

Structure et mode de mise en place du pluton granitique de Bondoukou : implication dans le processus de minéralisation

**N'Guessan Nestor HOUSSOU¹, Brice Roland KOUASSI², Marc Ephrem ALLIALY¹
et Kouadio David KOFFI¹**

¹ *Université Félix Houphouët Boigny, UFR-STRM, Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et
Énergétiques, Abidjan-Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire*

² *Université Péléforo Gon Couibaly de Korhogo, UFR-Sciences Biologiques,
Département Géosciences, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 15 Juin 2022 ; Accepté le 23 Août 2022)

* Correspondance, courriel : bricerolandk@gmail.com

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude pétrologique structurale du pluton granitique de Bondoukou afin de proposer un modèle tectonique pour sa mise en place. Cela a permis en outre d'évaluer le rôle de ce pluton dans la genèse des minéralisations. La lithologie de la zone d'étude est composée de granodiorites, enclaves de diorite-quartzique, filons de quartz et de pegmatite. Ces formations sont affectées par un métamorphisme de degré moyen du faciès amphibolite (plagioclase zoné, hornblende, biotite, quartz). Au niveau structural, deux mécanismes de déformation sont mis en évidence dans cette localité. Il s'agit de l'aplatissement et du cisaillement simple. Les directions principales des fractures de la zone d'étude sont NE-SW dans l'ensemble. En ce qui concerne la microstructurale, l'analyse révèle également deux stades de déformation intracrystalline: solide et sub-solidus. Ces microstructures sont à dominance magmatique et sub-magmatique avec le contour dentelé et une extinction onduleuse du quartz. L'étude des intrusions dans les environnements minéralisés peut conduire à la détermination de métallotectes et contraindre la démarche de l'exploration minière.

Mots-clés : *pluton, pétrologie, structural, Bondoukou, Côte d'Ivoire.*

Abstract

Structure and emplacement of Bondoukou granite pluton : implication in the mineralization process

The aim of this work is the structural and petrological study of the granitic pluton of Bondoukou in order to propose a tectonic model for its establishment. This allow to assess the role of this pluton in the genesis of mineralization. The lithology of the study area is consisted of granodiorites, quartz-diorite enclaves, quartz and pegmatite lodes. These formations are affected by medium-grade metamorphism of the amphibolite facies (plagioclase zoning, hornblende, biotite, quartz). At the structural level, two deformation mechanisms

are highlighted in this locality. It's about flattening and simple shear. The main directions of fractures in the study area are generally NE-SW. Regarding the microstructural, the analysis also reveals two stages of intracrystalline deformation: solid and sub-solidus. These microstructures are predominantly magmatic and sub-magmatic with the jagged outline and undulating quartz extinction. The study of intrusions in mineralized environments can lead to the determination of metallotects and constrain the approach of mining exploration.

Keywords : *pluton, petro-structure, microstructure, granodiorite, diorite-quartz, Bondoukou, Côte d'Ivoire.*

1. Introduction

L'ossature crustale de l'Afrique de l'Ouest est constituée par un socle précambrien communément appelé Craton Ouest Africain d'une superficie d'environ 4.500.000 km². Ce craton se subdivise en deux principales dorsales ; celle de Réguibat au Nord et Man-léo au Sud. Ces deux dorsales ont été structurées par l'orogénèse leonienne (3,5 – 2,9 Ga ; [1], l'orogénèse libérienne (2,9 – 2,8 Ga ; [2, 3] et le méga cycle orogénique éburnéen (2,27 – 1,8 Ga ; [4 - 5]. La présente étude se situe dans le domaine Paléoprotérozoïque caractérisé principalement par les roches dites birimiennes. La Côte d'Ivoire détient 35 % de ces terrains géologiques [6]. Ceux-ci regorgent de nombreux gîtes et indices métallifères qui sont l'objet d'exploration et d'exploitation minière [7, 8]. Les plus grands projets de recherches minières sont essentiellement orientés vers les éléments natifs tels que l'or (Au), le manganèse (Mn), la colombo-tantalite, le nickel (Ni). C'est le cas des régions d'Hiré-Oumé, d'Agbaou, d'Ity, du Yaouré, de Tongon, d'Aféma, de Samapleu où des gisements ont été découverts. Pour ces gisements, la minéralisation est d'origine hydrothermale et la source semble être rattachée à une intrusion plutonique. Dans le district aurifère d'Aboisso, en plus des gîtes découverts, dans la shear zone d'Aféma et au Ghana, il existe aussi des indices importants autour de certains plutons comme celui d'Aboisso [9]. Le même contexte géologique existe dans le sillon volcano-sédimentaire du Nord-Est de la Côte d'Ivoire principalement dans la région de Bondoukou. Pour une meilleure compréhension des liens entre la minéralisation et le magmatisme il est donc important d'étudier la pétrologie et la structural de cette intrusion d'une part et d'autres parts contribuer à la connaissance géologique de cette zone.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

La région de Bondoukou est située au nord-est de la Côte d'Ivoire. La ville de Bondoukou se situe à 416 km au nord-est d'Abidjan. Situées dans le domaine paléo-protérozoïque, les formations géologiques de la région de Bondoukou ont été structurées lors de l'orogénèse éburnéenne. L'éventail pétrographique très ouvert des formations géologiques de la région de Bondoukou et la complexité des phénomènes structuraux rendent difficile leur étude. Du point de vue lithologique, la zone d'étude est recouverte par un ensemble complexe de formations géologiques. On y distingue deux grands domaines distincts : le domaine quaternaire (Holocène) et le domaine paléoprotérozoïque. Les formations du domaine Paléoprotérozoïque occupent pratiquement toute la surface de la zone d'étude et peuvent être subdivisées en trois ensembles à savoir l'ensemble tarkwaïen, l'ensemble volcanique et sédimentaire et l'ensemble intrusif (*Figure 1*).

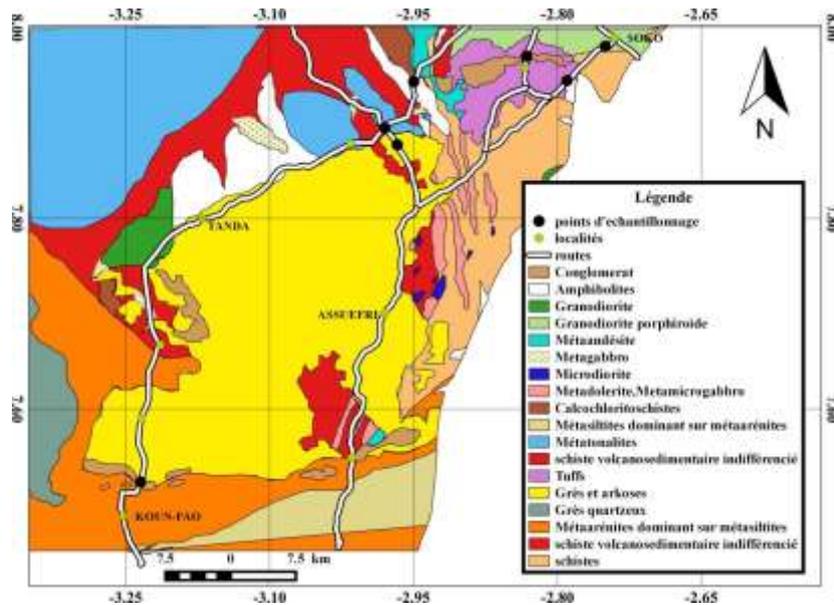


Figure 1 : Carte géologique de la zone d'étude présentant les différents points d'échantillonnages [10]

2-2. Méthodes

Trois méthodes ont été utilisées pour l'acquisition des données : la pétrographie macroscopique, l'analyse structurale et la pétrographie microscopique. Pour atteindre les objectifs assignés à cette étude, nous avons effectué une mission de terrain dans le département de Bondoukou afin de récolter les données. La pétrographie macroscopique a consisté à décrire les unités lithologiques observées sur les affleurements rencontrés afin de nommer les roches rencontrées en se basant sur les différents critères de classification que sont la texture, la structure, la composition minéralogique et la couleur. Les échantillons de roches prélevés ont servi à la confection de lames minces dont l'observation s'est faite à l'aide d'un microscope optique polarisant de type OPTIKA au Laboratoire de Géologie du Socle et de Métallogénie (LGSM) de l'Université Félix Houphouët-Boigny. Cette étude microscopique a permis d'affiner l'étude macroscopique effectuée auparavant sur le terrain. L'analyse structurale a consisté à identifier, décrire, mesurer et si possible établir la chronologie entre les différents types de déformation (stratification, schistosité, foliation, linéation, fracture, pli, enclave, etc.) et à effectuer des mesures en vue de l'étude de la déformation. Son but est de mettre en évidence l'orientation des cristaux dans les roches ; l'orientation de nombreux grains d'une même espèce minéralogique est repérée, ce qui donne un résultat statistique transcrit sous forme de diagramme de sous-fabrique et l'ensemble de ces diagrammes permet de définir la fabrique. La symétrie de celle-ci est alors mise en relation avec la symétrie de la déformation qui l'a produite. L'analyse de la fabrique est réalisée avec un microscope équipé de la platine universelle qui permet de déterminer l'orientation de tous les grains en faisant défiler la lame.

3. Résultats

3-1. Caractérisation pétrographique du pluton

Les études antérieures ont montré que le pluton de Bondoukou est une granodiorite [11]. Lors de sa mise en place, l'intrusion a arraché sur son passage divers fragments de roches préexistantes qui forment en son sein des enclaves. L'histoire récente de ces encaissements se confond à celle du pluton, faisant de ceux-ci des témoins

oculaires des événements qui ont marqué cette mise en place. Le pluton et ses enclaves ont connu et enregistré sous l'influence des contraintes en jeu des modifications texturales et minéralogiques, structurales et morphologiques. D'un point de vue globale, la granodiorite est d'aspect massif, de couleur mésocrate et montre une texture de grains moyens à grossiers. Cette texture grenue porphyroïde se transforme en texture de grains fins à moyens à proximité ou au contact entre le pluton et les encaissants. A l'œil nu, la roche est formée de minéraux de feldspaths (45 %), de quartz (35 %), d'amphibole et biotite (20 %) ; les phénocristaux étant les feldspaths et les amphiboles. Au microscope, le quartz (30 - 40 %) est sous forme de cristaux xénomorphes de taille (1 à 5 μm). Les plagioclases (30 - 40%) subautomorphes présentent des zonations. Les feldspaths sont souvent craquelés avec un remplissage de quartz. L'association quartz-feldspath potassique se transforme souvent en myrmékite. La hornblende et la biotite (5 - 15 %) les seuls minéraux ferromagnésiens se transforment progressivement en chlorite et en épidote. Le sphène et les minéraux opaques (la forme cubique émanant sans doute de la pyrite) constituent des phases accessoires. Au sein du pluton, nous avons noté la présence d'enclaves de roches mafiques et de granophyres formés en général de feldspath (45 %), quartz (30 %) et biotite (25 %). Dans le détail, on aperçoit que le pluton est marqué par différentes phases ou différents gradients de déformation dont les éléments structuraux sont bien définis. Vu la complexité des déformations enregistrées lors de la mise en place du pluton de Bondoukou et pour une meilleure compréhension des déformations pré, syn et post-mise en gisement du pluton, des sections et lames minces ont été réalisées en tenant compte de la tridimensionnalité de la roche et des structures : - section parallèle le long de la structure planaire - section parallèle à la structure planaire - section perpendiculaire à la structure planaire.

3-1-1. Section parallèle le long de la structure planaire

Roche à texture grenue avec de grands cristaux de quartz, feldspath, amphibole plus ou moins chloritisées. Les feldspaths sont en général altérés en épidote et en séricite. Des plagioclases sont plus ou moins préservés. Au microscope (*Figure 2*), on observe des myrmékites qui se développent aux dépens du plagioclase. La séricite est le seul représentant du mica blanc issu essentiellement du plagioclase. L'épidote est issue de la hornblende et le sphène de forme losangique est relativement présent. Les minéraux opaques constituent l'essentiel des phases accessoires. La hornblende, poecilitique contient parfois du quartz réactionnel, de l'épidote, et de la chlorite.

3-1-2. Section parallèle à la structure planaire

À ce niveau, la disposition des minéraux de biotite, de feldspath, de quartz et d'amphibole est la même. L'orientation des minéraux est visible dans le plan vertical (*Figure 3*). L'orientation des minéraux est la même sur la face horizontale ou verticale (horizontal le long de la fluidalité ou structure planaire, c'est-à-dire NW-SE. Elle est marquée par les associations en synnesis des minéraux tels que les plagioclases, les biotites et les amphiboles. Le quartz se rencontre aussi sous forme réactionnelle dans l'amphibole et sous forme de myrmékite à la frontière plagioclase-microcline. Le plagioclase zoné est également saussuritisé. Il est souvent poecilitique à cristaux de quartz, séricite et épidote. Le quartz se présente généralement en plages xénomorphes et parfois craquelées à extinction roulante. L'amphibole est une hornblende verte et contient des inclusions de minéraux opaques. Ces minéraux ont le plus souvent une extinction onduleuse pléochroïque (vert-olive à vert-clair). La biotite est une biotite brune, subautomorphe, pléochroïque (brun à jaune-brun-clair) avec des inclusions de zircon. La chlorite se rencontre dans les biotites déstabilisées. Le feldspath-potassique est représenté par du microcline. On observe la superposition en feuillet de certains minéraux de plagioclase (*Figure 3 C*). Certains minéraux de biotite qui sont encaissés par les phénocristaux de quartz (*Figure 3 A*).

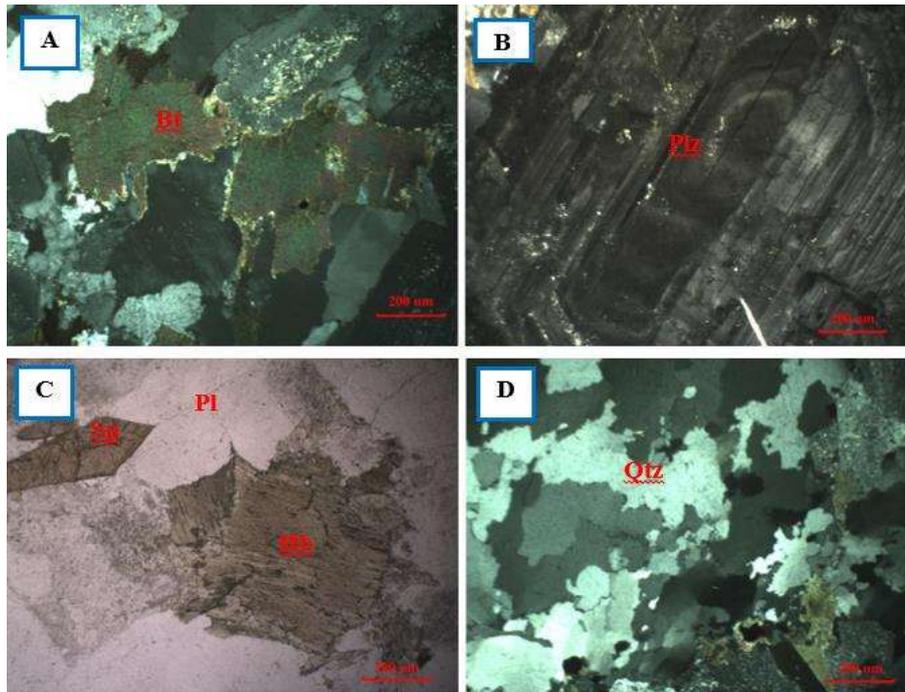


Figure 2 : *Aspects microscopiques du Pluton Granitique de Bondoukou (face parallèle le long de l'étirement minéral). Pl : plagioclase, Hb : hornblende, Qtz : quartz, Sp : sphène, Pl : plagioclase zoné, Bt : biotite*

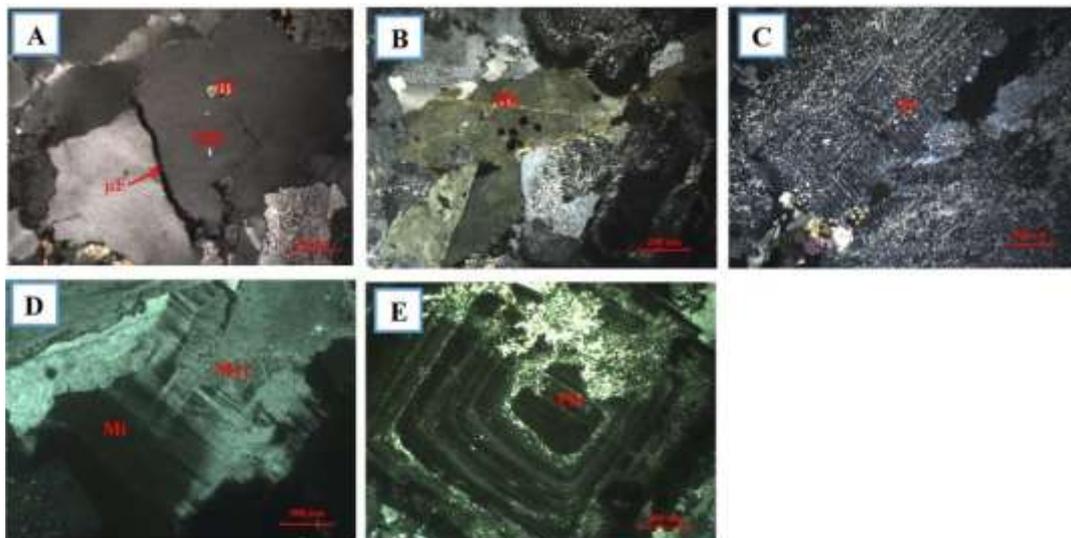


Figure 3 : *Aspects microscopiques du PGB (face parallèle à l'étirement minéral). Mi : microcline, Myr : myrmékite, μ F : microfracture, Pl : plagioclase zoné, Pl : plagioclase, Hb : hornblende, Qtz : quartz, Bt : biotite*

3-1-3. Section perpendiculaire à la structure planaire

Au plan macroscopique, les minéraux de feldspath et biotite se présentent sans orientation. En général, ils se présentent en section basale sur cette face. On observe la disposition en synneusis des minéraux de plagioclase (**Figure 4 A**). Le plagioclase est automorphe à subautomorphe avec des macles polysynthétiques. Il est souvent poecilitique à cristaux de quartz, séricite, épidote) et perthitique. Il est saussurité et zoné

avec des excroissances. Le quartz sous forme réactionnelle dans l'amphibole est parfois craquelé à extinction roulante. L'amphibole est une hornblende verte. Ces minéraux ont le plus souvent une extinction onduleuse pléochroïque (vert-olive à vert-clair). Ils sont par ailleurs corrodés sur les bords par le plagioclase, l'épidote et le microcline. (*Figure 4 C*).



Figure 4 : *Aspects microscopiques du PGB (face perpendiculaire à l'étirement minéral) Pl : plagioclase, Qtz : quartz, Hb : hornblende*

3-2. Caractérisation pétrographique des enclaves

Le PGB renferme des enclaves constituées par des matériaux éruptifs, comme des diorites dont on peut retracer la cristallisation et par là, concevoir les variations de viscosité. Elles permettent ainsi d'étudier certains aspects de l'écoulement magmatique. Ces enclaves ont été observées sous la ligne de haute tension (524027E / 892047N / 394 m) et à Soko (526070E / 881203N / 310 m). Ces roches se composent de granophyres formés de quartz, de feldspath et de biotite auxquels s'ajoutent des enclaves mafiques. À l'œil nu elles sont mésocrates, microgrenues et constituées de biotites et d'amphiboles (*Figure 5*). Au microscope, l'on observe des minéraux de feldspaths généralement pseudomorphosés en séricite, épidote et carbonates (*Figures 6*).



Figure 5 : *Aspects macroscopiques des enclaves du Pluton Granitique de Bondoukou*

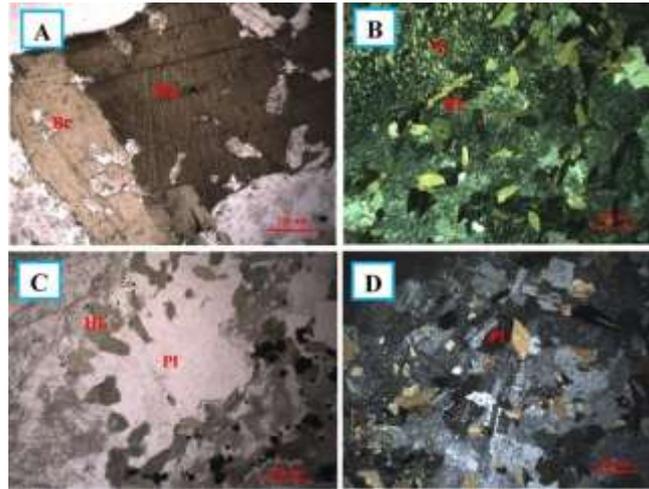


Figure 6 : Aspects microscopiques de l'enclave mafique du PGB (Bt: biotite, Pl: plagioclase, Hb: hornblende, Qtz: quartz)

3-3. Caractérisation structurale

3-3-1. Analyse structurale du pluton granitoïdique

Nous distinguons les mésostructures (ductiles et cassantes) ainsi que des microstructures. Les éléments ductiles ici sont les foliations et les étirements. La foliation submagmatique est facilement identifiable dans les zones plus proches des contacts avec l'encaissant. Elle montre un pendage fort à subvertical avec des orientations qui changent d'un affleurement à l'autre (N330°, N300°, N280°, N010°). Les linéations d'étirement minéral (Lm) sont fréquentes dans le pluton granodioritique de Bondoukou (PGB). Elles se rencontrent dans les localités où affleurent ces formations (vers Sorobango et Soko ; coordonnées : 5512922E / 885844N / 302 m). Sur l'affleurement BDK002, on a enregistré deux linéations d'étirement minéral (Lm) visibles sur les minéraux mafiques (Biotite et amphibole) et les feldspaths. Elles sont orientées respectivement Lm1 (N340°) et Lm2 (N250°) (**Figure 7 A**). A l'échelle régionale de la zone de Bondoukou, on a enregistré l'existence de mouvements de cisaillement. Ces structures ont été mises en évidence ou révélées par les formes de certains granophyres localisés dans le pluton. On note un cisaillement dextre d'orientation NNE (**Figure 7 B**).

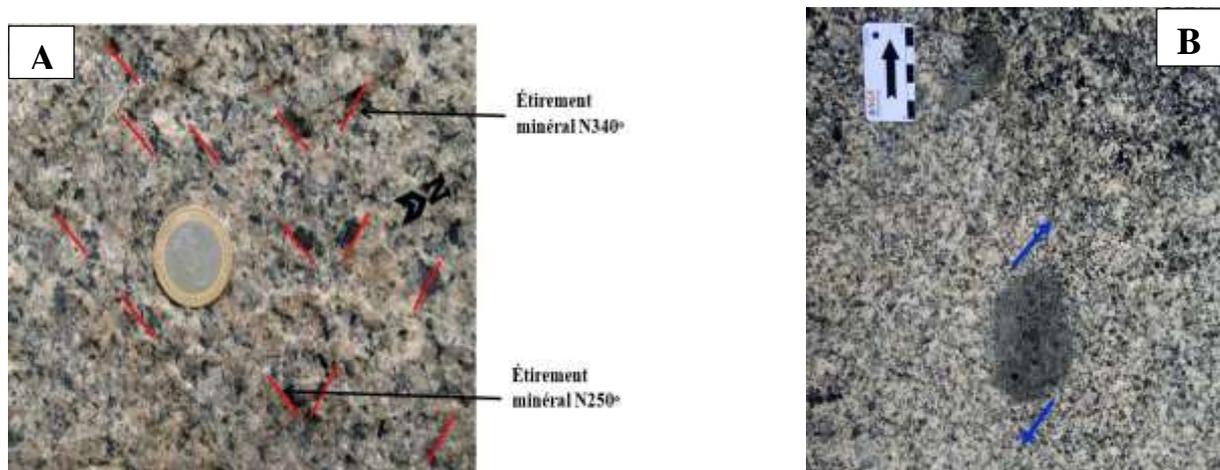


Figure 7 : (A) Linéaments d'étirement minéral sur affleurement BDK002 et (B) Cisaillement dextre révélé par les formes des granophyres

Les déformations cassantes se résument en des failles et des fractures. Les fractures matérialisent la déformation cassante majeure des formations de Soko. Plusieurs failles ont été identifiées dans la granodiorite repérée après ce village non loin de la rivière Garangba. Une faille normale (**Figure 8**) d'orientation (N180°, 75°), dont le miroir de faille montre des stylolithes indiquant le sens de glissement des compartiments séparés. Des failles décrochantes dextres (N290°, 90°) et des diaclases (N150°, 60° et N300°, 80°). On a mesuré également des fractures N310°, N115°, N065°, N354°, N320° et N270°. Certains minéraux ont cristallisé dans des fractures pour former des filons de quartz orientés (V1 = N310°, 90° et V2 = N065°, 70°). Le filon V2 recoupe et décale le filon V1 dans un mouvement sénestre. On note également la présence de filons de pegmatite orientés (N115°, 90°) et (N300°, 90°), de filons d'aplite (N115°, 90°). Les filons de quartz et pegmatite, qui recoupent localement le pluton granodioritique, traduisent les termes ultimes de la différenciation magmatique du PGB. Ils ont été mis en place suivant les directions NE-SW à N-S à la faveur des fractures qui s'ouvrent au sein du massif granitoïdique. Le pluton granitoïdique est également pourvu de fentes de tension. Elles sont orientées N110° et sont à l'origine d'un cisaillement.



Figure 8 : Faille normale avec miroir portant des stylolithes

3-3-2. Microstructures

Dans le PGB, les microstructures observées dans les minéraux (quartz, hornblende, plagioclase) sont diverses. Les contours dentelés, les extinctions onduleuses, la formation des sous-grains, les kinkes de clivage, le zoning, des excroissances, les points triples. Ces microstructures sont à dominance magmatique (**Figures 9 et 10**) et submagmatiques. Quelques microstructures de déformation à l'état plastique et de déformation à l'état solide (orthogneissification) sont aussi observées. Les minéraux de quartz montrent une extinction ondulante, des figures de migration de joints et des recristallisations de sous-grains entraînant des limites dentelées (**Figure 10C**). Dans certains grains, il apparaît une microfracturation intense (**Figures 9B, 9D, 10D**), des lamelles de déformation et des points triples (**Figure 9C**). Les sous-grains recristallisés sont généralement de petite taille (**Figure 9A**). L'approche microstructurale a permis de mettre en évidence deux (2) phases de déformation à l'interface de trois générations successives de minéraux. Les minéraux primaires, antécinématiques par rapport à la foliation, sont constitués de plagioclase, quartz, amphibole et biotite. Ces minéraux ont enregistré des marqueurs d'une déformation à haute température, notamment l'extinction ondulante en forme de damier assez fréquente dans les phénocristaux de quartz, tout comme la disparition des macles polysynthétiques des plagioclases. La première génération de minéraux est composée de quartz de grande taille marquée par une extinction ondulante caractéristique. On note également dans cette génération une phase de biotite caractérisée par des baguettes montrant une orientation. La déformation qui a affecté les minéraux primaires est accompagnée d'une recristallisation minérale formant la deuxième

génération à savoir la myrmékite qui apparaît dans les phénocristaux de quartz. Cette génération de minéraux est composée de quartz de taille plus petite et orienté. On note, toujours dans cette génération, la biotite brune orientée. La troisième génération de minéraux apparaît également par néoformation à la suite d'une altération probable. Il s'agit de la séricite, l'épidote et la chlorite dans les plagioclases, les microclines, les amphiboles et les biotites. Cette étude microstructurale a aussi permis de préciser l'intensité de la déformation des minéraux de quartz.

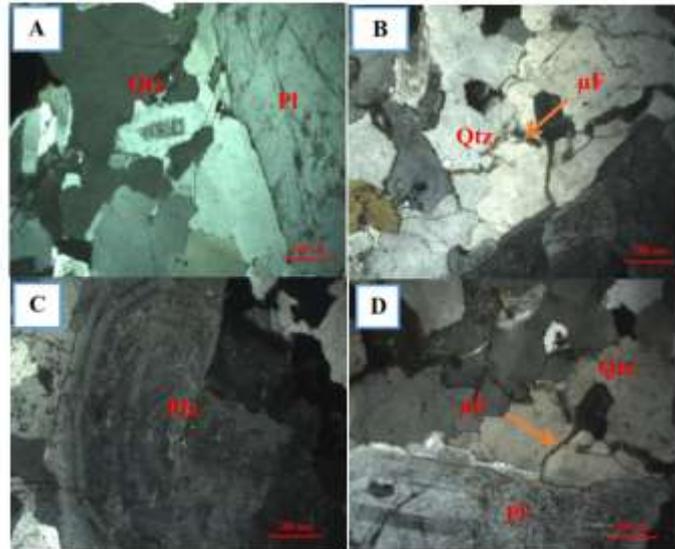


Figure 9 : Principales microstructures du massif granitique de Bondoukou
 μF: Microfracture, Qtz: quartz, Plz: plagioclase zoné, Pl: plagioclase

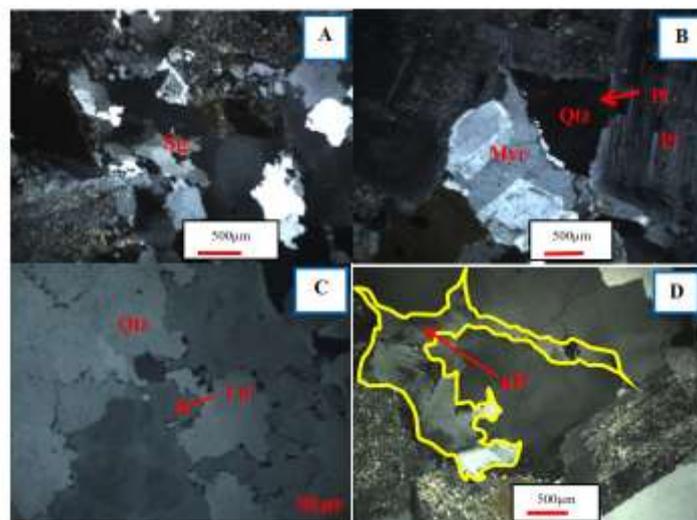


Figure 10 : Photographies des microstructures
 Ld: lamelle de déformation. Pt: point triple ; μF: Microfracture ; Sg: sous grain

4. Discussion

4-1. Lithologie

L'intrusion magmatique est constituée de granodiorite et de diorite- quartzique qui sont traversées par des nombreux filons de quartz et de pegmatite de puissance millimétrique à centimétrique. La diorite-quartzique constitue une enclave dans le pluton granitique de Bondoukou ce qui permet de dire qu'elle est antérieure à celui-ci. La granodioritique est assez riche en ferromagnésiens à linéation nette ayant subi une rétro-morphose importante dans le domaine de la stabilité de la chlorite et de l'épidote. C'est le cas de la granodiorite de Bonikro [12]. Originellement, nous avons donc une diorite-quartzique à biotite. Un aplatissement orienté suivant la direction birimienne affecte la roche, la torsion des plans de clivage, la remobilisation du feldspath potassique ainsi qu'une rétro-morphose de minéraux. Il ressort de cet examen que les roches étudiées ont une orthogneissification suivant les directions NW-SE. La foliation ou la linéation des roches s'est faite par aplatissement entraînant une rétro-morphose épizonale à chlorite et épidote ; ces deux minéraux sont caractéristiques du métamorphisme des formations volcano-sédimentaires birimiennes. Les granitoïdes discordants de type Bondoukou circonscrits autour de la ville de Bondoukou sont constitués de granodiorite à biotite et/ou hornblende à texture porphyroïde. Il s'agit de granites hétérogènes car ils renferment les enclaves de diorite-quartzique et des granophyres [13]. La prophyllitisation est une recristallisation des minéraux primifs en laissant des structures originelles. Elle se manifeste par la saussuritisation, chloritisation, biotisation, l'épidolisation. Ces roches ont donc subi une cristallisation post-magmatique. Les enclaves observées au sein de la granodiorite sont de deux textures avec un mouvement dextre. Celles à texture grossière ont cristallisé tardivement par rapport aux autres à texture fine. Leur formation a donc été contrôlée par la cristallisation magmatique. Les caractères de l'hypothèse magmatique (zonation, synneusis et ségrégation des cristaux) sont évidents dans le PGB. Les myrmékites peuvent être interprétées comme des exolutions indiquant une fusion partielle de la roche et pourraient caractériser un environnement catazonal à l'origine.

4-2. Structural

Les déformations observées dans la zone d'étude sont les fentes de tension, les linéations d'étirement minéral, le plan de faille, les filons de quartz, les filons de pegmatite et les fractures. Elles indiquent la présence de cisaillement dans cette localité. Les filons de pegmatite et de quartz ainsi que les contacts entre le pluton et son encaissant observés au sein du pluton et à la périphérie montrent les caractères des éléments structuraux non pénétratifs. Ce sont donc les caractères structuraux primaires essentiellement liés à la mise en place des magmas. Les éléments structuraux secondaires développés ultérieurement, lorsque la roche est déjà parvenue dans son gisement sont les fentes de tension, les failles décrochantes dextres (site 3 à Soko) et senestre (site 2 sous la ligne de haute tension). Cependant, les enclaves et les étirements de minéraux sont les éléments structuraux formés avant la cristallisation du magma. Les travaux tectoniques de la région de Bondoukou montrent que celle-ci est complexe et caractérisée par plusieurs phases de déformations, à l'instar des autres régions de socle fracturées de Côte d'Ivoire [14, 15]. La linéation est l'indicateur cinématique de l'étirement qui finit au moment de la mise en place du PGB. Dans le cas de cette étude, les plongements de la linéation sont subverticaux. Les linéations fortement plongeantes sont le plus souvent interprétées comme des zones d'alimentation en magma. Les linéations d'étirement indiquent un mouvement de faille inverse [16]. L'orientation NW-SE et NE-SW des enclaves dans la granodiorite est la preuve de la structure fluidale du PGB. Les enclaves microgrenues sombres de diorite-quartzique sont des témoins du magmatisme hybride (mélanges magmatiques entre un composant crustale et un composant mantellique) [17]. L'écoulement interne dans le massif granitique est marqué par une orientation des minéraux, ce qui a engendré une très belle structure fluidale (foliation magmatique). Ces enclaves, souvent de forme allongée, peuvent aussi servir de

marqueurs de l'écoulement interne du massif granitoïdique. Dans certains minéraux de quartz, la microfracturation interne est suivie de recristallisation de matériels magmatiques, évoquant une déformation cassante au stade subsolidus. Le liquidus remobilisé dans ce cas proviendrait de la réduction de la taille des grains et de la déformation intracrystalline des minéraux de la matrice. Les microfractures dans les minéraux de quartz ont une direction birimienne NE-SW montrant une microzone de broyage. Dans les amphiboles, on observe une déformation des clivages en kinkage aussi les inclusions de cristaux de plagioclase. Les orientations parallèles ou obliques des plagioclases par rapport au plan de la structure, les axes restant parallèles entre eux et à la linéation, sont traduites par des sections présentant de nombreuses mâcles.

4-3. Contexte tectonique

Les modes de mise en place sont multiples. Les observations tirées d'un pluton déjà en place s'interprètent souvent de différentes façons. L'orogénèse éburnéenne s'est accompagnée d'un métamorphisme de type schistes verts et de la mise en place de volumes importants de granitoïdes calco-alcalins à localement alcalins de 2210 Ma et 1980 Ma [18, 19]. Le pluton granitoïdique de Bondoukou a une composition calco-alcaline certe, mais certaines parties tendent vers le pôle des alcalins (High-K calc alkalines series) présentant donc des tendances métalumineuses à faiblement peralumineuses qui suggèrent ainsi des sources crustales ou hybrides (crustales et mantelliques) pour les granitoïdes de Bondoukou. Ces granitoïdes sont issus d'un mélange magmatique, de cristallisation fractionnée et de fusion partielle [20]. La hornblende est le baromètre pour déterminer la profondeur de mise en place des granitoïdes de type I. La microstructure permet de comprendre le processus de déformation au cours des derniers stades précédant la cristallisation, et les conditions de température, de contrainte et de déformation qui ont affecté la roche immédiatement ou longtemps après sa cristallisation [21]. Les cristaux déjà formés sont nourris puis soudés progressivement les uns aux autres par le liquide qui cristallise. Cependant, au cours des derniers stades qui précèdent la cristallisation complète, la charpente cristalline déjà formée peut se déformer si elle supporte une contrainte d'intensité suffisante. Si aucune déformation ultérieure n'intervient alors c'est la microstructure submagmatique. Les granites circonscrits ou intrusifs (parfois nommés aussi granites discordants), à bords nets et tranchant les formations encaissantes en les métamorphisant (auréole de métamorphisme de contact) s'observent dans les parties profondes des zones tectonisées (orogènes) et n'affleurent que si l'érosion a été suffisante ; leur formation est liée à l'orogénèse et peut se faire au cours de celle-ci (granite syn-tectonique) ou à la fin du cycle orogénique (granite Post tectonique : cas de nombreux massifs circonscrits).

Quand un magma basique (d'origine mantellique) traverse une grande épaisseur de croûte continentale et/ou y stagne longtemps, il peut y avoir contamination et enrichissement du magma basique par la silice et les alcalins (Na et K) qui diffusent de la croûte continentale. On trouve de tels granites dans les zones de subduction, en particulier des zones de subduction sous lithosphère continentale. Ces granites toujours intrusifs et discordants dans un encaissant sont parfois dits « granites I ». L'aplatissement horizontal enregistré par la fluidalité magmatique et la linéation subséquente serait corrélé à un effet de toit lié à une mise en place supracrustale. Le drainage magmatique est facilité par la présence d'une discontinuité lithologique qui est soulignée par le contact entre le massif granitoïdique et les formations de la ceinture de roche verte. Le régime tectonique qui a prévalu durant l'Eburnéen est dominé par la tectonique verticale, la gravité et les structures en dômes et bassins [22 - 25]. Cependant, d'autres événements éburnéens similaires sont attribués à celui de la tectonique des plaques impliquant une tectonique collisionnelle [26 - 28]. Les interprétations structurales suggèrent que la mise en place du pluton granitoïdique de Bondoukou a lieu avant les trois phases de déformations qui ont affecté le pluton et son encaissant. Il s'agit selon l'ordre chronologique d'un mécanisme d'aplatissement (Déformation D1), d'une déformation cisailante (ductile ou cassante) soit dextre ou senestre épousant la direction moyenne NE-SW (Déformation D2) et d'une déformation

cisaillante cassante généralement senestre suivant la direction moyenne (raccourcissement) NW-SE (Déformation D3). Cette mise en place s'est produite dans un contexte compressif NE-SW en faveur des failles qui affectent le pluton granitoïdique. Elle s'accompagne d'un épaissement de la croûte, de la mise en place des plutons syntectoniques à caractères des TTG et de granitoïdes provenant soit des dalles subductantes, soit de la croûte inférieure mafique. Le magmatisme associé, est essentiellement calco-alcalin. Ce magma calco-alcalin est généralement lié aux plaques plongeantes [29, 30]. L'épisode de déformation ductile est associé à la phase D2, survenu à la suite du raccourcissement NW-SE. Les granitoïdes syntectoniques sont également calco-alcalins et présentent des déformations caractéristiques d'une interférence entre la tectonique transpressionnelle et la mise en place de plutons comme déjà rapporté en Côte d'Ivoire [31, 32], au Sénégal [33], au Niger [34], au Burkina-Faso [35, 36]. Ces plutons, synchrones à la compression NW-SE, favorisent le développement des principales zones de cisaillement senestres. Ces zones de cisaillements transcurrentes sont situées à l'interface du domaine des granitoïdes et des roches volcano-sédimentaires et localement dans les métasédiments [37 - 40]. L'ensemble des granitoïdes est d'origine mantellique, avec une faible participation crustale, ce qui laisse supposer que la zone de cisaillement pourrait se prolonger jusqu'au manteau lithosphérique. Les zones de cisaillement décrochantes à l'échelle continentale sont particulièrement remarquables dans les chaînes de collision. L'étirement subvertical des minéraux, des enclaves mafiques ainsi que les contacts lithologiques montrent que le diapirisme a joué un rôle important à ce stade de la collision. Cependant, les observations de terrains montrent des domaines de granitoïdes subcirculaires (dalles) intrudant les métasédiments de la région de Bondoukou. Les linéations abruptes favoriseraient la croissance verticale des diapirs grâce à l'addition précoce de roches nouvellement formées par raccourcissement latéral NW-SE.

5. Conclusion

Ce travail met en évidence les caractéristiques pétrographiques et structurales du pluton granitoïdique de Bondoukou. En effet, les travaux de terrain et les analyses de lames minces révèlent comme faciès dans le pluton granitoïdique de Bondoukou la granodiorite et la diorite-quartzique en enclave, les filons de quartz et de pegmatite. La caractérisation structurale montre deux mécanismes de déformation dans la zone d'étude. Il s'agit de l'aplatissement et le cisaillement (ductile et fragile). L'aplatissement se matérialise par la foliation ou la linéation généralement orientée N300°. Le cisaillement par les fentes de tension, les linéations d'étirement minéral et les réseaux de fractures. Le pluton granitoïdique de Bondoukou est une granodiorite. Elle est intrudée par des enclaves de diorite-quartzique et de granophyre qui traduisent les termes ultimes de la différenciation magmatique du pluton, mis en place suivant les directions NW-SE à N-S à la faveur des fractures qui s'ouvrent au sein du massif granitique. L'effet thermique induit par le PGB aurait contribué à remobiliser et reconcentrer des phases minérales. La disposition des zones minéralisées subparallèles aux contours du PGB corrobore l'implication de celui-ci dans le processus de minéralisation. En outre, quoique le PGB ne soit pas minéralisé, la présence d'anomalies en or au sein du pluton pourrait suggérer une filiation génétique entre ces deux composantes. Enfin, ce travail montre que l'étude des intrusions dans les environnements minéralisés pourrait orienter la détermination de métallotectes et contraindre la démarche de l'exploration minière.

Références

- [1] - S. W. MOREL, The geology and mineral resources of Sierra Leone. *Econ. Geol.* 74, (1979) 1563 - 1576
- [2] - D. THIEBLEMON, C. DELORS, A. COCHERIE, J. M. LAFON, J. C. GOUJOU, A. BALDE, M. BAH, H. SANE, F. C. A. MARK 3.5 Ga granite - gneiss basement in Guinea: further evidence for early Archean accretion within the West African Craton. *Prec. Res.* 108 (3 - 4), (2001) 179 - 194
- [3] - E. EGAL, D. THIEBLEMONT, D. LAHONDERE, C. GUERROT, C. A. COSTEA, D. ILIESCUI, C. DELOR, J. C. GOUJOU, J. M. LAFON, M. TEGYEY, S. DIABY, P. KOLIE, Late Eburnean granitization and tectonics along the western and northwestern margin of the Archean Kenema-Man domain (Guinea, West Africa Craton). *Prec. Res.* 117, (2002) 57 - 84
- [4] - J-L. FEYBESSE, M. BILLA, C. GUERROT, E. DUGUEY, J. L. LESCUYER, J. P. MILESI, V. BOUCHOT, The Palaeoproterozoic Ghanaian province. Geodynamic model et ore controls, including regional stress modelling. *Prec. Res.* 149, (2006) 149 - 196
- [5] - M. GRENHOLM, M. JESSEL, N. THEBAUD, A geodynamic model for the Paleoproterozoic (ca. 2.27-1.96 Ga) Birimian Orogen of the southern West African Craton - Insights into an evolving accretionary-collisional orogenic system. *Earth-Science Reviews* 192, (2019) 138 - 193
- [6] - I. YACE, Le Précambrien de l'Afrique de l'Ouest et ses corrélations avec le Brésil oriental. Rapport final. Publication PICG-CIFEG, n°108-144, Prix, (1984) 28 p.
- [7] - L. ZANONE, Le manganèse de Côte d'Ivoire. Rapport multigr. SODEMI. N°44 et 44 bis, (1964) 273 p.
- [8] - P. SONNENDRUCKER, Etude de synthèse sur l'or de Côte d'Ivoire. Les régions aurifères dispersées. Rap. SODEMI. n°220, (1968) 97 p.
- [9] - E. KADIO, Y. COULIBALY, M. E. ALLIALY, A. N. KOUAMELAN, K. B. K POTHIN, On the occurrence of gold mineralizations in southeastern Ivory Coast. *Journal of African Earth Sciences* (2010) 1 - 8
- [10] - Y. SIMEON, C. DELOR, Z. ZEADE, Y. KONE, B. YAO, M. VIDAL, I. DIABY, G. KONAN, B. I. DJE, D. N'DA, A. DOMMANGET, J. P. CAUTRU, C. GUERROT et J.-C. CHIRON, Notice explicative de la carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, feuille Agnibilékro, Mémoire de la Direction des Mines et de la Géologie de la Côte d'Ivoire, n°8 Abidjan, Côte d'Ivoire. 13 (1995) 5 - 8
- [11] - C. DELOR, Y. B. DAOUDA, Y. SIMEON, I. DIABY, G. GADOU, P. KOHOU, G. KONAN, A. DOMMANGET, J. P. TASTET, Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, feuille de Bondoukou Ministère des Mines et de l'Énergie, Direction de la Géologie, Abidjan, Côte d'Ivoire, première édition, 6, (1995) 11 p.
- [12] - Z. OUATTARA, Caractères lithostratigraphique, structural, géochimique et métallogénique du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien de Fettekro, centre-sud de la Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Univ. FELIX HOUPHOUËT -BOIGNY, (2015) 256 p.
- [13] - M. ARNOULD, Etude géologiques des migmatites et granites précambriens du Nord de la Côte-d'Ivoire et de la Haute-Volta méridionale. Mémoire BRGM, France, (1961) 174 p.
- [14] - C. DELOR, Y. SIMEON & M. VIDAL, Peri-plutonic gravity driven deformations and transcurrent tectonics between 2.2 and 2.1 by: a case study from the Birimian Cycle in Ivory Coast. VIII EUG meeting abstracts suppl. *Terra Nova*, vol. 4, Strasbourg: (1995) 102 p.
- [15] - Z. ZEADE, C. DELOR, Y. SIMEON, B.D. YAO, M. VIDAL, P. SONNENDRUCKER, I. DIABY, J.P. CAUTRU, Notice explicative de la carte Géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200 000, Feuille Bondoukou, Mémoire de la Direction des Mines et de la Géologie de la Côte d'Ivoire, n°10 Abidjan, (1995) Côte d'Ivoire
- [16] - B. EISENLOHR and W. HIRDES, The structural development of the early proterozoic birimian and tarkwaian rocks of southwest ghana, west africa. *Journal of African Earth Sciences* (and the Middle East), 14(3), (1998) 313 - 325
- [17] - B. BARBARIN, A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments, *Lithos* 46, (1999) 605 - 626

- [18] - W. HIRDES, D.W. DAVIS, U-Pb Geochronology of Paleoproterozoic Rocks in the Southern Part of the Kedougou-Kéniéba Inlier, Senegal, West Africa : Evidence for Diachronous Accretionary Development of the Eburnean Province. *Precamb. Res.*, 118 (2002) 8399
- [19] - G. S. De KOCK, R. A. ARMSTRONG, H. P. SIEGFRIED, E. THOMAS, Geochronology of the Birim Supergroup of the West African craton in the Wa-Bolé region of central-west Ghana : implications for the stratigraphic framework. *Journal of African Earth Sciences* 59, (2011) 1 - 40
- [20] - TEHA, Les formations éburnéennes du sud-ouest du bassin de la comoé et du secteur de singrobo (sud de la côte d'ivoire) : pétrologie, analyse structurale et magmatisme associé. Thèse de doctorat, Univ. Félix HOUPOUËT -BOIGNY, (2019) 279 p.
- [21] - S. NABA, Propriétés magnétiques et caractères structuraux des granites du Burkina Faso oriental (Craton Ouest Africain, 2,2 - 2,0 Ga): implications géodynamiques. Doct. Univ. Paul Sabatier-Toulouse III, (2007) 175 p.
- [22] - R. CABY, C. DELOR, O. AGOH, Lithologie, structure et métamorphisme des formations birimiennes dans la région d'Odienné (Côte d'Ivoire): rôle majeur du diapirisme des plutons et des décrochements en bordure du craton de Man. *J. Afr. Earth Sc.* Vol. 30. No 2, (2000) 351 - 374
- [23] - A. POUCKET, S. DOUMBIA, M. VIDAL, Geodynamic setting of the Birimian volcanism in Central Ivory Coast (Western Africa) and its place in the evolution of the Palaeoproterozoic of the Man Shield. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 177 (2), (2006) pp 195 - 121
- [24] - M. VIDAL, C. GUMIAUX, F. CAGNARD, A. POUCKET, G. OUATTARA and M. PICHON, Evolution of a Paleoproterozoic "weak type" orogeny in the West African Craton (Ivory Coast)", *Tectonophysics* 477 (2009), 145 - 159
- [25] - M. LOMPO, Structural evolution of Paleoproterozoic belts (Eburnean event) in the Man-Leo Shield, West African Craton. Key structures for vertical to transcurrent tectonics. *Journal of African Earth Sciences*, 58, (2010) 19 - 36
- [26] - P. LEDRU, J. PONS, J. P. MILESI, M. TEGYEY, Markers of the last stages of the Palaeoproterozoic collision : evidence for a 2 Ga continent involving circum-south Atlantic provinces. *Precamb. Res.* 69, (1994) 169 - 191
- [27] - J-L. FEYBESSE and J-P. MILESI, The archaean/proterozoic contact zone in west Africa: a mountain belt of décollement thrusting and folding on a continental margin related to 2.1 ga convergence of archaean cratons? *Precambrian Research*, 69(1), (1994) 199 - 227
- [28] - J-L. FEYBESSE, M. BILLA, C. GUERROT, E. DUGUEY, J-L. LESCUYER, J-P. MILESI, and V. BOUCHOT, The paleoproterozoic ghanaiian province : Geodynamic model and ore controls, including regional stress modeling. *Precambrian Research*, 149(3), (2006) 149 - 196
- [29] - B. BARBARIN, A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments, *Lithos* 46, (1999) 605 - 626
- [30] - A. EGLINGER, N. THEBAUD, A. ZEH, J. DAVIS, J. MILLER, L.A. PARRA-AVILA, R. LOUCKS, C. MCCUAIG, New insights into the crustal growth of the Paleoproterozoic margin of the Archean Kenema-Man domain, West African craton (Guinea) : implications for gold mineral system. *Precamb. Res.* 292, (2017) 258 - 289
- [31] - D. GASQUET, P. BARBEY, M. ADOU, L. J. PAQUETTE, Structure Sr-Nd isotope geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the granitoids of the Dabakala area (Côte d'Ivoire) : evidence for 2.3 Ga crustal growth event in the Palaeoproterozoic of West Africa? *Precambrian Research* 127, (2003) 329 - 354
- [32] - Y. A. KOFFI, Évolution tectono-métamorphique du craton ouest africain : exemple du secteur de Grand Bereby à Sassandra (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse, UFHB, Côte d'Ivoire, (2019) 351 p.
- [33] - J. PONS, C. OUDIN, J. VALERO, Kinematics of large syn-orogenic intrusions : example of the lower Proterozoic Saraya batholith (Eastern Senegal) *Geologische Rundschau*, 81/2, (1992) 473 - 486
- [34] - J. PONS, P. BARBEY, D. DUPUIS, J-M. LEGER, Mechanisms of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1 Ga juvenile continental crust: the Birimian of southwestern Niger, *Precamb. Res.* 70, (1995) 281 - 301

- [35] - M. LOMPO, F. BOURGES, T. P. DEBAT, P. LESPINASSE, J. L. BOUCHEZ, Mise en place d'un pluton granitique dans la croûte birimienne fragile : fabrique magnétique du pluton de Tenkodogo (Burkina Faso). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 320/II, (1995) 1211 - 1218
- [36] - L. BARTOUX, V. METELKA, S. NABA, M. W. JESSELL, M. GREGOIRE, J. GANNE, Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (~2.2-2.0 Ga), western Burkina Faso. *Precambrian Res.* 191, (2011) 18 - 45
- [37] - J-L. FEYBESSE, J-P. MILESI, M. OUEDRAOGO and A. PROST, La « ceinture » protérozoïque inférieure de boromo-goren (burkina faso) : un exemple d'interférence entre deux phases transcurrentes éburnéennes. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2302, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 310(10) (1990) 1353 - 1360
- [38] - M. W. JESSELL, P. O. AMPONSAH, L. BARATOUX, D. K. ASIEDU, G. K. LOH and J. GANNE, Crustal-scale transcurrent shearing in the Paleoproterozoic sefwi-sunyani-comoé region, west africa. *Precambrian Research*, 212, (2012) 155 - 168
- [39] - P. LEDRU, J. PONS, J. MILESI, J. FEYBESSE and V. JOHAN, Transcurrent tectonics and polycyclic evolution in the lower proterozoic of senegal-mali. *Precambrian Research*, 50(3), (1991) 337 - 354
- [40] - M. LOMPO, A model of subsidence of an oceanic plateau magmatic rocks in the Man-Leo Shield of the West African Craton Geodynamic evolution of the 2.25–2.0 Ga Palaeoproterozoic. In : S.M. Reddy, R. Mazumder, D.A.D. Evans, A.S. Collins, (Eds.), *Palaeoproterozoic Supercontinents and Global Evolution*. Geological Society, London, (2009) 231 - 254