

## **Caractérisations structurales des gîtes aurifères du corridor de Bouboulou-Bouda au Burkina Faso, Afrique de l'Ouest**

**Aziz OUEDRAOGO<sup>1</sup>, Ousmane BAMBA<sup>1</sup>, Gbélé OUATTARA<sup>2\*</sup>,  
Eric GAMPINE<sup>1</sup> et Saga SAWADOGO<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Université de Ouagadougou, Laboratoire des Géoressources et de l'Environnement (LAGREN), Département des Sciences de la Terre, 09 BP 848 Ouagadougou 09, Burkina Faso*

<sup>2</sup> *Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny de Yamoussoukro, Laboratoire de Génie Civil, Géosciences et Sciences Géographiques, Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*

---

\* Correspondance, courriel : [gbele.ouattara@yahoo.fr](mailto:gbele.ouattara@yahoo.fr)

### **Résumé**

Le corridor de Bouboulou-Bouda est situé au Nord-Ouest du Burkina Faso et fait partie intégrante de la ceinture birimienne de Boromo-Goren. Elle comprend plusieurs sites d'orpaillage et recèle plusieurs indices et gîtes de minéralisations aurifères. Les objectifs globaux de la présente étude sont de contribuer à une meilleure connaissance de cette portion du sillon à travers la caractérisation du contexte lithostructural, la compréhension de la répartition spatiale des sites d'or et la définition du mode et de la chronologie des dépôts. Pour atteindre les objectifs assignés, nous avons collecté des données pour la cartographie (levés géologiques), les SIG (données satellitaires et géophysiques) et sur la structurale de la zone d'étude, et procédé ensuite à : (i) l'analyse et l'interprétation des données géologiques (pétrographiques) ; (ii) l'analyse et l'interprétation des données d'imagerie géophysique et satellitaire ; (iii) surtout la description et l'analyse des éléments structuraux, assortis d'une esquisse de modélisation. De l'analyse et l'interprétation par SIG des levés géologiques, l'étude montre une variété d'unités dont des volcano-sédiments, des méta-volcanites, des intrusions felsiques et mafiques. L'ensemble est agencé suivant la structuration régionale NS à NE-SO.

Ces formations géologiques sont placées dans le couloir de cisaillement régional de Sabcé et sont affectées par une forte altération hydrothermale à laquelle se surimpose un fort manteau d'altération avec développement de cuirasses ferrugineuses de haut glacis, notamment dans la portion Sud de la zone d'étude. La minéralisation aurifère du corridor Bouboulou-Bouda est de type orogénique avec une forte empreinte structurale induisant une structuration régionale NE-SO et NO-SE et les structures N30° de la faille tardive de Bouboulou. L'ensemble se conçoit dans un contexte structural évolutif triphasé articulé sur trois phases de déformations majeures : (i) la première phase D1 développe une schistosité verticale à sub-verticale, une linéation d'étirement et une forte tension. Cette schistosité se conforme à la schistosité régionale NE-SO. Elle est de direction moyenne N45° / N75° et est porteuse d'une minéralisation aurifère répartie le long des couloirs mylonitiques NE-SO ; (ii) la seconde phase de déformation D2 correspond au développement d'une schistosité de fracture et des fractures transversales horizontales, à l'intérieur des couloirs de cisaillement ductile à ductile-cassant orientés NO-SE. La jonction entre ces deux couloirs NE-SO et NO-SE est favorable à la mise en place de filons de quartz aurifères de type orogénique ; (iii) la troisième phase est celle du

fonctionnement de la faille tardive de Bouboulou et de la mise en place du granite circonscrit de Douré ; ce qui entraîne une restructuration de la minéralisation aurifère le long de l'axe N30° de la faille qui vient perturber le cisaillement en place et réactiver les fluides minéralisateurs, notamment par le truchement de l'intrusif.

**Mots-clés :** *birimien, couloir de cisaillement, contrôle structural, gîte orogénique, Burkina Faso, Afrique de l'Ouest.*

## **Abstract**

### **Structural characterizations of the gold-bearing of the Bouboulou-Bouda corridor in Burkina Faso, West Africa**

The Bouboulou-Bouda shear zone is situated in the northwest of Burkina Faso in the Boromo-Goren birimian greenbelt. It includes several gold mining sites and has several occurrences of gold mineralization. The objective of this study is to contribute to the understanding of the lithostructural context, the spatial distribution of gold, the mode and timing of deposits. We collected data for geological mapping, GIS (remote sensing and geophysical data) and structural data of the study area, and then proceed to : (i) the analysis and interpretation of geological data (petrographic); (ii) the analysis and interpretation of geophysical data and remote sensing imagery; (iii) the description and analysis of structural elements, completed by a modeling outline. From the analysis and interpretation of GIS and geological surveys, the study shows a variety of units including volcano-sediments, meta-volcanics, felsic and mafic intrusions. All this is organized according to the regional structuration in NS to NE-SW direction. These formations are placed in the regional shear corridor of Sabcé and are affected by a strong hydrothermal alteration which is superimposed to a strong lateritic alteration.

The gold mineralization of Bouboulou-Bouda shear zone is an orogenic type with a strong structural footprint inducing regional NE-SW and NW-SE structures and late N30° faults of Bouboulou. Three major phases of deformations is observed : (i) the first phase D1 develops a sub-vertical to vertical penetrative foliation and a stretching lineation. This foliation is parallel to the regional NE-SW foliation. Its average direction is N45° / N75° and carries gold mineralization distributed along the mylonitic NE-SW shear zone; (ii) the second of the deformation D2 corresponds to the development of a strike slip faults and horizontal transverse fractures within the ductile to ductile-brittle deformations. The junction between these two shear zones (NE-SW and NW-SE) hosts the formation of auriferous orogenic quartz veins; (iii) the third of the deformation is the late fault of Bouboulou and the intrusion of Doure granite; which leads shearing of previous deformations and affected mineralization which that restructured along the N30° direction of the fault, and disrupts the shearing and the re-mineralizing fluids, through the intrusion.

**Keywords :** *birimian, shear zone, structural control, orogenic ore deposit, Burkina Faso, West Africa.*

## **1. Introduction**

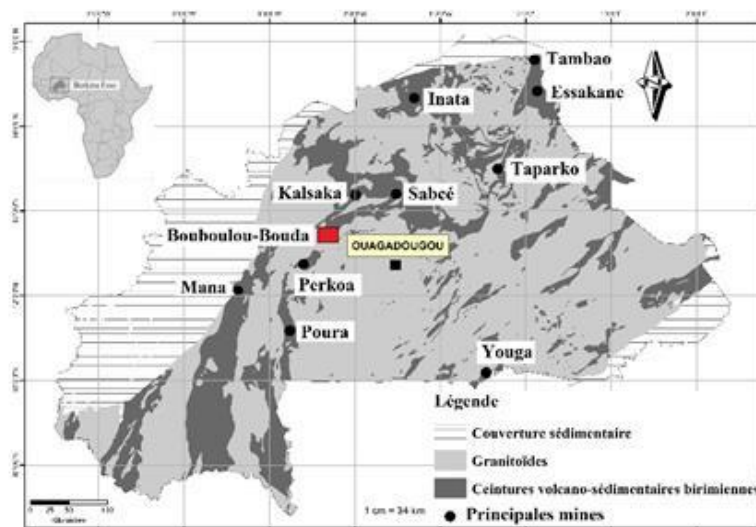
Le district aurifère de Bouboulou-Bouda est caractérisé par l'édification des formations volcaniques de laves de nature tholéiitique [1 - 3] qui évolue vers un pôle alcalin et intercalées par des successions de formations volcano-sédimentaires de nature pyroclastique à pélitique ou chimique, dont l'âge s'étale sur une large période, entre 2,2 et 2,0 Ga [4 - 7]. Cet ensemble de volcanites et de volcano-sédiments dans le secteur de Bouboulou-Bouda est schistosé et plissé de part et d'autre des formations plutoniques syn-tectoniques

calco-alcalines d'orientation générale NE-SO et par des plutons de granitoïdes post-tectoniques subcirculaires. Les plutons tardifs induisent une forte réorientation de la schistosité régionale et des structures transcurantes décrochantes senestres incluses dans le corridor de Sabcé et qui ont fonctionné pendant les phases de raccourcissement régionales initiées à partir de 2150 Ma [8 - 10]. La typologie des minéralisations définie par [11, 12] classe la majorité des gîtes du Burkina Faso dans le type V, c'est-à-dire à filons de quartz associés aux zones de cisaillement. L'objet principal de la présente étude est de contribuer à l'amélioration des paradigmes sur la typologie des gîtes aurifères du Burkina Faso. Il s'agit de caractériser le cadre structural afin de mieux cerner les contrôles structuraux des gîtes aurifères du corridor de Bouboulou-Bouda. Pour atteindre les objectifs assignés, les moyens mis en œuvre partent d'observations pétro-structurales de terrain, suivies d'interprétations morphologique, pétrographique, pétro-structurale et pétro-physique assorties de traitements opérés à partir de levés géophysiques aéroportées et d'images satellitaires.

## 2. Zone d'étude

### 2-1. Localisation et description des sites

La zone d'étude est située à 90 km au Nord-Ouest de Ouagadougou (*Figure 1*). Les gîtes aurifères de Bouda-Bouboulou sont situés dans la partie médiane du sillon volcano-sédimentaire de Boromo-Goren et plus précisément dans la portion de Yako-Réo. Le corridor de Bouda-Bouboulou est caractérisé par cinq gros sites d'orpaillage parfaitement alignés sur une distance d'environ 10 km dans la direction N045° (*Figure 2*). Du sud au nord, ces sites comprennent : i) le site de Koala qui est un alignement de puits profonds de plus de 50 m par endroits dans la saprolite ; ii) le site de Rawema qui est marqué par un grattage intensif remaniant les éluvions de décuirassement et couvrant une superficie de 0,86 km<sup>2</sup> ; iii) le site de Peltanga qui est caractérisé par un grattage et des puits peu profonds et couvrant une superficie de 0,48 km<sup>2</sup> ; iv) le site de Bouda caractérisé par des puits profonds de plus de 80 mètres couvrant une superficie de 0,34 km<sup>2</sup> ; v) le site de Nagséné qui comprend des puits profonds, et qui couvre une superficie de 0,1 km<sup>2</sup>. Tous ces sites ont fourni d'excellents rendements à l'orpaillage. Ces résultats sont reflétés en profondeur par les interceptes de sondages réalisés par les compagnies minières ayant travaillé à Bouda et Nagséné [1, 12], et sur les sites de Rawema et Peltanga [2, 3].



**Figure 1 :** Carte de localisation de la zone d'étude sur fond géologique du Burkina Faso

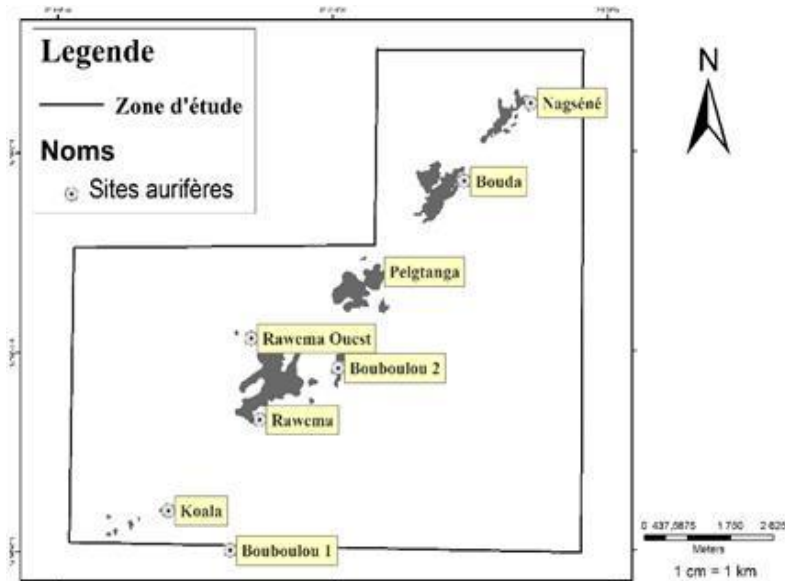


Figure 2 : Carte de disposition spatiale des sites d'orpaillage du couloir de Bouboulou-Bouda

## 2-2. Lithologie du corridor Bouboulou-Bouda

La géologie de la zone d'étude est principalement constituée par les lanières NE-SO de roches volcano-sédimentaires dans lesquelles se trouvent localement des unités volcaniques. Ces volcano-sédiments sont dilacérés et plissés par les batholites de granitoïdes syn-tectoniques présentant une orientation générale NE-SO (*Figure 3*). Au centre, prend corps un massif de granite tardif à morphologie circulaire rendant compte d'une mise en place post-tectonique. Ces volcano-sédiments et ces granitoïdes sont recoupés par des dykes de dolérites E-O dans la partie septentrionale.

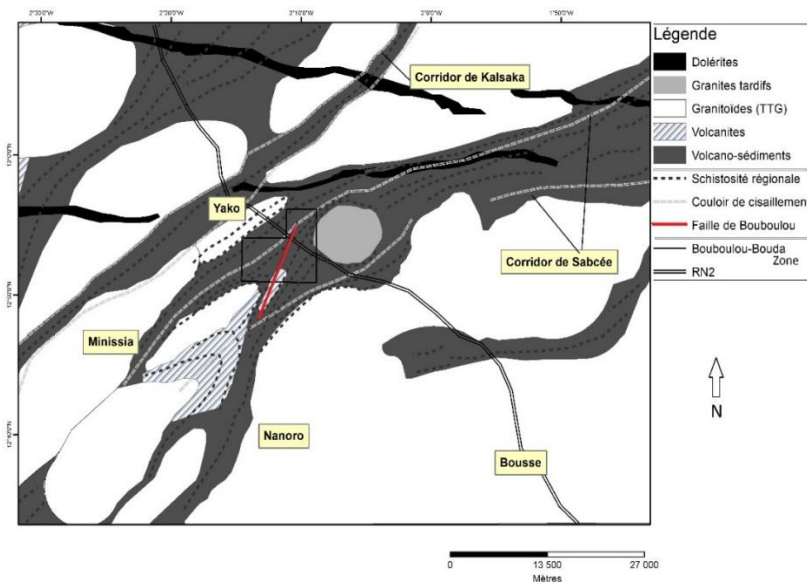


Figure 3 : Carte géologique de la partie centrale de la ceinture de Boromo-Goren, modifiée d'après [9]

Les principales lithologies se subdivisent en de formations laviques, l'alternance de métasédiments et de volcanosédiments, et des intrusifs (*Figure 3*).

### **2-2-1. Les formations laviques**

- les basaltes qui se présentent sous forme de lentilles et de lanières (**Figure 4A**) souvent allongés et intercalés avec les sédiments schisteux tufacés. Le basalte est d'aspect cousiné, fracturé et hydrothermalisé en général avec développement de : épidote, chlorite, calcite, silice, actinote, albite et oxydes de fer et/ou titane ;
- les andésites qui sont associées aux basaltes, sont en générale massives et sont également plus ou moins affectées par l'hydrothermalisme à l'instar des basaltes (**Figure 4B**), elles montrent une abondance de plagioclase altéré (séricitisation, chloritisation) ;
- les rhyolites et les rhyodacites sont massives, leucocrates à mésocrates et sont d'extension plus réduite que les basaltes et les andésites. On distingue de faciès de tuf ou de lave plus ou moins porphyriques à petits cristaux de quartz et feldspath et amphibole parfois abondante.

### **2-2-2. Les volcanosédiments et métasédiments**

Ils sont le plus souvent altérés et sont marqués par la schistosité régionale (**Figure 4D**). On distingue :

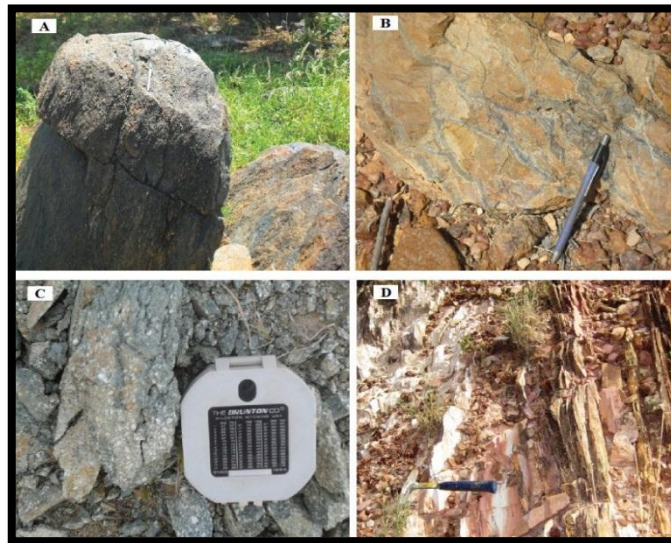
- les tufs intermédiaires altérés de couleur pourpre à violacée à cause de l'altération supergène avec des points de sulfures oxydés (cubes de pyrite) ;
- les tufs acides de couleur blanchâtre (kaolinisation) en surface, montrent en profondeur un aspect lité et des teintes gris-blanc, gris-vert à vert clair. Ils portent des veinules de quartz blanc et massif ; boudinées, atteignant souvent 20 cm d'épaisseur. Ces tufs sont parfois riches en pyrites disséminées ;
- les tufs manganésifères sont marqués par une forte hydrothermalisation accompagnée d'importantes silicification, sulfidation (pyrites disséminées ou massives sous forme de veinules millimétriques à centimétriques) et graphitisation ;
- les tufs andésitiques comportant des veinules millimétriques de quartz. Ces tufs sont kaolinisés ;
- les métasédiments de couleur gris-vert et jaunâtre dû à l'altération supergène, excèdent rarement la dizaine de mètres de puissance et apparaissent en position intercalaire dans les tufs andésitiques ou acides. Principalement fins (argilites), ils passent par endroits à des termes plus grossiers à quartz ovoïde et renferment des niveaux chertoux centimétriques.

### **2-2-3. Les formations intrusives comprennent**

- le granite à biotite et le granite porphyroïde à biotite, étroitement associés et couvrent relativement de grandes surfaces (**Figure 3**). En dehors des couloirs de déformation peu fréquents en leur sein, leur texture est généralement équante à légèrement orientée (fabrique magmatique). Le faciès porphyroïde se distingue par la présence de phénocristaux de feldspath potassique parfois très abondants et atteignant 2 à 3 cm ;
- le granite tardif est alcalin et post-tectonique. La roche est claire à mésocrate et présente une texture équante à grains moyen-grossier, porphyroïde ou non. Cette roche contient beaucoup de feldspaths alcalins, du quartz et des minéraux ferromagnésiens alcalins (sodiques) : amphiboles et pyroxènes ;
- le gabbro et la diorite affleurent en massifs de dimensions très variables, de teinte vert sombre, à grain fin à moyen, rarement grossier. Les faciès sont généralement déformés (**Figure 4C**), la minéralogie principale consiste en plagioclases plus ou moins altéré, parfois pyroxènes préservés, amphibole, chlorite et oxydes de ferro-titanés ;



- les dykes constituent principalement un système de dolérites affleurant fréquemment sous forme de boules massives de teinte sombre et de grain fin à moyen de plagioclases, pyroxènes, amphiboles, olivine, biotite et oxydes de fer et/ou titane.



**Figure 4 :** *A : Affleurement de basalte sous forme de bloc allongé, le faciès est très déformé, fracturé et hydrothermalisé ; B : Faciès volcanique andésitique hydrothermalisé, parcouru par des veinules de quartz-carbonate (calcite) ; C : Diorite quartzifère porphyrique (phénocristaux de feldspaths moyen à grossier ; D : Affleurement de méta-sédiment, schistes pélitiques*

### 3. Données et méthodes

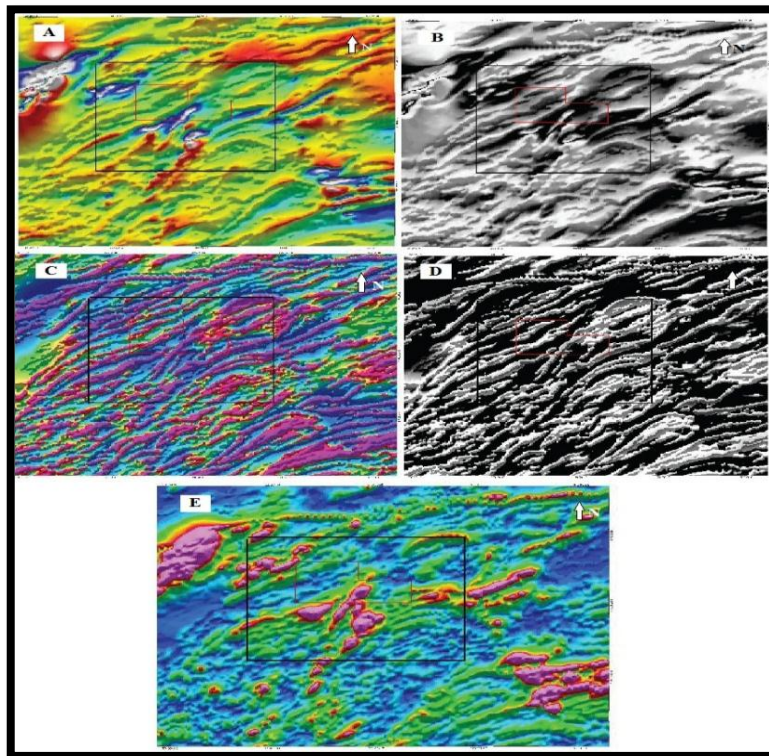
#### 3-1. Données géologiques et levés géologiques

Ont été utilisés, les travaux de cartographie des sociétés minières d'exploration géologique et les travaux de synthèses opérés à partir des bases de données nationales SNIST (Système National d'Information sur les Sciences de la Terre), SNIE (Système National d'Information sur l'Environnement) et BDSME (Base de Données Sectorielle sur les Mines et l'Environnement). Ces données ont été compilées au BUMIGEB (Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina). Ces bases multisectorielles et géoréférencées ont permis d'identifier et de sélectionner les sites à caractériser. Ces sites sélectionnés sont pour la plupart centrés sur une anomalie de géochimie sol. Les cartes factuelles et les caractérisations structurales réalisées sur la base de 131 points d'observations et de 231 points d'observations du projet SYSMIN (System for Mineral Products), permettent à ce jour d'identification des lanières de ceintures volcano-sédimentaires dilacérées par des plutons granitiques variés (diorite quartzifère, TTG, granite tardif) et des formations hypovolcaniques et de microgabbros.

#### 3-2. Données satellitaires et géophysiques

Les données géophysiques disponibles sont des cartes magnétiques issues de la campagne de levé géophysique de la Compagnie Générale de Géophysique pour le compte du projet SYSMIN 1998-1999. Ce levé aéroporté avait comme spécifications techniques : des lignes de vol orientées NO-SE avec 500 m et 1000 m d'espacement, une altitude de vol de 100m garde au sol et un espacement de traverses de 10.000 m. Elles ont été corrigées par I.G.R.F (International Geomagnetic Reference Fields) et présentées en sous forme de grille de 125 m et 250 m de résolution spatiale et traitées par la méthode de réduction au pôle. Les filtres

géophysiques (champ magnétique total, signale analytique et la 1<sup>ère</sup> dérivée verticale : **(Figure 5)** obtenus du traitement de ces données magnétiques ainsi que les images satellitaires Landsat Thematic Mapper (LTM) Geocover 2000, ont été mis en relation par la méthode de superposition de couches. L'avantage de cette méthode intégrant les observations directes, est d'identifier les linéaments géophysiques définis sur une couverture géophysique uniforme, indépendante de la topographie et permettant de distinguer les structures superficielles et profondes de la croûte. Le problème de l'interprétation des linéaments visuels est résolu par l'indentification des marqueurs cinématiques et structuraux sur le terrain.



**Figure 5 :** *Images géophysiques couvrant les zones aurifères de Bouboulou-Bouda*  
*A/B : TMI couleur et ombrée, C/D : 1DV couleur et ombrée, E : Signal analytique ; TMI : Total Magnetic Intensity (fluctuations spatiales de l'intensité du Champ magnétique total), 1DV : la 1ère dérivée verticale du champ magnétique mettant en exergue les hautes fréquences mesurées). Cadran noir : partie médiane du sillon de Boromo-Goren*

### 3-3. Données structurales

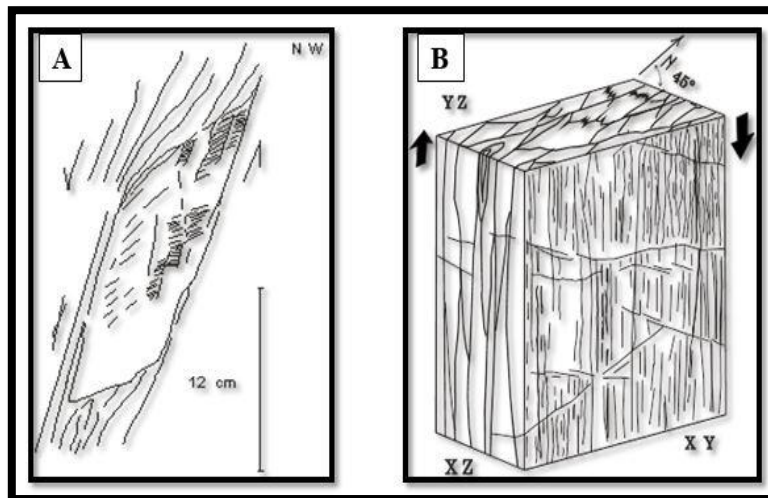
Les mesures structurales effectuées sur 131 stations ont portés sur les affleurements et les sub-affleurements rocheux mais également sur les parois des puits d'orpaillages. Ces mesures ont permis de procéder à une analyse structurale grâce aux traitements géométriques de l'orientation des éléments structuraux. L'architecture des objets géologiques a été ainsi mise en évidence à partir des représentations stéréographiques de leurs différentes orientations, permettant ainsi d'établir les chronologies. L'interprétation structurale a découlé de l'analyse structurale géométrique qui ne s'est pas limitée à la description de l'organisation géométrique des éléments structuraux, mais a permis également de reconstruire l'évolution structurale de la zone d'étude.

## 4. Résultats

La caractéristique commune à toute la zone est la schistosité verticale et la linéation verticale étirée associées à une forte déformation par compression. L'intensité de la compression décroît vers le NO de Bouda et le SE du même site à partir du centre où se développe la plus intense activité minière du corridor. La décroissance du gradient de compression rend compte vraisemblablement d'un saut de déformation et peut être due à une faille tardive observable sur l'imagerie géophysique et affectant la shear zone ductile. A l'échelle de l'affleurement, les boudins de quartz fibreux asymétriques indiquent l'existence de failles au SE du site de Bouda. Les structures asymétriques sont présentes autour des cubes de pyrite centimétriques (**Figure 6A**). Ces structures asymétriques sont perceptibles également à l'échelle régionale (**Figure 5**). Les principales structures observées et décrites dans la zone d'étude sont : la linéation, la schistosité verticale, le plissement, les failles et les filons de quartz.

### 4-1. Linéation (D1)

Une forte linéation d'étirement verticale s'est développée sur une grande partie de la zone d'étude. Cette linéation d'étirement est représentée à l'affleurement par des fragments volcaniques allongés, du boudinage, des plis de crénelation, des ombres de pression autour des cubes de pyrite et par des fibres de quartz syntectoniques. La linéation d'étirement traduit une direction verticale du mouvement tectonique comme observer sur la section YZ perpendiculaire au mouvement tectonique XZ (**Figure 6B**).

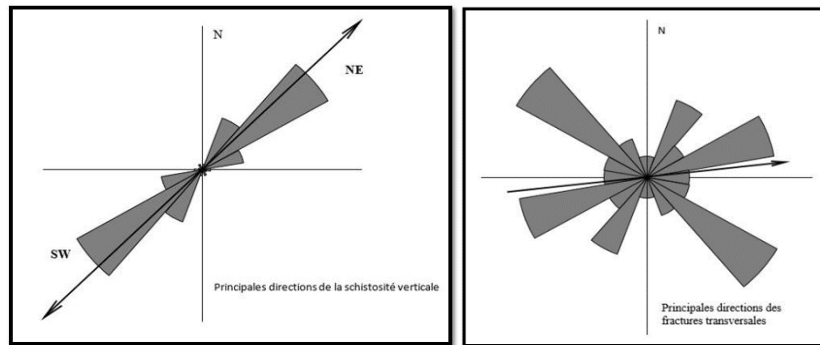


**Figure 6 :** A : Schéma d'une structure asymétrique développée autour d'un cube de pyrite de dimension supérieure au centimètre, l'observation est faite sur un échantillon de déblais d'orpaillage ; B : Bloc diagramme de la déformation principale, illustration des trajectoires de la linéation et de la foliation verticale, XZ = sens du mouvement tectonique, YZ = section perpendiculaire au mouvement : géométrie de cisaillement simple

### 4-2. Schistosité (D1)

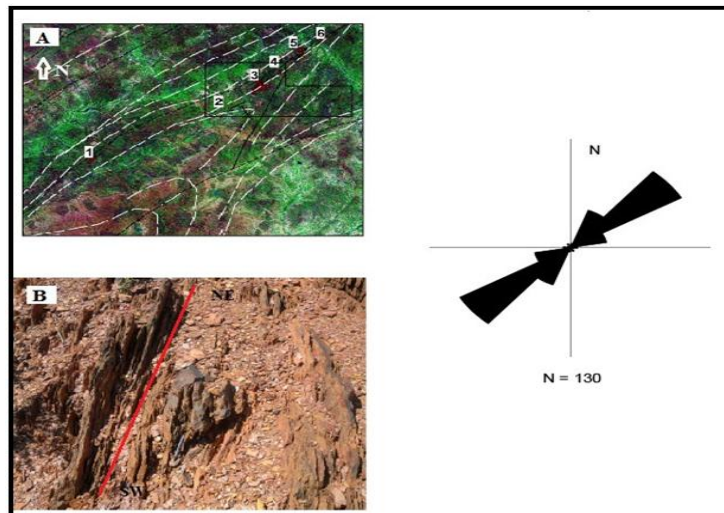
La schistosité verticale, conforme à la schistosité régionale NE-SO, est omniprésente sur l'ensemble des formations géologiques de la zone d'étude. C'est une schistosité planaire d'intensité variable, marquée par un débitage allant de grossier à fin et voire ultrafin. L'analyse statistique indique l'existence de trois principales classes directionnelles de la schistosité verticale (**Figure 7**).





**Figure 7 :** A : Statistiques des directions des structures régionales NE-SO : la principale tendance de la direction de schistosité régionale est  $N045^{\circ}$  ; B : Principales directions des fractures

La classe la plus importante est l'intervalle  $40^{\circ} - 60^{\circ}$  avec une moyenne de  $N45^{\circ}$ . Une flexure est notée dans la direction de la schistosité au niveau des intrusions granitiques et à proximité de la fracturation tardive, où la direction moyenne est  $N75^{\circ}$ . Le pendage sub-vertical à vertical est vers le SE (**Figure 8**). Les structures verticales NE-SO sont recoupées perpendiculairement par la schistosité de fracture horizontale.

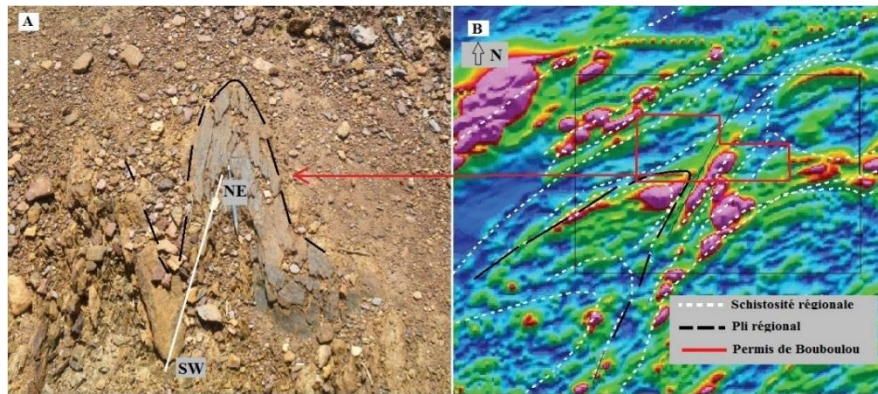


**Figure 8 :** Image satellitaire Landsat présentant les trajectoires de la schistosité régionale sous forme de linéaments (traits blancs). Les principales directions de cette schistosité NE-SO sont présentées dans la rosace. La statistique des directions montre trois classes dont la plus importante est  $[40 - 60^{\circ}]$  avec une direction moyenne  $N45^{\circ}$

La schistosité verticale observée ainsi que la linéation d'étirement verticale semblent être des marqueurs d'une déformation pénétrative, coaxiale et d'intensité régionale définie comme étant liée la première phase de déformation éburnéenne D1 [14, 15].

### 4-3. Plissement (D2)

Au Sud de la zone d'étude, quelques plissements ont été observés dans les volcanosédiments. Ces plis sont isoclinaux, à axes sub-verticaux et à plans axiaux orientés NE-SO avec un pendage vers le NE (**Figure 9A**). Une schistosité « plan axial de plis » est observée avec ne direction  $N55^{\circ}$ . L'analyse faite à l'échelle du corridor Bouboulou-Bouda stipule l'existence d'un grand plissement dans les volcanosédiments, mis en évidence par l'imagerie géophysique à travers la trajectoire de la schistosité régionale (**Figure 9B**).

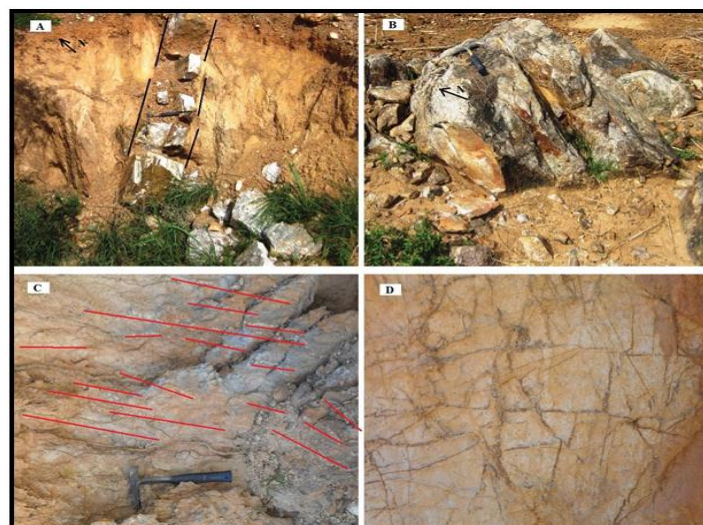


**Figure 9 :** *Plissement isoclinal à axe subvertical et plan axial NE-SO. (A) observé au Sud-Ouest de Bouboulou. Dans cette zone se trouve la charnière du grand pli régional ; (B) schistosité régionale redressée de  $30^\circ$  avec une direction qui passe de  $N45^\circ$  à  $N75^\circ$*

Les plissements isoclinaux qui sont observables dans la zone, ont été certainement développés postérieurement à la schistosité verticale mais suivant un régime de déformation coaxiale moins intense que D1 et évoluant vers un caractère rotationnel pouvant justifier la présence de structures asymétriques (boudins de quartz fibreux). En effet, d'après [14, 15] la seconde phase D2 de la déformation éburnéenne est intervenue dans un contexte transcurrent avec développement de grands décrochements, d'accidents tectoniques et de plissements.

#### 4-4. Failles D2 et Filons de quartz

L'orientation des failles varie grossièrement entre  $E110^\circ S$  et  $E120^\circ S$ . Ce sont des structures tardives D2 donc de mêmes orientations que les fractures transversales. De nombreux filons de quartz sont présents dans la zone. Ils sont orientés suivant la schistosité NE-SO donc ont été mis en place avant la déformation sur les failles. Ils se présentent sous forme : i) de filons de quartz centimétriques à décimétriques (**Figures 10A et B**), ii) de stockwerks à quartz (**Figure 10C**) et, iii) de veines et veinules de quartz-carbonates (**Figure 10D**).



**Figure 10 :** *A : Filon de quartz décimétrique, massif, rubané, exhumé par l'orpaillage à Bouboulou ; B : Filon de quartz avec une fracturation tardive ; C : Stockwerk de quartz ; D : Stockwerk de quartz-carbonates*

#### 4-5. Minéralisations aurifères et structures tectoniques

Dans le corridor, les zones minéralisées en or sont localisées le long d'une bande irrégulière orientée NE-SO dans laquelle la minéralisation est révélée par de petites anomalies géophysiques situées dans un encaissant cisailé à lithologies altérées et silicifiées. Cette bande minéralisée ne suit aucun contact lithologique et les structures minéralisées (veines, stockwerks) sont plutôt réparties suivant l'agencement des éléments tectoniques (schistosité, plissement et filons). Deux types de minéralisations aurifères primaires semblent se côtoyer dans la shear zone. En effet, la présence fréquente de cubes de pyrite lessivés (**Figure 6A**) dans les roches encaissantes permet de supposer que la minéralisation en or primaire a été principalement portée par des grains de pyrites disséminés, distribués le long de la shear zone. C'est une minéralisation or-sulfures disséminées dans les métasédiments qui constituent également l'encaissant des filons de quartz. Cette distribution primaire de la minéralisation a vraisemblablement été modifiée par un processus de remobilisation de l'or dans les filons de quartz et les stockwerks quartzeux : une association or-pyrite est observée dans les veines et filons de quartz.

Autour des cubes de pyrite lessivés, l'asymétrie que présentent les ombres de pression suggère que la minéralisation de la pyrite n'est affectée que partiellement par le cisaillement notamment à un stade tardif de la formation de la shear zone. Les empreintes laissées par la tectonique éburnéenne sur les structures minéralisées de Bouboulou-Bouda (boudinage, fracturation, plissement) impliquent l'existence d'une corrélation étroite entre ces événements tectoniques et les dépôts aurifères [16]. Les formations Paléoproterozoïques de cette shear zone sont marquées par un métamorphisme régional de type schiste vert et le contrôle structural de la minéralisation est patent avec une mise en place de la minéralisation synchrone à la déformation. Toutes ces caractéristiques majeures sont similaires à celles des gisements aurifères épigénétiques des terrains métamorphiques précambriens [17 - 19]. Etant donné que la faille tardive de Bouboulou ne constitue pas une zone de déformation de premier ordre dans la zone d'étude, on peut ainsi penser que la minéralisation aurifère du corridor Bouboulou-Bouda, à l'instar de bon nombre de minéralisations aurifères du Burkina-Faso serait de type « orogénique mésothermale » [9, 11, 16, 20]. La minéralisation à or est discordante et à contrôle structural dominant dans une shear zone.

### 5. Discussion

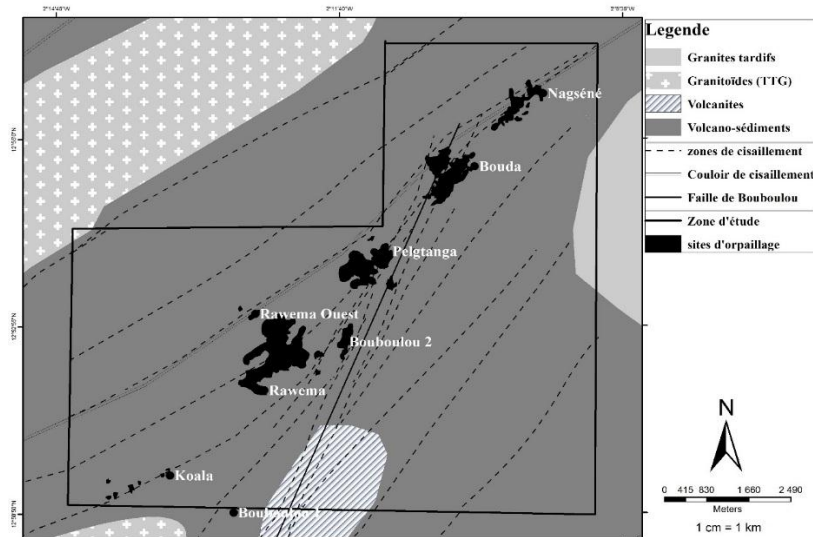
Le cadre structural de la zone de Bouboulou-Bouda s'intègre dans les grands traits établis antérieurement dans d'autres zones birimiennes de la ceinture de Boromo-Goren [8, 14, 21 - 24]. L'existence de liens étroits entre l'évolution structurale et la distribution spatio-temporelle de la minéralisation aurifère de notre zone d'étude, permet de conclure en faveur d'un contrôle *pro parte* structural de cette minéralisation. Ce type de relation a déjà été mis en évidence sur plusieurs sites du Burkina-Faso [11, 16] et plus précisément pour les gisements aurifères du district de Poura [25, 26], de Taparko [27], de Seguenega [28], de Mana [29], de Bissa Hill / Sabcé [30], Kalsaka [31], de Kiaka [32], et de Kampti [33]. Les principales déformations observées dans les zones des ceintures birimiennes ont surtout été causées par les deux premières phases tectoniques (D1 et D2) de l'orogénèse éburnéenne [14, 15, 24]. Au regard de la structuration d'ensemble NE-SO des formations géologiques observées dans la zone d'étude et suivant la densité de répartition des éléments structuraux de même orientation (**Figures 7 et 8**), le régime de contrainte principale ayant conditionné cette architecture est visiblement une compression régionale NO-SE, de forte intensité. Ce raccourcissement régionale NO-SE observé dans la zone de d'étude n'est autre que le mécanisme de raccourcissement régional induit par les mouvements de convergence latérale pendant l'orogénèse éburnéenne, d'après [9, 14, 15, 21, 23]. Il correspond à la première phase de déformation D1 qui a intensément affecté les volcanites, les plutonites

et les volcano-sédiments birimiens. La foliation régionale est donc liée à au régime de raccourcissement NO-SE. Cette déformation D1 développe ainsi des zones de cisaillements ductiles aux frontières roches vertes / plutons du socle birimien. Dans notre zone d'étude, ces cisaillements ductiles sont représentés par le couloir mylonitique de Kalsaka et celui de Sabcé (**Figure 3**). Au cours de cette déformation, un premier épisode magmatique s'est développé sous forme de plutonisme de zones de subduction [9] traduit par la mise en place de granitoïdes intrusifs. Ces plutons granitiques sont syn-tectoniques d'où leur orientation NE-SO imposée par les contraintes exercées. Le raccourcissement régional et le plutonisme syn-tectonique de la phase D1, engendrent un redressement des formations géologiques, qui est perçu à travers la schistosité mylonitique verticale, la linéation d'étirement verticale et les plis isoclinaux. D'après les travaux de [16] sur la métallogénie de l'or au Burkina Faso, les cisaillements ductiles de la phase éburnéenne D1, sont généralement associés à une minéralisation aurifère disséminée dans les roches vertes cisillées et hydrothermalisées. En outre, des veines de quartz verticales, boudinées et parallèles à la schistosité régionale sont rattachées à cet évènement tectonique. Les minéralisations aurifères au Burkina-Faso sont fréquemment encaissées dans des shears zones intensément déformées, silicifiées et développées le long de grands accidents d'extension régionale.

Dans ces shears zones minéralisées, deux sources primaires d'or se côtoient le plus souvent, une source primaire disséminée dans les roches et une source primaire essentiellement filonienne. Dans le corridor de Bouboulou-Bouda, la jonction des couloirs de cisaillements secondaires NO-SE avec le couloir NE-SO de Sabcé conduit à la mise en place de filons de quartz aurifères de type orogénique. Ces filons aurifères (**Figure 10**) sont orientés perpendiculairement à ceux du cisaillement ductile de la phase D1 et sont donc liés à la déformation D2. Outre la mise en place de ces filons orogéniques, la déformation D2 a entraîné dans cette zone la remobilisation effective de l'or précédemment disséminé dans les métasédiments lors du premier cisaillement régional. Cette remobilisation se fait dans des colonnes massives de quartz filonien. Le plissement régional mis en évidence au Sud de la zone de Bouboulou résulte vraisemblablement du régime de transpression de la déformation D2. A la fin de la déformation D2, un régime de compression N-S s'initie au sein des formations birimiennes. Cette dernière phase de la déformation éburnéenne n'est pas illustrée dans la zone de Bouboulou-Bouda, d'après [9, 24] elle est marquée par une schistosité de crénulation, des failles inverses et / ou normales et surtout par de nombreuses fractures NE-SO. Cette période est qualifiée comme étant la phase D3 de l'orogénèse éburnéenne. Dans le secteur de Bouboulou-Bouda, la grande faille NE-SO qui traverse l'ensemble du secteur Bouboulou-Bouda-Nagséné (faille de Bouboulou), a une origine attribuée à cette réactivation des structures régionales.

En effet, la faille tardive de Bouboulou constitue le dernier évènement tectonique ayant affecté la shear zone de Bouda-Bouboulou. Elle est orientée N30° et on lui attribue un déplacement senestre car elle cause une sorte de courbure sigmoïdale de la structure régionale D1 lorsqu'elle l'intercepte. Son fonctionnement développe des zones de cisaillement secondaires suivant sa longueur. Ces zones de cisaillement sont identifiées comme étant de très faibles angles par rapport à la faille. Les cisaillements secondaires sont perturbateurs du "shearing" existant (**Figure 11**). Le granite tardif subcirculaire, circonscrit par la magnétométrie aéroportée dans la zone de Douré (à l'Est de la zone d'étude) a une mise en place post-tectonique. Sa morphologie subcirculaire et la réorientation qu'elle impose à la schistosité régionale, rendent effectivement compte d'une injection granitique tardive, non soumise aux contraintes régionales. De ce fait, nous supposons que cette intrusion plutonique a eu lieu en même temps qu'a fonctionné la faille tardive et qu'il y a une relation « de cause et d'effet » entre les deux évènements. Une réactivation des fluides peut être imputable à cet intrusif. Ainsi cette fracturation tardive et son cisaillement transcurrent, tous deux associés à une remontée magmatique (plutonisme), ont réuni les conditions géodynamiques favorables à la circulation de fluides magmatiques et hydrothermaux dans la zone de Bouboulou-Bouda.





**Figure 11 :** Carte de distribution des sites d'orpaillage de Bouboulou-Bouda. Illustration de la faille tardive de Bouboulou et de ses shear zones, et de très faible angle par rapport à la faille modifiée d'après [2, 3, 9]

Ces fluides minéralisateurs circulent à travers la zone de cisaillement et il s'en suit des processus de remobilisation, de concentration et de précipitation d'or. La nouvelle minéralisation ainsi constituée suit donc l'axe  $N30^\circ$  de la faille de Bouboulou. Il s'agit de veines et de veinules de quartz à or-sulfures. Dès lors, il apparaît évident que l'axe  $N30^\circ$  possède une minéralisation plus concentrée par rapport à celle des structures  $N45^\circ$  et  $N75^\circ$ . Cela est dû certainement à un cisaillement qui fut plus intense à proximité de la faille et à un processus de remobilisation de l'or préexistant dans la shear zone principale. Les stades de déformation de l'accrétion tectonique éburnéenne qui sont marqués par un raccourcissement régional D1 et par la tectonique transcurrente D2, sont les principaux facteurs d'empreinte structurale du corridor de Bouboulou-Bouda. Les minéralisations encaissées dans cette zone auraient une mise en place intimement liée à cette évolution structurale. Dans un tel contexte de mise en place, les minéralisations aurifères de Bouboulou-Bouda auraient été piégées principalement dans les structures de déformation régionale orientée NE-SO. Les structures minéralisées du corridor de Bouboulou-Bouda seraient donc réparties suivant trois (3) périodes distinctes. Les deux premières regrouperaient respectivement les structures de dépôts développées en faveur du cisaillement régional NE-SO de la phase D1 et celles des zones de cisaillements transcurrents D2. La troisième période de cette répartition serait conditionnée par la mise en place de l'intrusion granitique post-tectonique, synchrone au fonctionnement de la faille tardive de Bouboulou.

## 6. Conclusion

Les relations définies entre l'évolution structurale, les éléments structuraux et la distribution de la minéralisation aurifère, confirment le contrôle strictement structural exercé dans le corridor aurifère de Bouda-Bouboulou. En effet, les différents sites minéralisés de cette zone d'étude se situent à la jonction des couloirs mylonitiques NS ou NE-SO avec les couloirs NO-SE. Suivant l'axe  $N30^\circ$  de la faille de Bouboulou, un cisaillement tardif affectant cette jonction entre les couloirs a été également mis en évidence. Ces trois principaux couloirs de cisaillement ont drainés des fluides minéralisateurs mettant ainsi en place des réseaux de filons de quartz et des stockwerks à veinules boudinées. Ces structures minéralisées se sont donc probablement formées pendant les activités hydrothermales développées, premièrement durant la mise en place des granitoïdes syntectoniques (D1, D2) synchrones du fonctionnement des cisaillements NS et NO-SE, et



deuxièmement lors de l'intrusion tardive du granite de Douré concomitante au fonctionnement de la faille de Bouboulou. Nous pouvons déduire que les gîtes aurifères du corridor Bouda-Bouboulou sont formés par une minéralisation à or et sulfures dont la mise en place et surtout la répartition spatiale, ont été soumises à un contrôle purement structural dans une zone intensément cisailée et hydrothermalisée. Dans un tel contexte, nous supposons que les axes  $N45^\circ / N75^\circ$  et  $N115^\circ / N120^\circ$  qui sont respectivement ceux des couloirs de cisaillement NE-SO et NO-SE, renferment des structures aurifères qui sont précoces, erratiques et discontinues. Cependant, la remobilisation de cette minéralisation et sa redistribution dans les shear zones étroites et tardives suivant l'axe  $N30^\circ$ , ont entraîné le développement de structures aurifères tardives, susceptibles de renfermer une minéralisation plus étendue, continue et mieux concentrée. Le corridor de Bouboulou-Bouda regorge d'un véritable potentiel aurifère, piégé dans une zone ayant connue plusieurs épisodes de cisaillement et d'hydrothermalisme durant l'orogénèse d'accrétion éburnéenne.

### **Remerciements**

*Cette publication a été possible grâce au concours du Bureau d'Etudes des Géosciences, des Energies et de l'Environnement (BEGE) détenteur du permis de Bouboulou. Les auteurs sont très reconnaissants à cette compagnie. Les auteurs remercient également Docteur Kalimou TRAORE, Directeur des études de BEGE, pour la lecture critique du manuscrit.*

### **Références**

- [1] - BHP WORLD MINERALS, "Rapport de fin de campagne du permis de recherche Bouda", (1998).
- [2] - RIVERSTONES RESOURCES, "Rapport Annuel, permis de recherche de Bouboulou", (2007) 22 p.
- [3] - ROXGOLD INC, "Technical report on the Geology of the Yaramoko, Bouboulou and Solna Group of Exploration Permits, Burkina Faso", (2012) 136 p.
- [4] - W. HIRDES, D. W. DAVIS, G. LUDTKE, G. KONAN, "Two generations of Birimian (Paleoproterozoic) volcanic belts in northeastern Côte d'Ivoire (West Africa) : consequences of the "Birimian controversy"", *Precambrian Res.*, 80 (1996) 173 - 191.
- [5] - W. ABOUCHAMI, M. BOHER, A. MICHARD, F. ALBAREDE, "A major 2.1 Ga old event of mafic magmatism in West Africa : an early stage of crustal accretion", *Journal of Geophysical Res.*, 95, B11 (1990) 605 - 629.
- [6] - M. BOHER, W. ABOUCHAMI, A. MICHARD, F. ALBAREDE, N. ARNDT, "Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga", *Journal of Geophysical Res.*, 97, B1 (1992) 345 - 369.
- [7] - P. N. TAYLOR, S. MOORBATH, A. LEUBE, W. HIRDES, "Early Proterozoic crustal evolution in the Birimian of Ghana : constraints from geochronology and isotope geochemistry", *Precambrian Res.*, 56 (1992) 97 - 111.
- [8] - M. LOMPO, "Paleoproterozoic structural evolution of the Man-Leo Shield (West Africa) Key structures for vertical to transcurrents tectonics", *Journal of African Earth Sc.*, 58 (2010) 19 - 36.
- [9] - C. CASTAING, M. BILLA, J. P. MILESI, D. THIEBLEMONT, J. LE METOUR, E. EGAL, C. GUERROT, A. COCHERIE, P. CHEVREMONT, M. TEGYEV, Y. ITARD, B. ZIDA, I. OUEDRAOGO, S. KOTE, B.E. KABORE, C. OUEDRAOGO, J. C. KI, C. ZUNINO, "Notice explicative de la Carte géologique et minière du Burkina Faso à 1 / 1000 000. Burkina Faso", Ministère des Mines, des Carrières et de l'Énergie, (2003) 146 p.
- [10] - S. NABA, M. LOMPO, P. DEBAT, J. L. BOUCHEZ, D. BEZIAT, "Structure and emplacement model for late-orogenic Paleoproterozoic granitoids : the Tenkodogo-Yamba elongate pluton (Eastern Burkina Faso)", *Journal of African Earth Sci.*, 38 (2004) 41 - 57.

- [11] - 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, P. LAGNY, "Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest", *Chron. Rech. Min.*, 497 (1989) 3 - 98.
- [12] - J. P. MILESI, P. LEDRU, J. L. FEYBESSE, A. DOMMANGET, E. MARCOUX, "Early Proterozoic ore deposits and tectonics of the Birimian orogenic belt, West Africa", *Precambrian Research*, 58 (1992) 305 - 344.
- [13] - PRECAGEME, "Etude de faisabilité et installation de centres miniers pilotes. Rapport inédit du Ministère des Mines des carrières et de l'Energie du Burkina Faso", (2002).
- [14] - J. L. FEYBESSE, J. P. MILESI, M. F. OUEDRAOGO, A. PROST, "La ceinture protérozoïque inférieure de Boromo-Goren : un exemple d'interférence entre deux phases transcurrentes éburnéennes", *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 310 (1990) 1353 - 1360.
- [15] - J. L. FEYBESSE, M. BILLA, C. GUERROT, E. DUGUEY, J. L. LESCUYER, J. P. MILESI, V. BOUCHOT, "The paleoproterozoic Ghanaian province : Geodynamic model and ore controls, including regional stress modeling", *Precambrian Research*, 149 (2006) 149 - 196.
- [16] - D. BEZIAT, M. DUBOIS, P. DEBAT, S. NIKIEMA, S. SALVI, F. TOLLON, "Gold metallogeny in birimian craton of Burkina Faso (West Africa)", *Journal of African Earth Sci.*, 50 (2008) 215 - 233.
- [17] - R. J. GOLDFARB, D. I. GROVES, S. GARDOLL, "Orogenic gold and geologic time : a global synthesis", *Ore Geology Rev.*, 18 (2001) 1 - 75.
- [18] - D. I. GROVES, R. J. GOLDFARB, F. ROBERT, C. J. R. HART, "Gold deposits in metamorphic belts : Overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance", *Economic Geology*, 98 (2003) 1 - 29.
- [19] - D. I. GROVES, P. BIERLEIN, "Geodynamic settings of mineral deposit systems", *Journal of the Geological Society, London*, 164 (2007) 19 - 30.
- [20] - D. I. GROVES, R. J. GOLDFARB, C. M. KNOX-ROBINSON, J. OJALA, S. GARDOLL, G. YUN, P. HOLYLAND, "Late-kinematic timing of Orogenic gold deposits and significance for computer-based exploration techniques with emphasis on the Yilgarn block, Western Australia", *Ore Geology Rev.*, 17 (2000) 1 - 38.
- [21] - M. F. OUEDRAOGO, A. E. PROST, "Mise en évidence des relations entre schistosités et plissements dans la ceinture volcanique birimienne de Yako-Batié (Burkina Faso)", *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 303 (1986) 1713 - 1718.
- [22] - M. LOMPO, "Etude géologique et structurale des séries birimiennes de la région de Kwademen, Burkina Faso, Afrique de l'Ouest", *Thèse Université Blaise Pascal*, (1991) 177 p.
- [23] - V. SATTRAN, U. WEMMENGA, "Géologie du Burkina Faso / Geology of Burkina Faso", *Czech Geological Survey*, (2002) 136 p.
- [24] - L. BARATOUX, S. NABA, V. METELKA, M. W. JESSELL, G. MICHEL, J. GANNE, "Juvenil paleoproterozoïc crust evolution during the eburnean orogeny (2.2-2.0 Ga), Western Africa, Burkina Faso : lithologie, géochimie et évolution structurale des ceintures birimiennes de Banfora-Houndé-Boromo", *Precambrian Res.*, 191 (2011) 18 - 45.
- [25] - M. F. OUEDRAOGO, "Cartographie minérale et implications métallogéniques au Burkina Faso", *Thèse Université d'Orléans*, (1987) 250 p.
- [26] - A. D. SANOGO, A. E. PROST, "Evolution synchrone des déformations et des minéralisations dans le filon aurifère de Poura (province de Mouhoun, Burkina Faso)", *Pangea*, 20 (1993) 23 - 29.
- [27] - F. BOURGES, P. DEBAT, F. TOLLON, M. MUNOZ, J. INGLES, "The geology of the Taparko gold deposit, Birimian greenstone belt, Burkina Faso, West Africa", *Mineralium Deposita*, 33 (1998) 591 - 605.
- [28] - H. GAMPINI, S. E. ADA, S. NABA, K. MARQUIS, M. LOMPO, U. WENMENGA, U. TRAORE, H. ILBOUDO, "Le district aurifère de SEGUENEGA dans la ceinture de roches vertes de Boromo-Goren (Burkina Faso - Afrique de l'Ouest) : contexte lithologique et structural", *Journal des Sciences*, 10-2 (2010) 33 - 44.
- [29] - SEMAFO INC., SGS CANADA INC, "Advanced Technical Report, Mana Property, Burkina Faso", (2012) 123 p.

- [30] - HIGH RIVER GOLD MINES LTD, "The Taparko - Bouroum Assets Technical Report. Wardell Armstrong", (2012) 174 p.
- [31] - CLUFF GOLD PLC, "Annual Report : Kalsaka project (Burkina Faso)", (2004).
- [32] - VOLTA RESOURCES INC., "Kiaka Gold Project Prefeasibility Study. Tetra Tech.", (2012) 1143 p.
- [33] - M. NANEMA, "Géologie et ressources minérales du district de Kampti, feuille Gaoua-Batié : Etude pétrographique, minéralogique et géochimique", Mémoire, Université de Ouagadougou (UFR/SVT), (2013) 114.