

Contribution De La Gravimétrie A L'étude De La Structure Continentale De La Province De Sankuru En République Démocratique Du Congo

Kitenge Okaya Senglaithons¹, Bondo Muteba Patrice²,
Masengo Mishindo Lievens³

^{1,3}. Département de Physique et des Sciences appliquées, Université Pédagogique Nationale, RD Congo

². Directeur Scientifique du Centre de Recherche en Géophysique, RD Congo

Résumé

Cette étude vise à décrire la structure continentale de la province de Sankuru située dans la cuvette centrale dans la République Démocratique du Congo en se basant sur la méthode gravimétrique. Nous avons exploité les données issues d'une campagne gravimétrique de levé aéroporté mené dans la Cuvette Centrale en 1987 par le Centre Géophysique Géodésique Européen (CGG) pour le compte du Ministère des hydrocarbures du gouvernement congolais.

Nous utilisons quelques logiciels tels que : Excel 21, ArcGis 10.8, Sufer13 et Geosoft.Oasis.8.4, pour modéliser la structure continentale du terrain d'étude par de cartes gravimétriques que nous avons analysées et interpréter pour obtenir les informations cherchées.

Le traitement et l'analyse de cartes élaborées à partir de ces logiciels montrent que les anomalies de Bouguer varient de -75,2 à -115.3 mGal, nous observons les anomalies élevées dans l'Ouest et au Sud, une petite partie au Nord et au centre de la province de Sankuru sont des zones que nous trouvons la présence d'une intrusion magmatique, ou celles de corps ayant une densité élevée. Par contre, nous observons une grande partie des anomalies faibles au Nord-Est et au Sud-Est ainsi qu'une petite partie au Nord-Ouest de la province de Sankuru. Ce sont des zones dans lesquelles nous trouvons la présence d'une grande épaisseur sédimentaire ou de matériaux à faible densité.

En ce qui concerne les séparations des anomalies de Bouguer, nous déterminons les anomalies résiduelles varient dans l'intervalle de -129.1 à -66.8 mGal et pour les anomalies régionales, de -110 à -40.4 mGal. Partant de quelques filtres (dérivées, prolongements et signal analytique), présentent les informations structurales telles que les failles orientées dans une direction préférentielle qui est NW-SE et NE-SW et la variation de la densité dans le sous-sol de la province de Sankuru à 500m et 1000m n'a pas une grande différence, la densité à 500m varie de 1,712 à 1,276 g/cm³ et celle de 1000m varie de 1,714 à 1,272 g/cm³.

L'interprétation des toutes ces cartes montrent que la structure de la zone d'étude met en évidence les principales formations géologiques dominées par la formation Pléistocène et pliocène (65%), suivi de la formation Créatique (30%) et albien(Aptien), de la topographie irrégulière composée de horst et graben et accidents tectoniques qui se manifestent par la présence de plusieurs failles généralement cachées causées par les tremblement de terre, la forte densité est due à la présence des minéraux lourds et la faible densité est due à la présence de minéraux moins légers ce qui nous rassure sur la potentialité minière de la province de Sankuru.

Mots-clés : Contribution, Anomalie de Bouguer, Gravimétrie, Faille, Structure continentale.

Date of Submission: 01-10-2023

Date of Acceptance: 10-10-2023

I. Introduction

La connaissance de la structure de la Terre est faite à partir d'observations directes par la géologie ou à partir de l'étude des phénomènes physiques affectant la Terre en appliquant la méthode indirecte de la géophysique.

La géophysique est la science qui utilise les principes de la Physique à l'étude de la Terre. Elle exploite des techniques d'investigation du sous-sol reposant sur la mesure des propriétés physiques de celle-ci. L'analyse des résultats des mesures révèle comment varient verticalement et horizontalement les propriétés physiques à l'intérieur jusqu'à la surface du globe terrestre en se basant sur la connaissance des paramètres physiques tels que le champ magnétique, le champ de pesanteur, la résistivité, la densité et autres techniques (Jean Dubois et al, 2011).

La méthode gravimétrique sera utilisée dans le présent travail pour l'étude de la structure continentale (lithosphérique) de la province de Sankuru. C'est une méthode qui mesure et étudie les variations du champ gravitationnel terrestre dues au contraste de densités entre les roches du sous-sol en vue de déterminer la forme, la constitution, et la structure de la terre (Hicham Aqil et al, 2015).

Notre intérêt porte sur la province du Sankuru située au centre de la République Démocratique du Congo et entourée par d'autres provinces limitrophes. De par ses potentialités naturelles, le développement du Sankuru induira à coup sûr des effets d'entraînement pouvant réjouir positivement sur les autres provinces avoisinantes et booster leur essor. La Rd Congo en tirera d'énormes dividendes.

L'objectif général dans notre présente étude est d'utilisée la méthode gravimétrique pour concevoir les différentes cartes à partir des données gravimétriques de cette province. Les analyses et l'interprétation nous renseigneront sur les variations des champs de gravité, les différentes formations géologiques, les failles et la structure continentale de la province de Sankuru.

II. Matériels, Milieu et Méthode

Matériels

Cette province a fait l'objet de nombreuses campagnes géophysiques qui ont abouties a des levés géophysiques qui ne sont pas très exploitées par les scientifiques congolais et nous les examinons dans ce travail.

nous avons exploité la méthode gravimétrique pour étudier la structure continentale de la province du Sankuru en nous focalisant sur les anomalies de Bouguer ; les anomalies résiduelles ; les anomalies régionales ; les gradients (directionnels) ; les prolongements vers le haut, les dérivées ; et le signal analytique dans la perspective de l'élaboration des cartes que nous avons modélisées et interprétées pour en déduire la structure et les différentes formations géologiques de la zone d'étude .

Milieu D'étude

Localisation de la province de Sankuru

Le Sankuru, de chef-lieu Lusambo, est une des 26 Provinces administratives de la République Démocratique du Congo. Elle est située entièrement dans la dépression de la cuvette centrale, avec une forêt équatoriale parsemée de clairières qui forment une savane arbustive. Elle est comprise entre les latitudes : 3° 21' 27" Sud et les longitudes 23° 35' 48" Est (Fig 1) ci-dessous.

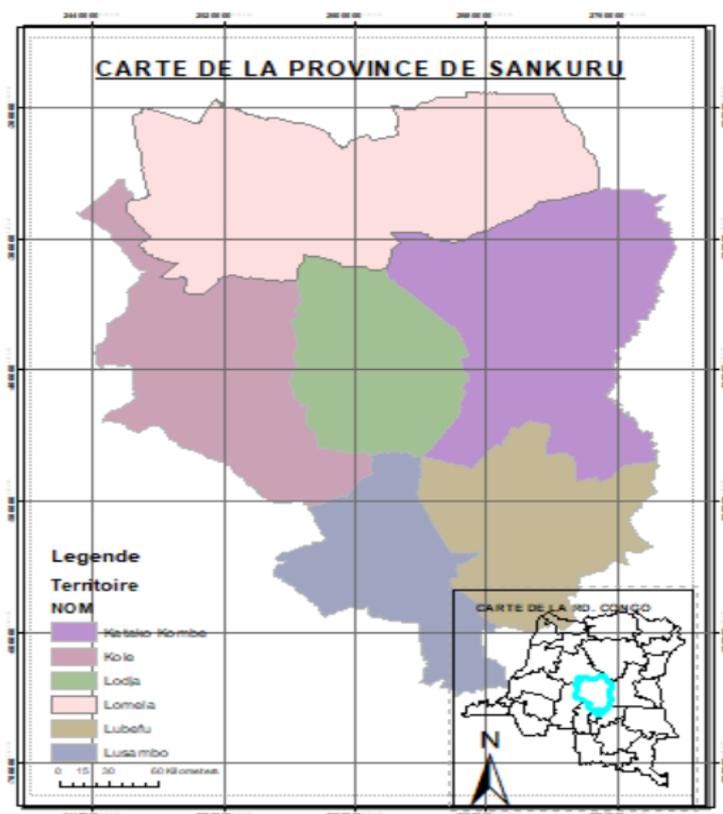
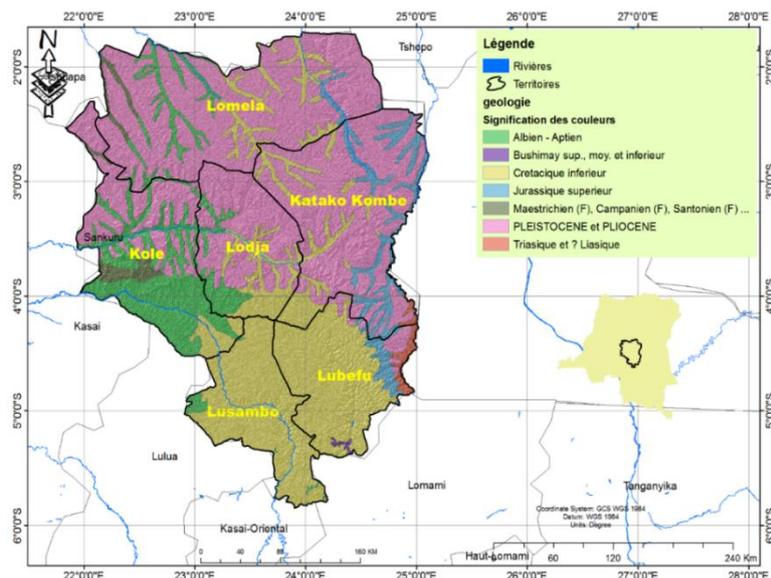


Figure.1. Carte de la Province de Sankuru

Cadre Géologique

Partant de la carte Géologique de la République Démocratique du Congo au 1/2.000.000 (Lepersonne, 1974), nous avons extrait la carte géologique de la province d'étude indiquant les principales formations géologiques (Fig 2) ci-dessous.



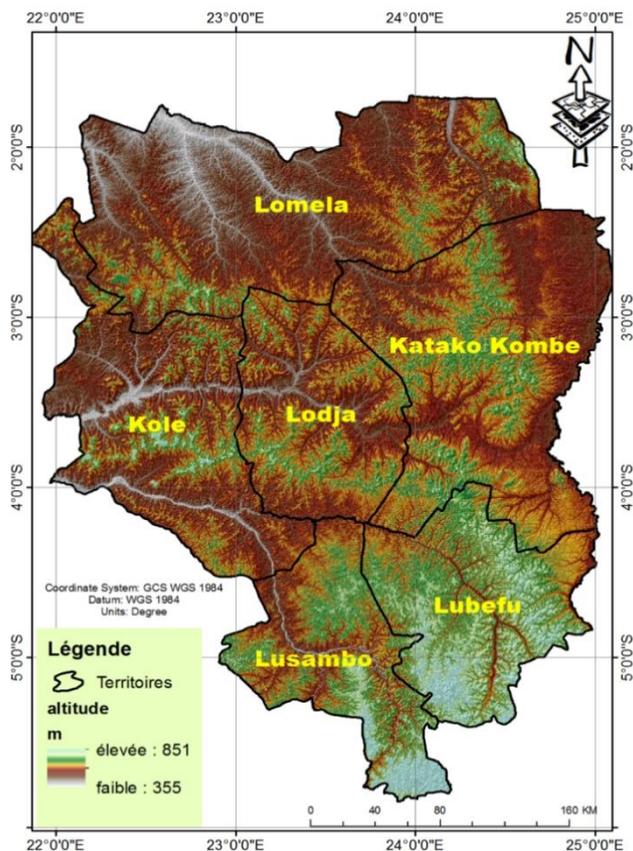
L'analyse de la carte géologique (Fig 2) que nous avons élaborée montre que la province de Sankuru est constituée de la formation géologique suivante :

- la formation géologique pléistocène et pliocène occupe 65% de la province de Sankuru, de la partie nord jusqu'au centre dont 100% de territoire de Lomela et Katako-Kombe, presque 60% de territoire de Lodja, 55% de territoire de Kole et moins de 10% de territoire de Lubefu. Ce sont des formations subaériennes et d'anciens sols fossilisés.
- La formation géologique Crétacique domine la partie Sud. Elle représente 30% de la province de Sankuru, occupe une grande partie de territoire de Lusambo et Lubefu. Elle est composée de roche sédimentaire.
- La formation géologique Albien et Aptien domine une petite partie Ouest-Sud de la province, occupe 35% de territoire de Kole, une petite partie de territoire Lodja, Lomela et Lusambo sous forme de filon. Elle est constituée des couches argileuses, plusieurs sortes de calcaires, sable et de roche détritique.
- La formation géologique triasique domine une petite partie Est dans le territoire de Lubefu est composée de l'ensemble gréseux gris violacé.
- La formation géologique Bushimay occupe une petite partie Sud de territoire Lubefu. Toutes les formations sont localisées dans la figure suivante.

Contexte Topographique de la Province de Sankuru

La distribution des altitudes, en mètres, dans la province de Sankuru est indiquée sur la carte topographique (Fig 3) ci-dessous. En effet :

- ◆ Les altitudes faibles variant entre inférieure 355 à 530 m sont situées au Nord-Ouest, l'Est et au Nord-Est. Plusieurs talwegs présents sont occupés par les cours d'eaux orientés du Nord-Ouest vers le Sud-Est et de l'Est à l'Ouest ;
- ◆ Les altitudes qui varient de 530 à 851 m sont plus localisées vers la partie Sud. Nous observons une ligne de crête qui recoupe les territoires de Kole, Lodja et Lubefu orientée de l'Est à l'Ouest et vers Lubefu, elle change de direction Nord-Ouest-Sud-Est.



Méthode

La méthode que nous avons exploitée dans cette recherche est la modélisation gravimétrique à l'aide de logiciel Géosoft. Oasis.8.4 et Sufer 13, qui nous ont permis de dresser la carte de l'anomalie de Bouguer et de procéder à quelque filtrage afin d'obtenir d'autres cartes telles que la carte résiduelle, régionale, dérivées, prolongement. Le logiciel ArcGis 10.8 nous a permis de dresser la carte géologique et topographique du milieu d'étude.

Acquisition des données

Les données gravimétriques exploitées dans cette étude sont issues d'une campagne gravimétrique de levé aéroporté menée dans la Cuvette Centrale du continent d'Afrique en 1987 par le Centre Géophysique Géodésique Européen (CGG) pour le compte du Ministère des hydrocarbures du gouvernement congolais. Nous avons ainsi exploité des données déjà corrigées des causes externes (effets de l'attraction luni-solaire, de la latitude, de la topographie...) pouvant les influencer.

La lecture de ces mesures a été effectuée à 900 m au-dessus du sol sur une maille globale composée de 82.203 lignes séparées d'au moins 30 Km de longueur et 20 Km de largeur dont l'espacement entre les stations de lecture mesure 80 m au maximum, pour chaque station nous avons dégagé les coordonnées géographiques et la valeur de l'anomalie de Bouguer. De cette banque de données gravimétriques nous avons constitué celle de la province du Sankuru en étude.

Traitement des données

Toutes les cartes modélisées par les logiciels suivants : Excel 13, ArcGis 10.8, Sufer 13 et Geosoft. Oasis.8.4. ont été traitées, analysées et interprétées. Le traitement des données consiste à la présentation cartographique des différentes anomalies dans le but de ressortir les informations importantes liées aux structures géologiques du site de recherche qui nous donne les résultats suivants.

III. Résultats

Plusieurs cartes élaborées sont issues des anomalies de Bouguer à savoir les anomalies résiduelles ; les anomalies régionales ; les gradients horizontaux (directionnels) ; les prolongements vers le haut ; les dérivées verticales ; le signal analytique et la carte de densités.

Ces cartes auront des propriétés différentes qui vont nous permettre à obtenir les informations cherchées lors de l'interprétation.

Anomalies de Bouguer

L'anomalie de Bouguer représente la combinaison ou la somme de tous les effets ; autrement dit d'anomalies étroites d'origine peu profonde (régionale) et celles d'origine superficielle (résiduelle). On peut écrire l'anomalie de Bouguer (AB) comme suit :

$$AB = R + S$$

avec AB : anomalie de Bouguer en mGal ;
R : anomalie régionale en mGal ;
S : Anomalie résiduelle en mGal.

L'anomalie de Bouguer constitue la réponse gravimétrique causée par les hétérogénéités de densité du sous-sol (Dubois et al ,2011). L'interprétation se fait donc à partir de la carte ci-dessous.

La carte des anomalies de Bouguer, nous présente les anomalies lourdes situées à l'Ouest et Au Sud en allant au Nord. Ces anomalies varient dans l'intervalle de -94.6 à -76.2 mGal. Les anomalies légères étant présentement sont symbolisées par la couleur verte et bleue. Ces dernières sont situées dans l'intervalle de -115.3 à -94.6 mGal. La plupart des anomalies légères sont fermées. Ce qui indique sur le plan structural, les zones des fortes présences des roches sédimentaires où le Socle est enfoui dans des grandes surfaces, représenté dans la figure suivante.

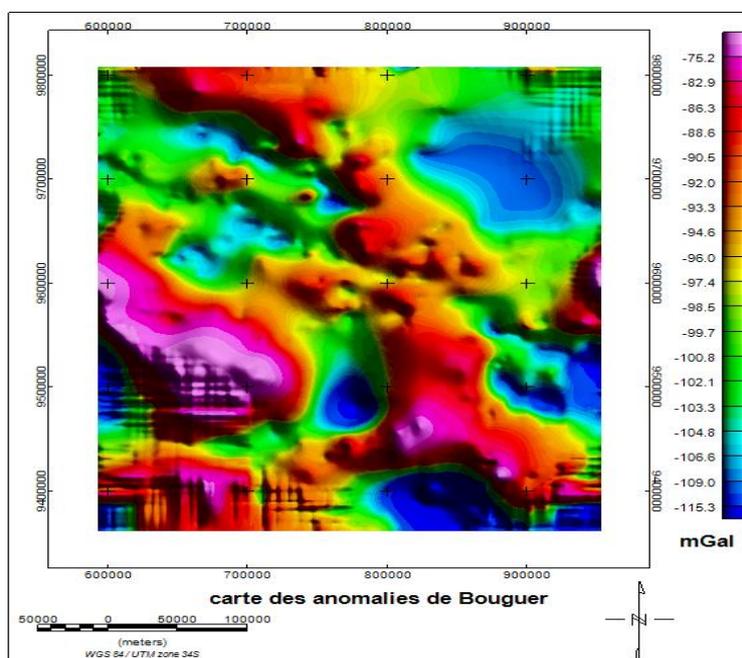


Figure.4 : Carte des anomalies de Bouguer de la province de Sankuru.

Séparation des anomalies

Les cartes d'anomalies régionales et résiduelles sont obtenues à partir de la carte des anomalies de Bouguer (Figure.4). Si le retrait du régional est analogue aux opérations de filtrage, la solution n'est cependant pas aussi simple que le fait d'appliquer un filtre aux anomalies pour enlever les faibles fréquences. En général, il est plus réaliste de considérer les anomalies résiduelles comme du bruit et extraire la régionale.

Ainsi, le choix de la régionale est fonction d'une connaissance a priori de la géologie de la région, mais aussi des anomalies dont on veut rendre compte. La meilleure définition du régional est qu'elle correspond aux effets des masses qu'on ne veut pas interpréter. La résiduelle, dans ce cas, correspond aux anomalies dont on désire connaître les sources (Michel Chouteau, 2002). Les anomalies régionales représentent ainsi l'effet des masses profondes. L'anomalie résiduelle en chaque nœud de la grille régulière est calculée en faisant la différence entre l'anomalie de Bouguer et l'anomalie régionale. Les anomalies résiduelles ainsi obtenues représentent l'effet des masses perturbatrices superficielles (Chouteau, 2002).

En ce qui concerne les séparations des anomalies de Bouguer, nous comprenons que les anomalies résiduelles varient dans l'intervalle de -129.1 à -66.8 mGal et pour les anomalies régionales, de -110 à -40.4 mGal. Ces intensités en termes d'anomalies légères et lourdes sont localisées de la même façon qu'avec la carte des anomalies de Bouguer interprétée ci-dessus (Figure.4).

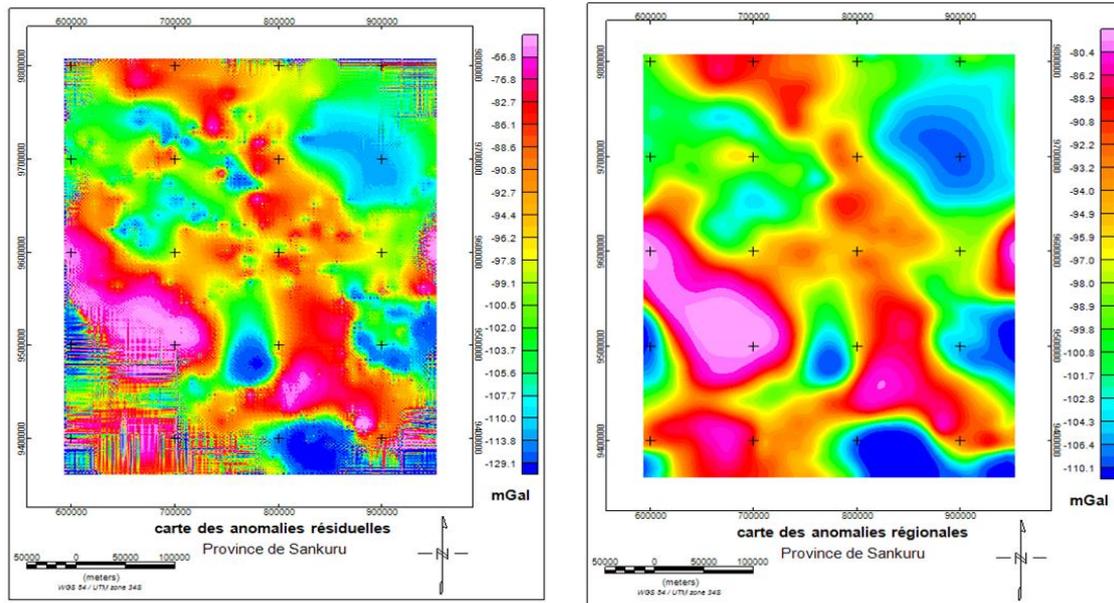


Figure.5 : Carte des anomalies Résiduelles et régionales des anomalies de Bouguer.

Les derives

Les cartes de dérivées horizontales par rapport à X et Y, nous présentent des gradients maximaux orientés dans deux directions préférentielles. Pour la dérivée par rapport à X, ces maxima de gradients sont Nord-Sud et pour celle de Y, ces derniers sont dirigés Est-Ouest.

En effet, les gradients maximaux des anomalies correspondent soient aux contacts lithologiques ou failles.

En ce qui concerne la dérivée verticale c'est-à-dire la dérivée par rapport à Z, nous remarquons la présence des informations structurales telles que les failles orientées dans une direction préférentielle qui est NW-SE et NE-SW.

Les cartes illustrées sur la figure ci-dessous présentent les dérivées par rapport X, Y et Z.

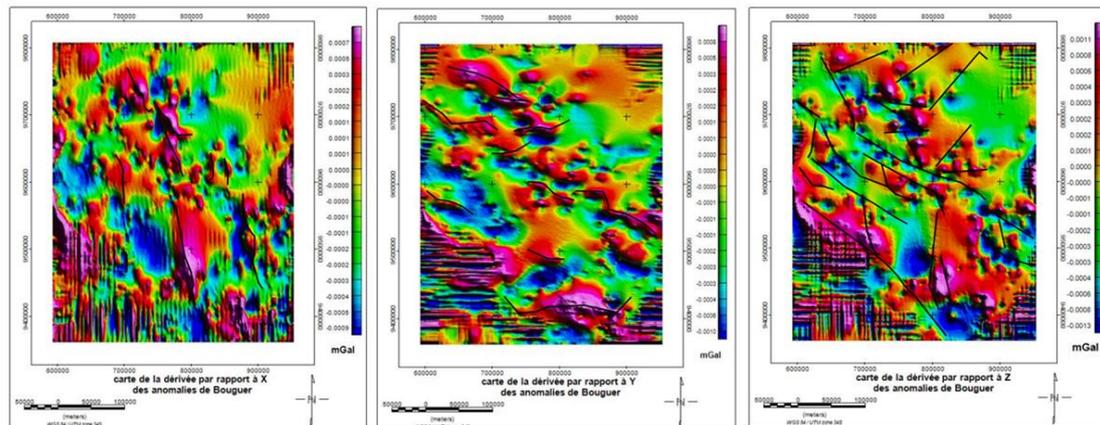


Figure.6 : Carte des gradients directionnels par rapport à x, y et z , des anomalies de Bouguer

La méthode des prolongements nous permet de dégager des grands traits structuraux qui peuvent être difficilement observables sur les données brutes (Sarra Ouerghi, 2013). Dans cette étude nous avons appliqué trois prolongements à 5000m (a), 10000m (b) et 20000m (c). Nous constatons les différents prolongements font varier l'intensité des anomalies et les anomalies qui occupent les zones de faibles intensités augmentent sa surface, facilitent la bonne interprétation de la carte avec une bonne description précise de la zone d'étude (Figure.7).

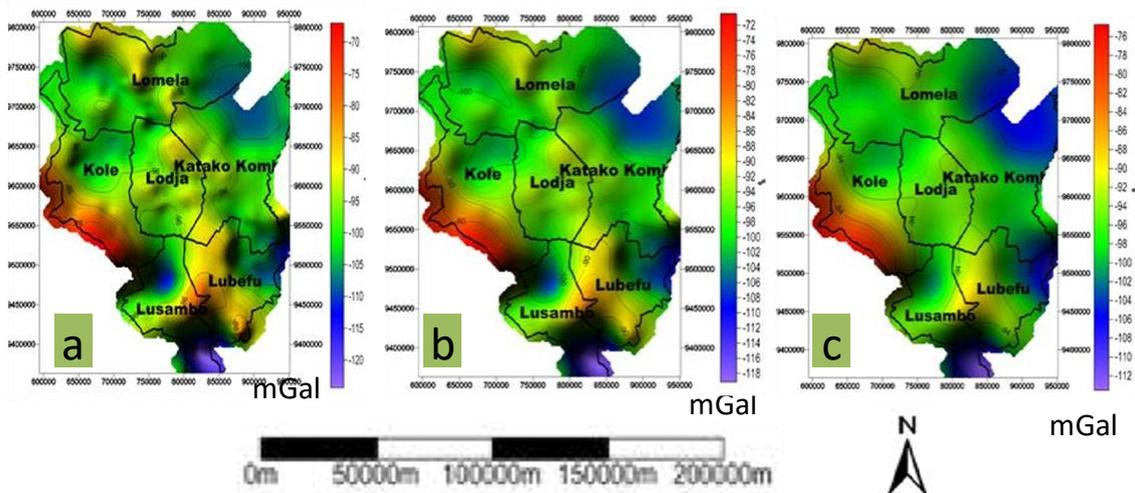


Figure.7 : carte de prolongement à 5000m (a), 10000m(b) et 20000m(c)

Signal Analytique

La carte du Signal Analytique des anomalies de Bouguer nous présente des Pics des anomalies lourdes vers le Sud en allant de l'Est à l'Ouest. La partie Nord, nous retrouvons aussi ces Pics mais cette fois ci elles ne sont pas d'une intensité importante. Ces Pics témoignent la présence des structures en forme de dôme en l'occurrence des Anticlinaux, les dômes de Sel ainsi que le soulèvement de Socle.

La présence des failles étant importante, elles sont orientées NE-SW de manière préférentielle. La configuration des anomalies lourdes et légères, des pics ainsi que sur la disposition des failles, nous poussent à conclure que cette province est riche en termes de structures géologiques car elle est configurée en horst et graben. Nous représentons ci-dessous la carte du Signal Analytique des anomalies régionales et la carte qui identifie toutes les failles mises en exergues dans la province de Sankuru.

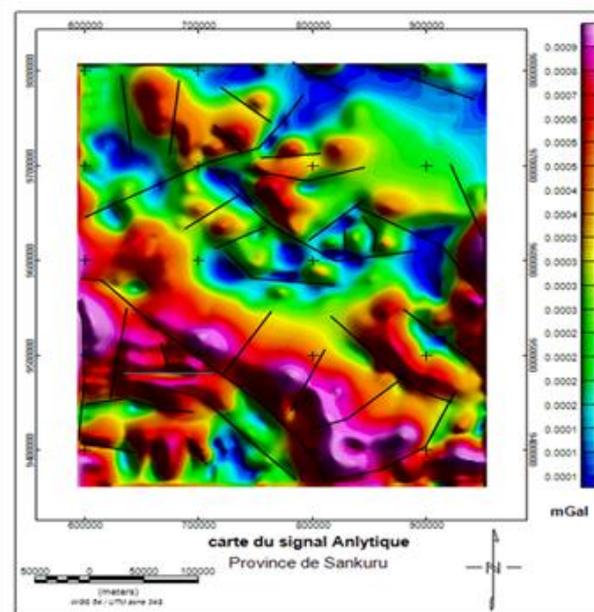


Figure.8 : Carte du Signal Analytique des anomalies régionales

Les cartes de densités apparentes de la province de Sankuru

Ces cartes montrent aussi qu'il y a la possibilité de trouver beaucoup de minerais dans cette région dont leur densité varie de $1,27 \text{ g/cm}^3$ à $1,7 \text{ g/cm}^3$.

Les anomalies lourdes identifiées sur les cartes des anomalies de Bouguer, peuvent renfermer les minéraux lourds et celles des anomalies légères regorgent les minéraux moins légers représentés dans la carte suivante.

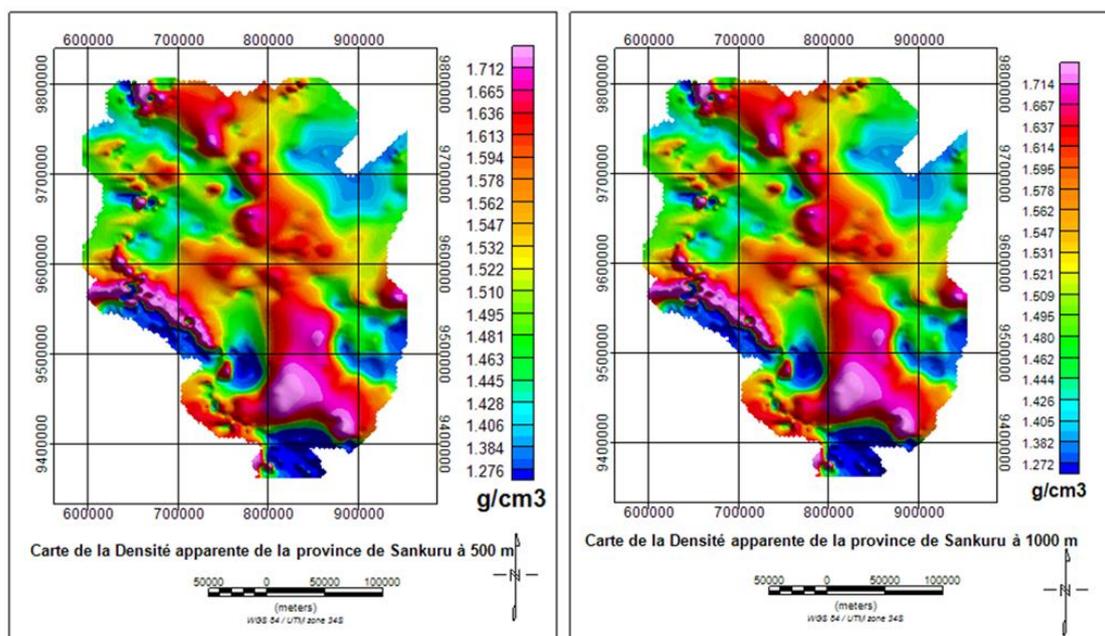


Figure .9 : La carte de la densité apparente de la province à 500 m et 1000m

Dans ces deux cartes il n'y a pas une grande différence, la densité à 500m varie de 1,712 à 1,276 g /cm³ et celle de 1000m varie de 1,714 à 1,272 g /cm³, dont la forte densité est localisée au Sud en allant vers le centre puis vers le Nord et aussi à l'Ouest. La faible densité est localisée au Sud-Ouest, Sud-Est et dans le reste de parties.

IV. Discussion

Les altitudes faibles varient de 355 à 530 m sont situées au Nord-Ouest, l'Est et au Nord-Est. Plusieurs talwegs présents sont occupés par les cours d'eaux orientés du Nord-Ouest vers le Sud-Est et de l'Est à l'Ouest ; les altitudes qui varient de 530 à 851 m sont plus localisées vers la partie Sud. Nous observons une ligne de crête qui recoupe les territoires de Kole, Lodja et Lubefu orientée de l'Est à l'Ouest et vers Lubefu, elle change de direction Nord-Ouest-Sud-Est. La carte topographique montrant la distribution des altitudes en m est présentée sur la figure.3, ci-dessous.

Contexte topographies

La Province de Sankuru est composée des altitudes élevées qui varient de 530 à 851 m sont plus localisées vers la partie Sud. Nous observons une ligne de crête qui recoupe les territoires de Kole, Lodja et Lubefu orientée de l'Est à l'Ouest et vers Lubefu, elle change de direction Nord-Ouest-Sud-Est et des altitudes faibles variant entre inférieure 355 à 530 m sont situées au Nord-Ouest, l'Est et au Nord-Est. Composée de plusieurs talwegs occupés par les cours d'eaux orientés du Nord-Ouest vers le Sud-Est et de l'Est à l'Ouest et aussi composée de horst et graben.

Contexte structural

Les analyses de la carte d'anomalies de Bouguer en tenant compte de l'interprétation structurale (Figure 4) montrent qu'il existe une grande partie des anomalies lourdes qui varient de -75,2 à 94,6mGal dans l'Ouest et au Sud ainsi qu'une petite partie au Nord et au centre de la province de Sankuru. Dans cette zone nous trouvons la présence d'une intrusion magmatique, ou celles de corps ayant une densité élevée. Par contre, nous observons une grande partie des anomalies légères qui varient de -104,8 à -115,3 mGal au Nord-Est et au Sud-Est ainsi qu'une petite partie au Nord-Ouest de la province de Sankuru. Ce sont des zones dans lesquelles nous trouvons la présence d'une grande épaisseur sédimentaire ou de matériaux à faible densité et dans le reste de parties nous avons les anomalies moyennes qui varient de -90,0 à 103,3 mGal.

En général, du point de vue structural, nous observons la présence de fossés d'effondrement renfermant des grandes épaisseurs de sédiments localisées au Sud, Sud-Est et Nord-Ouest. Nous retrouvons aussi quelques soulèvements de Socle à l'Ouest, au Sud et au centre en allant au Nord-Ouest.

Plusieurs failles sont orientées du Nord au Sud, du Nord-Est au Sud-Ouest. La carte de la dérivée première nous indique que les anomalies de Bouguer varient de -0.014 à 0.04 mGal. Elle nous a permis d'identifier quelques failles souterraines orientées dans plusieurs directions à savoir Nord-Ouest vers le Sud-Est, Nord-Est vers Sud-Ouest et d'autres Nord-Sud (Figure, 6)

En exploitant la carte de la dérivée seconde, nous constatons plusieurs failles mettent en exergue identifiées que dans la précédente carte de la première dérivée car elle nous a souligné plus des maxima qui peuvent être interprétés comme les failles ou les contacts lithologiques. A part les maxima, nous avons identifié plusieurs courbes resserrées et plusieurs contrastes de densité par rapport à la première dérivée.

L'élaboration des cartes de gradients directionnels et signal Analytique nous ont facilité l'identification des maxima de gradients interprétés comme les contacts lithologiques, les failles et les pics. Nous avons tenu compte de plusieurs directions, nous retenons qu'il existe plusieurs failles orientées de l'Est à l'Ouest et certaines moins importantes orientées du Nord-Est au Sud-Ouest. Il existe une grande faille qui divise la province de Sankuru en deux parties et elle est orientée du Nord-Ouest au Sud-Est. Il y a une panoplie des failles orientées du Nord-Est au Sud-Ouest et Ainsi la présence de certaines failles orientées du Nord-Ouest au Sud-Est divisant la province en deux parties (Figure, 6 et 8).

Nous avons aussi pensé sur la cause de toutes ces failles, voire même de la faille qui divise la province en deux parties. Quant à nous, nous supposons que la cause est due à quelques tremblements de Terre qui ont secoué jadis la province de Sankuru à l'époque et une autre probabilité notre zone d'étude se trouve proche d'une zone qui subit une transformation géologique dite Rift africain. Ce phénomène peut aussi influencer la structure de la province.

Par ailleurs ces failles que nous avons observées dans ce travail qui traversent la province de Sankuru passant par le Centre. Les mêmes observations ont été faites par plusieurs auteurs que nous citons quelques-uns : Lepersonne (1977) et Kadima et al (2011). D'après Pierre Giresse (1982), ces failles très profondes sont provoquées par les mouvements tectoniques synsédimentaires dus aux déformations tectoniques et les changements climatiques contrôlent le bilan de la sédimentation. On considère avec plus d'attention des épisodes d'accumulation détritique rapide, de rubéfaction, de silicification continentale et de glauconitisation qui connaissent une phase compressive modérée qui avait commencé depuis Paléocène avec des plis et au Miocène, un régime distensif réapparaît provoque des failles observées.

Selon Kadima et al, les faciès sismiques qui ont conduit à l'interprétation de soulèvement du sous-sol cristallin. Ces caractéristiques correspondent à des formations riches en sel qui ont été déstabilisées, peut-être lié à la tectonique du sel verticale liée aux écosystèmes proches ou lointains de la fin de l'Afrique et les événements tectoniques compressifs permo-triassiques qui ont affecté cette partie africaine.

En suite dans notre présente étude nous avons trouvait plusieurs failles qui peuvent être aussi de limites lithologiques présent dans la structure continentale de la province de Sankuru et d'autres failles sont moins importantes.

Contexte minéralogique

D'une manière générale, les failles identifiées à partir des cartes précédentes nous ont montré que la plupart des maxima des gradients qui correspondent à celles-ci sont orientées du Nord-Ouest vers le Sud-Est. La présence des failles orientées du Nord-Ouest vers le Sud-Est peut-être le siège d'accumulation des minerais métalliques et non métalliques ce qui est justifié dans les différentes cartes ci-haut. En géophysique la présence des failles piège les minéraux dans le sous-sol en formant de gisement qui peut-être le siège d'accumulation des minerais métalliques et non métalliques ce qui est justifié dans la carte d'anomalies de Bouguer et de la densité (Figure.4 et 9) dont l'anomalie où densité élevée dans des milieux d'accumulation des matières ou minerais lourds et au cas contraire nous dirons des minerais légers.

V. Conclusion

Cette étude a visé la connaissance de la structure continentale (lithosphérique) de la province de Sankuru en se basant sur l'analyse et l'interprétation de données gravimétriques. Des cartes du gradient vertical, du gradient horizontal, des dérivées, de prolongements ont été calculées à partir de la carte des anomalies de Bouguer. Ces cartes fournissent des informations sur la variation de la densité dans le sous-sol (Figure. 4 à 8) et permettent de mieux cerner la structure de la zone d'étude en mettant en évidence les principales unités et accidents tectoniques généralement masqués par les dépôts quaternaires. Selon nos observations la province de Sankuru a plusieurs failles et d'autres moins importantes, l'une d'elle divise la province en deux hémisphères.

La structure géologique de la province de Sankuru est dominée par la formation géologique pléistocène et pliocène qui occupe toute la partie Nord jusqu'au Centre, suivi de la formation géologique Cretacique qui domine la partie Sud, la formation géologique Albien, Aptien et la formation géologique triasique dominant une petite partie de la province.

La topographie de la province de Sankuru est irrégulière composée de horst et graben. L'ensemble des résultats obtenus conduit à la description de la structure de la zone d'étude, qui pourrait constituer un document de base pour orienter les futurs chercheurs en géophysique et en exploration des minéraux ou pétrolière.

Références

- [1]. Hicham Aqil, Et Al.2015. Contribution De La Gravimétrie A L'étude De La Structure Profonde Du Bassin De Bouhouria (Maroc Nord-Oriental) : Implications Hydrogéologiques. ISSN0262-6667 (Print) 2150-3435, <https://www.tandfonline.com/loi/thsj>;
- [2]. Jean-Yves Collot Et Al.2009. Anomalies Gravimétriques Et Structures De La Croûte Dans La Région De La Nouvelle-Calédonie : Enracinement Des Péridotites (Google) ;
- [3]. Jean Dubois, Michel Diamant, Jean – Pascal Cogné.2011. Géophysique, Cours Et Exercices Corrigés, 4^e Edition Dunod Paris ;
- [4]. Julia Pfeiffer Etude Du Cycle De L'eau En Afrique Saharienne : Approche Multidisciplinaire Et Apport De La Gravimétrie De Strasbourg. (Google) ;
- [5]. Kadima.Kabongo, Damien Delvaux .2011. Structure And Geological History Of The Congo Basin : An Integrated Interpretation Of Gravity, Magnetic And Reflection Seismic Data Congo Royal Museum For Central Africa,Tervuren, Belgium CNE. Kinshasa, DR, Congo
- [6]. Lepersonne.Jacques. 1974. Carte Géologique Du Zaire Au 1/ 2.000.000. République Du Zaire, Direction De La Géologie. Kinshasa & Mus. Roy. Afr. Centre,Tervuren ;
- [7]. Lepersonne, Jacques .1977. Structure Géologique Du Bassin Intérieur Du Zaïre. S.N., XX-2, Bruxelles ;
- [8]. Ludovic Et Al.2018. Comparaison De Deux Méthodes Géophysiques Pour L'auscultation D'un Pilier De Carrière Souterraine, (Google) ;
- [9]. Marc. R Et Al .2002. Levé Gravimétrique Et Magnétométrique Sur Lac St Jean, JAG Mines Ltd, IMRS, Québec ;
- [10]. Maurice K. Seguin Et Al .1989. Modèle Gravimétrique Régional De L'intrusif Du Mont Mégantic, Atlantic Geology , Volume 25, Numéro 2, <https://id.erudit.org/iderudit/ageo/document/generé> Le 31 Août 2023 08:19 ;
- [11]. Michel Chouteau .2002. Géophysique Appliqué I. Gravimétrie, Ecole Polytechnique De Montréal, Canada
- [12]. Tondonzi Keto Et Al.2018. Interprétation Des Cartes D'anomalies Gravimétriques Et Contributions A L'étude Structurale D'un Bassin Sédimentaire Présentant Un Intérêt Pétrolier – Majeur : Cas Du Sous Bassin De Busira Dans La Cuvette De La RD ;
- [13]. Pierre Giresse.1982. La Succession Des Sédimentations Dans Les Bassins Marins Et Continentaux Du Congo Depuis Le Début Du Mésozoïque A Nos Jours. (Sei. Géol., Bull., 35, 4, P. 183 - 206, Strasbourg, 1982 ,23 Pages)
- [14]. Remili.M.Et Al. 2002. Interprétation De Données Gravimétriques Par Des Méthodes Inverse. Application A L'étude Du Terrain d'In Ouzzal. (Google Scholar) ;
- [15]. Sarra Ouerghi Et Al .2013. Apport De La Gravimétrie A L'étude Des Structures Effondrées Du Nord-Est De La Tunisie : Implications Hydrogéologiques. ISSN : 0262-6667 (Print) 2150-3435 (Online) Journal Homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/thsj2013>.