

CONTRIBUTION A L'ETUDE CARTOGRAPHIQUE ET TECTONIQUE DE LEMBA ET SES ENVIRONS (SECTEUR DE PATU, PROVINCE DU KONGO CENTRAL)

[CONTRIBUTION TO THE CARTOGRAPHIC AND TECTONIC STUDY OF LEMBA AND ITS SURROUNDINGS (PATU SECTOR, KONGO CENTRAL PROVINCE)]

KAHINDO KATOTO Danielle¹, DIEMO SERGE^{1,2}, NGURU MAHA Esther³, BONDO KAZADI Emmanuel³, TSASA MABIALA Bibiche¹, NGUMBA NGUMBA Victoire¹, KAZI KATYA Solange¹, LAKUBU ESAS Patrick¹, and WEBANA BANAKPO Mireille¹

¹Centre National de Télédétection, Kinshasa, State, RD Congo

²Département d'Exploration-Production pétrolière, Faculté de Pétrole, Gaz et Energies renouvelables, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

³Département des Géosciences, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: A regional cartographic and tectonic study provided us with valuable information on the geological processes that shaped this region and its structural characteristics. This study allowed us to better understand the regional tectonics and briefly describe the geological history of the region and the formation of the main geological units. Geological mapping: Produce a detailed geological map of the rock formations of the region, including major geological units, faults, folds, lithological contacts and geological structures (faults, folds and deformation zones). The processing of the structural data highlighted the fact that the area was affected by several phases of deformation or orogeny. It is a polyphase zone. Statistical analysis with representation of the fracture distribution confirms the presence of three major peaks. This provides irrefutable proof that the area was affected by: - A family of submeridian breaks including NNW-SSE directed breaks. - An ENE-WSW fracture family. - And another fracture family orthogonal to the previous one, directed WNW-SE. The tectonic regime index (R') values of 2.62 and 2 confirm that the study area was subjected to two types of regimes: the compressive regime and the shear regime. Using Win Tensor software, we understood that from a tectonic point of view, the area is polyphase, and the analysis with distribution representation highlighted the presence of three major peaks, confirming the presence of three fracture families: the NNW-SSE fracture family, the ENE-WSW fracture family, and the WNW-ESE fracture family. Based on the different results obtained from R' , the index of the tectonic regime (rotational optimization of stress tensor and PBT axes), two types of tectonic regimes are derived, namely a compressive regime with $R' = 2.62$ and a shear regime with $R' = 2$.

KEYWORDS: Fracture, break, tectonics, regime, stress, dip, orientation.

RESUME: Une étude cartographique et tectonique régionale nous a offert des informations précieuses sur les processus géologiques qui ont façonné cette région et sur ses caractéristiques structurales. Cette étude nous a permis à mieux comprendre la tectonique régionale et la description brève l'histoire géologique de la région et la formation des principales unités géologiques. Cartographie géologique: Réaliser une carte géologique détaillée des formations rocheuses de la région, incluant les unités géologiques majeures, les failles, les plis, les contacts lithologiques et les structures géologiques (les failles, les plis et les zones de déformation). Le traitement des données structurales fait a mis en évidence le fait que la zone a été affectée par plusieurs phases de déformation ou orogénèse. C'est une zone polyphasée. L'analyse statistique avec représentation de la distribution de fractures confirme la présence de trois pics majeurs. Ce qui en fait la preuve irréfutable que la zone ait été affectée par: - Une famille de cassures subméridiennes reprenant des cassures dirigées NNW-SSE. - Une

famille de cassures ENE-WSW. - Et une autre famille de cassures orthogonale à la précédente dirigée WNWSE. Les valeurs d'index du régime tectonique (R') 2.62 et 2 confirment que la zone d'étude a été soumise à deux types de régime: le régime compressif et le régime cisailant. A partir du logiciel Win Tensor nous avons compris que du point de vue tectonique, la zone est polyphasée et l'analyse avec représentation de la distribution a mis en évidence la présence de trois pics majeurs confirmant la présence de trois familles de cassures: famille dirigée NNW-SSE, famille d'orientation ENE-WSW et la famille WNW-ESE. Partant des différents résultats obtenus de R' , l'index du régime tectonique (rotational optimization of stress tensor et PBT axes), il découle deux types de régimes tectoniques à savoir un régime compressif avec $R' = 2,62$ et un régime cisailant avec $R' = 2$.

MOTS-CLEFS: Fracture, cassure, tectonique, régime, contrainte, pendage, orientation.

1 INTRODUCTION

1.1 OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'objectif est de caractériser structuralement les formations géologiques de la région de Lemba en vue de reconstituer l'histoire tectonique de la zone d'étude. En effet, il sera question de réviser l'histoire tectonique de la région et d'essayer d'analyser la géodynamique responsable des structures caractérisant ladite région. Ce travail s'assigne aussi comme objectif de situer les lithofaciès par rapport à leurs périodes de mise en place et de bien délimiter les contours géologiques tout en définissant leurs natures fussent-elles régulières (discordance) ou accidentelles (tectonique).

1.2 METHODOLOGIE

Ce travail a pris corps par la symbiose des recherches catégorisées à trois niveaux essentiels, à savoir: l'avant terrain qui consiste en la documentation, le terrain pour effectuer le lever géologique et enfin l'après terrain qui se charge des analyses et de l'interprétation des résultats.

1.3 MATERIELS

Tableau 1. Matériels utilisés

Matériels	Marque	Utilité
Boussole de géologue (avec clinomètre)	SYLVA	Mesure de la direction et du pendage des couches et microstructures
Marteau	Marteau de géologue	Casser et prélever les échantillons
Global positioning system (GPS)	GARMIN	Localisation géographique
Appareil photo	IPhone 6S plus 16 Méga pixels	Prise des photos des affleurements et échantillons en vue de leurs illustrations
Feutre	BIC	Marquer les échantillons
Stylo, crayon et gomme	BIC, HB crayon	Prise des notes et croquis
Carnet de terrain	Bravo note book (en carton)	Pour la saisie des notes et exécution des croquis
Sac	MARKET	Transport des échantillons
ArcGIS	Version10.3.1.	Traitement des données spatiales
Win-Tensor	Version 5.8.9. (Damien Delvaux et F. Vollmer)	Réalisation des stéréogrammes Caractéristiques des paléo contraintes et des régimes tectoniques
Microscope polarisant	OPTIKA : monoculaire, de grossissement X4	Description de la roche à l'échelle microscopique
Excel et Word	Microsoft office	Traitement statistique des données et rédaction

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

2.1.1 LOCALISATION DU TERRAIN

La cité de Lemba est localisée dans le territoire de Lukula qui comprend plusieurs groupements dont Kisundi, Kibula-Tshandanda..., et fait partie du District de Bas-fleuve en Province du Kongo-central. Notre zone d'étude couvre l'espace allant de 13° 1' 00" à 13° 7' 00" (longitude E), et de 5° 31' 30" à 5° 35' 00" (latitude S) (Figure 1).

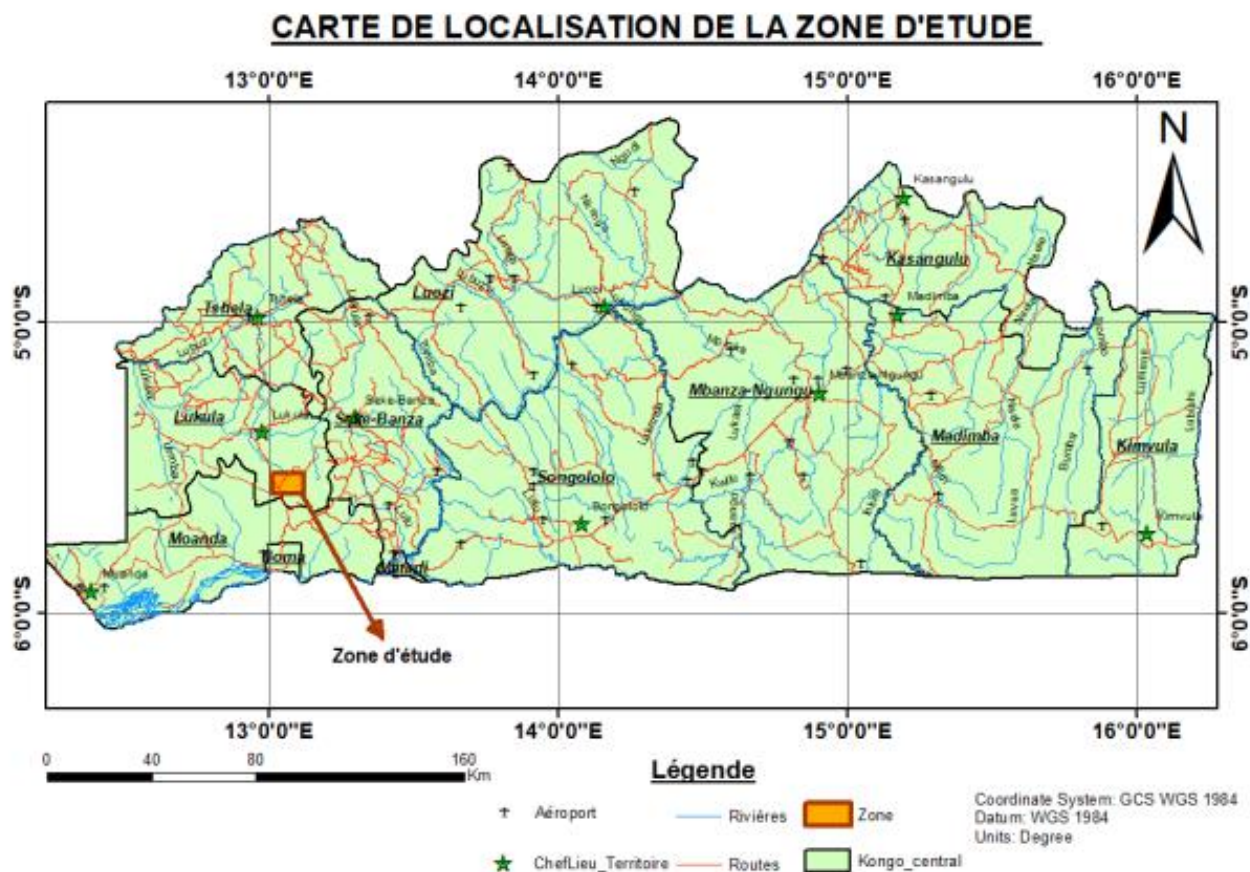


Fig. 1. Localisation du secteur d'étude sur la carte administrative du Kongo-Central

2.1.2 CLIMAT, SOLS ET VÉGÉTATION

- Le Climat

Dans le territoire de Lukula, le climat est du type Tropical avec alternance des saisons, une saison pluvieuse allant du mois d'Octobre au mois de Mai et l'autre sèche intervient principalement à mi-mai jusqu'au 15 Octobre (www.caid.cd). Vers la fin du mois d'Août, il s'observe, toute la journée, un déferlement des brouillards humides qu'on appelle localement neige.

- Le sol

Le sol de Lemba est de nature argileuse: beaucoup plus rougeâtre, et quelque peu brunâtre.

- La végétation

Notre zone d'étude est composée des savanes et de la forêt de Mayumbe, dans le territoire de Lukula, où elle prédomine. La présence de la réserve de la Luki dans notre secteur d'étude témoigne que ce dernier est majoritairement de grande couverture végétale.

2.1.3 MORPHOLOGIE ET HYDROGRAPHIE

Le secteur de Patu, notre zone d'étude, présente un relief de plateaux, alors que son hydrographie est dominée par des petits cours d'eaux longeant quelques vallées.

2.2 CADRE GEOLOGIQUE

2.2.1 STRATIGRAPHIE

La stratigraphie du Kongo-central est résumé dans le tableau ci-dessous:

Tableau 2. Résumé les informations relatives à la stratigraphie de la Province du Kongo-Centrale

Temps Géologique	Super groupes	groupes	Sous-Groupes et facies présents		
Phanérozoïques		Groupe KALAHARI	SABLES OCRES		540Ma
			GRES POLYMORPHES INKISI : Arkoses conglomératiques, Psammitique et parfois à grains fins		
Néo protérozoïques	OUEST CONGO	Groupe OUEST CONGOLIEN	S/Grpe MPIOKA	Grès, shales, quartzites, siltites	Pan-Africain
			S/Grpe SCHISTO-CALCAIRE	NGANDU : calcaires, shales et grès BANGU : calcaires, dolomites, oolites et pseudo oolites de KISANTU, calcaires dolomitiques LUKUNGA : shales et calcaires, dolomies, calcaires, dolomitiques KWILU : dolomies rose et grise, calcaires de BULU, calcaires et shales  Diamictite sup. 635Ma : para conglomérat et grès conglomératique	
			S/Grpe HAUT-SHILOANGO	Calcaires, shales gris sombre, grès calcaireux de LUANZA calcaires, et shales intercalés de LUANZA  Diamictite inf. 730Ma : paraconel avec basaltes inter stratifiés	
			S/Grpe SANSIKWA	Quartzites, quartzites à talc, argilites	
		Groupe MAYOMBIEN	Phyllade, séricitoschistes intrudés par les massifs granites de lufu-Mativa, rhyolites schistifiées d'inga Sikila/autrement métarhyolites Lufu 		
		Groupe ZANIDIEN	Talcshistes, chloritoschistes, micaschistes, seritoschistes, métaquarzites de MATADI, filons doléritiques (ONGENDANGENDA, 2004) ; (TACK, 2001) : Metabasaltés intrudés par le granites de Noqui, syenite de Mpozo Noqui  Gangilla  Palabala 		
Méso protérozoïque					1000Ma
Paléoproterozoïque					1600Ma
	KIMEZIEN	Socle KIMEZIEN : Migmatiques et Gneiss affleurant à BOMA			Eburnéen
					2500Ma

 **Magmatisme acide**
 **Magmatisme basique**

♦ **Magmatisme acide**
♦ **Magmatisme basique**

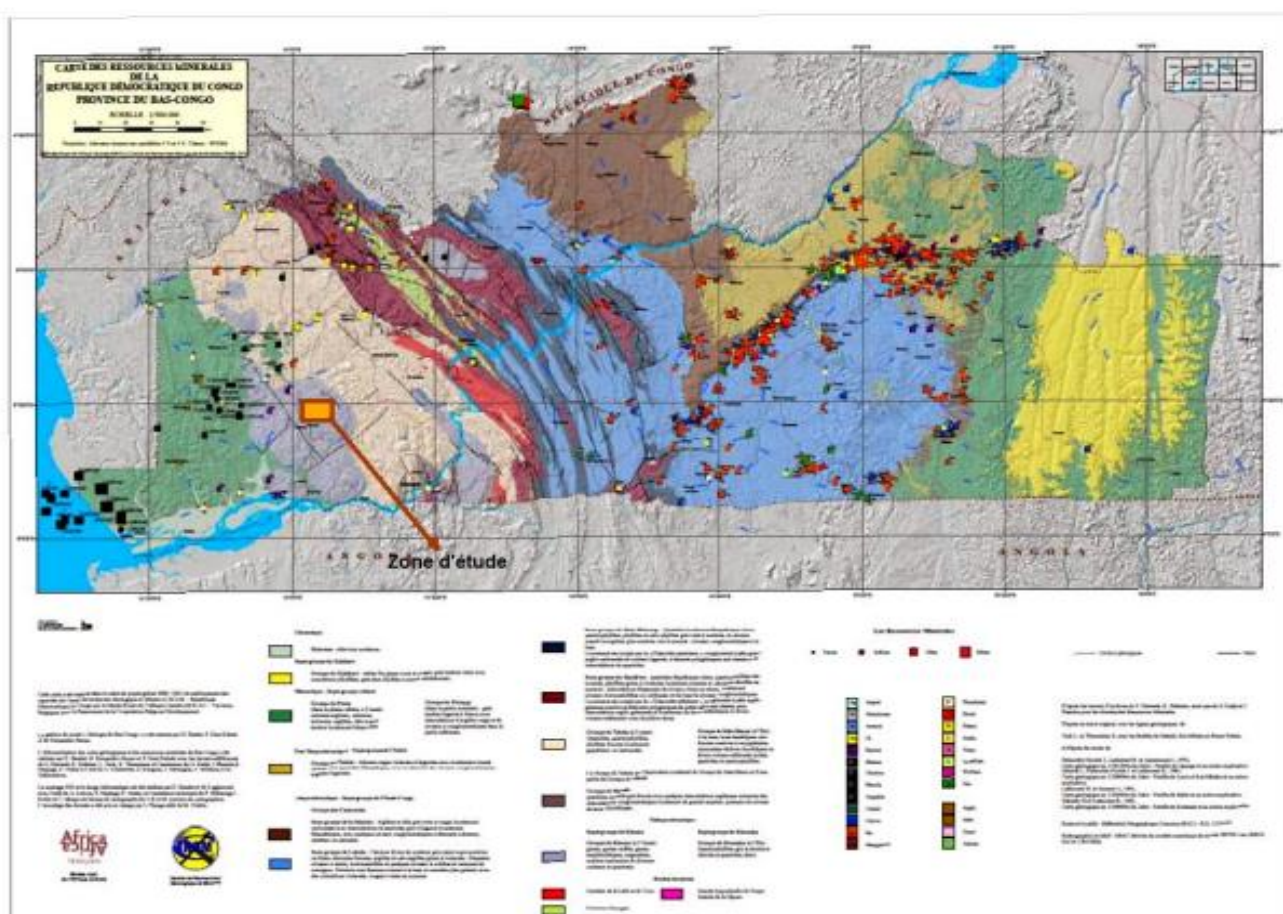


Fig. 2. Indication de notre zone d'étude sur la carte géologique du Kongo central, exécutée en 2013 par la coopération CRGM-MRAC/Echelle 1/500.000

2.2.2 TECTONIQUE AU KONGO-CENTRAL

Dans les limites du territoire de la République Démocratique du Congo, les trois principales orogénèses mentionnées ci-dessous ont joué autour du Craton du Congo, progressivement du Paléoprotérozoïque au Néoprotérozoïque:

L'orogénèse Eburnéenne (Tadienne): affleure dans la partie occidentale du craton et son âge remonte au Paléoprotérozoïque; - L'orogénèse Kibarienne: celle-ci affleure dans la partie orientale du craton et a été datée au Mésoprotérozoïque;

L'orogénèse Panafricaine: d'âge Néoprotérozoïque, celle-ci est localisée à l'Ouest du craton du Congo. Notons que deux de ces trois orogénèses, à savoir l'éburnéen et le panafricain, sont réputées avoir joué dans la région comprenant notre zone d'étude, c'est-à-dire la partie occidentale du craton du Congo. Pour bien cerner le niveau de leur implication dans la structure générale actuelle des formations géologiques du Kongo-Central, nous décrivons succinctement ci-dessous lesdites orogénèses puis nous proposons les éléments de connaissances essentiels sur la chaîne Ouest-Congo:

A. L'OROGÉNÈSE EBURNÉENNE

C'est un événement orogénique qui a joué au Paléoprotérozoïque et dont l'activité, à l'échelle du globe, est située entre 1.8 et 2.1 Ga.

En République Démocratique du Congo, les terrains éburnéens ont été identifiés dans la partie Sud-Ouest du Kongo-central (autour de la ville de Boma) sous le nom du Supergroupe Kimézien. L'orogénèse éburnéenne a affecté les terrains archéens et paléoprotérozoïques et se caractérise çà et là par un métamorphisme de haut grade (granulites) ainsi qu'un important volume

de plutonisme (Figueiredo, 1989; Teixeira & Figueiredo, 1991; Machado, et al., 1992; Ledru, et al., 1994). Il s'agirait d'une chaîne développée de suite du remaniement de son substratum archéen associé à un important magmatisme. En Amérique, elle a pour équivalent l'orogénèse transamazonienne. Dans le but de reconstituer le contexte géodynamique de cette orogénèse, comme pour la plupart des chaînes précambriennes, plusieurs hypothèses ont été émises. En effet, les données structurales, pétrologiques et géochimiques ont permis de définir l'orogénèse éburnéenne, au même titre que son équivalent américain, comme une chaîne à double vergence résultant de la collision frontale entre les cratons du Congo et de Sao Francisco. Sa direction principale est NW-SE.

B. L'OROGENÈSE PANAFRICAIN

Selon la description faite par (Unrug, 1992), la dynamique fin-précambrienne est marquée, à l'échelle du globe, par la dislocation de Rodinia (Méso-Néoprotérozoïque) et la formation de Gondwana (Néoprotérozoïque-Cambrien) suivant le cycle de formation et de fragmentation de supercontinents. Le développement d'un important système de rifts continentaux au Néoprotérozoïque a conduit à la mise en place de bassins ayant évolué, dans certains cas, en domaines océaniques. La fermeture de ces bassins, à la fin du Néoprotérozoïque, a permis le développement de chaînes de montagnes autour des blocs cratoniques précédemment disloqués. Ces événements tectoniques ont été datés et identifiés en Afrique. Le terme « Panafricain » a été proposé par Kennedy en 1964 pour désigner, sur la base de données géochronologiques, l'évènement tectonothermique qui a conduit à la mise en place des chaînes mobiles autour des cratons africains vers 500 Ma (Kröner & Stern, 2004). Depuis lors, ce concept a été étendu à l'échelle du Gondwana.

De ce fait, tel que défini par Cordani, et al. (2003), l'orogénèse panafricaine ou le cycle panafricain se définit comme un ensemble de chaînes résultant de la convergence de plusieurs blocs continentaux ayant conduit à la constitution du Gondwana à la fin du Néoprotérozoïque et au début du Paléozoïque. En Amérique du sud, le Brasiliano 0.7-0.45 Ga, (Alkimin & Marshak, 1998) est l'équivalent du Panafricain. Sur les marges brésiliennes et africaines, l'orogénèse brasiliano-pan-africaine se définit comme une chaîne de montagnes résultant de la collision vers 600 Ma (Franssen & André, 1988; Trompette, 1989; Maurin, et al., 1991; Pedrosa-Soares, et al., 1992; Pedrosa-Soares, et al., 2008) des deux plaques continentales suite à la fermeture des domaines océaniques qui les séparaient jadis. Dans la partie africaine, spécifiquement à la bordure du craton du Congo, se sont développées les chaînes des Damarides entre 550 Ma et 520 Ma (Kröner & Stern, 2004), de Kaoko entre 650 Ma et 550 Ma (Kröner & Stern, 2004), des Oubanguides autour de 620 Ma (Kröner & Stern, 2004) et la chaîne Ouest-Congo entre 560-480 Ma (Nsungani, 2012).

D'un point de vue structural, les unités panafricaines s'orientent suivant des bandes méridionales (ceinture du Mozambique, chaîne transaharienne, la chaîne Ouest-Congo) et des segments orientés E-W (Oubanguides, Damarides) témoignant ainsi d'une variation des directions de raccourcissement suivant les régions. L'impact qu'a eu le cycle panafricain sur les terrains préexistants a fait l'objet de diverses interprétations. Ainsi, quelques auteurs (Choubert & FaureMuret, 1971) ont considéré l'évènement panafricain comme un simple rajeunissement des formations anciennes. Par contre (Black, 1967; Caby, et al., 1981), quant à eux, l'ont décrit comme une véritable tectonogénèse avec une réactivation des anciennes structures.

C. LA CHAÎNE OUEST-CONGO

Localisée sur la marge occidentale du craton du Congo, la chaîne OuestCongo (Figure 3, B), large d'environ 150 à 300 km, s'étend sur près de 1400 km subparallèlement à la côte atlantique entre 1° et 12° Sud (Tack, et al., 2001). Elle affleure depuis le Sud-ouest du Gabon jusqu'au Nord-ouest de l'Angola en passant par la République du Congo et la République Démocratique du Congo. Particulièrement en RDC, elle s'étend de Boma à Mbanza-Ngungu et ces deux points limites marquent respectivement ses contacts avec le socle polycyclique Kimezien remontant de l'Eburnéen (2,1 Ga) à l'Ouest et des roches post-panafricaines à l'Est.

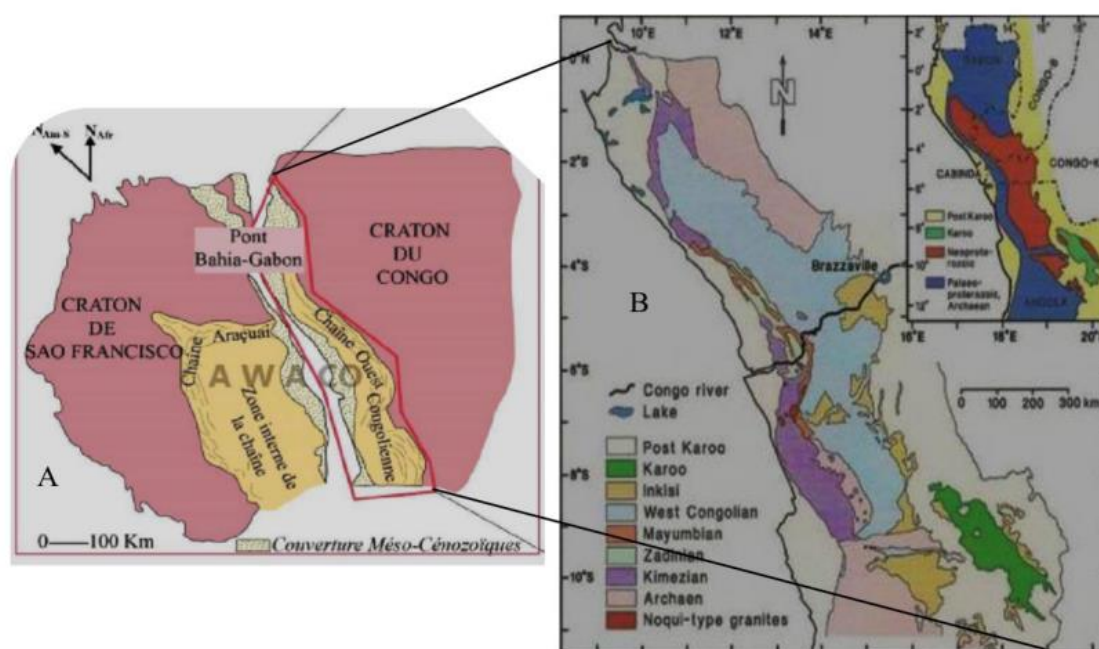


Fig. 3. (A) Carte géologique de la portion du Gondwana occidental mettant en évidence les contours du système AWACO (modifiée selon Pedrosa-Soares et Alkimin, 2011); (B) Carte géologique de la Chaîne Ouest-Congo

La chaîne Ouest-Congo est définie comme une chaîne résultant de la collision entre le craton du Congo à l'Est et le craton de Sao Francisco à l'Ouest lors de la formation du Gondwana occidental durant l'orogénèse Brasiliro/Panafricaine (Tack, et al., 2001; Noces, et al. 2007; Nsungani, P.C., 2012). La collision entre les deux blocs continentaux s'est faite suite à la fermeture du domaine océanique (Océan Adamastor) qui les séparait pendant la dislocation de Rodinia (Tack L., et al., 2010). Cette acception a été démontrée partant des corrélations pétrologiques, géochronologiques et géophysiques qui confirment, tout compte fait, l'évidence que le craton Sao Francisco, sur la marge sud-américaine au Brésil, constitue l'extrémité occidentale la chaîne Ouest-Congo fait partie du système orogénique Araçuaï-West Congo Orogen (AWACO) (Pedrosa-Soares, et al., 2008; Tack, et al., 2010; Tait, et al., 2011) (Figure 3). Les travaux menés en République du Congo ont permis de caractériser la chaîne Ouest-Congo comme étant constituée de formations paléoprotérozoïques (voire archéennes) et néoprotérozoïques, l'ensemble étant déformé au cours du panafricain. La chaîne est globalement orientée NW-SE et présente des plis à vergence Est marqués par le chevauchement des unités paléoprotérozoïques sur les unités néoprotérozoïques. Cette structuration permet de subdiviser la chaîne en trois domaines, de l'Est vers l'Ouest: le domaine externe, le domaine intermédiaire et le domaine interne. La déformation dans la chaîne Ouest-Congo croît de l'Est vers l'Ouest et se caractérise par deux phases principales (Hossé, 1980); (Porada, 1989) ci-après:

La première phase D1 est marquée par une schistosité S1 associée à la formation des plis dans le domaine intermédiaire et par le développement des chevauchements, des plis isoclinaux et des zones de cisaillement (top NE) dans le domaine interne;

La phase D2 est marquée par le replissement coaxial des structures D1 dans le domaine interne et, dans le domaine intermédiaire, une schistosité de crénulation bien marquée s'y développe associée à des plis droits parfois à vergence SW. Une troisième phase de déformation de direction NE-SW marquée par une schistosité de crénulation S3 replissant la schistosité de crénulation S2 est signalée dans le socle de Guéna au Congo (Boudzoumou, 1986) Les âges obtenus par (Cahen, Snelling, Delhal, & Vail, 1984) dans la chaîne ont permis de situer la phase D1 autour de 734 Ma et celle-ci a été interprétée comme une réhomogénéisation des anciennes unités, tandis que la phase D2 est située entre 625 Ma et 536±25 Ma (Porada, 1989).

L'histoire métamorphique dans la chaîne Ouest-Congo se résume comme suit: faible métamorphisme dans le domaine externe (anchizone), faciès des schistes verts dans le domaine intermédiaire et faciès des amphibolites dans le domaine interne. Une estimation des conditions P-T du métamorphisme a été faite dans le domaine interne de la chaîne par (Franssen & André, 1988), donnant des températures et des pressions variant respectivement entre 550-600°C à 0.2-0.3 GPa. Les données géochronologiques récentes situent le paroxysme du système Araçuaï-Ouest Congo (AWACO) autour de 550 Ma (Tack L., et al., 2010) marquant quasiment la limite entre le Néoprotérozoïque et le Paléozoïque estimée à 542 Ma. L'évolution concordante

des événements orogéniques en Amérique latine ainsi qu'en Afrique Centrale (côte Atlantique) est proposée dans le tableau ci-dessous

Tableau 3. Orogénèses concordantes entre la branche Est Américaine et celle Ouest-Congo (Kasereka & Masanda, 2019)

Système Araçuaï-West Congo		
Côte Est Américaine	Côte Ouest Africaine	Périodes géologiques
Orogénèse Brasiliano	Orogénèse Pan-Africaine	Néoprotérozoïque
Orogénèse Trans-Amazonienne	Orogenèse Eburnéenne	Paléoprotérozoïque
Craton Sao Francisco	Craton du Congo	Archéen

3 ETUDE ANALYTIQUE DU TERRAIN

3.1 PRESENTATION DES DONNEES DE TERRAIN

Le tableau ci-dessous reprend le numéro d'ordre de chaque station d'observation et les coordonnées géographiques dont la latitude, la longitude et l'altitude.

Tableau 4. Résumé des différentes stations d'échantillonnage

Station	Longitude (E)	Latitude (S)	Altitude (m)
BNG001	13°2'21,1452" E	5°33'58,9932" S	194
BNG002	13°2'24,8748" E	5°34'3,4752" S	190
BNG003	13°2'29,1876" E	5°34'4,5516" S	190
BNG004	13°2'40,0308"E	5°33'59,9940"S	190
BNG005	13°2'44,0232" E	5°33'49,0608" S	172
BNG006	13°2'37,7664" E	5°33'13,4640" S	173
BNG007	13°2'32,9172" E	5°33'10,0440" S	178
BNG008	13°3'32,3100" E	5°33'0,7200" S	173
BNG009	13°3'52,7976" E	5°34'0,0120" S	188
BNG010	13°3'47,2932" E	5°32'46,9896" S	183
BNG011	13°3'51,4548" E	5°31'24,7224" S	211
BNG012	13°3'48,9132" E	5°31'20,6148" S	218
BNG013	13°4'29,4384" E	5°33'35,1972" S	191
BNG014	13°4'44,8968" E	5°33'13,7124" S	200
BNG015	13°4'45,5016" E	5°33'12,6576" S	196
BNG016	13°4'33,5460" E	5°33'18,5904" S	202
BNG017	13°4'33,4992" E	5°33'18,6012" S	210
BNG018	13°4'22,4076" E	5°32'58,5456" S	206
BNG019	13°3'30,7152" E	5°34'37,2756" S	168
BNG020	13°3'37,7460" E	5°34'40,3212" S	169
BNG021	13°4'54,5412" E	5°34'15,5604" S	171
BNG022	13°1'10,4988" E	5°35'20,1012" S	294
BNG023	13°4'54,5988" E	5°34'15,5784" S	176
BNG024	13°4'57,0540" E	5°34'20,9532" S	186
BNG025	13°4'30,0432" E	5°34'10,4664" S	215
BNG026	13°1'56,4780" E	5°33'56,7000" S	158
BNG027	13°1'47,7300" E	5°33'44,7120" S	204
BNG028	13°1'36,2100" E	5°33'23,5656" S	217
BNG029	13°1'57,7488" E	5°33'14,9760" S	200

BNG030	13°1'47,8848" E	5°32'57,8112" S	214
BNG031	13°1'22,8648" E	5°32'47,0364" S	229
BNG032	13°1'30,1908" E	5°32'28,0824" S	251
BNG033	13°1'48,9000" E	5°32'30,7824" S	234
BNG034	13°4'7,5216" E	5°34'22,6920" S	162
BNG035	13°4'36,3864" E	5°34'12,6300" S	184
BNG036	13°5'45,5460" E	5°34'29,5104" S	197
BNG037	13°6'8,8920" E	5°34'32,7072" S	242
BNG038	13°6'25,7328" E	5°34'25,1760" S	220
BNG039	13°6'32,6160" E	5°34'18,6276" S	202
BNG040	13°6'37,9800" E	5°34'6,9600" S	207
BNG041	13°6'41,1480" E	5°33'54,7380" S	228
BNG042	13°6'59,0364" E	5°33'31,7340" S	254
BNG043	13°7'0,0660" E	5°33'2,1132" S	221
BNG044	13°6'59,5224" E	5°32'48,8436" S	224
BNG045	13°1'39,2340" E	5°34'37,8156" S	210
BNG046	13°1'54,3972" E	5°34'30,7236" S	207

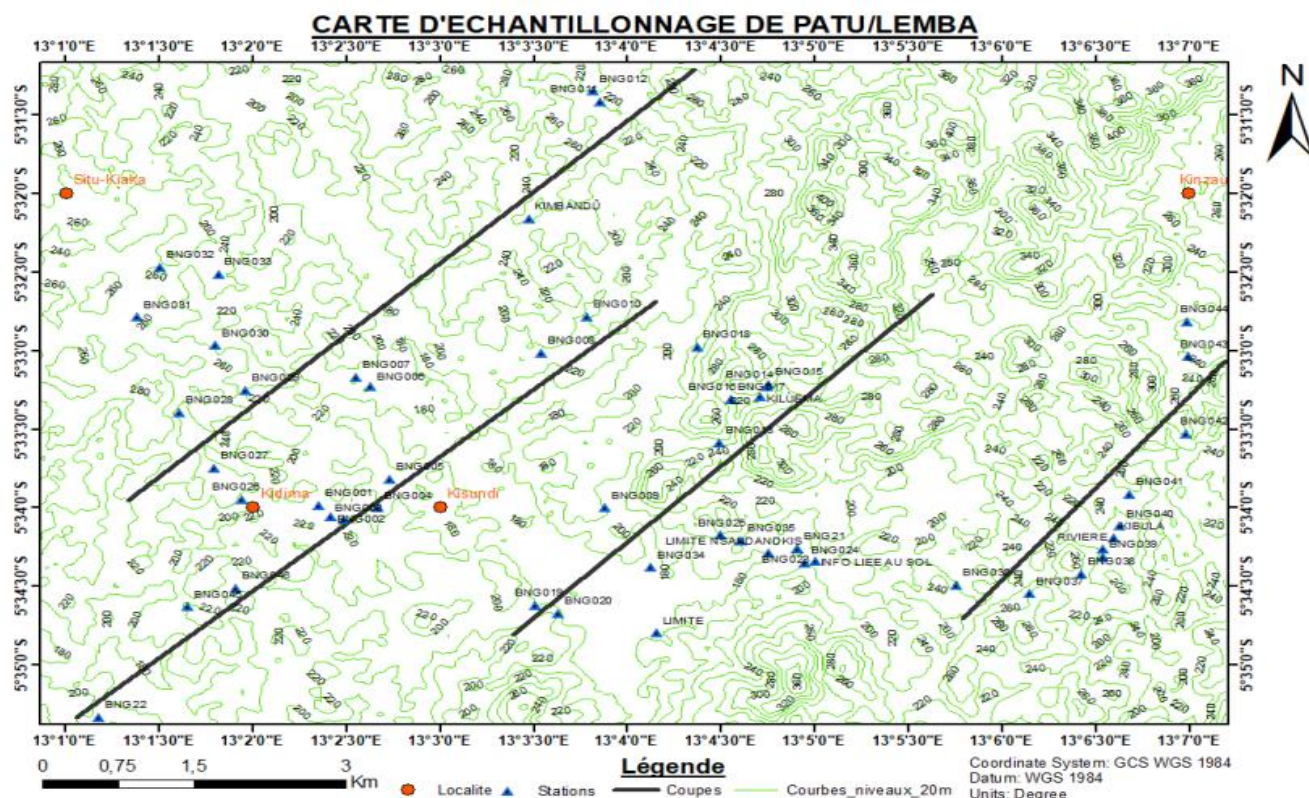


Fig. 4. Carte de localisation des stations d'observations et d'échantillonnages

Elle Constitue notre minute de terrain, car elle reprend l'ensemble de nos stations d'observation ainsi que les tracés de coupes de terrain.

4 ANALYSES STRUCTURALES

4.1 INTRODUCTION

Le présent chapitre sera essentiellement basé sur le traitement de données statistiques structurales planaires à l'aide des histogrammes de fréquence construits à partir d'Excel, puis la reconstruction des paléodéformations en employant le logiciel Win-Tensor (Delvaux, D. & Sperner, B., 2003) tel que révisé en 2012. Les résultats seront présentés sous format de canevas stéréographiques, Win-Tensor permettra également la détermination des orientations préférentielles de la schistosité et des cassures ainsi que l'identification d'éventuelles organisations de cassures et l'estimation des contraintes dynamique et cisailantes ayant joués dans la région afin de définir le régime tectonique, de même que la structure géologique du terrain. Plusieurs échelles nous ont intéressés lors de cette analyse structurale des données. Et pour mieux comprendre la géométrie, la cinématique et la dynamique relatives aux structures.

Deux types d'éléments structuraux seront mis en évidence dans le tableau IV. Rapportant les données de schistosité et cassure ayant été prélevées dans la zone d'étude. IV.2. EMPREINTES TECONIQUES

1. Echelle mésoscopique Les empreintes tectoniques à l'échelle mésoscopique consistent en des éléments structuraux de diverses natures, observables à l'échelle de l'affleurement. Nous avons pu observer sur terrain des marques des micro plissements, des filons de quartz, la schistosité, stratification, boudinage, des cassures.
2. Echelle microscopique Les observations microscopiques équivalent aux indications de déformations vues à l'échelle des affleurements. Il est à remarquer que les minéraux sont orientés suivant des directions préférentielles déterminant ainsi plusieurs directions, parfois la schistosité est microplissée (crénulation), etc.

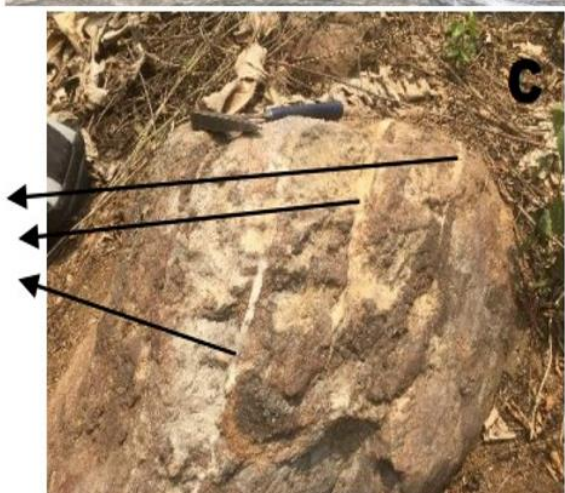




Tableau 5. Données structurales

N° STATION	SCHISTOSITE	STRATIFICATION	CASSURE	BOUDINAGE
BNG001	N71°/45°NW: foliation N20°/38°WNW		N182°/88°WNW N108°/88°NNE	
BNG005			N78°/82°NW	
BNG006	N70°/42°NW		N154°/62°NE N166°/70°NE N156°/64°NE N160°/67°NE	
BNG016	N186°/83°WNW : foliation			
BNG018			N158°/66°NE ; N153°/63°NE ; N150°/62°NE	
BNG22		N106°/74°NNE		
BNG025	N134°/74°SW			N178°/70°NW :
BNG026	N40°/58°NW : foliation			
BNG034			N140°/72°NE N70°/88°NW N147°/75°NE N36°/44°NW	
BNG035			N66°/45°NW	
BNG039	N160°/74°SW : schistosité		N15°/30°WNW N25°/38°NW N172°/72°NE N166°/70°NE	
BNG041			N178°/86°NE N117°/32°NE N177°/84°NE	

5 ANALYSES STATISTIQUES

5.1.1 SCHISTOSITÉ

La schistosité est une structure planaire caractérisant les roches qui se clivent facilement en feuillets plus ou moins épais à plans régulièrement espacés, sous l'influence des contraintes tectoniques. Elle peut également être définie comme étant une structure mécanique avec des plans de débit préférentiel de la roche, elle constitue un feuilletage tel que tous les feuillets aient la même composition, sans qu'ils aient un rapport défini avec la stratigraphie. Elle se développe lorsque la déformation a dépassé un certain seuil. Pendant les travaux de terrains, les mesures de schistosité ont été prélevées sur des Gneiss,

Amphibolites, Amphiboloschistes et des chloritoschistes. Partant du traitement à l'aide du logiciel Win Tensor des mesures prélevées, il a été observé que les directions des plans de schistosité de la zone se répartissent ENE-WSW, NW-SE et NNE-SSW, avec des pendages dans un intervalle de 40° à 90° (Figure 5).

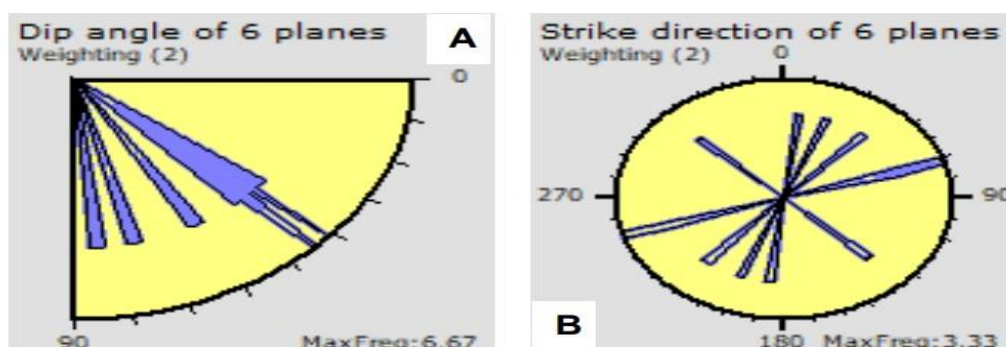


Fig. 5. La rosace des fréquences représentant la classe modale de pendage des plans de schistosité; (B) La rosace montrant l'orientation préférentielle des plans de schistosité

5.1.2 DÉFORMATION DISCONTINUE (FAILLES, FRACTURES, FILONS)

Il s'agit des déformations cassantes d'origine tectonique, pouvant être remplies (filons) ou non, aux pendages sub-verticaux à verticaux et se présentant soit en réseaux subparallèles à parallèles, équidistantes de quelques centimètres à mètres parfois. Certaines fractures s'entrecroisent et peuvent montrer des décrochements soit dextres, soit senestres. Dans le cadre de cette étude, nous avons récolté vingt et une mesures d'orientation des plans des déformations cassantes. Ces mesures ont été soumises à une analyse statistique afin d'en déduire la distribution des valeurs (Tableau 6). De même, un histogramme a été exécuté pour faciliter l'étude de la répartition des fréquences (Figure 6).

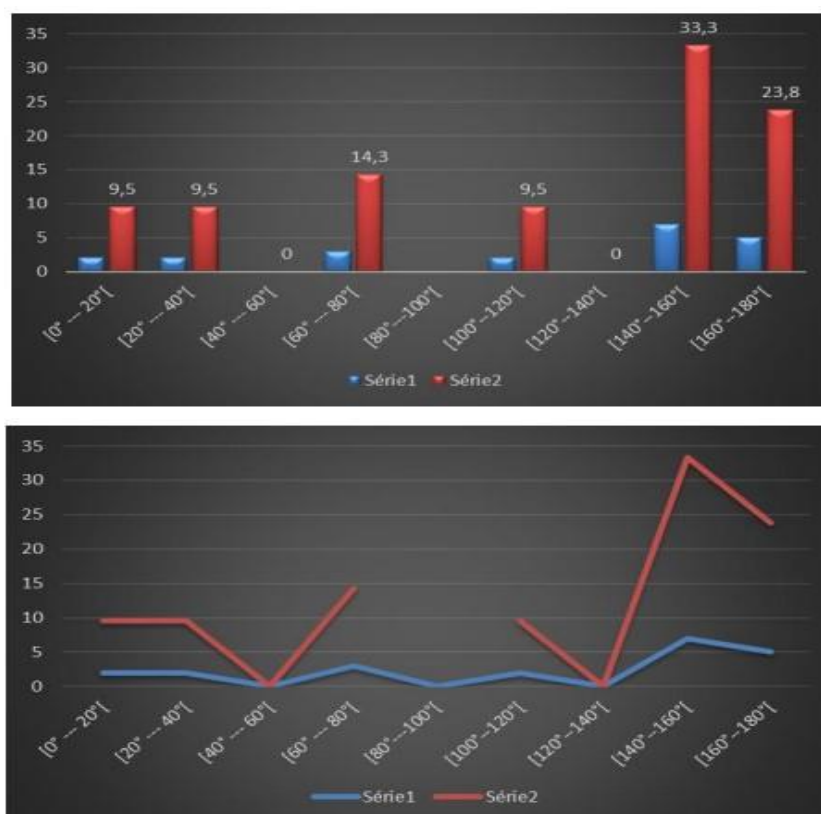


Fig. 6. Histogramme bimodal des fréquences des directions des plans de cassures (fractures, failles et filons)

Tableau 6. Fréquences des directions des plans de cassures

Classes	Nombre	%
[0° --- 20°[	2	9,5
[20° --- 40°[	2	9,5
[40° --- 60°[	0	0
[60° --- 80°[	3	14,3
[80° --- 100°[	0	
[100° --- 120°[	2	9,5
[120° --- 140°[	0	0
[140° --- 160°[	7	33,3
[160° --- 180°[	5	23,8
Σ	21	

Ces histogrammes renseignent sur les trois familles de cassures identifiées dans la zone, indiquées par trois pics réparties en intervalles.

Le premier intervalle comprend les valeurs situées entre 140° et 170°.

Le deuxième intervalle comprend les valeurs situées entre 60° et 80°.

Le troisième intervalle comprend les valeurs situées entre 100° et 120°.

a) Diagramme d'orientation des rosaces de fréquences

Les données structurales des cassures, telles que traitées à l'aide du logiciel Win Tensor indiquent trois familles d'orientation suivantes:

Une famille de cassures subméridiennes reprenant des cassures dirigées NNW-SSE, voire NNE-SSW.

Une famille de cassures ENE-WSW.

Et une autre famille de cassures orthogonale à la précédente dirigée WNW-ENE.

Les cyclogrammes montrent que les cassures de la zone sont caractérisées par des pendages majoritairement très forts, situés pour la plupart des cas dans l'intervalle entre 60° et 90° (Figure 7).

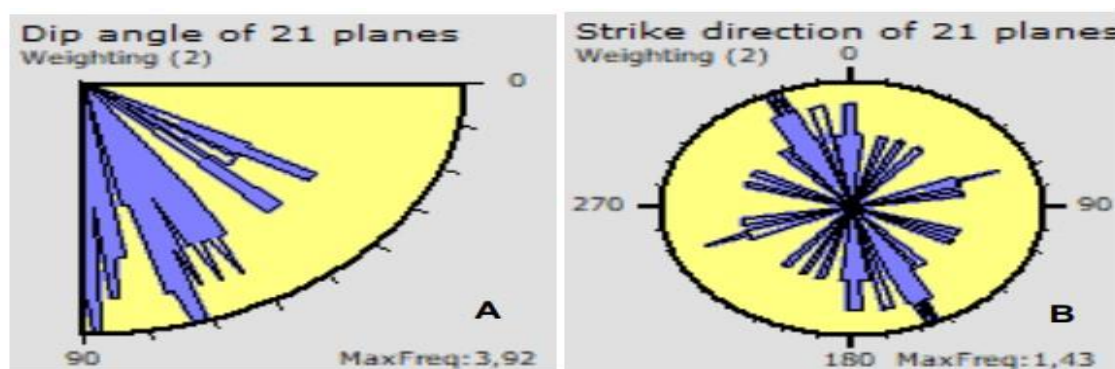


Fig. 7. (A) La rosace des fréquences représentant la classe modale de pendage des plans de cassures; (B) La rosace montrant l'orientation préférentielle des plans de cassures

b) Tenseurs des contraintes

Les tenseurs des contraintes sont une représentation utilisée en mécanique des milieux continus pour caractériser l'état des contraintes, c'est-à-dire les efforts internes mis en jeu entre les portions déformées du milieu. Le terme a été introduit par Cauchy vers 1822. Comme les efforts internes sont définis pour chaque surface coupant le milieu (on parle d'ailleurs également

d'efforts surfaciques), le tenseur est défini localement, en chaque point du solide. L'état des contraintes du solide est donc représenté par un champ tensoriel. On parle aussi, de ce fait, de champ des contraintes. Dans le cadre de la géologie structurale et de la tectonique, on parle fréquemment de tenseur de paléo-contraintes. Il représente la partie anisotrope du tenseur des contraintes, responsable des déformations comme les plis, les failles ou les schistosités. La valeur absolue des termes de la matrice n'est pas accessible, mais il est possible de retrouver l'orientation du triaxe principal, ainsi que le rapport d'intensité de ces trois axes.

En outre, Sur base de l'orientation et de la nature des fractures et failles, il est possible de caractériser les contraintes tectoniques au moment de leur formation en utilisant les relations entre contraintes et fracturation, selon les régimes de contraintes tectoniques d'Anderson (Analyse des paléocontraintes ou paléostress). Dans notre cas, l'orientation des contraintes principales ayant entraîné l'activation des fractures de notre secteur d'étude, a été obtenue grâce à la méthode de « rotational optimization of stress tensor » (optimisation rationnelle) du logiciel Win-Tensor (Delvaux, D., 2019). La figure 8. illustre le sens des contraintes qui ont entraîné les déformations observées sur terrain.

Ces tenseurs des contraintes renseignent sur deux faits:

Une compression de direction NNW-SSE marquée par un aplatissement partant de la contrainte maximale δ_1 .

Et une distension de direction WSW-ENE marquée par un allongement partant de la contrainte minimale δ_3 .

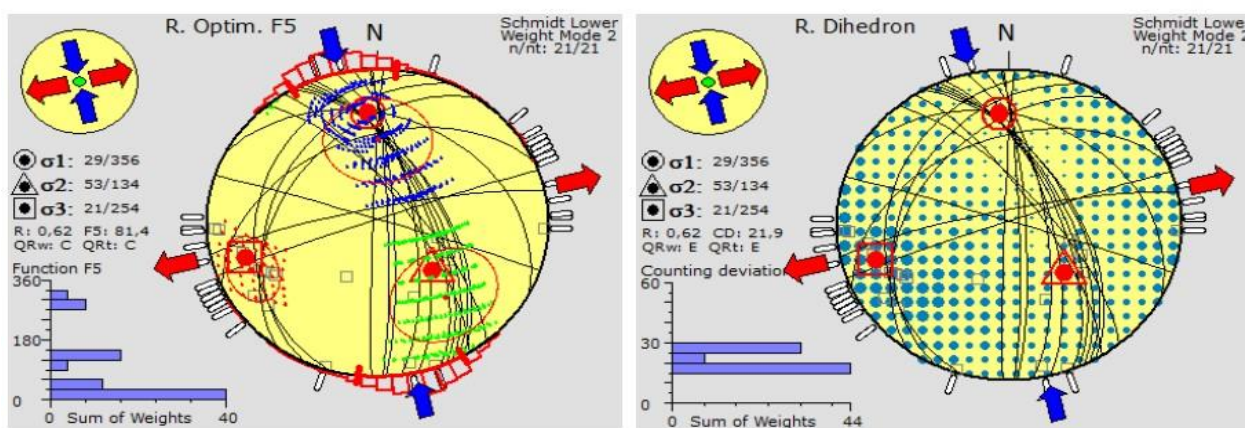


Fig. 8. Tenseur des contraintes

- La contrainte maximale: N355°/65° est orientée NNW-SSE.
- La contrainte intermédiaire: N152°/62° est orientée SSE-NNW.
- La contrainte minimale: N260°/70° es orientée WSW-ENE.
- La magnitude des contraintes (R) vaut 0,62
- L'index de régime tectonique (R') vaut: R'=2,62

L'analyse structurale des cassures rencontrées dans le secteur d'étude montre que certaines de ces cassures sont issues d'une extension (contrainte minimale δ_2) et d'autres résultent d'une compression (contrainte maximale δ_1). Les premières témoignent de la phase de relaxation (détente) ayant fait suite à la phase de compression dont le plissement général dans cette région est observé à grande échelle. D'après Delvaux (2009), les valeurs d'index du régime tectonique comprises entre certains intervalles permettent d'identifier et de contextualiser les efforts régis dans un terrain. Ces différentes valeurs sont:

- Si $R'=R$, une valeur comprise dans l'intervalle allant de 0 à 1, ceci équivaut au régime extensif;
- Si $R'=R$, une valeur comprise dans l'intervalle allant de 1 à 2, ceci équivaut au régime cisailant;
- Si $R'=R$, une valeur comprise dans l'intervalle allant de 2 à 3, ceci équivaut au régime compressif.

La valeur de l'index du régime tectonique obtenu étant de 2,62 et donc dans l'intervalle de 2 à 3, confirme un régime compressif dans la région.

c) Tenseurs PBT axes

Les tenseurs PBT indique (Figure 9):

- Contrainte maximale qui est horizontale: N000/00
- Contrainte intermédiaire également horizontale: 000 /00
- Contrainte minimale qui a un pendage faible: N228/33
- La magnitude de contrainte qui vaut R=0
- L'index du régime tectonique R'=2

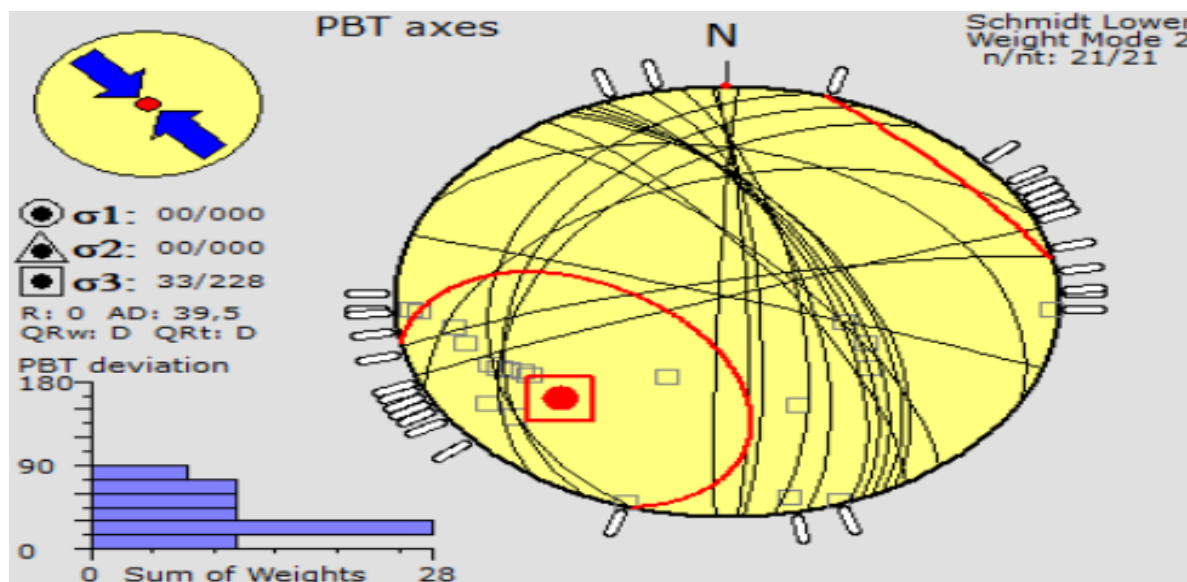


Fig. 9. Tenseurs PBT axes

6 INTERPRETATION DES RESULTATS ET CONCLUSION GENERALE

Le traitement des données structurales prélevées dans la zone de Lemba (direction, pendage des plans de cassures et de schistosité) démontre que la zone a été affectée par des contraintes d'origine tectonique. Ces dernières étant responsables des éléments structuraux observés. L'étude analytique faite met en évidence le fait que la zone a été affectée par plusieurs phases de déformation ou orogénèse. C'est une zone polyphasée. Cette analyse statistique avec représentation de la distribution de fractures confirme la présence de trois pics majeurs. Ce qui en fait la preuve irréfutable que la zone ait été affectée par: - Une famille de cassures subméridiennes reprenant des cassures dirigées NNW-SSE. - Une famille de cassures ENE-WSW. - Et une autre famille de cassures orthogonale à la précédente dirigée WNW-ESE.

Les différentes valeurs d'index du régime tectonique (R') obtenues, 2.62 et 2 confirment que la zone d'étude a été soumise à deux types de régime: le régime compressif et le régime cisailant.

Du point de vue tectonique, les études géologiques que nous avons réalisées à Lemba et environs ont permis de caractériser la zone du point de vue tectonique.

Les différentes structures rencontrées et les différentes analyses et descriptions observées à l'échelle mésoscopique, microscopique, ainsi que l'analyse statistique des cassures à l'aide du logiciel Win Tensor confirment que la zone qui, du point de vue tectonique, est polyphasée. L'analyse avec représentation de la distribution a mis en évidence la présence de trois pics majeurs confirmant la présence de trois familles de cassures dans la zone de Lemba: famille dirigée NNW-SSE, famille d'orientation ENE-WSW et enfin famille WNW-ESE. Partant des différents résultats obtenus de R', l'index du régime tectonique (rotational optimization of stress tensor et PBT axes), il découle deux types de régimes tectoniques dans la zone:

Le régime compressif avec $R' = 2,62$; se trouvant dans l'intervalle des valeurs comprises entre 2 à 3;

Le régime cisailant avec $R' = 2$; se trouvant dans l'intervalle des valeurs comprises entre 1 à 2.

REFERENCES

- [1] Alkimin, F., & Marshak, S. (1998): Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90, 29-58.
- [2] Affaton, P., Kalsbeek, F., Boudzoumou, F., Trompette, R., Thrane, K., & Frei, R. (2016): The Pan-African West Congo belt in the Republic of Congo (Congo Brazaville): Stratigraphy of Mayombe and West Congo Supergroups studied by detrital zircon geochronology. *Precambrian Research*, 272, 185- 202.
- [3] Black, R. (1967): Sur l'ordonnance des chaînes métamorphiques en Afrique. *Chronique des Mines et de la Recherche*, 364, 225-238.
- [4] Boudzoumou, F. (1986): La Chaîne Ouest-congolienne et son avant-pays au Congo: Relation avec le Mayombien, Sédimentologie des séquences d'âge protérozoïque supérieur. (T. 3. cycle, Éd.) Université d'Aix Marseille.
- [5] Boudzoumou, F., & Trompette, R. (1988): La chaîne panafricaine ouestcongolienne au Congo (Afrique Equatoriale): un socle polycyclique charrié sur un domaine subautochtone formé par l'aulacogène du Mayombe et le bassin de l'Ouest-Congo. *Bull. Soc. Géol. France* 8, 889-896.
- [6] Caby, R., Bertrand, J., & Black, R. (1981): Pan-African closure and continental collision in the Hoggar-Iforas segment, central Sahara. Amsterdam, Elsevier: In Kröner, A. ed, *Precambrian plate tectonics*.
- [7] Cahen, L. (1978): La stratigraphie et la tectonique du Supergroupe OuestCongolien dans les zones médianes et externe de l'orogénèse Panafricain au Bas-Zaïre et dans les régions voisines. MRAC Tervuren, Belgique, p74.
- [8] Cahen, L., Delha, J., & Ledent, D. (1976): Chronologie de l'orogénèse Ouest Congolienne (Panafricaine) et comportement isotopique des roches d'alcalinité différente dans la zone interne de l'orogénèse du Bas-Zaïre. *Ann. Soc. Géol-Belg.*, 99, 189-203.
- [9] Cahen, L., Snelling, N., Delhal, J., & Vail, J. (1984): The geochronology and evolution of Africa. Clarendon Press, 512p.
- [10] Choubert, G., & Faure-Muret, A. (1971): Tectonique de l'Afrique. U.N.E.S.C.O, Earth Sciences, 602p.
- [11] Cibambula, C.M.E. (2016): Le sous-groupe de la Mpioka: un flysch de la chaîne panafricaine West Congo dans le Kongo central (R.D. Congo), Thèse de doctorat en sciences géologiques, Faculté des sciences, Dép. Géosc., Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo, 158p.
- [12] Cordani, U. G., Brito-Neves, B. B., & D'Agrella-Filho, M. S. (2003): From Rodinia to Gondwana: a review of the available evidence from South America. *Gondwana Research*, 6, 275-283.
- [13] De Waele, B., Johnson, S., & Pisarevsky, S. (2008): Palaeoproterozoic to Neoproterozoic growth and evolution of the eastern Congo Craton: Its role in the Rodinia puzzle. Récupéré sur <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.020>.
- [14] De Wit, M. J. (2015): Geology and resource potential of the Congo Basin. Springer Science & Business Media.
- [15] Delvaux, D., & Sperner, B. (2003): Stress tensor inversion from fault cinematic indicators and focal mechanism data: the TENSOR program. In: *New Insights into Structural Interpretation and Modelling* (D. Nieuwland Ed.). (G. Society, Éd.) Special Publications, 212, 75-100.
- [16] Figueiredo, M. (1989): Geochemical evolution of eastern Bahia, Brazil: a probable Early Proterozoic subduction-relation magmatic arc. *Journal of South America Earth Sciences*, 2, 131-145.
- [17] Franssen, L., & André, L. (1988): The Zadinian group (Late Proterozoic, Zaïre) and its bearing on the origin of the West-Congo orogenic belt. *Precambrian research*, 38, 215-234.
- [18] Guillou-Frottier, L., Augé, T., & Bertrand, G. (2012): Géodynamique et ressources minérales. *Géosciences*, 15, pp. 22-27.
- [19] Hossé, G. (1980): Contribution à l'étude structurale de la chaîne Ouestcongolienne Pan-Africaine dans le Mayombe congolais. Thèse 3ème cycle, 124p.
- [20] Kanika, M. (2016): Notes de Cours de lever géologique, G3 Géologie (Inédit).
- [21] Kasereka & Masanda: Contribution à l'étude métamorphique et structurale des environs de Tumba-Kituti, District du Bas-fleuve (Province du Kongo central), mémoire de fin d'étude en sciences géologiques, Faculté des sciences, Université de Kinshasa.
- [22] Kröner, A., & Stern, A. (2004): Pan-African orogeny. (Elsevier, Éd.) *Encyclopedia of Geology*, 1-12.
- [23] Ledru, P., Johan, V., Milési, J. P., & Tegye, M. (1994): Markers of the last stages of the Palaeoproterozoic collision: evidence for a 2 Ga continent involving circumSouth Atlantic provinces. *Precambrian Research*, 69, 169- 191, 69, 169-191.
- [24] Machado, N., Noce, C. M., Ladeira, E. A., & De Oliveira, O. B. (1992): UPb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco craton, Brazil. *Geological Society of America Bulletin*, 104, 1221-1227.
- [25] Mackenzie, W-S., & Guilford, C. (2005). *Atlas de Pétrographie: Minéraux de roches observés en lames minces*. Paris: Dunod.

- [26] Maurin, J., Boudzoumou, F., Djama, L., Gioan, P., Michard, A., MpembaBoni, J., et al. (1991): La chaîne protérozoïque ouest-congolienne et son avant-pays au Congo: nouvelles données géochronologiques et structurales. implications en Afrique Centrale. *Compte rendu de l'Académie des Sciences de Paris II*. 312, 1327-1334.
- [27] Meloux, J., Bigot, M., & Viland, J. (1983): Plan minéral de la République populaire du Congo. Bureau de Recherches Géologiques et Minière.
- [28] Mottet, G. (1997). Le Mayombe (Congo): contraintes et aménagements d'une moyenne montagne tropicale. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 3, 329-335.
- [29] Noce, C., Pedrosa-Soares, A., Da Silva, L., Armstrong, R., & Piuzeana, D. (2007): Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U-Pb SHRIMP data: Implications for BrazilAfrica links in Paleoproterozoic time. *Precambrian Research*, 159, 60-78.
- [30] Nsungani, P.C. (2012): La chaîne panafricaine du Nord-Ouest de l'Angola: Etude pétrostructurale, géochimique et géochronologique. Implications géodynamiques. Thèse. Thèse, Université Montpellier II, 328.
- [31] Ongendangenda, T. (2004): Signification géodynamique des roches basiques et ultrabasiques du Kongo Central. PICG. –UNESCO, p27–29.
- [32] Pedrosa-Soares, A. C., Alkmim, F. F., Tack, L., Noce, C. M., Babinski, M., Silva, L. C., et al. (2008): Similarities and differences between the Brazilian and African counterparts of the Neoproterozoic Araçuaí-West Congo orogen. *Special Publications*, 294, 153-172.
- [33] Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Vidal, P., Monteiro, R. L., & Leonardos, O. H. (1992): Toward a new tectonic model for the late proterozoic Araçuaí (SE Brazil) West Congolian (SW Africa) belt. *Journal of South American Earth Sciences*, 6, 3347.
- [34] Porada, H. (1989): Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and eastern Brazil. *Precambrian research*, 44, 103-136.
- [35] Robert, M. (1946). *Le Congo physique*. Liège, 449 p.: Vaillant-Carmanne, 3ème Ed. M.
- [36] Roubault, M., Touret, J., Weisbrod, A., & Fabries, J. (1963): Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant. Paris, France: Editions LamarrePoinat.
- [37] Tack, L., Wingate, M., De Waele, B., Meert, J., Belousova, E., Griffin, B., et al. (2010): The 1375 Ma «Kibarian event» in Central Africa: Prominent emplacement of bimodal magmatism under extensional regime. *Precambrian Research*, 180, 63-84.
- [38] Tack, L., Wingate, M., Liégeois, J., Fernandez-Alonso, M., & Deblond, A. (2001): Early Neoproterozoic magmatism (1000-910Ma) of Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinian rifting at the western edge of Congo craton. *Precambrian Research*, 110, 277-306.
- [39] Tait, J., Delpomtdor, F., Prétat, A., Tack, L. S., & Nkula, V. (2011): Neoproterozoic sequences of the West Congo and Lindi. Ubangi supergroups in the Congo craton, Central Africa. *Geological Society, Memoirs*, 36, 185-194.
- [40] Teixeira, W., & Figueiredo, M. C. (1991): An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco craton, Brazil: a review. *Precambrian Research*, 53, 1-22.
- [41] Trompette, R. (1989): Ensisal evolution of the centrifugal Araçuaí West Congo (Zaire) Pan-African belt: role of Middle Proterozoic fracturation., (p. Abstract p116.). Washington.
- [42] Vernetier, P. (1966): *Géographie du Congo-Brazzaville*. Paris: GauthierVillars.
- [43] Unrug, R. (1992): The supercontinent cycle and Gondwanaland assembly: component cratons and the timing of suturing events. *Journal of Geodynamics*, 16, 215-240.
- [44] www.caid.cd.