la minéralisation; et (iii) de déterminer la paragenèse métallifère.

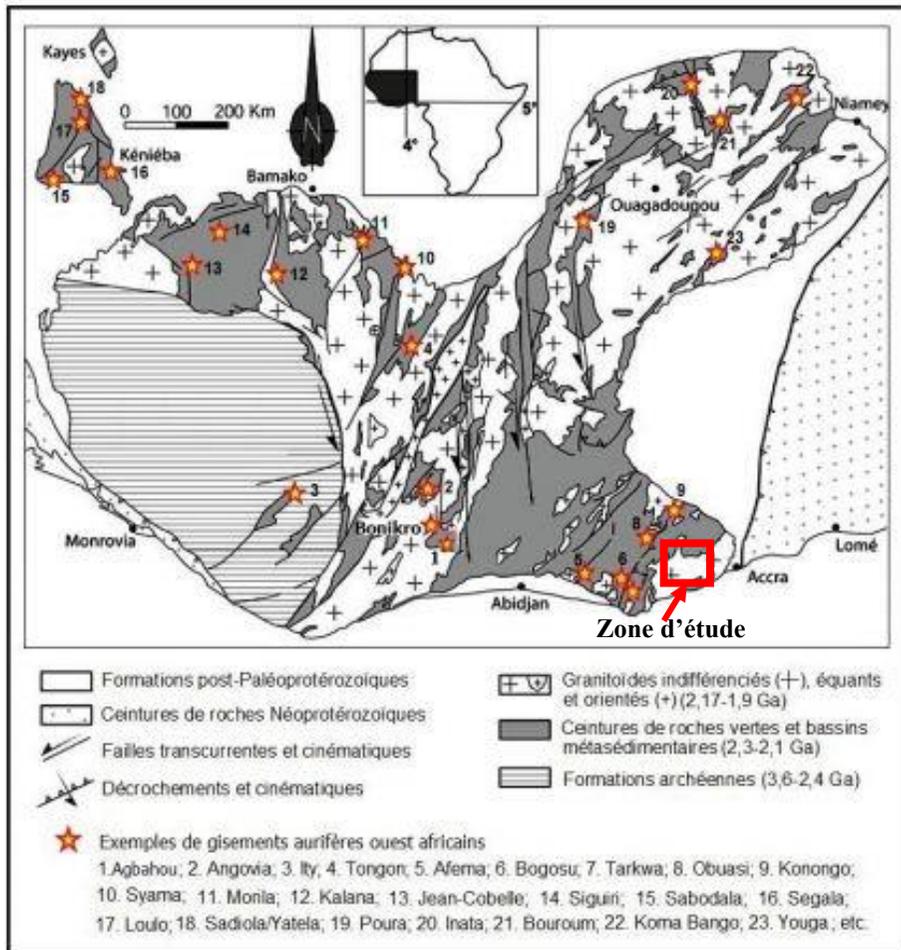


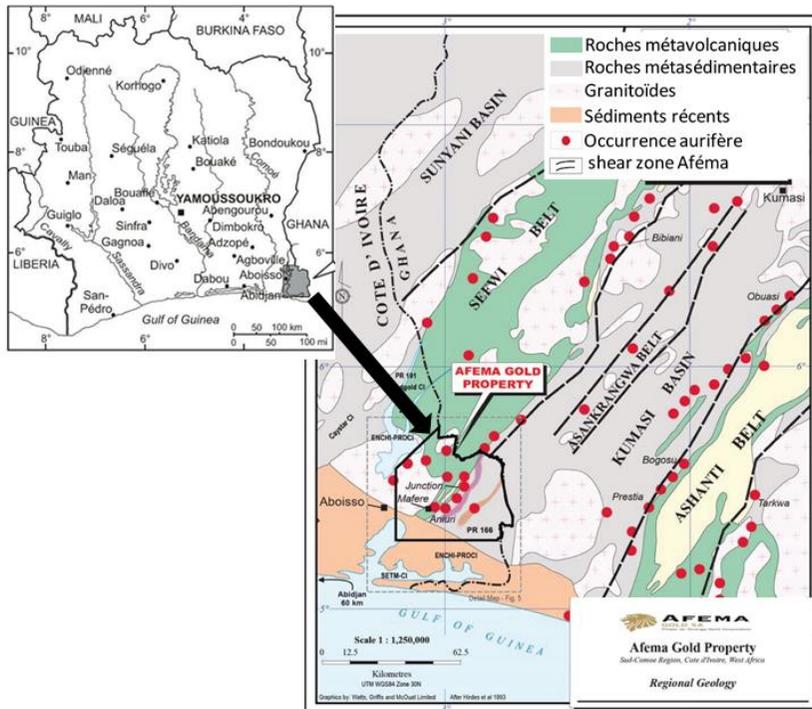
Figure 1. Carte géologique du craton ouest-africain avec la localisation de ses principaux gisements d'or (Modifié d'après Houssou, 2013).

## 2. Contexte géologique

La Côte d'Ivoire appartient à la dorsale Léo-Man (partie méridionale du craton ouest-africain). Elle est composée d'un noyau archéen (3600-2500

Ma) situé à l'ouest en contact avec un domaine birimien (2500-1800 Ma), également appelé domaine Baoulé-Mossi localisé à l'est. Ces deux domaines sont séparés par la faille du Sassandra (Bessoles, 1977). Le domaine birimien comprend trois ensembles lithologiques, à savoir, les ceintures volcaniques, les bassins sédimentaires et les massifs de granito-gneiss.

La région d'Aféma appartient au sillon d'Aboisso du domaine paléoprotérozoïque de la Côte d'Ivoire, qui couvre les deux tiers de la Côte d'Ivoire. Cette région est constituée de deux grandes unités séparées par la zone de cisaillement d'Aféma-Bibiani (**Figure 2**). A l'ouest de la zone de cisaillement, on a le Birimien métavolcanique, composé de roches volcaniques mafiques à intermédiaires, de roches volcanoclastiques, interstratifiées avec des horizons de schistes (Milési *et al.*, 1989 ; 1992). Cet ensemble est déformé et injecté d'intrusions de granite, de granodiorite, de diabase et d'amphibolites, et de sédiments mineurs (Teranga, 2019 ; Husson, 1998).



**Figure 2.** Carte géologique montrant la zone d'étude (Teranga, 2019).

A l'est de la zone de cisaillement, on a les métasédiments birimiens. Cette unité est dominée par les phyllades grises, noires, et les argilites, avec des quartzites, des grès mineurs, et des schistes arkosiques micacés et graphiteux (Husson, 1998). L'orientation préférentielle des formations est NE-SO avec un pendage qui varie de 45° SE à subvertical. Le métamorphisme

est du faciès des schistes verts (Husson, 1998 ; Assié, 2008). La région est caractérisée par le grand couloir de cisaillement, nommé Aféma-Bibiani. Les études structurales montrent deux principaux systèmes de cisaillement, à savoir le système NNE-SSO à NO-SE et le système E-O (Husson, 1998). Le couloir de cisaillement d'Aféma-Bibiani joue en faille inverse avec un rejet latéral senestre mineur (Tourigny, 1998 ; Husson, 1998). Selon Husson, 1998, cette zone de cisaillement se poursuit au Ghana où la majorité des gisements aurifères de la région de Bibiani y sont rattachés. Le prospect de Woulo-Woulo est localisé dans la partie occidentale de la zone minière d'Aféma. Il est constitué principalement de formations métasédimentaires, volcano-plutoniques, et d'intrusifs felsiques de grande extension, orienté nord-sud.

### 3. Méthodologie

La zone d'Aféma est marquée par une rareté des affleurements due à l'intense altération supergène. De ce fait, la méthodologie employée pour l'étude macroscopique (pétrographie et analyse structurale) a débuté par une phase de terrain et l'étude des carottes de sondage. Par la suite, des échantillons représentatifs des différents faciès ont été sélectionnés pour la phase de laboratoire afin d'apporter plus de précision à la pétrographie macroscopique. Douze (12) lames minces et deux lames (2) polies ont été confectionnées et étudiées au microscope polarisant et métallographique au Laboratoire de Géologie, Ressources Minérale et Energétique (LGRME) de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM) de l'Université Félix HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan. L'étude au microscope polarisant a permis d'apprécier les associations minéralogiques des différentes roches encaissantes et des veines, afin d'établir l'ordre d'apparition de ces minéraux et également de les mettre en relation avec les microstructures (microfractures, microplis, etc.). Les observations au microscope métallographique ont permis d'identifier la paragenèse métallifère associée à la minéralisation aurifère.

### 4. Résultats

#### 4.1. Lithologie

Les unités lithologiques observées sur le prospect de Woulo-Woulo sont constituées d'andésites, de rhyolites, de gabbros et des métasédiments. Les paragraphes suivants décrivent chaque lithologie en détail.

- Les métarhyolites sont leucocrates, porphyriques, et imprégnées de veines et de veinules de quartz (**Figure 3A**). A l'œil nu, on peut observer de gros cristaux de quartz. En lame mince, la roche présente une texture microlitique porphyrique à phénocristaux de quartz et de plagioclase (**Figure 3B**). Le quartz est xénomorphe à extinction ondulante remarquable. Les cristaux de plagioclase sont généralement

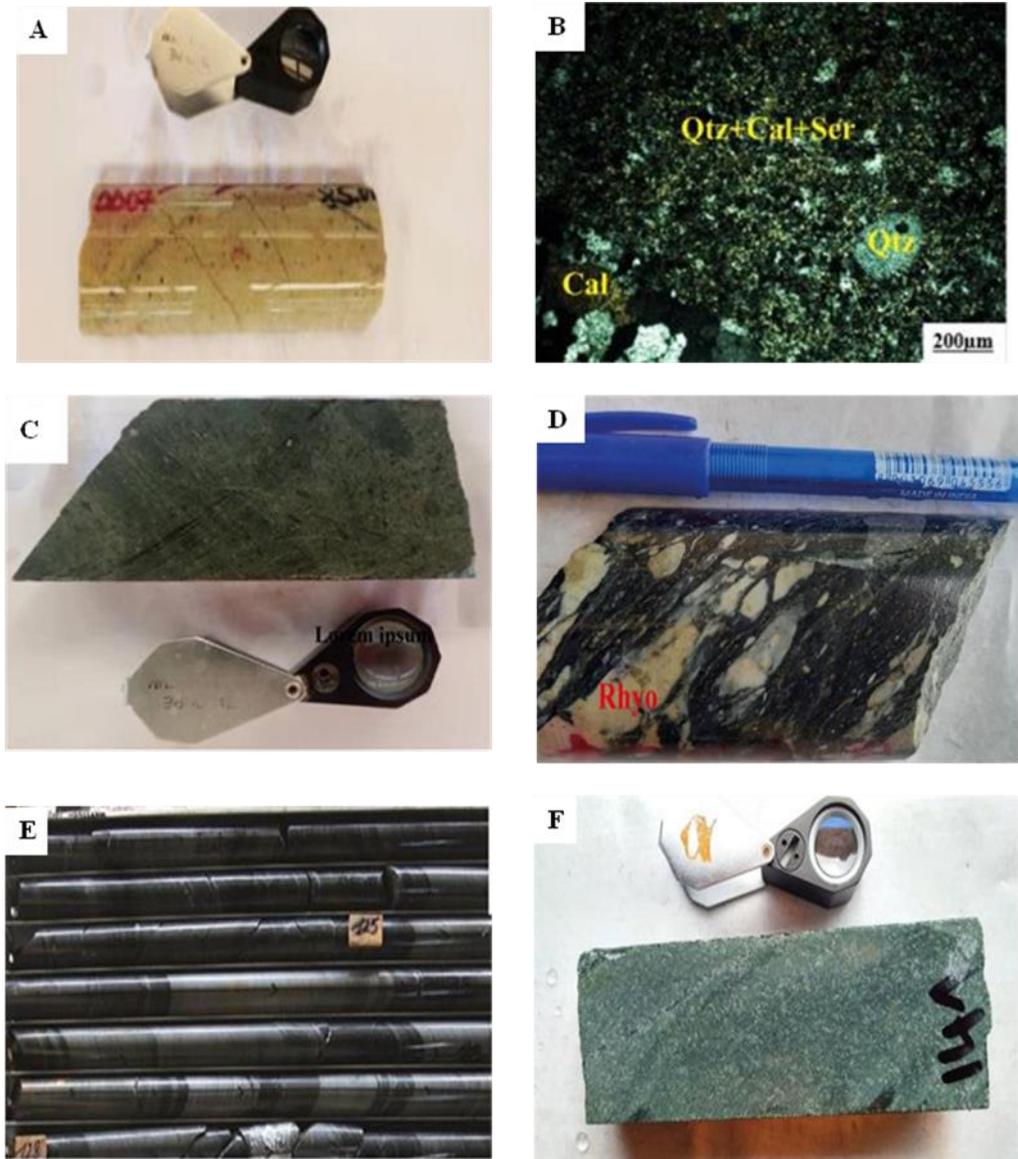
altérés et transformés en carbonates (calcite  $\pm$  dolomie), en séricite et en épidote. La mésostase se compose de quartz, de carbonates (calcite  $\pm$  dolomie), de séricite, d'épidote, et souvent, de lacunes de cristallisation. Ces roches contiennent également des sulfures représentés principalement par la pyrite ;

- les métaandésites sont massives, de couleur verte et constituées de plagioclase, de sanidine et d'amphibole (**Figure 3C**). Les minéraux secondaires observés sont les carbonates (calcite  $\pm$  dolomie), la chlorite, l'épidote et la séricite. A ces minéraux, s'ajoutent des sulfures représentés essentiellement par la pyrite;
- les brèches sont larges de 1 m à 10 m et sont constituées de débris de la rhyolite, et de phénocristaux de quartz plongés dans une matrice fine (**Figure 3D**);
- les métasédiments représentent les lithologies majeures du prospect et sont caractérisés par une alternance de métagrawackes et de métargilites (**Figure 3E**). Ces métasédiments sont composés de feldspaths (généralement étirés et altérés, transformés en carbonates (calcite  $\pm$  dolomie)), de quartz, de clastes noirs (graphite ?), de chlorite, de séricite et de gros cristaux de pyrite. Ces roches sont parcourues généralement par des veines et veinules de quartz-carbonates  $\pm$  sulfures (principalement la pyrite).
- les métagabbros sont d'aspect massif, mélanocrates et constitués de pyroxène, d'amphibole et de plagioclase (**Figure 3F**). Ils contiennent également des carbonates (calcite  $\pm$  dolomie), de la chlorite, de l'épidote, de la séricite et de la pyrite. Ces gabbros sont parcourus par des veines et veinules de quartz-carbonates souvent associées à la tourmaline et à des sulfures.

## 4.2. Altération

### 4.2.1. Altération supergène

Le prospect de Woulo-Woulo étant situé dans un climat tropical et humide, les roches ont subi une altération importante. Les affleurements sont très rares dans la zone ; seules quelques métarhyolites affleurent. Cette altération affecte plus les métasédiments et les métaandésites. La zone d'altération est épaisse et l'oxydation atteint souvent les profondeurs de 80 m (**Figure 4**). La couleur du sol est rouge brique à rouge orangé pour les roches mafiques, gris à gris noir et souvent orangée pour les métasédiments, et jaune orangé à blanche pour les roches felsiques.



**Figure 3.** Aspects macroscopique et microscopique des lithologies de Woulo-Woulo.  
A-B : Métarhyolites ; C: Métaandésites; D: Brèches ; E : Métasédiments ; F : Gabbros  
Rhyo : Rhyolite ; Ser : Sericite ; Cal : Calcite ; Qtz : quartz



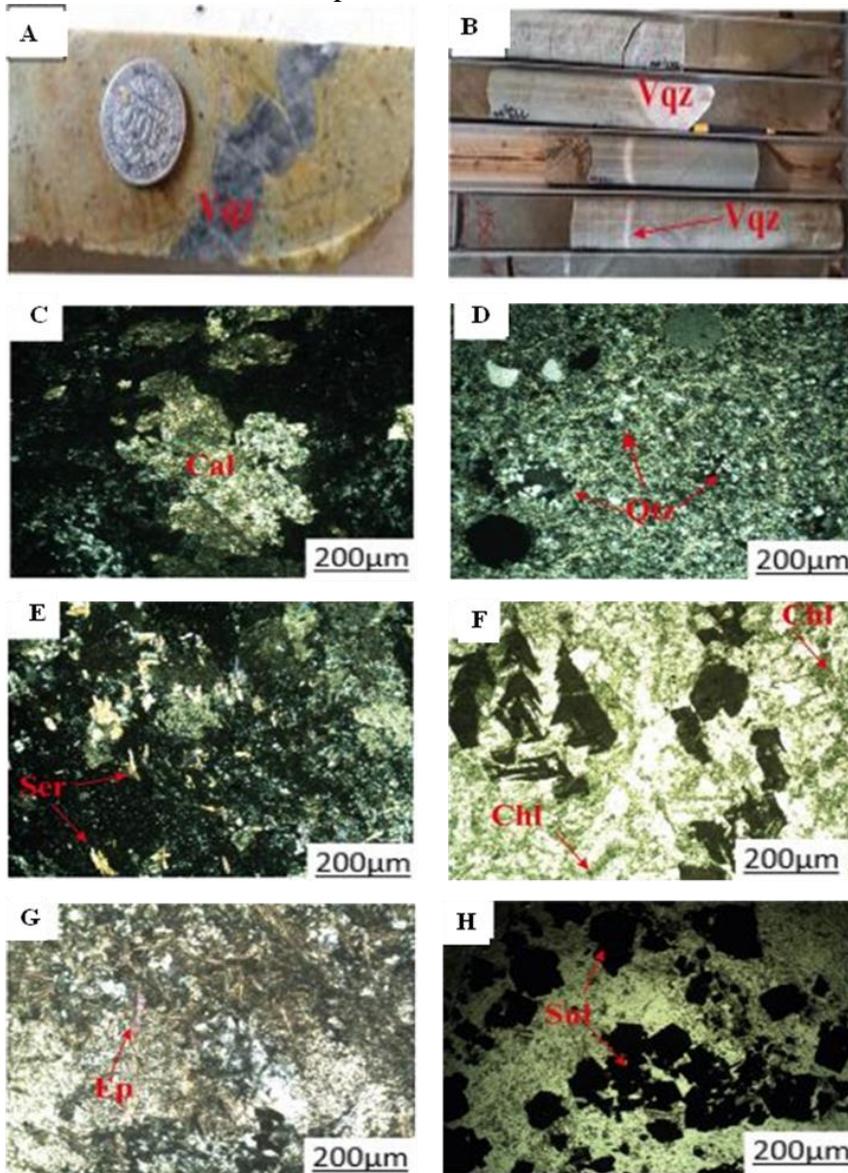
**Figure 4.** Photographie montrant l'altération supergène.

#### 4.2.2. Altération hydrothermale

L'altération hydrothermale, principalement fissurale, filonienne est un processus de colmatage et de remplissage des fractures par des fluides hydrothermaux formant des filons, veines et veinules. Elle est très importante dans la métarhyolite (**Figure 5 A-B**). Les veines et veinules observées sont en générale constituées de quartz  $\pm$  sulfures, de quartz, carbonates  $\pm$  sulfures, de carbonates  $\pm$  sulfures et de quartz, carbonates  $\pm$  tourmaline  $\pm$  sulfures. De plus, ces veines et veinules observées sont pour la plupart fissurées, fracturées, boudinées et souvent plissées. Cette altération filonienne a induit un mode pervasif dans les encaissants, entraînant la carbonatation, la chloritisation, la séricitisation, l'épidotisation, la silicification et la sulfuration (**Figure 5 C à H**) :

- **la carbonatation** est observable de manière diffuse et pénétrative dans toutes les lithologies, de même que des veinules et veines. En effet, elle correspond pour l'essentiel à une calcification des feldspaths, surtout les plagioclases qui ont été en majorité détruits et remplacés. Les cristaux de carbonate sont souvent automorphes à subautomorphes et présentent généralement un clivage fin, formant très souvent un quadrillage losangique et/ou polysynthétique ;
- **la chloritisation** se manifeste au dépend des minéraux ferromagnésiens (pyroxène, amphibole et biotite). Elle se développe

préférentiellement dans les métagabbros, les métasédiments et les métaandésites. Elle présente le même habitus que les minéraux ferromagnésiens dont elle provient, ou elle est remobilisée et disposée en amas fibreux souvent orientés dans la matrice de la roche encaissante et dans les plans de schistosité;



**Figure 5.** Aspects macroscopique et microscopique de l'altération hydrothermale.

A-B : Altération filonienne (veines et veinules de quartz); C à H : Altération pervasive. C : carbonatation ; D : Silicification ; E : Séricitisation ; F : Chloritisation ; G : Epidotisation ; H : Sulfuration

Vqz : Veine de quartz ; Sul : Sulfure ; Ser : Sericite ; Cal : Calcite ; Qtz : quartz ; Chl : Chlorite ; Ep : Epidote

- **la séricitisation** est un processus conduisant à la formation de minéraux de séricite à partir de la déstabilisation de certains minéraux (globalement les feldspaths) de la roche encaissante. La séricite, de couleur pâle, légèrement jaunâtre à brunâtre, est retrouvée en petits cristaux, souvent allongés parallèlement à la schistosité. Ce minéral d'altération est observé dans les métarhyolites, les métasédiments et les métagabbros;
- **l'épidotisation** est très marquée dans les métagabbros et les métarhyolites. Elle est marquée par le remplacement des plagioclases lors de l'hydratation des roches par l'épidote qui est un produit de l'altération hydrothermale. Il correspond également à une déstabilisation des cristaux d'amphibole et de pyroxène ;
- **la silicification** est l'altération la plus dominante du prospect de Woulo-Woulo. Dans les unités lithologiques les plus compétentes à la déformation (comme les métarhyolites), la silicification se fait principalement sous forme de veines et veinules. C'est un phénomène d'addition de quartz secondaire. La silice cristallise dans les fractures et les fissures laissées dans les roches par le jeu de la tectonique;
- **la sulfudation** est le processus de formation des sulfures. Elle correspond au processus d'accumulation de sulfures dans les encaissants. Les sulfures, le plus souvent la pyrite (cristaux millimétriques), sont beaucoup développées dans les métarhyolites, les métagabbros et les métasédiments.

#### 4.3. Minéralisation

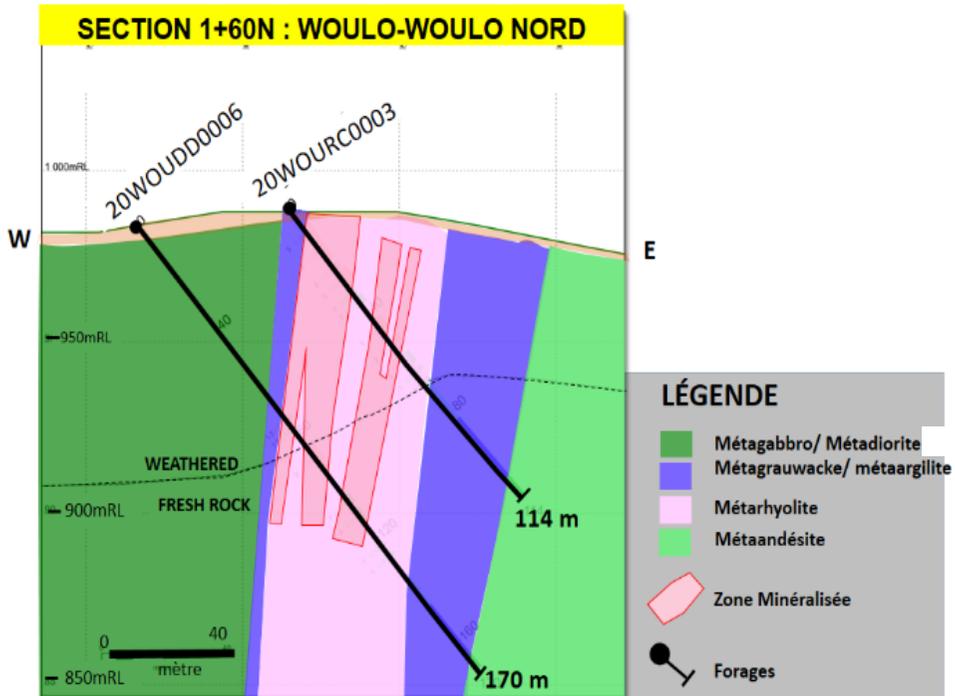
- Encaissant de la minéralisation

Le prospect de Woulo-Woulo est constitué de métasédiments (métagrauwackes et métaargilites), de métavolcanites (laves andésitiques et brèches), de filons acides (métarhyolites porphyriques) et d'intrusifs mafiques (métagabbros). Les fortes valeurs d'or lors des campagnes de géochimie sol, de tranchées et de sondages (RC et DD) se répartissent principalement dans la métarhyolite. Ainsi, la corrélation des données de sondage montre que la métarhyolite porphyrique est la lithologie porteuse de la minéralisation du prospect (**Figures 6, 7 et 8**).

- **Minéralisation et déformation**

Les anomalies majeures sont encadrées par un couloir de cisaillement d'orientation N-S à NNE-SSO. Toutefois, il existe deux générations de veine de quartz à faible pendage (N-S à NNE-SSO et NE-SO) recoupées par des veines tardives orientées NO-SE en un cisaillement dextre. Ce couloir affecte tout le prospect mais à différentes proportions. La déformation est très importante dans la métarhyolite. L'analyse structurale sur les carottes de

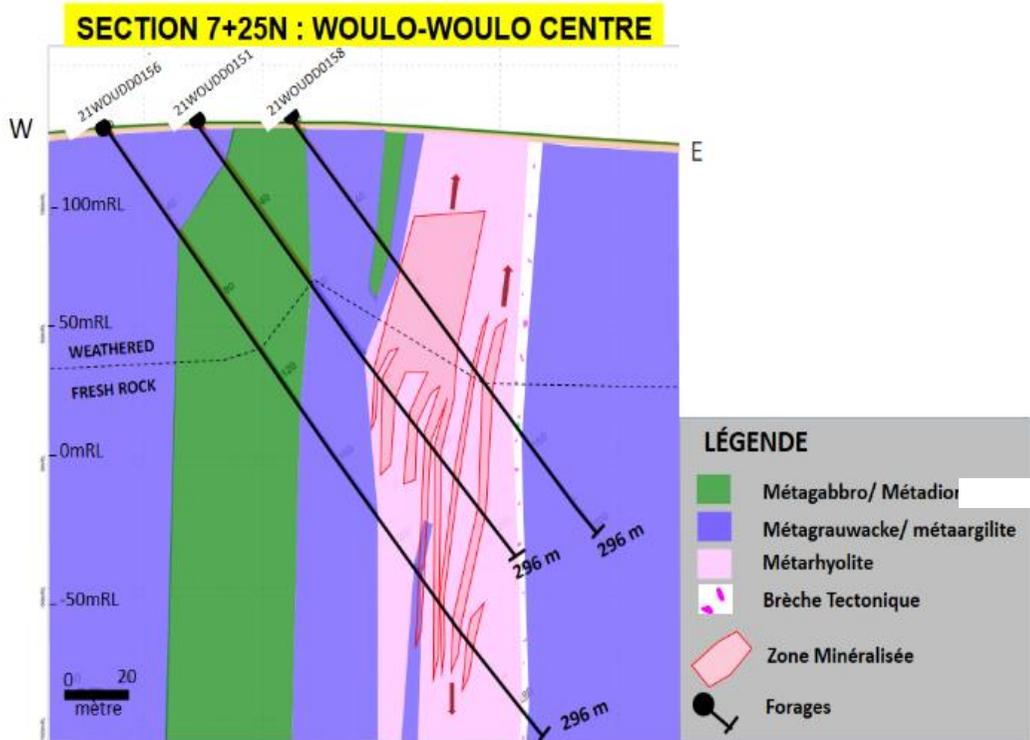
sondages montre la présence de veines et veinules de quartz associées à des sulfures, localisées dans des fractures ouvertes et la zone de cisaillement (**Figure 9**). Les intervalles de sondage montrant les plus fortes teneurs en or sont liés aux zones à déformation intense. En effet, la minéralisation est observée dans les veinules et aux épontes des veines de quartz.



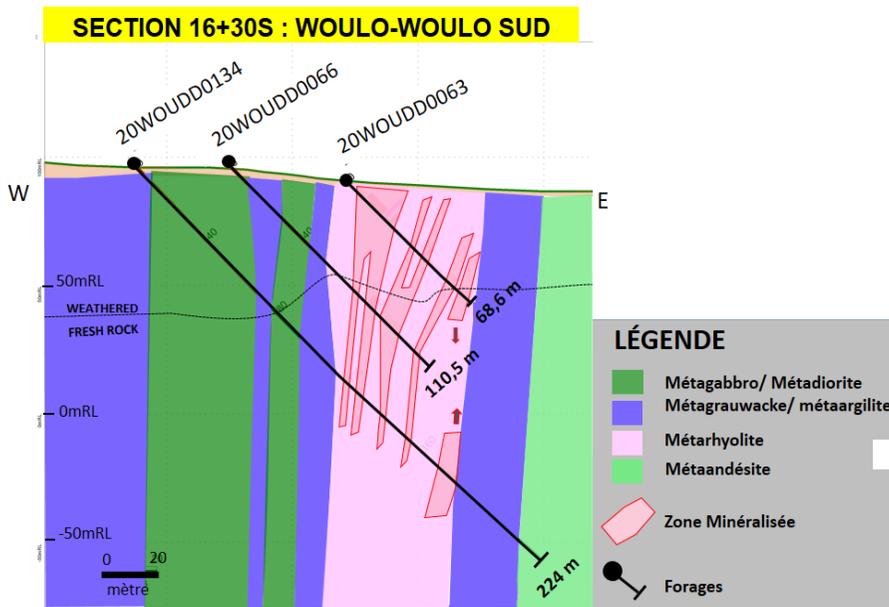
**Figure 6.** Coupe transversale représentative du prospect de Woulo-Woulo Nord montrant la relation entre les lithologies, la minéralisation et la limite de l'altération supergène

- **Minéralisation et altération hydrothermale**

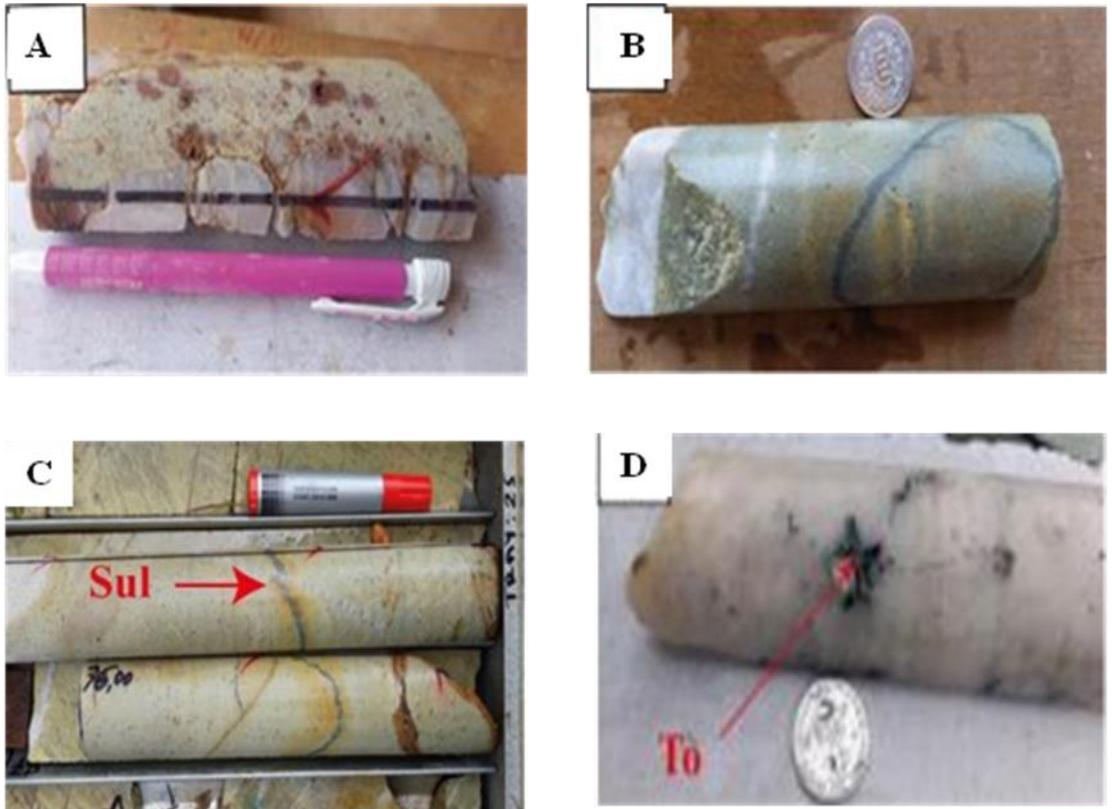
Les différentes lithologies du prospect sont affectées par l'altération hydrothermale. Cette altération est marquée par un important système de veines et veinules de quartz, carbonates (calcite  $\pm$  dolomie),  $\pm$  sulfures ;  $\pm$  tourmaline. Cela a induit une altération pervasive due à une circulation de fluide hydrothermal. De plus, les observations microscopiques montrent des associations quartz + carbonates + pyrite  $\pm$  séricite  $\pm$  épidote (**Figure 10**). Ces associations minérales mettent en relief respectivement une altération phyllique ou séricitique et une altération propylitique sur le prospect. La minéralisation est intimement liée aux veines et veinules de quartz, de carbonates (calcite  $\pm$  dolomie)  $\pm$  sulfures, portées par la métarhyolite. Elle est donc liée aux veines et veinules hydrothermales.



**Figure 7.** Coupe transversale représentative du prospect de Woulo-Woulo Centre montrant la relation entre les lithologies, la minéralisation et la limite de l'altération supergène.



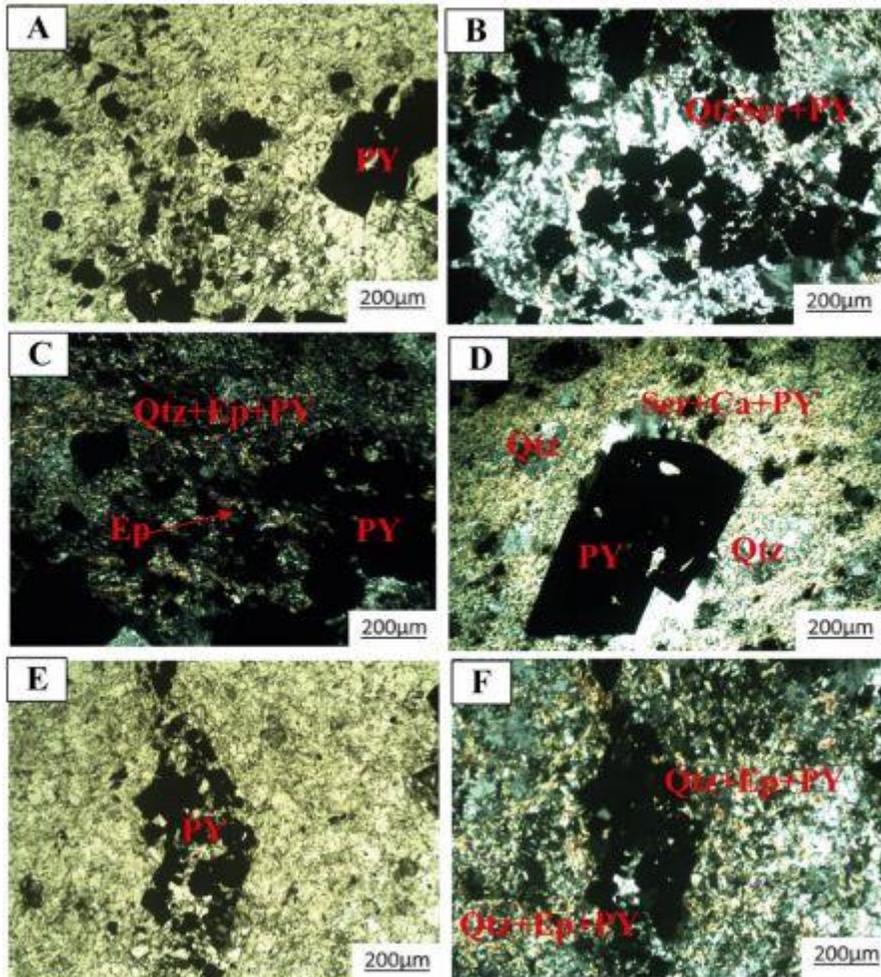
**Figure 8.** Coupe transversale représentative du prospect de Woulo-Woulo Sud montrant la relation entre les lithologies, la minéralisation et la limite de l'altération supergène



**Figure 9.** Aspect macroscopique des veines et veinules de quartz, calcite et sulfures dans la métarhyolite porphyrique. A : veine de quartz fracturée ; B : veinules de quartz-sulfures ; C : veine de quartz-carbonates ± sulfures ; D : veines de quartz-calcite ± tourmaline. Vqz : Veine de quartz ; Sul : Sulfure ; To : Tourmaline.

- **Paragenèse métallifère**

Les événements tectoniques post-magmatiques qui ont affecté les formations du prospect de Woulo-Woulo sont accompagnés de circulation de fluides minéralisateurs avec dépôt de silice et de carbonates, ainsi que le développement d'une paragenèse minérale sulfurée et de l'or natif. La paragenèse métallifère est constituée de pyrite (sulfure principal), blende ou sphalérite et or natif (**Figure 11**). La pyrite de forme cubique, de couleur jaune clair, est la phase sulfurée la plus dominante. Elle constitue environ 90% des sulfures présents et est parfois craquelée. La blende ou sphalérite est subautomorphe, grise, de taille inférieure à la pyrite. Elle se présente à la périphérie et souvent dans les microfractures des cristaux de pyrite. L'or natif est jaune à jaune pâle avec un éclat vif, de forme variée et de petite taille. Il a été observé dans les microfractures des cristaux de pyrite.



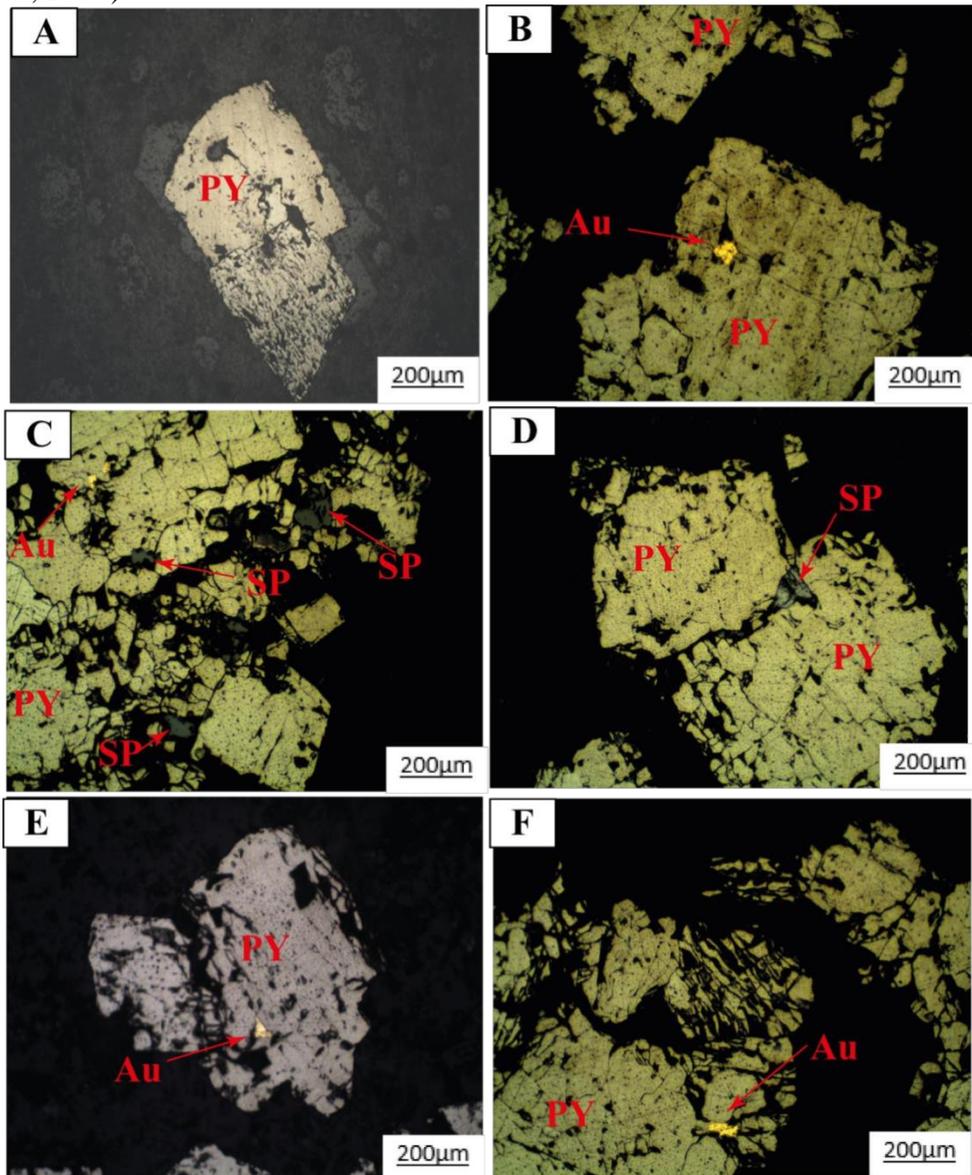
**Figure 10** : Associations minéralogiques liées à la minéralisation. A ; B et D : altération phyllique ; C, E et F : altération propylitique. PY : Pyrite ; Qtz : Quartz ; Ser : Séricite ; Ca : Calcite ; Ep : Epidote.

## 5. Discussion

### 5.1. Existe-t-il un contrôle lithologique à Woulo-Woulo ?

Les lithologies rencontrées sur le prospect de Woulo-Woulo sont les métasédiments (métagrauwackes et métaargilites), les laves volcaniques (métaandésites), les volcanoclastites (brèches rhyolitiques), les filons acides (métarhyolites porphyriques) et les intrusifs mafiques (métagabbros). La minéralisation aurifère a été observée dans la plupart de ces formations. Cependant, elle est encaissée préférentiellement dans l'intrusion de métarhyolite porphyrique, dans laquelle on retrouve les fortes teneurs en or. Dans l'encaissant minéralisé, en plus des veines hydrothermales, l'on constate une importante carbonatation, silicification, séricitisation et une sulfuration. Tout

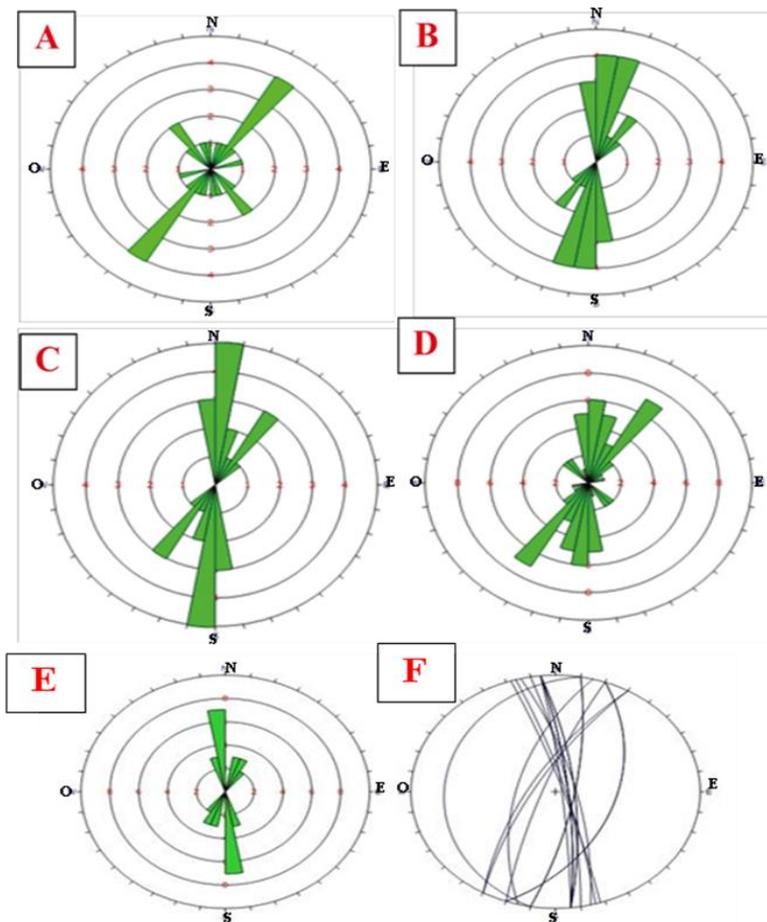
comme à Woulo-Woulo, la minéralisation du gisement de Hermann, situé au SO du prospect, est liée à des roches volcaniques acide de type rhyolite. Ce type de minéralisation a déjà été évoqué dans la plupart des gisements du birimiens de la Côte d'Ivoire (Aféma: Assié, 2008; Kadio *et al.*, 2010; Angovia: Coulibaly *et al.*, 2008; Bonikro: Gnanzou, 2006; Tongon: Coulibaly *et al.*, 2008) et d'Afrique de l'Ouest (Milési *et al.*, 1989; 1992; Oberthür *et al.*, 1997).



**Figure 11.** Aspect microscopique de la paragenèse métallifère. A : pyrite disséminé dans la roche ; B, C, D, E et F : pyrite en amas dans les veinules. PY : Pyrite ; SP : sphalérite ; Au : Or.

## 5.2. La minéralisation à Woulo-Woulo présente-t-elle un contrôle structural ?

Les anomalies majeures sont encadrées par un couloir de cisaillement d'orientation N-S à NNE-SSO (**Figure 12**). La déformation est très importante dans la métarhyolite porphyrique. Les intervalles de sondages montrant les plus fortes teneurs en or sont liés aux zones à déformation intense dans la métarhyolite porphyrique. En effet, la minéralisation est observée dans les veinules et aux épontes des veines de quartz. Ainsi, la minéralisation de Woulo-Woulo est contrôlée par la tectonique, malgré le fait d'avoir parfois une minéralisation disséminée pouvant faire penser à un type syngénétique.



**Figure 12.** Rosaces directionnelles et stéréogramme des veines et veinule de quartz et de la schistosité de Woulo-Woulo

A : Rosace directionnelle des veines de quartz de Woulo-Woulo nord ; B : Rosace directionnelle des veines de Woulo-Woulo centre ; C : Rosace directionnelle des veines de Woulo-Woulo Sud, D : Rosace directionnelle de Woulo-Woulo (nord+centre+sud) ; E : Rosace et stéréogramme de la schistosité.

C'est une minéralisation de type filonien associée à des veines et veinules hydrothermales de quartz, carbonates (calcite  $\pm$  dolomie)  $\pm$  sulfure  $\pm$  tourmaline, donc épigénétique. L'orientation N-S à NNE-SSO des veines et veinules minéralisées est conforme à celle des gisements de Jonction, Anuiri et Hermann (Assié, 2008 ; Kramo *et al.*, 2008). Ce contrôle structural de la minéralisation aurifère a également été reconnu sur la distribution des minéralisations aurifères en Côte d'Ivoire : à Agbahou (Houssou, 2013), à Bobosso (Gnanzou, 2014), à Bonikro (Ouattara, 2015) et à Dougbafla-Bandama (Ouattara *et al.*, 2017, Ouattara, 2018) ; au Ghana : (Ashanti, Konongo, Bogosu, Prestea et Abawso) (Oberthür *et al.*, 1996, 1997 ; Wille et Klemd, 2004) ; au Mali : (Boutonnière de Kedougou-Kenieba) (Lawrence *et al.* 2016, Masurel *et al.*, 2016) ; au Sénégal : dans les shear-zones aurifères de Sabodala (Sylla et N'Gom, 1997) ; au Burkina Faso : (Taparko et de Diabatou) (Bourges *et al.*, 1998, Milési *et al.*, 1989 et 1992, Klemd *et al.*, 1997). Cela montre une corrélation parfaite entre la minéralisation de Woulo-Woulo et les autres minéralisations du Birimien en Afrique de l'ouest.

### **5.3. Quelles sont les altérations associées à la minéralisation de Woulo-Woulo et sa paragenèse métallifère ?**

Dans l'encaissant minéralisé, en plus des veines hydrothermales, l'on constate une importante carbonatation, silicification et séricitisation. Ces altérations sont associées à plusieurs minéralisations dans le Birimien en Côte d'Ivoire dont Tongon (Randgold, 2001), Angovia (Coulibaly *et al.*, 2008), Aféma (Assié, 2008 ; Kadio *et al.*, 2010), Agbahou (Houssou, 2013), Dougbafla-Bandama (Ouattara *et al.*, 2015), Tondabo (Daï Bi *et al.*, 2020) et ailleurs en Afrique de l'Ouest (Milési *et al.*, 1989 et 1992), au Canada dans la mine Sigma (Robert *et al.*, 1983), notamment au Mali, dans la mine de Kalana (Sangaré *et al.*, 2014). L'or à Woulo-Woulo est invisible à l'œil nu, même dans les sections de forage présentant les plus fortes teneurs, tout comme à Bobosso (Gnanzou, 2014). Cependant, des cristaux d'or natif ont été observés au microscope métallographique dans les microfractures des cristaux de pyrite. La paragenèse métallifère est composée essentiellement de pyrite (très abondante), de sphalérite et d'or natif. Cette paragenèse avec une abondance de la pyrite a été évoquée dans la zone d'Aféma par Assié (2008) et ailleurs par Houssou (2013) à Agbahou, Gnanzou (2014) à Bobosso, Ouattara (2015) à Bonikro et Dai Bi (2021) à Tondabo. Toutefois, la paragenèse métallifère du prospect de Woulo-Woulo se différencie de celles d'Agbahou, de Bonikro et Dougbafla-Bandama par l'absence d'arsénopyrite et de molybdénite.

## Conclusion

Le prospect de Woulo-Woulo est constitué de métasédiments (métagrauwackes et métaargilites), de métavolcanites (laves andésitiques et brèches) de filons acides (métarhyolites porphyriques) et d'intrusifs mafiques (métagabbros). La minéralisation aurifère de Woulo-Woulo est encaissée dans la métarhyolite porphyrique déformée et hydrothermalisée. C'est une minéralisation de type filonien constituée de veines et veinules de quartz et carbonates (calcite  $\pm$  dolomie)  $\pm$  sulfures  $\pm$  tourmaline, donc épigénétique. Quant à la paragenèse métallifère, elle est essentiellement formée de pyrite (sulfure principal), blende ou sphalérite et or. L'or natif a été observé dans les microfractures des cristaux de pyrite. La minéralisation du prospect de Woulo-Woulo est certainement contrôlée par la métarhyolite porphyrique, mais elle est également de type filonien, donc épigénétique. Cela est plausible car les zones non déformées, présentent de très faibles teneurs en or.

## References:

1. Abouchami W., Boher M., Michard A., Albarede F. (1990). A Major 2,1 Ga Event of Mafic Magmatism in West Africa: An Early Stage of Crustal Accretion. *J. Geophys. Res.*, 95 : 17605-17629.
2. Ama-Salah I., Liégeois, J.P. & Pouclet, A. (1996). Evolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba): géologie, géochronologie et géochimie. *Journal of African Earth Sci.*, 22: 235-254.
3. Assié K. E. (2008). 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.
4. Baratoux L., Metelka V., Naba S., Jessell M.W., Gregoire M. and Ganne J. (2011). Juvenile paleoproterozoic crust evolution during the eburnean orogeny (~2.2-2.0 Ga), western Burkina Faso. *Precambrian Res.* 191, 18-45.
5. Bessoles B., (1977). Géologie de l'Afrique. Le craton Ouest-africain. Mémoire BRGM., N°88, 402 p.
6. Boher M., Abouchami W., Michard A., Alberede F., Arndt N. (1992). Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. *Journal Geophysical Research* . 97, 345-369.
7. Bourges F., Debat P., Tollon F., Munoz M. and Ingles J. (1998). The geology of the Taparko gold deposit, birimian greenstone belt, Burkina Faso, West Africa. *Mineralium Deposita* 33, pp. 591-605.
8. Coulibaly Y., Boi Ron M.C., Cathelineau M. and Kouamelan A.N. (2008). Fluid immiscibility and gold deposition in the birimian quartz

- veins of the Angovia deposit (Yaouré, Ivory Coast). *Journal of African Earth Sciences* 50, pp. 234-254.
9. De Kock, G.S., Théveniaut, H., Botha, P.M.W. and Gyapong, W. (2012). Timing the structural events in the Paleoproterozoic Bolé-Nangodi belt terrane and adjacent Maluwe basin, West african craton, in central-west Ghana. *Journal of African Earth Sciences* 65: 1– 24.
  10. Daï Bi S. M., Ouattara G., Gnanzou A., Koffi G. B., and Coulibaly I. (2020). Metallotectonic context of the mineralization of the Tondabo gold prospect (brobo, center of côte d'ivoire, west africa) *international journal of geosciences*, 2020, 11, 325-344.
  11. Daï Bi S. M. (2021). Etude lithostructurale et géochimique des formations de la région de Brobo (Centre de la Côte d'Ivoire) : Aide à la compréhension de la minéralisation aurifère du prospect de Tondabo. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUET-BOIGNY de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). 211 p.
  12. Fabre R. (1985). Les effets tectoniques des décrochements N.S sénestres dans les volcaniques birimiennes de la région du Yaouré de la Côte d'Ivoire. *C.R. Acad. Sci., Paris, t. 300, Sér. II, N°19*, pp. 95-110.
  13. Feybesse J. L. (2001). Géométrie et cinématique des fractures contrôlant la mise en place des veines et veinules de quartz de la mine d'or d'Angovia (Yaouré, Côte d'Ivoire). *Compagnie Minière d'Afrique, Rapport interne, non publié.* pp. 94-100.
  14. Feybesse J.L., Billa M., Guerrot C., Duguey E., Lescuyer J.L., Milesi J.P. and Bouchot V. (2006). The Paleoproterozoic Ghanaian province: Geodynamic model and ore controls, including regional stress modeling. *Precambrian Research* 149, Issues 3-4, pp. 149-196.
  15. Gnanzou A. (2006). Etude lithostratigraphique de la région de Hiré dans le centre -sud de la Côte d'Ivoire (Permis de recherche PRA 37): Implication à la connaissance de la minéralisation aurifère. DEA, UFR-STRM, Univ. Cocody, 60 p.
  16. Gnanzou A. (2014). Etude des séries volcanosédimentaires de la région de Dabakala (Nord Est de la Côte d'Ivoire) : genèse et évolution magmatique. Contribution à la connaissance de la minéralisation aurifère de Bobosso dans la série de la Haute-Comoé. Thèse de Doctorat, Université Paris Sud Orsay, 229 p.
  17. Gold Farb R.J., André-Mayer A-S., Jowitt S.M. and Mudd G.M. (2017). West Africa: The World's premier paleoproterozoic gold province. *Society of Economic Geologists, Inc. Economic geology*, v. pp. 123 – 143.
  18. Hirdes W., Davis D.W., Lüdtké G. and Konan G. (1996). Two generations of birimian (Paleoproterozoic) volcanic belts in

- northeastern Côte d'Ivoire (West Africa): consequences for the Birimian controversy. *Precambrian Research* 80, pp. 173-191.
19. Houssou N. N. (2013). Etude pétrologique, structurale et métallogénique du gisement aurifère d'Agbahou, Divo, Côte d'Ivoire. Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, 177 p.
  20. Houssou N. N., Allialy M. E., Kouadio F. J. L-H. and Gnanzou A. (2017). Structural control of auriferous mineralization in the Birimian: case of the Agbahou deposit in the region of Divo, Côte d'Ivoire. *International Journal of Geoscience* 8, pp. 189 – 204.
  21. Husson B. (1998). Géologie et potentiel économique des permis PE-29, PRA-33, PRA-51 de SOMIAF et Eden Roc Côte d'Ivoire. Bernard Husson et Associés Ltée, Québec, document SOMIAF, Rapport vol. 1, 60 p.
  22. Kadio E., Coulibaly Y., Allialy M.E., Kouamelan A.N. and Pothin K.B.K. (2010). On the occurrence of gold mineralizations in southeastern Ivory Coast. *Journal of African Earth Sci.* 57, pp. 423–430.
  23. Klemm R., Oberthür T and Ouedraogo A. (1997). Gold telluride mineralization in the Birimian at Diabatou, Burkina Faso: the role of CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> fluids. *J. Afr. Earth Sci.* 24, pp.227-239.
  24. Kramo K. B. (2008). Mineralization and chemical characters of the Aféma shear zone gold mineralization, south-est of Ivory Coast: Example of Hermann mine. *European journal of Scientific Research*, No.1, .pp. 154-163.
  25. Lawrence D.M., Lambert-Smith J.S. & Treloar P.J. (2016). A review of gold mineralization of Mali. *Mineral Resource Reviews*, DOI 10.1007/978-3-319-31733 - 5\_13.
  26. Masurel Q., Thébaud N., Miller J., Ulrich S., Hein K.A.A., Cameron G., Béziat, D., Bruguier O. & Davis, J.A. (2016). Sadiola Hill: A World-Class Carbonate-Hosted Gold Deposit in Mali, West Africa. *Economic Geology*, v. 112, pp. 23-47.
  27. Milési J.P., Feybesse J.L., Ledru P., Dommangeat A., Ouédraogo M.F., Marcoux E., Prost A.E., Vinchon C., Sylvain J.P., Johan V., Tegye M., Calvez J.Y. and Lagny Ph. (1989). Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest. Leur évolution lithostructurale au Protérozoïque inférieur. *Chron. Rech. min.*, Fr., 497 : 3-98.
  28. Milesi J.P., Ledru P., Feybesse J.L., Dommangeat A. and Marcoux E. (1992). Early Proterozoic ore deposits and tectonics of the birimian orogenic belt, West Africa. *Precambrian Research* 58, Issues 1-4, pp. 305-344.
  29. Oberthür T., Schmidt M. A., Vetter U., Simon K. and Amanor J.A. (1996). Gold mineralization in the Ashanti belt of Ghana: genetic

- constraints of the stable isotope geochemistry. *Econ. Geol.*, (91), 2, pp. 289-301.
30. Oberthür T., Weiser T. and Amanor J.A. (1997). Mineralogical siting and distribution of gold in quartz veins and sulphide ores of the Ashanti mine and other deposits in the Ashanti belt of Ghana: genetic implications. *Mineralium Deposita*, 32, pp. 2-15.
  31. Ouattara A. S. (2018). Le gisement de Dougbafla-Bandama (Sud du sillon birimien de Fêttêkro, Oumé, Côte d'Ivoire) : Pétrographie, déformation, géochimie et métallogénie. Doctorat, Univ. Félix HOUPHOUET-BOIGNY, 252 p.
  32. Ouattara A. S, Coulibaly Y et Kouadio F. J-L. H. (2017). 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* October, Vol.13, No.30, pp. 108 - 122.
  33. Ouattara Z. (2015). Caractères lithostratigraphique, structural, géochimique et métallogénique du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien de Fêttêkro, centre-sud de la Côte d'Ivoire. Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny, 275 p.
  34. Ouattara Z., Coulibaly Y. and Boiron M.C. (2018). Lithostratigraphy of the Bonikro gold deposit: contribution to the setting of the birimian units in the southern Fêttêkro greenstone belt, Cote d'Ivoire. *Rev. Ramres*, Vol.06, N°01, pp. 6-14.
  35. Ouattara Z., Coulibaly Y., and Lieben F. (2015). Petrography of Bonikro Gold Deposit, Oume-Fettekro Greenstone Belt. Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 11 pp., 119-132.
  36. Peucat J.J., Capdevila R., Drareni A., Mahdjoub Y. and Kahoui M. (2005). The Eglab massif in the West African Craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt: petrology, geochemistry and geochronology. *Precambr. Res.* 136, 309–352.
  37. Pothin K. B. K., Adou K., Coulibaly Y., Assié E. K. et Kadio E. (2003). Contrôle géologique de la minéralisation aurifère dans le couloir de cisaillement de l'Afféma (région d'Aboisso, sud-est de la Côte d'Ivoire) : zone d'Anuiri. *Arica Geoscience Review* 10, n° 3, pp. 253-257.
  38. Pothin K. B. K., Assié K. E. et Kadio E. (2000). Etude du contextelithostratigraphique et de la minéralisation aurifère de la région de l'Afféma (sud-est de la Côte d'Ivoire) à partir des échantillons de sondage carotté. *Bioterre, Revue Internationale Sciences de la Vie et de la Terre* 1, n°1 :pp. 22-35.
  39. Randgold Resources Ltd (2001). Permis de Niellé. Rapport final, 90 p.

40. Robert F., Brown A. C. and Audet A. J. (1983) - Structural control of gold mineralization at the Sigma Mine, Val d'Or, Quebec. Bull. Can. Inst. Min. Metall. 76, p. 72-80.
41. Sangaré A., Driouch Y., Salvi S., Féménias O., Siebenaller L., Belkasmi M., Béziat D., Dahire M., Ntarmouchant A., Adil S. et Debat P. (2014). Géologie des minéralisations aurifères du gisement tardi-éburnéen de Kalana (Birimien, sud-ouest du Mali) Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 2014, n° 36, 85–108.
42. Sylla M., Ngom P. M. (1997). Le gisement d'or de Sabodala (Sénégal oriental): une Minéralisation filonienne d'origine hydrothermale remobilisée par une tectonique cisailante. J. of Afr. Earth Sces, 25, No. 2: 183-192.
43. Teranga G. C. (2019): Rapport technique. Évaluation technique du projet AFEMA. Avril 2019.
44. Tourigny G. (1998). Analyse structurale de la zone tectonique d'Aféma et son application à la recherche de gisements aurifères : Permis d'exploitation PE-29, Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest. Géoteck exploration, 56 p.
45. Watts G. et Macouat. (1995). Compte rendu de la vérification des réserves de minerai et des travaux d'exploration en cours : projet aurifère d'Aféma, Côte d'Ivoire, Document SOMIAF, 82 p.
46. Wille S. E. and Klemd R. (2004). Fluid inclusion studies of the Abawso gold prospect, near the Ashanti Belt, Ghana. Mineralium Deposita, 39, pp. 31-45.
47. World Gold Analyst. (2010). Special report on West Africa, GFMS World Gold Ltd, 148 p.