



Apport des données magnétiques de surface et satellitaires à l'étude des structures profondes du Sud-Cameroun

Basseka Charles Antoine^{1*}, Njiteu Tchoukeu Cyrille Donald¹, Eyike Yomba Albert², Shandini Yves³, Kenfack Jean Victor⁴

¹Université de Douala, Faculté de Sciences, Département des Sciences de la Terre, B.P. 24157 Douala Cameroun

²Université de Douala, Faculté de Sciences, Département de Physique, B.P. 24157 Douala, Cameroun

³Université de Yaoundé I, Faculté de Sciences, Département de Physique, B.P. 812 Yaoundé, Cameroun

⁴Université de Dschang, Faculté de Sciences, Département de Physique, Cameroun

Received: June 2016

Revised: August 2016

Accepted: September 2016

Available online: September 2016

Abstract

A regional cartography based on magnetic data (obtained from surface and satellite measurement) from the South of Cameroon, between longitudes 08° to 16°E and latitudes 02° to 06°N was undertaken with an aim of showing the application of the EMAG2 database to the interpretation of magnetic anomalies. The methods of the first vertical derivative, total horizontal gradient, tilt derivative and analytic signal, coupled with the upward continuation were applied in order to give a geological significance to the various anomalies and to highlight structures of the subsurface. The superposition of maximum of the tilt angle with those of the analytic signal of the total magnetic field reduce to the equator, allowed the production of a structural map showing the network of faults in the area. The results obtained through the gradient maps revealed the existence of three structural domains thus confirming the contrast of magnetic susceptibility between the Congo craton and the Pan-African belt. Moreover, the analytic signal map highlights the induced character of the Yokadouma anomaly for which no direct correlation is made with the rocks of surface. The structural map obtained for the study area made it possible to detect in the Congo craton, faults extend over more than 400km attaining the R.C.A. having E-W, NE-SW and ENE-WSW orientations, associated to the eburnean orogeny. An examination of these directions shows that they are parallel to the ENE-WSW longitudinal direction of the magnetic anomaly of "Bangui". The deep origin of this anomaly translates the induced character of the Yokadouma anomaly of granulitic nature.

ISSN 1029–2225c2016 Sciences, Technologies et Développement

Key words: cartography; magnetism; anomaly; structures; South Cameroon.

Résumé

Une cartographie régionale sur la base des données magnétiques (données de surface et satellitaires) du Sud Cameroun, entre les latitudes 02° à 06°N et les longitudes 08° à 16°E a été entreprise dans le but de montrer l'application de la base de données EMAG2 à l'interprétation des anomalies magnétiques. Les techniques de gradient vertical, gradient horizontal, tilt angle et signal analytique couplé au prolongement vers le haut ont été appliquées afin de donner une signification géologique aux différentes anomalies et mettre en évidence des structures de subsurface. La superposition des maxima du tilt angle avec ceux du signal analytique du champ magnétique total réduit à l'équateur, a permis la production d'une carte structurale montrant le réseau de failles dans la région. Les résultats obtenus à travers les cartes des gradients et tilt angle, ont révélés l'existence de trois domaines structuraux confirmant ainsi le contraste de susceptibilité magnétique entre le craton du Congo et la chaîne panafricaine. De plus, la carte du signal analytique met en relief le caractère induit de l'anomalie de Yokadouma dont aucune corrélation directe n'est faite avec les roches de surface. La carte structurale obtenue pour la zone d'étude a permis de détecter dans le craton du Congo, des failles étendues sur plus de 400km jusqu'en R.C.A. d'orientation E-W, NE-SW et ENE-WSW, associées à l'orogénèse Eburnéenne. L'examen de ces directions montre qu'elles sont parallèles à la direction longitudinale ENE-WSW de l'anomalie magnétique de « Bangui ». L'origine profonde de cette anomalie traduit le caractère induit de l'anomalie de Yokadouma de nature granulitique.

ISSN 1029–2225c2016 Sciences, Technologies et Développement

Mots clés: cartographie; magnétisme; anomalies; structures; Sud-Cameroun.

1. Introduction

La zone d'étude s'étend entre 02°-06°N et 08°-16°E. De nombreux travaux de prospection aéromagnétique y ont été déjà réalisés, mais dans divers secteurs bien ciblés. On note de ce fait des travaux récents tels, ceux de Feumoé et al. (2012), qui ont eu pour but la détection des linéaments magnétiques, l'analyse de leurs relations avec la tectonique et l'estimation des profondeurs

des sources perturbatrices, entre 02° à 03°N et 13° à 15°E. Cette zone a fait l'objet de nouvelles études menées par Ndougou et al. (2012) en associant les méthodes du gradient horizontal, signal analytique et déconvolution d'Euler afin de mettre en évidence des accidents profonds dont les directions révélées sont NE-SW. Le réseau de failles majeures étant parallèle à l'axe ENE-WSW avec des profondeurs estimées à 1500m. De même, l'interpréta-

*Corresponding author address: 677333749 / 696232645 - email : c.basseka@yahoo.fr

tion quantitative des données aéromagnétiques conduite dans la zone d'Ebolowa – Djoum par Bikoro et al. (2014) a permis d'estimer les paramètres magnétiques et géométriques des sources causatives par analyse spectrale et modélisation 2.5D. Bien que ces travaux aéromagnétiques et de nombreux autres (Biyiha et al., 2013 ; Ndougsa et al., 2014) pour la caractérisation géophysique du Sud-Cameroun soit d'un grand intérêt, il n'en demeure pas moins que les travaux magnétiques, à l'échelle régionale demeurent inexistant. Les campagnes de mesures aéromagnétiques entreprises jusqu'à présent, n'ayant intéressé que des zones au potentiel minier important. Ainsi, les travaux aéromagnétiques jusqu'ici déjà réalisés n'ont cependant pas permis d'avoir une connaissance magnétique globale de la zone d'étude. Face à cette préoccupation, ce manuscrit propose une interprétation magnétique des anomalies dans le Sud-Cameroun, par une compilation des données de surface et satellitaires, pour une cartographie des grands domaines structuraux et des structures profondes. Ainsi, il est question de déterminer la position et l'extension des anomalies magnétiques et d'avoir un aperçu structural de la zone d'étude.

2. Travaux antérieurs

A l'échelle régionale, de nombreuses études ont déjà été réalisées en gravimétrie. On peut en occurrence faire référence aux toutes premières campagnes gravimétriques (1960 à 1967) menées par l'ORSTOM. Lesquelles avaient couvert une surface de 519.600 km² par un réseau de 3.600 stations gravimétriques, soit une densité moyenne de 357 points par degré carré. Ces campagnes ont abouti à l'élaboration de la première carte d'anomalies gravimétriques du Cameroun réalisée par Collignon (1968). Dumont (1986) a repris cette carte, à laquelle il superposa le tracé de la faille de la Sanaga et précisa d'une part l'extension E-W du craton du Congo à 4°N (passant par Edéa et Yaoundé) sur plus de 100km, et d'autre part, son extension NE-SW sous la faille de la Sanaga.

A l'issue de campagnes complémentaires entreprises entre 1968 et 1986 par l'Université de Princeton et la société ELF, Poudjom (1993) et Boukeke (1994) ont montré à travers l'analyse d'une nouvelle carte d'anomalies de Bouguer que le craton du Congo est associé à un couple d'anomalies positive et négative E-W parallèles: l'anomalie positive au Nord, du côté de la zone mobile et l'anomalie négative au Sud du côté du craton. Boukeke (1994) a montré par une déconvolution d'Euler appliquée à la carte anomaliq ue de Bouguer, une série de structures NE-SW reliées les unes aux autres et qui se superposent assez bien à la faille de la Sanaga. La détermination des épaisseurs crustales par analyse spectrale a permis d'évaluer la profondeur du Moho à 26 km à la limite craton-chaîne panafricaine. Poudjom (1993) a montré un épaississement progressif de la croûte, du Nord vers le Sud- Cameroun.

Ces données gravimétriques ont en plus été complétées par les campagnes entreprises par l'Université de Princeton (1968), la ELF (1980), l'Université de Leeds, et l'IRGM entre 1982 et 1988. La nouvelle base de données obtenue, compilant les informations de 1960 à 1988 a permis d'élaborer une nouvelle carte,

plus complète d'anomalies gravimétriques de reconnaissance entre 1°N et 14°N et entre 8°E et 17°E par Poudjom et al. (1995). Sur la base de ces données, les modélisations gravimétriques en bordure nord du craton du Congo suggèrent la présence d'une zone de gradient E-W qui juxtapose le craton du Congo au Sud et la chaîne panafricaine au Nord sous près de 20 km de profondeur dans la croûte (Tadjou et al., 2009). Les travaux magnétiques régionaux demeurent cependant inexistant. Les campagnes aéromagnétiques entreprises jusqu'à présent n'ont permis de disposer des données que dans des zones très locales et bien ciblées. Ceci étant, les études aéromagnétiques connues à ce jour telles celles de Feumoé et al. (2012) et Ndougsa et al. (2012) visant à l'interprétation structurale des données aéromagnétiques entre 13°E - 15°E et 2°N - 3°N sont très locales. Toutefois, leurs résultats ont permis de mettre en évidence les linéaments magnétiques, d'analyser leurs relations avec la tectonique et d'estimer la profondeur des sources perturbatrices. Une séparation régionale-résiduelle des anomalies par prolongement vers le haut et ensuite modélisation 2.5D des anomalies aéromagnétiques de la zone de Mimbi (3°N - 3°30'N et 12°E - 13°E) a permis à Biyiha et al. (2013) de délimiter les structures profondes et de proches surfaces. D'autres études aéromagnétiques plus récentes de Bikoro et al. (2014) entre Ebolowa et Djoum ont permis d'estimer les paramètres magnétiques et géométriques des corps causatifs par analyse spectrale et modélisation 2.5D. Ndougsa et al. (2014) par une modélisation 2.5D des données aéromagnétiques entre Akonolinga et Mbama ont montré l'extension E-W de la marge nord du craton du Congo à 4°N de latitude.

3. Contexte géologique et tectonique

Le Sud-Cameroun est caractérisé par des entités géotectoniques majeures aux caractéristiques géophysiques diversifiées : le Complexe du Ntem d'âge Archéen, la zone mobile représentée par les Complexes du Nyong et des Oubanguides respectivement d'âge paléoprotérozoïque et néoprotérozoïque (Owona, 2008 ; Owona et al., 2011a ; 2013b), les Complexes sédimentaires et volcaniques.

3.1. Le Complexe du Ntem

D'âge supérieur à 2500 Ma, le Complexe du Ntem (Fig. 1) représente le bloc Nord-Ouest du craton du Congo (Shang et al., 2004 ; Tchameni et al., 2001 ; Owona, 2008). Trois groupes lithologiques y sont reconnaissables : (a) un complexe intrusif constitué essentiellement de TTG (Tonalite-Trondhjemite-Granodiorite) et de charnockites associé à de rares syénites à orthopyroxène, granodiorite, granite; (b) la série rubanée dans la vallée du Ntem, qui est un ensemble gneissique très déformé dans lequel sont distingués des gneiss charnockitiques, des leptinites, des gneiss à silicates d'alumine; (c) les reliques de ceintures de roches vertes, dans lesquelles se retrouvent en intrusion des charnockites et TTG.

3.2. Le Complexe du Nyong

Le Complexe du Nyong (Fig.1) correspond à la bordure ouest

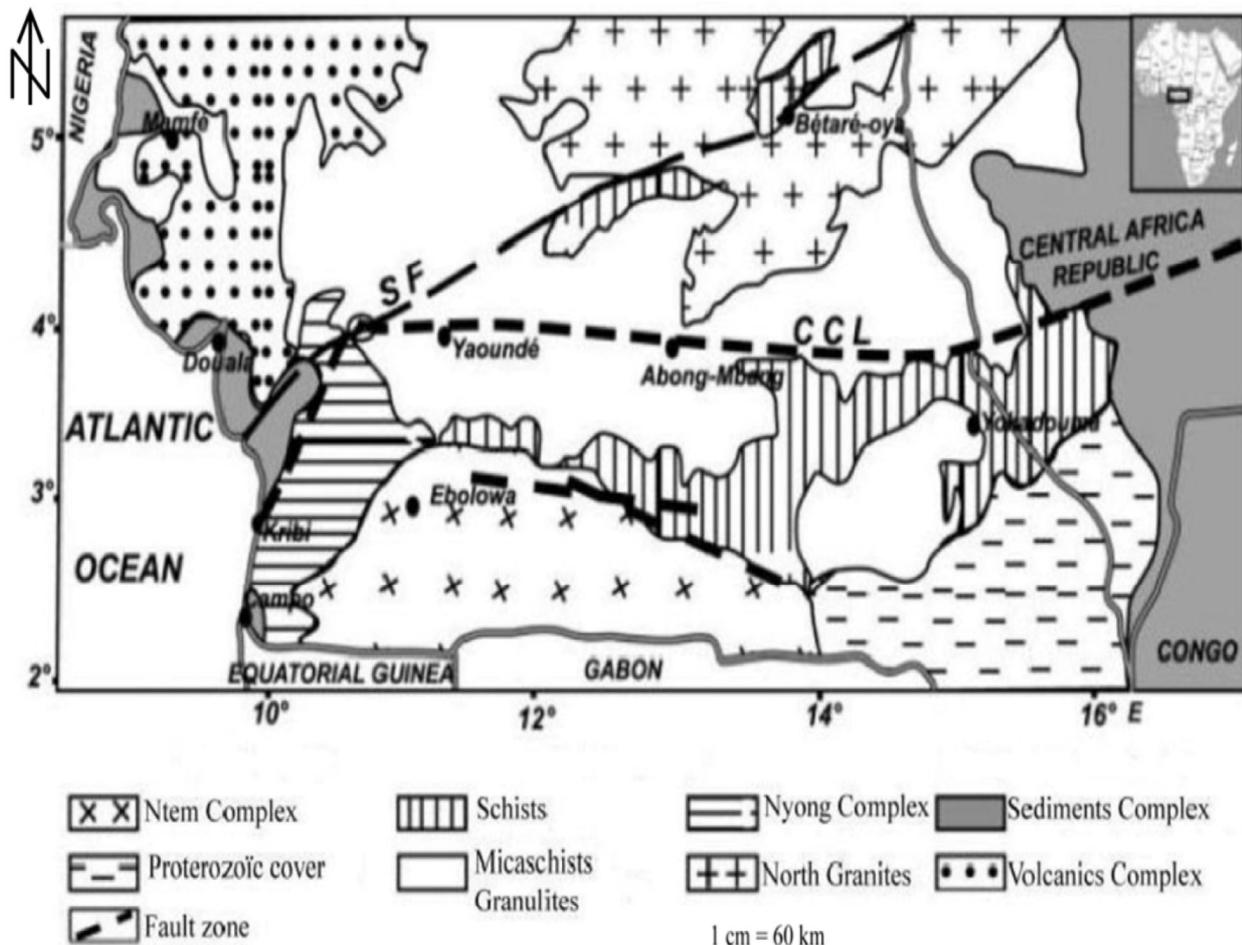


Figure 1. Carte géologique simplifiée du sud Cameroun (modifiée d'après Tadjou et al., 2009).

du Complexe du Ntem et résulte de la collision entre les cratons du Congo et de Sao Francisco entre 2.4 et 1.8 Ga (Lerouge et al., 2006, Owona et al., 2013b). Il comprend le groupe de l'Ayna, en bordure est du craton. On y retrouve des métasédiments et des volcano-sédiments qui correspondraient aux reliques des ceintures de roches vertes, des gneiss à orthopyroxène, des pyroxéno-amphibolites riches en grenat, des BIF, des métavolcanites basiques et ultrabasiques, des gneiss gris migmatitiques à composition de TTG, des charnockites syn à post-tectoniques (Penaye et al., 2004).

3.3. Le Complexe des Oubanguides

Le Complexe des Oubanguides (1500-500Ma), résulte de la collision néoprotérozoïque entre le craton du Congo, le craton Ouest-Africain et le méta-craton du Sahara. Au Cameroun, il s'étend au Sud, au contact entre la zone mobile et le craton du Congo, jusqu'au Nord. Il comprend le Nord, le Sud et le Sud-Est du super groupe du Sud-Cameroun. Le super groupe du Sud Cameroun, comprend les groupes de Yaoundé, du Lom, de Bafia et de la Sanaga. Celui du Sud-Est comprend les groupes du Dja, Yokadouma.

Les groupes du Dja et de Yokadouma sont constitués de tillites, quartzites, schistes, dolérites (intrusions datées entre 1167 et

850 Ma) et calcschistes, alternant fréquemment avec des lits de quartzites, d'empreintes volcano-sédimentaires.

Le groupe de Yaoundé (500-600 Ma) est une vaste nappe de charriage qui borde au Sud le Complexe du Ntem. Il est constitué de schistes (micaschistes, chlorito-schistes), amphibolites, paragneiss, orthogneiss, quartzites (Owona et al., 2012b). On y retrouve des massifs pré- et syn-tectoniques constitués essentiellement de roches mafiques ou de roches intermédiaires, de roches ultramafiques à serpentinite, chromite, nickel, associées aux gabbros, diorites et dykes mafiques (Toteu et al., 2004). La partie sud du groupe de Yaoundé, directement en contact avec le craton du Congo, est représentée par les schistes de la zone de Mbalmayo. Les caractères pétrographiques et géochimiques de cette zone sont ceux d'une série sédimentaire, détritico-argilo-carbonatée déposée dans un environnement de plate-forme et métamorphisée dans des conditions du faciès schiste vert. La partie médiane et la partie nord sont représentées par des micaschistes, amphibolites à moyen degré de métamorphisme (faciès amphibolite) et gneiss à pression et température élevée (750-800°C et 10-12 Kbars) du faciès granulites, associés au domaine de Yaoundé. La présence des granulites dans ce groupe implique le caractère collisionnel de la nappe (Toteu et al., 2006b). Une unité métasédimentaire et une autre méta-ignée

sont reconnues. L'unité métasédimentaire est constituée de gneiss à grenat et disthène et de gneiss à grenat et plagioclase dans lesquels sont intercalées les couches de marbre et de roches à silicates calciques. La composition chimique des gneiss et des roches silico-calciques est celle d'une séquence sédimentaire constituée essentiellement de pélites et grauwackes. L'unité méta-ignée quant à elle est constituée d'amphibolites et métadiorites (Owona et al., 2012b).

Le groupe du Lom correspond à une ceinture étroite et discontinue d'orientation NE-SW, constituée d'une unité supérieure et d'une unité inférieure. Ce groupe est bien connu pour ses minéralisations aurifères et autres associées aux intrusions granitiques (Pb, Bi, Mo). On y trouve des chlorito-schistes microconglomératiques, des schistes volcanoclastiques de composition felsiques, des micaschistes enrichis en quartz, sérito-schistes à graphite, des quartzites, des micaschistes à staurolite, gneiss à biotite et granites.

Le groupe de Bafia est considéré comme une écaille de nappe du socle paléoprotérozoïque chevauchant le groupe de Yaoundé au Nord. Il s'agit d'une séquence métasédimentaire néoprotérozoïque constituée d'un ensemble de gneiss à hornblende et biotite, gneiss à plagioclase et biotite interstratifiés de bancs d'amphibolites et quartzites, associés à des métaplutonites d'âge Panafricain. Le protolithe est constitué de grauwackes et shales. Cette région est caractérisée par des structures NNE, soulignées par des niveaux de quartzites très déformés, marqueurs de l'extension régionale NNE-SSW (Tchakounte et al., 2007).

Le groupe de l'Ouest est situé à l'Ouest de la zone de cisaillement Tcholoré-Banyo et s'étend le long de la bordure ouest du Cameroun, au Nigéria. Ce groupe est représenté par des granitoïdes pré-, syn- et post-tectoniques (diorites, granodiorites et granites), de composition calco-alkaline (660-550 Ma). Des granitoïdes post-tectoniques alcalins comprenant des dykes mafiques et felsiques entrecoupés par des granites sub-circulaires et des syénites (Toteu et al., 2004).

3.4. Le Complexe volcanique

Le Complexe volcanique est représenté par la ligne volcanique du Cameroun (datée du Phanérozoïque, environ 64 Ma). C'est un alignement thermo-magmatique actif sur plus de 2000 km et orienté N30E. Les édifices volcaniques s'étendent depuis l'île de Pagalu dans l'océan atlantique jusqu'au lac Tchad en secteur continental. Le secteur continental est constitué de sept volcans (Mt Etindé, Mt Cameroun, Mt Rumpi, Mt Manengouba, Mt Bambouto, Mt Mbam et Mt Oku) édifiés en horst et grabens; de nombreux cônes monogéniques et de plus de 60 complexes annulaires plutoniques anorogéniques (Déruelle et al., 2007). La ligne chaude du Cameroun est recoupée par des zones de cisaillement N70E d'âge Panafricain. Celles-ci avec leur extension jusqu'en Amérique du Sud (Patos, Pernabuco) avant l'ouverture de l'océan atlantique sud, traversent la croûte continentale et le manteau supérieur sur une profondeur de 190 km. Les roches ont un caractère typiquement alcalin. Leur pétrographie révèle des laves basaltiques (basaltes alcalins, picrites, hawaïtes), des laves intermédiaires (mugéarites, benmoréites) et des laves felsiques (phonolites, trachytes,

rhyolites alcalines).

3.5. Les Complexes sédimentaires

Le Sud Cameroun compte deux types de bassins sédimentaires: les bassins côtiers (bassin de Rio del Rey, le bassin de Douala/Kribi-Campo) et les bassins intracratoniques (bassin de Mamfé, en ce qui concerne notre zone d'étude). Le Bassin de Douala/Kribi-Campo, d'âge Crétacé, est divisé en deux sous-bassins: le sous-bassin de Kribi-Campo au Sud qui s'étend sur 6150 km² en offshore et 45 km² en onshore (Ntamak et al., 2010) et le sous bassin de Douala au Nord couvrant une superficie totale de 12805 km², dont 6955 km² en onshore et 5850 km² en offshore (Ndikum et al., 2014). Le sous bassin sédimentaire de Douala est limité à l'Est par les formations précambriennes. Au Nord-Ouest, il est séparé du bassin de Rio del Rey (Paléogène-Néogène) par la ligne volcanique du Cameroun.

4. Tectonique

Le Sud-Cameroun a été affecté au cours du temps par trois orogénèses (Libérienne, Eburnéenne et Panafricaine) qui ont vu l'individualisation des Complexes du Ntem, du Nyong et des Oubanguides. Les marques de ces différents événements orogéniques ont fait l'objet de plusieurs études (Feybesse et al., 1998 ; Ngako et al., 2003 ; Mvondo et al., 2007 ; Owona, 2008 ; Owona et al., 2011a ; 2011b ; Tchameni et al., 2001) qui ont révélé les caractéristiques tectoniques et structurales de ces Complexes. Le Complexe du Ntem est affecté par deux phases de déformations (D1 et D2) qui définissent des épisodes ductiles et fragiles. D1 datée à 3100±100 Ma, définit les textures hypersolidus, foliations et joints associés à la cristallisation. La déformation D2, datée entre 2950-2850 Ma, est responsable de la charnockitisation. Celle-ci est caractérisée par des foliations S2 verticales, orientées N80E à N120E et N-S, observées dans les reliques de ceintures de roches vertes et TTG. Des zones de cisaillement senestres orientées N-S à N45E, N50E. Le Complexe du Ntem a été affecté par un événement thermo-tectonique Eburnéen qui a vu l'individualisation du Complexe du Nyong sur sa bordure ouest.

Le Complexe du Nyong est représenté par des foliations (S1) préservées dans la charnière des plis (F2). Ces plis sont associés à une phase de déformation rotationnelle D2 (2050 Ma) non coaxiale. D2 est aussi responsable de la mise en place des foliations S2, des linéations L2. Une autre phase D3 est représentée par des méga-plis qui définissent le transport de la nappe paléoprotérozoïque du Nyong vers l'Est sur le Complexe du Ntem pendant l'orogénèse Eburnéenne et des zones de cisaillement senestre blastomylonitiques C3 sensiblement SW-NE. La phase fragile est post-Eburnéenne-Transamazonienne. Elle est responsable de la mise en place des failles NE-SW réactivées au cours de l'orogénèse panafricaine. Une remobilisation de la bordure NE par l'événement thermo-tectonique panafricain a donné naissance à la Chaîne Panafricaine d'Afrique Centrale représentée par le Complexe des Oubanguides.

Quatre phases de déformation caractérisent le Complexe des Oubanguides: une phase D1, qui définit le transport vers le

Sud-Est de la nappe panafricaine. D2 est responsable du transport SSE de la nappe de Yaoundé sur les Complexes du Ntem et du Nyong sous des conditions allant des granulites aux schistes verts. Cette phase est marquée par des plis P2 asymétriques, isoclinaux. D3 est responsable du développement des zones de cisaillement senestres NE-SW à N-S et des zones de cisaillement dextres WNW-ESE à NE-SW telle la zone de Cisaillement Centre Camerounais (CCC), la zone de cisaillement de la Sanaga. La dernière phase est matérialisée par des plis P4 orientés NW-SE à E-W, correspondant à des raccourcissements NE-SW à N-S.

5. Matériels et méthodes

Les données magnétiques utilisées pour cette étude sont une compilation des mesures satellitaires (CHAMP), marines et aéroportées. Cette base de données a été utilisée pour le développement de la grille d'anomalie magnétique de la terre (EMAG2). EMAG2 est le résultat d'une collaboration de plus d'une centaine de fournisseurs dans le monde. C'est une grille d'anomalie magnétique de l'intensité magnétique acquise à une altitude de 4 kilomètres au-dessus du niveau moyen de la mer avec une résolution de 2-arc-minute. Cet ensemble de données est une mise à jour significative comparée à la première grille d'anomalie magnétique globale EMAG3. Le nom reflète l'amélioration de la résolution de 3 minutes d'arc à 2 minutes d'arc. L'altitude a été également réduite de 5 kilomètres à 4 kilomètres au-dessus du Géoïde (Maus et al., 2009). Le traitement numérique de ces données a été fait sous le logiciel Oasis montaj, Version 6.4.2. Celles-ci ont été géoreférencées dans le système UTM, ellipsoïde WGS84. Cette base de données permettra de donner une signification géologique efficiente aux différentes anomalies magnétiques et d'établir une carte structurale pour la région du Sud-Cameroun.

Dans cette étude, nous utiliserons six méthodes de traitement dans le but de mettre en évidence les grands domaines structuraux du Sud-Cameroun ainsi que le tracé des différents linéaments caractéristiques.

1) Les caractères soient induits, soient rémanents des corps magnétiques, leur nature, les intensités et orientations sont autant de paramètres qui font qu'il ne soit pas toujours évident de faire la liaison entre les anomalies et les structures à l'origine de celles-ci. De ce fait, les transformations analytiques des cartes permettent de circonscrire les potentielles sources magnétiques. La réduction au pôle est un opérateur permet ainsi de ramener les anomalies magnétiques au-dessus de leurs sources causatives en supposant que l'aimantation de la source est purement induite (Ansari et al., 2009). Dans le domaine fréquentiel, son expression est donnée par l'équation suivante (MacLeod et al., 1993):

$$L(\theta) = 1 / [\sin(I) + i \cos(I) \cos(D - \theta)]^2 \quad (1)$$

Où θ est la direction du nombre d'onde; I et D sont l'inclinaison et la déclinaison magnétique respectivement. Cette approche a pour inconvénient, la difficulté de son applicabilité à de faibles latitudes magnétiques. Les structures N-S ne présentant pas d'anomalies magnétiques détectables à une inclinaison géomagnétique nulle. Ainsi, pour des régions situées près de l'équateur

magnétique où l'inclinaison est inférieure à 15°, une réduction des mesures au pôle s'avère instable. De plus, lorsque le caractère rémanent des corps est appréciable, la réduction au pôle n'est plus une technique valide; d'où la nécessité d'une réduction à l'équateur des données telle que cela s'applique dans notre cas. De ce fait, la réduction à l'Equateur transforme une anomalie causée par un corps soumis à une aimantation ayant une inclinaison non nulle, en une autre anomalie qui serait associée au même corps si l'inclinaison était nulle. Afin de faciliter l'interprétation des anomalies magnétiques à de faibles latitudes, la carte du champ magnétique total est transformée dans le domaine spatial. Cette transformation correspond à des convolutions du signal initial. La méthode la plus simple et la plus effective consiste à considérer une seconde inclinaison (I') pour contrôler l'amplitude du signal près de l'équateur (MacLeod et al., 1993).

$$L(\theta) = 1 / [\sin(I') + i \cos(I) \cos(D - \theta)]^2 \quad (2)$$

2) Le prolongement vers le haut consiste à déplacer artificiellement le plan d'observation et à calculer le champ que l'on observerait en ces nouveaux points à partir des données recueillies sur le terrain. C'est une atténuation de l'amplitude et un lissage qui fait passer l'anomalie de l'altitude $z = 0$ à l'altitude $z > 0$. Il joue le rôle de filtre passe-bas similaire à une intégration et ainsi est utile pour cerner les grandes anomalies en particulier celles générées par le socle (Simon Fleury, 2011 ; Poudjom, 1993). Cette transformation est ici utilisée pour une séparation régionale-résiduelle. Les anomalies résiduelles correspondant aux effets de susceptibilité magnétique dont on désire connaître la source. Elles sont obtenues en soustrayant à la grille du champ magnétique total les anomalies de basse fréquence associées aux sources profondes. En considérant $G(u, v, z)$ la transformée de Fourier en x et y d'un champ $g_0(x, y, z)$, l'opérateur de prolongement à une altitude z est donné par la relation (Poudjom, 1993):

$$G_z(u, v, 0) = G_0(u, v, 0) * e^{-2\pi z f} \quad (3)$$

Avec u et v les fréquences correspondantes à x et y respectivement.

Toutefois, Koumetio et al., (2014) rappellent que la profondeur du toit des sources obtenue après prolongement vers le haut à une altitude $z = h$ est supérieure ou égale à $h/2$ car à une altitude $z = h$, on élimine l'effet des sources situées au-dessus de $h/2$. Les cartes du gradient vertical, gradient horizontal et tilt angle ont été obtenues à partir de la carte résiduelle à 4 km. Ceci est fait premièrement dans le but de cartographier les grands domaines géophysiques de la zone d'étude, ensuite établir leurs relations avec la géologie de surface et de subsurface et enfin avoir un aperçu structural à travers l'analyse des linéaments.

3) L'opérateur de gradient vertical ou première dérivée verticale, permet d'éliminer l'effet de coalescence des anomalies. Il joue le rôle de filtre passe-haut, amplifiant les courtes longueurs d'onde au détriment des grandes. Une dérivation verticale est toute aussi utile pour distinguer les anomalies de proche surface masquées par le signal du socle (Simon Fleury, 2011).

L'expression du gradient vertical à l'ordre n d'un champ $g_0(x, y, z)$ est la suivante :

$$\frac{d^n}{dz^n} G_0(u, v, 0) = G_0(u, v, 0) * (2\pi f)^n \quad (4)$$

u et v étant les fréquences correspondant à x et y (Poudjom, 1993).

4) Le gradient horizontal est un opérateur de détection et d'interprétation des accidents structuraux. C'est une méthode qui ne nécessite que le calcul des dérivées horizontales aux deux premiers ordres du champ. Blakely et Simpson (1986) ont proposé une méthode de détermination automatique des maxima du gradient horizontal, déterminés à partir d'une grille de valeurs présentées dans une fenêtre 3x3. Si M représente l'anomalie du champ potentiel, alors l'amplitude du module du gradient horizontal (HGM) est donnée par l'équation:

$$HGM(x,y) = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2} \quad (5)$$

La composante suivant x du gradient accentue les discontinuités et les contacts dans la direction N-S, tandis que la composante y agit de façon similaire suivant la direction E-W.

5) La transformation du tilt-angle ou de l'angle incliné, calcule l'inverse de la tangente du rapport du module des dérivées partielles horizontales avec la dérivée verticale du champ magnétique. L'équation appliquée à l'anomalie du champ est la

suivante (Salem et al., 2007):

$$H_\theta(F) = \tan^{-1} \frac{\frac{\partial M}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}} \quad (6)$$

M étant le champ magnétique ou gravimétrique. L'avantage de la transformation est que, en calculant un angle, toutes les formes sont représentées de manière similaire, et ceci quelque soit l'amplitude des anomalies. La fonction arc-tangente a pour effet de répartir le signal calculé entre -90° et $+90^\circ$. Pour un contact vertical, la valeur nulle de l'angle correspond à la limite de la structure ($h=0$). Pour $H_\theta(F) = \pm 45^\circ$, la distance entre l'une des deux valeurs et la valeur nulle, la fonction tilt étant symétrique, permet d'estimer la profondeur du toit du socle.

6) Le signal analytique peut être défini comme la racine carrée de la somme des carrés des dérivées horizontales et verticales du champ magnétique. L'opérateur transforme un signal dû à une anomalie magnétique en une forme dont le maximum de l'amplitude est ramené à la verticale de la source. En plus, il a l'avantage de donner une estimation de la profondeur des structures. Son expression est donnée par la relation suivante (Roest et al., 1992; MacLeod et al., 1993):

$$|A(x,y)| = \sqrt{\left(\frac{dM}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dM}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dM}{dz}\right)^2} \quad (7)$$

Où A(x,y) est l'amplitude du signal analytique en (x,y) et M le

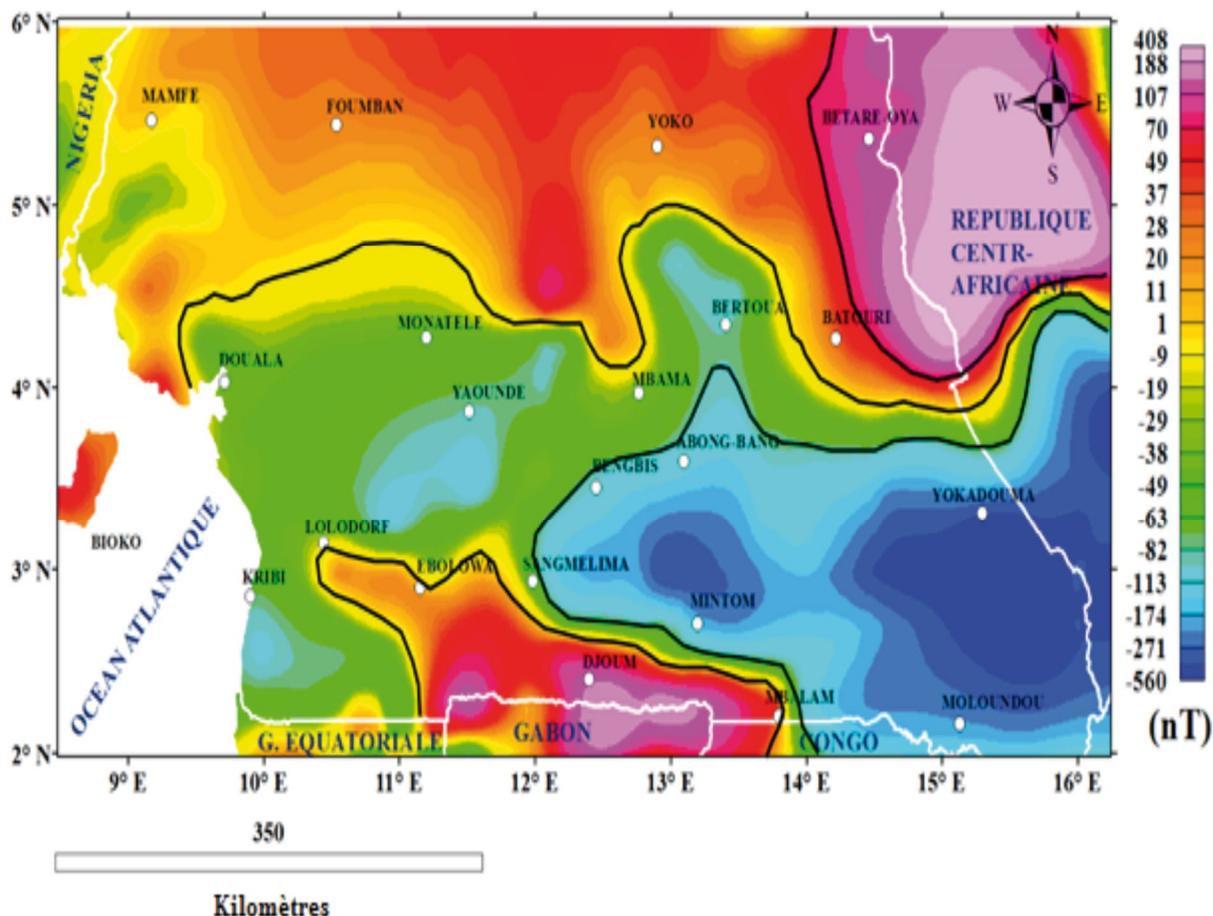


Figure 2. Carte du champ magnétique total (CMT)

champ magnétique observé en (x,y) ; dx , dy , dz sont respectivement les dérivées horizontales et verticale. La localisation des maxima du signal analytique permet une meilleure détermination des corps géologiques causatifs des différentes anomalies et par conséquent facilite l'interprétation quantitative des anomalies des champs potentiels.

6. Résultats

6.1. Carte des Intensités Totales du Champ magnétique

La carte du CMT (Fig. 2) met en évidence les variations de l'intensité du champ magnétique dans notre zone d'étude. Elle présente des anomalies magnétiques positives et négatives orientées globalement E-W. Les intensités sont comprises entre -560 nT et 408 nT.

- Les anomalies positives : de forme et d'intensité diversifiées, apparaissent surtout au Sud de 3°30'N entre 10 et 14°E, avec une anomalie d'intensité maximale (supérieure à 100 nT) à Djoum et environs, où elle est entourée par la plage d'anomalie positive d'intensité plus réduite à Ebolowa (7 à 76 nT). Au Nord de 4° (localités de Mamfé, Fouban, Batouri, Yoko et environs), l'intensité est comprise entre 3 nT et 69 nT. A cette latitude, est

observée à l'Ouest de 11°E, la signature magnétique de la ligne volcanique du Cameroun (LVC), et à l'Est de 14°E, l'anomalie N-S de Bétaré-Oya d'intensité maximale qui se prolonge en R.C.A.

- Les anomalies négatives : elles apparaissent surtout au centre de la carte, où elles ont une extension généralisée vers le Sud-Est. L'une des anomalies caractéristique est celle de Yokadouma (-560 nT). Cette anomalie est entourée par les anomalies négatives de Moloundou, Monatéle, Bertoua, Mbama, Yaoundé qui recouvrent presque tout le sud de la région, et présentent une large extension en R.C.A.

6.2. Carte du CMT-RTE

La carte réduite à l'équateur (Fig.3) présente des anomalies orientées E-W. Les intensités varient entre -575 nT et 254 nT.

- Les anomalies positives: par rapport à la carte du CMT, on note sur cette carte une amplification des anomalies au sud de 3°30'N et une atténuation des anomalies décrites au nord de 4°N.

- Les anomalies négatives: par rapport à la carte du CMT, les anomalies de Bengbis, Abong-Bang, Yaoundé et Yokadouma sont plus amplifiées.

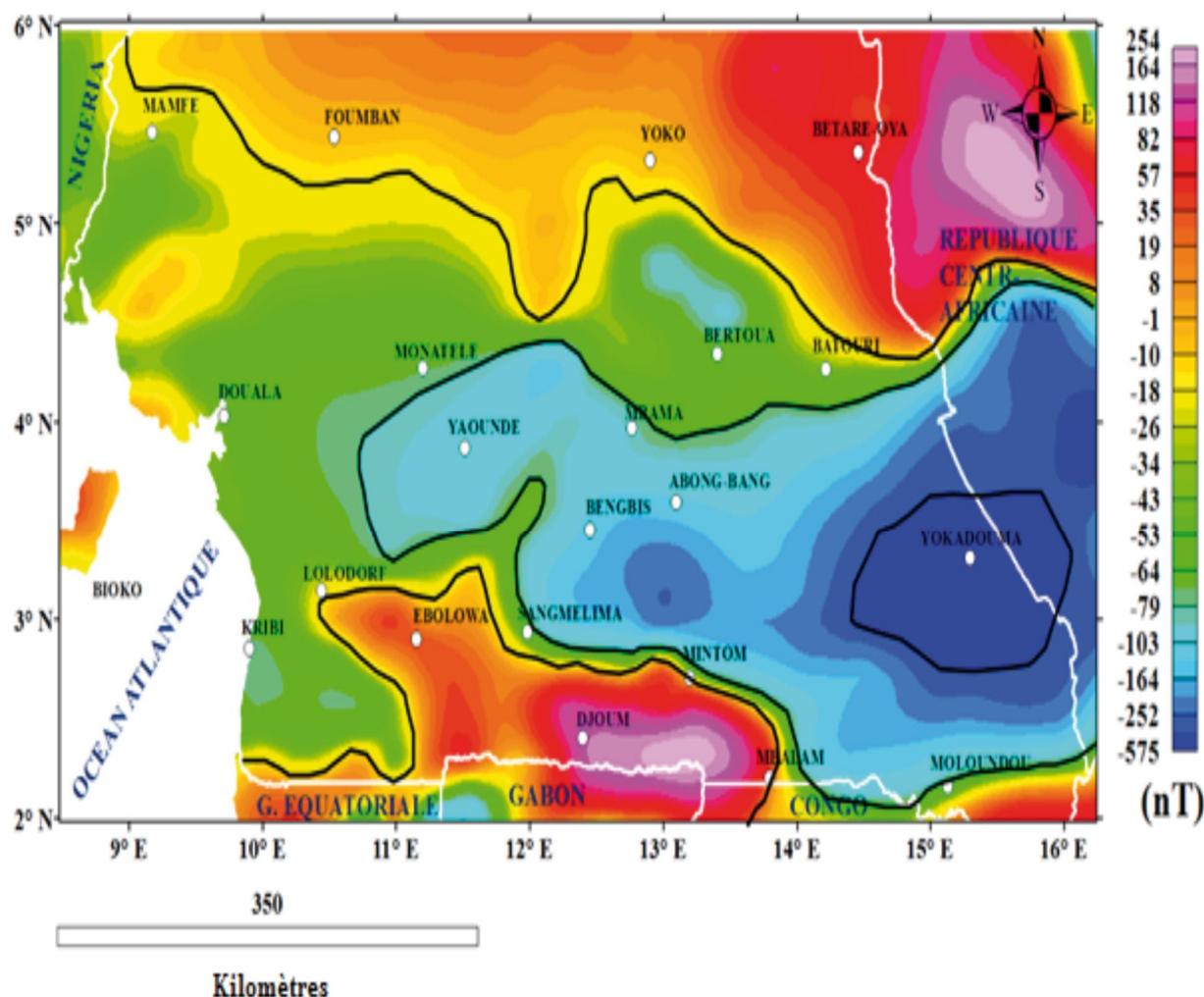


Figure 3. Carte du champ magnétique total réduite à l'équateur (CMT-RTE)

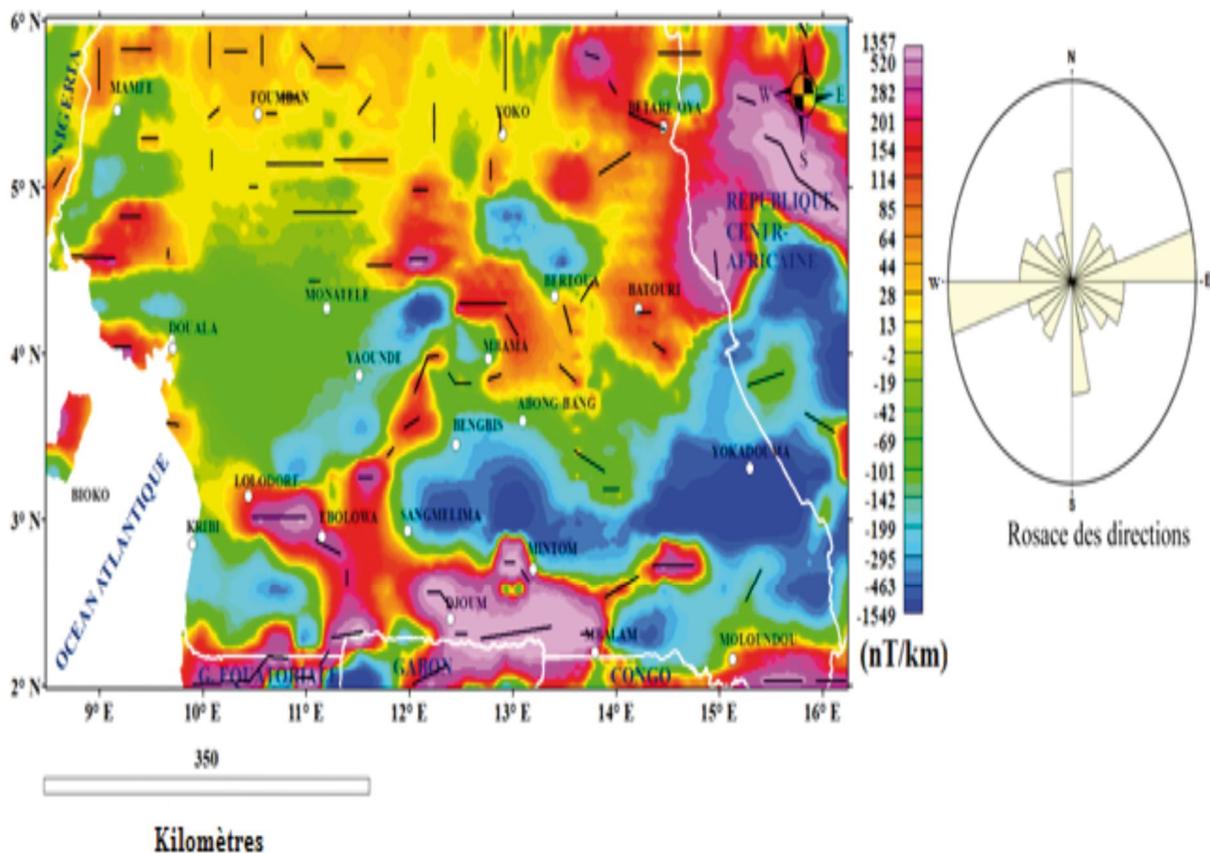


Figure 4. Carte du CMT-RTE dérivée suivant Z à l'ordre 1

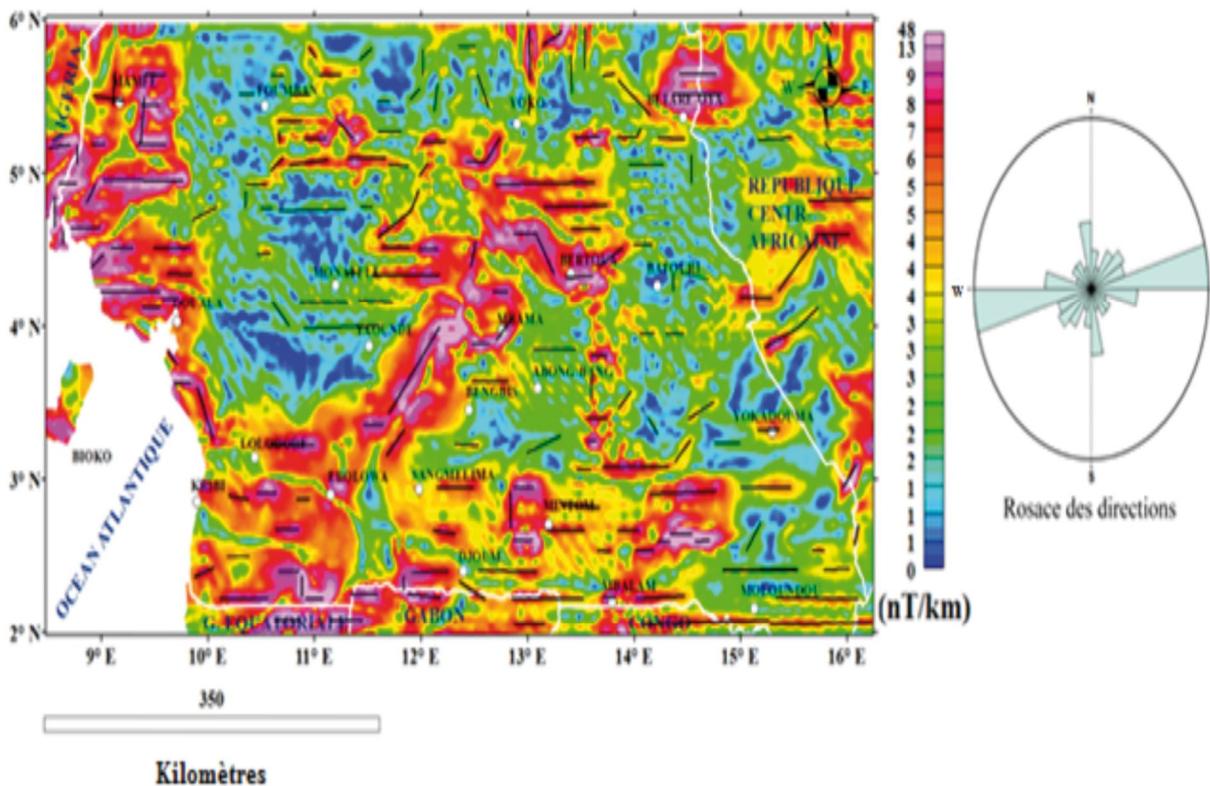


Figure 5. Carte du gradient horizontal montrant le tracé des failles

6.3. Linéaments magnétiques obtenus à partir de la première dérivée verticale

La carte d'anomalies résiduelles dérivée suivant z (Fig. 4) permet d'observer: au Sud de 4°N, une zone de gradient d'intensité maximale, entre 9°50'E et 14°E, puis à Moloundou, et d'extension jusqu'au Congo. Cette carte met en évidence le contraste de susceptibilité magnétique net entre le craton du Congo au Sud de la latitude 4°N, caractérisé par des anomalies d'intensités maximales de Djoum, Mbalam, Ebolowa, Mintom, et les formations panafricaines au Nord, de faible intensité. L'analyse des linéaments magnétiques obtenus à partir de l'opérateur du gradient vertical montre des directions majeures E-W et N-S.

6.4. Linéaments magnétiques déterminés à partir du gradient horizontal

Le plus grand avantage de la méthode du gradient horizontal est sa faible sensibilité au bruit dans les données. Les maxima du gradient sont indicateurs des contrastes latéraux de susceptibilité qui sont interprétés comme des contacts géologiques ou accidents structuraux. Cette carte montre la complexité structurale de la région qui serait marquée par des anomalies de forme allongée. Trois domaines structuraux peuvent être observés: (1), au Sud de 3°N, des anomalies d'extension régionale E-W; (2), au Nord de 3°N, entre 11°E et 14°E, des directions NE-SW, E-W et NW-SE; (3) A l'Ouest de 10°E, entre 4°N et 6°N, des directions E-W. Ces différentes directions structurales ont été

plus clairement mises en évidence à travers le tracé des linéaments du gradient horizontal (Fig. 5).

6.5. Carte du tilt angle

Considérant que la valeur nulle de l'angle correspond aux limites des structures magnétiques, le contour zéro permet de distinguer de manière claire les trois domaines structuraux (Fig. 6) ultérieurement présentés par les cartes du gradient vertical et du gradient horizontal. (1), domaine de forte susceptibilité magnétique du craton, du complexe paléoprotérozoïque et de Moloundou, présentant des structures allongées E-W, NE-SW, NW-SE, NNE-SSW. Les anomalies d'intensité maximale associées à ce domaine sont liées aux charnockites et TTG enrichis en ilménite, magnétite; des BIF (Banded Iron Formation), enrichis en magnétite et hématite; des leptinites, et roches vertes. (2) Formations amagnétiques du groupe de Yaoundé et de Yokadouma, caractérisé par des structures tectoniques mineures d'orientation NE-SW, beaucoup plus visibles au Sud-Est (14°E-16°E). Les anomalies négatives de Bengbis, Abong-Bang, Yaoundé et Yokadouma caractéristiques, sont liées aux schistes, tillites, calcshistes, quartzites. (3) domaine de moyenne susceptibilité magnétique de l'Ouest et de l'Est Cameroun, avec des structures allongées NE-SW, ESE-WNW, ENE-WSW, E-W. Les intensités maximales à l'Ouest, sont attribuables aux roches ignées, tandis que celles observables à l'Est sont probablement liées aux intrusions granitiques associées aux minéraux ferromagnétiques.

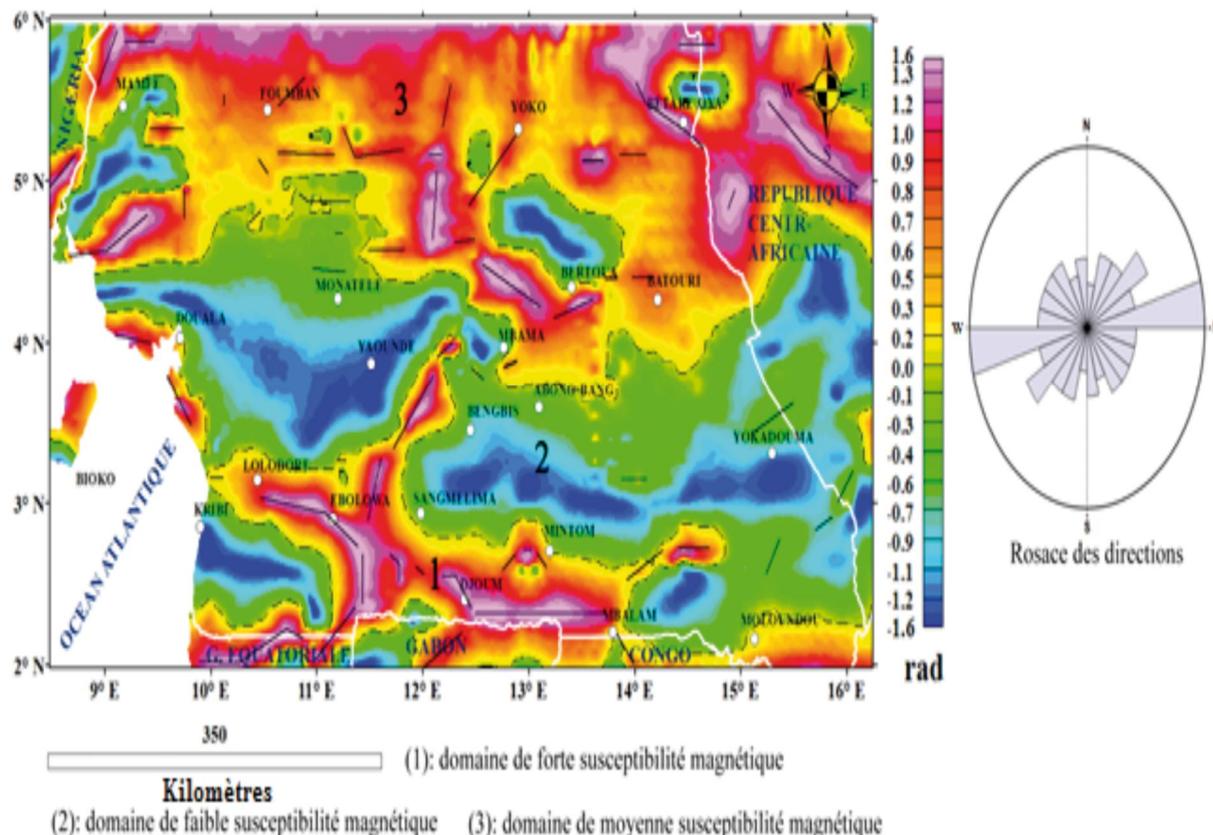


Figure 6. Carte du tilt angle

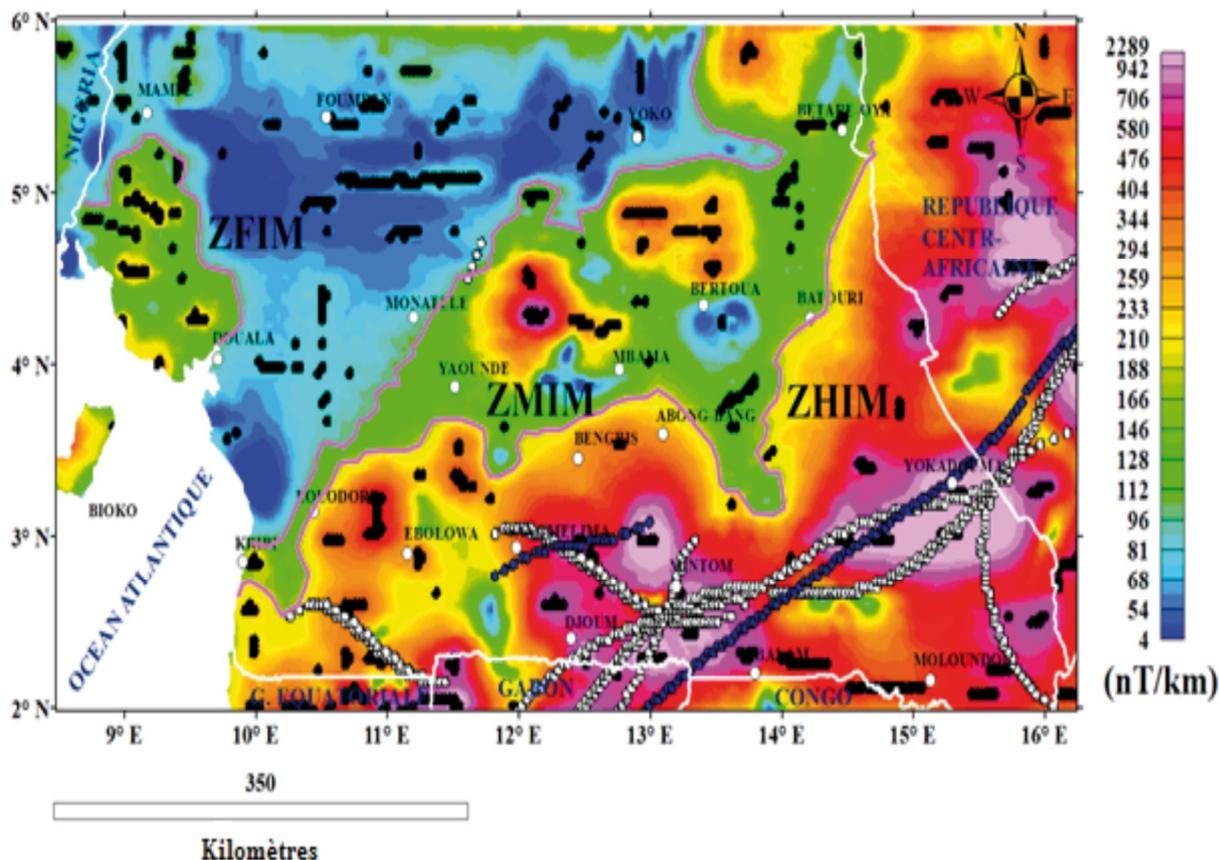


Figure 7. Carte du signal analytique du CMT-RTE couplée aux différents maxima; cercles noir (maxima de la résiduelle); cercles blancs (H = 1 km); cercles bleus (H = 2 km).

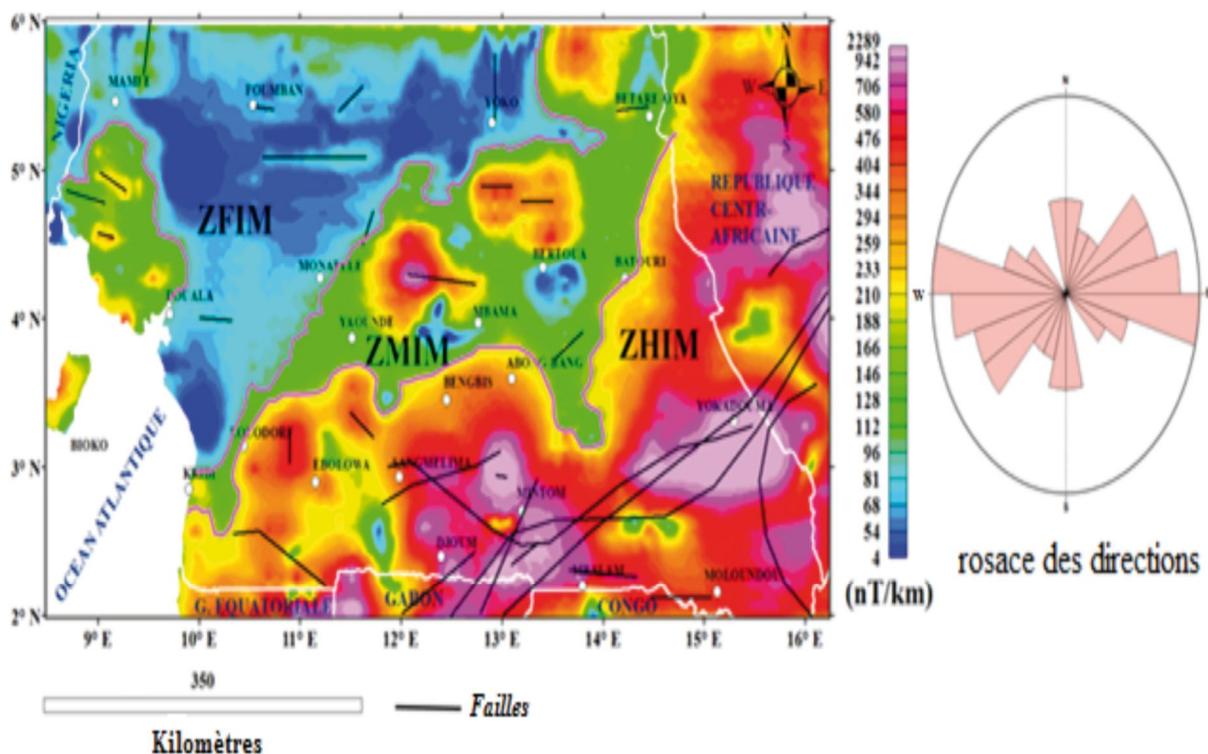


Figure 8. Carte du signal analytique montrant le tracé des différents linéaments.

6.6. Carte du signal analytique et localisation des contacts

La carte du signal analytique (Fig. 7), permet de distinguer trois zones majeures en fonction de la variation de l'intensité des anomalies : une zone de haute intensité magnétique (ZHIM), une zone de moyenne intensité magnétique (ZMIM) et une zone de faible intensité magnétique (ZFIM). L'amplitude des anomalies du signal analytique, combine toutes les composantes du vecteur champ. De ce fait, la carte du signal analytique devrait être perçue comme une carte de magnétisation dans la Terre. En suivant cette conception, les anomalies plus fortes peuvent être prévues où le vecteur de magnétisation intersecte un contraste magnétique à un angle aigu. Ainsi, les roches à susceptibilité magnétique induite à l'équateur auront un signal analytique plus fort à leurs limites Nord et Sud. De même, ceci s'appliquerait aux roches à susceptibilité magnétique rémanente, qui ont des vecteurs de magnétisation dans diverses directions. L'ensemble de ces considérations explique d'une part les variations dans l'intensité des anomalies par rapport à la carte du CMT-RTE. D'autre part, elle explique l'atténuation des anomalies fortement positives dans le craton et enfin, la mise en évidence d'une zone de forte anomalie positive à Yokadouma et environs, pourtant d'intensité minimale sur la carte réduite à l'équateur.

La localisation des maxima a été faite suite à une série de prolongement vers le haut jusqu'à 2 km. Les pics ainsi mis en évidence ont permis de déterminer la position des fractures magnétiques, majoritairement dans la zone à forte intensité magnétique (Fig. 8); cette zone étant caractérisée par les anomalies de Djoum, Mbalam, Mintom, Yokadouma, d'intensité maximale. Les plans de fractures sont orientés préférentiellement NE-SW à ENE-WSW et s'étendent jusqu'en RCA.

6.7. Carte structurale de la zone d'étude

La carte du gradient vertical met en évidence 77 linéaments dont les directions majeures sont E-W et N-S. le gradient horizontal a permis de déterminer 171 linéaments d'extension globale E-W et N-S. 62 linéaments ont été déterminés avec la méthode du tilt angle et les directions préférentielles décelées sont E-W, N-S à NE-SW.

La similarité des directions majeures des failles aussi bien sur la carte du gradient vertical que sur la carte du gradient horizontal, montre l'applicabilité de ces deux méthodes dans la zone d'étude pour la délimitation des contacts géologiques. Toutefois, étant donné que le gradient vertical est très sensible au bruit comparativement à la méthode du gradient horizontal, cette dernière donne avec plus de précision la position des structures tectoniques que le gradient vertical. L'opérateur du tilt angle est plus précis dans la mesure où il est une combinaison des méthodes précédentes. Toutes les amplitudes sont comprises entre -90° et $+90^\circ$ sans tenir compte de l'amplitude des gradients vertical et horizontal. Contrairement au tilt-angle qui est très variable en fonction de la direction de magnétisation, les maxima du signal analytique sont localisés directement à l'aplomb des contacts magnétiques, ceci sans tenir compte de la direction de magnétisation.

Au regard de tous ces avantages et inconvénients que présente chaque méthode, la carte structurale pour la région du Sud

Cameroun, est obtenue directement à partir des maxima du Tilt-angle et du signal analytique (Fig. 9). Les critères suivants ont été utilisés pour représenter le tracé de ces linéaments: (1) les maxima du tilt angle isolés représentent la localisation exacte des contacts; (2) là où les maxima du signal analytique et du tilt angle se superposent, le signal analytique représente la position vraie des contacts. Le réseau de failles pour la région du Sud-Cameroun est obtenu à la Figure 10.

Le tableau 1 donne des informations sur l'orientation et l'extension des différentes failles. La densité et l'orientation des différentes fractures permettent de subdiviser la zone d'étude en trois domaines tectoniques: le premier est celui du Complexe du Ntem, affecté par des failles orientées NE-SW à ENE-WSW, N-S, NW-SE, E-W. Quelques-unes de ces structures (F55, F57, F58) orientées E-W, NE-SW et ENE-WSW, recoupent la couverture protérozoïque et s'étendent jusqu'en RCA sur plus de 400 km. Le second domaine est celui des complexes sédimentaires et volcaniques caractérisées par des fractures NNE-SSW, N-S, ENE-WSW, NW-SE, E-W et ESE-WNW. Au Nord de la limite craton-chaîne Panafricaine, un ensemble de structures orientées E-W, NE-SW, NNE-SSW, N-S, NW-SE et ENE-WSW.

7. Discussion

L'interprétation des données magnétiques à travers l'analyse des cartes du gradient vertical, gradient horizontal et tilt angle a permis de distinguer trois domaines structuraux bien marqués.

Les résultats montrent que le premier domaine (Fig. 6), associé aux formations cratoniques et paléoprotérozoïques, est caractérisé par des anomalies de forte intensité magnétique dont les plus marquantes sont celles de Djoum, Mbalam, Ebolowa, sur charnockites, TTG enrichis en ilménite et magnétite, BIF, leptinites et roches vertes. Ces résultats sont en accord avec les travaux d'interprétations aéromagnétiques réalisés par Bikoro et al. (2014) entre Ebolowa et Djoum. Suivant ces auteurs, les corps magnétiques causatifs de ces anomalies ont des susceptibilités équivalentes à celles des minerais telles que la magnétite et l'hématite. Ainsi, il s'avère juste d'associer ces anomalies à des formations cratoniques ferrifères. De ce fait, l'orientation globale NW-SE que montre le contour zéro du tilt angle limitant ce domaine, correspondrait à la limite affleurante des roches magnétiques du craton du Congo. En considérant les travaux gravimétriques de Boukeke (1994); Poudjom (1993); Tadjou et al. (2009); Shandini et al. (2010), Basseka et al. (2011), la limite géophysique E-W du craton du Congo située à 4°N entre Yaoundé et Abong-Mbang est indiscutable. Cependant, en deçà de cette latitude, est définie une limite magnétique qui marque l'extension des roches magnétiques du craton. Les anomalies maximales observées étant à l'aplomb des sources de faible densité, ces résultats remettent ainsi en cause la limite E-W du craton du Congo définie par Ndougou et al. (2014) en analysant les données aéromagnétiques de la région d'Akonolinga-Mbama.

Le second domaine (Fig. 6) est caractérisé par les formations amagnétiques du groupe de Yaoundé et Yokadouma. Ceci est justifié dans les travaux géologiques de Toteu et al. (2006b); Owona et al. (2008; 2012b); qui révèlent des schistes, tillites, calcschistes, quartzites. Faisant référence à Telford et al. (1990)

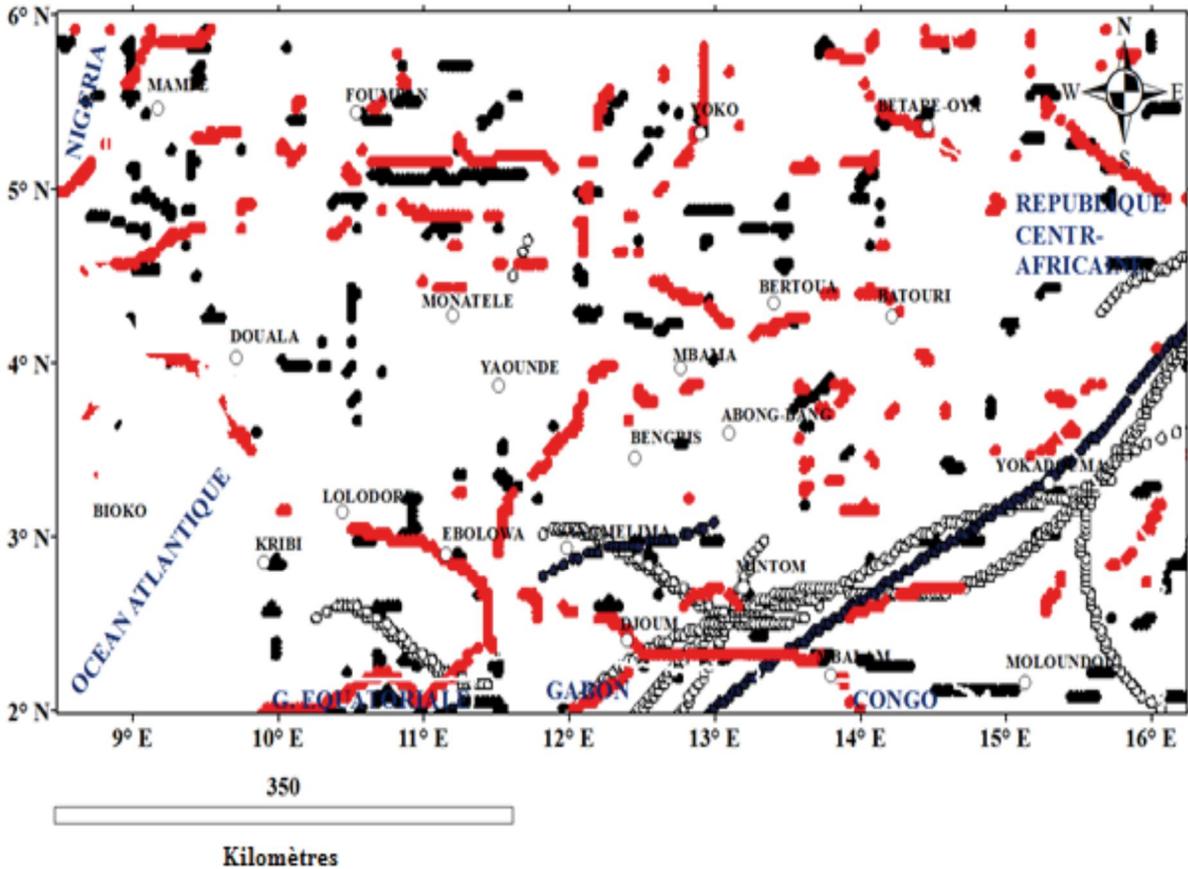


Figure 9. Carte de superposition des maxima du signal analytique et du tilt angle (en rouge).

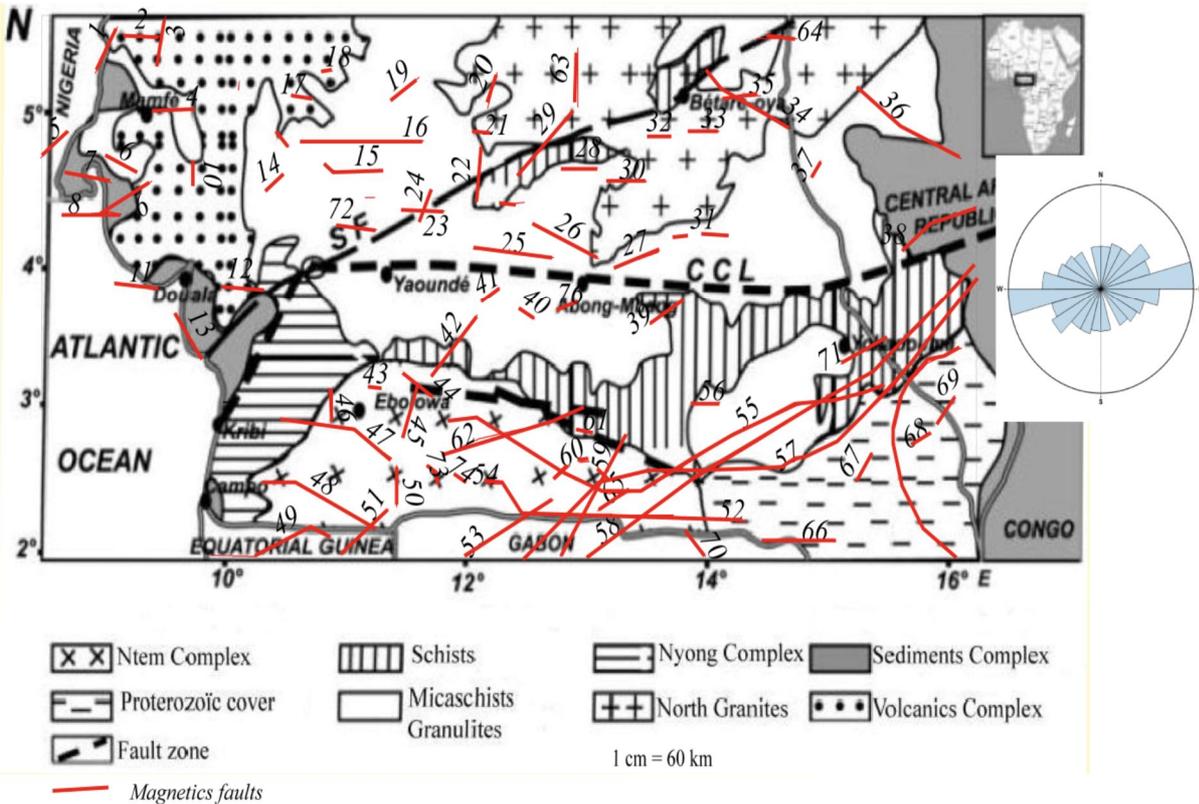


Figure 10. Carte structurale de la région d'étude

Tableau 1. Orientation et extension des différents linéaments.

N°	Orientation	Extension (Km)	N°	Orientation	Extension (Km)
F1	NNE-SSW	42.86	F42	NE-SW	65.34
F2	E-W	31.439	F43	E-W	8.677
F3	N-S	41.874	F44	NW-SE	31.485
F4	E-W	35.401	F45	NNE-SSW	44.45
F5	NE-SW	33.519	F46	N-S	23.968
F6	ESE-WNW	55.505	F47	ESE-WNW	110.13
F7	ESE-WNW	31.572	F48	ESE-WNW	111.8
F8	E-W	43.027	F49	E-W	115.52
F9	ENE-WSW	50.065	F50	NE-SW	33.746
F10	N-S	19.621	F51	NE-SW	55.405
F11	E-W	38.227	F52	E-W	211.641
F12	E-W	36.137	F53	NE-SW	91.761
F13	NW-SE	42.767	F54	NW-SE	42.229
F14	ENE-WSW	15.927	F55	E-W	434.39
F15	E-W	56.092	F56	E-W	27.141
F16	E-W	113.3	F57	ENE-WSW	501.05
F17	E-W	19.575	F58	NE-SW	430.69
F18	E-W	8.65	F59	NE-SW	117.04
F19	NE-SW	31.217	F60	NE-SW	17.548
F20	NNE-SSW	30.301	F61	E-W	11.675
F21	E-W	13.377	F62	ENE-WSW	136.87
F22	N-S	46.545	F63	N-S	47.939
F23	E-W	38.599	F64	E-W	37.022
F24	NNE-SSW	28.163	F65	NE-SW	33.631
F25	E-W	74.542	F66	E-W	66.63
F26	ESE-WNW	67.523	F67	NNE-SSW	27.825
F27	ENE-WSW	43.091	F68	ENE-WSW	20.69
F28	E-W	33.578	F69	NE-SW	26.733
F29	NE-SW	68.923	F70	NW-SE	26.515
F30	E-W	34.982	F71	ENE-WSW	47.781
F31	E-W	22.845	F72	E-W	34.739
F32	E-W	21.5	F73	NNW-ESE	24.083
F33	E-W	27.869	F74	NW-SE	9.3
F34	NW-SE	85.693			
F35	E-W	35.06			
F36	WNW-ESE	111.46			
F37	NNE-SSW	14.763			
F38	NE-SW	76.393			
F39	NE-SW	35.846			
F40	NW-SE	15.53			
F41	NE-SW	19.867			

ces roches sont caractérisées par une faible susceptibilité magnétique. Cependant, il apparaît que l'anomalie de Yokadouma très caractéristique, ne saurait à priori être corrélée aux formations lithologiques de surface. L'intensité maximale révélée par le signal analytique traduit le caractère induit de cette anomalie qui se prolonge en R.C.A.

Les données géologiques dans le groupe de l'Ouest et celui du Lom, indiquant la présence de roches ignées mafiques et d'intrusions granitiques aurifères respectivement (Toteu et al., 2006b; Toteu et al., 2004) sont bien corrélables aux anomalies d'intensité maximales observées à l'Ouest et à l'Est (Bétaré-Oya) du troisième domaine (Fig. 6).

L'étude structurale entreprise sur les cartes du gradient vertical, gradient horizontal, tilt angle et signal analytique a permis de déceler plusieurs linéaments. Le Complexe du Ntem (Fig.10) apparaît comme un domaine tectonique majeur avec structures caractéristiques orientées E-W, NE-SW et ENE-WSW. Les travaux aéromagnétiques de Ndougsa et al. (2012); Feumoé et al. (2012) au SE Cameroun entre 2° à 3°N et 13° à 15°E, ont montré un ensemble de failles profondes NE-SW. Le réseau de failles majeures parallèle à l'axe ENE-WSW a été associé à l'orogénèse éburnéenne. Ces résultats sont conformes avec les directions détectées en domaine cratonique. En plus, l'extension de ces failles montrent qu'elles recoupent la couverture protérozoïque et s'étendent jusqu'en R.C.A. Les directions E-W, NE-SW et ENE-WSW sont parallèles à la direction longitudinale ENE-WSW de l'anomalie magnétique dite de « Bangui » (-12 nT), qui d'après Boukeke (1994); Godivier et al. (1980), s'étend sur près de 1200 km en domaine continental, partant de la côte atlantique jusqu'à environ 30°E de longitude. L'origine profonde assignée à cette anomalie, liée probablement à des corps massifs enfouis sous des chaînes archéennes et protérozoïques (Boukeke, 1994) renforce encore plus l'idée sur l'origine toute aussi profonde et surtout induite de l'anomalie de Yokadouma, de nature granulitique. Faisant référence aux travaux de Koumetio et al. (2014), les profondeurs estimées des failles détectées dans ce travail seraient comprises entre 1 km et 2 km. Ces valeurs, sont corrélables, en domaine cratoniques aux profondeurs des structures majeures décelées par déconvolution d'Euler au SE Cameroun, soit 1500m environ (Ndougsa et al., 2012).

8. Conclusion

L'interprétation des anomalies magnétiques au Sud Cameroun entre 02°-06°N et 08°-16°E, à partir des données de surface et satellitaires (EMAG2), a été faite par l'utilisation de plusieurs opérateurs: la réduction à l'équateur, qui a permis d'avoir une reconnaissance magnétique de la région; ensuite, le prolongement vers le haut, le gradient vertical, le gradient horizontal, le tilt angle et le signal analytique, qui ont facilité l'analyse du comportement des diverses anomalies, ainsi que leur interprétation. Ce qui a permis de faire des corrélations avec les différentes lithologies de surface. De même, l'élaboration d'une carte structurale a permis d'avoir un aperçu régional des extensions et orientations des linéaments. Les cartes de gradient et tilt-angle, ont montré l'existence de trois domaines structuraux, marquant avec plus de

précision, la limite magnétique craton-panafricain. La méthode du signal analytique, dont l'avantage a été démontré dans des zones à faible latitude magnétique, a permis de distinguer trois domaines en fonction des intensités magnétiques; les résultats obtenus par rapport à ceux que présentent l'opérateur du tilt angle et des gradients étant contradictoires. Cette contradiction est d'autant plus prouvée par l'anomalie de Yokadouma, positive sur la carte du signal analytique et pourtant négative sur les autres. Une des conclusions relative à cette anomalie est celle de l'existence en profondeur d'une source magnétique, résistante à des températures et pressions élevées et probablement granulitique. La carte structurale de la zone, obtenue par superposition des maxima du tilt angle et du signal analytique du CMT-RTE, a permis de recenser un grand nombre de linéaments dont les orientations et extensions régionales étaient jusque-là inconnues.

9. Bibliographie

- Ansari A.H., Alamdar K., 2009. Reduction to the pole of Magnetic anomalies Using Analytic Signal. *World Applied Anomalies Sciences Journal* 7 (4): 405-409.
- Basseka, C.A., Shandini, Y., Tadjou, J.M. 2011. Subsurface structural mapping using gravity data of the northern edge of the Congo craton, South Cameroon. *Geofizika* 28 (2): 229-245.
- Bikoro-Bi-Alou, M., Ndougsa-Mbarga, T., Tabod, T.C. 2014. Quantitative interpretation of magnetic anomalies in Ebolo-wa-Djoum area (South Cameroon). *Geophysica* 50 (1): 11-25.
- Biyiha-Kelaba, W., Ndougsa-Mbarga, T., Yene-Atangana, J.Q., Ngoumou, P.C., Tabod, T.C. 2013. 2.5 D models derived from the magnetic anomalies obtained by upward continuation in the Mimbi area Southern Cameroon. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* 3 (4): 175-185.
- Blakely, J. R., Simpson, R.W. 1986. Approximating edges of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics* 51: 1494-1498.
- Boukeke, D.B. 1994. Structures crustales d'Afrique Centrale déduites des anomalies gravimétriques et magnétiques: le domaine Précambrien de la République Centrafricaine et du Sud Cameroun. Thèse de doctorat, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay. ORSTOM, 278p.
- Collignon, F. 1968. Gravimétrie de reconnaissance de la République Fédérale du Cameroun. ORSTOM, Paris, France, 70p.
- Deruelle, B., Ngounouno, I., Demaiffe, D. 2007. The « Cameroon Hot Line » (CHL): A unique example of active alkaline intraplaque structure in both oceanic and continental lithospheres. *Comptes Rendus Geosciences* 339: 589-600.
- Dumont, J.F. 1986. Identification par télédétection de l'accident de la Sanaga (Cameroun). Sa position dans le contexte des grands accidents d'Afrique Centrale et de la limite nord du craton congolais. *Geodynamique* 1 (1): 13-19.

- Feumoé, A.N., Ndougsa-Mbarga, T., Manguelle-Dicoum, E., Derek Fairhead, J. 2012. Delineation of tectonic lineaments using aeromagnetic data for the South-East Cameroon area. *Geofizika* **29**:
- Feybesse, J. L., Johan, V., Triboulet, C., Guerrot, C., Mayaga-Mikolo, F. 1998. The West Central African belt: a model of 2.5-2.0 Ga accretion and two-phase orogenic evolution. *Precambrian research* **87**:161-216.
- Godivier, R., Vassal, S.A. 1980. Anomalie magnétique en Centrafrique: un modèle géophysique. Fonds documentaire ORSTOM. 9p.
- Koumetio, F., Njomo, D., Tatchum, C.N., Tokam, A.P.K., Tabod, T.C., Manguelle-Dicoum, E. 2014. Interpretation of gravity anomalies by multi-scale evaluation of maxima of gradient and 3D modelling in Bipindi region (South-West Cameroon). *International journal of Geosciences* **5**: 1415-1425. <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2014.512115>.
- Ladadj, M.Y. 2009. Etude structural du bassin du bas Chellif à partir des données gravimétriques, magnétiques et sismiques. Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas-Setif, Algerie. 86p.
- Lerouge, C., Cocherie, A., Toteu, S. F., Penaye, J., Milési, J.P., Tchameni, R., Nsifa, E.N., Fanning, C.M., Deloule, E. 2006. Shrimp U-Pb zircon age evidence for Paleoproterozoic sedimentation and 2.05 Ga syntectonic plutonism in the Nyong Group, South-Western Cameroon: consequences for the Eburnean-Transamazonian belt of NE Brazil and Central Africa. *Journal of Earth Sciences* **44**: 413-427.
- Lou Tinan, A. V., Khattach, D., Mohammed, R.H. 2005. Apport des filtres des anomalies gravimétriques à l'étude des structures profondes du Maroc Oriental. Bulletin de l'institut scientifique, Rabbat, section Sciences de la Terre, N°27, 29-40.
- MacLeod I.N., Keith, J., Ting, F.D. 1993. 3D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes. *Exploration geophysics* **24**:679-688.
- Maus, S., et al., 2009. EMAG2: A 2-arc min resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne, and marine magnetic measurements, *Geochemistry Geosystem*, **10**: Q08005, [doi:10,1029/2009GC002471](https://doi.org/10.1029/2009GC002471).
- Mvondo, H., Essono, J., Ondoa, J.M., Yene Atangana, J.Q. 2007. Comment on « U-Pb dating of plutonic rocks involved in the nappe tectonic in southern Cameroon: consequence for the Pan-African orogenic of the central African fold belt » by Toteu et al. (*Journal of African Earth Sciences* **44** (2006) 479-493). *Journal of African Sciences* **48**: 49-52.
- Ndikum, E.N., Tabod, C.T., Essimbi, B.Z., Koumetio, F., Tatchum, N.C. 2014. Gravity model for an anomalous body located in the NW portion of the Douala sedimentary sub-basin, Cameroon (Central Africa). *Open Journal of Geology* **4**: 524-541. <http://dx.doi.org/10.4236/ojg.2014.410039>
- Ndougsa-Mbarga, T., Yufenyiyu Layu, D., Yene-Atangana, J.Q., Tabod, T.C. 2014. Delineation of the northern limit of the Congo Craton based on spectral analysis and 2.5D modeling of aeromagnetic data in the Akonolinga-Mbama area, Cameroon. *Geofísica Internacional* **53** (1):5-6.
- Ndougsa-Mbarga, T., Feumoé, A., Manguelle-Dicoum, E., Fairhead, J.D. 2012. Aeromagnetic data interpretation to locate Buried fault in South-East Cameroon. *Geophysics* **48**: 49-63.
- Ngako, V., Affaton, P., Nnange, J.M., Njanko, T. 2003. Pan-African tectonic evolution in central and southern Cameroon: transpression and transtension during sinistral shear movement. *Journal of African Earth Sciences* **36**: 207-214.
- Ntamak-Nida, M.J., Bourquain, S., Makong, J.C., Baudin, F., Mpesse, J.E., Itjoko Ngouem, C., Komguem, P.B., Abolo, G.M. 2010. Sedimentology and sequence stratigraphy from outcrops of the Kribi-Campo sub-basin: Lower Mundek Formation (Lower Cretaceous, Southern Cameroon). *Journal of African Earth Sciences* **58**: 1-8.
- Owona, S. 2008. Archean, Eburnean and Pan-African features and relationships in their junction zone in the South of Yaounde (Cameroun). University of Douala, Unpublished thesis.
- Owona, S., Mvondo Ondoa, J., Ratschbacher, L., Mbola Ndzana, S.P., Tchoua, F.M., Ekodeck, G.E. 2011a. The geometry of the Archean, Paleo- and Neoproterozoic tectonics in Southwest Cameroon. *Comptes Rendus Geosciences* **343**: 312-322.
- Owona, S., Schulz, B., Ratschbacher, L., Ondoa, J.M., Ekodeck, G.E., Tchoua, F.M., Affaton, P. 2011b. Pan-African metamorphic evolution in the southern Yaounde Group (Oubanguide Complex, Cameroon) as revealed by E-MP-monazite dating and thermobarométrie of garnet metapelites. *Journal of African Earth Sciences* **59**:125-139.
- Owona, S., Tichomirowa, M., Ratschbacher, L., Mvondo Ondoa, J., Youmen, D., pfänder, J., Tchoua, F.M., Affaton, P., Ekodeck, G. E. 2012b. New igneous zircon Pb-Pb and metamorphic Rb / Sr ages in the Yaounde Group (Cameroon, Central Africa): implications for the Central can fold belt evolution close to the Congo Craton. *International journal of Earth Sciences* (Geol. Ru-nds) **59**:125-139.
- Owona, S., Mvondo Ondoa, J., Ratschbacher, L., Ekodeck, G.E. 2013b. Evidence of quartz dynamic recrystallizations in SW Cameroon: Implications on late-Archean, Eburnean and Panafrican deformations over 250-750°C. *Sciences, Technologie et Développement* **15**: 48-58.
- Penaye, J., Toteu, S.F., Tchameni, R., Van Schmus, W.R., Tchakounté, J., Ganwa, A., Minyem, D., Nsifa, E.N. 2004. The 2.1 Ga West Central African Belt in Cameroon: extension and evolution. *Journal of African Earth*

Sciences **39**: 159-164.

- Poudjom-Djomani, Y.H. 1993. Apport de la gravimétrie à l'étude de la lithosphère continentale et implications géodynamiques: étude d'un bombement intraplaque, le massif de l'Adamaoua (Cameroun). Thèse de doctorat, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay. ORSTOM, 313p.
- Poudjom-Djomani, Y.H., Nnange, J.M., Ateba-Bekoa, Boukeke, D.B., Albouy, Y., Legeley-Padovani, A., Fairhead, J.D. 1995. Levés gravimétriques de reconnaissance. Mémoire ORSTOM, Paris, 38p.
- Roest Walter, R., Verhoef, J., Pilkington, M. 1992. Magnetic interpretation using 3D analytic signal. *Geophysics* **57 (1)**: 116-125.
- Salem, A., William, S., Fairhead, J.D., Ravat, D., Smith, R. 2007. Tilt-depth method: a simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives. 4p.
- Shandini, Y., Tadjou, J.M., Tabod, C.T., Fairhead, J.D. 2010. Gravity interpretation in the Northern edge of the Congo Craton, South-Cameroon. Anuario do Instituto de Geociências.
- Shang, C. K., Satir, M., Siebel, W., Nsifa, E.N., Taubald, H., Liégeois, J.P., Tchoua, F.M. 2004. TTG magmatism in the Congo craton; a view from major and trace element geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematics: case of the Sangmelima region, Ntem Complex, Southern Cameroon. *Journal of African Earth Sciences* **40**: 61-79.
- Fleury, S. 2011. Méthode magnétique appliquée à l'exploration multiéchelle du Bassin de Franceville. Geophysics. Université de Strasbourg.
- Tadjou, J.M., Nouayou, R., Kamguia, J., Houetchack L.K., Manuelle-Dicoum, E. 2009. Gravity analysis of the boundary between the Congo craton and the Pan-African belt of Cameroon. *Australian Journal of Earth Sciences*, 71-79.
- Tchakounte, J.N., Toteu, S.F., Van Schmus, W.R., Penaye, J., Deloule, E., Mvondo Ondoua, J., Houkechang, M.B., Ganwa, A.A., White, W.M. 2007. Evidence of ca 1.6-Ga detrital zircon in the Bafia group Cameroon): Implication for the chronostratigraphy of the African belt north of the Congo Craton. *Comptes Rendus Geosciences* **339**: 132-142.
- Tchameni, R., Mezger, K., Nsifa, N.E., Pouclet, A. 2001. Crustal origin of Early Proterozoic syenites in the Congo Craton (Ntem Complex), South Cameroon. *Lithos* **57**: 23-42.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. 1990. Applied Geophysics. Second Edition, Cambridge University Press. 760p.
- Toteu, S.F., Van Schmus, W.R., Penaye, J., Michard, A. 2001. New U-Pb and Sm-Nd data from north-central Cameroon and its bearing on the pre-Pan African history of central. *Precambrian research* **108**: 45-73.
- Toteu, S.F., Penaye, J., Poudjom Djomani, Y. 2004. Geodynamic evolution of the Pan-African belt in Central Africa with special reference to Cameroon.
- Toteu, S.F., Penaye, J., Deloule, E., Van Schmus, W.R., Tchameni, R. 2006b. Diachronous evolution of volcano-sedimentary basin north of the Congo Craton: insights from U-Pb ion microprobe dating of zircons from Poli, Lom and Yaounde Groups (Cameroon). *Journal of African Earth Sciences* **44**: 428-442.